

# EL 50 Verstärkerpenthode für N.F.-Gegentaktendstufen

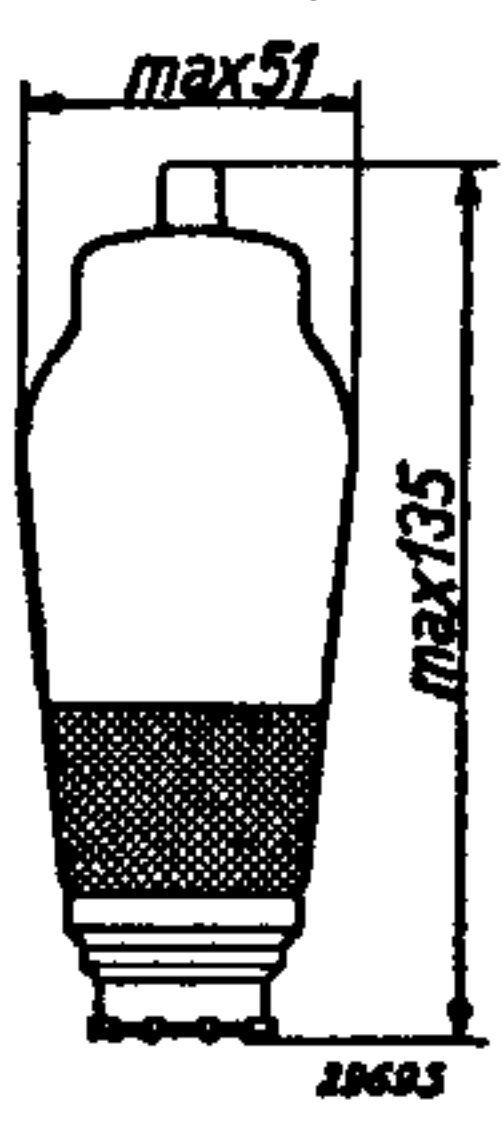


Abb. 1  
Abmessungen  
in mm.

Die EL 50 ist eine Verstärkerpenthode mit einer höchsten Anodenverlustleistung von 18 Watt. Sie ist speziell für Verwendung in Gegentaktendstufen entwickelt. Mit zwei dieser Röhren in Klasse-A/B-Gegentaktschaltung läßt sich bei einer höchsten Anodenspannung von 800 V eine Nutzleistung von 84 W erzielen.

Der oben ausgeführte Anodenanschluß ermöglicht die Verwendung einer derartig hohen Anodenspannung, ohne daß man dafür besondere Maßnahmen zu treffen braucht. Außerdem macht die Gestalt der  $I_a/V_g$ -Kurve die EL 50 für elektrische Abweichungen zwischen den beiden für die Gegentaktstufe erforderlichen Röhren ziemlich unempfindlich.

Genau wie die 4654, kann die EL 50 auch bei einer Speisespannung von 425 V ( $V_a = 400$  V,  $V_{g_3} = 425$  V) verwendet werden. Die höchst erreichbare Nutzleistung bei automatischer Gittervorspannung beträgt dann 50 W.

Wir geben zunächst die elektrischen Kenn- und Betriebsdaten der Penthode EL 50.

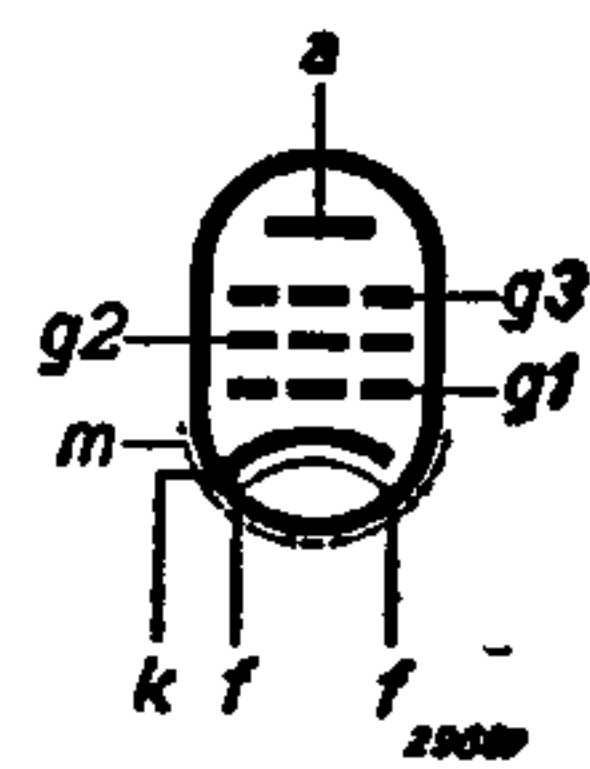
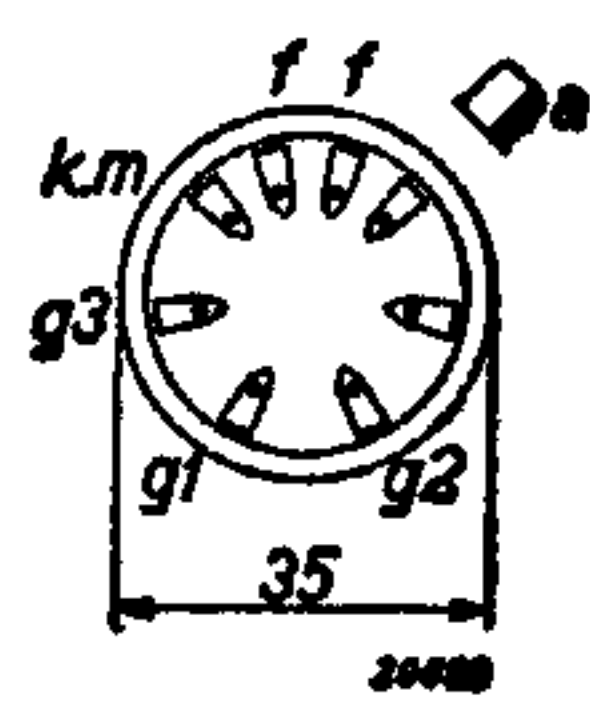
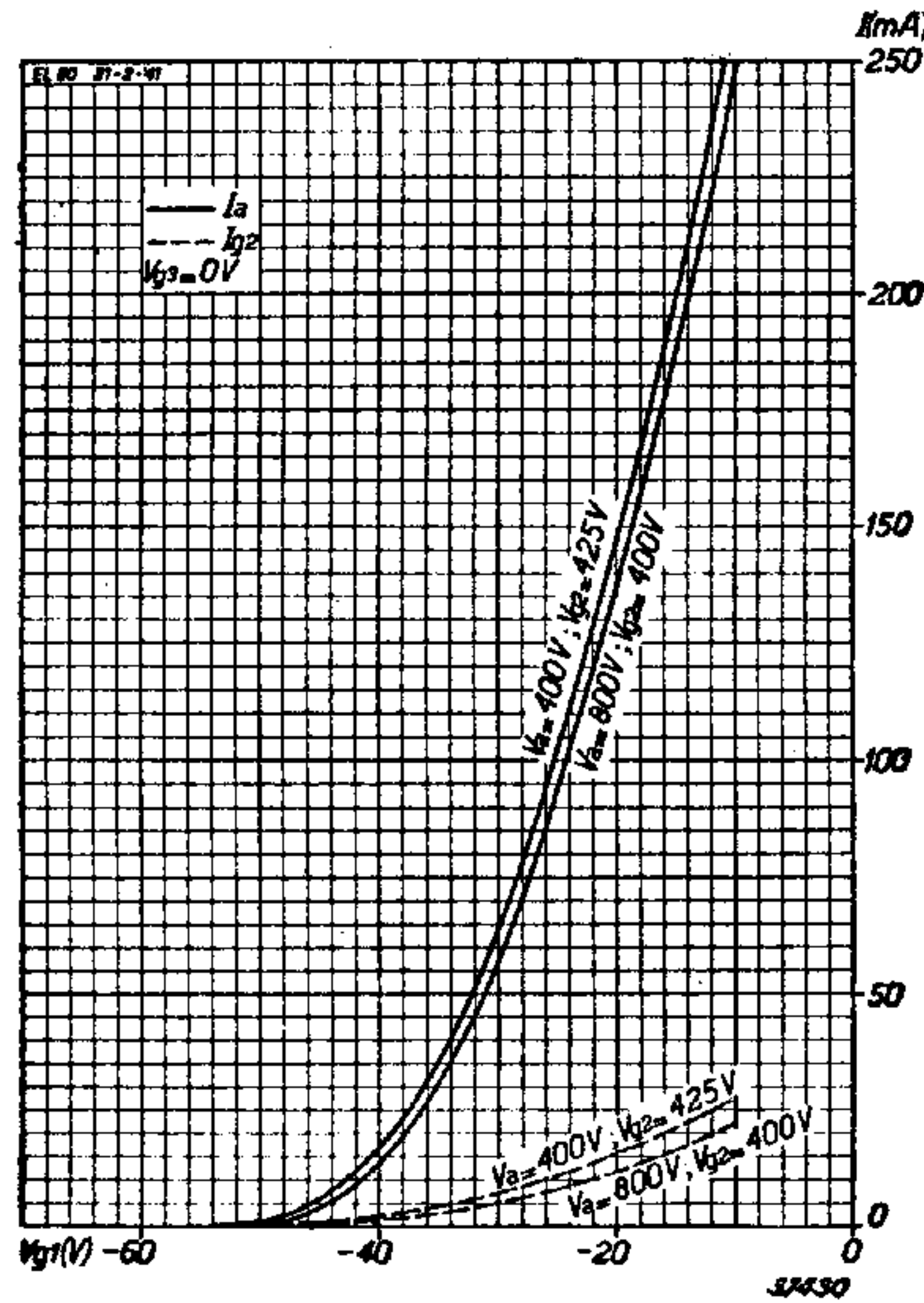


Abb. 5  
Elektrodenanordnung  
und Sockelanschlüsse.



## HEIZDATEN

Heizung: indirekt, durch Wechselstrom;  
Parallelspeisung.  
Heizspannung . . . . .  $V_f = 6,3$  V  
Heizstrom . . . . .  $I_f = 1,35$  A

## KAPAZITÄTEN

Anoden-Gitterkapazität.  $C_{ag1} < 0,8 \mu\mu\text{F}$

Abb. 3  
Anodenstrom und Schirmgitterstrom als Funktion der negativen Gittervorspannung der EL 50, bei  $V_a = 400$  V,  $V_{g_3} = 425$  V und bei  $V_a = 800$  V,  $V_{g_3} = 400$  V.

KENNDATEN

Anodenspannung . . . . .	$V_a$	= 400 V	800 V
Schirmgitterspannung . . . . .	$V_{g2}$	= 425 V	400 V
Fanggitterspannung . . . . .	$V_{g3}$	= 0 V	0 V
Anodenstrom . . . . .	$I_a$	= 45 mA	22,5 mA
Schirmgitterstrom . . . . .	$I_{g2}$	= 5,5 mA	2,5 mA
Neg. Gittervorspannung . . . . .	$V_{g1}$	= -33 V	-37 V
Steilheit . . . . .	$S$	= 6 mA/V	4 mA/V
Innenwiderstand . . . . .	$R_i$	= 30 000 $\Omega$	50 000 $\Omega$

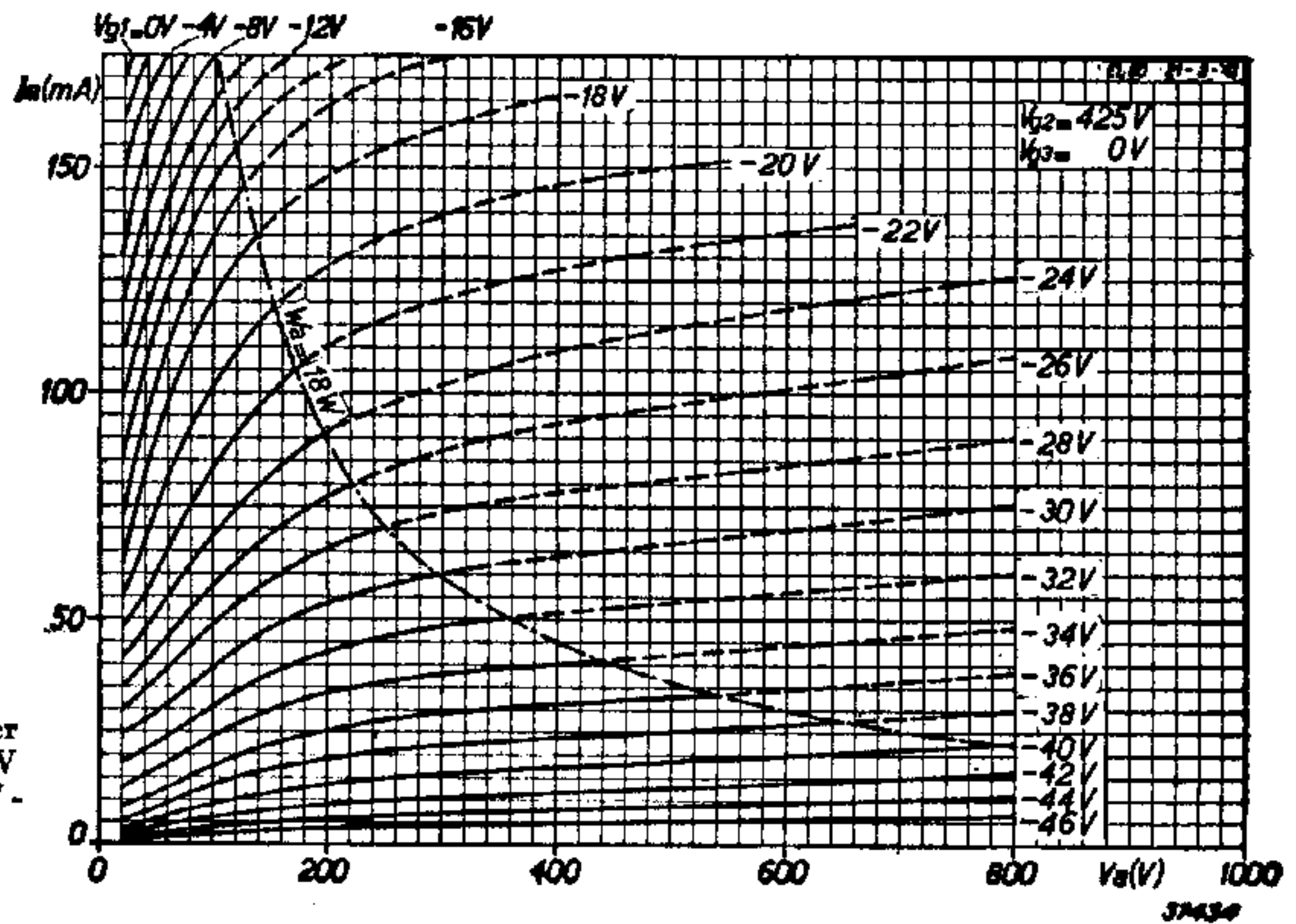


Abb. 4  
Anodenstrom als Funktion der Anodenspannung, bei  $V_{g2} = 425 \text{ V}$  und  $V_{g1}$  als Parameter (400-V-Einstellung).

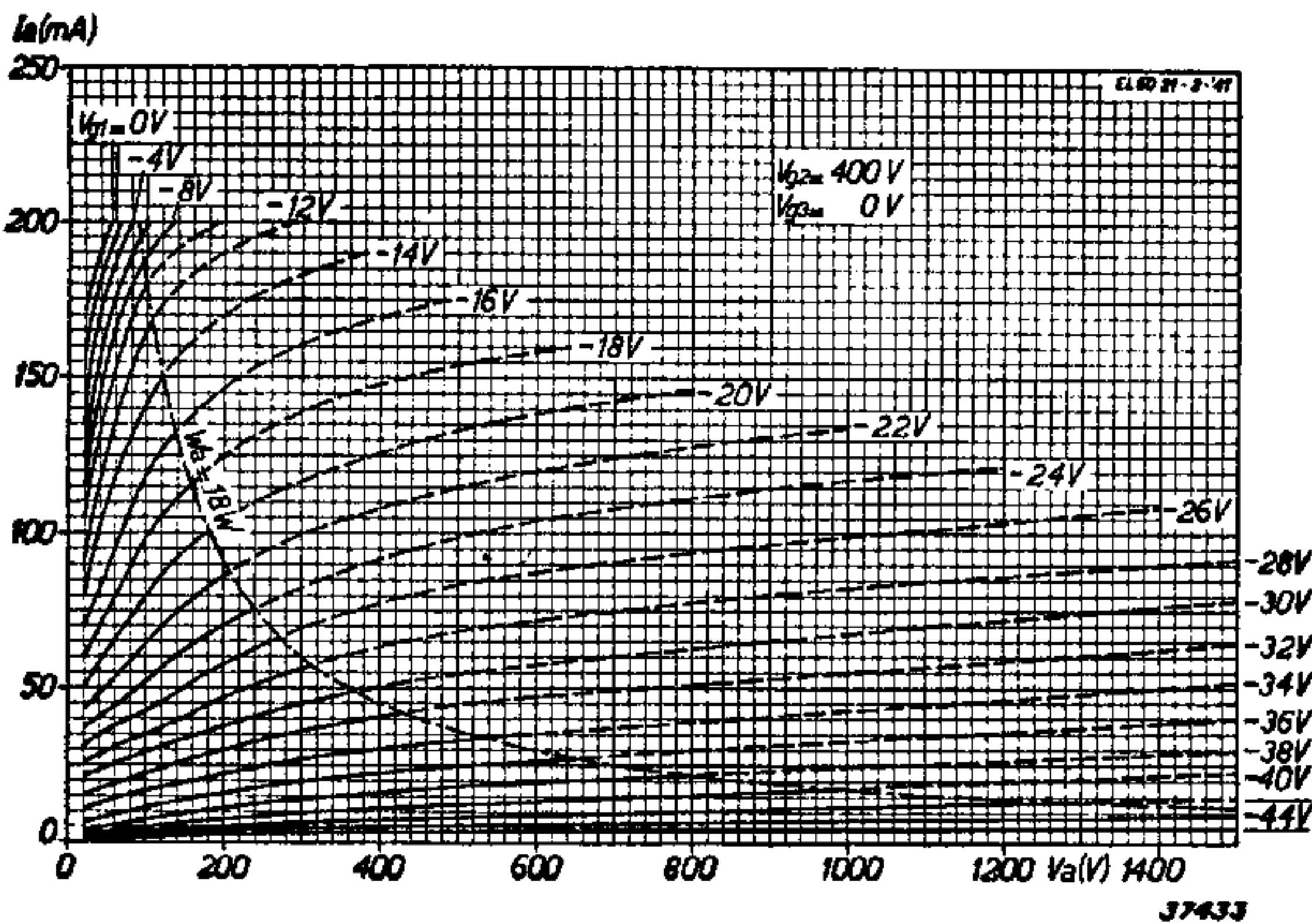


Abb. 5  
Anodenstrom als Funktion der Anodenspannung, bei  $V_{g2} = 400 \text{ V}$  und  $V_{g1}$  als Parameter (800-V-Einstellung).

## BETRIEBSDATEN für zwei Röhren EL 50 in Klasse-A/B-Einstellung mit automatischer negativer Gittervorspannung

Anodenspannung . . . . .	$V_a$	= 400 V
Schirmgitterspannung . . . . .	$V_{g2}$	= 425 V
Fanggitterspannung . . . . .	$V_{g3}$	= 0 V
Kathodenwiderstand . . . . .	$R_k$	= 315 $\Omega$
Anode-Ruhestrom . . . . .	$I_{a0} (V_{g1eff}=0)$	= 2 $\times$ 45 mA
Anodenstrom bei voller Aussteuerung . . . . .	$I_a (W_o=max)$	= 2 $\times$ 52,5 mA
Schirmgitter-Ruhestrom . . . . .	$I_{g20} (V_{k1eff}=0)$	= 2 $\times$ 5,5 mA
Schirmgitterstrom bei voller Aussteuerung . . . . .	$I_{g2} (W_o=max)$	= 2 $\times$ 19 mA
Günstigste Anodenbelastung zwischen den beiden Anoden . . . . .	$R_{aa'}$	= 9000 $\Omega$
Höchste Ausgangsleistung . . . . .	$W_{o max}$	= 30 W
Gesamtverzerrung . . . . .	$d_{tot}$	= 10%
Gitterwechselspannungsbedarf . . . . .	$V_{g1eff}$	= 25 V

## BETRIEBSDATEN für zwei Röhren EL 50 in Klasse-A/B-Einstellung mit fester negativer Gittervorspannung

Anodenspannung . . . . .	$V_a$	= 400 V	800 V
Schirmgitterspannung . . . . .	$V_{g2}$	= 425 V	400 V
Fanggitterspannung . . . . .	$V_{g3}$	= 0 V	0 V
Neg. Gittervorspannung . . . . .	$V_{g1}$	= -35 V	-37,5 V
Anode-Ruhestrom . . . . .	$I_{a0} (V_{g1eff}=0)$	= 2 $\times$ 25 mA	2 $\times$ 15 mA
Anodenstrom bei voller Aussteuerung . . . . .	$I_a (W_o=max)$	= 2 $\times$ 95 mA	2 $\times$ 70 mA
Schirmgitter-Ruhestrom . . . . .	$I_{g20} (V_{g1eff}=0)$	= 2 $\times$ 2,5 mA	2 $\times$ 1,25 mA
Schirmgitterstrom bei voller Aussteuerung . . . . .	$I_{g2} (W_o=max)$	= 2 $\times$ 22 mA	2 $\times$ 20 mA
Günstigste Anodenbelastung zwischen den beiden Anoden . . . . .	$R_{aa'}$	= 5000 $\Omega$	16 000 $\Omega$
Höchste Ausgangsleistung . . . . .	$W_{o max}$	= 50 W	84 W
Gesamtverzerrung . . . . .	$d_{tot}$	= 3,4%	6,6%
Gitterwechselspannungsbedarf . . . . .	$V_{g1eff}$	= 25 V	23 V

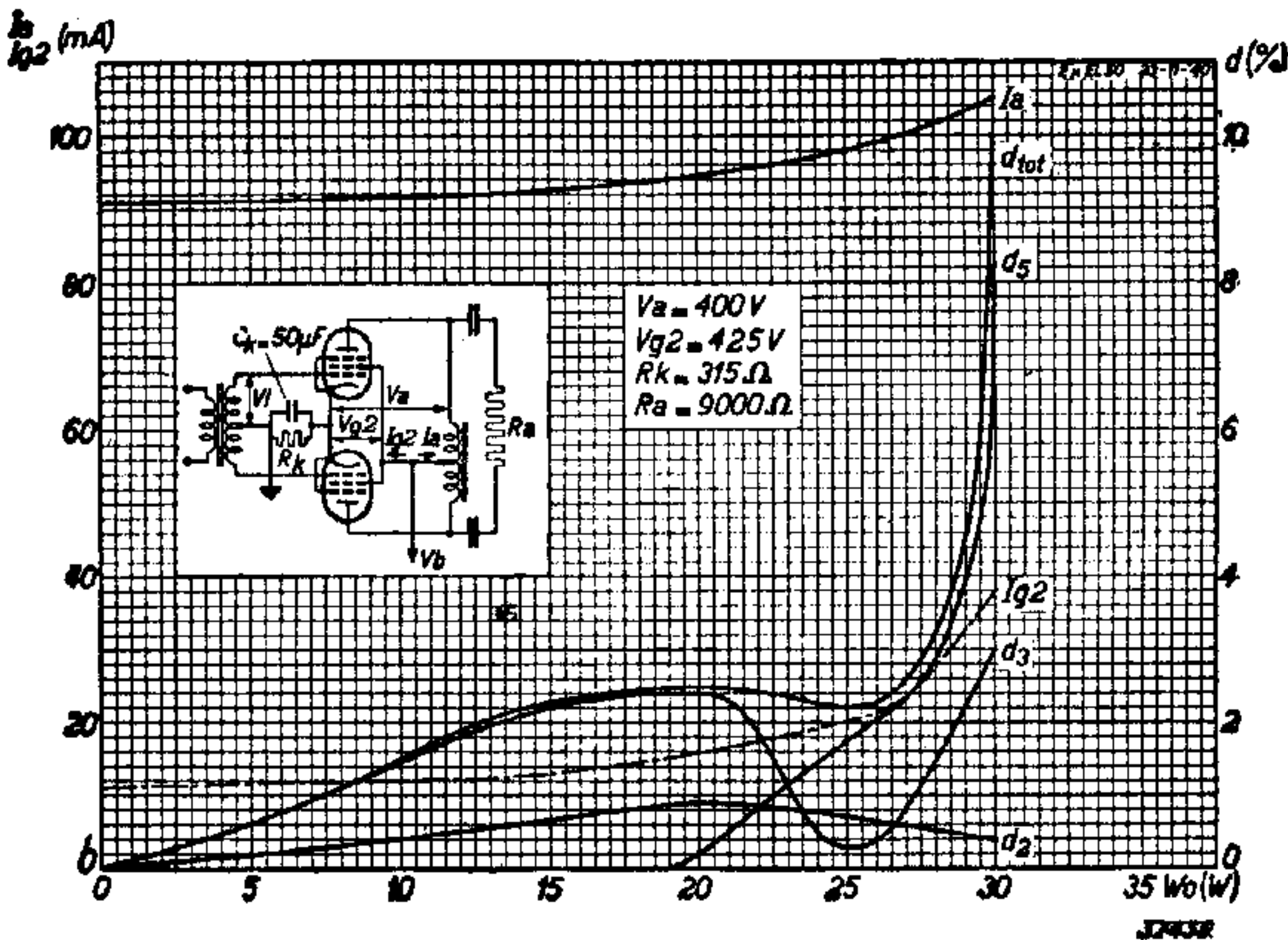


Abb. 6  
Anodenstrom  $I_a$ , Schirmgitterstrom  $I_{g2}$  und Verzerrung  $d$  als Funktion der Nutzleistung  $W_o$ , für zwei Röhren EL 50 in Gegentaktschaltung, mit automatischer negativer Gittervorspannung und bei  $V_a = 400$  V,  $V_{g2} = 425$  V und  $R_a = 9000 \Omega$ .



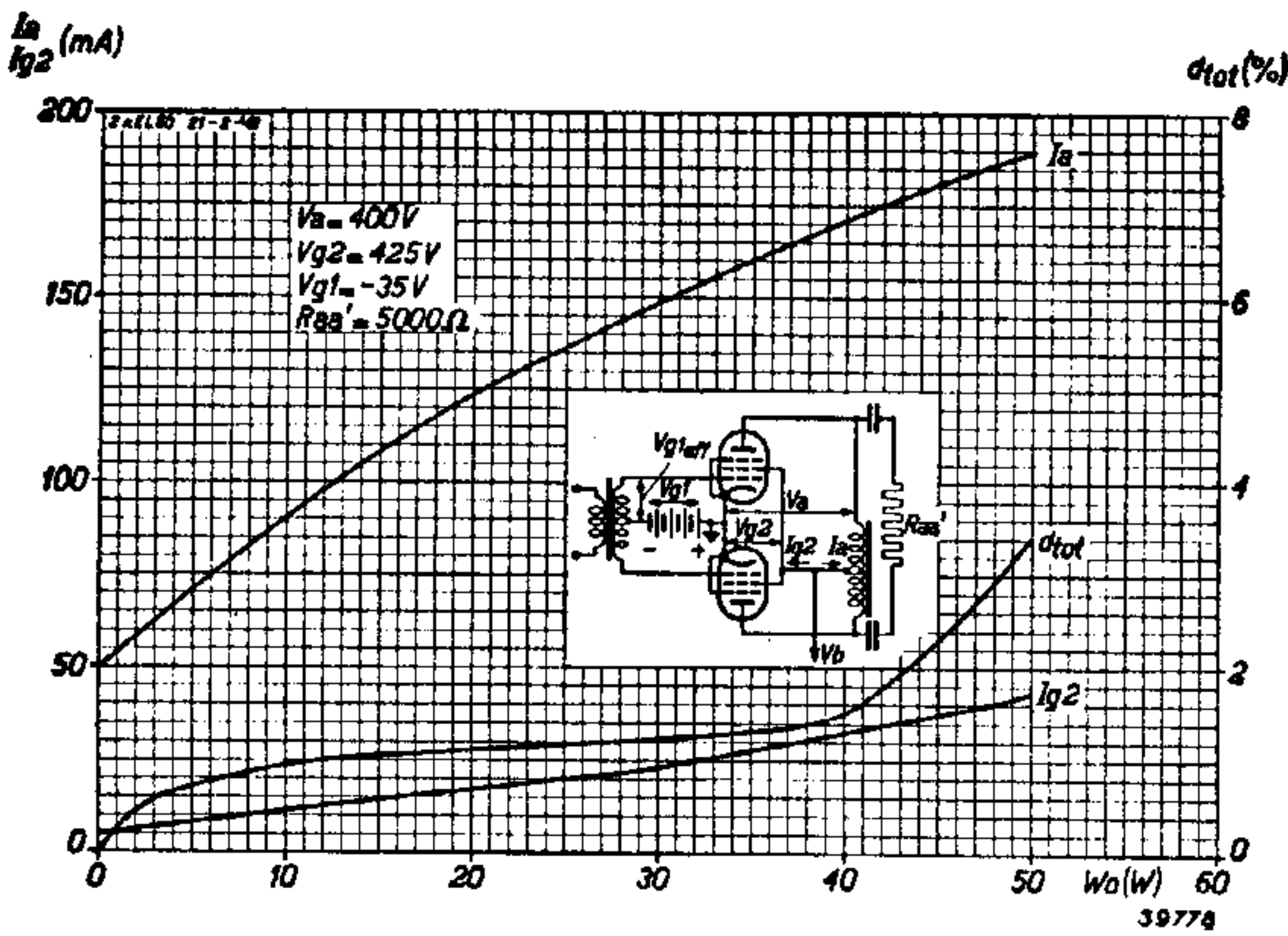


Abb. 7  
Anodenstrom  $I_a$ , Schirmgitterstrom  $I_{g2}$  und Gesamtverzerrung  $dt_{tot}$  als Funktion der Nutzleistung  $W_o$ , für zwei Röhren EL 50 in Gegentaktschaltung mit fester negativer Gittervorspannung und bei  $V_a = 400V$ ,  $V_{g2} = 425V$ ,  $V_{g1} = -35V$  und  $R_{aa'} = 5000\Omega$ .

Abb. 8  
Höchste Nutzleistung  $W_o$  als Funktion des Belastungswiderstandes  $R_{aa'}$ , für zwei Röhren EL 50 in Gegentaktschaltung mit fester negativer Gittervorspannung und bei  $V_a = 400V$ ,  $V_{g2} = 425V$  und  $V_{g1} = -35V$ . Die Strichlinie  $W_{o,max} (+I_{g1})$  stellt die Grenzkurve dar, bei der die Röhre gerade zum Auftreten des Gitterstromes ausgeregt wird. In dem Falle würde aber die höchste Anodenverlustleistung überschritten.

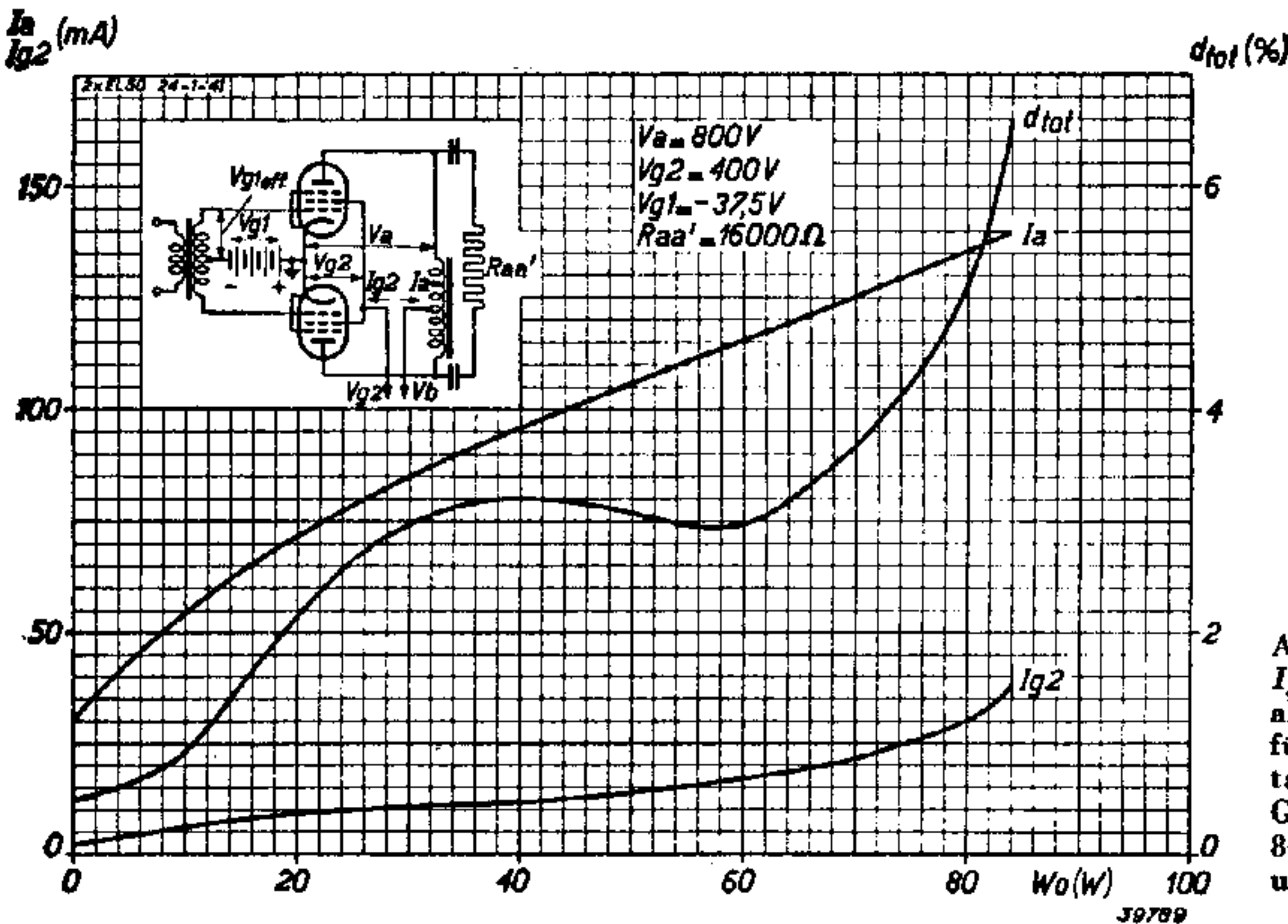
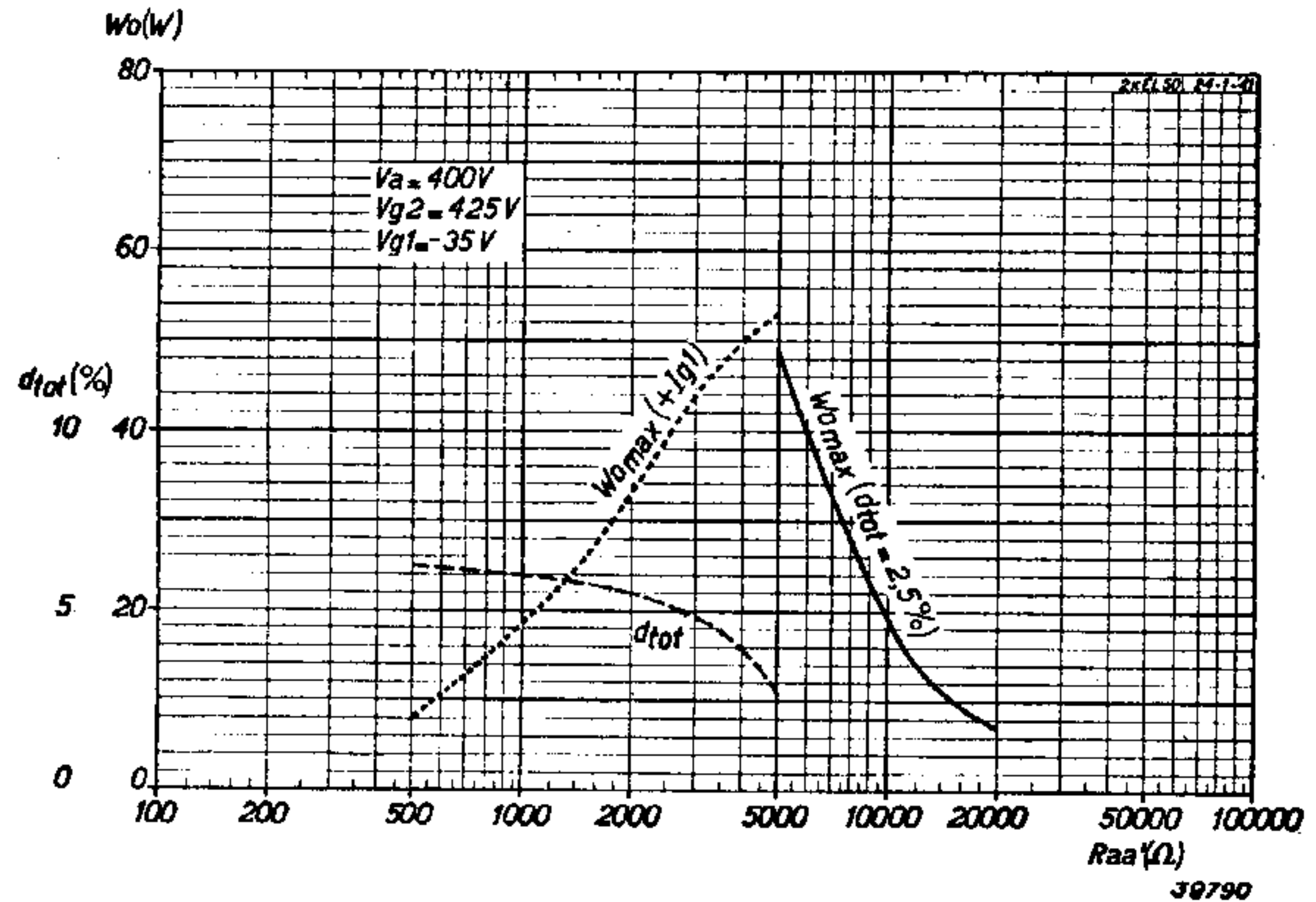


Abb. 9  
Anodenstrom  $I_a$ , Schirmgitterstrom  $I_{g2}$  und Gesamtverzerrung  $dt_{tot}$  als Funktion der Nutzleistung  $W_o$ , für zwei Röhren EL 50 in Gegentaktschaltung mit fester negativer Gittervorspannung und bei  $V_a = 800V$ ,  $V_{g2} = 400V$ ,  $V_{g1} = -37.5V$  und  $R_{aa'} = 16000\Omega$ .

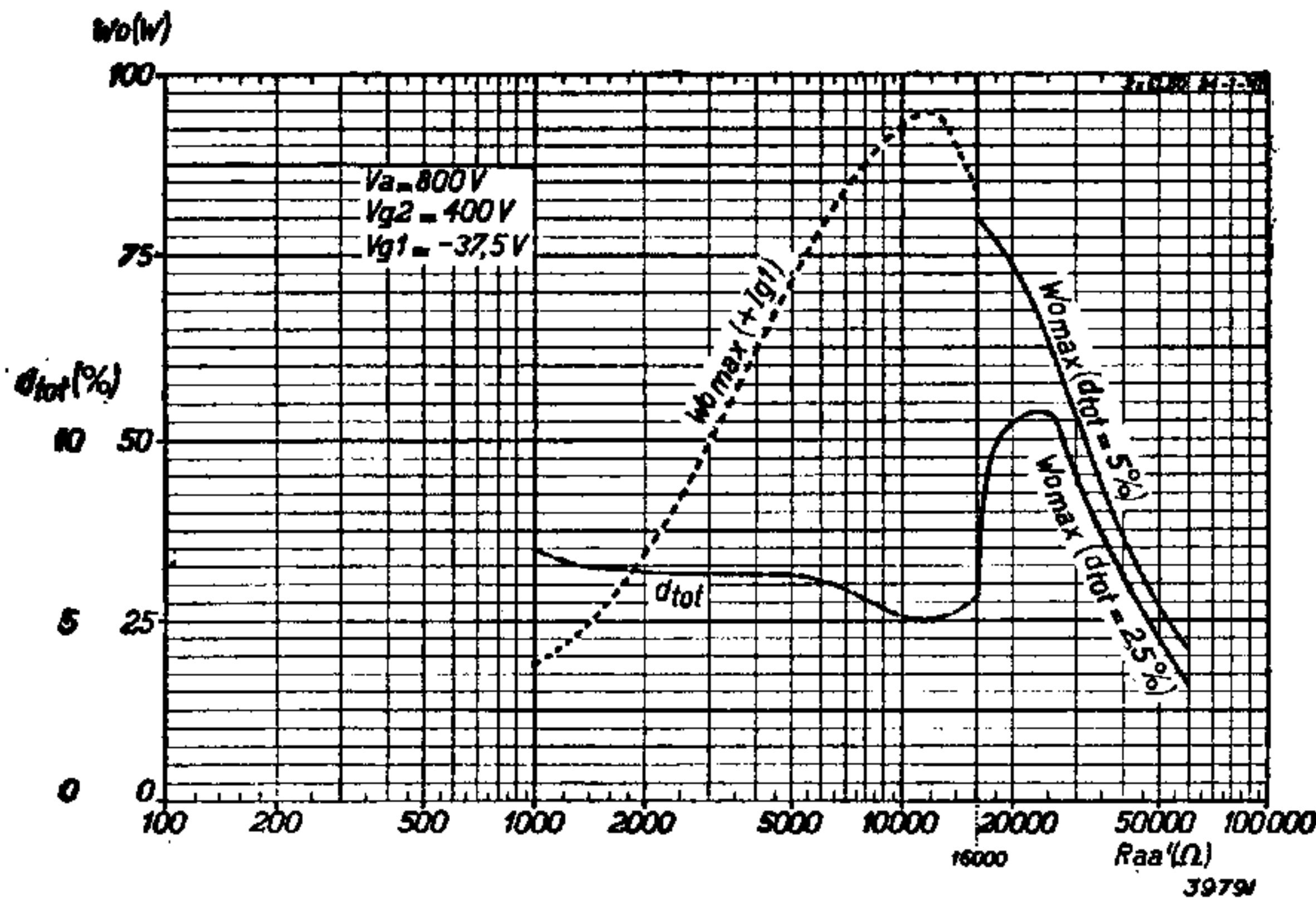


Abb. 10  
 Höchste Nutzleistung  $W_o$  als Funktion des Belastungswiderstandes  $R_{aa'}$  für zwei Röhren EL 50 in Gegentaktschaltung, mit fester negativer Gittervorspannung und bei  $V_a = 800\text{ V}$ ,  $V_{g_2} = 400\text{ V}$ ,  $V_{g_1} = -37,5\text{ V}$ . Die Strichlinie  $W_{omax} (+ I_{g_1})$  stellt die Grenzkurve dar, bei der die Röhre gerade zum Auftreten des Gitterstromes angesteuert wird. In dem Falle würde aber die höchste Anodenverlustleistung überschritten.

## GRENZDATEN

Anodenkaltspannung . . . . .	$V_{ao}$	=	max. 1600 V
Anodenspannung . . . . .	$V_a$	=	max. 800 V
Anodenverlustleistung . . . . .	$W_a$	=	max. 18 W
Anodenprüfleistung . . . . .	$W_{at}$	=	max. 22 W
Schirmgitterkaltspannung . . . . .	$V_{g2o}$	=	max. 1000 V
Schirmgitterspannung . . . . .	$V_{g2}$	=	max. 425 V
Schirmgitter-Verlustleistung ( $V_{g1eff} = 0\text{ V}$ )	$W_{g2}$	=	max. 3 W
Schirmgitter-Verlustleistung ( $W_o = \text{max.}$ )	$W_{g2}$	=	max. 10 W
Kathodenstrom . . . . .	$I_k$	=	max. 120 mA
Gitterstromeinsatzpunkt . $V_{g1}$ ( $I_{g1} = +0,3\ \mu\text{A}$ )		=	max. $-1,3\text{ V}$
Widerstand im Gitterkreis . . . . .	$R_{g1k}$	=	max. $0,7\text{ M}\Omega^1)$
Widerstand im Gitterkreis . . . . .	$R_{g1k}$	=	max. $0,5\text{ M}\Omega^2)$
Widerstand zwischen Heizfaden und Kathode . . . . .	$R_{fk}$	=	max. 5000 $\Omega$
Höchste Spannung zwischen Heizfaden und Kathode . . . . .	$V_{fk}$	=	max. 100 $\text{V}^3)$

1) Für automatische Gittervorspannung.  
 2) Für feste Gittervorspannung.  
 3) Gleichspannung oder Effektivwert der Wechselspannung.

## ANWENDUNG

Da diese Röhre praktisch nur in Gegentaktschaltungen verwendet wird, wollen wir die mit der EL 50 erreichbaren Ergebnisse nur in Schaltungen dieser Art behandeln.

Dabei wird zwischen Schaltungen mit fester negativer Gittervorspannung, die von einem gesonderten Gleichrichter geliefert wird, und Schaltungen mit automatischer Gittervorspannung unterschieden. Eine Schaltung letzterer Art braucht keinen gesonderten Gleichrichter, weist aber im allgemeinen den Nachteil einer niedrigeren höchst erreichbaren Nutzleistung auf als bei fester Vorspannung. Dieser Nachteil wiegt um so schwerer, je höher die Anodenspannung ist. Aus diesem Grunde wird man zur Erzielung sehr großer Leistungen, z.B. von 50 oder sogar 80 W, von der Verwendung einer automatischen Gittervorspannung absehen müssen. Dies erklärt sich wie folgt:

Der höhere Wirkungsgrad, also die größere Endleistung, wird bei der Gegentaktschaltung in der sog. Klasse-A/B-, oder noch günstiger in der Klasse-B-Einstellung erreicht. Die Röhren arbeiten in dieser Einstellung in der unteren Krümmung der  $I_a/V_g$ -Kurve, so daß

der mittlere Anodenstrom mit der Signalstärke zunimmt. Bei Verwendung automatischer Gittervorspannung mittels eines Kathodenwiderstandes nimmt diese Vorspannung also auch zu. Wollte man nun bei maximaler Endleistung die zugehörige Vorspannung nicht überschreiten, so müßte man bei einer Signalstärke gleich Null von einer Einstellung auf eine niedrigere Vorspannung ausgehen. Dann zeigt sich aber, daß der dabei auftretende Ruhestrom, der von der Größe des Kathodenwiderstandes abhängt, mit Hinsicht auf die maximale Anodenverlustleistung unzulässig hoch ist. Geht man andererseits von der zulässigen Einstellung bei einer Signalstärke gleich Null aus, so nimmt die Vorspannung gleichzeitig mit dem Signal derart zu, daß in dem Anodenstrom bereits Unterbrechungen entstehen, wenn die Röhren noch nicht voll angesteuert sind. Die höchst erreichbare Nutzleistung wird dann nicht durch das Auftreten von Gitterstrom beschränkt, sondern durch die Anodenstromverzerrung. Dieser Nachteil wird um so stärker empfunden, je niedriger man die Anfangseinstellung durch Verwendung höherer Anodenspannung wählt. Demzufolge kommt automatische Gittervorspannung bei höheren Anodenspannungen als 400 V praktisch nicht in Frage.

Gelangt automatische Gittervorspannung in der Gegentaktendstufe zur Verwendung, so ist die Anfangseinstellung bei Signalstärke gleich Null derartig zu wählen, daß die größte Anodenverlustleistung erreicht wird. Bei einer Anodenspannung von 400 V werden die beiden Röhren also in der Weise eingestellt, daß der Gesamtanodenstrom 90 mA beträgt. Die Röhren dürfen nun so weit angesteuert werden, daß die negative Gittervorspannung die zulässigen Grenzen nicht überschreitet.

Die Anodenstromamplituden sind viel kleiner als bei einer festen Vorspannung. Aus diesem Grunde läßt sich nun in den Anodenkreis ein größerer Belastungswiderstand schalten, ohne daß die Anodenspannung zu niedrig wird. Auf diese Weise wird die Nutzleistung nicht so stark herabgesetzt wie dies sonst der Fall wäre. Dabei wird, infolge des hohen Anodenwiderstandes, die dynamische Steilheit vermindert, weshalb man zur völligen Aussteuerung der Röhren bei automatischer Vorspannung fast den ganzen Gitterbereich benötigt. Bei einer Anodenspannung von 400 V mit fester negativer Gittervorspannung wird bei einem Anodenwiderstand von 5000  $\Omega$  eine Leistung von 50 W geliefert, bei automatischer Vorspannung und mit einem Anodenwiderstand von 9000  $\Omega$  30 W. In beiden Fällen beträgt die für die Aussteuerung erforderliche Gitterwechselspannung etwa 25 V.

### Automatische negative Gittervorspannung

Wählen wird die Anodenspannung nicht höher als 400 V, so ist es möglich, die Schirmgitterspannung unmittelbar dem Speisungsteil zu entnehmen. Die größte Schirmgitterspannung beträgt nämlich 425 V. Berücksichtigen wir einen Spannungsfall von 25 V im Lautsprechertransformator \*), so benötigen wir eine Gleichrichterschaltung, die imstande ist 425 V zu liefern.

In Abb. 6 sind für obige Werte die Verzerrung, der Anodenstrom und der Schirmgitterstrom als Funktion der Nutzleistung dargestellt. Außer der Gesamtverzerrung ist auch die Verzerrung zufolge der verschiedenen Harmonischen gemessen. Für die Nutzleistung ist jene Leistung genommen, die von den Röhren selbst geliefert wird. In der Praxis ist dieser Betrag also um die im Ausgangstransformator auftretenden Verluste zu verringern.

Aus den Kurven ist zu ersehen, daß die Verzerrung bis zu einer Leistung von etwa 27 W niedrig bleibt ( $d_{tot} = 2,6\%$ ). Über diesem Wert nimmt sie stark zu, und bei einer Nutzleistung von 30 W steigt sie bis zu etwa 10%.

Wie bereits erwähnt, wird der Endleistung von der negativen Gittervorspannung eine Grenze gesetzt. Aus Abb. 6 folgt, daß bei einer Endleistung von 30 W der mittlere Anodenstrom insgesamt 105 mA und der Schirmgitterstrom 38 mA betragen. Bei Verwendung eines Kathodenwiderstandes von 315  $\Omega$  wird also eine negative Gittervorspannung von 45 V erzeugt. Diese Spannung reicht zur Unterdrückung des Anodenstromes aus. Bei noch tieferer Aussteuerung der Röhren würde es Momente geben, in denen beide Röhren keinen Strom führen; der Lautsprecherstrom wird dann abwechselnd unterbrochen. Die starke

\*) Dieser Wert ist rund genommen und auf folgende Weise berechnet: der Anpassungswiderstand an der Primärseite des Lautsprechertransformators weist durchschnittlich eine Größenordnung von 10 000  $\Omega$  auf. Setzen wir die Verluste in der Wicklung des Transformators mit 10% der Endleistung ein, so kann der gesamte Verlustwiderstand 100  $\Omega$  betragen. Im allgemeinen verteilt man diesen Widerstand gleichmäßig über die primäre und die sekundäre Wicklung, wodurch also der Verlustwiderstand der Primärwicklung 500  $\Omega$  beträgt, was wenigstens einer Hälfte der Wicklung gleichkommt, da die beiden Transformatorhälften wechselweise Strom führen. Führt nun jede Röhre im Durchschnitt einen Strom von 50 mA, so entsteht in der Transformatorwicklung ein Spannungsabfall von 25 V.



Zunahme der 5. Harmonischen in Abb. 6 gibt bereits eine diesbezügliche Andeutung. Diese Art der Verzerrung ist sehr störend und beschränkt die erreichbare Endleistung in gleicher Weise wie das Auftreten von Gitterstrom.

## Feste negative Vorspannung

Die Verwendung fester negativer Gittervorspannung ergibt erst einen Vorteil, wenn die Anodenspannung wenigstens 400 V beträgt. Während bei dieser Anodenspannung und mit automatischer Vorspannung nach Abb. 6 eine Endleistung von 30 W erzielt werden kann, beträgt diese jetzt 50 W.

Die Daten für die Verwendung der Röhre EL 50 in Gegentakt A/B-Schaltung mit fester negativer Gittervorspannung sind auf Seite 184 wiedergegeben.

Für  $V_a=400$  V sind in Abb. 7 der Anoden- und der Schirmgitterstrom, sowie die Verzerrung als Funktion der Nutzleistung dargestellt. Die günstigste negative Gittervorspannung beläuft sich auf  $-35$  V; die optimale Anodenbelastung beträgt  $5000 \Omega$  von Anode zu Anode. Bei völliger Aussteuerung wird eine Endleistung von 50 W mit einer Gesamtverzerrung von 3,4% erhalten. Dabei steigt der Schirmgitterstrom zu einem Betrag an, der mit Hinsicht auf die Größe der Schirmgitterverlustleistung gerade noch zulässig ist. Der Zusammenhang der größten Endleistung mit dem Belastungswiderstand bei einer bestimmten Einstellung wird durch Abb. 8 veranschaulicht.

Für Anodenspannungen, die von 400 V abweichen, sind die wichtigsten Daten in Abb. 11 dargestellt. Bei Spannungen oberhalb 400 V muß die Schirmgitterspannung mittels eines Spannungsteilers auf den zulässigen Höchstwert von 400 V herabgesetzt werden. Infolge der Zunahme des Schirmgitterstromes bei der Aussteuerung der Röhren läßt der innere Widerstand eines derartigen Spannungsteilers die Speisespannung abnehmen. Dadurch wird die Endleistung beschränkt. Diese Beschränkung wird um so größer, je höher die Anodenspannung ist. Bei einer höheren Anodenspannung empfiehlt es sich demnach, die Schirmgitterspannung durch besondere Maßnahmen möglichst konstant zu halten. Dies erhellt deutlich aus den Ziffern, die bei einer Anodenspannung von 800 V erhalten werden. Werden die Endröhren bei dieser Anodenspannung bis Gitterstrom ausgesteuert, so kann bei konstant gehaltener  $V_{g2} = 400$  V, einer Gittervorspannung von  $-37,5$  V und  $R_a = 16\ 000 \Omega$ , eine Endleistung von 84 W erzielt werden. Dieser Betrag ist aus den Kurven in Abb. 9 abzulesen; die dabei auftretende Gesamtverzerrung beträgt 6,6%.

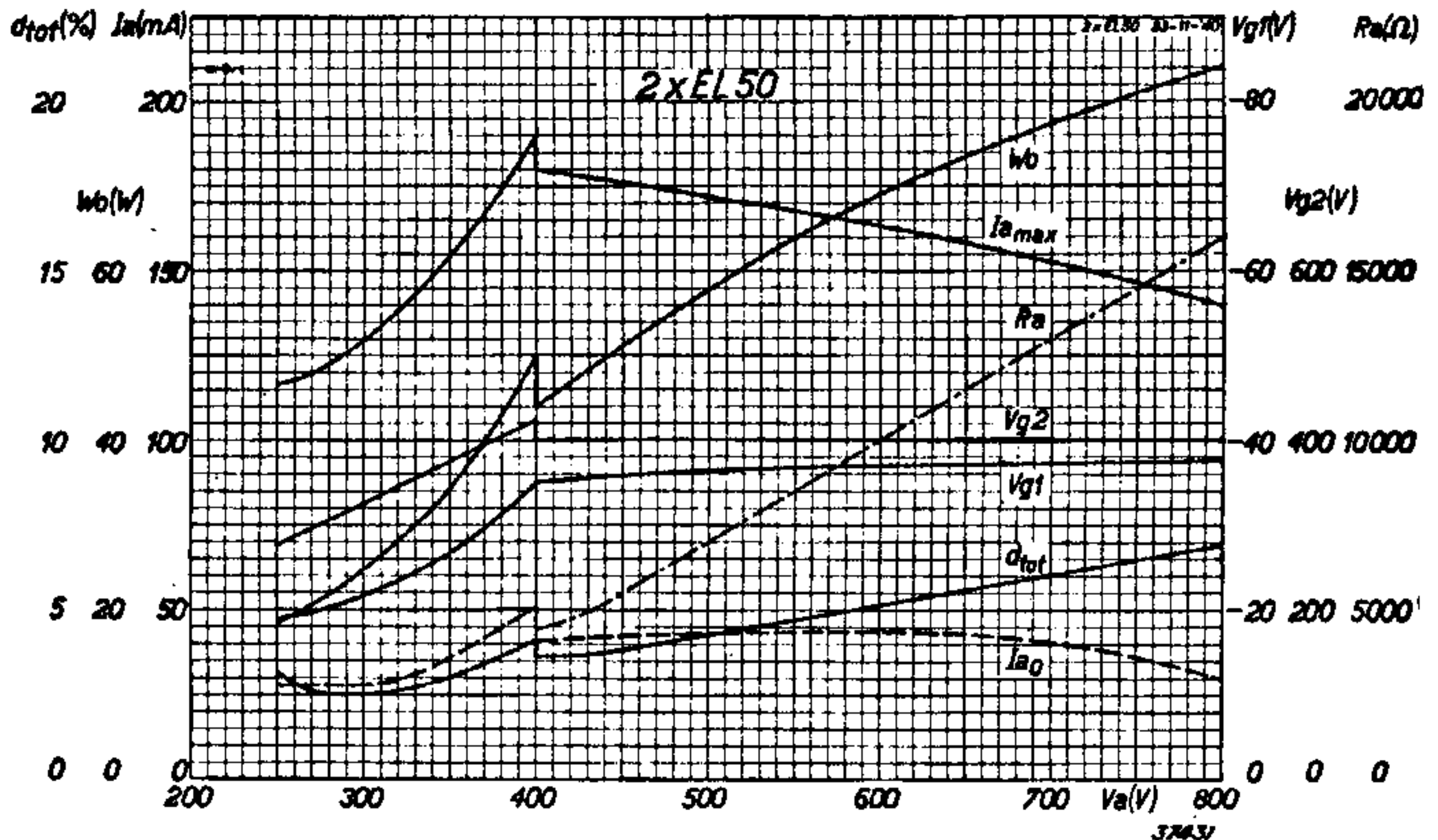


Abb. 11

Maximaler Anodenstrom  $I_{a_{max}}$ , Anodenruhestrom  $I_{a0}$ , Schirmgitterspannung  $V_{g2}$ , negative Gittervorspannung  $V_{g1}$ , Nutzleistung  $W_o$ , Gesamtverzerrung  $d_{tot}$  und Belastungswiderstand  $R_a$  als Funktion der verfügbaren Anodenspannung  $V_a$ , für zwei Röhren EL 50 in Gegentaktschaltung mit fester negativer Gittervorspannung.

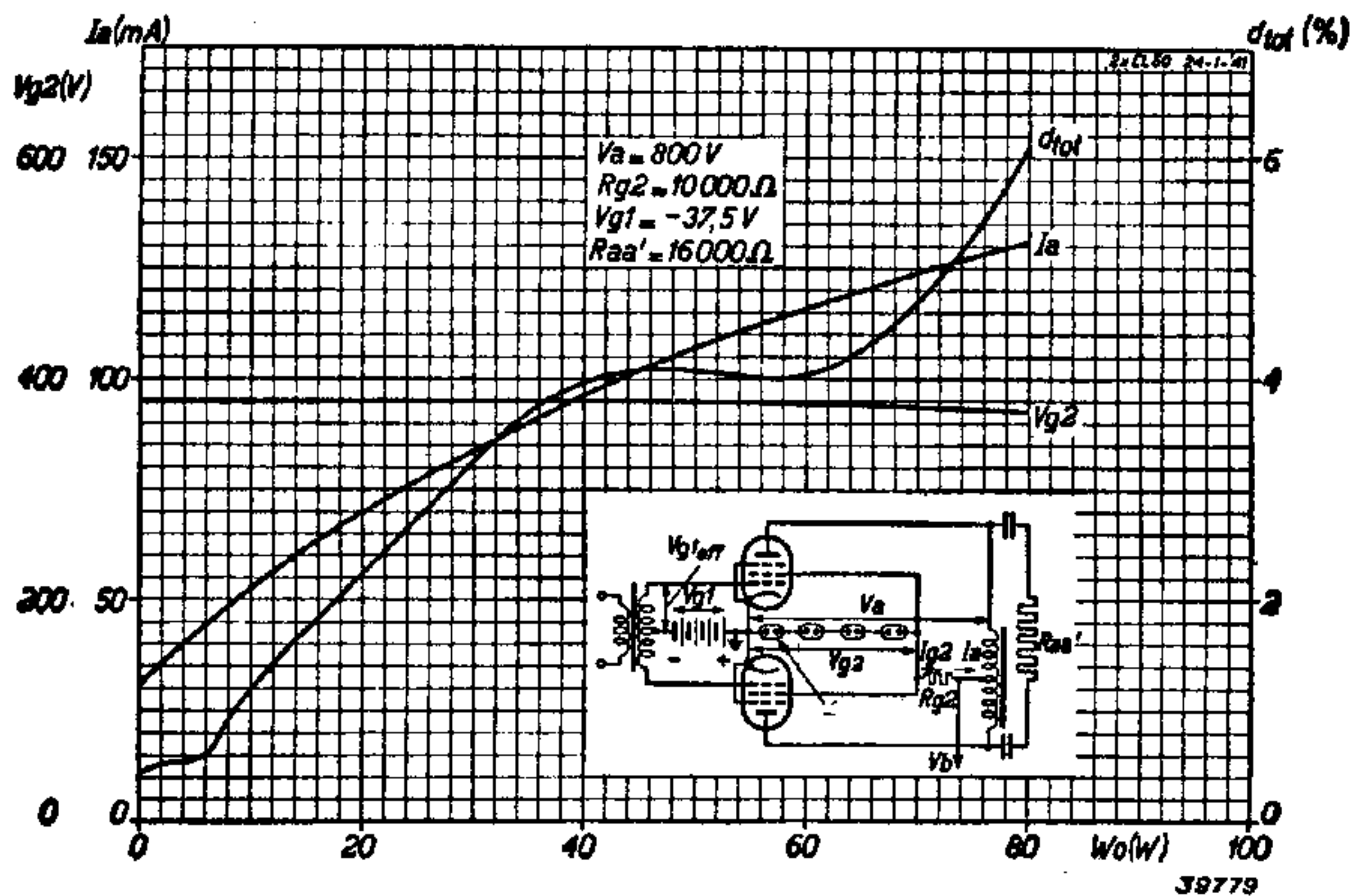


Abb. 12

Dieselbe Kurven wie in Abb. 9., aber für den Fall, daß die Schirmgitterspannung der Speisespannung von 800 V über einen Serienwiderstand von 8 000  $\Omega$  entnommen und mittels vier Stabilisierungsröhren 13201 konstant gehalten wird.

Werden aber die Schirmgitter über ein Potentiometer gespeist, das selbst 40 mA aufnimmt, so nimmt die Schirmgitterspannung beim Aussteuern derart ab, daß die größte Endleistung, zufolge der dabei auftretenden Verschiebung der  $I_a/V_g$ -Kurve, nur 50 W beträgt. Dieser Betrag wäre auch bei einer Anodenspannung von 400 V erzielbar.

Es ist daher notwendig, die Schirmgitterspannung zu stabilisieren. Dies kann z.B. dadurch erfolgen, daß man die Schirmgitterspannung der Speisespannung von 800 V über einen Serienwiderstand von 8 000  $\Omega$  entnimmt und parallel zu den Schirmgittern 4 Stabilisierungsröhren 13201 in Reihe schaltet. Die Schirmgitterspannung bleibt dann auf einen Wert von 380 V hinreichend konstant; nun wird bei voller Aussteuerung eine Leistung von 80 W erzielt. Abb. 12 gibt die zu dieser Einstellung gehörigen Kurven wieder, die nur wenig von jenen der Abbildung 9 abweichen. Auch für diese Einstellung geben wir in Abb. 10 den Zusammenhang zwischen der größten Endleistung und dem Belastungswiderstand.

### Speisung des Gegentaktverstärkers

Der Gegentaktverstärker mit automatischer Vorspannung verursacht geringere Schwierigkeiten als jener mit fester Vorspannung. Die Schirmgitter werden direkt von dem Gleichrichterteil gespeist, und der mittlere Anodenstrom hängt praktisch nicht von der abzuliefernden Leistung ab, so daß an den Gleichrichter keine besonderen Anforderungen gestellt werden. Bei einer Anodenspannung von 400 V nimmt die voll ausgesteuerte Endstufe  $105 + 40 = 145$  mA auf. Hierzu eignet sich die Gleichrichterröhre AX 50, die einen Gleichstrom von 250 mA zu liefern vermag, so daß mit ihr auch die Vorverstärkerröhren gespeist werden können.

Für die Endstufen mit fester negativer Vorspannung, in denen der mittlere Anodenstrom mit der Signalstärke stark variiert, empfiehlt es sich, der Gleichrichterschaltung einen möglichst niedrigen Innenwiderstand zu geben. Dies gilt insbesondere für die Einstellung von 400/425 V, weil dann die Schirmgitterspannung nicht eigens stabilisiert ist, und bei steigender Signalstärke sowohl die Anoden- als die Schirmgitterspannung abnehmen. Jetzt darf die Speisespannung nicht im voraus erhöht werden, weil sonst bei kleiner Signalstärke die größte Schirmgitterspannung überschritten würde. Die gasgefüllte Gleichrichterröhre AX 50 eignet sich, ihres niedrigen Innenwiderstandes wegen, vorzüglich zur Verwendung im Speisegerät, zumindest, wenn sie mit einem Abflachfilter ohne Pufferkondensator gebraucht wird.

Der totale Innenwiderstand wird dann gleich dem Widerstand der Drosselspule samt jenem einer Transformatorhälfte. Nehmen wir an, daß dieser Widerstand auf 200  $\Omega$  beschränkt bleibt, so verursacht eine Schwankung des totalen Stromes von 200 mA einen Spannungsabfall von 40 V. Abb. 11 zeigt, daß in diesem Fall eine größte Endleistung von 36 W statt



