RoeTest - das Computer-Röhren-Messgerät -

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

Gitterstrom und Vakuum **24.10.2025**

Gitterstrom

Röhren werden normalerweise mit „leistungsloser“ Ansteuerung betrieben. Dazu ist negative Spannung am Steuergitter erforderlich.

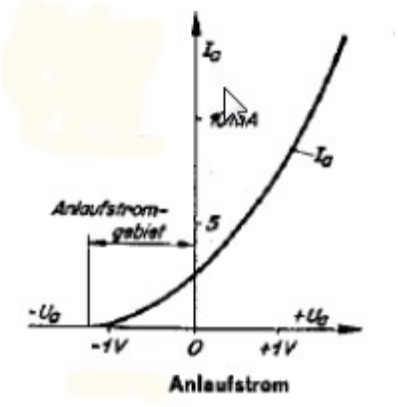
Betrachten wir diese Aussage etwas näher.

Wann fließt ein Gitterstrom?

1. Gitterstrom fließt bei positiver Spannung am Steuergitter. Ist das Gitter positiv, zieht es Elektronen an. Es fließt ein regulärer Gitterstrom.

2. Anlaufstromgebiet:

Auch bei sehr kleiner negativer Spannung am Steuergitter fließt ein Gitterstrom. Man spricht vom „Anlaufstrom“:



Das Anlaufstromgebiet hängt vom Aufbau der Röhre ab. Um sicherzugehen, dass eine leistungslose Ansteuerung (ohne Gitterstrom) erfolgt, sollte die negative Spannung am Steuergitter negativer als

- -0,2 V bei direkt beheizten Röhren und
- -1,2 V bei indirekt beheizten Röhren

sein. Erst bei genügend negativem Gitter stößt dieses die Elektronen ab.

3. Überlastung - t**hermische Gitteremission**

Da das Steuergitter räumlich nahe an der Kathode angeordnet ist, lässt sich eine Aufheizung des Gitters nicht vermeiden. Durch geringe Abdampfungen der Oxidkathodenschicht, welche auf dem kühleren Steuergitter kondensiert, werden durch das Steuergitter Elektronen emittiert, die Richtung Anode beschleunigt werden und damit einen negativen Gitterstrom verursachen.

Die thermische Gitteremission ist primär abhängig von der Röhrenkonstruktion, den verwendeten Materialien, der Heizleistung, die indirekt die Gittertemperatur bestimmt, und der Fertigungsgüte.

Wird die Röhre, wenn auch kurzzeitig überlastet (und damit übermäßig erhitzt), so hat dies regelmäßig eine Vergrößerung des Gitterstroms zur Folge. Einige Röhren haben Kühlflügel am Steuergitter um die Erwärmung des Gitters zu reduzieren. Es gilt die Röhre nicht zu überlasten.

4. Kriechströme – Isolationsstrom

Bei schlechter Isolation der Röhrenstifte zueinander können Kriechströme fließen. Dabei kann der Grund dafür in einer oberflächlichen Verschmutzung liegen, welche leicht zu reinigen ist, oder auch in einer Verunreinigung des Glases oder minderwertigen Glassorten. Dies ist mir insbesondere bei Rimlock Röhren schon öfters aufgefallen. Um diese Ursache festzustellen, kann man die Isolation der Stifte zueinander mit einem hochohmigen Ohmmeter, oder besser mit einem Isolationsmesser, im **kalten** Zustand der Röhre, messen.

5. Fotostrom

Bei Beleuchtung der Röhre von außen oder durch den Heizfaden entsteht ein Fotoeffekt. Es fließt ein winziger Fotostrom. Dies wird bei Fotozellen ausgenutzt und ist bei normalen Röhren unerwünscht. Der Fotostrom ist unabhängig von der Gitterspannung. Da er in der Regel sehr klein ist, kann er bei der Vakuumbetrachtung vernachlässigt werden.

6. schlechtes Vakuum:

Bei vollkommenem Vakuum fließt kein Gitterstrom. Ein vollkommenes Vakuum ist nie erreichbar. Es gibt immer Restgas in einer Röhre. Sind zu viele Gasteilchen in der Röhre, so treffen die durch die Kathode erzeugten Elektronen auf die Gasteilchen. Dadurch können aus dem neutralen Atomverband neue Elektronen abgespalten werden und das Gasteilchen weist daher einen positiven Ladungsüberschuss auf. Diese positiven Ladungsträger werden als Ionen bezeichnet. Der Vorgang heißt „Stossionisation“.

Die Ionen werden vom negativen Gitter angezogen und es fließt ein sogenannter „Ionenstrom“. Dieser Strom wird auch als verkehrter oder parasitärer Gitterstrom bezeichnet.

Die verschiedenen Gitterstromarten können in positive oder negative Richtung fließen:

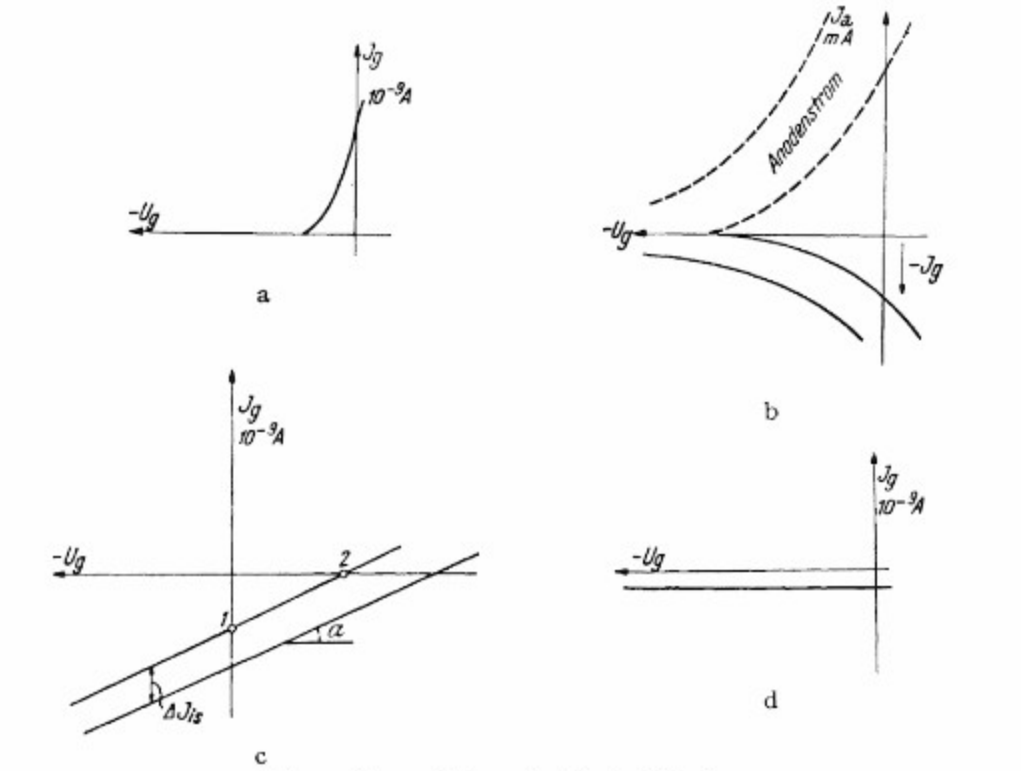


Abb. 15. Die verschiedenen Anteile des Gitterstromes.
a Der positive Gitterstrom (Elektronenstrom), b der Ionen-Gitterstrom, c der Isolationsstrom bei zwei verschiedenen Anodenspannungen, d der Reststrom (hauptsächlich Photoströme).

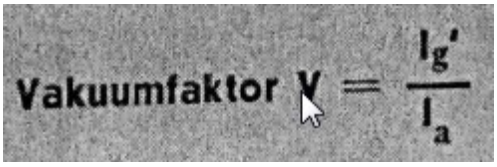
Gitterstrommessung und Vakuum, Vakuumfaktor

Eine direkte Messung des Vakuums ist so ohne weiteres nicht möglich. Dazu müsste die Röhre geöffnet und ein Vakuummessgerät angeschlossen werden, was nicht möglich ist, da mit Öffnen der Röhre diese und das Vakuum zerstört würden. Bemerkung: In den 30er Jahren wurden hierzu an den Röhren AC2, AF3, AL4 und G541 Messungen auf der Pumpe durchgeführt (4)

Schließen wir obige Gründe 1-5 für einen Gitterstrom aus, können mit einer Messung des Gitterstroms Rückschlüsse auf das Vakuum der Röhre getroffen werden. Dazu ist die Röhre mit einer genügend negativen Steuergitterspannung zu betreiben und vorab zu klären, ob die Röhrenstifte ausreichend zueinander isoliert sind.

Vakuumfaktor

Ist das Verhältnis von Gitterstrom zu Anodenstrom:



Nach Barkhausen (welcher den Vakuumfaktor eingeführt hat) hängen Gitterstrom und Restdruck des Vakuums linear voneinander ab. Einem Restdruck von 10e-6 Torr entspricht ein Vakuumfaktor von 10e-4, und einem Restdruck von 10e-5 Torr ein Vakuumfaktor von 10e-3.
Bei der Fertigung hat man die Röhren auf etwa 10e-5 Torr ausgepumpt und dann durch Zünden des Getters den Druck weiter gesenkt auf etwa 10e-6 Torr.
Daraus folgt: Mit intaktem Getter sollte der Restdruck in der Röhre etwa 10e-6 Torr sein und damit der Vakuumfaktor bei 10e-4 liegen. Ist der Getter funktionslos geworden steigt der Druck >= 10e-5 Torr und der Vakuumfaktor liegt dann bei >= 10e-3.

Hinweis: Torr (mmHg) ist eine veraltete Maßeinheit für den Druck. 1 Torr = 1,33322 millibar

Mit Messung des Gitterstroms und Errechnen des Vakuumfaktors kann nach Barkhausen eine konkrete Aussage getroffen werden, ob das Vakuum der Röhre gut ist

Die Messung des Gitterstroms ist nicht einfach, da jegliches eingeschaltete Messinstrument die Verhältnisse am Gitter und damit den Gitterstrom und den Anodenstrom beeinflussen. Zur Bestimmung der Güte des Vakuums reicht jedoch eine überschlägige Messung des Gitterstroms völlig aus.

Der Gitterstrom ist auch nicht konstant. Er kann nach dem Einschalten im Verlauf eines Tages auf den 3-fachen Wert ansteigen. Wahrscheinlich werden von der Anode und dem Schirmgitter gebundene Gasreste bei der Erwärmung durch das Elektronenbombardement langsam wieder abgegeben. Das Vakuum verschlechtert sich also im Laufe des Tages um dann in einen konstanten Wert überzugehen.

RoeTest - das Computer-Röhren-Messgerät -

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

Aus der Praxis ergeben sich noch folgende Hinweise:

- Hat die Röhre gar kein Vakuum mehr, fließt auch kein Anodenstrom. Es kann dann auch kein Gitterstrom gemessen und kein Vakuumfaktor errechnet werden.

- Werden Röhren ohne Vakuum beheizt, ist der Heizstrom höher als erwartet (wobei gleichzeitig kein Anodenstrom fließt).

- Bei Röhren mit schlechtem Vakuum, insbesondere wenn neben Luft weitere Gasmoleküle enthalten sind, z.B. CO (Kohlenoxyd), welches aus Metallteilen und der Kathodenumsetzung frei wird (7), kann es zum schlagartigen Zünden (ähnlich einer Glimmlampe oder eines Stabis) kommen. Dabei können hohe Ströme fließen. In der Röhre ist meistens eine lila Glimmentladung zu sehen. Es werden auch intensive HF-Störungen erzeugt. Messungen an der Röhre sind nicht möglich.

- Eine Vakuumverschlechterung ist zumeist eine Folge von Gasausbrüchen insbesondere aus der Anode wie sie bei der Überlastung u. U. vorkommen (7).

- Röhren mit zwei Systemen können durchaus völlig unterschiedliche Gitterströme aufweisen. Besonders auffällig sind Röhren welche im Betrieb hohen Temperaturen (unter einem Abschirmbecher) ausgesetzt wurden (z. B. ECC85).

- Röhren ohne Vakuum haben manchmal einen milchig weißen Belag in der Röhre.

die rechte Röhre ist ohne Vakuum. Man sieht deutlich den milchig-weißen Belag

RoeTest - das Computer-Röhren-Messgerät -

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

Vakuumtest bei älteren Röhrenprüfgeräten:

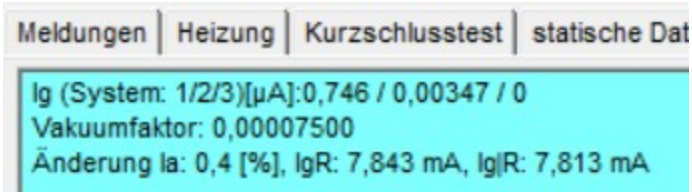
Diese schalten meist einen hochohmigen Widerstand (1-2 MOhm) vor das Steuergitter. Fließt ein Gitterstrom, dann fällt über diesem Widerstand eine Spannung ab, welche eine veränderte Spannung am Steuergitter ergibt. Diese bewirkt eine mehr oder weniger große Änderung des Anodenstroms. Da dies einige Röhrenprüfgeräte bei Gitterspannung 0V tun, bei welchem ja ein Anlaufstrom fließen kann, ist es sehr schwierig zu interpretieren, ob die Stromänderung auf ein schlechtes Vakuum schließen lässt. Dies ist nur mit Vergleich anderer Röhren selben Typs möglich.

Diese Art der Vakuumprüfung muss also unbedingt im negativen Gitterspannungsbereich, unterhalb der Anlaufstromschwelle, erfolgen. Die %uale Änderung des Gitterstroms hat eine gute Aussagequalität.

Vakuumtest beim RoeTest:

Ab Softwareversion 9.7 kann der Steuergitterstrom (Ig1) ermittelt werden. Und zwar auch mit älterer RoeTest-Hardware. Gleichzeitig wird der Vakuumfaktor errechnet. Damit ist eine konkrete Aussage über die Qualität des Vakuums möglich.

Beim statischen Test von Röhren mit Gitter wird die Gitterstrommessung automatisch durchgeführt und der Vakuumfaktor errechnet. Die Ergebnisse werden im Reiter "Vakuum" angezeigt:

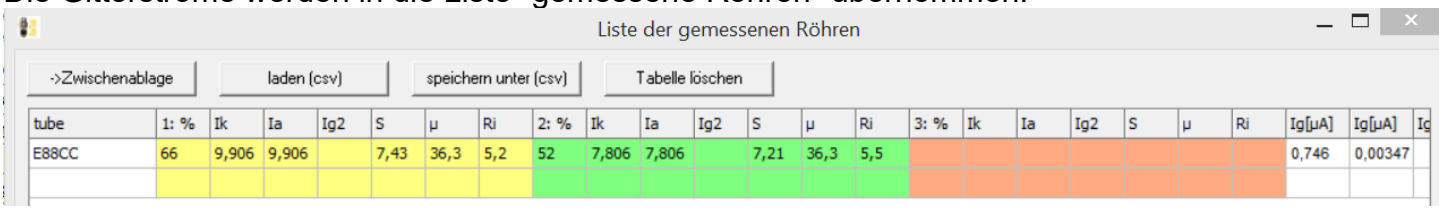


Daneben werden Sie in der Ergebnistabelle festgehalten:

Messwert IA [mA]		
bei UG2[V]		
Ri [KOhm]	5,2	5,5
Ig [µA]	0,746	0,00347

Und selbstverständlich mit den Messdaten gespeichert und auf dem Messprotokoll mit ausgedruckt. Auch im Etikettendruck kann man den Gitterstrom, wahlweise in µA oder nA mit ausdrucken.

Die Gitterströme werden in die Liste "gemessene Röhren" übernommen:



tube	1: %	Ik	Ia	Ig2	S	µ	Ri	2: %	Ik	Ia	Ig2	S	µ	Ri	3: %	Ik	Ia	Ig2	S	µ	Ri	Ig[µA]	Ig[µA]	Ig
E88CC	66	9,906	9,906		7,43	36,3	5,2	52	7,806	7,806		7,21	36,3	5,5								0,746	0,00347	

Die Messung der Gitterströme erfolgt im Arbeitspunkt, wie im Datensatz eingestellt. Abweichend von der Automatik kann im Datensatz ein anderer Messpunkt für den Gitterstrom eingestellt werden →siehe TDatenbank_Roehrendaten.pdf

Warum ist Gitterstrom unerwünscht?

- Die Röhre arbeitet nicht mehr leistungslos. Der Gitteranschluss wird niederohmiger und belastet die vorherige Stufe/bzw. die Spannungsquelle. Kann der notwendige Strom nicht erbracht werden, kommt es zu Verzerrungen
- Ungleichmäßige Stromänderungen können krachen und knistern verursachen (oft durch Isolationsfehler verursachte Störungen)
- Durch Spannungabfall über den Gitterwiderstand kann es zu Verschiebungen des Arbeitspunktes kommen
- „Durchstoßen“(5)S.93, vor allem bei Endröhren: Diese Röhren werden relativ heiß. Durch die Erhitzung erhöht sich bei einer schlechten Röhre der Gitterstrom (thermische Gitteremission). Der Arbeitspunkt verschiebt sich. Der Anodenstrom steigt und erhitzt die Röhre weiter. Das kann bis zur Zerstörung der Röhre bzw. des Gerätes (Überlastung der Stromversorgung oder des Ausgangsübertragers) führen (Gegenmaßnahmen: Vermeidung hochohmiger Gitterspannungserzeugung, Erzeugung der Gittervorspannung über Kathodenwiderstand).

Wie hoch darf der Gitterstrom nun eigentlich sein?

Dies ist eine schwierige Frage. Die Röhrendatenblätter schweigen sich meist zu den Gitterströmen aus. Nur vereinzelt sind Angaben enthalten. Auch die allgemeine Literatur gibt nur Hinweise. Ich habe folgende Fakten zusammengetragen:

Barkhausen (2) trifft folgende Aussagen:

Gitterstrom	Gitterstrom bei Ia=10mA	Vakuumfaktor
stört	10 µA	0,001
gut	5 µA	0,0005

Diese Feststellungen sind aus der Frühzeit der Röhren. Für moderne Röhren sind bessere Werte erreichbar.

Bergtold (5): Vakuumprüfung anhand Änderung des Anodenstroms: Bei einem Vorwiderstand von 1 MOhm darf die Stromänderung maximal 20% betragen. Bei Endröhren sind engere Werte anzusetzen. Die Grenze für den maximal zulässigen Gitterstrom ist vom Gitterwiderstand und der Art der Gitterspannungserzeugung abhängig.

Messungen eines Freundes und von mir an einer größeren Anzahl von neuen und gebrauchten Vorstufenröhren (ECC u.a.) ergaben eine große Bandbreite von Gitterströmen von 20 nA bis über 2 µA. In einem Artikel von Zollner(1) wird ebenfalls die Aussage getroffen, dass der Streubereich der

Gitterströme erheblich ist. Dies sei vermutlich der Grund, warum die Röhrenhersteller keine Angaben in den Datenblättern machten.

Im Datenblatt der E83CC habe ich gefunden: Ig <0,2 µA, end of life: 0,5 µA.
Datenblatt (Telefunken+Siemens) C3g,: Ig <= 0,5 µA

Ein befreundeter Röhrenhändler nannte mir folgende Grenzwerte, welche er auch von Röhrenherstellern in Erfahrung bringen konnte:

- Maximaler Ig <= 1uA (was schon hoch sei).
- Gute Röhren <= 0,5uA
- Eng tolerierte Röhren (E83CC, E86..) <=0,2µA oder 0,3µA (Philips)

Praxis:

Der zulässige Gitterstrom hängt von der Schaltung ab (ebenso, wie auch Röhren mit mäßiger Emission in einer bestimmten Schaltungsumgebung noch einwandfrei funktionieren). Eine harte Grenze gibt es nicht.

Ich lege deshalb für mich folgende Richtwerte fest:

	sehr gut: Ig <=	Anodenstrom-änderung <= bei R 1,2 MOhm	evtl. noch brauchbar Ig <= (end of life)
Eng tolerierte Röhren (E83CC ..)	0,1 µA		0,5 µA
Kleinsignalröhren (z.B. EC, EF)	0,1 µA	5-20%	1 µA
Endröhren (EL)	0,2 µA	3-8%	1 µA

Ergänzend zum Gitterstrom in nA kann auch die relative Anodenstromänderung in % betrachtet werden. Diese ist aber von den Eigenschaften der Röhre abhängig (s und Ia), hier sollte man sich zu jeder Röhre individuelle Gedanken machen.

Wissen bzw. beachten sollte man auch, dass das RoeTest mit einem Rg von 1,2 MOhm und fester Gittervorspannung misst. Endstufen werden meist mit automatischer Gittervorspannungserzeugung durch Rk und oft auch mit einem kleineren Rg aufgebaut, in einer hochohmigen AVC Schaltung kann Rg aber auch mehrere MOhm betragen.

Erfahrungen:

Um stabile Messwerte für den Gitterstrom zu erhalten muss die Röhre Betriebstemperatur haben. An einer kalten Röhre lässt sich der Gitterstrom, welche die Röhre im realen Betrieb bildet, nicht messen. Die Praxis zeigt, dass eine Aufwärmzeit von 180s bei Nennlast für eine Messung sinnvoll ist. Wird aber die Röhre während der Messung überlastet (durch falsche Parameter) werden zu hohe (falsche) Gitterströme gemessen.

Übliche (gute) Messwerte für den Gitterstrom, ermittelt an einer vierstelligen Zahl von normalen Radio und Fernsehröhren, liegen In der Regel im unteren bis mittleren zweistelligen nA Bereich. Bei

Endstufenröhren auch mal im oberen zweistelligen Bereich (von Typ zu Typ unterschiedlich). Gitterströme im dreistelligen nA Bereich sind eher selten anzutreffen.
Röhren (auch neue) welche zig Jahre nur gelagert wurden und nicht in Betrieb waren können bei der ersten Gitterstrommessung u. U. schlechte Werte aufweisen. Es empfiehlt sich diese abkühlen zu lassen, und bei Zeiten ein zweites und bei Bedarf auch öfter zu messen. Manche Röhren bekommen so gute Gitterstromwerte, manche bleiben konstant schlecht, letztere sind dann wirklich schlecht.

Was zur Verbesserung der Messwerte führt weiß ich nicht, vermutlich bindet das Getter in diesen ersten Betriebsminuten die schädlichen Gasreste.

Röhren mit zwei Systemen können durchaus völlig unterschiedliche Gitterströme aufweisen. Besonders auffällig sind Röhren welche im Betrieb hohen Temperaturen (unter einem Abschirmbecher) ausgesetzt wurden (z. B. ECC85).

Literaturverzeichnis:

(1) Gitterstrom bei Trioden, Manfred Zollner, www.gitec-forum.de
(2) Lehrbuch der Elektronenröhren, 1. Band, Prof. Dr. H. Barkhausen
(3) Hochfrequenztechnik II, J. Kammerloher
(4) Vakuumbestimmung an mittelbar geheizten Empfängerröhren, G.Herrmann u. I. Runge Zeitschrift für Technische Physik Bd19 1938 S.12
(5) Röhrenbuch, Bergtold
(6) verschiedene Röhrendatenblätter
(7) Funkschau 1943 Heft 2 S.26 Druckbestimmung an technischen Röhren durch Gitterstrommessung
(8) Die Elektronenröhre als physikalisches Meßgerät, Dr. Josef Schintlmeister, Springer-Verlag Wien GmbH 1942

Daneben möchte ich mich bei allen bedanken, welche mich mit Erfahrungen und Informationen unterstützt haben.