

Aus FUNKSCHAU 21/1951 für <http://www.radiomuseum.org> (bearbeitet 01/2020 von E.Grund) mit freundlicher Genehmigung der FUNKSCHAU-Redaktion. Die aktuellen Ausgaben der FUNKSCHAU finden Sie unter <http://www.funkschau.de>

Bei langen Wellen erfolgt die Steuerung der Elektronenröhren leistunglos. Der zum Gitter fließende Strom ist ein reiner (kapazitiver) Blindstrom. Bei hohen Frequenzen ist dies nicht mehr der Fall, zu dem Blindstrom tritt ein Wirkstrom, der eine Bedämpfung des angeschlossenen Gitterkreises bedeutet. Hierdurch werden mit zunehmender Frequenz die erzielbare Verstärkung und Empfindlichkeit vermindert. Dieser Effekt wird im Ersatzschaltbild durch den „Eingangswiderstand“ der Röhre dargestellt, den man sich als parallel zur Gitter-Katoden-Strecke der Röhre geschaltet denken kann (Bild 1).

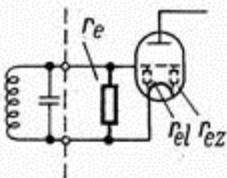


Bild 1. Der Eingangswiderstand im Ersatzschaltbild

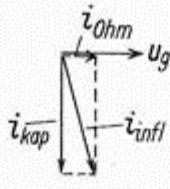


Bild 1a

Bei welcher Frequenz sich dieser Eingangswiderstand praktisch bemerkbar macht, hängt einerseits von dem Resonanzwiderstand des angeschlossenen Gitterkreises und andererseits von der Konstruktion und den Betriebsdaten der Röhre ab. Der Eingangswiderstand ist frequenzabhängig und abhängig von der Konstruktion und den Betriebsdaten der Röhre.

Die Ursachen für das Auftreten des Eingangswiderstandes sind:

1. Dielektrische Verluste und Leitungsverluste. Beide treten bereits an der kalten Röhre auf.
2. Die Elektronenlaufzeiten sind bei hohen Frequenzen nicht mehr verschwindend klein gegen die Periodendauer der steuernden Wechselspannung.
3. Die Zuleitungsinduktivitäten zu den Röhrenelektroden bewirken, daß der sonst rein kapazitive Blindstrom eine ohmsche Komponente erhält.

Nähere Erläuterung zu 1.:

Die dielektrischen Verluste und die Leitungsverluste sind bei UKW so klein gegen die unter Punkt 2 und 3 erwähnten Effekte, daß sie keine Berücksichtigung zu finden brauchen.

Nähere Erläuterung zu 2.:

Im Raume zwischen Katode und Anode (bei der Triode) bzw. zwischen Katode und Schirmgitter (bei der Pentode) bewegen sich Elektronen und diese influenzieren auf dem Steuergitter einen zusätzlichen Strom (Influenzstrom), der außer dem kapazitiven Verschiebungsstrom auftritt. Bei verschwindend kleinen Laufzeiten der Elektronen im Vergleich zur Periodendauer der steuernden Wechselspannung eilt dieser Influenzstrom (ebenso wie der kapazitive Verschiebungsstrom) der Wechselspannung um 90° voraus. Ist jedoch die Laufzeit der Elektronen vergleichbar mit der Periodendauer der Steuerwechselspannung, dann bekommt der durch Influenz zum Gitter fließende Strom eine Phasenverschiebung von weniger als 90° gegen die Steuerwechselspannung. Dieser Strom hat also dann eine ohmsche und eine kapazitive Komponente, wie Bild 1a zeigt.

Die um 90° voreilende Komponente des Influenzstromes entspricht dem Strom durch eine Kapazität (das ist die Raumladungskapazität = Differenz der Eingangskapazität zwischen geheizter Röhre und ungeheizter Röhre), und die mit der Gitterwechselspannung gleichphasige Komponente ent-

spricht dem Strom durch einen ohmschen Widerstand, dem Eingangswiderstandsanteil der Laufzeit  $r_{el}$ . Der durch die endliche Elektronenlaufzeit verursachte Anteil des Eingangswiderstandes ist annähernd:

$$r_{el} = \frac{1}{A \cdot S_K \cdot (\omega \cdot \tau_{gk})^2} \quad (1)$$

- $S_K$  = Katodenstromsteilheit
- $\omega$  = Kreisfrequenz
- $\tau_{gk}$  = Elektronenlaufzeit zwischen Katode und Gitterebene
- A = eine Konstante, die abhängt vom Verhältnis der

Anodenspannung (oder Schirmgitterspannung) zum Effektivpotential in der Steuergitterebene und vom Verhältnis Abstand Katode/Gitter 1 bzw. Abstand Schirmgitter/Gitter 1 / Abstand Anode/Gitter 1

oder von der Anoden- und Gitterspannung und dem Verhältnis der Laufzeiten zwischen Anode und Gitter 1 einerseits und Katode und Gitter 1 andererseits. Der Wert von A liegt etwa zwischen den Werten 0,05 und 0,1.

Die Übereinstimmung von Messung und Rechnung für den Eingangswiderstand ist sehr unbefriedigend wegen der notwendigerweise zu machenden vereinfachenden Annahmen. Ursache der Unstimmigkeiten ist die Inhomogenität der Elektronengeschwindigkeit nach Größe und Richtung (Ablenkung der Elektronen in Gitterfeldern). Die Theorie liefert jedoch folgende wichtige qualitative Aussagen, die auch durch die Praxis bestätigt werden:

1. Der elektronische Eingangswiderstand ist proportional dem Quadrat der Wellenlänge. Dieses Gesetz gilt bis herunter zu etwa 1 m Wellenlänge bei UKW-Röhren.
- 2.\* Bei der normalen Raumladungssteuerung ist der Eingangswiderstand stets positiv (er wirkt bedämpfend auf den Gitterkreis).
3. Der Eingangswiderstand ist um so kleiner, je größer die Elektronenlaufzeiten im Katoden-Gitterraum und im Gitter-Schirmgitterraum sind.
4. Die Laufzeit wird also um so größer und damit der Eingangswiderstand um so kleiner,
  - a) je größer die Elektrodenabstände werden und
  - b) je niedriger (bei konstantem Anodenstrom) die Anodenspannung (bei Trioden) oder die Schirmgitterspannung (bei Pentoden) liegt.

Zu a): Wenn alle Abmessungen des Röhrensystems um einen Faktor A verringert werden, so erhöht sich der Eingangswiderstand um den Faktor  $A^2$ . [1., 2.]

Zu b): Wenn die Spannungen um den Faktor B vergrößert werden, so erhöht sich der Eingangswiderstand um den Faktor  $\sqrt{B}$ . [1., 2.]

Nähere Erläuterungen zu 3.:

Die Zuleitungen zu Katode, Schirmgitter und Anode haben eine gewisse, wenn auch kleine Induktivität, deren Blindwiderstand mit steigender Frequenz zunimmt. Die Zuleitung zur Katode hat den größten Einfluß auf den Eingangswiderstand. Der hier fließende Hf-Wechselstrom erzeugt an dem induktiven Widerstand der Katoden-zuleitung einen Span-

\* Anmerkung: Bei Sättigungskennlinien treten auch negative Eingangswiderstände auf. Diese haben jedoch zur Entdämpfung der Gittereingangskreise noch keine praktische Bedeutung erlangt, da sie schwer stabil einzustellen sind.

nungsabfall. Diese Spannung hat einen Hf-Strom über die Eingangskapazität der Röhre zum Steuergitter zur Folge, welcher einen Phasenwinkel von weniger als 90° gegenüber der Eingangsgitterwechselspannung aufweist. Das bedeutet, daß eine reelle Komponente vorhanden ist, die denjenigen Anteil des Eingangswiderstandes darstellt, der durch die Zuleitungsinduktivität hervorgerufen wird.

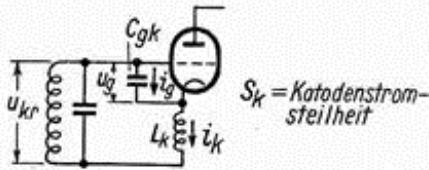


Bild 2. Die Katodeninduktivität  $L_k$  als Ursache für einen Teil  $r_{ez}$  des Eingangswiderstandes  $r_e$

Nach Bild 2 ist die Wechselspannung zwischen Katode und Gitter

$$u_g = u_{kr} - j\omega L_k i_k$$

Durch die Eingangskapazität  $C_{gk}$  der Röhre fließt dadurch ein Wechselstrom  $i_g$  zum Steuergitter:

$$i_g = j\omega C_{gk} u_g = j\omega C_{gk} u_{kr} + \omega^2 L_k C_{gk} i_k$$

$i_k$  ist aber annähernd gleich  $S_k \cdot u_{kr}$  und damit wird

$$i_g = u_{kr} (j\omega C_{gk} + \omega^2 L_k C_{gk} S_k)$$

Die eine Stromkomponente  $u_{kr} j\omega C_{gk}$  ist ein reiner Blindstrom, die andere ist jedoch mit der Gitterwechselspannung in Phase und bewirkt eine Bedämpfung des Eingangskreises. Diese reelle Stromkomponente kann durch einen Eingangswiderstand  $r_{ez}$  dargestellt werden, der die Größe hat

$$r_{ez} = \frac{1}{\omega^2 L_k C_{gk} S_k} \quad (3)$$

Der Index z bedeutet dabei, daß es sich um den Teil des Eingangswiderstandes handelt, der durch die Zuleitungsinduktivität hervorgerufen wird.

Bei der Betrachtung der Wirkung der Schirmgitterinduktivität allein ergibt sich eine entdämpfende Wirkung auf den Eingangskreis, also ein negativer Eingangswiderstandsteil. Die Wirkung der Katodeninduktivität überwiegt jedoch bei weitem (wenn nicht bewußt eine Schirmgitterinduktivität außen hinzugefügt wird), so daß die Gesamtwirkung der Induktivitäten immer eine Verkleinerung des Röhreingangswiderstandes hervorruft.

Aus der Formel [3] kann man zwei wichtige Regeln ableiten:

1. Die Kleinhaltung der Katodeninduktivität ist um so wichtiger, je steiler eine UKW-Röhre ist. (Deshalb ist z. B. bei der steilen UKW-Röhre EF 80 die Katode zweimal herausgeführt, d. h., das eine — untere — Ende der Katode ist durch zwei an der Katode parallel geschaltete Drähte mit zwei verschiedenen Sockelstiften verbunden.)
2. Der durch die Zuleitungsinduktivität hervorgerufene Anteil des Eingangswiderstandes  $r_{ez}$  ist proportional dem Quadrat der Wellenlänge.

### Größe des Anteils $r_{ez}$ und $r_{el}$ vom Gesamteingangswiderstand $r_e$

Für Grenzempfindlichkeitsbetrachtungen ist es u. U. wichtig, den Anteil  $r_{el}$ , der durch Laufzeiteffekt hervorgerufen wird, zu kennen. Dieser Laufzeitanteil rauscht nämlich nicht mit

Zimmertemperatur, sondern mit der 1,4-fachen Katodentemperatur, d. h. mit etwa 1400°K. Der Anteil  $r_{ez}$  dagegen rauscht praktisch überhaupt nicht. Die Formel [3] läßt eine Abschätzung der Größe  $r_{ez}$  zu, wenn die Größe der Katodeninduktivität annähernd festgestellt werden kann. (Für die RV 12 P 2000 ergibt sich z. B. eine Induktivität von etwa 20 cm =  $2 \cdot 10^{-8}$  H, für 6 AK 5 ca.  $5 \cdot 10^{-9}$  H. Allgemein für Miniaturröhren  $5 \dots 10 \cdot 10^{-9}$  H, für Metallröhren  $12 \dots 16 \cdot 10^{-9}$  H laut RCA-Angaben.)

Als Regel für den Anteil  $r_{el}$  gilt:

bei Röhren mit normaler Steilheit ( $\leq 3$  mA/V)

$$r_{el} \text{ ca. } 1,25 \cdot r_e$$

bei Röhren mit großer Steilheit ( $\geq 3$  mA/V)

$$r_{el} \text{ ca. } 3 \dots 5 \cdot r_e$$

Das durch den Eingangswiderstand hervorgerufene Rauschen ist im äquivalenten Rauschwiderstand nicht mit enthalten, da dieser für kurzgeschlossenen Eingang definiert ist, und muß gesondert berücksichtigt werden.

### Größe des gesamten Eingangswiderstandes $r_e$

Die bedämpfenden Wirkungen der Anteile  $r_{el}$  und  $r_{ez}$  addieren sich und ergeben so den gesamten Eingangswiderstand:

$$r_e = \frac{r_{el} \cdot r_{ez}}{r_{el} + r_{ez}}$$

Nur der Gesamt-widerstand  $r_e$  ist der Messung zugänglich,  $r_{el}$  und  $r_{ez}$  lassen sich meßtechnisch nicht trennen, weil beide die gleiche quadratische Frequenzabhängigkeit aufweisen.

Auch der Gesamt-Eingangswiderstand  $r_e$  wächst also mit dem Quadrat der Wellenlänge. Von der Steilheit ist der Eingangswiderstand linear abhängig, er nimmt mit wachsender Steilheit ab. Die übrigen Einflüsse (Elektrodenabstände usw.) kann man in einem für jeden Röhrentyp charakteristischen Faktor K zusammenfassen, so daß sich für die Berechnung des Eingangswiderstandes die Formel ergibt:

$$r_{e(k\Omega)} = \frac{K \cdot \lambda^2(m)}{S(mA/V)} \quad (4)$$

Der Wert K ist im Kennlinienfeld der Röhre annähernd konstant. Ist der  $r_e$ -Wert für eine bestimmte Röhre (bei gegebener Wellenlänge wird der Wert in den Röhrenkennblättern auf den normalen Arbeitspunkt bezogen) gegeben, so errechnet sich der Faktor K zu:

$$K = \frac{r_{e(k\Omega)} S(mA/V)}{\lambda^2(m)} \quad (5)$$

Dieser Faktor K gibt ein Maß für die Brauchbarkeit der Röhre in UKW-Schaltungen. Tabelle 1 bringt eine Zusammenstellung des Faktors K und der Eingangswiderstände bei verschiedenen Frequenzen für die Steilheit im Arbeitspunkt. Die K-Werte sind unter Zugrundelegung des normalen Arbeitspunktes errechnet. An Hand dieser Tabelle und mit Hilfe von Formel (4) kann man also für beliebige Arbeitspunkte den Eingangswiderstand errechnen. Mit Hilfe der Kurvenschar in Bild 3 kann man die Frequenzabhängigkeit des Eingangswiderstandes für eine Anzahl gebräuchlicher Röhren direkt ablesen. Die Werte gelten für die Steilheit im normalen Arbeitspunkt.

Wenn man bei einer Pentode an die Stelle des Schirmgitters eine massive Anode setzen würde (es entsteht dann eine Triode), so erhält man einen um den Faktor 2 bis 3 höheren Eingangswiderstand. Das beruht offenbar darauf, daß in einer Pentode die Elektronen während einer längeren Flugzeit Ladungen auf dem Steuergitter influenzieren, als dies bei einer Triode der Fall ist.

### Einfluß des Eingangswiderstandes auf die Stufenverstärkung bei UKW

Folgen in einem Verstärker zwei oder mehr Röhren aufeinander, so ist das Verhältnis der Gitterwechselspannung  $u_{g2}$  der zweiten (n-ten) Röhre zu der Gitterwechselspannung  $u_{g1}$  der vorhergehenden (n-1ten) Röhre als Stufenverstärkung  $V_{st}$  definiert (Bild 4). Bei nicht unendlich hohem Eingangswiderstand der Röhren ist die Stufenverstärkung nicht gleich der herkömmlich definierten Verstärkung  $(\frac{u_a}{u_g})$ , sondern kleiner.

Die Parallelschaltung  $R_p$  von Außenwiderstand und Innenwiderstand der Röhre ist mit dem Eingangswiderstand der folgenden Röhre belastet. Für maximale Verstärkung muß dieser Eingangswiderstand an den resultierenden Außenwiderstand  $R_p$  angepaßt werden (Bild 4). Bei Anpassung von  $r_e$  wird  $R_p$  halbiert, ferner wird die Spannung am Gitter im Verhältnis  $\sqrt{2}$  untersetzt. Die Stufenverstärkung ist

$$V_{st} = S \cdot \frac{R_p/2}{\bar{u}}$$

Tabelle 1

Faktor K und Eingangswiderstände für gebräuchliche Röhrentypen im UKW-Bereich

Röhrentyp	K	Eingangswiderstand $r_e$ bei normaler Steilheit (k $\Omega$ )					
		bei 200 MHz (1,5 m)	bei 150 MHz (2 m)	bei 100 MHz (3 m)	bei 50 MHz (6 m)	bei 30 MHz (10 m)	
AF 7	0,23	0,25	0,45	1	4	11	Pentodenteil
AF 100	0,6	0,13	0,23	0,54	2,2	6	
AL 4	0,06	—	—	—	—	0,67	
CF 1	0,115	0,11	0,2	0,45	1,8	5	
ECF 12	0,8	0,9	1,6	3,6	14,5	40	
EF 12	0,76	0,8	1,45	3,2	13	36	
EF 14	0,4	0,13	0,23	0,54	2,2	6	
EF 15	0,37	0,15	0,27	0,6	2,4	6,7	
EF 42	1,32	0,3	0,55	1,25	5	14	
EF 50	0,72	0,25	0,45	1	4	11	
EFF 50	3,1	0,7	1,24	2,8	11	31	
EF 80	2,4	0,75	1,33	3	12	33	
EF 85	2,2	0,87	1,55	3,5	14	39	
EF 91	1,5	0,44	0,78	1,75	7	20	
LV 1	0,85	0,2	0,36	0,8	3,2	8,5	
LV 2	3,6	3,7	6,5	15	60	160	
LV 4	2,9	0,77	1,4	3	12	34	
RD 12 Pb	1,04	0,9	1,6	3,6	14,5	40	
RV 2 P 800	0,35	0,8	1,4	3,1	12,5	35	
RV 2,4 P 700	1	2,25	4	9	36	100	
RV 2,4 P 701	1,4	3,15	5,6	12,5	50	150	
RV 2,4 P 1400	0,5	0,34	0,6	1,35	5,5	15	
RV 12 P 2000	1,2	1,8	3,2	7,2	29	80	
RV 12 P 2001	1,7	2,7	4,8	11	44	120	
RV 12 P 3000	0,6	0,13	0,23	0,50	2,0	5,7	
RV 12 P 4000	0,34	0,33	0,6	1,3	5,3	15	
UF 42	0,9	0,24	0,43	0,95	3,8	11	
6 AB 7	0,65	0,31	0,55	1,25	5	14	
6 AC 7	0,54	0,13	0,23	0,54	2,2	6	
6 AG 5	1,9	0,85	1,5	3,4	13,7	38	
6 AH 6	1,67	0,38	0,67	1,5	6	17	
6 AK 5	4,55	2	3,5	8	32	90	
6 AU 6	0,98	0,43	0,75	1,7	6,8	19	
6 BA 6	0,83	0,43	0,75	1,7	6,8	19	
6 SG 7	0,915	0,41	0,73	1,65	6,6	18	
6 SH 7	0,98	0,4	0,71	1,6	6,4	17,5	
6 SJ 7	0,317	0,48	0,85	1,9	7,6	21	
6 SK 7	0,445	0,5	0,9	2	8	22	
9001	2,7	4	7,2	16,2	65	180	
9003	3,2	3,8	6,7	15,1	60	166	
ECC 81	3	1,1	2	4,5	18	50	
LV 2	4,35	3,6	6,4	14,5	58	160	
RV 12 P 2000	1,54	1,7	3,1	7	28	77	
6 AK 5	5,9	2	3,5	8	32	90	
6 J 6	2,85	1,2	2,1	4,8	20	54	
12 AT 7	=	ECC 81					

$\bar{u}$  wird bei Anpassung  $\bar{u} = \sqrt{\frac{R_p}{r_e}}$

und damit wird

$$V_{st} = \frac{S}{\sqrt{2}} \sqrt{R_p \cdot r_e} \quad (6)$$

Die Stufenverstärkung wird also mit der Wurzel aus der Vergrößerung von  $r_e$  größer. Wenn  $r_e$  infolge höherer Frequenz mit  $1/f^2$  abnimmt, so nimmt die Stufenverstärkung nur mit  $1/f$  ab. Die frequenzabhängige Größe  $\frac{S}{\sqrt{2}} \sqrt{r_e}$

ist ein Maß für die Stufenverstärkung einer Röhre. Je höher der Wert, um so besser ist sie zur UKW-Verstärkung geeignet. Eine Zusammenstellung für gebräuchliche Röhren bringt Tabelle 2. Bei bekanntem Wert  $R_p$  braucht der Wert in der Tabelle nur mit der Wurzel aus  $R_p$  multipliziert zu werden, um die Stufenverstärkung zu erhalten.

Also  $V_{st} = \frac{S}{\sqrt{2}} \sqrt{r_e} \cdot \sqrt{R_p}$

z. B. EF 80, 100 MHz, Kreiswiderstand ( $R_p$ ) 5 k $\Omega$ .

$V_{st} = 6,2 \cdot 5 = 31$  fach.

Das gilt natürlich nur für die Frequenz, für die auch  $\frac{S}{\sqrt{2}} \sqrt{r_e}$  angegeben ist.

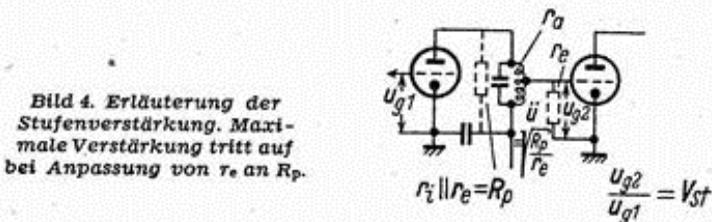


Bild 4. Erläuterung der Stufenverstärkung. Maximale Verstärkung tritt auf bei Anpassung von  $r_e$  an  $R_p$ .

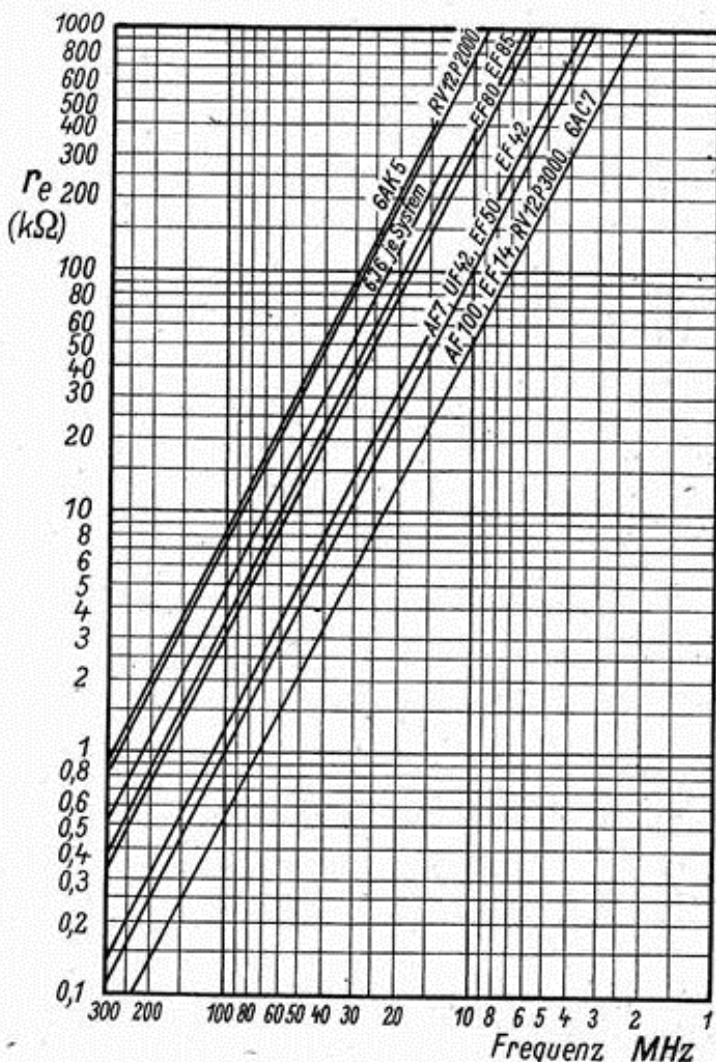


Bild 3. Eingangswiderstand einiger Röhren in Abhängigkeit von der Frequenz. Als Steilheit ist diejenige im normalen Arbeitspunkt zugrundegelegt.

Für die Eingangsschaltung (Antennenkreis) ist die Größe  $S\sqrt{r_e}$  ebenfalls von Bedeutung: Wenn die Kreisverluste zu vernachlässigen sind, dann wird die maximale Spannungsüberhöhung erzielt, wenn das Antennenübersetzungsverhältnis gleich der Wurzel aus dem Verhältnis von Röhreneingangswiderstand und Antennenwiderstand  $R_a$  ist ( $\ddot{u}_A = \sqrt{\frac{r_e}{R_a}}$ ), d. h. wenn der Antennenwiderstand auf den Röhreneingangswiderstand angepaßt wird. Die Gesamtverstärkung der Vor- röhre von Antenne zu Anode der Röhre ist damit proportional  $S\sqrt{r_e}$ .

### Der Einfluß des Eingangswiderstandes auf die Grenzempfindlichkeit

In denjenigen Frequenzgebieten, in denen das Außenrauschen (Antennenrauschen) klein wird gegen das Rauschen des Empfängers (Kreise und Röhren), ist das Verhältnis des

Eingangswiderstandes einer Röhrenschaltung zum äquivalenten Gitterrauschwiderstand  $r_a$  ein eindeutiges Maß für die Grenzempfindlichkeit eines Verstärkers. Bei UKW werden nun die Eingangswiderstände der Röhren so klein, daß sie (bei guten Kreisen) fast allein den gesamten Eingangswiderstand der Röhrenschaltung bestimmen. In diesem Bereich (UKW-Rundfunk und Fernsehen) ist also die Röhregröße  $\frac{r_e}{r_a}$  ein eindeutiges Maß für die mit dieser Röhre erzielbare Grenzempfindlichkeit. Wird die Eingangsstufe allein betrachtet, so ist die Grenzempfindlichkeit auch unabhängig von der Art der Schaltung; es ist also gleichgültig, ob die Röhre in Katodenbasis-Schaltung, Gitterbasis-Schaltung oder Anodenbasis-Schaltung verwendet wird. Auch das optimale Antennenübersetzungsverhältnis bleibt von der Art der Schaltung unberührt. Somit ist die Kenntnis des Wertes  $\frac{r_e}{r_a}$  sehr wichtig für die Beurteilung der Röhre als UKW-Vorstufenverstärker. Eine Zusammenstellung der  $\frac{r_e}{r_a}$ -Werte bei 100 MHz für gebräuchliche Röhrentypen bringt die Tabelle 3.

Tabelle 2

Steilheit und  $\frac{S}{2}\sqrt{r_e}$  (Maß für die Stufenverstärkung) für eine Anzahl gebräuchlicher Röhren

Röhrentyp	Steilheit S (mA/V)	$\frac{S}{2}\sqrt{r_e}$ bei einer Frequenz von:					
		200 MHz (1,5 m)	150 MHz (2 m)	100 MHz (3 m)	50 MHz (6 m)	30 MHz (10 m)	
AF 7	2,1	0,5	0,7	1	2,1	3,5	Pentodenteil
AF 100	10,5	1,9	2,5	3,9	7,4	13	
AL 4	9	—	—	—	—	3,7	
CF 1	2,3	0,38	0,5	0,8	1,6	2,6	
ECF 12	2	0,95	1,3	1,9	3,8	6,3	
EF 12	2,1	0,95	1,3	1,9	3,8	6,3	
EF 14	7	1,25	1,7	2,6	5,2	8,6	
EF 15	5,5	1	1,4	2,1	4,3	7,1	
EF 42	9,5	2,6	3,5	5,3	11	18	
EF 50	6,5	1,6	2,2	3,2	6,5	11	
EFF 50	10	4,2	5,5	8,4	16,5	28	
EF 80	7,2	3,1	4,1	6,2	12,5	21	
EF 85	5,7	2,7	3,5	5,3	10,5	18	
EF 91	7,7	2,55	3,4	5,1	10	17	
LV 1	9,5	2,1	2,85	4,3	8,5	14	
LV 2	2,2	2,1	2,8	4,25	8,5	14	
LV 4	8,5	3,7	5	7,4	15	25	
RD 12 P 6	2,6	1,2	1,65	2,5	5	8	
RV 2 P 800	1	0,45	0,6	0,9	1,8	3	
RV 2,4 P 700	1	0,75	1	1,5	3	5	
RV 2,4 P 701	0,9	0,8	1,05	1,6	3,2	5,5	
RV 2,4 P 1400	3,3	0,95	1,3	1,9	3,9	6,4	
RV 12 P 2000	1,5	1	1,35	2	4	6,7	
RV 12 P 2001	1,4	1,15	1,5	2,3	4,6	7,7	
RV 12 P 3000	10	1,8	2,4	3,5	7,1	12	
RV 12 P 4000	2,3	0,65	0,9	1,3	2,6	4,5	
UF 42	8,5	2,1	2,8	4,1	8,3	14	
6 AB 7	4,7	1,3	1,75	2,6	5,25	8,8	
6 AC 7	9	1,6	2,2	3,3	6,7	11	
6 AG 5	5	2,3	3,1	4,6	9,2	15	
6 AH 6	10	3,1	4,1	6,1	12	20	
6 AK 5	5,1	3,6	4,8	7,2	14,5	24	
6 AU 6	5,2	1,7	2,25	3,4	6,8	11,3	
6 SG 7	5	1,6	2,15	3,2	6,4	10,6	
6 SH 7	5,5	1,75	2,3	3,5	7	11,5	
6 SJ 7	1,5	0,52	0,69	1,03	2,05	3,4	
6 SK 7	2	0,7	0,95	1,4	2,8	4,7	
9001	1,5	1,5	2	3	6	10	
9003	1,9	1,85	2,45	3,7	7,35	12,2	
ECC 81	6	3,15	4,25	6,4	13	21	
LV 2	2,7	2,55	3,4	5,1	10,3	17	
RV 12 P 2000	2	1,3	1,75	2,6	5,3	8,8	
6 AK 5	6,7	4,7	6,3	9,5	19	32	
6 J 6	5,3	2,9	3,8	5,8	12	19,5	
12 AT 7	= ECC 81						

### Literatur

1. Telefunkenröhre, Heft 9 (April 1937), Seite 33—65, H. Rothe: Das Verhalten von Elektronenröhren bei hohen Frequenzen.
2. F. E. Termann, Radio Engineers Handbook, McGraw-Hill Book Company, New York 1943.
3. Deketh: Grundlagen der Röhrentechnik, 1. Band, 3. Auflage, 1945, (Philips Technische Bibliothek).
4. Strutt: Moderne Mehrgitter-Elektronenröhren, II: Band, Springer, Berlin 1938.

Tabelle 3

$\frac{r_e}{r_a}$ -Werte (Maß für die erzielbare UKW-Grenzempfindlichkeit) für gebräuchliche Röhrentypen

Röhrentyp	$\frac{r_e}{r_a}$ bei 100 MHz (3 m)	$r_a$ (kΩ)	
AF 7	0,2	5	Pentodenteil
AF 100	1,08	0,5	
ECF 12	1,44	2,5	
EF 12	0,58	5,5	
EF 14	0,64	0,85	
EF 15	0,4	1,5	
EF 42	1,67	0,75	
EF 50	0,71	1,4	
EFF 50	4,65	0,6	
EF 80	3	1	
EF 85	2,3	1,5	
EF 91	1,45	1,2	
LV 1	1	0,8	
LV 2	4,3	3,5	
LV 4	3,33	0,9	
RD 12 P b	1,2	3	
RV 2 P 800	0,28	11	
RV 2,4 P 700	1,12	8	
RV 2,4 P 701	1,14	11	
RV 2,4 P 1400	0,68	2	
RV 12 P 2000	1,6	4,5	
RV 12 P 2001	1,57	7	
RV 12 P 3000	0,62	0,8	
RV 12 P 4000	0,32	4	
UF 42	1	0,94	
6 AC 7	0,83	0,65	
6 AG 5	1,8	1,9	
6 AK 5	4,2	1,9	
6 AU 6	0,63	2,7	
6 BA 6	0,45	3,8	
ECC 81	9	0,5	
LV 2	15,5	0,93	
RV 12 P 2000	5,6	1,25	
6 AK 5	21	0,38	
6 J 6	10	0,47	
12 AT 7	= ECC 81		