

Vom RC-Verstärker zur Mehrfachröhre

Aus der Geschichte des Widerstandsverstärkers

Herbert Börner, Ilmenau

Originalbeitrag erschienen in: FUNKGESCHICHTE 12 (1989) Nr. 66, S. 4 - 12

In seinem Buch "Der Bau von Widerstandsverstärkern" sagte *Manfred von Ardenne*: "Aperiodische Niederfrequenz- und Hochfrequenzverstärker, bei denen die Röhren der verschiedenen Verstärkerstufen nicht durch Transformatoren oder Schwingungskreise, sondern durch Ohmsche Widerstände miteinander gekoppelt werden, sind schon lange bekannt" [1, 2. Auflage, S. 11]. Tatsächlich stammen die ersten Vorschläge hierzu aus dem Jahre 1914. Richtig brauchbar wurde der transformatorlose Röhrenverstärker aber erst durch die Erfindung der Widerstands-Kapazitäts-Kopplung von *Harald de Forest-Arnold* (Am. Pat. Nr. 1 129 942, Mai 1914). Charakteristisch für diese Schaltungsart ist der im Anodenkreis der vorangehenden Röhre liegende Anodenwiderstand R_a , der Koppelkondensator zum Gitter der nachfolgenden Röhre C_k und der Gitterableitwiderstand R_g . Weitere Patente hierzu (vergl. [2]) brachten nur unwesentliche Verbesserungen.

H. G. Möller und *H. Barkhausen* gingen jedoch in ihren grundlegenden Büchern über Elektronenröhren auf das Problem des RC-Verstärkers kaum ein [3], [4]. Sie versuchten mit ihren Berechnungen stets, eine maximale Leistungsverstärkung zu erzielen, während es bei dem RC-Verstärker auf eine maximale Spannungsverstärkung ankommt. *Loewe* bemerkte hierzu: "Liest man in irgendeinem drahtlosen Lehrbuch den diesbezüglichen Abschnitt nach, so findet man gewöhnlich eine vorzügliche theoretische Behandlung dieser Frage, dann aber den Hinweis, daß man bei Widerstandsverstärkern den äußeren Widerstand etwa gleich 100.000 Ohm machen soll" [1, S. 6, Geleitwort].

Barkhausen definierte die "Röhrengüte" zu $G = S : D$ ($S =$ Steilheit, $D =$ Durchgriff). "Es ist daher wichtig, sich zu merken, daß die Güte der Röhre umso größer ist, je steiler die Charakteristik (I_a - U_g -Kennlinie, H.B.) verläuft, und je kleiner der Durchgriff der Röhre ist. ... Man erhält also bei kleinem Durchgriff D eine sehr erheblich verstärkte Wechsellspannung an der Anode; nur ist gerade dann die Voraussetzung, daß R_a (Lastwiderstand, H.B.) groß gegen R_i (Röhreninnenwiderstand, H.B.) sein muß, praktisch nicht leicht zu erfüllen, da R_i auch wie $1 : D$ anwächst, bei kleinem D also sehr groß wird" [4, S. 61 - 62].

Die Idee des jungen *M. v. Ardenne*

Zur Untersuchung des RC-Verstärkers wurde *M. v. Ardenne* angeregt durch die "zunächst rätselhafte Beobachtung, daß bei einem meiner Empfänger besonders hohe Lautstärken sich dann ergaben, wenn die Kathoden der Verstärkeröhren sehr schwach geheizt wurden. ... Die Untersuchung führte zu einer 1925 gemeinsam mit *H. Heinert* abgefaßten wissenschaftlichen Arbeit [5]. Die gewonnenen Erkenntnisse fanden ihren weiteren Niederschlag in einer Patentanmeldung, die nach einigen Jahren in der letzten Instanz, unter dem Einfluß der Gegnerschaft fast der ganzen europäischen Rundfunkindustrie, zu Fall gebracht wurde (Begründung: eigene Vorveröffentlichung!). Im Fall der Patenterteilung wäre ein großer Teil der europäischen Empfängerproduktion in den Jahren 1926-1928 rückwirkend lizenzpflichtig geworden!" [6, S. 53 - 54].

M. v. Ardenne untersuchte an konkreten Schaltungen mit handelsüblichen Röhren die RC-Verstärkung. Da diese Röhren für Leistungsverstärkung ausgelegt waren, hatten sie allgemein einen Durchgriff zwischen 10 % und 20 %. Ardenne erzielte damit Verstärkungsfaktoren von $V = 6 \dots 8$. Er wies nach, dass man bei Verringerung des Durchgriffes auf 3 ... 4 % und Außenwiderständen im Megohm-Bereich die Spannungsverstärkung verdoppeln oder gar verdreifachen könnte. Man käme dabei in die Größenordnung von Transformatorverstärkern, jedoch ohne deren Nachteile in Kauf nehmen zu müssen [1, 1. Aufl. S. 36 - 37].

Der "Loewe-Ortsempfänger"

Als erstes Ergebnis wurde noch 1925 von Loewe zum einen eine spezielle Widerstandsverstärkerröhre LA 77 mit 4 % Durchgriff konstruiert, zum anderen wurde ein HF-Vorsatzgerät Typ "H.F. 332" (Preis 82,75 RM mit Röhren) auf den Markt gebracht, Bild 1. Diesem Gerät war kein großer Erfolg beschieden, es wurde Anfang 1926 durch den "Loewe Ortsempfänger N.F. 333" abgelöst (Bild 2, Preis zuerst 72,75 RM, später 49,50 RM mit Röhren). Der N.F. 333 wurde den Radioamateuren auch als Baukasten angeboten [7] (Bild 5, s.a. [15]).

HOCHFREQUENZ-VERSTÄRKER

H.F. 332

Hebt
Kleinste Energien
auf den
Schwellenwert
und steigert
die Reichweiten



Universalsatzgerät
für alle
Empfangsapparate

Fordern Sie
Sonder-Prospekte

LOEWE  RADIO

RADIOFREQUENZ · BERLIN-FRIEDENAU
G. M. B. H. NIEDSTR. 5

Bild 1:
RC-gekoppelter Dreiröhren-Hochfrequenzverstärker (etwa Herbst 1925).

Wie M. v. Ardenne berichtet, bemühte er sich monatelang vergeblich bei verschiedenen kleineren Fabrikanten darum, sie zur Herstellung eines Empfängers mit RC-Kopplung zu bewegen. "Als ich dann zu Dr. Loewe kam, erkannte der im Laufe der ersten halben Stunde die Tragweite der ihm vorgelegten Meßergebnisse, und bereits wenige Tage später war der Vertrag geschlossen." [6, S. 56]

Bei beiden Geräten war bemerkenswert, dass neben der RC-Kopplung auf kapazitätsarmen Aufbau Wert gelegt wurde. Er wurde erreicht durch eine sockellose, direkte Einlötlung der Röhren in die Schaltung. Sie hingen mit dem Kolben nach unten in einem kleinen Holzkasten. Unter der Deckelplatte waren die Bauelemente und die Verdrahtung angeordnet. Es gab nur Buchsen für Ein- und Ausgang sowie

**DER NEUE
ORTSEMPFÄNGER**

nach v. Ardenne und Hehnert **N. F. 333**
garantiert
idealen Ortsempfang

Ohne Außenantenne
Ohne Rückkopplung
Ohne schwierige Bedienung
erzielen Sie verzerrungs-
freie Wiedergabe
im
**LOEWE-
LAUTSPRECHER**

Rückhaltlos
zustimmende Urteile
liegen bereits vor!

Preis:
65,- Mk.
einschließlich
3 Röhren

Lizenz:
7,75 Mk.

Klemmleiste
extra 7,50 Mk.

LOEWE RADIO

RADIOFREQUENZ G. M. B. H.
BERLIN-FRIEDENAU, NIEDSTRASSE 3



Bild 2: Reklame für den N.F. 333 (1925).

die Betriebsspannungen, Bilder 3, 4. An-
stelle einer Audionkombination wurde der
1. Röhre eine negative Gitterspannung
(-G1, sog. Richtaudion) zugeführt, so dass
ein Spulenkoppler mit Drehko (Bilder 6, 7)
oder in Sendernähe gar eine Rahmenanten-
ne genügten, um Lautsprecherempfang zu
erzielen.

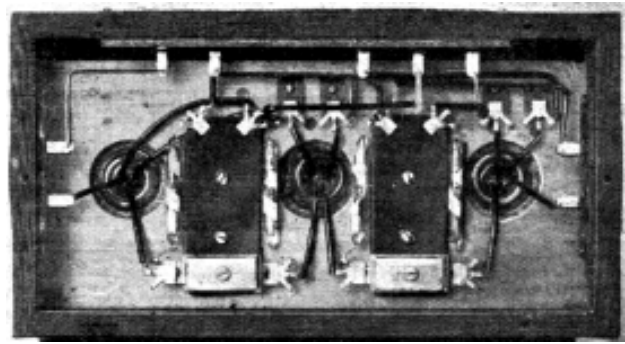
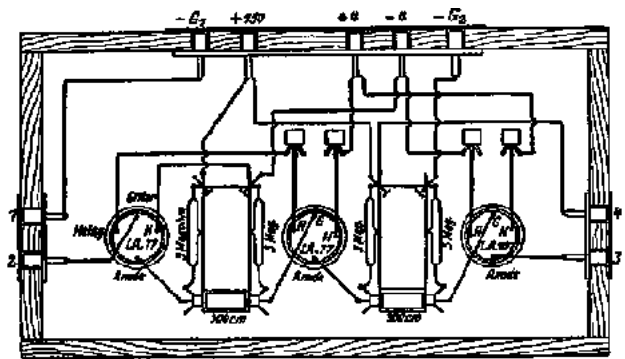
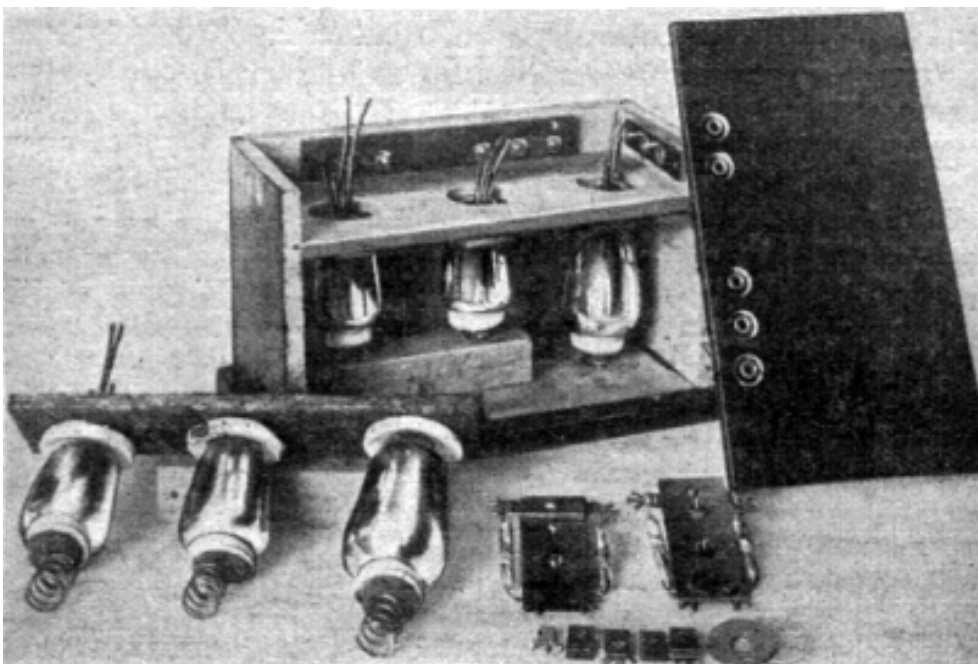
Bild 3: Blick auf die verdrahtete Montage-
platte (aus [7]).

Bild 4: Drahtführung im N.F. 333 (aus [7]).

Der Schritt zur Mehrfachröhre

"Dr. Loewe hatte, um ungestört arbeiten zu
können, die Angewohnheit, seine Tätigkeit
bis tief in die Nacht auszudehnen. So wurde
der Beschluß zur Entwicklung und
Fertigung der ersten Mehrsystemröhre der

Bild 5: Einzelteile
des Verstärkers
N.F. 333 (aus [7]).

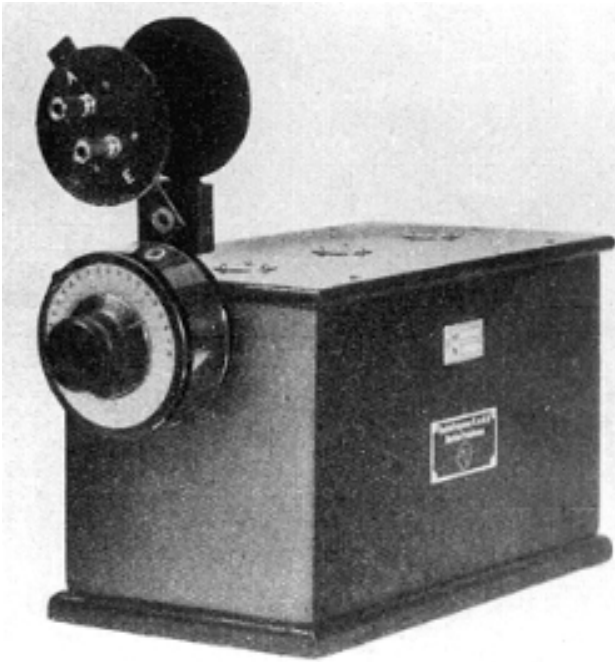


Bild 6: N.F. 333 mit angestecktem Abstimmnetz (aus [1]).

Hochfrequenztechnik im Verlauf eines langen, nach Mitternacht geführten Telefongesprächs gefaßt. Bei diesem Beschluß ahnten wir noch nicht, welche Fülle technischer Detail- und Kontrollarbeit noch zu leisten war, um trotz der bei Mehrfachröhren stark vermehrten Fehlerwahrschein-

lichkeit in der Massenfertigung die Ausschußquote klein zu halten" [6, S. 54].

M. v. Ardenne entfachte eine regelrechte Werbekampagne für den Gedanken des RC-Verstärkers. In seiner Autobiografie spricht er von mehr als 50 Veröffentlichungen zu diesem Thema. Aus einem dieser Aufsätze sei beispielsweise zitiert: "Um auch auf Wellen unter 1000 m eine wirksame Verstärkung zu erhalten, bestehen zwei Wege, die einzeln oder gleichzeitig beschrritten werden können. Der eine Weg besteht darin, daß nach *Dr. Loewe* die schädlichen Eigenkapazitäten durch Einbau mehrerer Röhren, Widerständen, Kondensatoren und Verbindungsleitungen in eine evakuierte Glashülle sehr vermindert werden. Der andere Weg besteht in der Benutzung der in diesem Aufsatz angegebenen günstigen Dimensionierung der Röhren und Widerstände für die Hochfrequenzverstärkung. Auf beiden Wegen gelingt es, die Verstärkungsgrenze auf Wellen unter etwa 200 m herabzusetzen. Durch die gleichzeitige Ausnutzung der auf beiden Wegen erreichten Verbesserungen gelangt man zu aperiodischen Verstärkern, deren Verstärkungsgrenze unter 100 m liegt" [8].

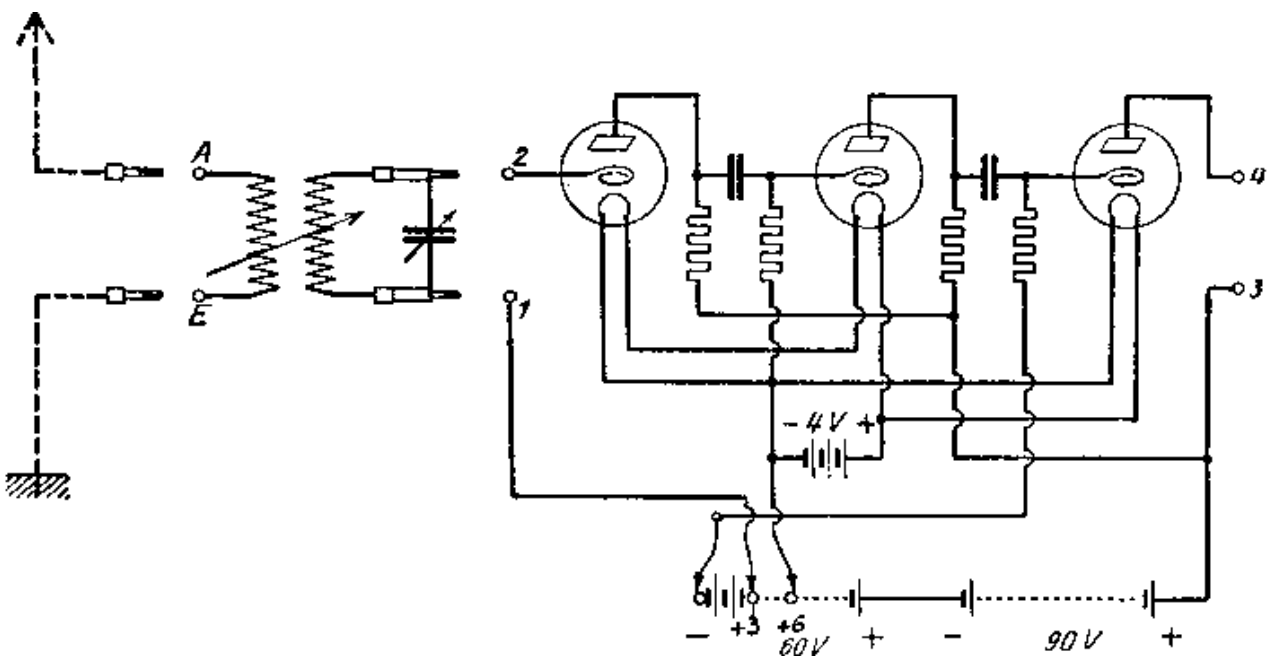


Bild 7: Schaltung des N.F. 333. Die Ergänzung zum Ortsempfänger ist angedeutet (aus [7]).

Loewe bekräftigte den geschilderten Anteil der beiden Erfinder an der Schaffung der Mehrfachröhre in einem Aufsatz vom Dezember 1925: "... eine ältere Ausführung derartiger Röhren, wie sie bereits vor längerer Zeit vom erstgenannten Verfasser (S. Loewe, H.B.) hergestellt worden sind. Die mit solchen Röhren angestellten Versuche ergaben so ermutigende Resultate, daß durch den zweitgenannten Verfasser (M. v. Ardenne, H.B.) der Versuch zu einer besseren Ausgestaltung der Verstärkerstufen selbst unternommen wurde." In einer Fußnote ergänzte Loewe: "Die Technik der Herstellung solcher Röhren wurde von Herrn Dr.-Ing. Roemhild im Laboratorium der Loewe-Audion G.m.b.H. ausgebildet ... Die Lieferung solcher Röhren wird in nächster Zeit durch die Loewe-Audion G.m.b.H. erfolgen." [9]

Die beiden bekannten und später sehr erfolgreichen Röhren 2 HF und 3 NF wurden zusammen mit dem neuen Loewe-Ortsempfänger Typ OE 333 (Preis 39,50 RM mit Röhre) und dem Loewe-Fernempfänger Typ 2H3N (Preis 145,50 RM mit Röhren) auf der 3. Großen Deutschen Funkausstellung Anfang September 1926 vorgestellt. "Die neuen Empfänger retteten das Loewe'sche Unternehmen, welches sich 1925 sehr großen wirtschaftlichen Schwierigkeiten gegenüber sah" [6, S. 55]. "Die Nachfrage wird zeitweise so groß, daß Tagesstückzahlen von 2000 Einheiten und mehr keine Seltenheit sind. Als man mit den Produktion kaum noch nachkommen kann, regt Dr. Loewe Amateure zum Selbstbau von Empfängern an und verkauft so auch eine stattliche Anzahl von Dreifachröhren ohne Empfänger" wird in der "Loewe-Story" berichtet [10, S. 12]. Allerdings ist der darauffolgende Satz: "Der OE 333 sollte bereits 1926 zum ersten Rundfunk-Millionär in der Geschichte der Unterhaltungselektronik werden" eine reine journalistische Übertreibung, auf die auch M. v. Ardenne hereinfiel [6, S. 54] und das Foto "1926 waren bereits 1 Million Stück des Ortsempfängers OE 333

verkauft" [10, S.13] eine schlichte Fälschung (vergl. [11]).

Diese Übertreibung wäre gar nicht nötig gewesen, denn die inzwischen vergangenen mehr als 60 Jahre haben gezeigt, dass neben dem wirtschaftlichen Erfolg, den die Firma Loewe erzielte (und nicht zuletzt auch der Vertragspartner M. v. Ardenne), die Idee und die Ausführung der Röhre sie zu einem kleinen Wunderwerk stempelt, vor dem wir in bloßer Ahnung der technologischen Schwierigkeiten, die bis zu ihrer Massenfertigung zu überwinden waren, voller Hochachtung stehen.

Wo blieb die "Integrierte Röhre"?

Auf diese Frage konnte mir bisher keiner eine plausible Antwort geben. Uns ist heute das Prinzip der "Schaltungsintegration" geläufig. Komplette elektronische Schaltungen sowohl digitaler als auch analoger Art von zum Teil astronomischen Integrationsgraden werden entwickelt (man arbeitet an Chips, auf denen Millionen digitaler Funktionseinheiten untergebracht sind! [1989]) bzw. sind schon tagtäglich in allen möglichen Produkten eingesetzt. Charakteristisch ist für sie die Zusammenfassung elektronischer Funktionselemente (Halbleiterverstärker und passive Elemente) zu standardisierten Baugruppen, den Schaltkreisen. Dem jeweiligen Verwendungszweck entsprechend werden sie durch eine äußere Beschaltung mit weiteren Schaltkreisen oder anderen passiven bzw. aktiven Bauelementen ergänzt. Rückblickend fragt man sich: gab es denn derartiges auch in der Röhrentechnik?

Vorschnell wird dann geantwortet: natürlich, die Loewe-Mehrfachröhren! Verdeutlichen wir uns aber ihren Werdegang, so steckt hinter der vermeintlichen "Integration" lediglich ein gedrängter Zusammenbau zum Zwecke der Minimierung schädli-

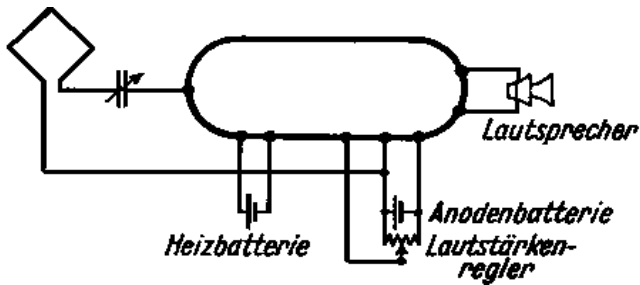


Bild 8: Prinzipbild eines "Schaltkreis-Empfängers" (aus [13]).

cher Kapazitäten. *S. Loewe* war nahe am Gedanken der Integration, als er in einem Beitrag über Mehrfachröhren ganz allgemein formulierte: "Das Ideal eines Verstärkers besteht in einer Einheit, die jede Art elektrischer Stromschwankungen formtreu, aber verstärkt, wiedergibt ... Man kann es überhaupt als einen Nachteil bezeichnen, daß wir bisher nicht über einen Verstärkungsapparat verfügen, der, an ein beliebiges Schaltungssystem angeschaltet, auf seiner Ausgangsseite in möglichst verstärkter, im übrigen aber unveränderten Form das wiedergibt, was sich auf seiner Eingangsseite abspielt" [12, S. 873].

Der eigentliche Gedanke der Integration wurde erstmals im "Funk-Bastler" 1929 ausführlich beschrieben [13]. Die Prinzipschaltung (Bild 8) zeigt das Wesentliche: der Schaltkreis beherbergt alle aktiven und passiven Bauelemente des Empfängers. Nur die

veränderlichen Elemente, der Drehko zur Senderwahl und das Potentiometer für die Lautstärkeregelung sind außerhalb angeordnet. Anschlüsse am Schaltkreis sind lediglich für diese Elemente sowie für die Betriebsspannungszuführung und den Lautsprecher vorhanden. Das Innenleben des Schaltkreises (Bild 9) sieht zwar recht abenteuerlich aus, lässt aber die charakteristische Verbindung zwischen den verschiedenen Arten aktiver und passiver Elemente (Röhrensysteme, Widerstände, Kondensatoren, Spulen) erkennen. Das Ganze findet Platz in einem Glaskolben (Bild 10), mit 50 cm Länge - einschließlich Sockel - zugegebenermaßen recht groß, aber immerhin handelte es sich ja um einen Prototyp.

In der folgenden Ausgabe des Funk-Bastler wurde das Geheimnis um die "Sevengrid-Valve" gelüftet: es handelte sich lediglich um einen Aprilscherz des bekannten Publizisten *Eduard Rhein!* [14] Für diesen Scherz fand er bei Mitarbeitern der Firma Loewe Verständnis, und der uns inzwischen bekannte *Bruno Wienecke* (vgl. [16]) baute ihm das Phantasiemonstrum (Bild 11).

Sucht man also nach einer Erklärung, warum es die "Integrierte Röhre" nicht gab, so kann man vielleicht folgendes konstatieren: Bei den Technikern gab es den Gedan-

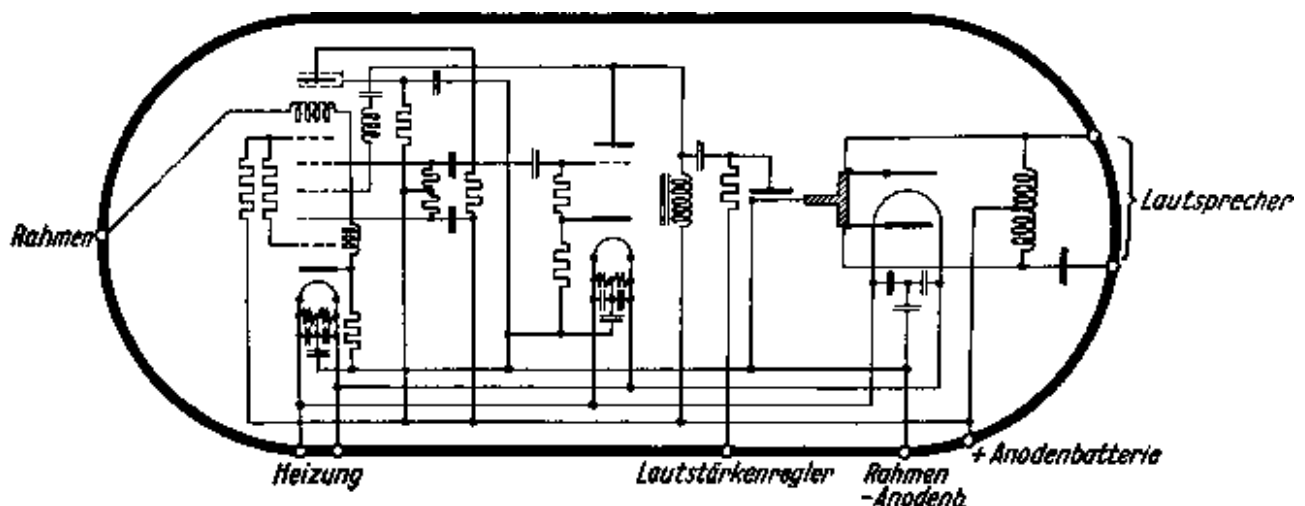
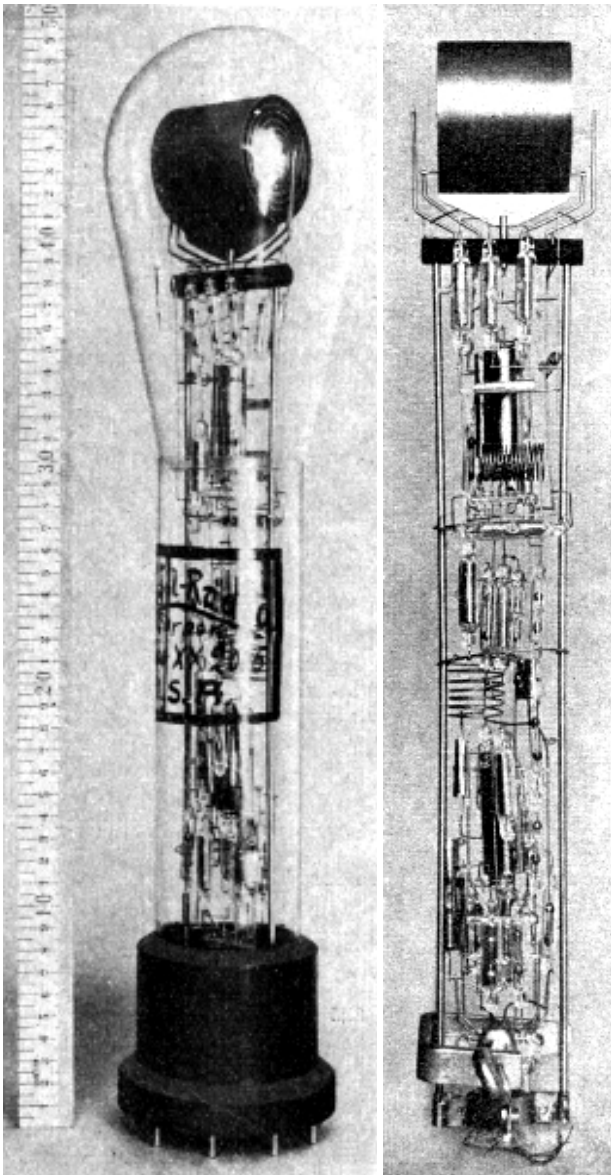


Bild 9: So könnte das Innere einer "Integrierten Röhre" aussehen (aus [13]).



Bilder 10 und 11: Äußeres (aus [13]) und phantasievoller Inhalt (aus [14]) der vorgestellten "Integrierten Röhre".

ken der "Schaltungsintegration" im heutigen Sinne noch nicht. Vorstellungen hierzu wurden in das Reich der Phantasie verwiesen. Wenn jedoch der Transistor 1948 nicht gekommen wäre, hätte man sich in der Röhrentwicklung, die um diese Zeit zu einem vorläufigen Abschluss gekommen war, neue Wege überlegen müssen. So hätten wir vielleicht heute "Integrierte Röhren" gehabt - aber im Hinblick auf die grandiose Entwicklung der Mikroelektronik, denke ich, können wir getrost diese Lücke verschmerzen. G

Literaturverzeichnis

- [1] Ardenne, M. v.: Der Bau von Widerstandsverstärkern. Berlin: R. C. Schmidt, 1. Aufl. 1926, 2. Aufl. 1927
- [2] Teucke, K.: Aus den Anfängen des Röhrenverstärkers. Funk-Bastler 8 (1931) H. 25, S. 385 - 390
- [3] Möller, H. G.: Die Elektronenröhren und ihre technischen Anwendungen. Braunschweig: Vieweg 1920
- [4] Barkhausen, H.: Elektronen-Röhren. Leipzig: Hirzel 1923
- [5] Ardenne, M. v. und Heiner, H.: Über Widerstandsverstärker. Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie 26 (1925) H. 2. S. 52 - 54
- [6] Ardenne, M. v.: Eine glückliche Jugend im Zeichen der Technik. Berlin: Kinderbuchverlag 1962
- [7] Loewe, S.: Widerstandsgekoppelter Verstärker. Der Radio-Amateur 4 (1926) H. 12, S. 248 - 352
- [8] Ardenne M. v.: Über neue aperiodische Hochfrequenzverstärker für Rundfunkwellen. Der Deutsche Rundfunk 4 (1926) S. 597 - 598
- [9] Loewe, S. und Ardenne, M. v.: Zweisystemröhren für Hoch- und Niederfrequenzverstärkung. Zeitschrift für Hochfrequenztechnik 27 (1926) H. 1, S.19 - 20
- [10] Dennewitz, R.-D.: Loewe-Story. München: Franzis 1973
- [11] Börner, H.: Loewe OE 333 - der erste "Millionär"? FUNKGESCHICHTE 24 (2001) Nr. 138, S. 187 - 188
- [12] Loewe, S.: Verbesserte Widerstandsverstärker. Der Radio-Amateur 3 (1925) H. 36, S. 873 - 875
- [13] Rhein, E.: Und in Amerika ... Siebengitterröhren. Funk-Bastler 6 (1929) H. 13, S. 193 - 195
- [14] o. Verf.: Die Siebengitterröhren. Funk-Bastler 6 (1929) H. 14, S. 210

zusätzliche Hinweise:

- [15] Abele, G. F.: Loewe NF 333 - eine Sammler-Rarität. FUNKGESCHICHTE 20 (1997) Nr. 116, S. 263 - 267
- [16] Wienecke, B.: Die Loewe-Dreifachröhre. FUNKGESCHICHTE 10 (1987) Nr. 57, S. 29 - 32