

Geiger: Über gewisse Phasenverhältnisse bei Steuerungs-
und Auskoppelvorgängen in Laufzeitröhren.

Übersicht:

Es werden für Röhren, die mit Laufzeit-Kompressions-Vorgängen arbeiten, generelle Phasenbeziehungen für die Haupt-Elektronen gezeigt und auf damit zusammenhängende Erscheinungen hingewiesen. Unter Hauptelektronen wird dabei die Reihe der für die Energie-Auskoppelung günstigen Elektronen verstanden.

Gliederung:

- 1.) ν - τ -Darstellungen
- 2.) Die Fokussierungsgeraden in den ν - τ -Darstellungen
- 3.) Die Phasenbedingungen für eine Vorsteuerung beim Eintritt in die Steuerstrecke
- 4.) Unterschiede im Mechanismus der Laufzeitkompression bei Vorwärts- und Rückwärts-Strömung
- 5.) Beispiel des Spiegel-Klystrons
- 6.) Bedingung für richtiges Zusammenwirken der Kompressionen in Steuerstrecke und Laufraum
- 7.) Zusammenfassung

7 Abbildungen.

E i n l e i t u n g .

Es dürfte von Nutzen sein, einmal einige generelle Zusammenhänge phasenmässiger Art für Elektronen in Anordnungen zur Laufzeitkompression zusammenzustellen. Diese Zusammenhänge beziehen sich auf die bei der Energieabgabe an das Schwingungsfeld des Auskoppelkreises "phasenrichtigen" oder "Haupt"-Elektronen, wie sie hier genannt sein mögen.

Die Zusammenhänge für eben diese Haupt-Elektronen sind es, die als wesentliche Ursache und Bedingung vieler Verhältnisse bei Laufzeitröhren wie Schwing-Dioden, Bremsfeld-Resotank, Spiegel-Klystron, norm. Ein- und Zweikammer-Klystron, Feldfokussierungs-

Feldfokussierungsrohre und bei mancher Erweiterung oder Abart davon erkennbar sind. Sie bilden einen Teil des technisch wesentlichen "Kerns" im gesamten Mechanismus solcher Röhren.

Es muß bei dieser Gelegenheit auch auf gewisse durch eben diese Phasenzusammenhänge bestimmte "Nebenerscheinungen" hingewiesen werden, deren Beachtung dem Röhrenbauer unter Umständen Enttäuschungen ersparen kann, z.B. dynamische Stromverteilung beim Elektronen-Eintritt in eine neue Strecke mit Schwingungsfeld längs der Bahn.

Zur Einführung in die zum Darlegen dieser Verhältnisse gebrauchte v - γ -Darstellung lassen sich einige vorbereitende Abschnitte nicht vermeiden.

Wort-Abkürzungen:

Gschw: Geschwindigkeit, Wsp: Wechselspannung, Gsp: Gleichspannung, El: Elektronen, F: Fokussierung, gemeint Phasen-Fokussierung, Ff: Feld-Fokussierung, d.h.: F von El (auf Grund periodisch veränderter mittlerer Gschw.) innerhalb des Gschw modulierenden Längsfeldes, Lf: Laufraum-Fokussierung, F von El (auf Grund periodisch veränderter Anfangs-Gschw.) innerhalb eines wechselfeldfreien Laufraumes.

Vf und Rf: Vorwärts- und Rückwärts-Fokussierung. Gemeint ist F einer Strömung gleichbleibender Richtung, bzw. F bei einer Strömung in der umgekehrten Bewegung, nachdem im elektr. Bremsfeld eine Richtungs-Umkehr stattgefunden hat.

EKv und AKv: Eintritts-Kurve und Austritts-Kurve.

LR: Laufraum.

1.) $\overset{\circ}{v}$ - τ -Darstellungen.

a) Elektronen im homogenen Steuerfeld. Das hom. Steuerfeld sei ausgedehnt zwischen Eintrittsebene 1 und Austrittsebene 2 im Abstand D . Zwischen 1 und 2 liege die Wsp $U_0 \cos \omega t$ und die Gsp. U_g . Der Eintrittsgschw. der El v_1 entspreche die Sp U_1 der Ebene 1 gegen Kathode. Für die Ebene 2 wird die Sp $U_2 = U_1 + U_g$ und die entsprechende statische Austrittsgschw \bar{v}_2 definiert.

Bei Vernachlässigung der Raumladungswirkung zwischen den El ergibt sich für die Gschw. jedes El die oft angegebene Zerlegung in einen konstanten, einen linear zunehmenden und einen sinusförmig schwankenden Anteil:

$$(1) \quad v = v_1 + \frac{q}{m} \frac{U_g}{\omega D} (\omega t - \omega t_1) + \frac{q}{m} \frac{U_0}{\omega D} (\sin \omega t - \sin \omega t_1).$$

ωt_1 : Eintrittsphase des El.

$$\omega t - \omega t_1 = \tau_x :$$

Laufzeitwinkel eines bei ωt_1 gestarteten El für die Entfernung X von der Ebene 1.

Für verschiedene Wsp U_0 lassen sich die Vorgänge einfacher in reduzierter Darstellung wiedergeben:

$$(2) \quad \overset{\circ}{v} = \overset{\circ}{v}_1 + \lambda \tau_x + \sin(\omega t_1 + \tau_x) - \sin \omega t_1 ; \quad \overset{\circ}{v} = \frac{v}{\frac{q}{m} \frac{U_0}{\omega D}} ; \quad \lambda = \frac{U_g}{U_0} .$$

Eine praktisch sehr brauchbare Aufzeichnung der Beziehung (2), wobei ωt in der wagerechten, $\overset{\circ}{v}$ in der senkrechten Achse aufgetragen wird, erhält man durch Auftragen der $\overset{\circ}{v}$ -Ordinaten, nicht, wie üblich, von der ωt -Achse, sondern von der "Bezugslinie"- $\sin \omega t$ aus. Dann liegen die Ordinatenendpunkte für jedes gegebene ωt_1 jeweils auf einer geraden Strecke. Diese " $\overset{\circ}{v}$ -Strecken", wie sie genannt sein mögen, haben in jedem bestimmten Betriebsfall für verschiedene Startphasen verschiedene Anfangspunkte, aber alle die gleiche Neigung λ , (Bild 1).

Die Anfangspunkte der $\overset{\circ}{v}$ -Strecken für alle während einer Periode vorkommenden Startmomente verbindet die sog. Eintrittskurve. Im Falle konstanter Eintrittsgschw ist die Eintrittskurve die Parallele zur Bezugslinie: $\overset{\circ}{v}_1 - \sin \omega t$.

Die Endpunkte der $\overset{\circ}{v}$ -Strecken entsprechen den Austrittsmomenten ωt_2 . Die Gesamtlaufzeitwinkel $\tau = \omega t_2 - \omega t_1$ sind daher jeweils durch die Projektionen der $\overset{\circ}{v}$ -Strecken auf die ωt -Achse gegeben. Wir verbinden die Endpunkte aller $\overset{\circ}{v}$ -Strecken für eine Periode durch die sog. Austrittskurve.

Solche Kurven vermögen ein Bild auch komplizierter Laufzeitverhältnisse zu geben (z.B. Elektronen-Pendelungen). Da der Abstand der Austrittskurven-Punkte von der Bezugslinie die Austrittsgeschwindigkeit der einzelnen EL angibt, ist die Wirkungsgradbestimmung auf Grund einer vorliegenden Austrittskurve sehr schnell durchzuführen.

Für ein Steuerfeld beliebiger Länge, jedoch von gegebener Schwankung und gegebenem festen Anteil der Feldstärke, liefern mehrere für Ebenen in wachsendem Abstand von der Eintrittsebene ermittelte Austrittskurven ein anschauliches Bild der zunehmenden Laufzeitkompression sowie des Auseinanderlaufens der Elektronen nach den Überholungen. x)

b) Geschwindigkeitsmodulierte Elektronen im Laufraum mit konstantem Feld. Die Eintrittsgeschwindigkeit habe die Modulation:

$$v_{1i} = \bar{v}_{1i} + \hat{v}_{1i} f(\omega t_{1i}), \quad -1 \leq f(\omega t_{1i}) \leq +1.$$

Wenn über dem Laufraum von der Länge l die Gsp \mathcal{K}_l liegt, ist die laufende Geschwindigkeit eines EL nach (1):

$$(3) \quad v = v_{1i} + \frac{q}{m} \frac{\mathcal{K}_l}{\omega l} (\omega t - \omega t_{1i}).$$

Um denselben formalen Rahmen wie bei a) zu bekommen, führen wir auch hier eine reduzierte Darstellung ein, und zwar durch Division mit \hat{v}_{1i} :

$$(4) \quad \bar{v} = \bar{v}_{1i} + \mathcal{M} \tau_{1i} + f(\omega t_{1i}).$$

Bei Darstellung dieser Beziehung dient die ωt -Achse als Basis der \bar{v} -Ordinaten. Es gilt hierbei:

$$(5) \quad \bar{v}_{1i} = \frac{\bar{v}_{1i}}{\hat{v}_{1i}} = \frac{1}{\mathcal{M}} \quad (\mathcal{M}: \text{Modulationsfaktor}), \text{ und}$$

$$(6) \quad \mathcal{K}_l = \frac{q}{m} \frac{\mathcal{K}_l}{\omega l} \cdot \frac{1}{\hat{v}_{1i}} = \frac{\mathcal{K}_l}{\mathcal{K}_{1i}} \cdot \frac{1}{2 \mathcal{M} \Theta_{1i}}, \quad \left(\mathcal{K}_{1i} = \frac{m}{2q} \bar{v}_{1i}^2, \Theta_{1i} = \frac{\omega l}{\bar{v}_{1i}} \right).$$

Die Neigung der \bar{v} -Strecken ist auch hier proportional der Gsp \mathcal{K}_l über dem betrachteten Raum

2.) Die Fokussierungsgeraden in den \bar{v} - τ -Darstellungen.

Es besteht weitgehende Übereinstimmung gewisser Gesetzmäßigkeiten für die Ff und Lf. Einfache geometrische Überlegungen ergeben, daß bei \bar{v} - τ -Darstellungen beider Fälle für wichtige F-Stellen Gerade als Ortslinien auftreten. Sie haben die Neigung einer Wendetangente an die Bezugslinie bzw. an die Modulations-

x) Solche Folgen von Kurven sind wiedergegeben in Telefunken-Röhre, H.19/20, 1941, S. 134, 140, 141.

Modulationslinie der Eintrittsgschw. Bild 2 a zeigt diese Geraden für Ff, Bild 2 b für Lf. Es gelten für die F-Stellen auf diesen Geraden die geometrisch gleichbedeutenden Beziehungen:

$$(7, 8) \quad \bar{v}_1^0 = (1-A) \bar{v}_F \quad (\text{für Ff}), \quad \bar{v}_1^0 = (1-A_2) \bar{v}_F \quad (\text{für Lf}).$$

Diese besagen, daß die Geraden nicht nur bei gleich-feldfreien ($A_2=0$), sondern auch bei mit festem Beschleunigungs- oder Verzögerungsfeld versehenem ($A_2 \neq 0$) Steuer- bzw. Laufraum als Ortslinien maßgebend sind.

Für ausschließlich vorwärts gerichtete Strömung gelten in Bild 2 a und 2 b die schräg nach oben laufenden Geraden; für nach Umkehr im Bremsfeld rückläufige Ströme gelten die schräg nach unten laufenden Geraden.

Um den Charakter der F-Stellen auf den bezeichneten Geraden zu erkennen, mögen die in Bild 2 a und 2 b gezeichneten Antrittskurven betrachtet werden. Diese haben jeweils in dem mittleren Schnittpunkt mit den F-Geraden senkrechte Tangenten. Dem entspricht Überholung der El, deren Start etwa in der Mitte des Eintrittsphasenbereichs des später verdichteten Teils der Strömung liegt. Diese El kommen in das Zentrum der Verdichtung (Haupt-El).

Genau genommen handelt es sich um die einen von je zwei F-Stellen 2.Ordnung. Die anderen liegen im Falle kleiner und mittlerer Aussteuerung auf den Austrittskurven, - die dann praktisch symmetrisch sind -, so dicht daneben, daß sie in der Zeichnung nicht noch extra erscheinen. Auch die erstmaligen F-Stellen (Stellen 1.Ordnung) fallen dann praktisch mit diesen Stellen 2.Ordnung zusammen.

[Nur für große Aussteuerungen liegen die erwähnten "andern" F-Stellen 2.Ordnung auf den Austrittskurven deutlich getrennt von den ersten, während die F-Stellen 1.Ordnung auf ganz anderen Austrittskurven, die für eine im Steuerfeld bzw. Laufraum früher erreichte Ebene gelten, auftreten.]

Die Bilder 2 zeigen ferner den bemerkenswerten Sachverhalt, daß jeweils nur eine einzige Eintrittsphase sämtlichen Punkten auf den F-Geraden zugeordnet ist. Sie fällt zusammen mit dem Zeitpunkt des "aufsteigenden" (für Gebiet oberhalb der ω/λ -Achse) bzw. "absteigenden" (für Gebiet unterhalb der ω/λ -Achse) Wendepunktes der Eintrittskurve; (Fußpunkte der F-Geraden auf der ω/λ -Achse). Diese wichtigen Eintrittsphasen seien als Hauptphasen, und in diesem Bereich startende El als Haupt-El

bezeichnet. Die physikalische Erklärung der eben angeführten Phasenzusammenhänge sei Ausführungen über ihre röhrentechnische Bedeutung und Auswirkung, die nun folgen sollen, nachgestellt.

3.) Die Phasenbedingungen für eine Vorsteuerung beim Eintritt in die Steuerstrecke.

Die Haupt-El sind, wie gezeigt, bestimmten Stellen der Eintrittskurve zugeordnet. Damit findet man auch ihren Phasenzusammenhang mit der Wsp in der Steuerstrecke.

Dieser Zusammenhang ist für den Fall der Ff (bei konstanter Eintrittsgeschwindigkeit !) dadurch gegeben, daß Wsp und Bezugslinie ableitungsgemäß um 90° phasenverschoben sind. Daher ergibt sich folgendes:

In der Vorwärts-Strö (Laufzeit-Schwingungs-Diode^x), feldfokussierte Röhre^{xx}) geschieht der Eintritt der Haupt-El in die Steuerkammer stets im Zeitpunkt des Höchstwertes der Steuer-Wsp in bremsender Richtung, in der Rückwärts-Strö (Bremsfeld-Resotank) dagegen für den Zeitpunkt des Spannungshöchstwertes in beschleunigender Richtung.^{o)}

x) S. bei I. Müller, Lewellyn, Müller-Rostas, Backer und de Vries.

xx) Beschrieben in Dt. Pat. Anm.: T 53660 VIIIa/21a 4 vom 16.4.40, Anm.: Telefunken, Erf.: Geiger; dasselbe gedruckt als Ungar. Pat. 128358.

o) Daraus erklärt sich z.B. sofort die Gesetzmäßigkeit, die man für den Selbsterregungs-Laufzeitwinkel bei allen Einkammer-Röhren, bei denen die Strömung nicht wiederholt in die Schwingstrecke ein- und austritt, findet:

$$(9) \quad \tau_g = 2,5\pi + n \cdot 2\pi \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Bei all diesen Röhren - also Laufzeit-Dioden, Einkammer-Klystron, Bremsfeld-Resotank - müssen für größte Energieabgabe an das Schwingungsfeld die Haupt-El aus der Schwingstrecke austreten im Moment größter Gschw-Einbuße gegenüber der rein stat. Gschw. Die Zeitpunkte dafür liegen nun bei den Maxima (Minima: für den Bremsfeldfall) der Bezugslinie, d.h. bei den Nulldurchgängen der Wsp. Daß der kleinste damit gegebene Abstand der Hauptphase und dieser Nulldurchgänge, nämlich $0,5\pi$, noch nicht als Selbsterregungswinkel erscheint, liegt daran, daß hier eine F erst bei sehr hohem Amplituden merklich wird, also bei kleinen Amplituden die für die Energie-Abgabe wichtige Strom-Modulierung zu schwach einsetzt.

Bei Röhren der ersten (zweiten) Art liegen also für die Haupt-El ungünstige (günstige) Eintrittsbedingungen vor mit Hinblick auf eine Stromverteilungssteuerung an der Eintrittsstelle, (Eintrittsgitter !) in den Steuerraum. Sie kann u.U. zu einer zusätzlichen, die beabsichtigte Verdichtung der Strö teilweise aufhebenden (erhöhenden), Dichtevorsteuerung führen.

Für den Fall der Lf ist in den Phasen-Zusammenhang von Eintrittskurve für den Laufraum (= Modulationslinie der Eintrittsgeschwindigkeit) und Wechselspannung in der Steuerstrecke noch der Laufzeitwinkel für diese Steuerstrecke eingeschaltet. Dies sei an Hand des Bildes 3 näher erläutert. Dort ist für die Vorgänge in der Steuerkammer y_0 die Bezugslinie, y_1 die Eintrittskurve, y_2 die Austrittskurve. Die Austritts-Gschw aus der Steuerstrecke (= Eintritts-Gschw in den Laufraum) wird daher durch den Abstand von y_2 und y_1 laufend wiedergegeben. Über der ωt -Achse unmittelbar aufgetragen wird diese durch die mit \dot{v}_1^0 bezeichnete Kurve wiedergegeben. Die Punkte A, B bzw. C und A', B' bzw. C' bezeichnen den Eintritt der Haupt-El in den Steuerraum und in den Laufraum.

Solange keine merkliche Laufzeitkompression in der Steuerstrecke selbst vorliegt - also für konstanten Laufzeitwinkel in der Steuerstrecke: $\tau = \theta$ - gilt:

$$(10) \quad \dot{v}_1^0 = \dot{v}_1^0 + \sin \omega t - \sin(\omega t - \theta) = \dot{v}_1^0 + 2 \sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos(\omega t - \frac{\theta}{2}).$$

Der Eintritt der Haupt-El in den Laufraum wird also um $\theta/2$ gegenüber dem Nulldurchgang der Wsp verspätet (C, C'), der Eintritt in die Steuerstrecke um ebensoviel verfrüht (A, A').

Man kann also feststellen:

Bei den Röhren mit Vorwärts-Strö (normales 2-Kammer-Klystron) fällt der Eintritt der Haupt-El in die Steuerstrecke zunächst unter die bremsende Wsp-Halbwelle nach Maßgabe des halben Laufzeitwinkels in der Steuerstrecke, bei Röhren mit Rückwärts-Strö (Spiegel-Klystron) zunächst unter die beschleunigende Halbwelle nach Maßgabe desselben Winkels. Für zusätzliche Vorsteuerung durch Stromverteilung an der Eintrittsstelle der Steuerstrecke liegen also die Verhältnisse (solange θ nicht größer als 2π ist) beim Spiegel-Klystron günstig, beim normalen Klystron ungünstig. Für kleine θ -Werte verschwindet allerdings der Unterschied, für $\theta = \pi$ ist er etwa am meisten ausgeprägt.

4.) Unterschiede im Mechanismus der Laufzeitkompression bei Vorwärts- und Rückwärts-Strömung.

a) Erklärung für den Phasensprung.

Vf: Hier überholen später gestartete El höherer (mittlerer) Gschw andere früher gestartete El geringerer (mittlerer) Gschw. (Der Zusatz "(mittlerer)" bezieht sich auf den Fall der Ff, bei der die Anfangsgschw z.B. für eine erste Steuerstrecke unmoduliert ist). Daher die bevorzugte Eigenschaft des Startzeitpunktes an der Stelle größter Zunahme der (mittleren) Gschw!

Rf: Hier dagegen müssen El höherer (mittl.) Gschw früher starten, um nach der Umkehr später gestartete El geringerer (mittl.) Gschw einzuholen, da diese schon in kürzerer Entfernung von der Startebene umkehren. Dabei hat bevorzugte Bedeutung der Startzeitpunkt an der Stelle größter Abnahme der (mittl.) Gschw.

Das Letztere zeigt anschaulich die in Bild 4 a durch Einhaltung gleicher Flächen (Wege) für Vorwärts- und Rückwärtsbewegung konstruierte Zusammengehörigkeit der Punkte eines Eintritts-Austritts-Kurvenpaares, wobei die F im Moment der Rückkehr der El zur Eintrittsebene des Laufraumes erfolgt. In diesem Falle haben die ψ -Linien die Neigung $\alpha = -\alpha$. Daneben zeigt Bild 4 b zwei Weg-Zeit-Linien für El mit Eintrittsphasen vor und hinter der Hauptphase, woran zu sehen ist, daß bei der Umkehr selbst noch keine Überholung stattfindet.

b) Einfluß auf Vorgänge in der Auskoppelstrecke. Der eben gezeigte unterschiedliche Mechanismus läßt sich auch als Ursache folgenden gegensätzlichen Ablaufs gewisser Laufzeitvorgänge in den Auskoppelstrecken bei den Röhren verschiedener Art aufweisen:

Vergleicht man ψ - τ - Bilder für die Strö in einer Auskoppelstrecke, wobei einerseits vorherige Vf in Steuerstrecke und Laufraum (normales Zweikammer-Klystron) oder auch in der Steuerstrecke allein (feldfokussierte Röhre), andererseits vorher im Bremsfeld eine Rf (Spiegelklystron) angebahnt ist, so zeigt sich der Unterschied, daß im ersten Fall die angebahnte Laufzeitkompression nun durch das Auskoppelfeld weiter vollendet wird, daß aber im zweiten Fall eine gegenwirkende Laufzeitmodulation ausgeübt wird. Die Bilder 5 a und 5 b zeigen für diese Fälle schematische Skizzen von Eintritts- und Austrittskurven der

Strö in der Auskoppelstrecke.

Folgerung: Gleichen Grad der Kompression der Strö beim Austritt aus der Auskoppelstrecke vorausgesetzt, bedarf es beim Spiegelklystron einer stärkeren Ausbildung von Ein- und Überholungs-Effekten im Laufraum als beim Zweikammer-Klystron.

5.) Beispiel des Spiegel-Klystrons.

Die vorausgegangenen Darlegungen bilden eine Einführung, nach der wir gewisse Fragen beim Spiegel-Klystron leicht behandeln können. Die (einzige) Schwingstrecke dieser Röhre ist für die hinlaufende Strö als Steuerstrecke, für die rücklaufende als Auskoppelstrecke wirksam. Über der Schwingstrecke selbst liegt keine Gleichspannung. Das Bremsfeld des Laufraumes sei konstant.

a) Laufzeitwinkel für den Bremsraum. Für die Bemessung der Röhre ist vor allem der Abstand zwischen Ausgang der Schwingkammer und Spiegel-Elektrode wichtig. Die Frage danach wird durch Angabe des Längswinkels θ_{1l} nach Gl. (6) für diese Strecke beantwortet. Wir betrachten zu diesem Zweck Bild 3. Dort ist für zwei Fälle mit verschiedenen Laufzeiten der Ein- und Austritt der Haupt-El in den (aus dem) Laufraum angegeben.

Bezüglich des ersten Durchganges der Haupt-El durch die Schwingstrecke möge in beiden Fällen der Winkel θ und die schon an früherer Stelle angeführte Kurve v_1^2 maßgebend sein. Die Gschw der Haupt-El im Laufraum geben für beide Fälle die v^2 -Strecken g' und g'' (mit Bezug auf die ωt -Achse) wieder. Ein- und Austrittsgschw für den zweiten Durchgang durch die Schwingstrecke wird durch die Punkte D', E' bzw. F' G' angegeben. Sehen wir von praktisch nicht eintretenden hohen Gschw-Aussteuerungen ab, so können wir ganz grob hierbei nochmal den Winkel θ annehmen.

Wenn der Durchgang der rückläufigen Haupt-El durch die Schwingstrecke unter größtmöglicher Verzögerung durch die Wsp erfolgen soll, dann muß nach Bild 3 ihr Laufzeitwinkel im Bremsraum den Wert erhalten:

$$(11) \quad \tau_l = \frac{\tau_1^2}{\lambda_l} = 1,5\pi - \theta + n \cdot 2\pi \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Mit dieser Beziehung findet man für θ_{1l} , berechnet aus Gleichung (6), den Ausdruck:

$$(12) \quad \theta_{1l} = \frac{1}{2M\lambda_l} \cdot \frac{|u_d|}{u_1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{|u_e|}{u_1} (1,5\pi - \theta + n \cdot 2\pi).$$

b) Laufzeiten und Wirkungsgrad bei relativ großen Amplituden.

Der Gang der El einer Eintrittsperiode durch die ganze Anordnung hindurch sei für einen bestimmten Betriebspunkt an Hand des Bildes 6 aufgezeigt (s. dort die angenommenen Betriebsdaten!). Es sind aufgetragen die EKV und AKV y_1, y_3 und y_2, y_4 für den ersten und zweiten Durchgang durch die Schwingstrecke. y_1 und y_4 entspricht dem Durchgang durch Ebene 1 der Schwingstrecke, y_2 und y_3 dem Durchgang durch Ebene 2. Alle diese Kurven sind auf die Bezugslinie y_0 bezogen. Durch die gleich bezifferten Punkte auf den Kurven werden die Geschwindigkeiten und die Ein- und Austrittszeiten für eine Reihe anfänglich in gleichen Abständen gestarteter El angegeben. Die v^0 -Linien für den Gschw-Verlauf der El innerhalb der Schwingstrecke verlaufen horizontal und verbinden gleichbezifferte Punkte der Kurven. Ihre Länge gibt die jeweiligen Lfz-Winkel an.

Die Ermittlung der Lfz-Winkel für den Bremsraum zeigt das bereits in anderem Zusammenhang behandelte Bild 3, wo die Kurven y_2 und y_3 über der ωt -Achse aufgetragen erscheinen.

Lfz.-Winkel und Aussteuerung für dieses Beispiel sind so gewählt, daß für die im Bereich der Hauptphase eintretenden El (Punkt 16) beim zweiten Eintritt in die Schwingstrecke (Kurve y_3) die Ein- und Überholung vor sich geht. Es ergibt sich aus der Wahl des Betriebspunktes ferner, daß unter allen El der Periode im zweiten Durchgang durch die Schwingstrecke diejenigen der Ziffer 18 am meisten durch die Wsp an Gschw einbüßen.

Die Verformung von y_3 in y_4 läßt sehr gut die in diesem Beispiel vorliegende defokussierende Wirkung des Energie-Auskoppelvorganges erkennen. Ein weiteres Steigern der Wsp würde hier trotz dann bereits im Laufrum stattfindender Überholung nicht dazu führen, daß ein größerer Anteil des E-Stromes phasenmässig angehäuft im günstigsten Zeitpunkt die Schwingstrecke verläßt. Die verkehrte Lfz-Modulation bei der Energie-Auskopplung würde sich überwiegend auswirken.

Bei dem in Bild 6 gewählten Betriebspunkt ergibt sich für den elektronischen Wirkungsgrad: $\eta = 7\%$. Den hier schon abfal-

abfallenden Gang von η mit der Amplitude erkennt man durch entsprechende Ermittlungen für einen zweiten Betriebspunkt mit der Aussteuerung $a_1 = 0,5$. Dabei ergibt sich: $\eta = 12\%$. Damit dürfte ein Punkt in der Nähe des η -Maximums getroffen sein.

Wie η selbst ermittelt wird, zeigt Bild 7 für den in Bild 6 gegebenen Fall. Für die ursprünglich zeitlich aequidistanten durch die Ziffern gekennzeichneten El ist aus Bild 6 die endgültige Austrittsgeschwindigkeit $\overset{\circ}{v}_4$ abzugreifen, auf die statische Austrittsgeschwindigkeit $\overset{\circ}{v}_1$ (hier gleich der Eintritts-Gschw!) zu beziehen und das Quadrat davon in gleichen Abständen, gemäß einer Zerlegung der ganzen Strömung in eine Reihe von "Schwerpunkten", aufzutragen. Die Mittelwertbildung der so erhaltenen Kurve (Bild 7) liefert η unmittelbar.

6.) Bedingung für richtiges Zusammenwirken der Kompressionen in Steuerstrecke und Laufraum.

Dieses Problem sei zum Abschluß erwähnt. Es steht mit den aufgezeigten Zusammenhängen eng in Verbindung und erscheint zwangsläufig, wenn man Anordnungen zur Phasen-Fokussierung für kürzeste Wellen überlegt. Bei solchen Anordnungen erhält die Steuerstrecke leicht einen erheblichen Längenwinkel und es kommt infolge der aus anderen Gründen noch verlangten hohen Steuer-Amplituden schon in der Steuerstrecke zu merklicher El-Strom-Modulation.

In einem technisch optimalen Fall müssen dann dieselben El, die für die Steuerstrecke (nach dem Vorgang der Fr) Haupt-El sind, auch (für den Vorgang der Lf) im anschließenden LR Haupt-El bleiben. Es läßt sich zeigen, daß diese Bedingung nur für bestimmte Längen der Steuerstrecke erfüllt ist, und zwar für Laufzeitwinkel der Haupt-El in der Steuerstrecke

$$(13) \quad \tau = \pi, \{ \tau = 5\pi, \tau = 9\pi, \dots \}.$$

Wie sich an Hand von v - τ -Bildern verfolgen läßt, ergibt sich bei diesem Verfahren einer doppelten Fokussierung unter richtigen Phasenbedingungen z.B. für das normale Klystron die theoretische Möglichkeit eines höheren Wirkungsgrades als beim bekannten Verfahren der einfachen Fokussierung.

Zusammenfassung.

Es werden für die Hauptelektronen (HEL) in Anordnungen zur Phasen-Fokussierung (F) einige wichtige Phasenbeziehungen und damit zusammenhängende Erscheinungen dargelegt. Der Begriff HEL wird in der Arbeit definiert.

Die beiden behandelten Arten der F sind die Feld-Fokussierung (Ff) und die Laufraum-Fokussierung (Lf). Für beide F-Arten wird behandelt der Fall der Vorwärts-F, (VF), und der Fall der Rückwärts-F, (RF), und der Unterschied im Mechanismus aufgezeigt. (VF: Überholung von Elektronen in der Vorwärts-Strömung, RF: Überholung von Elektronen in der Rückwärts-Strömung nach Umkehr im Bremsfeld).

Die Ergebnisse lassen sich in folgende Sätze fassen:

1. Die HEL bei Ff treten immer dann in die Steuerstrecke ein, wenn gerade das verzögernde Maximum der Steuerwechselspannung (Wsp) vorliegt.
2. Die HEL verlassen bei Röhren mit nur einer einzigen Schwingstrecke und mit nur einmaligem Eintritt der El in dieselbe die Schwingstrecke im Falle größter Anfachung nach einem Laufzeitwinkel (Lw) von $2,5\pi$, ($4,5\pi$, $6,5\pi$, usw.) etwa gleichzeitig mit dem Null-Durchgang der Wsp.
3. Die HEL treten bei Lf um den halben Lw in der Steuerstrecke ($\theta/2$) früher in die Steuerstrecke ein, als ein Wsp-Null-Durchgang stattfindet.
4. Es liegen Möglichkeiten zur Stromverteilungs-Steuerung am Eintrittsgitter der Steuerstrecke vor und zwar für $0 < \theta < 2\pi$ im Sinne der F beim Spiegelklystron und entgegengesetzt der F beim normalen Klystron. Ebenso wirkt diese Stromverteilungs-Steuerung günstig im Sinne der F beim Bremsfeld-Resotank und ungünstig bei der feldfokussierten Röhre.
5. Die Lw-Modulation durch die Wsp, die in der Auskoppelstrecke auf die El wirkt, geht im gleichen (entgegengesetzten) Sinne wie bei der vorherigen F bei den Röhren mit VF z.B. norm. Klystron, (mit RF, z.B. Spiegel-Klystron).
6. Der Lw für die HEL im Bremsraum des Spiegel-Klystrons beträgt angenähert

$$\tau_L = 1,5\pi - \theta + n \cdot 2\pi \quad (\theta: \text{Lw in der Schwingstrecke; } n = 0, 1, 2, \text{ usw.})$$

7. Wenn die F der EL in einer Anordnung von Steuerstrecke und Laufraum zum Teil bereits von der S.str geleistet wird, unterstützen sich die Kompressionswirkungen von S.str und LR nur dann vollständig, wenn der Lw der HEL in der S.str den Betrag π (für Stellen höherer Ordnung 5π , 9π usw.) aufweist.

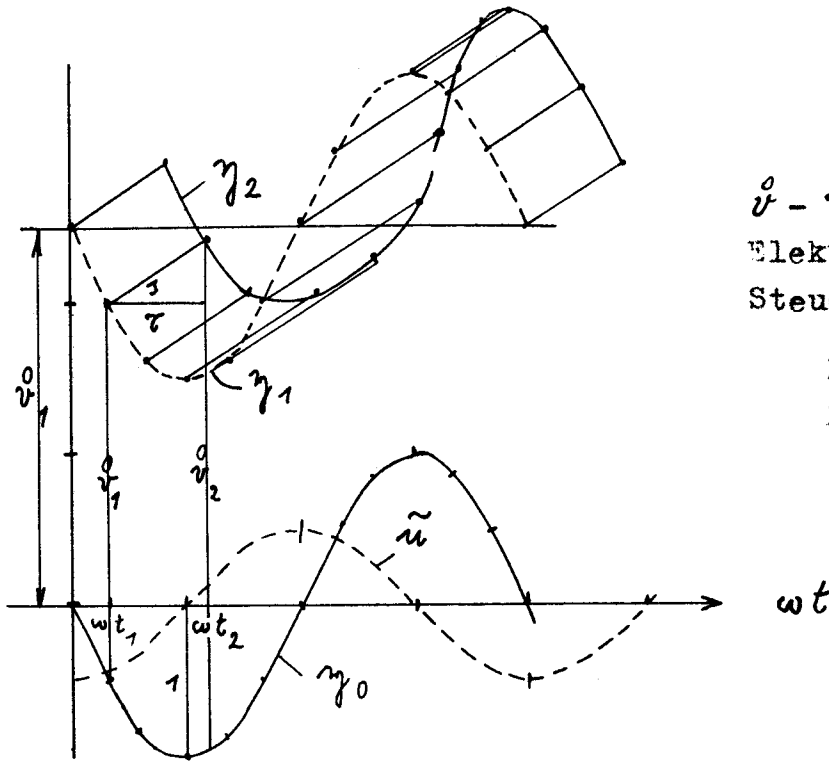


Bild 1

$\dot{y} - \tau$ - Darstellung für Elektronen im homogenen Steuerfeld.

- y_0 Bezugslinie
- y_1 Eintrittskurve
- y_2 Austrittskurve

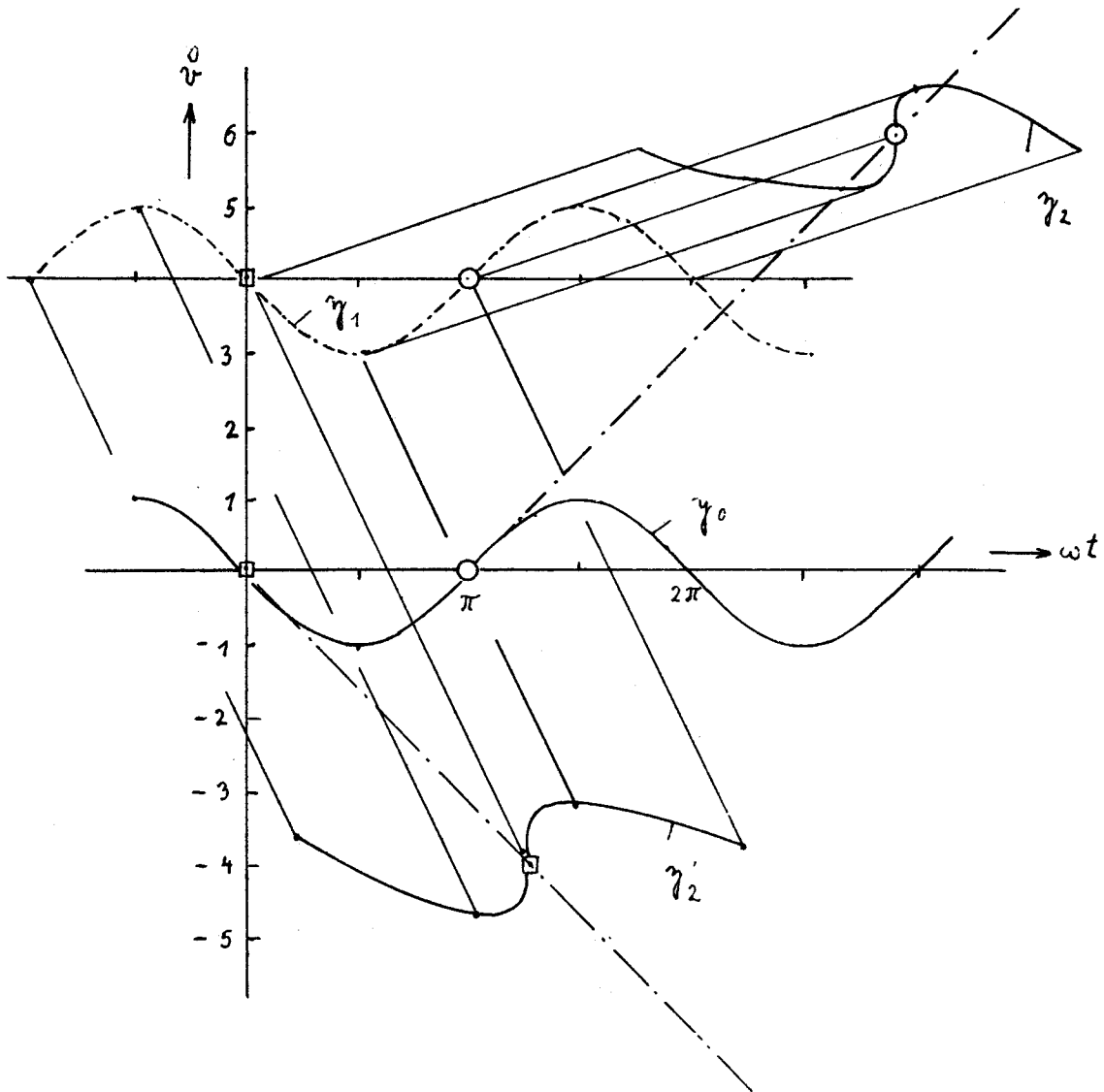


Bild 2a :

Die Fokussierungsgeraden mit je einer Austrittskurve für den Fall der Feldfokussierung bei Vorwärts- (γ_2) und Rückwärts-Strömung (γ_1).

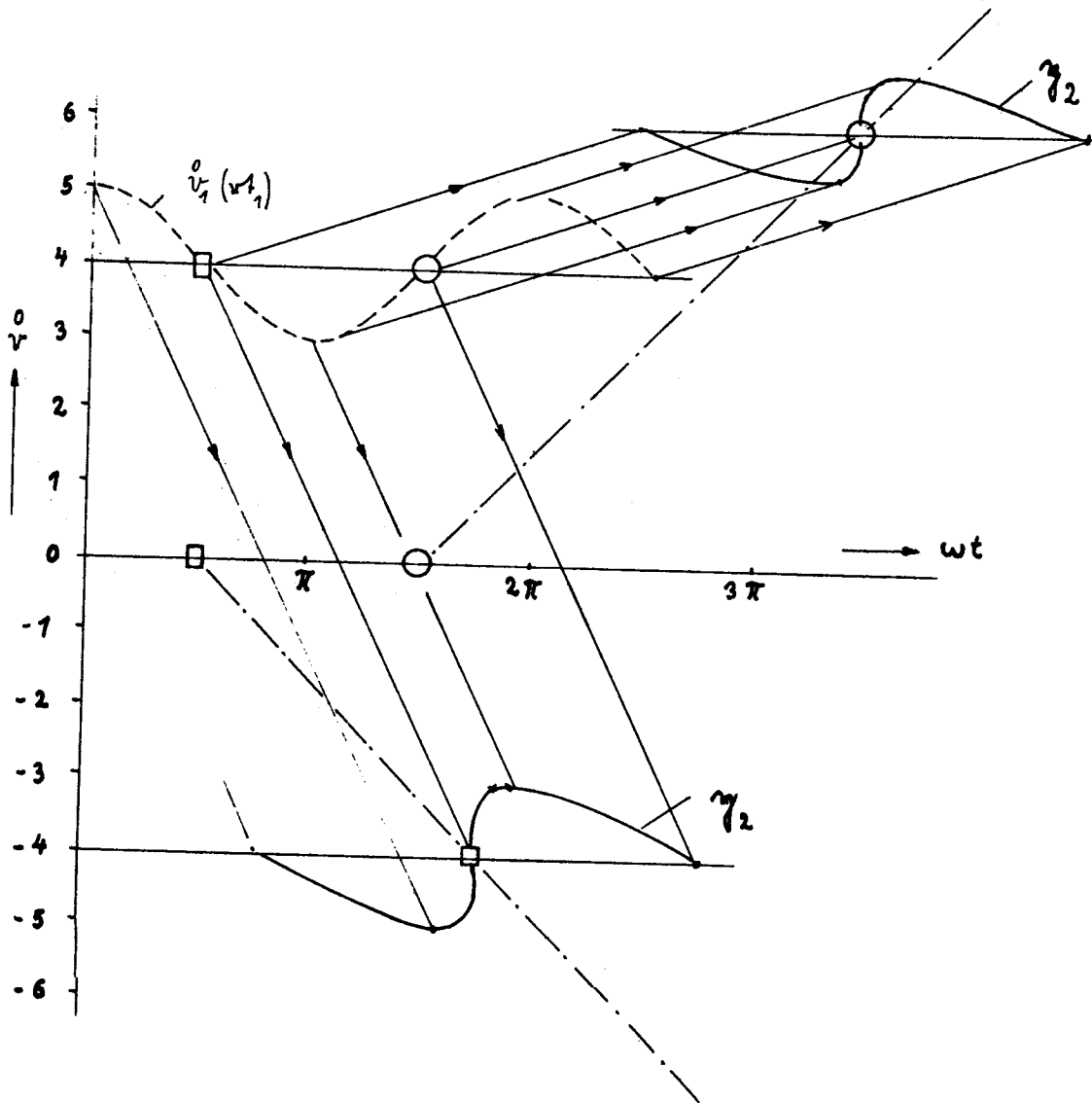


Bild 2b

Die Fokussierungsgeraden mit je einer Austrittskurve für den Fall der Laufräumfokussierung bei Vorwärts- (γ_2) und Rückwärtsströmung (γ_2').

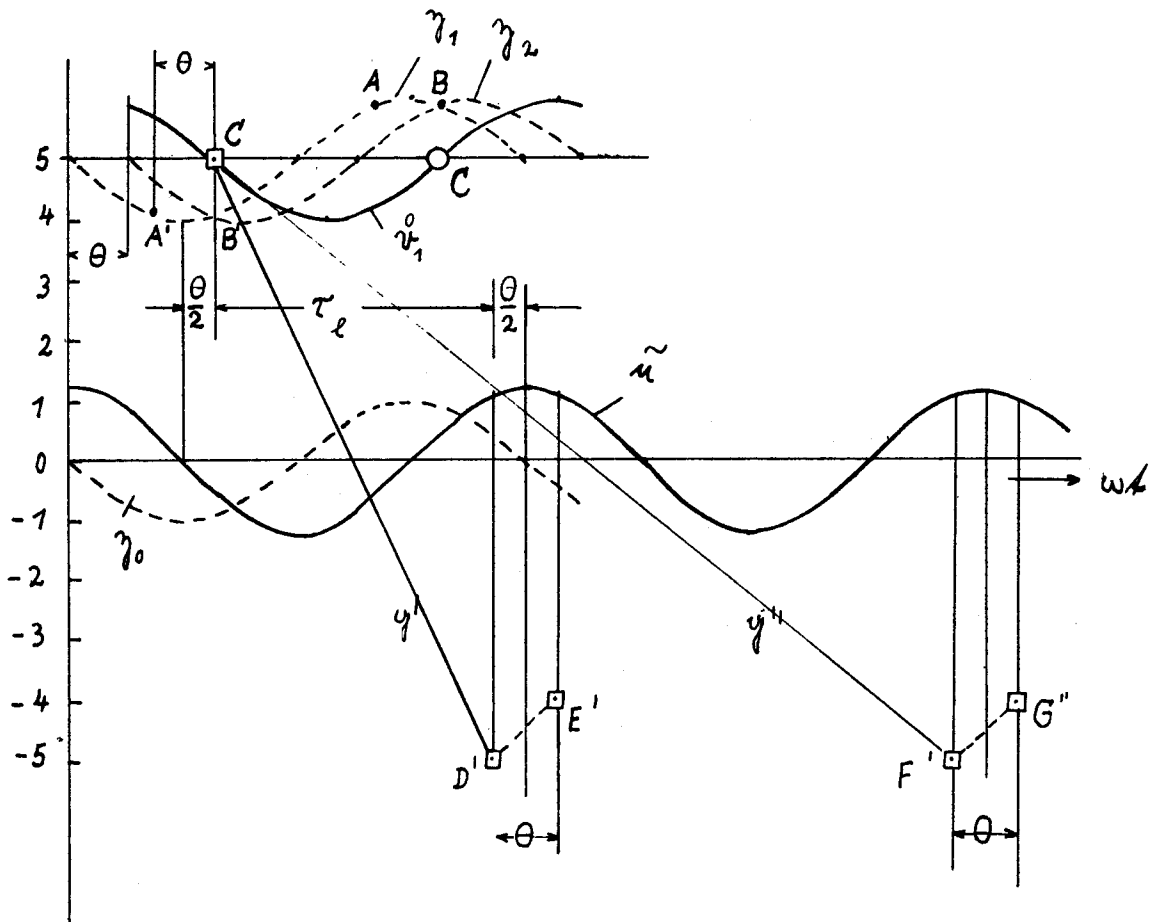


Bild 3

Phasenverschiebungen durch Laufzeit in der Steuerstrecke.
 Laufzeit im Bremsraum beim Spiegelklystron.

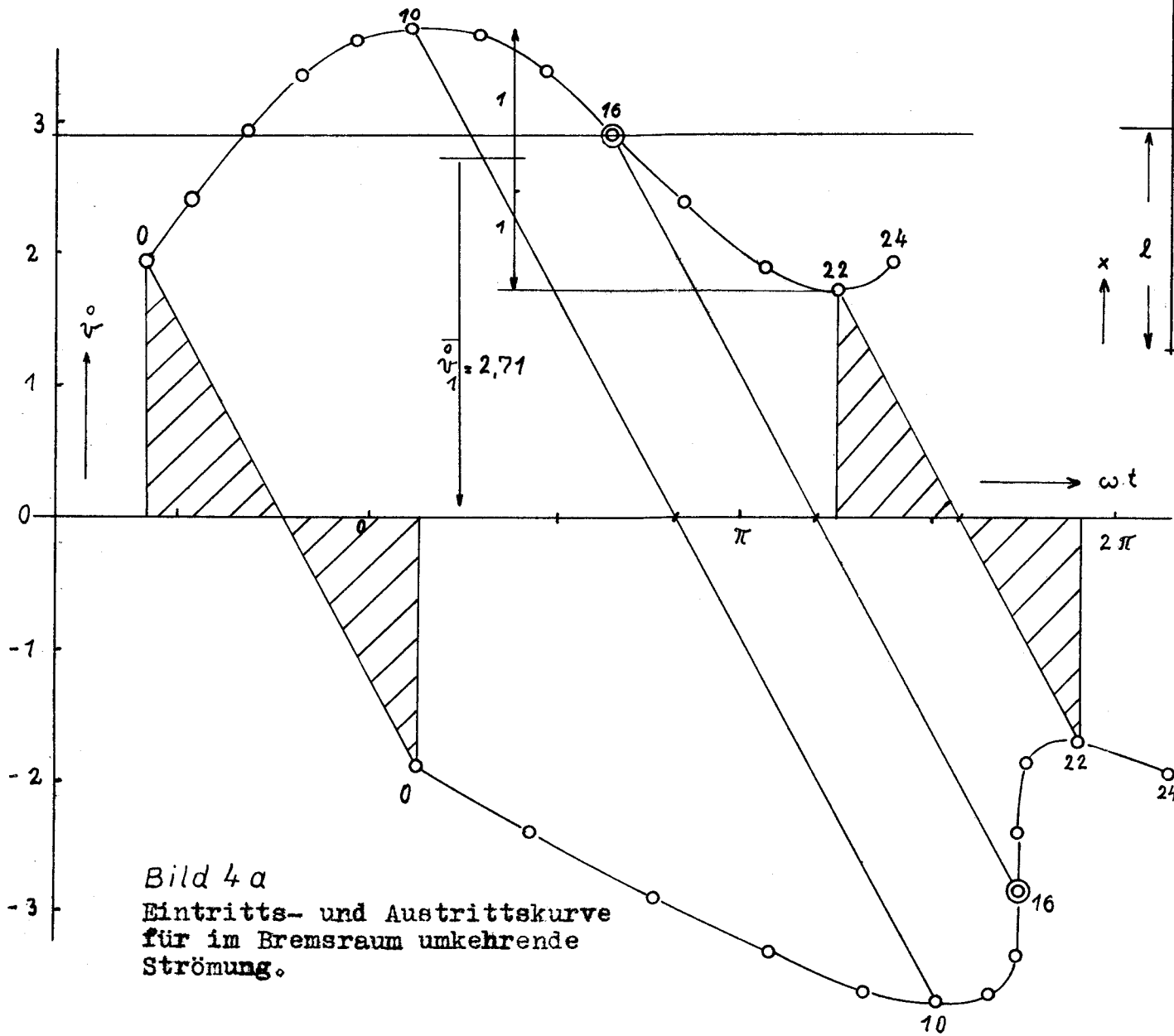


Bild 4 a
 Eintritts- und Austrittskurve
 für im Bremsraum umkehrende
 Strömung.

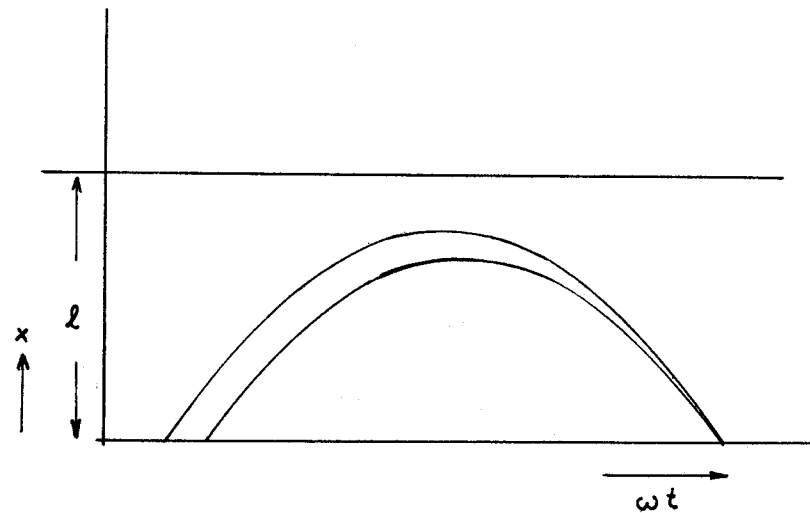


Bild 4 b
 Weg-Zeit-Parabeln für
 Umkehrbahnen im Bremsfeld

