

A. Fernsprechverstärker	<b>Prüf- und Sicherungs-Gestell</b>	Rel Sk I A 38/6
-------------------------	-------------------------------------	-----------------

### Anwendung

Dieses Prüf- und Sicherungs-Gestell entspricht den Bedingungen, wie sie in außerdeutschen Verstärkerämtern an eine solche Überwachungseinrichtung gestellt werden. Es enthält einen Verstärkungsmesser und einen Normalgenerator für 12 CCI-Frequenzen zum Messen des Verstärkungsgrades, eine Einrichtung zum Prüfen von 25-Hz-Rufumgehungsschaltungen und ein Spannungsmessfeld zum Überwachen der Anoden-, Heiz- und Gitterspannungen für die Verstärker. An einem Dienstleitungsfeld können die erforderlichen Dienstverbindungen hergestellt werden. Schließlich nimmt das Gestell in seinem Oberteil neben den Sicherungen einen Heiz- und einen Anodenspannungsregler auf; ihre von Fall zu Fall gewählte Leistung bestimmt in erster Linie die Zahl der Verstärker-Gestelle, die einem Prüf- und Sicherungs-Gestell zugeordnet werden können.

### Elektrische Werte

#### a) Normalgenerator für 12 CCI-Frequenzen

Frequenzen nach CCIF . . . . .	300, 400, 500, 600, 800, 1000 Hz	
	1200, 1400, 1600, 2000, 2400, 2800 Hz	
Frequenzunsicherheit . . . . .		$\pm 2\%$
Sendepegel . . . . .	0 N	+ 1 N
Ausgangsspannung bei 600- $\Omega$ -Abschluß . . . . .	0,775 V	2,11 V
Ausgangsleistung bei 600- $\Omega$ -Abschluß . . . . .	1 mW	7,39 mW
EMK des Generators . . . . .	1,55 V	4,21 V
Wirksamer innerer Generatorwiderstand . . . . .	600 $\Omega$	$\pm 1\%$
Unsicherheit der Ausgangsspannung bei 600- $\Omega$ -Abschluß . . . . .		3%
Klirrfaktor . . . . .		etwa 2%
Strom- und Spannungsbedarf		
Anode . . . . .		etwa 20 mA bei 220 V
Heizung . . . . .		etwa 0,5 A bei 12 oder 24 V

#### b) Verstärkungsmesser

Frequenzbereich . . . . .	300 bis 3000 Hz
Verstärkungsmeßbereich . . . . .	0 bis 6 N
Frequenzgang der Anzeige zwischen 300 und 3000 Hz . . . . .	$\pm 0,02$ N
Gesamte Meßunsicherheit . . . . .	$\pm 0,05$ N
Abschlußscheinwiderstand . . . . .	Z = 600, $\sphericalangle$ 0

#### c) Spannungsregler

Anodenspannungsregler	Ausführung SpR 212/1,5a   212/4a			
unregelte Spannung . . . . .	216 bis 240 V			
geregelt Spannung . . . . .	212 V $\pm 1\%$			
bei einem größten abgebbaren Strom von . . . . .	1,5 A	4 A		
und einem Mindeststrom von . . . . .	0,05 A	0,5 A		
Eigenverbrauch . . . . .	0,14 A	0,2 A		
Heizspannungsregler	Ausführung SpR 9/10a   9/35c   20/15a   20/40a			
unregelte Spannung . . . . .	10,5 bis 15 V	21,5 bis 32,5 V		
geregelt Spannung . . . . .	9 V $\pm 1\%$	20 V $\pm 1\%$		
bei einem größten abgebbaren Strom von . . . . .	10 A	35 A	15 A	40 A
und einem Mindeststrom von . . . . .	2 A	3 A	1,5 A	4 A
Eigenverbrauch . . . . .	1,8 A	3,2 A	1,54 A	1,54 A

Gitterspannungen (ungeregelt)

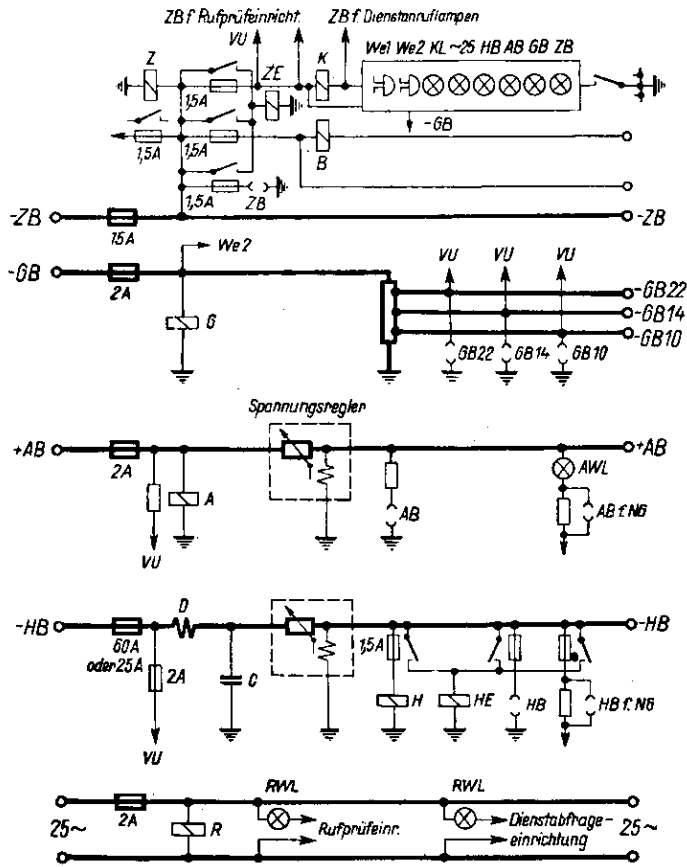
vor dem Spannungsteiler . . . . . —24 V  
 hinter dem Spannungsteiler . . . . . —10 V, —14 V, —22 V

Zentralbatteriespannung . . . . . 24 V

25-Hz-Rufspannung . . . . . etwa 60 V

**Arbeitsweise**

a) Spannungsreglung und -überwachung. Zur Gleichhaltung der Anoden- und Heizspannung werden Kohledruckregler benutzt. Ihre Wirkungsweise ist auf S. 137 kurz



Spannungsreglung und Stromverteilung  
 beim Prüf- und Sicherungs-Gestell Rel Sk IA 38/6

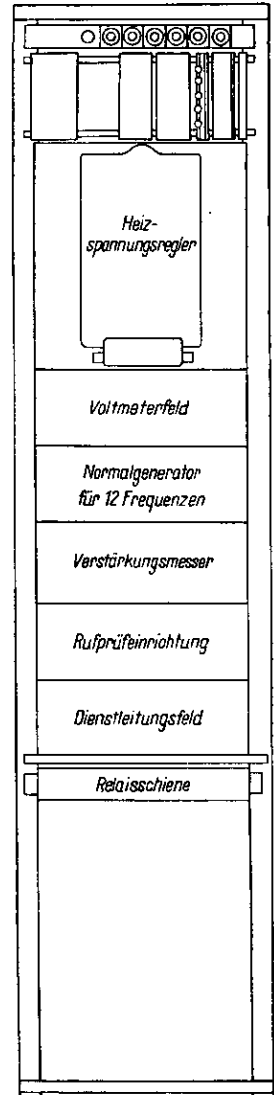
beschrieben. Alle Betriebsspannungen sind zum Spannungsmessfeld geführt, in dem sie mit einem Spannungsumschalter und einem Spannungsmesser gemessen werden können. Parallel zum Spannungsumschalter liegen Meßbuchsen, so daß sich die Spannungen auch mit einem Außenmeßgerät prüfen lassen. Wie das vereinfachte Schaltbild ferner zeigt, sind die einzelnen Verbraucher-Stromkreise und zum Teil auch die Signal- und Meßstromkreise entsprechend ihrer Belastbarkeit gesichert.

b) Verstärkungsmessung. Die Verstärkung wird mit dem Normalgenerator und dem Verstärkungsmesser zwischen reellen Widerständen von 600 Ω gemessen (s. S. 149).

e) Prüfen von 25-Hz-Rufumgehungsschaltungen. Die von der 25-Hz-Rufstromquelle des Amtes gelieferte Rufspannung wird z. B. auf die F1-Seite der Rufumgehungsschaltung gegeben; sie muß nach Durchlaufen der Rufumgehungsschaltung auf der F2-Seite in der Rufprüfeinrichtung das Rufprüfrelais RP bringen, das mit seinem Kontakt rp die Rufprüflampe RPL zündet.

d) Dienstgespräche. Das im Gestell eingebaute Dienstleitungsfeld ist für 10 Dienstleitungen eingerichtet. Bei ankommendem Ruf spricht in Stellung „Aus“ des Dienstanschlusses das D-Relais der betreffenden Leitung an und zündet die Dienstanschluslampe. Das D-Relais hält sich mit einer zweiten Wicklung bis zur Beendigung des Gesprächs. Eine Abfrageeinrichtung mit Rufschalter zum Rufen in eine der Dienstleitungen ist am Dienstleitungsfeld vorhanden. Sind in einem Amt mehrere Sicherungs-Gestelle vorhanden, so werden alle Dienstleitungen parallel über die entsprechenden Dienstleitungsfelder geschleift.

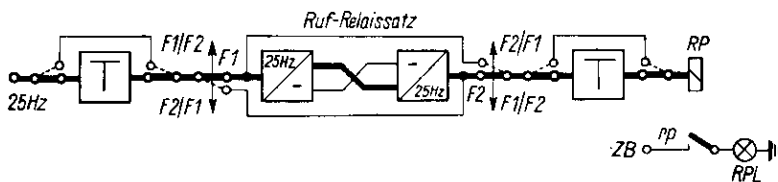
e) Störungsmeldung. In der am Gruppenrahmen angebrachten Lichtzeicheneinrichtung werden Störungen in den zugeordneten Verstärker-Gestellen und der Ausfall von Betriebsspannungen angezeigt (s. Schaltbild „Spannungsreglung und Stromverteilung“). Bei Ausfall der Anoden-, Heiz-, Gitter- oder der 25-Hz-Rufspannung fallen die zugehörigen Relais A, H, G bzw. R ab und bringen die Lampen AB, HB, GB bzw. ~25 in der Lichtzeicheneinrichtung. Beim Durchbrennen einer Schmelzsicherung in den Meß- oder Signalkreisen spricht das Relais HE bzw. ZE an und bringt die Lampe HB bzw. ZB. Bei Störungen in den Verstärker-Gestellen leuchten ebenfalls die entsprechenden Lampen auf. Die Lampe HB wird dabei über das B-Relais eingeschaltet. Zugleich mit dem Aufleuchten einer Lampe bringt das K-Relais die Kontrolllampe KL und den Wecker We1 der Lichtzeicheneinrichtung. Der Wecker kann während der Fehlersuche mit einem Weckerumschalter ausgeschaltet werden. Nach Beseitigung des Fehlers ertönt der Wecker von neuem, der Weckerumschalter muß dann wieder in seine Ausgangsstellung geschaltet werden. Der Ausfall der ZB-Spannung wird über das Z-Relais durch den an der Gitterspannung liegenden zweiten Wecker We2 angezeigt.



Prüf- und Sicherungs-Gestell Rel Sk I A 38/6

### Stromversorgung

Über das Gestell werden zunächst zur Reglung und Überwachung alle Betriebsspannungen der zugeordneten Verstärker-Gestelle geführt. Ein bestimmter Eigenverbrauch der Regler



Rufprüfeinrichtung

ergibt sich aus ihrer Wirkungsweise (Verlustreglung). Zum Betrieb des Normalgenerators benötigt das Gestell die unter „Elektrische Werte“ angegebene Leistung, ferner wird die Z-Batterie durch die Abfrageeinrichtung, die Signallämpchen und durch eine Reihe von Relais geringfügig belastet.

### Aufbau

Das Gestell ist in seinem Aufbau und in seinen Abmessungen den Verstärker-Gestellen angepaßt. Die Bestückung zeigt im einzelnen die Ansichtszeichnung. Es wird zusammen mit den zugeordneten Verstärker-Gestellen in einem Gruppenrahmen angeordnet. Die Lichtzeicheneinrichtung wird seitlich am Gruppenrahmen, und zwar neben dem Prüf- und Sicherungs-Gestell befestigt.

### Zubehör, Maße und Gewichte

Gegenstand	Bezeichnung	Abmessungen in mm	Gewicht etwa kg	Listen-Nr.	Preis RM
<b>Prüf- und Sicherungs-Gestell</b> . . .	Rel Sk I A 38/6	550×2365×520	90 <sup>1)</sup>	<b>108 208</b>	
Zubehör:					
1 Anodenspannungsregler <sup>2)</sup>					
212 V/1,5 A . . . . .	Sp R 212/1,5 a	270×475×200	15	<b>108 020</b>	
212 V/4 A . . . . .	Sp R 212/4 a	270×475×200	15	<b>108 017</b>	
1 Heizspannungsregler <sup>2)</sup>					
9 V/10 A . . . . .	Sp R 9/10 a	270×475×260	18	<b>108 014</b>	
9 V/35 A . . . . .	Sp R 9/35 c	270×475×260	19	<b>108 015</b>	
20 V/15 A . . . . .	Sp R 20/15 a	270×475×260	18	<b>108 002</b>	
20 V/40 A . . . . .	Sp R 20/40 a	270×475×260	19	<b>108 016</b>	
für Normalgenerator					
1 Röhre . . . . .	Ce	—	—	<b>106 924</b>	
1 Eisenwiderstand . . . . .	EW 0506	—	—	<b>106 988</b>	
für Rufprüfeinrichtung					
1 Signallämpchen 24 V . . . . .	Rel Ip 22 b	—	—	<b>106 961</b>	
für Dienstleitungsfeld					
20 Signallämpchen 24 V . . . . .	Rel Ip 22 b	—	—	<b>106 961</b>	
ferner					
1 Heizdrossel . . . . .	DEG 5				
	Stromstärke nach Bedarf	—	—	—	
1 Elektrolytkondensator 10000 µF . . . . .	Ko Bv 5772 a	—	—	—	
1 Tischplatte <sup>1)</sup> . . . . .	Rel ti 5 a	—	—	<b>107 730</b>	
4 Verbindungsleitungen . . . . .	Rel Itg 273 a	1160	0,1	<b>106 297</b>	
1 Lichtzeicheneinrichtung . . . . .	Rel tabl 4 i	—	—	<b>108 114</b>	
mit 6 Signallämpchen . . . . .	24 V/10 W hell	—	—	<b>107 928</b>	
1 Sicherung 15 A . . . . .	NDz 15 A	—	—	—	
4 Sicherungen 2 A . . . . .	NDz 2 A	—	—	—	
7 Sicherungen 1,5 A . . . . .	Rel schn 27 Tz 6	—	—	<b>108 388</b>	
1 Schmelzeinsatz für Streifen- sicherung 25 A <sup>2)</sup> . . . . .	Rel'sich 9 Tz 3	—	—	<b>108 390</b>	
60 A <sup>2)</sup> . . . . .	Rel'sich 9 Tz 1	—	—	<b>108 392</b>	
1 Anodenstrom-Widerstandslampe . . . . .	220 V/25 W	—	—	<b>107 923</b>	
2 Rufstrom-Widerstandslampen . . . . .	110 V/25 W	—	—	<b>107 926</b>	
1 Mikrotelefon <sup>2)</sup> . . . . .	Fg mtpH 27 d	—	—	<b>106 393</b>	
1 Tragbares Betriebsmeßgerät <sup>2)</sup> . . . . .	Ms ldr 270 b	—	—	—	
	n. Rel Bv 240/1	150×170×60	1,9	<b>105 826</b>	
1 Meßgeräte-Anschlußschnur <sup>2)</sup> . . . . .	Rel Itg 274 a	1130	0,1	<b>106 279</b>	

1) Ohne Regler    2) Nach Bedarf

## B. Rundfunkleitungs-Verstärker

Für die Übertragung der Rundfunkprogramme vom Aufnahmemikrofon zu den einzelnen Sendern ist von Anfang an als Übertragungsmittel die Drahtleitung mit ihren günstigen Übertragungseigenschaften gewählt worden. Dort, wo das Kabelnetz vorherrscht, ist selbstverständlich dieses der Träger des Rundfunkleitungsnetzes. In Ländern ohne ausgedehnte Fernsprech-Kabelnetze läßt sich auch auf Fernsprech-Freileitungen, die im Niederfrequenzbereich meist nicht die zu fordernde Übertragungsgüte, vor allem Störfreiheit, aufweisen, mit Trägerfrequenz-Einrichtungen ein hochwertiger Übertragungskanal schaffen<sup>1)</sup>.

In älteren Fernkabeln wurden für die Rundfunkübertragung die Phantomkreise der durch einen besonderen Bleimantel geschützten Meß- und Dienstleitungsvierer im Kern des Kabels verwendet. Seit längerer Zeit werden hierfür in den Fernkabeln mehrere besonders geschirmte Rundfunkpaare vorgesehen. Diese Änderungen im Fernkabelaufbau im Laufe der Zeit und der Übergang vom 2-km- zum 1,7-km-Spulenabstand haben es mit sich gebracht, daß im deutschen Fernkabelnetz fünf verschiedene Rundfunkleitungsarten nebeneinander benutzt werden.

Ihre wichtigsten Werte sind in der folgenden Tafel zusammengestellt.

Leistungsart	Aderdurchmesser mm	Spulenabstand km	Spuleninduktion mH	Grenzfrequenz Hz	Kennfarbe
Kernvierer- Phantom . . .	0,9	2,0	9,4	9 900	schwarz
Kernvierer- Phantom . . .	0,9	1,7	9,4	10 700	blau
Kernvierer- Phantom . . .	0,9	1,7	12,0	9 500	grün
Geschirmtes Paar . . . . .	1,4	1,7	17,0	9 700	rot
Geschirmtes Paar . . . . .	1,4	1,7	12,0	11 200	gelb

Zur Entdämpfung der Kabelleitungen werden in Abständen von etwa 70 km Rundfunkleitungs-Verstärker eingeschaltet. Diese Verstärker müssen in bezug auf Frequenzbandbreite, Dynamikbereich und Linearität besonders hohen Anforderungen entsprechen. Mit der „gelben“ Leitung konnten dabei hinsichtlich Gleichmäßigkeit der Verstärkerfelddämpfung und der Laufzeit mit der Frequenz beachtliche Fortschritte erreicht werden.

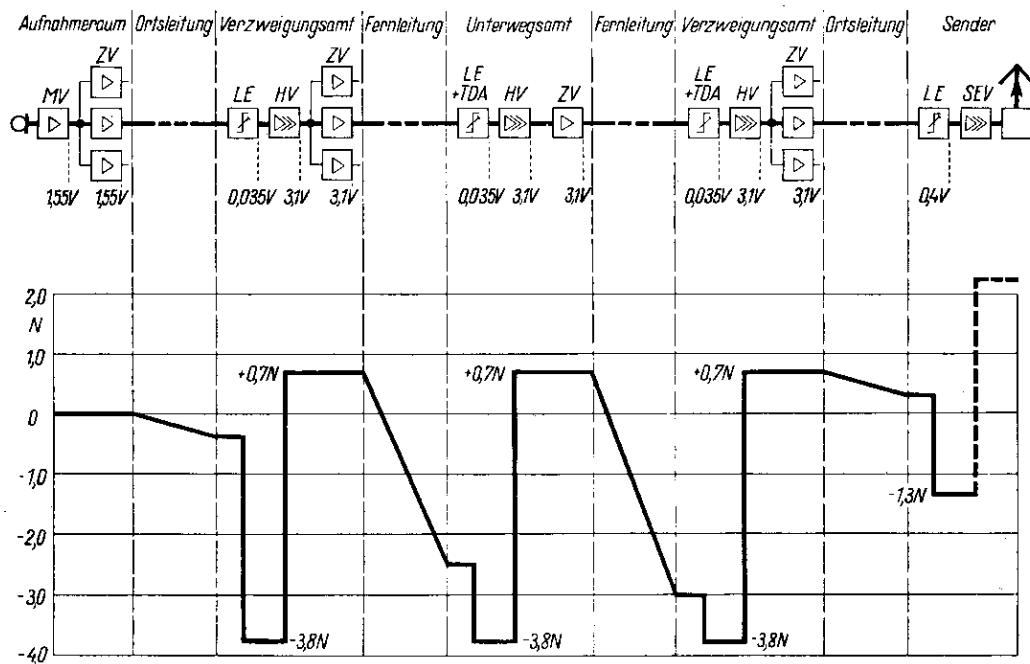
Das für die Übermittlung eines Ferngesprächs ausreichende Frequenzband von 300 bis 2600 Hz genügt keineswegs für die hochwertige Übertragung von Musikdarbietungen, vielmehr wird ein Frequenzband benötigt, das nicht weniger als (sieben bis) acht Oktaven umfaßt und von 30 (50) bis (6400) 8000 Hz reicht. Im deutschen Rundfunkkabelnetz übertragen die älteren Leitungsarten ein Frequenzband von 50 bis 6400 Hz, die neuen Leitungen (gelbe) ein Band von 30 bis 8000 Hz.

Auch die Lautstärkeunterschiede, die beim Sprechverkehr einem Amplitudenverhältnis von rund 1:10 entsprechen, sind bei Musikdarbietungen erheblich höher. Eine Rundfunkübertragungsanlage muß Unterschiede von 1:100 in den Amplituden noch einwandfrei über-

1) Vgl. Buch „Siemens-Trägerfrequenz-Einrichtungen für Fernsprechleitungen“ S. 75 u. f.

tragen. Das bedeutet, daß die Störspannungen in Rundfunkübertragungsanlagen wesentlich kleiner gehalten werden müssen als in Fernsprechanlagen, wenn auch noch die kleinsten Nutzs Spannungen (Pianissimostellen der Musik) störungsfrei übertragen werden sollen. Nach oben ist die Übertragungsfähigkeit durch die Leistungsabgabe der Verstärkerröhren begrenzt, die zudem mit Rücksicht auf die unbedingt zu fordernden geringen nichtlinearen Verzerrungen nicht voll angesteuert werden dürfen. Nach den zwischenstaatlichen Empfehlungen soll bei einem Dynamikverhältnis von 1:100 das Verhältnis Geräuschspannung zu größter Nutzspannung 1:1000 betragen.

Das folgende Bild zeigt den Aufbau einer vollständigen Übertragungsleitung. Sie besteht aus einer Ortsleitung, die den Aufnahmeraum mit dem ersten Verstärkeramt verbindet,



Aufbau und Spannungspegel-Diagramm einer Rundfunkübertragungsleitung.

aus der eigentlichen Fernleitung mit einer entsprechenden Anzahl von Zwischenverstärkern (Hauptverstärker HV, Zusatzverstärker ZV) und aus einer Ortsleitung, die vom letzten Verstärkeramt zum Sender führt. Mit dem (nicht immer vorgesehenen) Temperatur-Dämpfungsungleich TDA können Dämpfungsänderungen durch Temperaturschwankungen ausgeglichen werden.

Wie beim Fernsprechen entzerrt jeder Verstärker (Hauptverstärker HV mit vorgeschaltetem Leitungsentzerrer LE) den vorhergehenden Leitungsabschnitt. Während bei Fernsprechanlagen am Ausgang jedes Zwischenverstärkers auf gleiche Leistung für jede zu übertragende Frequenz entzerrt wird, ist für Rundfunkleitungen das Verfahren der Entzerrung auf gleiche Spannung gewählt worden. Alle Rundfunkleitungs-Verstärker sind also so bemessen, daß beim Anlegen einer Spannung U an den Anfang eines beliebigen Fernleitungsabschnitts am Anfang aller folgenden Fernleitungsabschnitte dieselbe Spannung U für alle Frequenzen des Übertragungsbereichs auftritt, unabhängig vom Scheinwiderstand der einzelnen Leitungsabschnitte. Damit ergibt sich eine erhebliche Verein-

fachung der Leitungsmessungen und der Überwachung der Leitungen während des Betriebes. Der Vorteil für die Überwachung liegt darin, daß der zeitliche Verlauf der Spannung am Ausgang eines jeden Leistungsverstärkers praktisch derselbe ist und so einheitliche Überwachungsgeräte für die Kontrolle der Höchst- und Mindestspannungen verwendet werden können und eine gegenseitige Kontrolle aller Überwachungsstellen möglich ist.

Für die Leitungsmessung ergeben sich beträchtliche Vorteile, weil die Meßgeräte Spannungen und nicht unmittelbar Leistungen anzeigen. Die Pegelmessung ist deshalb anders als bei Fernsprechleitungen. Man sendet nicht mit einem Normalgenerator von  $600\ \Omega$  inneren Widerstand und 1 mW Leistung, sondern man legt bei allen Frequenzen die gleiche Spannung von 0,775 V (absoluter Spannungspegel Null) an den Leitungsanfang. Praktisch geschieht dies so, daß ein niederohmiger Generator verwendet wird entsprechend dem niederohmigen Ausgang des Mikrofonverstärkers im Betriebsfall. Die Pegeldiagramme von Rundfunkleitungen zeigen also Spannungspegel. Zur Aufnahme der Pegelkurven, d. h. der Kurven des Spannungspegels oder der Restdämpfung der Leitungen in Abhängigkeit von der Frequenz werden stetig veränderbare Summer als Sender und Pegelmesser als Empfänger verwendet. Die selbsttätige Aufzeichnung der Pegelkurven mit dem Pegelschreiber bietet dabei den großen Vorteil einer wesentlichen Zeitersparnis gegenüber der Aufnahme einer Meßpunktreihe und gibt auch wegen ihres kontinuierlichen Entstehens einen besseren Überblick über den Leitungszustand als die aus einer beschränkten Anzahl von Meßpunkten hervorgehende mehr oder minder lückenhafte Kurve.

Von den im deutschen Rundfunk-Kabelleitungsnetz eingesetzten Verstärkern werden in diesem Abschnitt

der Rundfunkleistungs-Hauptverstärker und der Rundfunkleistungs-Zusatzverstärker, beide für die grundsätzlich gleich aufgebauten Unterwegs- und Verzweigungsämter (s. S. 158) beschrieben.

Die für den Betrieb dieser Verstärker erforderlichen Prüf- und Sicherungseinrichtungen sind auf einem besonderen Gestell, dem Rundfunkleistungs-Prüf- und -Sicherungs-Gestell vereinigt, das auf S. 167 bis 174 beschrieben wird.

Schließlich sind im deutschen Rundfunkleistungsnetz sogenannte Hilfsverstärker für hochohmigen Abzweig an Orten ohne Rundfunkleistungs-Verstärkeramt eingesetzt, die zusammen mit den Prüfeinrichtungen auf dem Rundfunkleistungs-Hilfsverstärker- und Prüfgestell (S. 175) angeordnet sind.

Der beim Sender, also am Ende der Ortsleitung benötigte Senderendverstärker und der Ortsleitungs-Entzerrer sind zusammen mit den für die sorgfältige Überwachung der Übertragungsgüte benötigten Meßeinrichtungen auf einem Senderendverstärker- und Überwachungs-Gestell zusammengefaßt (s. Buch „Siemens-Meßeinrichtungen für die Fernmeldetechnik“, S. 224).

B. Rundfunkleitungs-Verstärker	<b>Rundfunkleitungs-Hauptverstärker</b> <b>Rundfunkleitungs-Zusatzverstärker</b>	Rel Sk I B 37/3 Rel Sk I B 37/4
--------------------------------	---	------------------------------------

### Anwendung

Diese beiden Verstärker sind für die grundsätzlich gleich aufgebauten Unterwegs- und Verzweigungsämter eines Rundfunkleitungs-Netzes mit leicht bespulten Kabelleitungen (s. Tafel S. 155) entwickelt worden. Sie entsprechen in jeder Weise den hohen Anforderungen, die an Verstärker für Musikübertragungen zu stellen sind. Die Zusatzverstärker haben dabei die Aufgabe, die vom Hauptverstärker abgegebene Leistung ohne Pegelerhöhung und ohne wesentliche Rückwirkung auf den Hauptverstärker an mehrere Kabelleitungen weiterzugeben; ein Hauptverstärker vermag bis zu 15 Zusatzverstärker auszusteuern.

Der gleiche Aufbau des Unterwegs- und Verzweigungsamtes bringt den Vorteil, jederzeit ein Unterwegsamt, also ein reines Zwischenverstärkeramt als Verzweigungsamt verwenden zu können, z. B. bei Erweiterung des Rundfunkleitungs-Netzes, bei späterem Anschluß von Drahtfunk-Sendern oder aber, wenn bei besonderem Anlaß von einem Ort in der Nähe des Unterwegsamtes aus eine Rundfunk-Übertragung stattfinden soll.

Ein Verstärker-Gestell enthält bei Vollausbau zwei Hauptverstärker (kann also zwei verschiedene Programme verstärken) und vier Zusatzverstärker (für die vier an jedes Gestell anschließbaren Fernleitungen), die Anpassungs-Netzwerke für die vier Fernleitungen sowie ein Schaltfeld und ein Umschaltfeld mit Kreuzverteiler. Im Umschaltfeld können alle im Betrieb erforderlichen Zusammenschaltungen vorgenommen werden. Durch eine Verriegelung wird dabei verhindert, daß mehrere Programme gleichzeitig auf ein und dieselbe Leitung geschaltet werden. In größeren Ämtern, wo mehrere Verstärker-Gestelle zusammenarbeiten, erstreckt sich diese Verriegelung auf alle Gestelle.

Die Rundfunk-Fernleitungen lassen sich wahlweise für ankommenden oder abgehenden Verkehr anschalten. In jedem Gestell können an „Leitung 1“ und „Leitung 2“ an Stelle einer Fernleitung zwei Ortsleitungen, und zwar eine für Empfangsbetrieb (vom Studio) und eine für Sendebetrieb (zum Ortssender), angeschlossen werden.

Die Zahl der in ein Amt einmündenden Rundfunk-Übertragungsleitungen unterliegt grundsätzlich keiner Beschränkung. Das Umschaltfeld jedes Gestells ist so eingerichtet, daß in einem Amt bis zu acht verschiedene Rundfunkprogramme gleichzeitig verstärkt und auf die abgehenden Leitungen verteilt werden können. Die dazu benötigten acht Hauptverstärker sind in vier Gestellen untergebracht, die zugleich die Zusatzverstärker und Zusatzgeräte für insgesamt 16 Rundfunk-Übertragungsleitungen aufnehmen können. Kommen in einem Amt mehr als 16 Rundfunkleitungen zusammen, so ist für je vier weitere Leitungen ein zusätzliches Gestell vorzusehen, das aber keine Hauptverstärker enthält, es sei denn als Ersatzverstärker. Ämter, in denen mehr als acht Programme gleichzeitig übertragen werden sollen, werden mit einem entsprechend erweiterten Umschaltfeld ausgerüstet.

Durch Einbau einer Fernzündeinrichtung ist es möglich, alle auf einer vorher festgelegten Strecke liegenden Zwischenverstärker von einer Endstelle aus selbsttätig durchzuschalten und zu zünden.

Die Entzerrer sind nicht wie bei den Fernsprechverstärkern ein Teil der Hauptverstärker; sie werden vielmehr als Leitungsergänzungen auf einem besonderen Gestell, dem Rundfunkleitungs-Entzerrer-Gestell zusammengefaßt. Ein solches Gestell kann die Entzerrer für acht Rundfunkleitungen aufnehmen, d. h. je zwei Rundfunkleitungs-Verstärker-Gestellen ist ein Entzerrer-Gestell zuzuordnen.

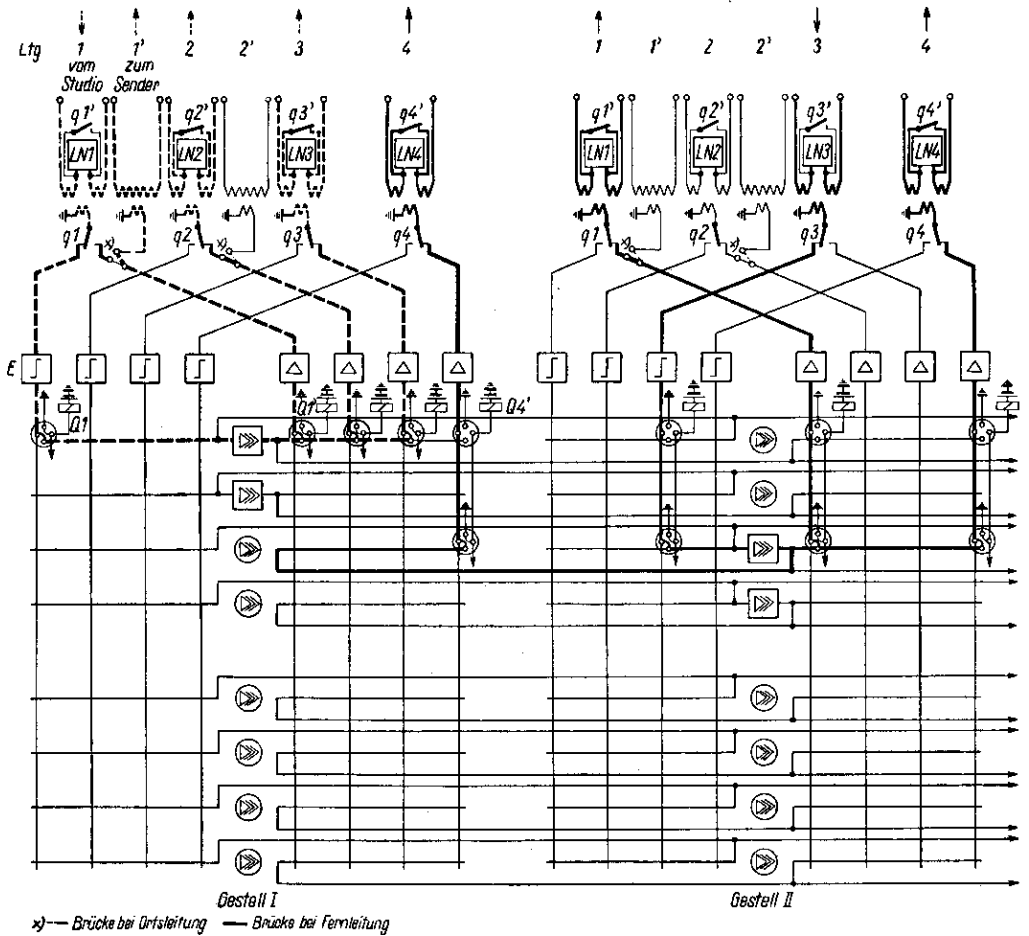
Elektrische Werte	Hauptverstärker	Zusatzverstärker
Frequenzbereich . . . . .	30 bis 10000 Hz	30 bis 10000 Hz
Größte Verstärkung . . . . .	etwa 5 N	etwa 0 N
Verstärkung herabsetzbar		
in 11 Feinstufen zu je . . . . .	0,1 N	—
und in zwei umlötbaren Grobstufen zu je . . . . .	1 N	—
Größte Ausgangsspannung . . . . .	4 V eff	4 V eff
Größte Ausgangsleistung . . . . .	50 mW	50 mW
Frequenzabhängigkeit der Verstärkung		
im Entzerrungsbereich von 30 bis 8000 Hz . . . . .	$\pm 0,1$ N	$\leq \pm 0,05$ N
Klirrfaktor bei 4 V Ausgangsspannung		
zwischen 100 und 10000 Hz . . . . .	<1%	<1%
zwischen 30 und 100 Hz . . . . .	<4%	<4%
Eingangsscheinwiderstand . . . . .	etwa 316 $\Omega$	>5000 $\Omega$
Ausgangsscheinwiderstand . . . . .	etwa 25 $\Omega$	etwa 25 $\Omega$

**Strom- und Spannungsbedarf:**

Betriebsart und -spannungen	Für einen		Für ein vollbestücktes Gestell
	Hauptverstärker	Zusatzverstärker	
Anode 212 V $\pm$ 2 V geregelt . .	50 mA	40 mA	etwa 260 mA
Heizung 9 V $\pm$ 0,2 V geregelt oder 20 V $\pm$ 0,4 V geregelt . .	2,1 A	1,1 A	8,6 A
Gitter . . . . .	36 u. 7,5 V	36 V	etwa 40 mA bei 36 V, 7,5 V
Signalisierung 12 oder 24 V . .	—	—	etwa 3 A
Ruf 60 V . . . . .	—	—	25 Hz

**Arbeitsweise**

a) Übersicht. Unterwegsamt und Verzweigungsamt sind gleich aufgebaut. An jedes Gestell — es ist mit zwei Hauptverstärkern und vier Zusatzverstärkern bestückt — können vier Fernleitungen und zwei Ortsleitungen angeschlossen werden, und zwar lassen sich an Stelle der 1. und 2. Fernleitung Leitungen vom Aufnahme-raum bzw. zum Sender anschalten. Die in einer der Fernleitungen ankommende Übertragungsspannung gelangt über ein Anpassungs-Netzwerk LN und den Leitungsübertrager zum Leitungsentzerrer E und von hier über das Umschaltfeld zum Eingang einer der beiden Hauptverstärker. Über einen der abgehenden Fernleitung zugeordneten Zusatzverstärker wird die Übertragungsspannung an diese Fernleitung weitergegeben. Das Anpassungs-Netzwerk dieser Leitung ist für die Dauer der abgehenden Sendung überbrückt. Im Verzweigungsamt wird die vom Hauptverstärker abgegebene Leistung gegebenenfalls auch auf die abzweigenden Leitungen gegeben. Mit einem Verstärker-Gestell können entsprechend den beiden Hauptverstärkern ein oder zwei Programme übertragen werden. Bei Übertragung eines Programms können bis drei Fernleitungen als abgehende Leitungen geschaltet werden. Darüber hinaus läßt sich eine weitere Leitung zum Ortssender schalten (Leitung 1 oder 2). Für andere Schaltkombinationen mit mehr Leitungen und für mehr als zwei Programme wird eine entsprechende Anzahl von Gestellen gewählt. Besondere Bauweisen sind erst dann erforderlich, wenn mehr als acht Programme übertragen werden sollen, da das Umschaltfeld für diese Programmzahl eingerichtet ist. Ferner ist leicht einzusehen, daß bei höchstens acht Programmen aber mehr als 16 Fernleitungen die über vier hinausgehenden Gestelle nur mit Zusatzverstärkern zu bestücken sind.

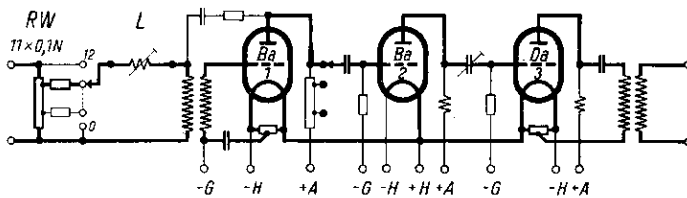


Grundätzliche Schaltung des Rundfunkleistungs-Verstärker-Gestells

- ..... Beispiel 1: Programm kommt auf Ortsleitung 1 des Gestells I an und gelangt auf Ortsleitung 1' desselben Gestells zum Ortssender, ferner auf die Fernleitungen 2 und 3.
- Beispiel 2: Programm kommt auf Fernleitung 3 des Gestells II an und gelangt auf Fernleitung 4 des Gestells I und auf die Fernleitungen 1 und 4 des Gestells II.

b) Hauptverstärker. Der Hauptverstärker besteht aus zwei Vorstufen mit je einer Ba-Röhre und einer Endstufe mit einer Da-Röhre. Die Verstärkung läßt sich mit dem Regelwiderstand RW in 11 Stufen zu je 0,1 N und durch Umlöten an dem Spannungsteiler hinter der ersten Röhre in zwei Grobstufen von je 1 N ändern. In Reihe mit dem Vorübertrager kann die Spule L mit veränderbarer Induktivität eingelötet werden, die einen fächerartigen Anstieg der Verstärkung bei hohen Frequenzen ermöglicht. Der zwischen der zweiten und dritten Röhre befindliche Kopplungskondensator ist so aufgeteilt, daß man ebenfalls durch Umlöten einen Abfall bei tiefen Frequenzen einstellen kann. Der Eingangsscheinwiderstand des Verstärkers ist über das ganze Frequenzband nahezu konstant  $316\Omega$ . Bedingt durch den Systemaufbau, bei dem jeder Hauptverstärker für jede Verbindung benutzbar sein muß — also unabhängig von dem Charakter der betreffenden Fernleitung — müssen alle Verstärker die gleiche Entzerrereinstellung haben. Die Ver-

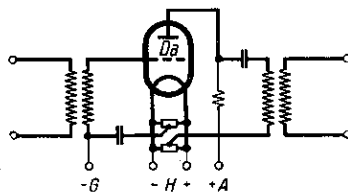
schiedenheiten der Leitungen werden durch die jeder Leitung zugeordneten Leitungs-entzerrer ausgeglichen. Normalerweise soll die Frequenzkurve des Verstärkers waagrecht verlaufen. Nur wenn alle anzuschaltenden Leitungen abfallenden oder ansteigenden Frequenzverlauf haben, können zur Vereinfachung der Entzerrung die Verstärker entsprechend eingestellt werden.



Rundfunkleitungs-Hauptverstärker

Der Ausgangswiderstand des Hauptverstärkers ist niederohmig und beträgt etwa  $25 \Omega$ . Dadurch wird eine Überanpassung erreicht, deren Hauptvorteil darin besteht, daß nichtlineare Verzerrungen stark herabgesetzt werden und somit der Klirrfaktor sehr kleine Werte annimmt. Durch eine sinngemäße Bemessung der Übertrager und Kopplungselemente werden auch bei den tiefsten Frequenzen sehr kleine Laufzeiten erreicht. Durch günstigen Zusammenbau der Einzelteile werden Nebensprechwerte erzielt, die den hohen Forderungen der Rundfunkübertragung gerecht werden. Der Hauptverstärker kann bis zu 15 Zusatzverstärker aussteuern.

c) Zusatzverstärker. Der Zusatzverstärker entspricht im Aufbau der Endstufe des Hauptverstärkers. Die Ausgangsschaltung gleicht genau der des Hauptverstärkers, dagegen ist der Eingang hochohmig ausgeführt ( $> 5000 \Omega$ ). Die sich aus dem niederohmigen Ausgang ergebende Überanpassung bewirkt neben der Herabsetzung der nichtlinearen Verzerrungen, daß bei Anschluß von Kabeln mit verschiedenen Wellenwider-



Rundfunkleitungs-Zusatzverstärker

ständen die Verschiedenheit der Reflexionen bei der Entzerrung nicht berücksichtigt zu werden braucht. Durch den hohen Eingangswiderstand wird erreicht, daß bei Anschalten verschiedener Zusatzverstärker an den Hauptverstärker dessen Verstärkung unverändert bleibt. Da der Verstärker nur den Zweck haben soll, die über den Hauptverstärker ankommende Leistung auf mehrere Kabel ohne Pegelerhöhung weiterzugeben, beträgt die Verstärkungsziffer für alle Frequenzen 0 N.

d) Anschaltung der Leitungen. Die Rundfunk-Übertragungseinrichtungen werden so entzerrt, daß bei einer Ausgangsspannung von  $4 \text{ V eff}$  am Ausgang des ersten Rundfunkleitungs-Verstärkers jeweils an den Ausgängen der folgenden Verstärker ebenfalls eine frequenzunabhängige Spannung von  $4 \text{ V eff}$ , entsprechend einer Ausgangsleistung von  $50 \text{ mW}$  an  $316 \Omega$  herrscht. Die Leitungen werden durch Leitungsübertrager auf diesen Widerstand gebracht. Durch das Leitungs-Anpassungs-Netzwerk werden die Reflexionen auf einen Kleinstwert herabgesetzt. Bei einer zum Senden benutzten Leitung wird das Leitungsnetzwerk kurzgeschlossen, um die konstante Spannung am Ausgang

des Verstärkers nicht dadurch frequenzabhängig zu machen. Durch den Entzerrer E im LE-Gestell wird die Kabeldämpfung dem meist geradlinigen Verlauf der Verstärkungskurve angeglichen. Mit einem nach Bedarf im Verstärker-Gestell eingebauten Temperatur-Dämpfungsausgleich kann die durch Temperaturschwankungen auftretende Dämpfungsänderung der Leitungen in mehreren Stufen ausgeglichen werden.

e) Umschaltfeld. Das in eine Empfangsseite und eine Sendeseite aufgeteilte Umschaltfeld arbeitet mit einem Kreuzverteiler. Dieser enthält links vier senkrechte Reihen für die z. B. auf den Ortsleitungen vom Studio oder auf den Rundfunk-Fernleitungen über die Leitungsentzerrer und Temperatur-Dämpfungsausgleichsglieder ankommenden Programme und rechts vier senkrechte Reihen für die über die vier Zusatzverstärker nach dem Sender oder nach den weitergehenden Fernleitungen abgehenden Programme (vgl. Bild auf S. 160). In den acht waagerechten Reihen liegt zwischen der linken und rechten Hälfte je ein Hauptverstärker, und zwar liegen in den ersten zwei Reihen die beiden Hauptverstärker des ersten Verstärker-Gestells und bei mehreren Rundfunk-Gestellen in der dritten und vierten Reihe die des zweiten Gestells, in der fünften und sechsten Reihe die des dritten Gestells und in der siebenten und achten Reihe die des vierten Gestells. An jeder Kreuzung einer senkrechten und waagerechten Reihe befindet sich eine Vierfachbuchse. Durch Einführen eines Schaltstößels in eine Buchse des linken Verteilerfelds wird der Entzerrer bzw. der Ausgang des Temperatur-Dämpfungsausgleiches mit dem Hauptverstärker-Eingang verbunden. Über weitere Stößel im rechten Verteilerfeld wird die Verbindung zwischen dem Hauptverstärker-Ausgang und den Zusatzverstärkern hergestellt. Die Verbindungen werden einpolig über die a-Ader (Stift 1 und 2 des Verbindungsstößels) durchgeführt, so daß die Zahl der Schaltpunkte möglichst klein ist. Die b-Adern sind geerdet und somit alle durchverbunden.

Um bei voller Freiheit in der Programmverteilung sicherzustellen, daß niemals zwei oder mehr Programme auf ein und dieselbe Leitung gelangen, ist eine sinnreiche Verriegelung vorgesehen. Zur Verriegelung der Verteilerreihen innerhalb eines Gestells werden mechanisch wirkende Kugelsperren verwendet. Die Kugelsperren sind mit Stahlkugeln gefüllte Metallrohre, die hinter den Kreuzungspunkten senkrecht und beim linken Kreuzungsfeld auch waagerecht angeordnet sind. Die Rohre sind beiderseits durch federnde Stifte abgeschlossen. An den Kreuzungspunkten sind die Rohre durchbohrt. Beim Einführen eines Schaltstößels tritt der Führungsstift durch eine Bohrung und verdrängt die Kugeln nach beiden Seiten bis zum festen Anschlag, so daß kein zweiter Stößel mehr in eine Buchse derselben Reihe gesteckt werden kann. Die senkrechten Sperren links verhindern also, daß mehrere Hauptverstärker an eine ankommende Leitung, die waagerechten links, daß mehrere ankommende Leitungen an einen Hauptverstärker angeschlossen werden. Die senkrechten Sperren rechts verhindern, daß ein Zusatzverstärker an mehreren Hauptverstärkern liegt. Außerdem werden Relais-Kontakte geschlossen, die bewirken, daß zugleich mit einer senkrechten Reihe links auch die entsprechende senkrechte Reihe rechts gesperrt ist, eine Leitung also nur für Senden oder für Empfangen geschaltet werden kann. Bei Ortsbetrieb auf Leitung 1 oder 2 ist diese Verriegelung jedoch aufgehoben; es kann also z. B. die Leitung 1 vom Aufnahmeraum kommen und gleichzeitig die dem ersten Zusatzverstärker zugeordnete Leitung 1' zum Ortssender abgehen. Andere Kontakte und Relais verriegeln bei Verwendung mehrerer Rundfunkleitungs-Verstärker-Gestelle nach Auswahl eines Hauptverstärkers die zugehörige linke waagerechte Reihe in allen anderen Gestellen.

Die für die Verriegelung und die Besetztanzeige benötigten Relais werden über die Stifte 3 und 4 des Schaltstößels eingeschaltet. Beim Stecken des Stößels in die gewünschte Buchse der linken Verteilerseite zieht ein Q-Relais an, das die ankommende Leitung über Leitungsentzerrer E (und Temperatur-Dämpfungsausgleich) an die ausgewählte linke senkrechte Reihe legt. Ein anderes Relais läßt dabei die zugehörige weiße Lampe (E) für den Entzerrer und ein weiteres Relais, die weiße Lampe ( $\triangleright$ ) für den Hauptver-

stärker aufleuchten. Dieses Relais schaltet auch in Stellung „Relaiszündung“ des Betriebschalters den zugehörigen Hauptverstärker ein. Beim Stecken der Schaltstöpsel in die nicht verriegelten Buchsen der rechten Verteilerseite, die in derselben waagerechten Reihe wie der bereits ausgewählte Hauptverstärker liegen, werden entsprechende Relais eingeschaltet, die in Stellung „Relaiszündung“ des Betriebschalters ähnlich wie beim Hauptverstärker die Heiz- und Anodenkreise der Zusatzverstärker zünden. Die weißen Lampen ( $\wedge$ ) für die Zusatzverstärker leuchten auf, und das Leitungsnetzwerk LN der zu den ausgewählten Zusatzverstärkern gehörenden Leitungen wird kurzgeschlossen. Stehen die Betriebsschalter der Haupt- und Zusatzverstärker in Stellung „Aus“ oder „Handbetrieb“, so leuchten die zugehörigen roten Besetztlampchen auf. Bei mehreren Verstärker-Gestellen leuchten alle einem Hauptverstärker zugeordneten Lampchen auf. Am rechten Rand des Umschaltfeldes sind sechs Leerbuchsen zur Aufnahme der nicht benötigten Schaltstöpsel vorgesehen.

f) Überwachungseinrichtungen und Störungsmeldung. Die Eingänge und Ausgänge des Leitungsentzerrers und Temperatur-Dämpfungsausgleichs, der Haupt- und Zusatzverstärker sind über das Schaltfeld geführt. Im Schaltfeld enden auch die Meßleitungen zum Überwachungs-Gestell. An entsprechend bezeichneten Buchsen lassen sich die Heiz- und Anodenspannungen bzw. -ströme mit dem Tragbaren Betriebsmeßgerät messen. Fehlende Betriebsspannungen, durchgebrannte Röhren und Gitterstrom des Hauptverstärkers werden selbsttätig durch Aufleuchten der Gestell-Signallampe und entsprechenden Alarm in der Signaleinrichtung des Sicherungs-Gestells (S. 167) gemeldet. Zur Verständigung vom Gestell aus sind schließlich über das Schaltfeld drei Meldeleitungen geschleift, die mit der eingebauten Dienstabfrageeinrichtung verbunden werden können.

g) Fernzündeinrichtung. Für die Leitungen 3 und 4 eines jeden Gestells kann nach Bedarf eine selbsttätige Fernzündeinrichtung eingebaut werden, die aus einer Relaisschiene, einem Fernzündstreifen im Schaltfeld und einem bzw. zwei Spannungsteilern mit Anodenstrom-Widerstandslampen im Gestellkopf besteht. Der Fernzündstreifen des Schaltfeldes enthält auf den Endämtern A und B für die Leitung 3 und für die Leitung 4 je eine Zünd- und Lösch taste mit den zugehörigen Signallampen. Beide Endämter sind zum Senden sowie Empfangen der Zünd- und Löschezeichen eingerichtet. In den Unterwegsämtern ist die selbsttätige Verbindung von Leitung 3 mit Leitung 4 über Haupt- und Zusatzverstärker in beiden Übertragungsrichtungen möglich. Die Zünd- und Löschtasten mit den Signallampen fehlen auf den Unterwegsämtern. Die Umstellung von Handbetrieb auf selbsttätigen Betrieb geschieht getrennt für Leitung 3 und 4 durch Umstecken je eines besonderen Vierpolsteckers in den Buchsen „Fernzündung, Handzündung“ des Fernzündstreifens. Die Unterwegsämter, deren Betriebsschalter auf „Relaiszündung“ geschaltet sind, erfordern für die Durchverbindung, Zündung und Löschung keine Bedienung.

Der Zünd- und Löschvorgang geht in umgekehrter Richtung vor sich wie die Programmübertragung. Zum Durchschalten der Verbindung und zum Zünden der Unterwegsämter wird in dem Endamt, in dem das Programm empfangen werden soll, die Zündtaste gedrückt. Dadurch wird für kurze Zeit eine Gleichspannung an die a-Ader gelegt. Zugleich zeigt die über der Zündtaste liegende grüne Lampe an, daß der Zündimpuls auf die Leitung gesendet wurde. Im Unterwegsamt wird durch den ankommenden Zündimpuls die in Richtung zum programmsendenden Amt weitergehende Leitung über Leitungsentzerrer, Hauptverstärker und Zusatzverstärker mit der ankommenden Leitung verbunden. Der Haupt- und der Zusatzverstärker werden gezündet und außerdem eine neue Zündspannung an die weitergehende Leitung gelegt. Dieser Vorgang wiederholt sich in jedem Unterwegsamt, bis der Zündimpuls im programmsendenden Endamt ankommt. Dort leuchtet die über der Löschtaste befindliche rote Lampe auf zum Zeichen dafür, daß alle dazwischen liegenden Unterwegsämter ferngezündet sind und eine Übertragung in Richtung programmsendendes Endamt — fernzündendes Endamt stattfinden kann.

Nach beendiger Übertragung wird durch Drücken der Löschtaste vom fernzündenden Endamt für kurze Zeit eine Gleichspannung, und zwar diesmal an beide Adern gegeben. In den Unterwegsämtern werden dadurch die Verstärker gelöscht und die Verbindungen aufgetrennt. Als Zeichen dafür erlöschen im fernzündenden Amt die grüne und im programmsendenden Amt die rote Lampe.

### Stromversorgung

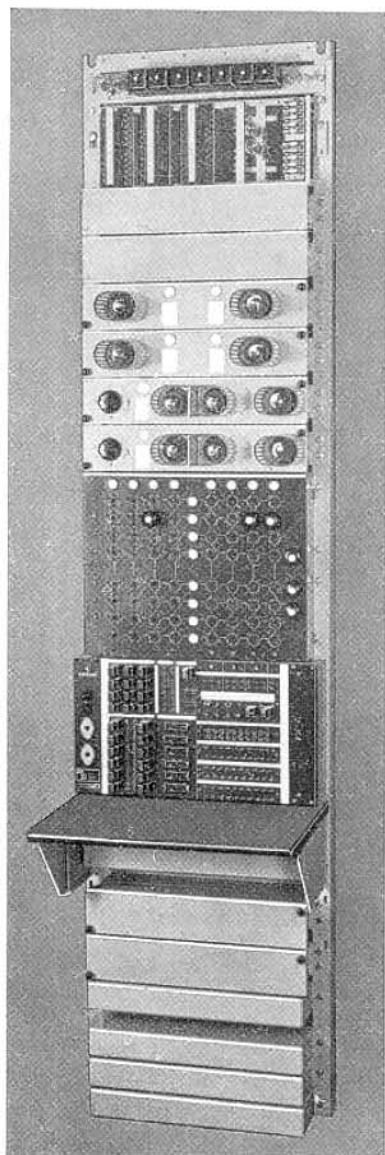
Die Rundfunkleitungs-Verstärker-Gestelle sind zum Anschluß an 9 oder 20 V Heizspannung (geregelt), 12 oder 24 V Signalspannung und 212 V Anodenspannung (geregelt) eingerichtet. Die bei den höheren Spannungen 20 bzw. 24 V benötigten Vorwiderstände sind immer miteingebaut. Die Betriebsspannungen werden der Stromversorgungsanlage des Amtes entnommen. Zum Überwachen und Regeln der Betriebsspannungen (sowie zum Prüfen und Messen der Verstärker und Leitungen) ist das Rundfunk-Prüf- und Sicherungs-Gestell (s. S. 167) vorgesehen.

### Aufbau

Das Rundfunkleitungs-Verstärker-Gestell in seiner normalen Bestückung zeigt das Lichtbild. Das Gestell enthält über der Tischplatte das Schaltfeld, das die zur Ausführung von Messungen einschließlich der Überprüfung der Betriebsspannungen und -ströme und zur Durchführung von Ersatzschaltungen notwendigen Prüf- und Trennbuchsen, ferner die Abfrageeinrichtung und die Schalter für die Betriebsspannungen enthält, das Umschaltfeld für vier Fernleitungen und acht Programme. Darüber sind die beiden Hauptverstärker und die vier Zusatzverstärker angeordnet. Die beiden Baukästen über den Verstärkern nehmen die Anpassungs-Netzwerke für die vier Fernleitungen auf. Die Relais für das Umschaltfeld und die Fernzündung, ferner die Temperatur-Dämpfungsausgleiche sitzen unterhalb der Tischplatte.

Je nach Größe des Amtes, d. h. je nach Zahl der Fernleitungen und der zu übertragenden Programme, werden ein bis vier Normalgestelle aufgestellt. Bei mehr als 16 Fernleitungen genügen für die darüber liegenden Fernleitungen Verstärker-Gestelle ohne Hauptverstärker, bei mehr als acht Programmen wird das Amt mit entsprechend erweitertem Umschaltfeld ausgerüstet. Das Lichtbild auf S. 166 zeigt ein Rundfunkleitungs-Verstärkeramt für acht Programme und 36 Fernleitungen einschließlich Prüf- und Sicherungs-Gestell.

Die Entzerrer werden auf besonderen Gestellen, den Rundfunkleitungs-Entzerrer-Gestellen, angeordnet. Ein solches Gestell nimmt die Entzerrer für acht Leitungen auf.

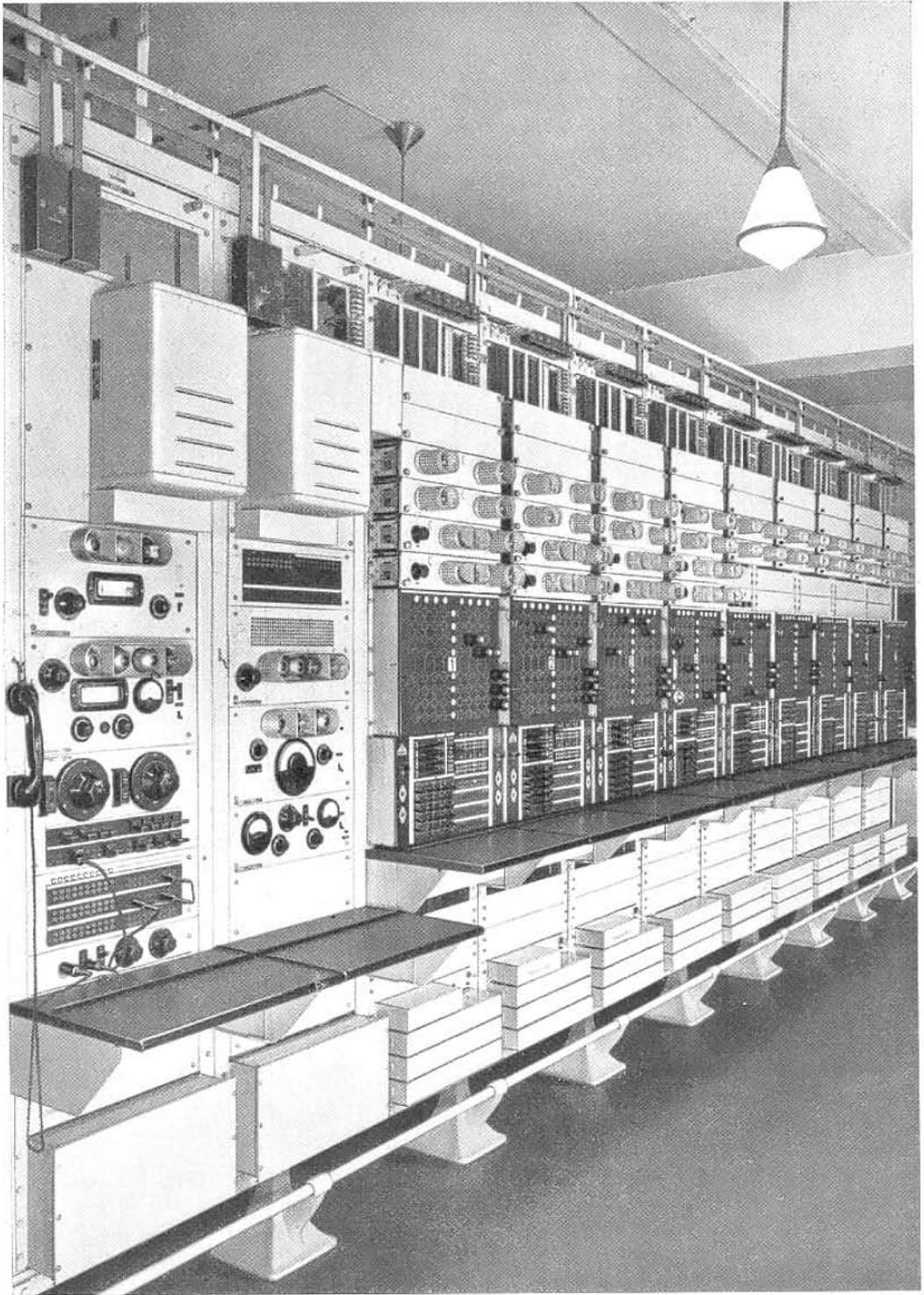


Rundfunkleitungs-  
Verstärker-Gestell

## Zubehör, Maße und Gewichte

Gegenstand	Bezeichnung	Abmessungen in mm	Gewicht etwa kg	Listen-Nr.	Preis RM
<b>Rundfunkleitungs-Verstärker-Gestell</b> mit	Rel Sk I A 37/4 b	550×2365×520	150	<b>108 517</b>	
2 Hauptverstärkern . . . . .	Rel Sk I B 37/3	520×100×305	—	<b>108 518</b>	
2×2 Zusatzverstärkern . . . . .	Rel Sk I B 37/4 <sup>1)</sup>	520×100×305 <sup>1)</sup>	—	<b>108 519</b>	
2 Leitungsabschlußgehäusen . . . . . mit Relais und je 2 Anpassungs-Netzwerken	Rel gest 130 Tz 44	520×100×260			
für gelbes und rotes Kabel . . . . .	LN 101 Ko Bv 3999 a	—	—	<b>108 520</b>	
für schwarzes, blaues und grünes Kabel . . . . . und je 3 Anpassungsübertragern <sup>2)</sup>	LN 102 Ko Bv 4987 a	—	—	<b>108 521</b>	
für gelbes und rotes Kabel . . . . .	LÜ 101 a	—	—	<b>108 523</b>	
für schwarzes, blaues und grünes Kabel . . . . .	LÜ 102 a	—	—	<b>108 524</b>	
Zubehör:					
4 Röhren . . . . .	Ba	—	—	<b>105 958</b>	
6 Röhren . . . . .	Da	—	—	<b>105 928</b>	
1 Gestell-Signallampe . . . . .	24 V/10 W, weiß	—	—	<b>107 929</b>	
1 Rußstrom-Widerstandslampe . . . . .	110 V/25 W, weiß	—	—	<b>107 926</b>	
6 Sicherungen 2,5 A . . . . .	Rel schn 27, Tz 6	—	—	<b>108 389</b>	
3 Sicherungen 1,5 A . . . . .	Rel schn 27, Tz 6	—	—	<b>108 388</b>	
31 Signallämpchen					
für 12 V . . . . .	Rel Ip 22 e	—	—	<b>107 978</b>	
für 24 V . . . . .	Rel Ip 22 d	—	—	<b>107 922</b>	
5 Schaltstöpsel . . . . .	Rel stp 12 a	—	—	<b>107 810</b>	
12 Verbindungsstecker . . . . .	Rel stp 39 b	—	—	<b>107 591</b>	
1 Verbindungsstecker . . . . .	Rel stp 39 c	—	—	<b>107 592</b>	
12 Verbindungsstecker . . . . .	Rel stp 39 d	—	—	<b>107 593</b>	
1 geschirmter Stecker . . . . .	Rel stp 26 a	—	—	<b>106 794</b>	
Verbindungsleitungen <sup>3)</sup> . . . . .	Rel Itg 273 a	1160	0,1	<b>106 297</b>	
Verbindungsleitungen <sup>3)</sup> . . . . .	Rel Itg 275 a	2410	0,1	<b>106 290</b>	
1 Tragbares Betriebsmeßgerät <sup>3)</sup> . . . . .	Ms ldr 270 b	—	—		
1 Meßgeräte-Anschlußschnur <sup>2)</sup> . . . . .	n. Rel Bv 240/1	150×170×80	1,9	<b>105 826</b>	
1 Mikrotelefon . . . . .	Rel Itg 274 a	1130	0,1	<b>106 279</b>	
2 Gehäuse <sup>3)</sup> mit je 2 Temperatur- Dämpfungsausgleichen . . . . .	Fg mph 27 c	—	—	<b>108 392</b>	
1 Fernzündeinrichtung					
für Endamt <sup>3)</sup> . . . . .	Rel gh 60 h	520×100×260	—	<b>108 526</b>	
für Unterwegsamt . . . . .	Rel Sk I C 37/9	—	—	<b>108 527</b>	
Rundfunkleitungs-Entzerrer-Gestell <sup>4)</sup>	Rel Sk I C 37/10	—	—	<b>108 528</b>	
	Rel gest 178 a	650×2365×120	70	<b>108 536</b>	
Zubehör für Fernzündeinrichtung im Endamt:					
1 bzw. 2 Spannungsteiler 10 kΩ . . . . .	Zub wd 208 g	—	—	<b>108 529</b>	
1 bzw. 2 Lampenfassungen . . . . .	Fg Ip 8 a	—	—	<b>106 024</b>	
1 bzw. 2 Anodenstrom-Widerstands- lampen . . . . .	220 V/25 W	—	—	<b>107 923</b>	
4 Signallämpchen					
bei 12 V . . . . .	Rel Ip 22 e	—	—	<b>107 978</b>	
bei 24 V . . . . .	Rel Ip 22 d	—	—	<b>107 922</b>	
1 Sicherung 2,5 A . . . . .	Rel schn 27, Tz 6	—	—	<b>108 389</b>	
im Unterwegsamt:					
1 Anodenstrom-Widerstandslampe . . . . .	220 V/25 W	—	—	<b>107 923</b>	
1 Stealitsicherung 2,5 A . . . . .	Rel schn 27, Tz 6	—	—	<b>108 389</b>	

1) Je 2 Stück 2) Nach Bedarf 3) Je nach Kabelart 4) Nimmt Entzerrer für 8 Leitungen auf



Gestellreihe eines Rundfunkleitungs-Verstärkeramtes für acht Programme und 36 Fernleitungen  
Links: Prüf- und Sicherungs-Gestell

B. Rundfunkleitungs- Verstärker	<b>Rundfunkleitungs- Prüf- und -Sicherungs-Gestell</b>	Rel Sk I A 38/13
------------------------------------	--	------------------

### Anwendung

In den Unterwegs- und Verzweigungsämtern des Rundfunkleitungs-Netzes werden die zur Überwachung der Leitungen und Verstärker erforderlichen Einrichtungen im Prüf- und Sicherungs-Gestell zu einem übersichtlichen Meßplatz vereinigt. Zur Überprüfung der Rundfunk-Leitungsverstärker auf Verstärkungsziffer und Betriebszustand ist eine Verstärkungs-Meßeinrichtung vorgesehen. Zum regelmäßigen Messen der jeweils benutzten Leitungen vor der Übertragung sind die zu einem Pegel-Meßplatz vereinigten Pegel-Sende- und Empfangsgeräte bestimmt. Da das Abschätzen der Übertragungsverhältnisse nach dem Gehör mit einer Abhörvorrichtung nicht ausreichend ist, muß die Überwachung durch ein anzeigendes Verfahren ergänzt werden. Das bedingt neben der Abhörvorrichtung die Verwendung eines Spannungsspitzenzeigers zum Überwachen der oberen Grenze der zulässigen Nutzsparnungen. Außerdem läßt sich im Gestell noch eine Anordnung zur akustischen und optischen Überwachung von Trägerfrequenz-Drahtfunkübertragungen unterbringen. Es besteht weiter die Möglichkeit, eine Leitung als Hilfssendeleitung abzuzweigen, wobei der Leistungs- und Abhörverstärker als Hilfsverstärker arbeitet.

Auf dem Gestell sind auch die Sicherungen für die einzelnen Betriebsstromkreise der zugeordneten Rundfunkleitungs-Verstärker-Gestelle angeordnet, ferner Kohledruckregler zum Ausgleichen der Schwankungen der Anoden-, Heiz- und Gitterspannungen. Diese Gleichhaltung der Betriebsspannungen der Verstärker ist eine wichtige Voraussetzung für gleichbleibenden Verstärkungsgrad und damit für gleichbleibende Übertragungsgüte. Schließlich werden fehlende Betriebsspannungen durch eine zugehörige Lichtzeicheneinrichtung mit Wecker signalisiert, die auch Störungen in den einzelnen Verstärker-Gestellen durch fehlende Betriebsspannungen, durchgebrannte Röhren und Gitterstrom meldet und kennzeichnet.

### Elektrische Werte

a) Schwebungssummer, Leistungsverstärker, Spannungsmessfeld

Frequenzbereich . . . . .	30 bis 20000 Hz
unterteilt in zwei Teilbereiche . . . . .	30 bis 10000 Hz und 10000 bis 20000 Hz
Frequenzunsicherheit nach Nullpunkteichung . . . . .	$\pm 5\% \pm 5$ Hz
Frequenzänderung nach 15 min Einbrennzeit . . . . .	etwa 5 Hz/h
Höchste abgebbare Leistung . . . . .	etwa 1 W
Einstellbare Ausgangsspannungen . . . . .	0 bis 2 N
Unsicherheit der Ausgangsspannung . . . . .	$\pm 0,03$ N
Ausgangsscheinwiderstand:	

Stellung	0 N	+0,7 N	0 N 600 $\Omega$	+0,5 N 600 $\Omega$	+1 N	+1,4 N	+2 N
EMK	0,775	1,55	1,55	2,56	2,1	3,1	5,73 V
$R_i$	<0,5	2,0	600	600	<3,5	<10	20 $\Omega$

b) Verstärkungs-Meßeinrichtung

Frequenzbereich . . . . .	bis 10000 Hz
Meßbereich . . . . .	bis 6,5 N
Meßunsicherheit . . . . .	etwa 0,05 N

c) Pegelmesser

Frequenzbereich . . . . .	30 bis 20000 Hz
Meßbereich . . . . .	—3 bis +2 N
veränderbar in 11 Stufen zu je . . . . .	0,5 N
Meßunsicherheit bei 800 Hz . . . . .	etwa $\pm 0,04$ N
Frequenzabhängigkeit der Anzeige auf 800 Hz bezogen . . . . .	etwa 0,05 N

d) Höchstwertmesser

Frequenzbereich . . . . .	30 bis 10000 Hz
Meßbereich . . . . .	1 bis 6 V eff
Meßunsicherheit . . . . .	etwa $\pm 10\%$
Ansprechzeit . . . . .	etwa 20 ms
Abklingzeit . . . . .	2 bis 6 s

e) Spannungsregler	Anodenspg.	Heizspannung		Gitterspannung
	SpR 212/1,5 a	SpR 9/35 c	SpR 20/15 a	SpRG
Ungeregelte Spannung . . . . .	216 bis 240 V	10,5 bis 15 V	21,5 bis 32,5 V	37 bis 45 V
Geregelte Spannung . . . . .	212 V $\pm 1\%$	9 V $\pm 1\%$	20 V $\pm 1\%$	} geregelter Strom 60 mA
Größter abgebarer Strom . . . . .	1,5 A	35 A	15 A	
Mindeststrom . . . . .	0,05 A	3 A	1,5 A	
Eigenverbrauch . . . . .	0,14 A	3,2 A	1,54 A	

f) Strom- und Spannungsbedarf des Gestells

Netzspannung, umschaltbar . . . . .	110, 125, 150, 220 und 240 V
Netzfrequenz . . . . .	50 Hz
Leistungsaufnahme . . . . .	etwa 200 VA
Ausgangsspannung hinter dem Netzspannungsregler . . . . .	220 V $\pm 1\%$
Regelgenauigkeit bei Netzspannungsschwankungen von +10, —15% . . . . .	$\pm 1\%$

Arbeitsweise

a) Prüfeinrichtungen. Die Prüfeinrichtungen lassen sich dem mehrfachen Verwendungszweck entsprechend in folgende Teile gliedern:

Der Verstärkungs-Meßplatz setzt sich zusammen aus dem Schwebungssummer, dem Leistungsverstärker zur Verstärkung der vom Schwebungssummer abgegebenen kleinen Sendespannungen, dem Spannungsmessfeld, der Verstärkungs-Meßeinrichtung, den entsprechenden Abschlußwiderständen und dem Pegelmesser.

Der Pegelmeßplatz setzt sich in seinem Sendeteil zusammen aus Schwebungssummer, Leistungsverstärker und Spannungsmessfeld; seinen Empfangsteil bildet der in Neper geeichte Pegelmesser.

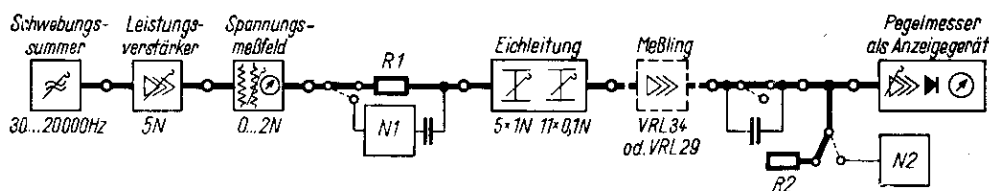
Zur Überwachungseinrichtung zählen die Abhörvorrichtung zur akustischen Überwachung der Sendung — sie baut sich auf aus dem Zusatzgerät zum Leistungsverstärker und dem Leistungsverstärker, der in diesem Fall als Abhörverstärker geschaltet ist — und der Höchstwertmesser zur optischen Überwachung der Spitzen der Nutzspeisung. Der Leistungsverstärker kann auch als Hilfsverstärker arbeiten.

Der Schwebungssummer wird als Meßsender verwendet; sein Frequenzbereich erstreckt sich über das gesamte Tonfrequenzgebiet. Die Meßfrequenz entsteht als Differenz der von zwei Röhrendern gelieferten Frequenzen. Damit die Frequenzskale mit der abgegebenen Frequenz genau übereinstimmt, wird der Summer durch die Nullpunkteinstellung vor Beginn jeder Meßreihe, besonders aber nach Temperaturschwankungen nachgeeicht.

Die vom Schwebungssummer abgegebene Sendespannung wird im Leistungsverstärker verstärkt. Der Verstärker ist dreistufig, CW-gekoppelt, und zwar enthält er zwei Stufen Spannungsverstärkung und eine Leistungsstufe. In Reihe mit einem Spannungsteiler

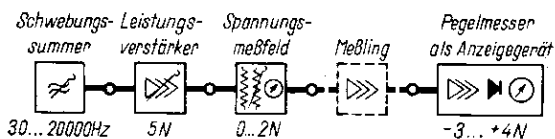
hinter der ersten Röhre liegt eine Entzerrerschaltung, die für das Zusammenarbeiten mit dem Spannungsmeßfeld eingestellt ist. Die Heizspannung für die wechselstrombeheizten Röhren wird zwei getrennten Heizwicklungen des Transformators entnommen, die zur Verminderung der Brummspannung gegen Erde symmetriert sind. Außerdem ist eine einstellbare Brummspannungskompensation eingebaut.

Die vom Schwebungssummer abgegebenen und im Leistungsverstärker verstärkten Wechselspannungen werden im Spannungsmeßfeld auf einen bestimmten Wert eingestellt. Die verstärkte Summerspannung ist an einen Übertrager geführt, dessen Sekundärseite verschiedene, den Sendepegeln entsprechende Abgriffe hat. Durch einen Schalter lassen sich sieben Pegelwerte einstellen, die Feineinstellung der gewünschten Sendespannung wird mit den Reglern im Summer (fein) und Leistungsverstärker (grob) nach einem Instrument im Spannungsmeßfeld eingestellt.



Meßeinrichtungen als Verstärkungs-Meßplatz geschaltet

Für die Messung der Verstärkungsziffer der Rundfunkleitungs-Verstärker wird die Verstärkungs-Meßeinrichtung verwendet. Das Gerät enthält die Abschlüsse R1, N1, eine Eichleitung und die Abschlüsse R2, N2. Die Nachbildung N1 (des schwarzen Kernvierer-Phantomkreises am VRL 29) wird für Verstärkungsmessungen am Rundfunkleitungsverstärker VRL 29 wegen dessen abweichenden Scheinwiderstandes benutzt, während für Verstärkungsmessungen am VRL 34 der komplexe Widerstand durch den reellen Widerstand  $R1 = 316 \Omega$  ersetzt wird. Die Eichleitung gliedert sich in zwei Teile, von denen der eine in fünf ganze Neperstufen 0 bis 5 N umschaltbar ist, während der Dämpfungswert des anderen in 11 Stufen zu je 0,1 N verändert werden kann. Die Messung



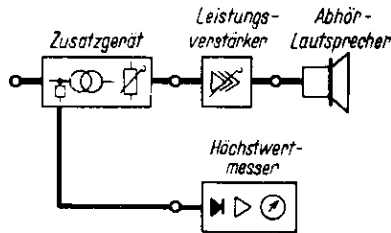
Meßeinrichtungen als Pegel-Meßplatz geschaltet

der Verstärkungsziffer von Rundfunkleitungs-Verstärkern kann mit der Verstärkungs-Meßeinrichtung an verschiedenen Abschlußwiderständen, die je nach der Art der Vorwiderstände gewählt sind, ausgeführt werden. Für Verstärkungsmessungen am Rundfunkleitungs-Verstärker VRL29 ist dies die Nachbildung N2. Als Abschlußwiderstand für Messungen am Rundfunkleitungs-Verstärker VRL 34 dient der  $316\text{-}\Omega$ -Widerstand R2. Außerdem sind am Pegelmessgerät noch Buchsen für beliebige Abschlußwiderstände vorgesehen.

Bei Messungen am Rundfunkleitungs-Verstärker VRL 29 wird die Eichleitung symmetrisch geschaltet, bei Messungen am Rundfunkleitungs-Verstärker VRL 34 unsymmetrisch. Bei der Messung wird für jede Meßfrequenz die Eichleitung so verändert, daß z. B. beim Sendepegel  $+0,7\text{ N}$  der am Pegelmessgerät abgelesene Wert zwischen  $-0,5$  und  $+0,5\text{ N}$  liegt. Die Verstärkungsziffer ist dann die Summe aus dem an der Eichleitung eingestellten Dämpfungswert und dem abgelesenen Pegelwert.

Der Pegelmesser ist ein dreistufiger Verstärker mit hochohmigem Eingang und einem Gleichrichter-Meßkreis mit Drehspulinstrument am Ausgang. Er wird als Anzeigergerät für Dämpfungs- und Verstärkungsmessungen an Übertragungssystemen und Verstärkern verwendet. Das Gerät ist in Neper geeicht. Der quadratisch ausgesteuerte Gleichrichterkreis und der annähernd symmetrische Eingang machen die Anzeige des Gerätes ausreichend unabhängig von Kurvenform und Unsymmetrie der zu messenden Spannung.

Die im Studio mit Hilfe des Tonmessers eingeregeltte Dynamik der Sendung wird in den Unterwegs- und Verzweigungsämtern mit dem Höchstwertmesser auf die obere Grenze der Nutzspannung überwacht.



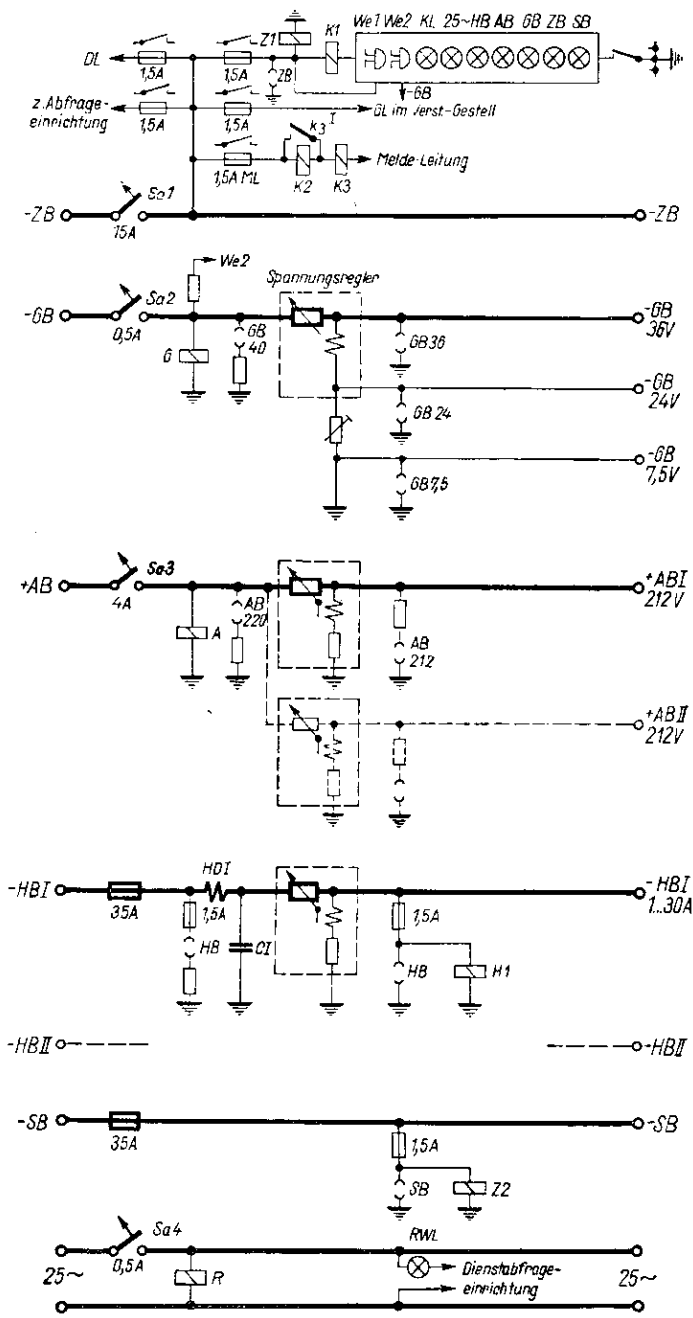
Leistungsverstärker als Abhörverstärker geschaltet

Das Gerät ist ein Spannungsspitzenzeiger, das nach dem Impulsmeßverfahren arbeitet. Ein Kondensator wird über einen Gleichrichter von der zu messenden Tonfrequenzspannung schnell auf seinen Spitzenwert aufgeladen. Die Kondensatorspannung steuert einen Gleichspannungsverstärker, in dessen Anodenkreis ein Anzeigeelement liegt. Der Kondensator entlädt sich nur sehr langsam, so daß das Instrument Zeit hat, sich einzustellen.

b) Überwachungseinrichtung. Für die Überwachung ist es notwendig, daß zwischen den einzelnen Überwachungsstellen eine Verständigungsmöglichkeit besteht. Zu diesem Zweck werden Fernsprechleitungen, sogenannte Meldeleitungen, benutzt, die ausschließlich dem Sprechverkehr zwischen den Überwachungsstellen dienen. Diese Meldeleitungen liegen an entsprechend bezeichneten Buchsen im Buchsenfeld für Meldeleitungen. Neben diesen Leitungen können außerdem noch die Dienstleitungen an die Gestelle geführt werden, so daß jederzeit die Möglichkeit besteht, mit den Nachbar-Verstärkerämtern in Verbindung zu treten.

Die Gespräche über die Meldeleitungen werden unmittelbar an den Überwachungsstellen abgewickelt. Hierzu ist auf dem linken Gestell unterhalb des Meldeleitungs-Buchsenfeldes eine Abfrageeinrichtung vorgesehen, die außer für den Gesprächsverkehr auf den Meldeleitungen gegebenenfalls auch für den Verkehr auf den Dienstleitungen benutzt werden kann.

Das Buchsenfeld ist ausreichend für 10 Meldeleitungen (im Gestell ist aber nur die Verkabelung von fünf Meldeleitungen vorgesehen, da mehr als fünf Meldeleitungen im allgemeinen nicht benötigt werden). Die Meldeleitungen sind über die Buchsenkontakte verbunden. Ein über diese Meldeleitungen ankommender Ruf betätigt das der Meldeleitung zugeordnete Anrufrelais, das sich auch nach Aufhören des Rufes über seine Haltewicklung selbst hält und die zugehörige, über den entsprechenden Buchsen im Buchsenfeld angeordnete Anruflampe zündet. Gleichzeitig wird über Relais der Wecker und die Kontrolllampe eingeschaltet. Die Stromkreise für die Rufsignale werden wieder aufgetrennt, wenn sich der Beamte über die Buchsen „Mithören“ mit der Abfrageeinrichtung in die Leitung schaltet. Die Abfrageeinrichtung wird mit Steckerschnüren an die Buchsen des Meldeleitungsfeldes angeschlossen. Beim Rufen wird ein 25-Hz-Ruf in die abgehende Leitung gegeben. Als Stromquelle dient die örtliche Rufstrommaschine.



Verteilung und Gleichhaltung der Betriebsspannungen beim Rundfunkleitungs-Prüf- und -Sicherungs-Gestell

c) Spannungsreglung und Stromverteilung. Für die Gleichhaltung der Anoden-, Heiz- und Gitterspannungen der Verstärker werden als Spannungsgleichhalter sogenannte Kohledruckregler verwendet, die eine Gleichhaltung der Spannungen auf etwa  $\pm 1\%$  ermöglichen (ihre Arbeitsweise siehe Seite 137). Je nach Strombedarf werden ein oder zwei Anoden- und ein oder zwei Heizspannungsregler ferner ein Gitterspannungsregler vorgesehen.

Wie das vereinfachte Schaltbild auf S. 171 zeigt, sind die einzelnen Stromkreise entsprechend ihrer Belastbarkeit gesichert. Die Drossel und der Kondensator im Heizspannungskreis dienen zur Siebung. Alle Spannungen werden an Meßbuchsen im Spannungsmessfeld geführt. Die Spannungen werden hier mit dem Tragbaren Betriebsmeßgerät (s. S. 192) ohne Umschaltung seines Meßbereiches gemessen, da den betreffenden Buchsen passende Vorwiderstände zugeordnet sind. Mit dem gleichen Meßgerät können an den Verstärker-Gestellen die Betriebsspannungen und -ströme überprüft werden.

d) Störungsmeldung. Die im Relaisfeld vereinigten Relais dienen dazu, die Alarmeinrichtungen bei Ausfall der Anoden-, Heiz-, Gitter-, ZB-, SB- und 25-Hz-Rufspannung zum Ansprechen zu bringen. Außerdem findet eine Meldung bei Eintreffen eines Rufes auf der Dienst- oder Meldeleitung und bei Durchbrennen einer Springsicherung statt. Als Anzeigevorrichtung sind sechs Signallampen (25~, HB, AB, GB, ZB, SB), eine Kontrolllampe KL und die Wecker We 1 und We 2 vorgesehen.

Ein auf einer Meldeleitung ankommender Ruf wird, abgesehen von der Anzeige durch die entsprechende Anruflampe, durch den Wecker We 1 und die Kontrolllampe gemeldet, und zwar zieht bei Eintreffen eines Rufes das (empfindlichere) K 2-Relais an. Bei gleichzeitigem Eintreffen mehrerer Rufe zieht das K 3-Relais an und überbrückt mit seinem  $k3^I$ -Kontakt das K 2-Relais; gleichzeitig wird ebenfalls ein Stromkreis für den Wecker und die Kontrolllampe geschlossen. Ein über eine Dienstleitung ankommender Ruf schließt über das K 1-Relais den Stromkreis für den Wecker We 1 und die Kontrolllampe KL. Ein Umschalten des Weckerschalters (unterhalb der Wecker) zum Abstellen des Weckers We 1 bleibt bei Rufmeldungen wirkungslos. Diese Anordnung wurde vorgesehen, weil sonst für Rufe, die nach Abstellen des Weckers eintreffen, keine Möglichkeit der akustischen Anzeige bestehen würde.

Die Anzeige von Störungen in der Stromversorgung im Anoden-, Heiz-, Gitter-, 25~- und SB-Kreis geschieht über die Überwachungsrelais A, H 1 (bzw. H 2), G, R bzw. Z 2. Gleichzeitig wird das K 1-Relais erregt, das Wecker und Kontrolllampe einschaltet. Bleibt die 24-V-Spannung ZB aus, so fällt das Relais Z 1 ab und schaltet den Wecker We 2 ein, der aus der Gitterbatterie gespeist wird. Die ZB-Lampe leuchtet, abgesehen von dem Ausfall der Signalbatterie, auf, sobald eine der Springsicherungen durchgebrannt ist. In diesem Fall zieht das (nicht gezeichnete) Z E-Relais an und schließt den Stromkreis für die ZB-Lampe.

Zur Kennzeichnung der Störungen in den einzelnen Verstärker-Gestellen sind die einzelnen Lampenkreise der Lichtzeicheneinrichtung auch über entsprechende Relaiskontakte in diesen Gestellen geführt.

### Stromversorgung

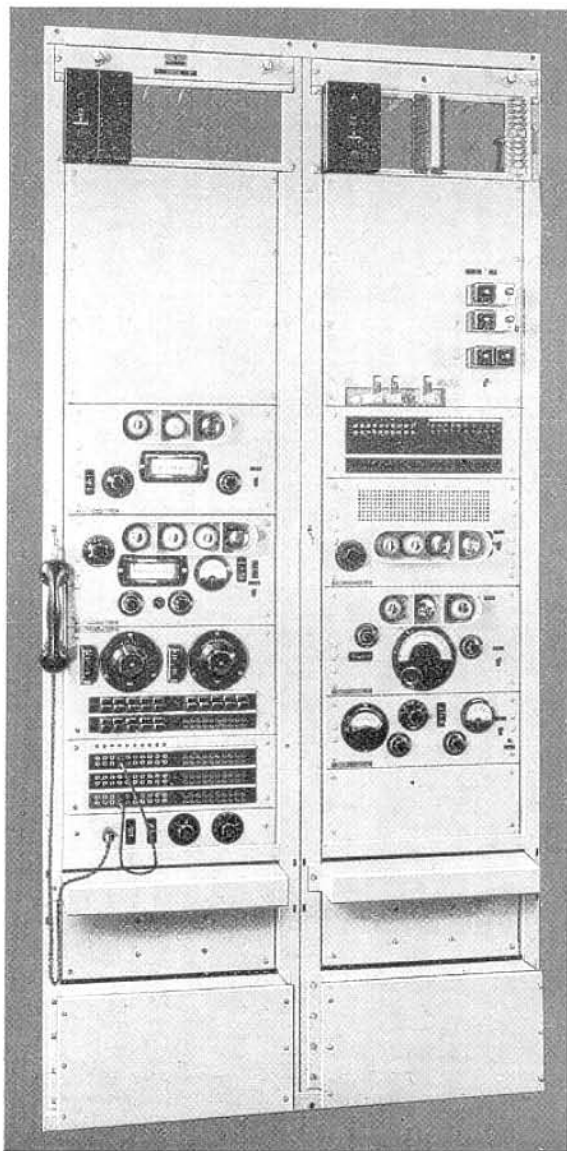
Die im Gestell eingebauten Prüf- und Meßeinrichtungen werden aus einem Wechselstromnetz der üblichen Spannungsreihe (240, 220, 150, 125, 110 V; 50 Hz) gespeist. Der Netztransformator, der unterhalb der Relaischiene im rechten Gestellrahmen untergebracht ist, übersetzt die Spannung auf 220 V. Die Netzspannung für den Pegelmesser, den Schwebungssummeer und den Leistungsverstärker wird durch einen magnetischen Spannungsgleichhalter geregelt. Dieser enthält keine bewegten Teile, so daß eine Abnutzung nicht auftritt und eine besondere Wartung nicht notwendig ist. Das elektromagnetische Regelprinzip, auf dem die Wirkungsweise des Gerätes beruht, ist nur angewend-

bar auf Wechselspannung. Die Regelung erfolgt mit Hilfe eisengesättigter Drosseln, die im Wechselstromkreis liegen. Dadurch, daß sich bei Spannungsschwankungen der Blindanteil ändert, ergibt sich für die vorzugsweise aus ohmscher Belastung bestehenden Verbraucher eine nahezu gleichbleibende Wirkspannung (Blindlastregelung, s. auch Netzspannungsregler Rel na 96 c, S. 180).

Außer dem Eigenverbrauch für die Spannungsregler, der dem jeweiligen Stromkreis entnommen wird, benötigt der Sicherungsteil des Gestells nur eine geringe Leistung aus der Z-Batterie für die Lichtzeicheneinrichtung und kurzzeitig für die Abfrageeinrichtung.

### Aufbau

Die Anordnung der Meßgeräte und zusätzlichen Einrichtungen zeigt das nebenstehende Lichtbild. Die freien Platten (oben) nehmen die Heizspannungsregler auf. Die Regler für die Anodenspannung sitzen auf der Rückseite. Ebenfalls auf der Rückseite, jedoch im unteren Teil des Gestells, sind die Heizspannungsdrosseln HD und Siebkondensatoren C, der Netzspannungsgleichhalter und der Netztransformator angeordnet. Für die Meldeleitungen ist in der linken Gestellhälfte ein besonderes Buchsenfeld und die Abfrageeinrichtung vorgesehen. Die Buchsen zum Messen der Betriebsspannungen (geregelt und unregelt) liegen im Meßbuchsenfeld (rechts oben). Für Ersatzschaltungen und für Prüfzwecke sind die wichtigsten Leitungen über Trennbuchsen geführt, die im Feld der Verstärkungs-Meßeinrichtung untergebracht sind. An diesen Buchsen liegen die Meßleitungen, die Ein- und Ausgänge für den Leistungsverstärker, das Spannungmeßfeld, die Verstärkungs-Meßeinrichtung und den Pegelmesser. Die schaltungsmäßig zusammengehörigen Buchsenpaare sind fast ausschließlich nebeneinander angeordnet, so daß die benötigten Verbindungen mit Doppel-Kurzschlußsteckern hergestellt werden können. Sämtliche Buchsen, wie auch die Doppel-Kurzschlußstecker, sind geschirmt, um Störungen zu vermeiden. Zur Verbindung von nicht nebeneinanderliegenden Buchsenpaaren werden Steckerschnüre verwendet. Die Einordnung des Prüf- und Sicherungs-Gestells in eine Gestellreihe zeigt das Lichtbild auf Seite 166.



Rundfunkleitungs-Prüf- und -Sicherungs-Gestell

## Zubehör, Maße und Gewichte

Gegenstand	Bezeichnung	Abmessungen in mm	Gewicht etwa kg	Listen-Nr.	Preis RM
<b>Rundfunkleitungs-Prüf- und -Sicherungs-Gestell</b> . . . . .	Rel Sk I A 38/13	1110×2365×245	320	<b>107 702</b>	
Zubehör:					
für Schwebungssummer					
2 Röhren . . . . .	Bi	—	—	<b>106 918</b>	
1 Gleichrichterröhre . . . . .	RGN 564	—	—	<b>106 904</b>	
1 Schmelzeinsatz 400 mA . . . . .	0,6/250 DIN 41 575	—	—	<b>108 405</b>	
für Leistungsverstärker Rel msv 65 c					
2 Röhren . . . . .	Bi	—	—	<b>106 918</b>	
1 Röhre . . . . .	Da	—	—	<b>105 928</b>	
1 Gleichrichterröhre . . . . .	RGN 1064	—	—	<b>106 926</b>	
1 Schmelzeinsatz 600 mA . . . . .	0,6/250 DIN 41 575	—	—	<b>108 405</b>	
für Leistungsverstärker Rel msv 99 b					
2 Röhren . . . . .	Bi	—	—	<b>106 918</b>	
1 Röhre . . . . .	Ec	—	—	<b>106 982</b>	
1 Gleichrichterröhre . . . . .	Z 2 b	—	—	<b>106 993</b>	
1 Schmelzeinsatz 1000 mA . . . . .	1/250 DIN 41 575	—	—	<b>108 427</b>	
für Spannungsmessfeld Rel mse 66 c					
1 Schmelzeinsatz 600 mA . . . . .	0,6,250 DIN 41 575	—	—	<b>108 405</b>	
für Pegelmesser					
3 Röhren . . . . .	Bi	—	—	<b>106 918</b>	
1 Gleichrichterröhre . . . . .	RGN 1064	—	—	<b>106 926</b>	
2 Schmelzeinsätze 600 mA . . . . .	0,6/250 DIN 41 575	—	—	<b>108 405</b>	
für Höchstwertmesser					
1 Röhre . . . . .	Bi	—	—	<b>106 918</b>	
1 Gleichrichterröhre . . . . .	RGN 1064	—	—	<b>106 926</b>	
1 Stabilisator . . . . .	St V 280/40	—	—	<b>106 916</b>	
1 Schmelzeinsatz 600 mA . . . . .	0,6/250 DIN 41 575	—	—	<b>108 405</b>	
Zubehör zum Gestell:					
1 Gitterspannungsregler 36 V/60 mA	Sp R G	124×198×195	2,5	<b>108 025</b>	
1 bzw. 2 Heizspannungsregler 9 V/35 A . . . . .	Sp R 9/35 c	270×475×260	19	<b>108 015</b>	
20 V/15 A . . . . .	Sp R 20/15 a	270×475×260	18	<b>108 002</b>	
1 bzw. 2 Anodenspannungsregler 212 V/1,5 A . . . . .	Sp R 212/1,5 a	270×475×200	15	<b>108 020</b>	
1 Tragbares Betriebsmeßgerät <sup>1)</sup> . . . . .	Ms ldr 270 b				
1 Meßgeräte-Anschlußschnur <sup>1)</sup> . . . . .	n. Rel Bv 240/1	150×170×80	1,9	<b>105 826</b>	
1 Lichtzeicheneinrichtung . . . . .	Rel Itg 274 a	1130	0,1	<b>106 279</b>	
mit 7 Signallampen . . . . .	Rel tabl 4 n	—	—	<b>108 132</b>	
4 Verbindungsleitungen . . . . .	24 V/10 W	—	—	<b>107 929</b>	
1 Mikrotelefon . . . . .	Rel Itg 273 b	600	0,1	<b>107 517</b>	
1 Rufstrom-Widerstandslampe . . . . .	Fg mtp h 27 c	—	—	<b>106 392</b>	
1 Abhörlautsprecher . . . . .	110 V/25 W	—	—	<b>107 926</b>	
10 Springsicherungen 1,5 A . . . . .	Rel :st 7 h	—	—	<b>106 369</b>	
3 Schmelzeinsätze 35 A für Streifensicherungen . . . . .	Rel schn 27 Tz 6	—	—	<b>108 388</b>	
2 Tischplatten <sup>1)</sup> . . . . .	Rel sich 15 Tz 9	—	—	<b>108 393</b>	
1 Synchronuhr <sup>1)</sup> (220 V, 50 ~) . . . . .	Rel ti 5 a	—	—	<b>107 730</b>	
	U-synu 46 a	—	—	—	

1) Nach Bedarf

B. Rundfunkleitungs- Verstärker	<b>Rundfunkleitungs- Hilfsverstärker- und -Prüfgestell</b>	Rel Sk I A 37/9b, c
------------------------------------	--	---------------------

### Anwendung

In Orten ohne Rundfunkleitungs-Verstärkeramt werden die Rundfunk- oder Drahtfunk-sender an das Rundfunk-Übertragungskabel hochohmig über sogenannte Rundfunk-leitungs-Hilfsverstärker angeschlossen. Dabei werden die Pegelverhältnisse des Rundfunk-leitungs-Netzes nicht verändert. Die Rundfunkleitungs-Hilfsverstärker sind in einem Rund-funkleitungs-Hilfsverstärker- und -Prüfgestell zusammengefaßt. Bei Vollausbau ist der Anschluß von fünf Drahtfunk- oder Rundfunksendern an fünf Rundfunk-Übertragungs-leitungen möglich. Außer den Hilfsverstärkern mit den zugehörigen Leitungsabschlüssen und Leitungsentzerrern enthält das dreiteilige Gestell einen übersichtlichen Kreuzverteiler zum Herstellen der erforderlichen Verbindungen sowie die zur Überwachung der Ver-stärker und Übertragungsleitungen notwendigen Meßeinrichtungen.

### Elektrische Werte

#### a) Hilfsverstärker

Frequenzbereich . . . . .	30 bis 10000 Hz
Größte Verstärkung bei 800 Hz . . . . .	5,0 bzw. 5,7 N
Verstärkung herabsetzbar in 11 Stufen zu je . . . . .	etwa 0,1 N

Bei einer Verstärkung von 5 N gilt:

Frequenzgang der Verstärkung bezogen auf 800 Hz . . . . .	$\leq \pm 0,05$ N
Eingangsscheinwiderstand . . . . .	$316 \Omega \pm 5\%$
Ausgangsscheinwiderstand . . . . .	$\leq 30 \Omega$
Klirrfaktor (von 100 bis 8000 Hz) bei 4 V Ausgangsspannung . . . . .	$\leq 1\%$

#### b) Verstärkungs- und Pegel-Meßeinrichtung

Frequenzbereich . . . . .	30 bis 20000 Hz
Verstärkungsmeßbereich . . . . .	bis 6,5 N
Pegelmeßbereich . . . . .	- 3 bis + 2 N
Meßunsicherheit bei 800 Hz . . . . .	$\leq 0,04$ N

#### c) Höchstwertmesser

Frequenzbereich . . . . .	30 bis 10000 Hz
Meßbereich . . . . .	1 bis 6 V eff
Meßunsicherheit . . . . .	etwa 10%

#### d) Strom- und Spannungsbedarf des einzelnen Hilfsverstärkers

Anode bei 232 V . . . . .	40 mA
Heizung	
20 V— (C3e-Röhre) . . . . .	0,24 A
22 V~ (E2e-Röhre) . . . . .	0,36 A

#### des gesamten Gestells einschließlich Meß- und Prüfeinrichtungen

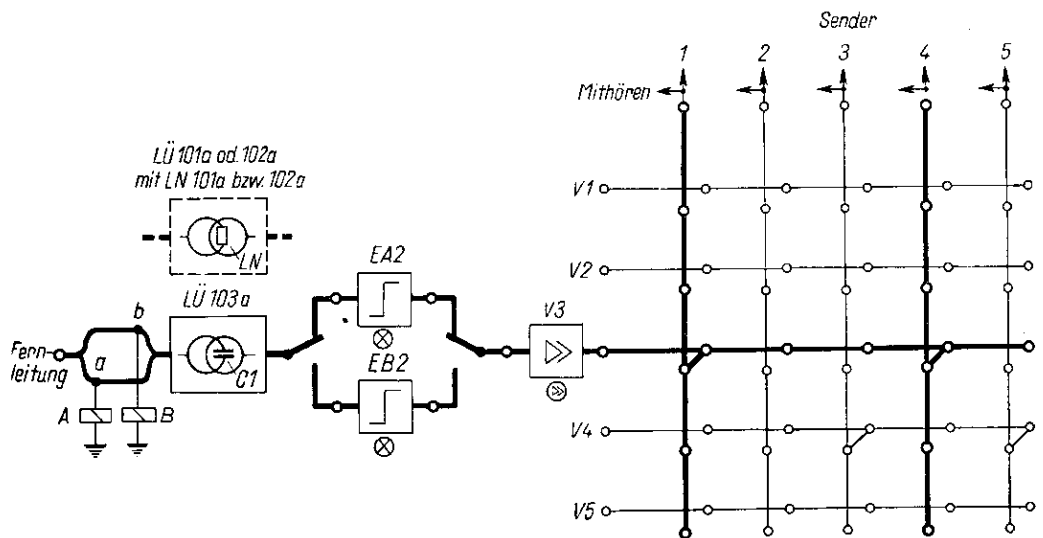
Netzspannung, umschaltbar . . . . .	110, 125, 150, 220 V
Netzfrequenz . . . . .	50 Hz
Leistungsaufnahme bei voller Bestückung . . . . .	etwa 800 VA
Rufspannung etwa 60 V . . . . .	25 Hz

## Arbeitsweise

a) **Rundfunkleistungs-Hilfsverstärker.** Bei Vollausbau des Gestells können fünf Sender wahlweise mit fünf Hilfsverstärkern verbunden werden. Jedem Hilfsverstärker ist eine Rundfunk-Übertragungsleitung fest zugeordnet.

Da die beiden Leitungsabschnitte zwischen dem Hilfsverstärkerarm und den beiden benachbarten Rundfunk-Unterwegs- oder -Verzweigungsämtern meist verschieden sind, muß je nach Senderichtung einer der beiden Leitungsentzerrer EA oder EB vor den Hilfsverstärker V geschaltet werden. Arbeitet die Rundfunk-Übertragungsleitung mit Fernzündung, so werden die in den Zwischenstellen liegenden Hilfsverstärker selbsttätig ein- und ausgeschaltet. Dabei wird je nach Senderichtung der Entzerrer EA oder EB miteingeschaltet.

Die Leitungsabschlüsse sind verschieden, je nachdem ob die Rundfunk-Übertragungsleitung hochohmig angezapft wird oder am Gestell endet. Zum hochohmigen Abgriff wird



Übersichtsschaltbild für den Verstärkerteil

der Übertrager LÜ 103a verwendet. Für die Gleichstromimpulse der Fernzündung sind dabei die beiden Adern durch den Kondensator C1 getrennt. Bei der amtsendigen Anschaltung wird der Leitungsentzerrer über den Leitungsübertrager LÜ 101a mit dem zugehörigen Leitungsnetzwerk LN 101a an das rote oder gelbe Rundfunkkabel bzw. über LÜ 102a, LN 102a an das schwarze, blaue oder grüne Rundfunkkabel angepaßt. In den beiden Leitungsabschluß-Gehäusen des rechten Gestells können die Abschlüsse und die zugehörigen Trennbuchsen für fünf Leitungen untergebracht werden.

Die Leitungsentzerrer EA, EB für die zugehörigen Abschnitte der Rundfunk-Übertragungsleitungen befinden sich in den Entzerrerschienen des linken und mittleren Gestells.

Die wahlweise Anschaltung der zu den Sendern führenden Leitungen an die den durchgehenden Rundfunkleitungen zugeordneten Hilfsverstärkern erfolgt im Umschaltfeld, das den Kreuzverteiler und die zugehörigen Signallämpchen und Schalter umfaßt. Der Kreuzverteiler hat fünf waagerechte und fünf senkrechte Reihen. Bei Vollausbau ist

jede waagerechte Reihe über einen Hilfsverstärker mit einer Rundfunk-Übertragungsleitung, jede senkrechte mit einem Sender fest verbunden. An jeder Kreuzung einer senkrechten und einer waagerechten Reihe befindet sich eine Vierfachbuchse mit einem mittleren Führungsloch. Durch Stecken eines vierpoligen Schaltsteckers in eine dieser Buchsen wird ein Sender mit einer Rundfunk-Übertragungsleitung verbunden. Die Verbindung geschieht einpolig über die a-Ader (zwei Stifte des Schaltsteckers), so daß die Zahl der Schaltpunkte möglichst klein ist. Die b-Adern sind geerdet und somit alle durchverbunden. Die beiden anderen Stifte des Schaltsteckers werden für Signalaufgaben benötigt.

Durch eine Verriegelungseinrichtung ist dafür gesorgt, daß ein Sender nicht zugleich an mehrere Rundfunkleitungen angeschlossen werden kann. Umgekehrt ist es jedoch möglich, mehrere Sender an eine Rundfunkleitung zu legen. Zur Verriegelung dienen mechanisch wirkende Kugelsperren. Diese bestehen aus Metallrohren, die mit Stahlkugeln gefüllt sind. Die Rohre sind senkrecht hinter den Kreuzungsbuchsen angeordnet und beiderseits durch federnde Stifte abgeschlossen. An den Kreuzungspunkten sind die Rohre durchbohrt. Durch Stecken des Schaltsteckers in eine Buchse tritt dessen Führungsstift durch diese Bohrung und verdrängt die Kugeln nach beiden Seiten bis zum festen Anschlag, so daß kein zweiter Stecker in eine Buchse derselben senkrechten Reihe gesteckt werden kann. Dabei werden über die Endkontakte Signallämpchen eingeschaltet zum Zeichen, daß der betreffende Sender angeschlossen ist.

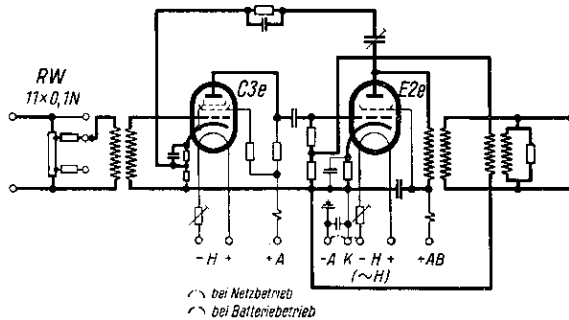
Durch den dritten und vierten Stift des Schaltsteckers werden in Stellung „Handzündung A“ bzw. „Handzündung B“ des Betriebsschalters Relais sowie die Verstärker-Signallampe eingeschaltet. Das gleiche gilt für die übrigen Schalter und die zugehörigen Relais. Mit den Relais wird der Hilfsverstärker gezündet und die Alarm-Einrichtung angeschlossen, die bei Störungen im Hilfsverstärker anspricht. In Stellung „Handzündung A“ leuchtet außerdem die Entzerrer-Signallampe EA1 auf zum Zeichen, daß der Entzerrer EA1 eingeschaltet ist. In Stellung „Handzündung B“ werden weitere Relais eingeschaltet, die an Stelle des Leitungsentzerrers EA1 den Entzerrer EB1 vor den Hilfsverstärker schalten. Das Lämpchen EA1 wird aus-, das Lämpchen EB1 eingeschaltet.

Die Verstärker können, wie bereits erwähnt, in Stellung „Relaiszündung“ der Betriebsschalter vom Rundfunk-Sendeamt aus auch ferngezündet werden. (Die gewünschten Verbindungen müssen dabei durch entsprechendes Stecken der Schaltstecker im Kreuzverteiler vorbereitet sein.) Soll die Übertragung in Richtung von A nach B stattfinden, so geschieht die Fernzündung vom Sendeamt B aus durch einen Zündimpuls über die b-Ader der Rundfunk-Übertragungsleitung und Erde (s. auch S. 163). Bei der Fernzündung vom Sendeamt A aus (Übertragungsrichtung B—A) wird ein Zündimpuls über die a-Ader und Erde gesendet. Zum Löschen wird vom Sendeamt A bzw. B auf beiden Adern ein Löschimpuls gegeben.

Wird eine amtsendige Leitung ohne Fernzündung betrieben, so wird der Hilfsverstärker in Stellung „Relaiszündung“ durch Stecken des Schaltsteckers in die gewünschte Schaltbuchse eingeschaltet. In Unterwegsämtern auf Strecken ohne Fernzündung wird der Hilfsverstärker in Stellung „Handzündung A“ bzw. „Handzündung B“ durch Stecken des Schaltsteckers gezündet. Dabei leuchtet das rote Signallämpchen auf.

In den Stellungen „Handzündung A“ bzw. „B“ und „Aus“ des Betriebsschalters leuchtet die rote Signallampe rechts neben dem Schalter auf. Die Stellungen „Handzündung A“ bzw. „Handzündung B“ sind nur für Meßzwecke und für den Fall einer Störung in der Fernzündung vorgesehen.

Als Hilfsverstärker werden Rundfunkleitungs-Hauptverstärker VRLh41 verwendet. Jeder Verstärker befindet sich in einem besonderen Baukasten. Die Übertragungsspannung wird in zwei Stufen mit einer Röhre C3e und einer Röhre E2e verstärkt. Zum Regeln der Verstärkung dient ein Spannungsteiler mit 11 Stufen zu je 0,1 N. Die Verstärkung



Rundfunkleitungs-Verstärker VRLh41

wird durch besondere Schaltmaßnahmen im ganzen Frequenzbereich konstant gehalten; sie ist dadurch auch unabhängig von Schwankungen der Betriebsspannungen. Die C3e-Röhre wird mit Gleichstrom, die Röhre E2e mit Wechselstrom geheizt.

b) Prüfeinrichtungen. Die Geräte der Prüfeinrichtungen (Schaltbilder s. S. 169 und 170) lassen sich dem mehrfachen Verwendungszweck entsprechend in folgende Teile gliedern:

1. Der Verstärkungs-Meßplatz setzt sich zusammen aus dem Schwebungssummer, dem Leistungsverstärker, dem Spannungsmessfeld, der Verstärkungs-Meßeinrichtung und dem Pegelmesser.
2. Der Sendeteil der Pegel-Meßeinrichtung setzt sich zusammen aus Schwebungssummer, Leistungsverstärker und Spannungsmessfeld. Der Empfangsteil der Pegel-Meßeinrichtung besteht aus dem in Neper geeichten Pegelmesser.
3. Überwachungseinrichtung. Eine Abhöreinrichtung dient zur akustischen Überwachung der Sendung. Der Leistungsverstärker ist hier als Abhörverstärker geschaltet. Neben der akustischen Überwachung läßt sich mit dem Höchstwertmesser eine optische Überwachung der Spitzen der Nutzspannung durchführen.

Der Schwebungssummer ist eine Wechselstromquelle mit einer von 30 bis 10000 Hz und 10000 bis 20000 Hz stetig veränderbaren Frequenz.

Der Leistungsverstärker verstärkt die vom Summer abgegebene Ausgangsspannung oder dient in der Überwachungseinrichtung als Abhörverstärker.

Im Spannungsmessfeld schließlich wird die vom Summer abgegebene und im Verstärker verstärkte Spannung auf einen bestimmten Wert bei möglichst kleinem inneren Widerstand bzw. bei 600  $\Omega$  eingestellt.

Der Pegelmesser mißt Pegel von  $-3$  bis  $+2$  N und dient bei Pegel- und Restdämpfungsmessungen bzw. in Verbindung mit der Verstärkungs-Meßeinrichtung zum Messen der Verstärkung von Rundfunkleitungs-Verstärkern als Anzeigergerät. Der Pegelmesser ist ein dreistufiger Verstärker mit hochohmigem Eingang und einem Meßkreis mit Gleichrichter und einem in Neper geeichten Drehspulinstrument im Ausgang. Die Verstärkungs-Meßeinrichtung enthält neben einer in 5 ganzen und 11 Zehntelneper-Stufen veränderbaren

Eichleitung mit  $Z = 316 \Omega$ , Nachbildungen und Abschlußwiderstände zum Messen der Verstärker unter Betriebsbedingungen. Dabei kann auch den symmetrischen bzw. unsymmetrischen Ein- und Ausgängen der Verstärker entsprochen werden. Bei der Messung wird die Eichleitung so eingestellt, daß der Ausschlag am Pegelmessers zwischen  $\pm 0,5$  und  $-0,5$  N liegt. Der Verstärkungsgrad (bei der am Summer eingestellten Meßfrequenz) ergibt sich dann aus den Ablesungen an der Eichleitung und am Pegelmessers.

Der Höchstwertmessers schließlich ist ein Impulsmessers und dient, um Übersteuerungen der Leitungsverstärker sofort zu erkennen, zur Anzeige der Spannungsspitzen, wie sie beim Betrieb in den Rundfunk-Übertragungseinrichtungen auftreten können.

Die den einzelnen Sendern zugeführten Sendungen können an den Buchsen „Mithören“ im Umschaltfeld mit einem Kopfhörer abgehört werden. Jeweils eine der den Sendern zugeführten Sendungen läßt sich über ein Zusatzgerät und den Leistungsverstärker an den Abhörlautsprecher legen. Die Lautstärke wird mit dem Reglerschalter im Zusatzgerät bzw. im Leistungsverstärker eingestellt.

c) Abfrageeinrichtung. Für die Überwachung ist auch eine Verständigung zwischen den einzelnen Überwachungsstellen erforderlich. Zu diesem Zweck werden Fernsprechleitungen, sogenannte Meldeleitungen benutzt, die ausschließlich dem Sprechverkehr zwischen den Überwachungsstellen dienen. Es sind fünf Meldeleitungen vorgesehen, da mehr im allgemeinen nicht benötigt werden. Die Gespräche über die Meldeleitungen werden unmittelbar an den Überwachungsstellen abgewickelt. Hierzu ist eine Abfrageeinrichtung vorgesehen.

Ein über diese Meldeleitungen ankommender Ruf betätigt das der Meldeleitung zugeordnete Anrufrelais, das sich auch nach Aufhören des Rufes über seine Haltewicklung selbst hält und die zugehörige, über den entsprechenden Buchsen im Buchsenfeld angeordnete Anruf-lampe zündet. Gleichzeitig werden der Wecker und die Kontrolllampe KL eingeschaltet, der Wecker auch dann, wenn er bei Störungen auf Ruhe umgeschaltet wurde. Die Stromkreise für die Rufsignale werden wieder aufgetrennt, wenn sich der Beamte über die Buchsen „Mithören“ mit der Abfrageeinrichtung in die Leitung schaltet. Die Abfrageeinrichtung wird mit Steckerschütüren an die Buchsen des Meldeleitungsfeldes angeschlossen.

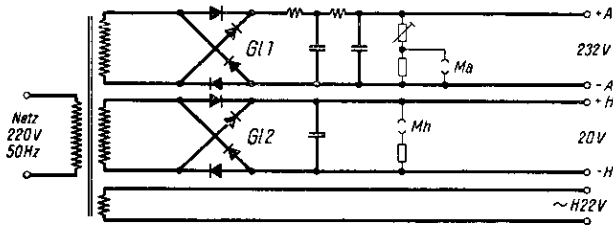
Beim Rufen wird eine 25-Hz-Rufspannung an die Leitung gelegt, die der örtlichen Rufmaschine entnommen wird.

d) Störungsmeldung. Fehlende Betriebsspannungen und durchgebrannte Röhren in den Hilfsverstärkern werden selbsttätig optisch und akustisch gemeldet. Den Heiz- und Anodenkreisen der Hilfsverstärker sind Relais zugeordnet, die bei Störungen die zugehörige Verstärker-Signallampe im Sicherungsfeld, ferner die entsprechende Signallampe der Lichtzeicheneinrichtung und den Wecker einschalten. Fällt ein Hilfsverstärker aus, so kann ein freier Verstärker über Steckerschütüre und über entsprechende Buchsen der gestörten Verbindung eingeschleift werden. Ein Ausbleiben der 25-Hz-Rufspannung und der Netzspannung wird von der Lichtzeicheneinrichtung ebenfalls angezeigt.

### Stromversorgung

Die Betriebsspannungen werden fast ausschließlich über eingebaute Netzteile dem Wechselstromnetz entnommen. Lediglich für die Signalisierung fehlender Netzspannung ist ein Anschluß an die 24- oder 60-V-Amtsbatterie und für den abgehenden Ruf auf einer Meldeleitung ein Anschluß an die 25-Hz-Rufstromquelle des Amtes vorzusehen. Die Netzspannung wird über Sicherungs-Selbstschalter und den Hauptschalter im Umschaltfeld dem für die üblichen Netzspannungen (110, 125, 150, 220 V) umschaltbaren Spartransformator (im mittleren Gestell) zugeführt, der an die einzelnen Verbraucher eine unregelmäßige

Wechselspannung von 220 V abgibt. Die einzelnen Verbraucherkreise sind durch weitere Sicherungs-Selbstschalter einzeln gesichert. Der Höchstwertmesser, das Spannungsmessfeld und der Eich-Netzteil des Pegelmessers sind unmittelbar, die Hilfsverstärker sowie der Schwebungssummer, Leistungsverstärker und Pegelmesser (Verstärker-Netzteil) über die Netzspannungsregler Rel na 96 c an die Netzspannung gelegt. Die 24-V-Signalspannung liefert das Netzanschlußgerät Rel na 65 c. Die Betriebsspannungen für die Hilfsverstärker werden den Netzanschlußgeräten Rel na 113 b entnommen.



Netzanschlußgerät Rel na 113 a

Für jeden Hilfsverstärker ist ein besonderes Netzanschlußgerät Rel na 113 a vorgesehen. Dem Netztransformator wird über einen Trockengleichrichter eine Anodengleichspannung von 232 V, über einen zweiten Trockengleichrichter die Heizgleichspannung von 20 V für die C3e-Röhre sowie unmittelbar die Heizwechselspannung von 22 V für die E2e-Röhre entnommen. Bei stark schwankender Netzspannung erhalten die Netzanschlußgeräte die Netzspannung über zwei magnetische Netzspannungsregler Rel na 96 c, oder ihre Ausgangsspannungen werden über (nicht eingebaute) Kohledruckregler geführt.

Der Netzspannungsregler Rel na 96 c enthält keine beweglichen Teile, so daß eine Abnutzung nicht auftritt und eine Wartung nicht notwendig ist. Er besteht aus einer hochgesättigten Querdrossel mit Parallelkondensator und einer Längsdrossel mit Luftspalt. Da die Querdrossel im Sättigungsbereich betrieben wird, bedeutet eine kleine Änderung der Netzspannung schon eine große Änderung ihres Blindstromes, der mit dem Kondensator für den Nennwert der Netzspannung ungefähr ausgeglichen ist. Die dadurch hervorgerufene Änderung des Spannungsabfalls an der Wicklung I der Längsdrossel gleicht die Schwankungen der Netzspannung nahezu aus, so daß an der Querdrossel stets ungefähr dieselbe Spannung herrscht. Kleine restliche Spannungsschwankungen werden durch die Wicklung II der Längsdrossel, die der Wicklung I entgegengeschaltet ist, ausgeglichen.

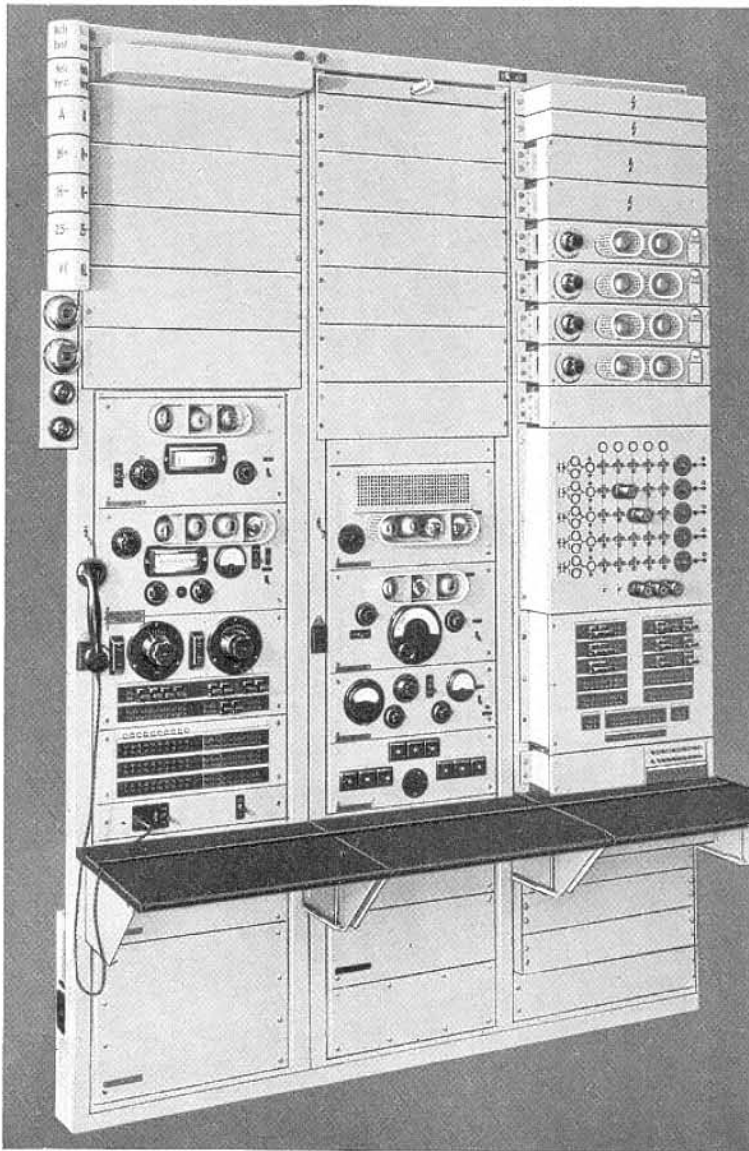
Die 24-V-Signalspannung wird dem Netzanschlußgerät Rel na 65 c entnommen. Es besteht aus einem magnetischen Spannungsregler, einem Trockengleichrichter, einem Belastungswiderstand und einem Filter. Durch den magnetischen Spannungsregler wird die Ausgangsspannung bei Schwankungen der Netzspannung zwischen 187 und 242 V auf  $20 \pm 0,2$  V bei einer Belastung mit 5 A konstant gehalten. Verringert sich die Belastung auf 1 A, so können die abgegebenen Spannungen bis auf 27 V ansteigen.

## Aufbau

Die Verstärker, die Prüf- und Überwachungseinrichtungen sind auf drei Normalgestellen übersichtlich und für die Bedienung leicht erreichbar angeordnet.

Auf dem linken Gestell sind untergebracht: der Höchstwertmesser und Pegelmesser, die Verstärkungs-Meßeinrichtung, ferner das Buchsenfeld für die Meldeleitungen und eine Platte

mit den Zusatzeinrichtungen zum Leistungsverstärker und zur Abfrageeinrichtung, der Netzspannungsregler Rel na 96 c für die Meßeinrichtungen und ein Netzanschlußgerät Rel na 65 c neben der Relaisschiene, einer Leerplatte und den vier Entzerrerschienen im Gestellkopf.



Rundfunkleitungs-Hilfsverstärker- und Prüfgestell

Das mittlere Gestell ist bestückt mit ein bis sechs Entzerrerschienen, dem Leistungsverstärker Relmsv 65 c bzw. bei neueren Ausführungen mit dem Leistungsverstärker Rel msv 99 b, dem Schwebungssummeer und Spannungmeßfeld Rel mse 66 c bzw. Rel mse 141 b, dem Sicherungsfeld, zwei Netzspannungsreglern und der Platte mit dem Netztransformator.

Das rechte Gestell nimmt neben den fünf Hilfsverstärkern und den zugehörigen fünf Netzanschlußgeräten, die unterhalb der Tischplatte, die Relaisschienen für die Signalrelais und für die Fernzündung, das Leitungsabschluß-Gehäuse mit den fünf Leitungsabschlüssen, das Umschaltfeld, das Schaltfeld und das Meß- und Signalfeld auf. Das Umschaltfeld umfaßt den Kreuzverteiler mit den zugehörigen Signallämpchen und die Schalter.

Die Trenn- und Überwachungsbuchsen sind in einem Buchsenfeld im Feld der Verstärkungs-Meßeinrichtung untergebracht. Über diese Trennbuchsen sind zur Herstellung von Ersatzverbindungen, vor allem zu Prüfzwecken, die wichtigsten Leitungen geführt. Die schaltungsmäßig zusammengehörigen Buchsenpaare liegen fast ausschließlich nebeneinander, so daß die Verbindungen mit Mehrfachsteckern hergestellt werden können. Zur Verbindung von nicht nebeneinanderliegenden Buchsenpaaren werden Stecker-schnüre verwendet.

### Zubehör, Maße und Gewichte

Gegenstand	Bezeichnung	Abmessungen in mm	Gewicht etwa kg	Listen-Nr.	Preis RM
<b>Rundfunkleitungs-Hilfsverstärker und Prüfgestell . . . . .</b>	Rel Sk I A 37/9 b, c	1770×2365×600	455	<b>108 501</b>	
mit 5 Rundfunkleitungs- Hilfs- verstärkern . . . . .	Rel Sk I B 37/15 a	520×100×305	—	<b>108 502</b>	
Zubehör für rechtes Gestell:					
5 Röhren . . . . .	C 3 e	—	—	<b>107 908</b>	
5 Röhren . . . . .	E 2 e	—	—	<b>107 919</b>	
für die 5 Leitungsabschlüsse bei Anschluß an Zubringer-Leitung:					
je 1 Leitungsübertrager . . . . .	LU 103 a	—	—	<b>108 525</b>	
je 1 Kondensator . . . . .	C 309	—	—	<b>108 522</b>	
bei Anschluß an amtsendigende Leitung, und zwar an gelbes oder rotes Kabel:					
je 1 Anpassungs-Netzwerk . . . . .	LN 101	—	—	<b>108 520</b>	
je 1 Leitungsübertrager . . . . .	LU 101 a	—	—	<b>108 523</b>	
schwarzes, blaues oder grünes Kabel:					
je 1 Anpassungs-Netzwerk . . . . .	LN 102	—	—	<b>108 521</b>	
je 1 Leitungsübertrager . . . . .	LÜ 102 a	—	—	<b>108 524</b>	
ferner:					
5 Schaltstöpsel . . . . .	Rel stp 12 d	—	—	<b>107 813</b>	
35 Signallämpchen . . . . .	Rel lp 22 d	—	—	<b>107 922</b>	
15 Schmelzeinsätze 1000 mA . . . . .	1/250 DIN 41 575	—	—	<b>108 427</b>	
35 Stecker . . . . .	Rel stp 29 a	—	—	<b>106 875</b>	
5 Schmelzeinsätze 100 mA . . . . .	100/500 DIN 41 576	—	—	<b>108 419</b>	
1 Tischplatte <sup>1)</sup> . . . . .	Rel ti 5 a	—	—	<b>107 730</b>	

1) Nach Bedarf

Gegenstand	Bezeichnung	Abmessungen in mm	Gewicht etwa kg	Listen-Nr.	Preis RM
Zubehör für mittleres Gestell:					
1 Rulfstrom-Widerstandslampe . . . . .	110/25 W	—	—	<b>107 926</b>	
1 Tischplatte <sup>1)</sup> . . . . .	Rel ti 5 a	—	—	<b>107 730</b>	
für Leistungsverstärker Rel msv 65 c:					
2 Röhren . . . . .	Bi	—	—	<b>106 918</b>	
1 Röhre . . . . .	Da	—	—	<b>106 928</b>	
1 Röhre . . . . .	RGN 1064	—	—	<b>106 926</b>	
1 Schmelzeinsatz 600 mA . . . . .	0,6/250 DIN 41 575	—	—	<b>108 405</b>	
bzw. für Leistungsverstärker Rel msv 99 b:					
2 Röhren . . . . .	Bi	—	—	<b>106 918</b>	
1 Röhre . . . . .	Ec	—	—	<b>106 982</b>	
1 Röhre . . . . .	Z 2 b	—	—	<b>106 993</b>	
1 Schmelzeinsatz 1000 mA . . . . .	1/250 DIN 41 575	—	—	<b>108 427</b>	
für Schwebungssummer:					
2 Röhren . . . . .	Bi	—	—	<b>106 918</b>	
1 Röhre . . . . .	RGN 564	—	—	<b>106 904</b>	
1 Schmelzeinsatz 600 mA . . . . .	0,6/250 DIN 41 575	—	—	<b>108 405</b>	
für Spannungsmeßfeld Rel mse 66 c:					
1 Schmelzeinsatz 600 mA . . . . .	0,6/250 DIN 41 575	450 × 160 × 220	—	<b>108 405</b>	
Zubehör für linkes Gestell					
1 Tischplatte <sup>1)</sup> . . . . .	Rel ti 5 a	—	—	<b>107 730</b>	
für Höchstwertmesser:					
1 Röhre . . . . .	Bi	—	—	<b>106 918</b>	
1 Röhre . . . . .	RGN 1064	—	—	<b>106 926</b>	
1 Stabilisator . . . . .	St V 280/40	—	—	<b>106 916</b>	
1 Schmelzeinsatz 600 mA . . . . .	0,6/250 DIN 41 575	—	—	<b>108 405</b>	
für Pegelmesser:					
3 Röhren . . . . .	Bi	—	—	<b>106 918</b>	
1 Röhre . . . . .	RGN 1064	—	—	<b>106 926</b>	
1 Schmelzeinsatz 600 mA . . . . .	0,6/250 DIN 41 575	—	—	<b>108 405</b>	
für Verstärkungs-Meßeinrichtung:					
14 Verbindungsstecker (als Ersatz) . . . . .	Rel stp 29 a	—	—	<b>106 875</b>	
für Buchsenfeld:					
4 Verbindungsleitungen . . . . .	Rel ltg 273 b	660	0,1	<b>107 517</b>	
1 Stecker . . . . .	Rel stp 29 b	—	—	<b>107 594</b>	
für Netzanschlußgerät Rel na 65 c:					
1 Schmelzeinsatz 5 A . . . . .	Rel sich 8 Tz 5	—	—	<b>108 332</b>	
Weiteres Zubehör:					
1 Lichtzeicheneinrichtung . . . . .	Rel tabl 4 p	—	—	<b>108 134</b>	
mit 6 Signallampen . . . . .	24 V/10 W	—	—	<b>107 928</b>	
1 Signallampe („Netz“) . . . . .	24 V/10 W	—	—	<b>107 928</b>	
	oder 60 V/10 W	—	—	<b>106 976</b>	
1 Mikrotelefon . . . . .	Fg mtph 27 c	—	—	<b>106 392</b>	
1 Sicherung für Lautsprecheranschluß . . . . .	DP 2 A	—	—	—	
1 Lautsprecher . . . . .	Rel lst 7 h	—	—	<b>106 369</b>	
1) Nach Bedarf					

# C. Zubehör und Bauzeug für Verstärkerämter

## I. Zubehör

Verstärkerröhren. Der Fernsprech-Weitverkehr stellt an die Verstärkerröhre besondere Anforderungen. Sie ergeben sich daraus, daß im Zuge einer Verbindung oftmals sehr viele Röhren in Reihe liegen. Für die Übertragungsgüte bedeutet dies, daß die Röhren neben guten elektrischen Allgemeineigenschaften vor allem in ihren für die Verstärkung maßgebenden Kenngrößen Steilheit und Innenwiderstand sehr konstant sein müssen. Schon geringe zeitliche Abweichungen dieser Kenngrößen machen sich nachteilig bemerkbar, weil sie die Restdämpfung mitbestimmen, die nur in geringen Grenzen schwanken darf.

Die Lebensdauer solcher Röhren ist mit dem Zeitpunkt beendet, bei dem die für den Einsatzzweck gerade noch zulässige untere Verstärkungsgrenze erreicht ist (Alterstod), abgesehen von den wenigen Röhren, die durch Schäden, wie Bruch des Glaskolbens, Kurzschluß zwischen den Elektroden und Ausbrüche größerer Gasmengen, ausscheiden (Unfalltod). Die Lebensdauer<sup>1)</sup> muß aus betrieblichen Gründen und weniger aus wirtschaftlichen Erwägungen möglichst hoch sein. Rein statistisch betrachtet wären z. B. in einer Fernsprech-Weitverbindung mit 42 Zwischen-Verstärkern (3000 km) bei einer Lebensdauer der Verstärkerröhre von 1000 Stunden und bei Dauerbetrieb zwei Röhren je Tag auszuwechseln.

Ferner ist zu fordern, daß die einzelnen Röhren der gleichen Art in ihren Werten nur geringfügig voneinander abweichen (geringe Exemplarstreuung), damit die mit ihnen betriebenen Geräte bei gleicher Leistungsfähigkeit möglichst einfach aufgebaut werden können und die Röhren sich ohne besondere Vorkehrungen im Gerät auswechseln lassen.

Um diesen hohen Forderungen, die gleichermaßen auch an die Röhren der Rundfunkleitungs-Verstärker gestellt werden müssen, entsprechen zu können, sind besondere „technische“ Röhren, neuerdings auch „Weitverkehrs-Röhren“ genannt, entwickelt worden. Die Bedingungen, die sie einzuhalten haben, sind in besonders streng gehaltenen Prüfvorschriften zusammengestellt. Jede einzelne Röhre wird, bevor sie das Werk verläßt, entsprechend diesen Bedingungen sorgfältig geprüft.

Im Abschnitt „Weitverkehrs-Röhren“ (S. 186) sind die Werte der in diesem Buch genannten Röhren zusammengestellt. Eine allgemeine Übersicht aller in Niederfrequenz-Fernsprechverstärkern und in Trägerfrequenz-Einrichtungen sowie in den zugehörigen Meßgeräten eingesetzten Röhren gibt das Büchlein „Siemens-Verstärkerröhren und -Eisenwiderstände“.

Eisenwiderstände. In Ämtern, in denen die Heizspannung noch nicht zentral geregelt wird, liegen zur Konstanthaltung des Heizstromes in Reihe mit den Heizfäden der Röhren Eisenwasserstoffwiderstände, kurz Eisenwiderstände genannt. Neben einer Sicherstellung der hohen Lebensdauer der Röhren ist die Konstanthaltung des Heizstromes vor allem

---

1) Als Lebensdauer wird bei Weitverkehrs-Röhren nicht eine Lebensdauer angegeben, die besonders häufig ist, sondern eine mittlere Lebensdauer, die sich als Durchschnittswert aus einer großen Röhrenzahl ergibt.

für die gleichmäßig zu haltenden Betriebseigenschaften der Röhren notwendig. Ein schwankender Heizstrom hätte eine schwankende Emission und damit einen verschiedenen Verstärkungsgrad zur Folge. Auf S. 188 sind die Werte für die in diesem Buch angeführten Eisenwiderstände angegeben. Eine Gesamtübersicht findet sich in dem bereits genannten Büchlein „Siemens-Verstärkerröhren und -Eisenwiderstände“. Mit der immer mehr eingeführten zentralen Spannungsgleichhaltung verschwinden die Eisenwiderstände mehr und mehr aus den Ämtern.

Verbindungsleitungen. Zum Zubehör für Fernsprechverstärker-Gestelle zählen ferner die Verbindungsleitungen, die im Schaltfeld der Gestelle zum schnellen, einfachen und kontaktsicheren Verbinden z. B. der Trennbuchsen mit den Buchsen der Meßleitungen oder für Ersatzschaltungen und dergleichen benötigt werden. Soweit sie für die in diesem Buch behandelten Einrichtungen erforderlich sind, werden sie auf S. 190 kurz beschrieben.

Tragbares Betriebsmeßgerät. Die in Verstärkerämtern erforderlichen und zum Teil umfangreichen Meßeinrichtungen sind in dem Buch „Siemens-Meßeinrichtungen für die Fernmeldetechnik“ zusammengestellt und näher behandelt. Hier soll nur das in jedem Amt benötigte Tragbare Betriebsmeßgerät zum Messen der Betriebsgleichspannungen und -ströme an den Verstärker-Gestellen beschrieben werden (S. 192). Das Meßgerät und die an den Meßpunkten in den Verstärker- und Sicherungs-Gestellen vorgesehenen Reihen- bzw. Nebenschlußwiderstände sind so aufeinander abgestimmt, daß alle Spannungen und Ströme ohne Umklemmen am Meßgerät gemessen werden können.

C. Zubehör und Bauezeug für Verstärkerämter	<b>Weitverkehrs-Röhren</b>	Aa, Ba, Be, Bi, C3e, Da, Ec, E2e
---	----------------------------	----------------------------------

### Anwendung

In Niederfrequenz-Fernsprechverstärkern für ortsfesten Aufbau wurde bisher fast ausschließlich die Verstärkerröhre Ba, eine Dreipolröhre verwendet, nur in wenigen Fällen, und zwar bei 130 V Anodenspannung, die Be-Röhre. Der neuerdings entwickelte Allverstärker II nutzt erstmalig die Vorzüge der Fünfpolröhre, und zwar der C3e-Röhre, aus. Die Aa-Röhre ist in den Tonfrequenz-Rufumsetzern eingesetzt.

Die Vorstufen des Rundfunkleistungs-Hauptverstärkers arbeiten ebenfalls mit Ba-Röhren, seine Endstufe und der Rundfunkleistungs-Zusatzverstärker mit Rücksicht auf möglichst kleine Verzerrungen jedoch mit der Leistungsröhre Da. Der in diesem Buch beschriebene Rundfunkleistungs-Hilfsverstärker ist in der Vorstufe mit einer C3e-Röhre, in der Endstufe mit der Vierpolröhre E2e bestückt. Die im folgenden ebenfalls aufgeführten Röhren Bi und Ec werden in Meßeinrichtungen benutzt, die den Rundfunkleistungs-Verstärkern zugeordnet sind.

### Elektrische Werte

Größe	Aa	Ba	Be	Bi	C3e	Da	Ec	E2e
Heizstrom in A . . . . .	0,5	0,5	0,5	1,1	0,24	1,1	0,7	0,36
Heizspannung in V . . . . .	3,8	3,45	3,8	4	18	5,8	18	18
Gittervorspannung $U_g$ in V . . . . .	-2	-6	-4,5	-3	-2,5	-30	-23	-3,5
Schirmgitterspannung $U_s$ in V . . . . .	—	—	—	—	200	—	—	200
Schirmgitterstrom $I_s$ in mA . . . . .	—	—	—	—	3,5	—	—	6
Anodenspannung $U_a$ in V . . . . .	220	220	130	220	220	220	250	220
Mittlerer Anodenstrom $I_a$ in mA . . . . .	3	3	8	10	14	50	90	42
Zulässige Anodenverlustleist. in W . . . . .	2	2	3	4	3	13	23	10
Klirrfaktor in % . . . . .	<2	<5	<5	<5	5	5	5	5
bei Außenwiderstand $R_a$ in $k\Omega$ . . . . .	30	25	5	11	20	1,5	1,5	6,5
und Wechselstromleistung in mW . . . . .	10	60	60	80	600	1000	3500	2200
Durchgriff D in % . . . . .	3,3	6,3	8,3	3,65	0,07	27,5	14,5	0,25
Innerer Widerstand $R_i$ in $k\Omega$ . . . . .	30	25	5	11	350	1,45	0,68	40
Steilheit S in mA/V . . . . .	1,0	0,6	2,4	2,5	4,1	2,5	10	10,5
Gitter-Anoden-Kapazität in pF . . . . .	3,5	3,1	7	1,7	0,02	9	7	0,09
Mittlere Lebensdauer in Stunden . . . . .	über 3000	über 7500	über 5000	über 5000	über 3500	über 2000	über 2000	über 2500

### Arbeitsweise und Aufbau

Über die grundsätzliche Arbeitsweise der Verstärkerröhren sind auf den S. 256 bis 260 des Anhangs nähere Angaben gemacht.

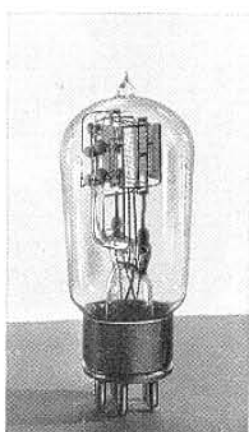
Die Aa-, Ba-, Be- und Da-Röhre sind unmittelbar geheizte, die Bi- und Ec-Röhre mittelbar geheizte Dreipolröhren. Die Da- und Ec-Röhren werden als ausgesprochene Leistungsröhren in Endstufen eingesetzt. Die Röhren haben einen fünf- bzw. siebenpoligen Stiftsockel mit einer Nase zum zwangsläufig richtigen Einsetzen der Röhre in die Fassung. Die Be-, Bi- und Ec-Röhre sind statisch geschirmt.

Die C3e-Röhre ist eine mittelbar geheizte Fünfpolröhre; sie benötigt bei 18 V Heizspannung einen Heizstrom von nur 0,24 A. Diese Verkleinerung des Heizstromes der einzelnen Röhre ist in Verstärkerämtern sehr erwünscht, damit man trotz der Zusammenfassung vieler Verstärker mit möglichst kleinen Querschnitten für die Heizleitungen auskommt.

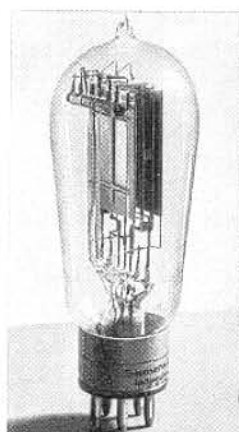
Die Wechselstromleistung liegt mit 400 mW wesentlich höher als bei den bisherigen Fernsprech-Zwischenverstärkerröhren. Die große Steilheit von 4,1 mA/V ergibt einen höheren Verstärkungsgrad. Auch hier konnte bei strengen elektrischen Bedingungen eine hohe



Aa-Röhre



Ba-Röhre

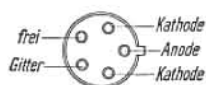


Da-Röhre

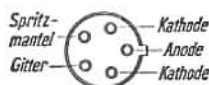


C3e-Röhre

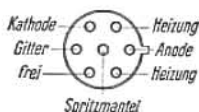
Lebensdauer erzielt werden. Die E2e-Röhre schließlich ist eine mittelbar geheizte Vierpolröhre für Leistungsstufen; sie hat ebenfalls eine Heizspannung von 18 V. Die Röhren C3e und E2e haben einen Sockel mit besonderem Führungsstift.



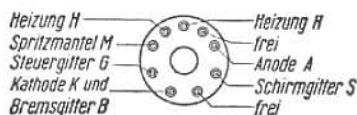
Aa-, Ba-, Da-Röhre



Be-Röhre



Bi-, Ee-Röhre



B nur bei C3e-Röhre  
C3e-, E2e-Röhre

Beschaltung der Sockel (Sockel von unten gesehen)

### Zubehör, Maße und Gewichte

Röhre	Abmessungen in mm (ohne Stifte)	Gewicht etwa g	Listen-Nr.	Preis RM	Zugehörige Röhrenfassung
Aa	bis 125 × bis 50 ∅	60	<b>105 957</b>		{ Rel Ip 17 a <sup>1)</sup> { Rel Ip 18 a <sup>2)</sup> { Rel Ip 18 b <sup>3)</sup>
Ba	bis 110 × bis 50 ∅	60	<b>105 958</b>		
Be	bis 110 × bis 50 ∅	60	<b>105 901</b>		
Da	bis 140 × bis 56 ∅	75	<b>105 928</b>		{ Rel Ip 15 a <sup>1)</sup> { Rel Ip 16 a <sup>2)</sup> { Rel Ip 16 b <sup>3)</sup>
Bi	bis 110 × bis 50 ∅	65	<b>106 918</b>		
Ec	bis 140 × bis 52 ∅	100	<b>106 982</b>		
C3e	bis 87 × bis 42 ∅	70	<b>107 908</b>		{ Rel Ip 29 b <sup>1)</sup> { Rel Ip 31 <sup>2)</sup>
E2e	bis 87 × bis 42 ∅	70	<b>107 919</b>		

1) Nicht federnd 2) Federnd mit feststehender Lötösenleiste 3) Federnd mit Lötösen

**Anwendung**

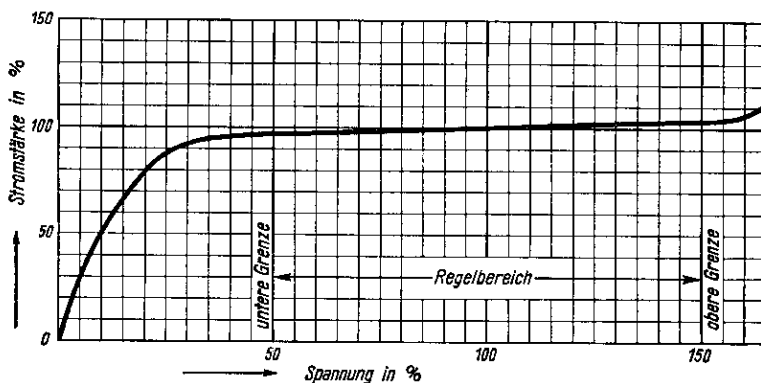
Die Eisenwiderstände dienen in älteren Ämtern, in denen die Heizspannung noch nicht zentral geregelt wird, als einfache selbsttätige Regler zur Konstanthaltung des Heizstromes. Die Regelstromstärke schwankt nur in geringen Grenzen, die innerhalb des gesamten Spannungsregelbereichs eingehalten werden. Auch nach längerer Betriebszeit eines Eisenwiderstandes treten nur geringfügige Änderungen auf. Die Eisenwiderstände müssen zur Stromreglung mit den Verbrauchern in Reihe geschaltet werden; die Stromstärke des Widerstandes muß daher mit der Betriebsstromstärke des Verbrauchers übereinstimmen. Ihre Anwendung setzt weiter voraus, daß für den Widerstand selbst eine gewisse restliche Spannung vorhanden ist.

**Elektrische Werte**

	EW 0502b	EW 0506
Strombegrenzung in A . . . . .	0,48 bis 0,52	0,48 bis 0,52
Spannungsregelbereich in V . . . . .	2 bis 6	6 bis 17

**Arbeitsweise und Aufbau**

Die Eisenwiderstände bestehen aus dünnen Eisendrähten, die in einem mit Wasserstoff gefüllten Glaskolben ausgespannt sind. Der Zusammenhang zwischen Strom und Spannung bei derartigen Widerständen ist aus der mittleren Kennlinie ersichtlich, bei der im Regel-



Beispiel für die Gleichhaltung der Stromstärke innerhalb eines Regelbereichs

bereich die Stromstärke gleich 100% gesetzt wird. Die Mitte des Regelbereichs liegt bei einer Klemmenspannung von 100%; innerhalb des Regelbereichs behält die Stromstärke im Gegensatz zu anderen Widerständen einen annähernd konstanten Wert. Sie ist also fast unabhängig von der Spannung. Der Regelbereich des Eisenwiderstandes ist mindestens gleich dem Unterschied zwischen dem größten und kleinsten Wert der Spannung zu wählen. Der Ausgleich wird um so besser, je größer der Regelbereich des Eisenwiderstandes im

Vergleich zu der Spannungsaufnahme des Verbrauchers gewählt werden kann, je mehr also die Spannungsschwankungen auf die Mitte des Regelbereichs beschränkt bleiben.

Eine Regelung mit Hilfe von Eisenwiderständen setzt weiter voraus, daß die Spannungsschwankungen in nicht zu kurzen zeitlichen Verläufen erfolgen, daß also nicht plötzliche Spannungstöße auftreten, weil der Eisenwiderstand durch eine gewisse Wärmeträg-



Eisenwiderstand EW 0502 b

heit diesen nicht zu folgen vermag. Änderungen der Nutzsapannung erhöhen bzw. erniedrigen die Leistungsaufnahme des Widerstandes, wobei die aufgenommene Leistung sich in Wärme umsetzt. Die Regelung ist erst dann vollzogen, wenn der Gleichgewichtszustand zwischen Wärmezufuhr und Wärmeabfuhr eingetreten ist. Eisenwiderstände sind daher zweckmäßig an solchen Stellen anzuordnen, an denen eine leichte Wärmeableitung möglich ist, z. B. außen an einer Seitenwand des Verstärkers. Die Eisenwiderstände dürfen bis zum 2,5fachen des Anfangswertes ihres Spannungsregelbereichs dauernd belastet werden. Über diesen Wert hinaus bis zur höchstzulässigen Spannung soll eine Belastung nur vorübergehend auftreten.

Als Fassung kann jede handelsübliche Schraubfassung mit einem Gewinde für DIN VDE 9615 C 14, z. B. Fg lp 8a, benutzt werden.

#### Zubehör, Maße und Gewichte

Eisenwiderstand	Abmessungen mit Sockel etwa mm	Gewicht etwa g	Listen-Nr.	Preis RM	Zugehörige Fassung
EW 0502 b	70 × 33 Ø	21	<b>106901</b>		z. B. Fg lp 8a
EW 0505	89 × 38 Ø	23	<b>105988</b>		

C. Zubehör und Bauzeug für Verstärkerämter	<b>Verbindungsleitungen</b>	Rel Itg 273, 274, 275, 302, 306, 315
---	-----------------------------	---

### Anwendung

In der Verstärkeramtstechnik ist es üblich, die Leitungen zu und von den einzelnen Geräten eines Verstärker-Gestells über Trennbuchsen im Schaltfeld zu führen und wichtige Punkte der Schaltungen außerdem an Meßbuchsen (Pegelmessbuchsen) zu legen. Auch die zu besonderen Meßeinrichtungen führenden Meßleitungen liegen im Schaltfeld an Meßbuchsen. Die zusammengehörigen Buchsen jeder Trennstelle sind im Schaltfeld so nebeneinander angeordnet, daß sie durch einfache einpolige oder mehrpolige Verbindungsstecker miteinander verbunden werden können. Zum Anschluß von Meßeinrichtungen bzw. der an den Meßbuchsen liegenden Meßleitungen und zur Durchführung von Ersatzschaltungen dienen Verbindungsleitungen mit an beiden Enden fest angebrachten Steckern. Im folgenden sind die Verbindungsleitungen aufgeführt, die als Zubehör zu den in diesem Buch beschriebenen Gestellen benötigt werden.

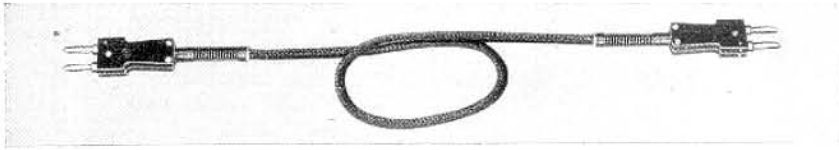
Mit der außerdem aufgeführten Verbindungsleitung Rel Itg 274a wird das Tragbare Betriebsmeßgerät (s. S. 192) für Gleichspannungs- und -strommessungen angeschlossen; die zu messenden Betriebsspannungen und -ströme liegen in den einzelnen Gestellen ebenfalls an Meßbuchsen.

### Elektrische Werte und Aufbau

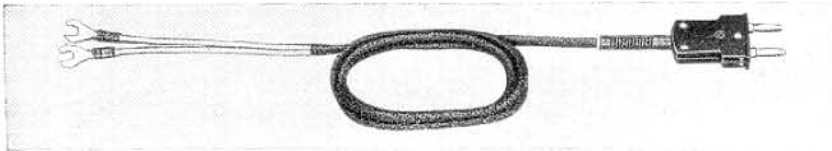
Leitung	Geschirmt	Betriebskapazität je m Leitung	Stecker
Rel Itg 273	nein	etwa 135 pF	2 × Rel stp 9a <sup>1)</sup>
Rel Itg 274	nein	etwa 135 pF	1 × Rel stp 10a <sup>2)</sup> , 2 Kabelschuhe
Rel Itg 275	ja	etwa 100 pF	1 × Rel stp 26a <sup>3)</sup> , 1 × Rel stp 9a <sup>1)</sup>
Rel Itg 302	nein	etwa 135 pF	1 × Rel stp 10a <sup>2)</sup> , 1 × Rel stp 25b <sup>4)</sup>
Rel Itg 306	ja	etwa 100 pF	2 × Rel stp 26a <sup>3)</sup>
Rel Itg 315	nein	etwa 135 pF	1 × Rel stp 10a <sup>2)</sup> , 1 × Rel stp 25b <sup>4)</sup>

- 1) Zweifachstecker, verwechselbar jedoch mit Kennmarke, für 4-mm-Buchsen und 12 mm Buchsenabstand
- 2) Zweifachstecker, unverwechselbar für 4- und 5-mm-Buchsen und 19 mm Buchsenabstand
- 3) Geschirmter Stecker, für 4-mm-Buchsen, Erdungsstift 3 mm, für 12 mm Buchsenabstand und 9 mm Abstand des Erdungstiftes
- 4) Steckdose mit Schnurschutz, für unverwechselbare Stecker mit 4- und 5-mm-Buchsen und 19 mm Buchsenabstand, z. B. zum Stecker Rel stp 10a passender Kupplungsstecker oder für Einbaustecker Rel stp 24a, mit Kennmarke, Buchsen geschützt

Stöpsel und Stecker sind so aufgebaut, daß eine gute und betriebssichere elektrische Verbindung gewährleistet ist. Soweit es der Anwendungszweck erfordert, sind die Leitungen gegen Fremdspannungen geschirmt. Die einzelnen Ausführungen a, b, c... einer Verbindungsleitung unterscheiden sich lediglich durch ihre Länge; hiervon machen jedoch die im Aufbau gleichen Verbindungsleitungen Rel Itg 302a und 315c eine Ausnahme.



NF-Verbindungsleitung Rel Itg 273



Meßgeräte-Anschlußschnur Rel Itg 274



NF-Verbindungsleitung Rel Itg 306



NF-Verbindungsleitung Rel Itg 302a bzw. 315c

## Maße und Gewichte

Gegenstand	Bezeichnung	Länge mm	Gewicht etwa kg	Listen-Nr.	Preis RM
NF-Verbindungsleitung . . . . .	Rel Itg 273 a	1160	0,11	<b>106 297</b>	
	Rel Itg 273 b	600	0,09	<b>107 517</b>	
	Rel Itg 273 e	560	0,09	<b>107 876</b>	
Meßgeräte-Anschlußschnur . . . . .	Rel Itg 274 a	1130	0,10	<b>106 274</b>	
NF-Verbindungsleitung . . . . .	Rel Itg 275 a	2410	0,11	<b>106 290</b>	
NF-Verbindungsleitung . . . . .	Rel Itg 302 a	400	0,12	<b>107 889</b>	
NF-Verbindungsleitung . . . . .	Rel Itg 306 d	500	0,12	<b>107 512</b>	
NF-Verbindungsleitung . . . . .	Rel Itg 315 c	1085	0,15	<b>106 896</b>	

C. Zubehör und Bauezeug für Verstärkerämter	<b>Tragbares Betriebsmeßgerät</b>	Ms ldr 270 b n. Rel Bv 240j1
--	-----------------------------------	---------------------------------

### Anwendung

Das Meßgerät dient zur Überwachung der Betriebsgleichspannungen und -ströme in Verstärker- und Meßgestellen. Die entsprechenden Meßbuchsen dieser Gestelle sind durch Reihen- bzw. Nebenschlußwiderstände der Empfindlichkeit des Meßgerätes so angepaßt, daß alle Messungen mit dem gleichen Meßbereich („Strommessung“) durchgeführt werden können. Mit den am Meßgerät vorhandenen Spannungsmeißklemmen lassen sich außerdem Spannungen zwischen 0,1 und 300 V ohne äußeren Vorwiderstand messen.

### Elektrische Werte

Strom- und Spannungsmessung an den Klemmen „Strommessung“  
mit äußeren Nebenschluß- bzw. Reihenwiderständen

Klemmenwiderstand . . . . . 1000  $\Omega$   $\pm$  0,05 %  
Eigenverbrauch . . . . . 0,2 mW bei 450 mV  
Stromaufnahme bei Vollausschlag . . . . . 0,45 mA

Genormte Meßbereiche mit den an den Meßbuchsen befindlichen  
Reihen- und Nebenschlußwiderständen

Strom	mA	1,5	3	15	25	30	50	60	75	150	300	1500
Nebenschluß	$\Omega$	428	176,5	30,9	18,38	15,2	9,08	7,55	6,04	3	1,51	0,3
Spannung	V	3			30			90			300	
Vorwiderstand	$\Omega$	5,67			65,7			199			665,7	

Spannungsmessung (ohne äußeren Vorwiderstand)

Bereiche mit Endausschlag . . . . . 3, 30, 90, 300 V

Klemmenwiderstand

im Bereich 0,45 bis 3 V . . . . . 6 666,7  $\Omega$   
3 bis 30 V . . . . . 66 667  $\Omega$   
30 bis 90 V . . . . . 200 000  $\Omega$   
90 bis 300 V . . . . . 666 667  $\Omega$

Unsicherheit der Klemmenwiderstände . . . . .  $\pm$  0,05 %

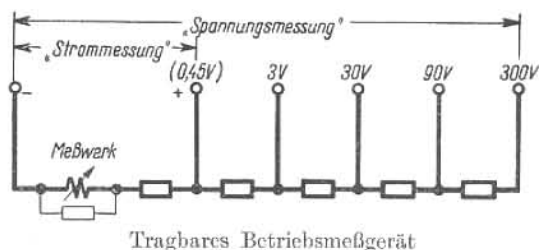
Meßunsicherheit bei senkrecht stehender Achse . . . . .  $\pm$  0,3 %

bei waagrecht liegender Achse . . . . .  $\pm$  1 %

### Arbeitsweise und Aufbau

Das Betriebsmeßgerät arbeitet mit einem Drehspulinstrument mit Spiegelskale. Zum Messen der Betriebsspannungen und -ströme an den Meßbuchsen der Gestelle dient der Anschluß „+ Strommessung—“, der einen Klemmenwiderstand von 1000  $\Omega$  hat. Der Endausschlag entspricht 450 mV. Um mit diesem einen Meßbereich alle im Amtsbetrieb vorkommenden Ströme und Spannungen messen zu können, sind den Meßbuchsen der Geräte geeignete Nebenschlüsse bzw. Reihenwiderstände zugeordnet. Die Nebenschlüsse bestehen entweder aus kurzen, geeichten, unmittelbar an den Buchsen angelöteten Drahtschleifen oder aus Rollenwiderständen, die auf die Buchsen von rückwärts aufgeschoben werden. Die Vorwiderstände werden als Rollenwiderstände verschiedener Größe in der Nähe der Buchsenstreifen eingebaut und mit den Buchsen verbunden. Die Buchsen sind

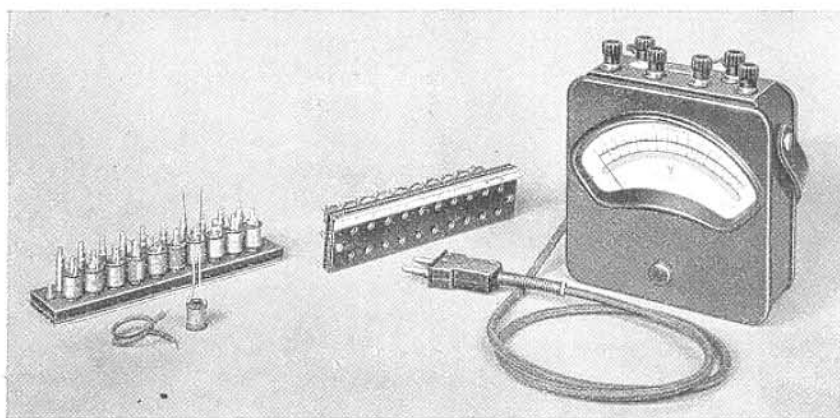
entweder Einzelbuchsen (z. B. Heiz- und Anodenstrom-Meßbuchsen von Meßgeräten) oder zu je 10 zu einem Buchsenstreifen zusammengefaßt (z. B. im Schaltfeld der Verstärker-Gestelle). Die spannungsführenden Buchsen sind gegen Berührung durch eine Ab-



deckplatte geschützt. Der dem Endausschlag (150 bzw. 30 Skalenteile) entsprechende Meßbereich ist an der Einzelbuchse unmittelbar angegeben, beim Buchsenstreifen stehen die Angaben auf dem zugehörigen Bezeichnungstreifen.

Die Verbindung der Klemmen „+ Strommessung—“ des Betriebsmeßgerätes mit den Meßbuchsen geschieht über die Meßgeräte-Anschlußschnur Rel Itg 274 a (s. auch S. 190).

Außer den Strommeßklemmen sind noch vier Spannungsmeißklemmen vorhanden, mit denen die Spannungen ohne äußeren Vorwiderstand unmittelbar gemessen werden können. Der Anschluß erfolgt ebenfalls mit der Meßgeräte-Anschlußschnur an der Klemme „—“ und der dem gewünschten Bereich entsprechenden Klemme. Es gilt hierbei die untere Skalenteilung. Das Meßgerät ist in ein Preßstoffgehäuse eingebaut. Die Preßstoff-Kordelschraube unterhalb des Skalenfensters dient zur Nullpunkteinstellung des Zeigers.



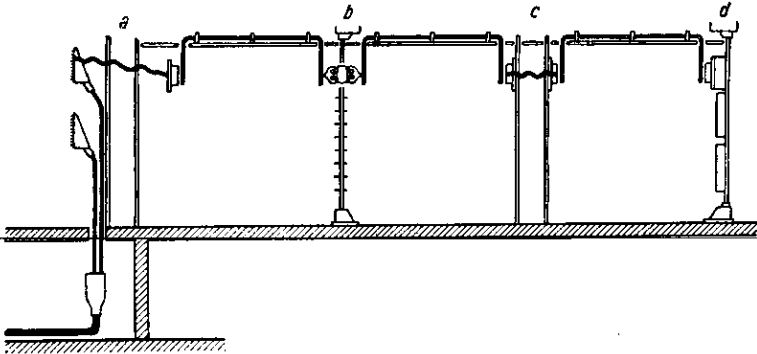
Tragbares Betriebsmeßgerät, Meßgeräte-Anschlußschnur und Buchsenstreifen mit Meßwiderständen

#### Zubehör, Maße und Gewichte

Gegenstand	Bezeichnung	Abmessungen in mm	Gewicht etwa kg	Listen-Nr.	Preis RM
Tragbares Betriebsmeßgerät . . .	Ms Idr 270 b n. Rel Bv 240,1	150 × 170 × 80	1,9	<b>105826</b>	
Zubehör: 1 Meßgeräte-Anschlußschnur . . .	Rel Itg 274 a	1130	0,1	<b>106279</b>	

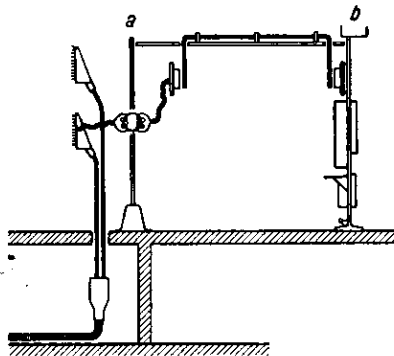
## II. Bauzeug

Kabelend-Gestelle mit Trennendverschlüssen und Fernleitungsübertragern, Kabelend-Verteiler. Bei der Kabeleinführung in Verstärkerämtern kommt es darauf an, die Leitungsführung kurz zu halten und Lötverbindungen weitestgehend zu vermeiden. Die Verstärkerämter 27 hatten den im folgenden Bild gezeigten Aufbau, nämlich vier durch Amtskabel verbundene Gestellgruppen, bestehend aus Kabelverteiler a, Fern-



Kabeleinführung in Verstärkerämtern 27

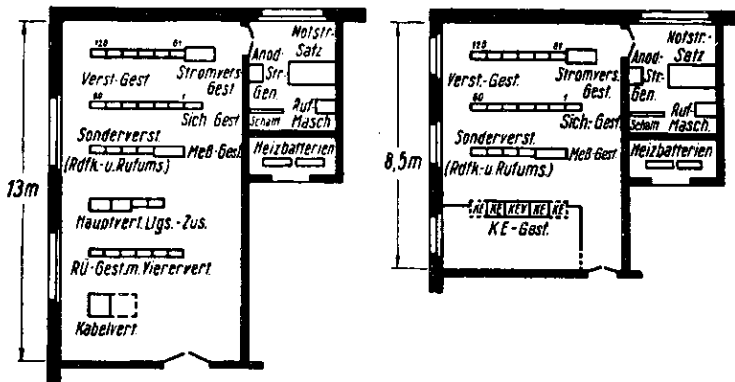
leitungsübertrager-Gestell b, Hauptverteiler c und Verstärker-Gestell d, die alle räumlich hintereinander aufgestellt wurden. Bei den Verstärkerämtern 32/35 fielen das besondere Fernleitungsübertrager-Gestell und der Hauptverteiler weg (s. nächstes Bild). Trennendverschlüsse und Fernleitungsübertrager sind auf einem Gestell (a), dem Kabelend-Gestell (KE-Gestell), zusammengefaßt. Erst mehreren KE-Gestellen wird ein Verteiler-Gestell,



Kabeleinführung in Verstärkerämtern 32/35

der Kabelend-Verteiler (KE-Verteiler) zugeordnet. Im allgemeinen bilden sechs KE-Gestelle und ein KE-Verteiler-Gestell eine KE-Gruppe. Dieser Aufbau ist für kleinere und mittlere Verstärkerämter ausreichend. Bei großen Ämtern lassen sich im Bedarfsfall besondere Einrichtungen zur Verbindung mehrerer KE-Gruppen untereinander schaffen. Die Vorzüge des neuen Aufbaues sind: geringerer Raumbedarf, Verkürzung der Leitungs-

führung zwischen den Gestellgruppen durch Beschränkung der Zahl der Amtskabelstrecken von drei auf eine Strecke und Verminderung der zwischen Trennendverschluß und Verstärker-Gestell im Zuge einer Ader liegenden Lötverbindungen von zehn auf sechs.



Verringerung des Raumbedarfs durch die KE-Gruppe

Im vorstehenden Bild sind als Beispiel zwei im Grundriß gezeichnete Verstärkerämter für je 120 Verstärker gegenübergestellt.

Um das Bedienungspersonal gegen Gefährdung durch induzierte höhere Spannungen und statisch aufgeladene Leitungen zu schützen, wird die KE-Gruppe erdfrei aufgestellt, d. h. die Gestelle selbst werden gegen den Fußboden durch Porzellanfüße isoliert und gegen die Wände durch Isolatoren abgestützt, der Bleimantel der Einführungskabel wird durch Isoliermuffen unterbrochen.

Die Kabelend-Gestelle, Trennendverschlüsse und der Kabelend-Verteiler werden auf den S. 196 bis 203 beschrieben, die Fernleitungsübertrager auf S. 204.

Gruppenrahmen. Nur in kleinen Ämtern mit wenigen Verstärker-Gestellen stehen die Gestelle auf eigenen, seitlich angebrachten Füßen; in mittleren und großen Ämtern ist es vorteilhafter und auch allgemein üblich, die einzelnen Verstärker-Gestelle in sogenannte Gruppenrahmen einzusetzen. Die Höhe dieser Gruppenrahmen ist entsprechend der einheitlichen Gestellhöhe immer gleich; ihre Breite ist jedoch verschieden, je nachdem wieviele Gestelle in einen Rahmen einzusetzen sind bzw. welche größte Rahmenbreite der Verstärkerraum zuläßt. Montagetechnisch bieten diese Gruppenrahmen nicht nur den Vorteil eines sauberen und einfachen Aufbaues der Gestelle, sondern auch vor allem in größeren Ämtern durch vorbereitende Aufstellung und Verkabelung vor Eintreffen der Gestelle unter Umständen einen erheblichen Zeitgewinn. Die Gruppenrahmen sind auf S. 207 zusammengestellt.

Kabelroste, Lötösenstreifen. Die Verbindungskabel und Leitungen zur Verkabelung der Gestelle untereinander und für ihre Verbindung mit der KE-Gruppe werden auf Kabelrosten verlegt. Hierfür hat sich in neuerer Zeit an Stelle des genieteten Kabelrostes der mit Klemm-Verbindungsstücken als zweckmäßiger erwiesen (s. S. 212). Die gebündelt geführten Leitungen werden mit den Verteiler bzw. mit den Verstärker-Gestellen über Lötösenstreifen (s. S. 214) verbunden.

C. Zubehör und Bauezeug für Verstärkerämter	<b>Kabelend-Gestelle</b> <b>Kabelend-Verteiler</b>	Rel vert 4a, c, e Rel entw 2615a Rel vert 4d
--	---	--

### Anwendung

In neueren Verstärkerämtern sind die zwischen den Fernkabeln und den Rangier-Lötösenstreifen am Verteiler erforderlichen Übertragungseinrichtungen: Trennendverschlüsse und Fernleitungsübertrager raum- und leitungsparend auf dem Kabelend-Gestell zusammengefaßt. Es gibt vier verschiedene Ausführungen. Das Kabelendgestell Rel vert 4a nimmt bis zu 3 Trennendverschlüsse und bis zu 90 Fernleitungsübertrager auf, die Ausführung Rel vert 4e von jedem die doppelte Anzahl. Außerdem lassen sich in jedem Gestell ein bzw. zwei geschirmte Trennendverschlüsse für Rundfunkleitungen unterbringen. Das Kabelend-Gestell Rel entw 2615a ist ein Vorgänger der Ausführung Rel vert 4e und weicht von dieser nur geringfügig ab. Eine vierte Ausführung, das Gestell Rel vert 4c hat keine Fernleitungsübertrager und wird dort benutzt, wo in größerer Zahl Fernleitungen ohne Zwischenschalten von Übertragern und Verstärkern unmittelbar weiterverbunden werden sollen.

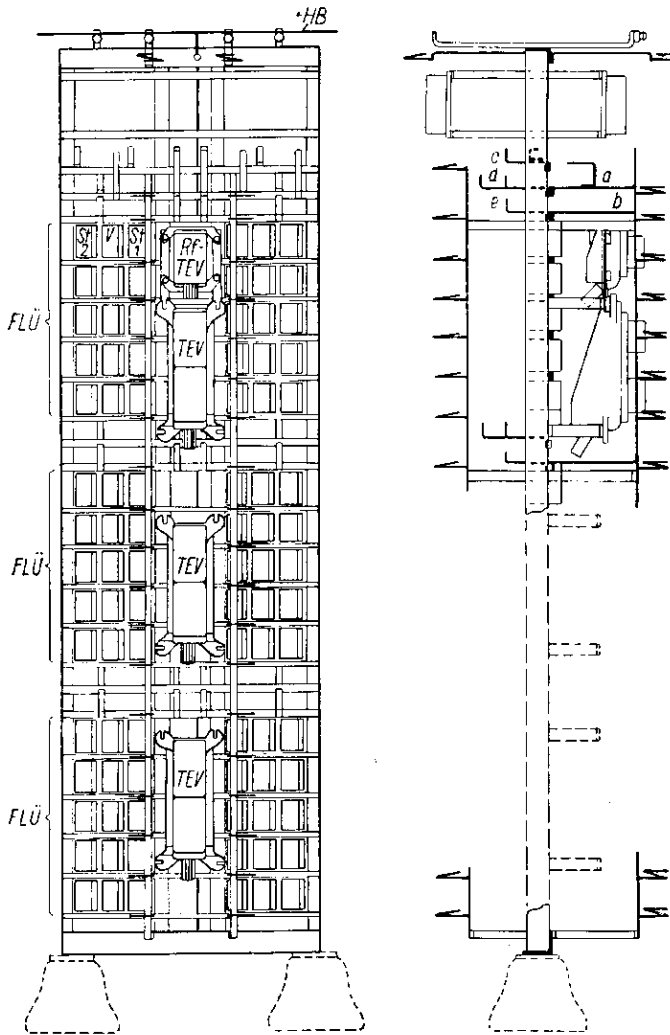
Mehreren, im allgemeinen sechs Kabelend-Gestellen wird ein Kabelend-Verteiler zugeordnet; sie bilden zusammen eine KE-Gruppe. Dieser Kabelend-Verteiler nimmt bis zu 40 Lötösenstreifen (s. S. 214) auf, an denen die Ein- und Ausgänge der Verstärkereinrichtungen liegen. Es ist somit möglich, innerhalb einer KE-Gruppe durch einfache Rangierdrähte Leitungen und Verstärker wahlweise miteinander zu verbinden. In Ämtern mit mehreren KE-Gruppen werden Rangierungen über besondere Roste (s. S. 212, Rel kab 5, Tz 3) oberhalb der KE-Gestelle vorgenommen.

### Aufbau

Kabelend-Gestell Rel vert 4a. Dieses Gestell ist zur Aufnahme von drei 20paarigen Trennendverschlüssen TEV eingerichtet. Außerdem läßt sich oberhalb des obersten TEV ein 6paariger TEV für Rundfunk-Übertragungsleitungen anbringen. Auf den Gestellsprossen zu beiden Seiten eines TEV werden die Fernleitungsübertrager FLÜ, im Höchstfall 20 Stamm- und 10 Phantomkreisübertrager für einen 20paarigen TEV, befestigt. Die FLÜ von Stamm 1 sitzen neben den TEV, die Übertrager von Stamm 2 sind in der Nähe des Gestellrahmens, die zugehörigen Phantomkreisübertrager zwischen den Stammübertragern angeordnet. Durch die räumlich enge Anordnung der TEV und FLÜ ergeben sich zwischen beiden kurze Verbindungen. Das Gestell kann entsprechend den drei Trennendverschlüssen bis zu 60 FLÜ für Stammleitungen und 30 FLÜ für Phantomleitungen aufnehmen.

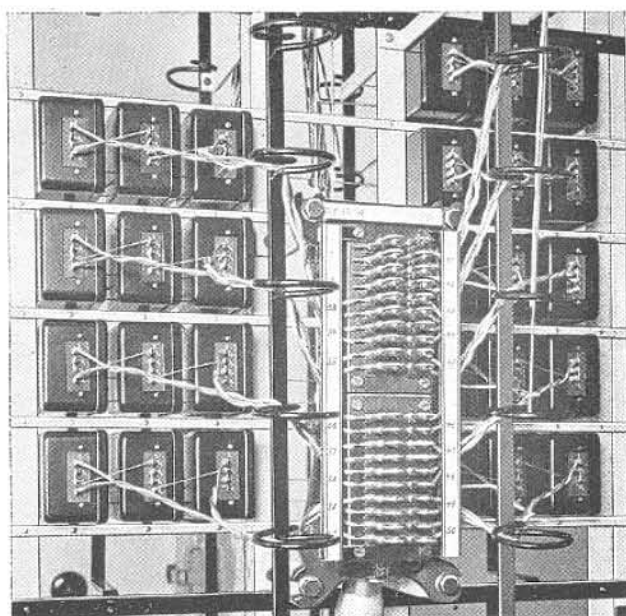
Es werden im allgemeinen Fernleitungsübertrager der Bauart V tr 14 benutzt (s. S. 204). Diese sind mit zwei Schrauben an den Gestellsprossen befestigt und so aufgebaut, daß im Gestell durch die Anordnung ihrer Lötösen die hochspannungsgefährdete Kabelseite von der Amtsseite getrennt wird, wobei das Gestell selbst die Trennung bildet. Die sekundärseitigen Lötösen der Übertrager sind dem TEV zugekehrt, wodurch sich hier besonders kurze Verbindungsmöglichkeiten ergeben, während die primärseitigen Lötösen nur von der Amtsseite des Gestells zugänglich sind. Oben im Gestell lassen sich in dem Verteilerfeld leitungs- und amtsseitig im Bedarfsfall je vier Lötösenstreifen (Verteilerleisten) anbringen. Unterhalb des Verteilerfeldes ist auf der Leitungsseite ein Rangierkanal für die Rangierleitungen der UT-Verbindungen (a) vorgesehen. Der darunterliegende Rangierkanal (b) wird

für Durchverbindungen ohne FLÜ benötigt. Auf der Amtsseite sind an der gleichen Stelle drei Rangierkanäle angebracht, nämlich die Kanäle c für TF-Verbindungen, d für Verstärkerleitungen mit hohem Pegel und e für Verstärkerleitungen mit niedrigem Pegel. Die Kanäle b, d und e sind zwischen den Übertragerfeldern wiederholt.

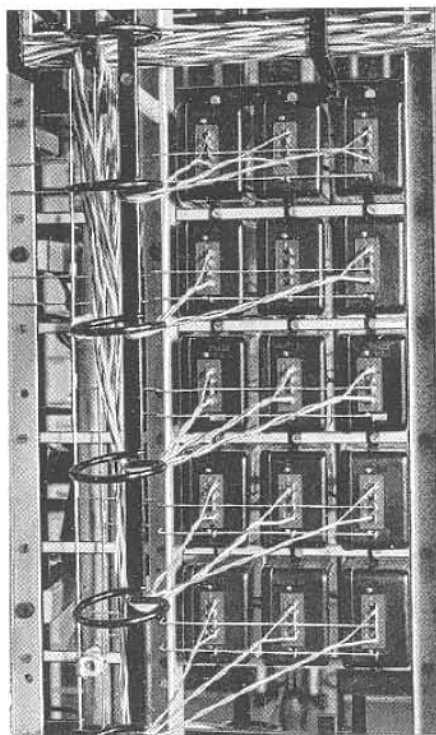


KE-Gestell Rel vert 4a

Zur Führung der Rangierleitungen in senkrechter Richtung dienen die auf beiden Seiten des KE-Gestells angebrachten Schaltringe. Eine Batterieerde (+ HB) läuft oben am Gestell als blanke Leitung an Isolierkörpern über die ganze KE-Gruppe und wird bei den einzelnen Gestellen in der Gestellmitte, ebenfalls auf Isolierkörpern, abwärts geführt. An diese Erdleitung werden die benötigten Erdverbindungen für die Übertragermitten angeschlossen.

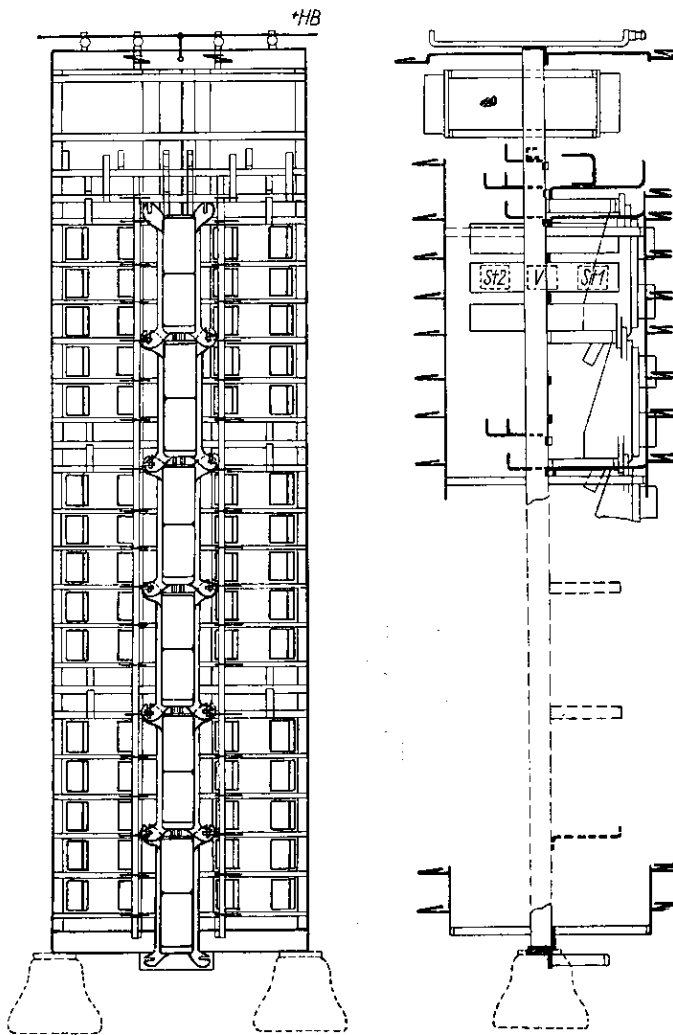


Teilansicht des KE-Gestells Rel vert 4a von der Kabelseite aus



Teilansicht des KE-Gestells Rel vert 4a von der Amtsseite aus

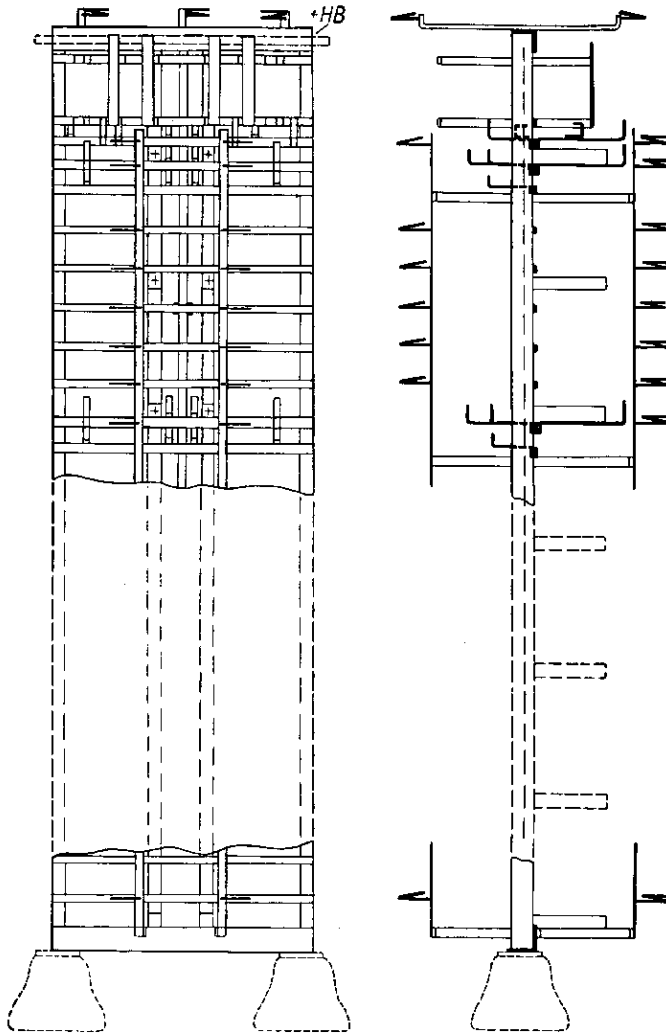
Kabelend-Gestell Rel entw 2615a. Auf diesem Gestell lassen sich sechs 20paarige TEV übereinander anbringen. Bei Verzicht auf zwei Lötösenstreifen im Verteilerfeld der Leistungsseite können an dieser Stelle zwei 6paarige Rundfunkleitungs-Trennendverschlüsse angeordnet werden. Die Verdoppelung der Zahl der TEV bedingt auch die doppelte



KE-Gestell Rel entw 2615a

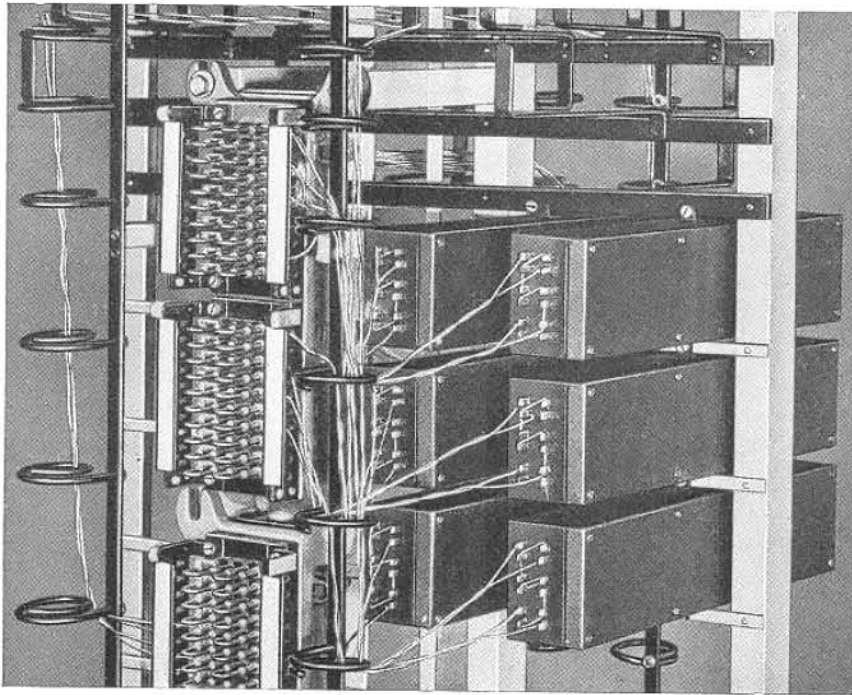
Anzahl an Fernleitungsübertragern. Die Übertrager selbst sind von der gleichen Bauart wie die Übertrager für die Gestellausführung Rel vert 4a. Aus Raumersparnisgründen sind jedoch, wie auch die entsprechenden Lichtbilder für das KE-Gestell Rel vert 4e auf S. 201 zeigen, bei der Gestellausführung Rel entw 2615a die beiden Stammübertrager und der Phantomkreisübertrager eines Vierers in einem besonderen Blechgehäuse hintereinander untergebracht. Zur Trennung der Kabelseite von der Amtsseite sind auch bei diesem neuen Vierersatz-Übertrager die Amtsanschlusßlötösen der drei Übertrager nach der Amtsseite, die TEV-Anschlusßlötösen nach der Kabelseite aus dem gemeinsamen Gehäuse herausgeführt.

Kabelend-Gestell Rel vert 4e. Diese Gestellausführung ist eine Weiterentwicklung der Bauart Rel entw 2615a und unterscheidet sich von dieser hauptsächlich durch die etwas andere Anordnung der Stützen für die Trennendverschlüsse im Gestell, wodurch die bei dem Gestell Rel entw 2615a notwendige zusätzliche Schiene an der unteren

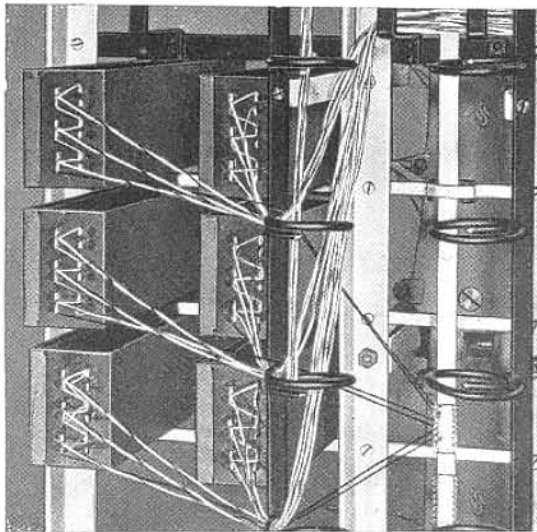


KE-Gestell Rel vert 4e

Querschiene wegfällt. Außerdem hat dieses Gestell eine Erdschiene mit Anschlußlötlösen an Stelle des blanken Erddrahtes bei den anderen Ausführungen. Ein weiterer Unterschied im Aufbau der beiden Gestelle ist der, daß die Rangierösen für die Verbindung mit anderen KE-Gruppen an den Kabelspinnen angebracht sind und nicht mehr an besonderen Haltebügeln. Dadurch kann die Erdschiene innerhalb der KE-Gruppe günstiger geführt werden. Wie beim KE-Gestell Rel entw 2615a können auch hier an Stelle von zwei Lötösenstreifen im Verteilerfeld der Leitungsseite Rundfunkleitungs-Trennendverschlüsse angeordnet werden.



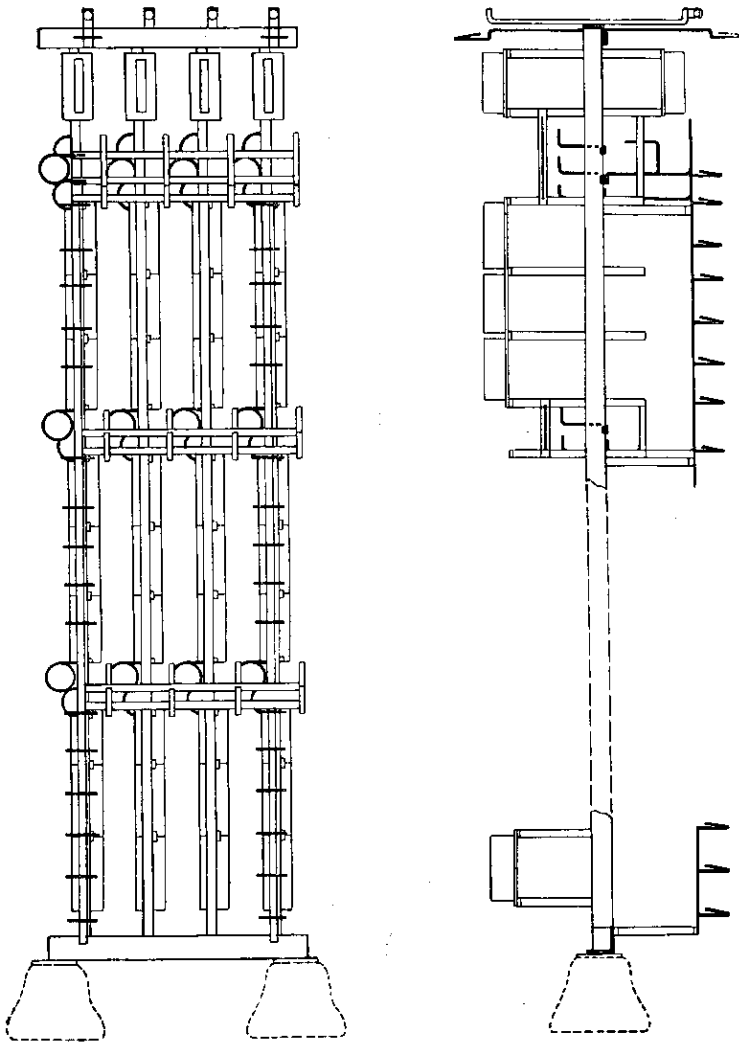
Teilansicht des KE-Gestells Rel vert 4e von der Kabelseite aus



Teilansicht des KE-Gestells Rel vert 4e von der Amtsseite aus

Kabelend-Gestell Rel vert 4c. Kommen in einem Amt unmittelbare Durchverbindungen von einem Trennendverschluß zu einem anderen in größerer Anzahl vor, so ist es zweckmäßig, die Trennendverschlüsse auf einem besonderen Gestell anzuordnen, das

dann an Stelle der Fernleitungsübertrager weitere Trennendverschlüsse enthält. Auf einem solchen KE-Gestell für Durchverbindungen Rel vert 4c lassen sich neun 20paarige Trennendverschlüsse unterbringen.



Kabelnd-Verteiler Rel vert 4d

Kabelnd-Verteiler Rel vert 4d. Der KE-Verteiler ist ein ebenfalls aus vier Winkelschienen aufgebautes Gestell mit den gleichen Abmessungen wie das KE-Gestell. Es enthält auf der Amtsseite drei Verteilerfelder für je zwölf Lötösenstreifen. Die Belegung der Lötösenstreifen ist zweckentsprechend durchzuführen; niedriger Pegel ist der „An“-Seite und hoher Pegel der „Ab“-Seite der KE-Gruppe zugeordnet. Um die zu den einzelnen Lötösenstreifen führenden Leitungen aus einem waagerechten Rangierkanal herauszuführen, befinden sich vor jedem Rangierkanal oder auch vor jeder Lötösenstreifen-Reihe

senkrecht stehende Schaltringe. Auf der Leitungsseite sind zum Hochführen der von den KE-Gestellen kommenden Leitungen zu beiden Seiten des Gestells je eine Schaltringeiste angebracht. Die Rangierkanäle haben die gleiche Anordnung wie bei den KE-Gestellen.

**Trennendverschluß.** Die von der Aufteilungsmuffe des Fernkabels kommenden Aufteilungskabel münden normalerweise von unten in dem Gehäuse des Trennendverschlusses (TEV). Hier werden die einzelnen Leitungsadern auf Lötösen verteilt und sind vorn auf der Trennklemmenplatte des Trennendverschlusses an den beiden mittleren Reihen abgreifbar. Die Buchsen der beiden äußeren Reihen sind mit seitlichen Schraub- oder Lötösenanschlüssen versehen. An diesen werden die Verbindungen zu den Fernleitungsübertragern oder bei Durchschaltung die weitergehenden Leitungen angeschlossen. Jede Fernleitung kann durch Ziehen der zugehörigen Trennbügel zwischen den äußeren und inneren Buchsen aufgetrennt werden. Die beiden Adern einer Fernleitung sind im TEV jeweils untereinander angeordnet und auf anklammerbaren Bezeichnungstreifen zu beiden Seiten kenntlich gemacht. Hinter den Bezeichnungstreifen befindet sich eine Lochleiste, die zur Durchführung der abgehenden Rangierleitungen dient.

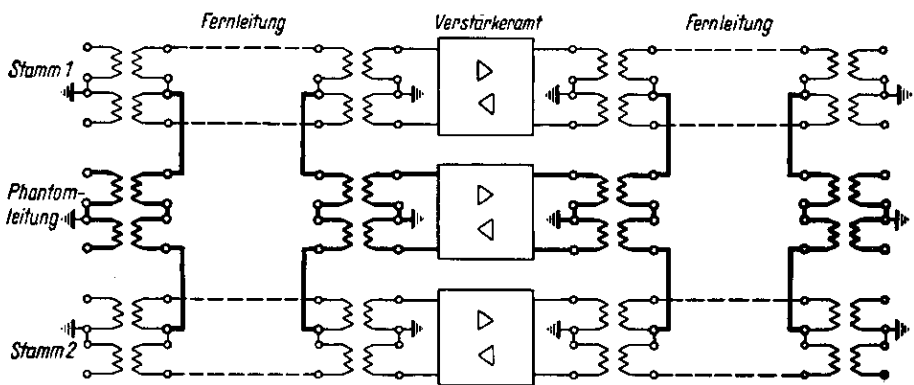
### Zubehör, Maße und Gewichte

Gegenstand	Bezeichnung	Abmessungen	Gewicht	Listen-Nr.	Preis RM
		in mm	etwa kg		
<b>Kabelend-Gestell</b>					
für 3 TEV u. 90 FLÜ . . . . .	Rel vert 4a	650×2400×585	85	<b>106 682</b>	
für 6 TEV u. 180 FLÜ . . . . .	Rel entw 2615 a	650×2400×670	90	<b>106 683</b>	
für 6 TEV u. 180 FLÜ . . . . .	Rel vert 4e	650×2400×650	90	<b>108 503</b>	
<b>Kabelend-Gestell</b>					
für 9 TEV, keine FLÜ . . . . .	Rel vert 4c	650×2400×500	85	<b>106 699</b>	
<b>Kabelend-Verteiler</b> . . . . .	Rel vert 4d	650×2400×560	75	<b>106 684</b>	
Bestückung nach Bedarf:					
Trennendverschluß für Innenräume, 20paarig . . . . .	mit Lötanschluß m. Schraubanschluß	425×155×170 425×155×170	7,2 7,2	<b>104 1002</b> <b>104 1007</b>	
Rundfunkleitungs-Trennend- verschluß, 6paarig, geschirmt . . . . .	mit Lötanschluß m. Schraubanschluß	225×135×150 225×135×150	4 4	<b>104 1015</b> <b>104 1016</b>	
Fernleitungsübertrager . . . . .	V tr 14 b bzw. 12 d	—	—	s. S. 204	
Lötösenstreifen . . . . .	Fg vert 5	—	—	s. S. 214	
Zubehör nach Bedarf:					
Porzellanfuß . . . . .	Rel grpl 18 a	200 hoch	4	<b>108 137</b>	
Porzellanfuß . . . . .	Rel grpl 18 c	40 hoch	2,8	<b>108 138</b>	
Stützisolator <sup>1)</sup> . . . . .	M 3905	50×50 ∅	0,22	<b>108 615</b>	
Rangierdraht					
Leitungsseite . . . . .	LSUL 4×0,5 DM oder 2×0,5	—	—	—	
Amtsseite . . . . .	LP 2×0,6	—	—	—	
1) Zur isolierten Abstützung der KE-Gruppen					

**Anwendung**

Der Fernleitungsübertrager, der auch in Ämtern ohne Verstärker, z. B. für Durchschaltungen und amtsendende Leitungen benötigt wird, hat drei verschiedene Aufgaben zu erfüllen.

Einmal dient der Übertrager zur hochspannungssicheren Einführung der Fernleitungen in das Amt; diese ist durch eine hohe Durchschlagsfestigkeit der Isolation zwischen Primär- und Sekundärwicklung und Gehäuse gewährleistet. Spannungen gegen Erde, die unter Umständen durch Starkstromleitungen auf das Kabel induziert werden, können daher an den Amtseinrichtungen nicht auftreten.



Bildung einer Phantomleitung mit Fernleitungsübertragern

Die zweite wichtige Aufgabe des Übertragers ist die Anpassung von Übertragungseinrichtungen mit verschiedenen Scheinwiderständen; z. B. ist nach den zwischenstaatlichen Empfehlungen der Eingangswiderstand der Fernleitungen bei Verstärkerämtern auf den Wert der Eingangs- und Ausgangswiderstände der Verstärker, und zwar einheitlich auf  $800 \Omega$  bei  $800 \text{ Hz}$  zu bringen. Die bei unmittelbarer Zusammenschaltung von Leitungen oder Geräten mit verschiedenen Scheinwiderständen auftretenden Reflexionen werden durch diese Zwischenschaltung von Übertragern stark herabgesetzt. Das Übersetzungsverhältnis der Scheinwiderstandsbeträge  $\ddot{u}^2$  wird den Scheinwiderständen entsprechend gewählt, wobei  $\ddot{u}$  das Verhältnis der Windungszahlen des Übertragers ist. Um also beispielsweise den Scheinwiderstand  $Z$  einer Fernleitung bei der Einführung in die Fern- und Verstärkerämter auf den einheitlichen Wert von  $800 \Omega$  zu bringen, wählt man einen Übertrager mit dem Übersetzungsverhältnis  $\ddot{u}^2 = \frac{800 \Omega}{Z}$ .

Die dritte Aufgabe schließlich besteht darin, durch genaue Mittenanzapfung der Wicklungen die Phantombildung zu ermöglichen und durch Erden der Symmetriepunkte der Primärseite die Amtseinrichtungen möglichst symmetrisch gegen Erde machen zu können.

## Elektrische Werte

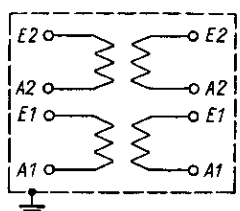
Gebräuchliche Anpassungsverhältnisse . . .	$\ddot{u}^2 = 1:1$ für $600 \Omega/600 \Omega$ bis $1600 \Omega/1600 \Omega$
	$\ddot{u}^2 = 1:2$ für $600 \Omega/1200 \Omega$ bis $800 \Omega/1600 \Omega$
	$\ddot{u}^2 = 2:1$ für $800 \Omega/400 \Omega$
	$\ddot{u}^2 = 1:3$ für $266 \Omega/800 \Omega$ bis $532 \Omega/1600 \Omega$
Unsicherheit des Anpassungsverhältnisses	für $\ddot{u}^2 = 1:1$ . . . . . 1 %
	für $\ddot{u}^2 = 1:2, 2:1$ und $1:3$ . . . . . 2 %
Betriebsdämpfung	
zwischen 300 und 6000 Hz . . . . .	$\leq 0,06$ N
Rufstromwirkungsgrad bei 25 Hz . . . . .	80 %
bei 16 Hz . . . . .	60 %
Wicklungssymmetrie . . . . .	$> 10$ N
Durchschlagsfestigkeit . . . . .	2000 V

## Aufbau

Im allgemeinen wird die amtsseitige Wicklung eines Fernleitungsübertragers als Primär- und die an der Leitung liegende als Sekundärwicklung bezeichnet.

Die Primär- und Sekundärwicklung jedes Übertragers sind in zwei elektrisch gleiche Teile aufgeteilt. Jede Wicklungshälfte ist an zwei Lötösen A1, E1 und A2, E2 geführt. Durch Verbinden der beiden mittleren Lötösen werden die beiden Wicklungshälften der Primärseite bzw. der Sekundärseite magnetisch wirksam hintereinander geschaltet. Die hierdurch entstehenden Wicklungsmittelpunkte werden Symmetriepunkte genannt. Die sekundären an der Leitung liegenden Symmetriepunkte zweier Übertrager werden zur Bildung eines dritten Sprechkreises, des Phantomkreises, benutzt. Zum einwandfreien Phantombetrieb ist es notwendig, daß die Wicklungsmittelpunkte genau die Spannungsmittelpunkte der Stammübertrager darstellen, da im anderen Falle ein Mitsprechen zwischen einer Stammleitung und dem Phantomkreis eintreten würde.

Durch das hochpermeable Kernmaterial ergeben sich trotz der hohen elektrischen Anforderungen kleine Abmessungen.

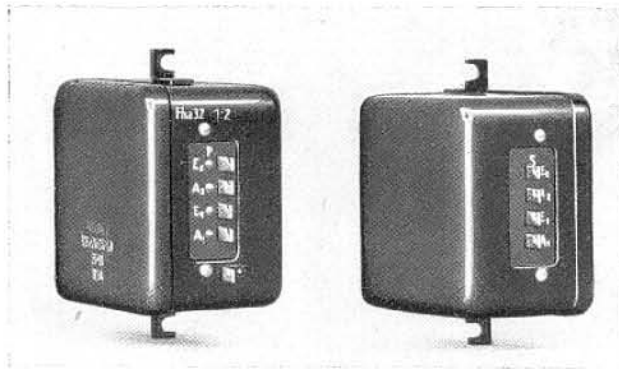


Schaltung des Fernleitungsübertragers

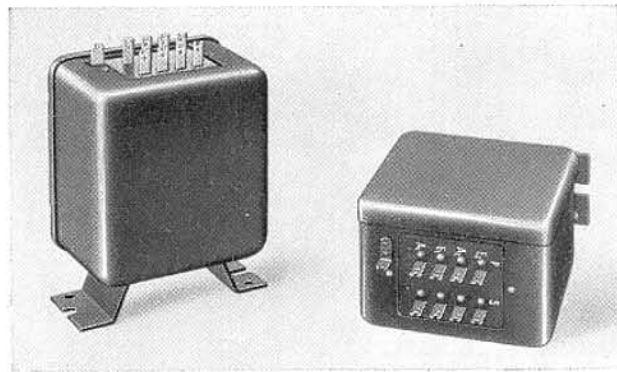
Beim Fernleitungsübertrager V tr 14 b sind entsprechend seiner Anwendung im Kabelend-Gestell, d. h. zur Trennung der hochspannungsgefährdeten Leitungsseite von der Amtsseite, die Lötösen der Primärseite und der Sekundärseite auf gegenüberliegenden Seiten angeordnet. Beim Übertrager V tr 12 d liegen alle Lötösen auf derselben Seite; im KE-Gestell wird er für Leitungen benötigt, die unmittelbar von Trennendverschluß durchverbunden werden sollen. Die Ausführung V tr 12 p unterscheidet sich hiervon nur durch die Art der Befestigung, und zwar sitzt der Übertrager auf einer ebenen Grundplatte.

Gebräuchliche Anpassungsverhältnisse sind 1:1, 1:2, 2:1, 1:3. Übertrager 1:1 werden verwendet zur Phantombildung von bereits angepaßten Leitungen, zur Verbindung von Fernkabel-Phantomleitungen ( $Z=800 \Omega$ ) mit Stämmen von Freileitungen ( $Z=600 \Omega$ ). Das Übersetzungsverhältnis 1:2 wird gewählt bei Verbindungen von Fernkabel-Stammleitungen ( $Z=1600 \Omega$ ) mit Systemen von  $800 \Omega$  oder zur unmittelbaren Verbindung einer Leitung von  $600 \Omega$  mit einem Fernleitungskabel ( $Z=1000 \Omega$ ). Das Verhältnis 2:1 wird benötigt zum Verbinden von leicht bespulten Fernkabel-Phantomleitungen ( $Z=400 \Omega$ ) mit Verstärkern von  $800 \Omega$  oder zum Verbinden einer Leitung von  $600 \Omega$  mit Verstärkern

von  $1200 \Omega$ . Das Verhältnis 1:3 findet Anwendung bei der Verbindung von Freileitungs-Phantomkreisen ( $Z = 300 \Omega$ ) mit Systemen von  $800 \Omega$  oder zur Verbindung von Freileitungs-Stämmen ( $Z = 600 \Omega$ ) mit Fernkabel-Stammleitungen ( $Z = 1600 \Omega$ ).



Fernleitungsübertrager V tr 14 b



Fernleitungsübertrager V tr 12 d

### Maße und Gewichte

Gegenstand	Bezeichnung	Abmessungen in mm	Gewicht etwa kg	Listen-Nr.	Preis RM
<b>Fernleitungsübertrager</b>	V tr 14 b	95×60×90	1,5		
$U^2 = 1:1$				<b>105 593</b>	
$U^2 = 1:2$				<b>105 594</b>	
$U^2 = 2:1$				<b>105 595</b>	
$U^2 = 1:3$				<b>105 596</b>	
<b>Fernleitungsübertrager</b>	V tr 12 d	95×60×124	1,5		
$U^2 = 1:1$				<b>105 587</b>	
$U^2 = 1:2$				<b>105 588</b>	
$U^2 = 2:1$				<b>105 589</b>	
$U^2 = 1:3$				<b>105 590</b>	
<b>Fernleitungsübertrager</b>	V tr 12 p	110×60×109	1,5		
$U^2 = 1:1$				<b>105 591</b>	
$U^2 = 1:2$				<b>105 592</b>	

C. Zubehör und Bauzeug für Verstärkerämter	<b>Gruppenrahmen</b>	W Rel skizze 6001 W Rel skizze 6112
---	----------------------	--

### Anwendung

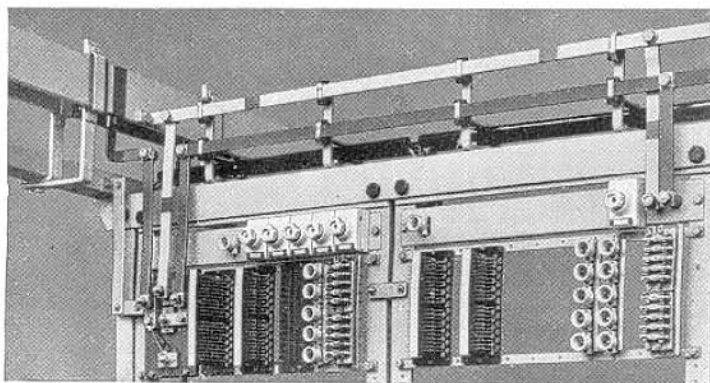
Nach der üblichen Amtsbauweise werden, von sehr kleinen Ämtern abgesehen, mehrere Verstärker-Gestelle zusammen mit einem (Prüf- und) Sicherungs-Gestell zu einer Gruppe zusammengefaßt und in einen gemeinsamen Gruppenrahmen eingesetzt. Die Vorteile einer solchen Bauweise sind: einfache Aufstellung der Gestelle, übersichtliche Verdrahtung und Kabelführung, Möglichkeit eines zeitsparenden vorbereitenden Aufbaues.

Je nach Zahl und Breite der einzelnen Gestelle und entsprechend den jeweiligen Raumabmessungen sind verschieden breite und verschieden gebohrte Gruppenrahmen zu wählen. Werden in einen Gruppenrahmen verschieden breite Gestelle eingesetzt, so ist für die Bohrung des Rahmens auch deren Reihenfolge zu beachten. Ferner gibt es in der Bauweise unterschiedliche Gruppenrahmen. In Verstärkerämtern ist fast ausschließlich der Gruppenrahmen Rel gest 120 zu finden. Er ist durch den werkstoffsparenden Gruppenrahmen W Rel skizze 6001 ersetzt worden. Im Zuge der Vereinheitlichung ist vorgesehen, mehr und mehr den Gruppenrahmen Rel gest 177 einzuführen, der mit dem Gruppenrahmen der Nachbargebiete: Wähltechnik und Fernschreibtechnik mehr gemeinsame Teile hat. Seine werkstoffsparende Ausführung trägt die Bezeichnung W Rel skizze 6112.

### Aufbau

Jeder Gruppenrahmen besteht unabhängig von seiner Breite aus einer unteren und einer oberen Längsschiene und aus einer linken und einer rechten Seitenstütze aus Winkeleisen. Die vier Teile werden an den Ecken mit Sechskant-Schrauben  $10 \times 30$  DIN 601/681/865 verschraubt. Je nachdem, ob die waagerechten Schenkel der oberen und unteren Längsschiene nach hinten oder vorn zeigen, wird zwischen der Ausführung W Rel skizze 6001 und 6112 unterschieden (vgl. auch Seitenansichten der Zeichnungen auf S. 209).

Die untere waagerechte Schiene wird als Gestellsockel benutzt und ruht auf einer der Breite des Rahmens entsprechenden Zahl von Gestellfüßen; im Mittel beträgt der Abstand der Gestellfüße 60 cm. Der aus Feingußbeton bestehende Gestellfuß Rel grpl 36 ist 200 mm hoch; in niedrigen Räumen wird ein 100 mm hoher Fuß Rel grpl 37 gewählt. In besonderen Fällen erhalten die Gestellfüße eine Abweisstange aus Gasrohr  $\frac{3}{4}$ ". Dementsprechend sind Gestellfüße mit (Rel grpl 36a, 37a) oder ohne (Rel grpl 36b, 37b) Stütze für Abweisstange zu verwenden.

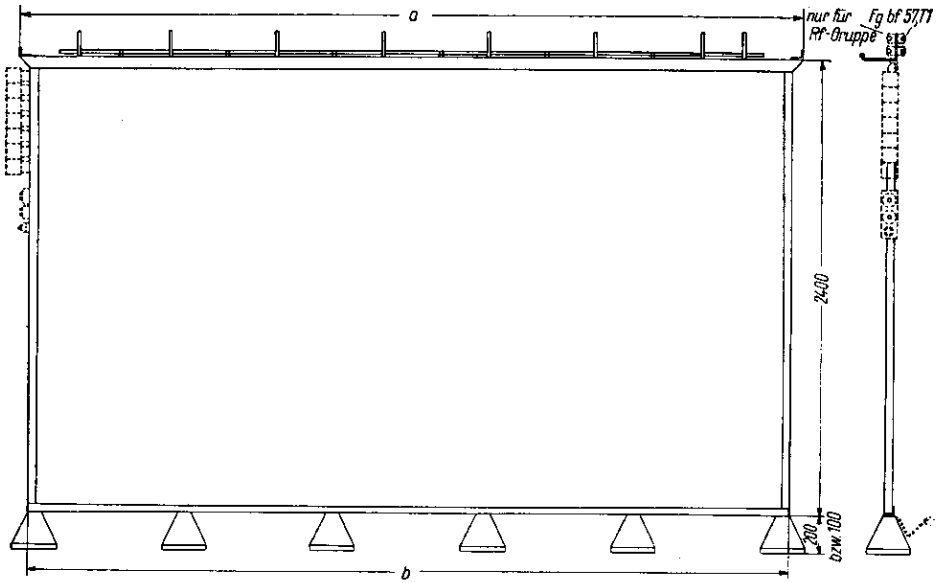


Beispiel für die Führung der Stromversorgungsleitungen am Kabelrost des Gruppenrahmens

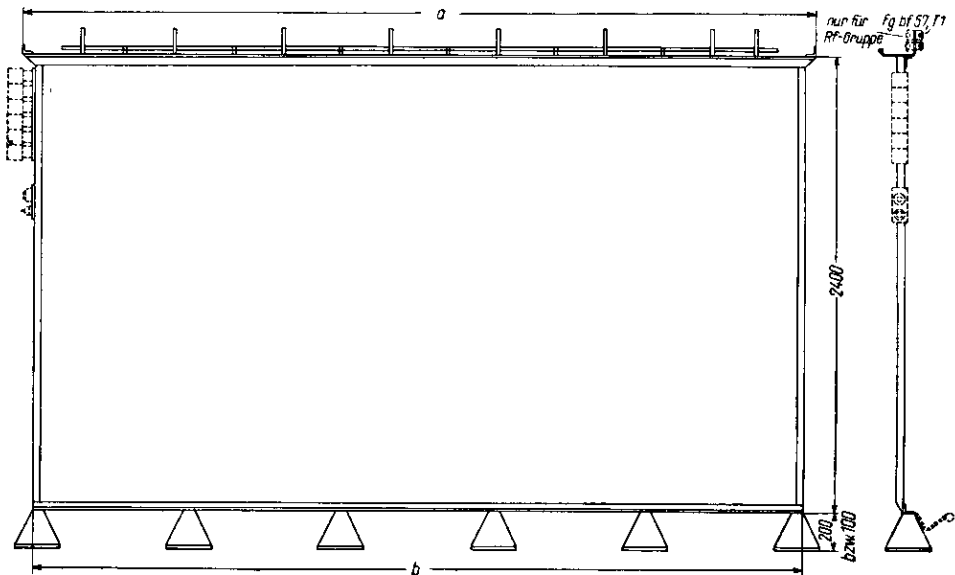
Zusammenstellung der Gruppenrahmen W Rel skizze 6001 und 6112

Gruppenrahmen nach W Rel skizze 6001 bzw. 6112	a	b	c	d	e	f	g <sup>1)</sup>	h	i	k	n <sup>6)</sup>
Anzahl der einsetzbaren Gestelle 550 mm breit 660 mm breit	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	15
<b>Gruppenrahmen-Zubehörteile</b>											
Sechskant-Schraube M 10×20 Mu DIN 601/681/865	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Erdungsscheibe Fg gest 372, A 39	24	32	40	48	56	64	5)	72	80	88	56
Erdungsbolzen Rel div 37g	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Sechskant-Schraube M10×30 Mu DIN 601/681/865	8	12	16	20	24	28	5)	32	36	40	24
<b>Gruppenrahmen-Sockel</b>											
Beton-Gestellfuß 200 mm Rel grpl 36a, b oder 100mm Relgrpl 37a, b	3	3	3	4	5	6	6	7	8	9	6
Zwischenlagen Fg gest 452, A 13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Abweisstange (Gasrohr 3/4'') W Rel skizze 6001/6112 T 6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Verkleidungspfropfen Fg grpl 144 Tz 4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Gruppenrahmen-Kabelrost</b>											
Kabelspresse W Rel skizze 6001/6112 T 7	1	2	3	4	5	6	5)	7	8	9	11
Kabelspresse W Rel skizze 6001,6112 T 8	3	4	5	6	7	8	5)	9	10	11	6
Sechskant-Schraube M 5×15 Mu DIN 601/681/865	4	6	8	10	12	14	5)	16	18	20	17
Erdungsscheibe <sup>2)</sup> Fg gest 372, A 47	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Halbrund-Schraube 4×9 DIN 86c/681/865	4	6	8	10	12	14	5)	16	18	20	17
Isolierkörper Fg bf 57 T 1											
Zylinder-Schraube 4×14 DIN 84e/681/865											
mit Sechskant-Mutter 4 DIN 934e/681/865											
oder Zylinder-Schraube <sup>4)</sup> 4×18 DIN 84c/681/865											
Schelle <sup>3)</sup> für 20×5 mm Fg bf 57 T 2											
Schelle <sup>3)</sup> für 20×8 mm Fg bf 57 T 3											
Schelle <sup>3)</sup> für 6 bis 8 mm ∅ Lg bf 57 T 4											
Schelle <sup>3)</sup> für 10 mm ∅ Fg bf 57 T 5											
Schelle <sup>3)</sup> für 12 mm ∅ Fg bf 57 T 6											
Schelle <sup>3)</sup> für 14 mm ∅ Fg bf 57 T 7											
Schelle <sup>3)</sup> für 16 mm ∅ Fg bf 57 T 8											
	6	8	10	12	14	16	5)	18	20	22	12
	zum Befestigen der Stromversorgungsleitungen an den Isolierkörpern der Kabelspinnen; die Maße beziehen sich auf das Profil der Leitungen										
<b>Seitenversteifung</b>											
Winkelisen <sup>5)</sup> 45×30×5 DIN 1029											
Sechskant-Schraube M 8×20 Mu DIN 601.681/865	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Erdungsscheibe Fg gest 372, A 37	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>Mittlenversteifung</b>											
Flacheisen <sup>5)</sup> 30×6,5 DIN 1017											
Senkschraube 8×20 DIN 63e/681/865	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sechskant-Mutter 8 DIN 934e/681/865	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Erdungsscheibe Fg gest 372, A 37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

1) Ungebohrt. 2) Nur an der ersten Kabelspresse. 3) Anzahl und Typen nach Bedarf. 4) Für gemeinsame Befestigung von 2 Isolierkörpern bei WT- und Rdfk-Gruppen. 5) Menge nach Bedarf. 6) Gebohrt für schmales Gestell links; schmales Gestell rechts Ausführung W Rel skizze 6001 o bzw. 6112 o.



Gruppenrahmen W Rel skizze 6001



Gruppenrahmen W Rel skizze 6112

Die obere Längsschiene dient gleichzeitig zur Befestigung der Kabelsprossen, die die Verbindungskabel zwischen den Gestellen und zu den KE-Gruppen bzw. Hauptverteiler aufnehmen. Am senkrechten Teil der hohen Kabelsprossen (W Rel skizze 6001/6112 T 8) werden auf Isolierkörpern die Leitungen für die Stromversorgung befestigt. An einer der beiden Seitenstützen wird die Lichtzeicheneinrichtung angebracht.

Unter sich und gegen die rückwärtige Wand werden die einzelnen parallel zueinander im Raum stehenden Gruppenrahmen an den beiden Enden der oberen Schiene durch Winkel-eisen DIN 1029 45×30×5 mm verstrebt. Bei mehr als 4 m Gestellbreite muß zur weiteren Versteifung eine dritte Verstrebungsschiene aus Flacheisen DIN 1017 30×6,5 mm in der Mitte des Rahmens vorgesehen werden.

Elektrisch ist es von großer Wichtigkeit, daß die einzelnen Bauteile des Gruppenrahmens gut leitend miteinander verbunden sind. Hierzu dienen besondere Erdungsscheiben, die mit ihren Kontaktspitzen beim Festziehen der Schrauben selbst bei starkem Farbanstrich eine unbedingt sichere Verbindung herstellen.

**Zubehör, Maße und Gewichte**

Gegenstand	Bezeichnung	Abmessungen in mm	Gewicht etwa kg	Listen-Nr.	Preis RM
Gruppenrahmen . . . . .	W Rel skizze 6001 a	1330/1210	1) 45	24	<b>108 140</b>
	W Rel skizze 6001 b	1890/1770		28	<b>108 141</b>
	W Rel skizze 6001 c	2450/2330		32	<b>108 142</b>
	W Rel skizze 6001 d	3010/2890		37	<b>108 143</b>
	W Rel skizze 6001 e	3570/3450		41	<b>108 144</b>
	W Rel skizze 6001 f	4130/4010		45	<b>108 145</b>
	W Rel skizze 6001 g	4130/4010		45	<b>108 146</b>
	W Rel skizze 6001 h	4690/4570		50	<b>180 147</b>
	W Rel skizze 6001 i	5250/5130		53	<b>108 148</b>
	W Rel skizze 6001 k	5810/5690		58	<b>108 149</b>
	W Rel skizze 6001 n	4130/4010		45	<b>108 150</b>
	W Rel skizze 6001 o	4130/4010		45	<b>108 600</b>
	Gruppenrahmen . . . . .	W Rel skizze 6112 a		1330/1210	1) 45
W Rel skizze 6112 b		1890/1770	28	<b>108 602</b>	
W Rel skizze 6112 c		2450/2330	32	<b>108 603</b>	
W Rel skizze 6112 d		3010/2890	37	<b>108 604</b>	
W Rel skizze 6112 e		3570/3450	41	<b>108 605</b>	
W Rel skizze 6112 f		4130/4010	45	<b>108 606</b>	
W Rel skizze 6112 g		4130/4010	45	<b>108 607</b>	
W Rel skizze 6112 h		4690/4570	50	<b>108 608</b>	
W Rel skizze 6112 i		5250/5130	53	<b>108 609</b>	
W Rel skizze 6112 k		5810/5690	58	<b>108 610</b>	
W Rel skizze 6112 n		4130/4010	45	<b>108 611</b>	
W Rel skizze 6112 o		4130/4010	45	<b>108 612</b>	
Zubehör <sup>2)</sup> für Gruppenrahmen:					
Sechskant-Schraube . . . . .	M 10×20 Mu DIN 601/681/865	--	--		<b>108 180</b>
Erdungsscheibe . . . . .	Fg gest 372 A 39	--	--		<b>108 189</b>
Erdungsbolzen . . . . .	Rel div 37g	--	--		<b>108 190</b>
Sechskant-Schraube . . . . .	M 10×30 Mu DIN 601/681/865	--	--		<b>108 178</b>

1) Maße „a“ und „b“ in den Zeichnungen auf Seite 209  
2) Stückzahl entsprechend der Zusammenstellung auf Seite 208.

Gegenstand	Bezeichnung	Abmessungen in mm	Gewicht etwa kg	Listen-Nr.	Preis RM
für Gruppenrahmen-Sockel:					
Beton-Gestellfuß 200 mm					
mit Stütze für Abweisstange . . .	Rel grpl 36 a	200×200×200	13	<b>108 151</b>	
ohne Stütze für Abweisstange . . .	Rel grpl 36 b	200×200×200	12	<b>108 192</b>	
Beton-Gestellfuß 100 mm					
mit Stütze für Abweisstange . . .	Rel grpl 37 a	200×200×100	6,5	<b>108 152</b>	
ohne Stütze für Abweisstange . . .	Rel grpl 37 b	200×200×100	6	<b>108 193</b>	
Zwischenlage . . . . .	Fg gest 452 A 13	—	—	<b>108 613</b>	
Abweisstange Gasrohr 3/4"					
für Rel skizze 6001/6112 a . . . . .		1190	2	<b>108 153</b>	
für Rel skizze 6001/6112 b . . . . .		1750	3	<b>108 154</b>	
für Rel skizze 6001/6112 c . . . . .		2310	4	<b>108 155</b>	
für Rel skizze 6001/6112 d . . . . .	W Rel skizze 6001 a . . . o T 6	2870	5	<b>108 156</b>	
für Rel skizze 6001/6112 e . . . . .	bzw.	3430	5,9	<b>108 157</b>	
für Rel skizze 6001/6112 f, g, n, o . . . . .	6112 a . . . o T 6	3990	6,9	<b>108 158</b>	
für Rel skizze 6001/6112 h . . . . .		4550	7,8	<b>108 159</b>	
für Rel skizze 6001/6112 i . . . . .		5110	8,8	<b>108 160</b>	
für Rel skizze 6001/6112 k . . . . .		5670	9,8	<b>108 161</b>	
Verkleidungspfropfen . . . . .	Fg grpl 144 Tz 4	—	—	<b>108 162</b>	
für Gruppenrahmen-Kabelrost:					
Kabelsprosse . . . . .	W Rel skizze 6001/6112 T 7	—	0,1	<b>108 163</b>	
Kabelsprosse . . . . .	W Rel skizze 6001/6112 T 8	—	0,17	<b>108 164</b>	
Sechskant-Schraube . . . . .	M 5×15 Mu DIN 601/681/865	—	—	<b>108 176</b>	
Erdungsscheibe . . . . .	Fg gest 372 A 47	—	—	<b>108 186</b>	
Halbrund-Schraube . . . . .	4×9 DIN 86 e/681/865	—	—	<b>108 181</b>	
Isolierkörper . . . . .	Fg bf 57 T 1	—	—	<b>108 191</b>	
Zylinder-Schraube . . . . .	4×14 DIN 84 e/681/865	—	—	<b>108 174</b>	
Sechskant-Mutter . . . . .	4 DIN 934 e/681/865	—	—	<b>108 183</b>	
Zylinder-Schraube . . . . .	4×18 DIN 84 e/681/865	—	—	<b>108 175</b>	
Schelle für 20×5 mm . . . . .	Fg bf 57 T 2	—	—	<b>108 165</b>	
Schelle für 20×8 mm . . . . .	Fg bf 57 T 3	—	—	<b>108 166</b>	
Schelle für 6 bis 8 mm $\varnothing$ . . . . .	Fg bf 57 T 4	—	—	<b>108 167</b>	
Schelle für 10 mm $\varnothing$ . . . . .	Fg bf 57 T 5	—	—	<b>108 168</b>	
Schelle für 12 mm $\varnothing$ . . . . .	Fg bf 57 T 6	—	—	<b>108 169</b>	
Schelle für 14 mm $\varnothing$ . . . . .	Fg bf 57 T 7	—	—	<b>108 170</b>	
Schelle für 16 mm $\varnothing$ . . . . .	Fg bf 57 T 8	—	—	<b>108 171</b>	
Seitenversteifung:					
Winkelisen . . . . .	DIN 1029	45×30×5	2,77 je m	<b>108 172</b>	
Sechskant-Schraube . . . . .	M 8×20 Mu DIN 601/681/865	—	—	<b>108 177</b>	
Erdungsscheibe . . . . .	Fg gest 372 A 37	—	—	<b>108 187</b>	
Mittenversteifung:					
Flacheisen . . . . .	DIN 1017	30×6,5	1,53 je m	<b>108 173</b>	
Senkschraube . . . . .	8×20 DIN 63 e/681/865	—	—	<b>108 182</b>	
Sechskant-Mutter . . . . .	8 DIN 934 e/681/865	—	—	<b>108 184</b>	
Erdungsscheibe . . . . .	Fg gest 372 A 37	—	—	<b>108 187</b>	

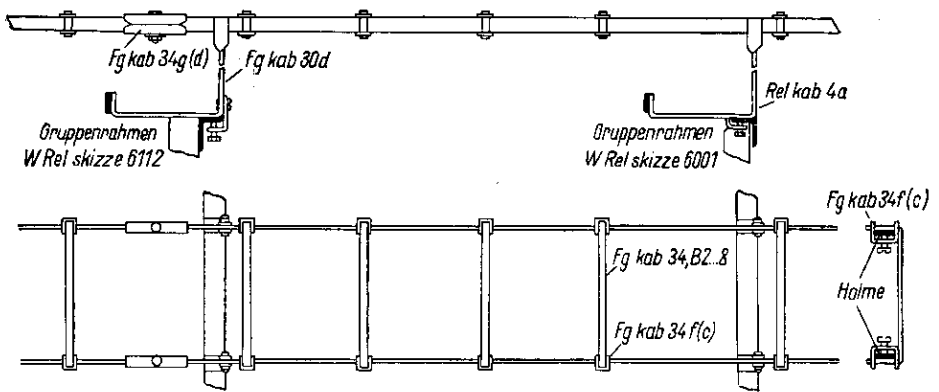
C. Zubehör und Bauzeug für Verstärkerämter	<b>Kabelroste</b>	Fg kab 34
--	-------------------	-----------

### Anwendung

Zur sauberen und übersichtlichen Führung der Verbindungskabel von Gestell zu Gestell oder von den Gestellen zum Hauptverteiler bzw. zur KE-Gruppe werden Kabelroste verwendet. Die Teile dieser Kabelroste sind so konstruiert, daß sie den jeweiligen Verhältnissen entsprechend an Ort und Stelle zusammengebaut werden können. Zur Erzielung einer möglichst kurzen Bauzeit werden die einzelnen Teile neuerdings nicht mehr miteinander vernietet, sondern durch Klemmvorrichtungen zusammengefügt.

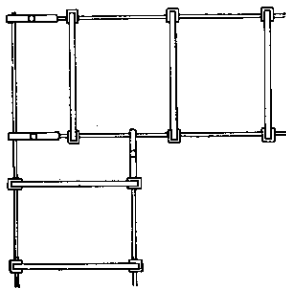
### Aufbau

Der Kabelrost besteht aus meist 3 m langen Holmeisen, den quer zu diesen liegenden Kabelsprossen und dem Befestigungsmaterial, wie Klemmstücke für die Sprossen und Verbindungsstücke für die Holme.

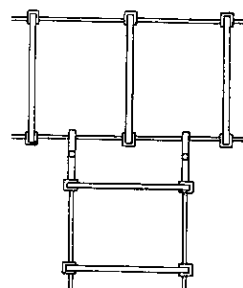


Klemmkabelrost mit zwei Holmeisen

Die Kabelroste zwischen den einzelnen Gruppenrahmen und zu den KE-Gruppen liegen normalerweise über den Gestellreihen; sie werden mit Kabelroststützen an diesen befestigt. Lassen sich die Kabelroste nicht über die Gestelle hinweg auf den Gruppenrahmen befestigen, so werden Decken-Hängestützen oder Wandkonsole verwendet. Es sind zwei-holmige Kabelroste für größere Kabelpakete und einholmige Kabelroste für kleinere



Klemmkabelrost-Winkelstelle



Klemmkabelrost-Abzweigstelle



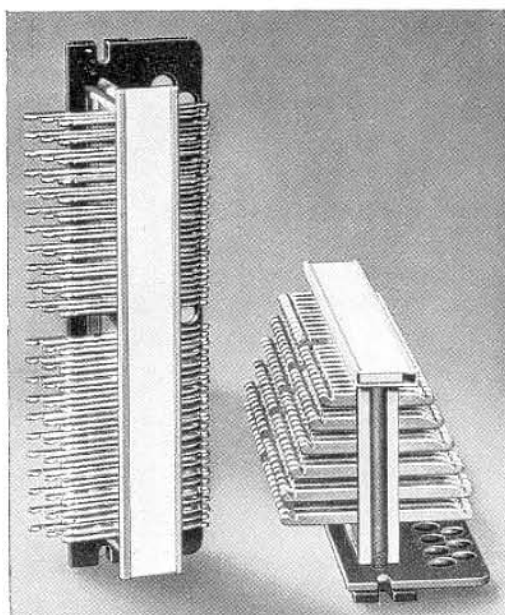
### Anwendung

Um die Verstärkereinrichtungen eines Amtes beliebig mit den eingeführten Fernleitungen bzw. Fernplätzen verbinden zu können, sind am Kabelend-Verteiler, an den Kabelend-Gestellen bzw. am Hauptverteiler Lötösenstreifen (Verteilerleisten) angebracht. Im Gestellkopf der einzelnen Verstärker-Gestelle dienen ebenfalls Lötösenstreifen als Verbindungsstücke zwischen der Gestellverdrahtung und der Amtsverdrahtung.

Es gibt Lötösenstreifen mit 44, 66, 88, 110 und 132 Lötstiften für Gestelle mit 10 Verstärkereinheiten und solche mit 48, 72 und 96 Lötstiften für Gestelle mit 12 Verstärkereinheiten. Ferner ist zu unterscheiden zwischen Lötösenstreifen ohne Führungslochplatte für Verstärker-Gestelle und solchen mit einseitiger Führungslochplatte für Verteiler-Gestelle (Kabelend-Verteiler KEV und Hauptverteiler Vh).

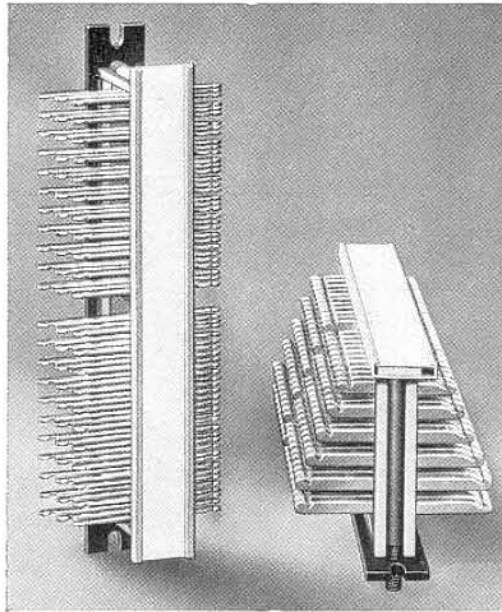
### Aufbau

Jeder Lötösenstreifen besteht aus einer Grundschiene zur Befestigung, darüber ist gegebenenfalls die Führungslochplatte aus Hartpapier angeordnet. Die senkrecht dazu



Lötösenstreifen mit einseitiger Führungslochplatte

stehenden beiden Hartpapier-Platten nehmen die Lötösenstifte auf. Den Abschluß bildet ein Blechrähmchen für den auswechselbaren und mit Cellon abgedeckten Bezeichnungstreifen.



Lötösenstreifen ohne Führungslochplatte

Zubehör, Maße und Gewichte

Gegenstand	Bezeichnung	Abmessungen in mm	Gewicht etwa kg	Listen-Nr.	Preis RM
<b>Lötösenstreifen</b>					
ohne Führungslochplatte					
44teilig . . . . .	Fg vertl 5i	179×58×40	0,29	<b>412 061</b>	
66teilig . . . . .	Fg vertl 5m	179×64×48	0,33	<b>412 062</b>	
88teilig . . . . .	Fg vertl 5k	179×58×56	0,37	<b>412 063</b>	
110teilig . . . . .	Fg vertl 5h	179×64×64	0,42	<b>412 064</b>	
132teilig . . . . .	Fg vertl 5g	179×64×72	0,46	<b>412 065</b>	
mit einseitiger Führungslochplatte					
44teilig . . . . .	Fg vertl 5s	179×58×40	0,32	<b>412 067</b>	
66teilig . . . . .	Fg vertl 5r	179×64×48	0,36	<b>412 068</b>	
88teilig . . . . .	Fg vertl 5q	179×58×56	0,40	<b>412 069</b>	
110teilig . . . . .	Fg vertl 5p	179×64×64	0,45	<b>412 070</b>	
132teilig . . . . .	Fg vertl 5n	179×64×72	0,49	<b>412 071</b>	
48teilig . . . . .	W Fg vertl 5y	179×45×40	0,33	<b>412 101</b>	
72teilig . . . . .	W Fg vertl 5x	179×51×48	0,37	<b>412 102</b>	
96teilig . . . . .	W Fg vertl 5w	179×58×56	0,42	<b>412 103</b>	
Zubehör je Streifen:					
2 Befestigungsschrauben . . . . .	Zylinder- Schrauben 4×16 DIN 84 e/681/865	—	—	<b>108 196</b>	
2 Sechskant-Muttern . . . . .	4 DIN 934 e/681/865	—	—	<b>108 183</b>	
2 Unterlegscheiben . . . . .	Scheibe 4,3 DIN 433 e/681/865	—	—	<b>108 197</b>	

# D. Anhang

## I. Entwicklung des Fernsprech-Weitverkehrs

### 1. Fernsprechleitung ohne Verstärker

Der Wunsch, Fernsprech-Weitverbindungen zu bauen, ist so alt wie der erste Gedanke einer Fernsprechverbindung überhaupt. Bei einem einfachen Fernsprech-Übertragungssystem aus Mikrofon als Stromerzeuger, Leitung als Energieübertrager und Telefon als Verbraucher ist jedoch die Reichweite sehr begrenzt. Die Leistungsabgabe des Mikrofons und die Empfindlichkeit des Telefons können nicht beliebig groß, die Dämpfung der Leitung an sich mit vernünftigem Aufwand nicht beliebig klein gehalten werden. Eine wirklich gute Verständigung vorausgesetzt, beträgt z. B. die Reichweite einer 3-mm-

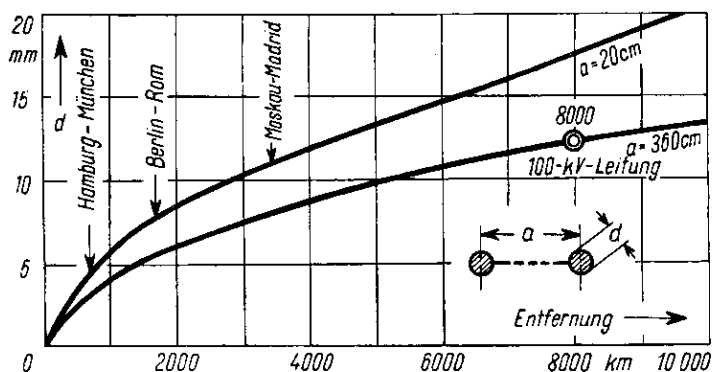


Bild 1. Reichweiten von Freileitungen

Bronzefreileitung etwa 300 km. Das würde einer Verbindung von Berlin nach Breslau oder von Mannheim nach Essen entsprechen. Mit einer 5-mm-Freileitung ließen sich Entfernungen von etwa 750 km überbrücken, z. B. Hamburg—München, und erst mit Freileitungen ähnlich den Überlandleitungen der Hochspannungsnetze würde man nennenswerte größere Reichweiten erzielen (Bild 1). Eine solche Überlandleitung mit 12-mm-Kupferseilen im gegenseitigen Abstand von nicht weniger als 3,6 m hätte z. B. eine Reichweite von 8000 km. Aber ganz abgesehen von den untragbar hohen Kosten muß beachtet werden, daß 8000 km erst ein Fünftel des Erdumfangs ausmachen. Bis zum Anfang unseres Jahrhunderts war denn auch die größte Reichweite der Fernsprech-Freileitung mit 750 km gegeben. Freileitungen mit stärkeren Leitern als 5 mm erfordern zuviel Kupfer und sind zu schwer für das Gestänge. Das Ziel ist aber, über den halben Erdumfang sprechen zu können, d. h. unter Berücksichtigung der Umwege Entfernungen von rund 25 000 km überbrücken zu können.

Bei Kabelleitungen liegen die Verhältnisse — wegen des geringen Abstandes der Adern — noch ungünstiger. Ortskabel mit einer Leiterstärke von 1 mm ergeben nur eine Reichweite von 20 km, und selbst mit 5 mm starken Leitern, die jedoch kabeltechnisch kaum zu meistern sind, könnten nicht mehr als 200 km überbrückt werden. Die reine Kabelleitung ist also für den Fernverkehr überhaupt nicht einsetzbar; ihre großen Vorzüge der hohen Betriebssicherheit und Störfreiheit könnte sich so der Fernverkehr nicht zunutze machen.

## 2. Einführung der Bespulation und Verstärkung

Ein wirksames Mittel, die Dämpfung der Leitung zu vermindern, besteht in der Erhöhung ihrer Selbstinduktion (Heaviside, 1893). Durch die Einfügung von Induktivitäten wird das Verhältnis Spannung zu Strom, d. h. der Wellenwiderstand der Leitung erhöht. Das ergibt höhere Spannungen bei kleineren Strömen, also günstigere Übertragungsverhältnisse. Dem Dänen Krarup verdanken wir die Idee (1902), die Erhöhung der Selbstinduktion durch fortlaufende Umwicklung der Kupferadern mit Eisendraht oder -band zu erzielen. Diesem Verfahren sind jedoch gewisse Grenzen gesetzt, und zwar dort, wo die Ummagnetisierungs- und Wirbelstromverluste den Wirkwiderstand des Krarupleiters zu stark erhöhen und damit der Dämpfungsgewinn wieder verlorengehen würde. Das von Michael Pupin (1899) angegebene Verfahren der punktwweisen Einschaltung von Selbstinduktionsspulen hat sich daher auch noch aus anderen Gründen — einfachere Kabelfertigung vor allem in bezug auf Symmetrie, kleinere nichtlineare Verzerrungen,

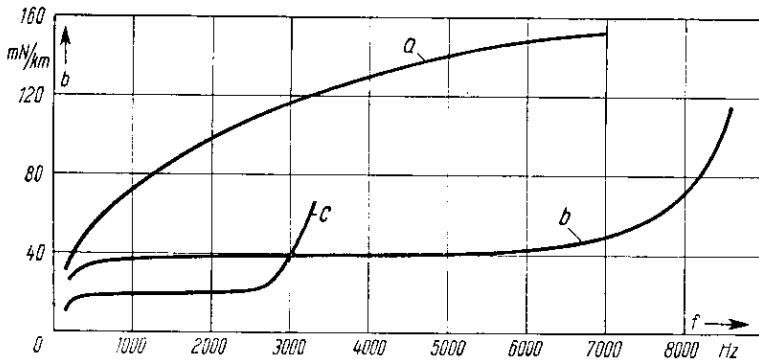


Bild 2. Kilometrische Dämpfung von 0,9-mm-Kabelleitungen  
 a = nicht bespult, b = leicht bespult, c = mittelschwer bespult

höhere zeitliche Konstanz — in erster Linie durchgesetzt. 1901 erwarben Siemens & Halske die europäischen Patente, und schon 1902/03 wurde das erste, etwa 30 km lange „bespulte“ Kabel zwischen Potsdam und Berlin gebaut. Der erste große Erfolg der Fernkabelbespulation war in Europa das sogenannte Rheinlandkabel (1912 bis 1921), das Berlin mit dem rheinischen Industriezentrum verbindet; die längste bespulte Freileitung Europas war die 1350 km lange Leitung Berlin—Frankfurt (Main)—Mailand (1914).

Die Einschaltung der Selbstinduktionsspulen gibt der Leitung den Charakter einer Spulenleitung, d. h. die Leitung stellt einen höheren Frequenzen abschneidenden Tiefpaß dar mit einer durch die Bespulation und Leitungskapazität gegebenen Grenzfrequenz (Bild 2). Die Spule vermindert also je nach der Höhe ihrer Induktivität die Leitungsdämpfung mehr oder weniger, setzt jedoch dem Übertragungsbereich bestimmte Grenzen. Die Bespulation kann deshalb nicht beliebig stark gewählt werden. Bei Entfernungen von mehr als einigen hundert Kilometern ist zur weiteren Entdämpfung der Leitungen der Verstärker notwendig.

Die Bespulation vermindert auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wechselspannungen auf diesen Leitungen wesentlich. Bei kurzen Fernleitungen ist selbst bei mittelschwerer Bespulation die Laufzeit noch so gering, daß sie nicht störend in Erscheinung tritt. Das Gespräch wickelt sich jedoch nicht glatt ab, wenn die Laufzeit größer als 250 ms ist. Bei Weitverkehrsleitungen muß daher, falls man überhaupt bespulte Leitungen

verwenden will, so schwach bespult werden, daß diese Laufzeit auch in zusammengesetzten Verbindungen nicht überschritten wird. In der Weitverkehrstechnik tritt deshalb die Bedeutung der Bespaltung wieder zurück. Die Aufgabe der Leitungsentdämpfung übernimmt hier in erhöhtem Maße, wenn nicht ganz, der für die Fernleitungstechnik entscheidende Bauteil: der Verstärker, d. h. eine Einrichtung, die — ähnlich dem Telegrafengerät — am Ende eines Leitungsabschnitts die ankommenden schwachen Wechselströme mit Hilfe einer zusätzlichen Energiequelle unverzerrt um so viel verstärkt, wie sie auf dem vorhergehenden Leitungsabschnitt geschwächt wurden.

Nach nicht restlos befriedigenden Versuchen mit Verstärkern auf mechanischer Grundlage (bis 1911) gelang es schließlich in den Jahren vor dem ersten Weltkrieg und in diesem selbst, den 1906 von v. Lieben angegebenen Röhrenverstärker soweit zu verbessern, daß er betriebsicher in die Fernleitungen eingesetzt werden konnte. Mit einem Schlag

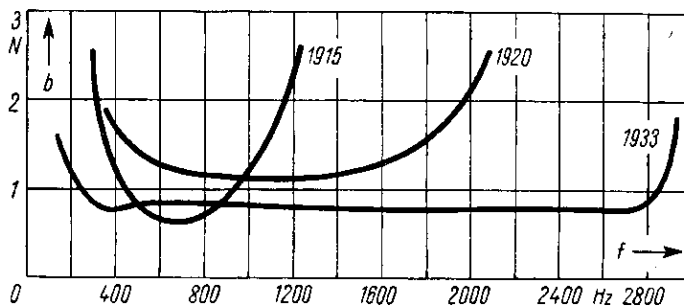


Bild 3. Restdämpfungskurven von langen Fernsprechleitungen mit Verstärkern

schiene nun alle Schwierigkeiten, die sich der Herstellung beliebig langer Fernleitungen in den Weg gestellt hatten, beseitigt zu sein. Jetzt konnten anscheinend Fernleitung an Fernleitung über Verstärker aneinandergeschaltet werden.

Nichts zeigt aber den damaligen Stand der Technik besser als die Restdämpfungskurve einer in diesen Jahren zusammengeschalteten Fernleitung. Wie die Kurve 1915 in Bild 3 zeigt, wurde nur ein schmales zur Verständigung kaum ausreichendes Frequenzband übertragen. Da die Verstärkungskurve eines damaligen Zwischenverstärkers nicht bei allen Frequenzen mit der Dämpfungskurve seines Leitungsabschnittes übereinstimmt, werden die Übertragungsverluste des Leitungsabschnittes nur im mittleren Frequenzbereich vollständig aufgehoben, dagegen bei tieferen, vor allem aber bei höheren Frequenzen nur unvollständig. Schaltet man mehrere unvollkommen entdämpfte Leitungsabschnitte in Reihe, so wird das gut übertragene Frequenzband immer schmäler und reicht schließlich trotz großer Lautstärke zu einer brauchbaren Verständlichkeit nicht mehr aus. Die Reichweite wird also durch diese Dämpfungsverzerrungen (s. auch S. 254) begrenzt. Die Aufgabe, entzerrnde Verstärker zu bauen, also Verstärker, deren Verstärkungskurve sich in einem möglichst breiten Frequenzband dem Verlauf der jeweiligen Leitungsdämpfung anpassen läßt, konnte erst im Laufe einer langen Entwicklung befriedigend gelöst werden (s. S. 265). Heute sind die Verfahren der Dämpfungsentzerrung so vollkommen, daß sich durch entzerrnde Leitungsverstärker der erforderliche Übertragungsbereich sicher erreichen läßt (Kurve 1933, Bild 3). Dämpfung und Dämpfungsverzerrungen hatten damit aufgehört, die Reichweite der Fernleitungen zu beschränken.

### 3. Einführung der Echosperre und der leichten Bespulung

Wenn man jedoch geglaubt hatte, nun mit Hilfe des entzerrenden Verstärkers über beliebige Entfernungen sprechen zu können, so stellten sich bei der ersten Zusammenschaltung sehr langer Verbindungen über bespulte Kabelleitungen neue, vorher ganz unbekannte Erscheinungen heraus: Echoerscheinungen und Einschwingvorgänge begrenzen die Reichweite.

Die Echos kommen durch den Rückfluß der eigenen Sprache über die ferne Gabelschaltung zustande. Schon bei 1200 km Leitungslänge mittelschwer bespulpter Vierdraht-Kabelleitungen<sup>1)</sup> ist der Zeitunterschied zwischen der Sprache und dem zurückkehrenden Echo so groß, daß der Sprecher behindert wird. Die Störungen durch Echoerscheinungen werden durch Echosperren beseitigt, deren Entwicklung eng mit den Namen A. B. Clark, H. F. Mayer und F. Streckler verbunden ist. Sie arbeiten so, daß beim Sprachfluß auf der einen Leitung die Gegenleitung gesperrt wird. Mit der Entwicklung der Echosperren wurde etwa 1923 begonnen und schon 1926 waren alle längeren Vierdrahtleitungen mit Echosperren ausgerüstet. Heute gehören Echosperren zu den festen Einrichtungen der Vierdrahtleitungen.

Einschwingvorgänge entstehen auf bespulten Leitungen dadurch, daß sich die tieferen und höheren Frequenzen, besonders die in der Nähe der Grenzfrequenz, langsamer fortpflanzen als die mittleren Frequenzen und so die Sprache aufspalten (Phasenverzerrungen). Dieser Erscheinung, die sich bei Entfernungen über 1500 km schon sehr störend bemerkbar macht, begegnet man durch den Laufzeitausgleich (Küpfmüller) und durch leichtere Bepulung der Leitungen. Der Laufzeitausgleich ist eine aus Spulen und Kondensatoren aufgebaute künstliche Leitung, die hinsichtlich der Laufzeit das umgekehrte Verhältnis wie die bespulte Fernsprechleitung zeigt. Wirkliche Leitung und Kunstleitung zusammen ergeben eine für alle Frequenzen des Übertragungsbereichs gleiche Laufzeit. Dieses Verfahren ist in den Jahren 1923 bis 1925 entwickelt und 1926 an einer 1800 km langen Vierdrahtleitung praktisch erprobt worden. In dem Maße, in dem die Aufgabe der Weitverbindung den leicht, sehr leicht oder gar unbespulten Leitungen zugewiesen wird, muß naturgemäß die Bedeutung des Laufzeitausgleichs sinken. Schon 1923, als das Verfahren, Laufzeitunterschiede durch künstliche Gebilde auszugleichen, noch nicht entwickelt worden war, mußte mit Rücksicht auf die Einschwingvorgänge ein Teil der Vierdrahtleitungen leichter bespult werden (50 mH an Stelle von 200 mH).

Bei der Zusammenschaltung sehr langer bespulpter Kabelverbindungen stellte sich noch eine andere Überraschung heraus: Die Reichweite wird durch die Übertragungszeit begrenzt. Bisher hatte man der Übertragungsgeschwindigkeit der Sprachfrequenzen auf den Leitungen keine besondere Beachtung geschenkt, obgleich man bereits wußte, daß die Übertragung auf den mittelschwer bespulten Kabelleitungen „nur“ mit  $\frac{1}{20}$  Lichtgeschwindigkeit, d. i. 15000 km/s, erfolgt. Diese Verkleinerung der Übertragungsgeschwindigkeit ist eine Folge der Bepulung, und zwar wird die Geschwindigkeit um so kleiner, je mehr die natürliche Leitungsinduktivität durch künstliche Induktivität vergrößert wird (Zeitverlust durch Auf- und Abbau des magnetischen Feldes). Im Weltfernsprechnetz muß man nun mit Fernkabelleitungen bis halb um die Erde rechnen, mit Berücksichtigung der Umwege also mit Längen bis 25000 km. Bei einer mittelschwer bespulten Vierdrahtleitung solcher Länge würde es 1,6 s dauern, bis die Sprechspannungen zum fernen Teil-

1) Auch entsprechend lange Zweidraht-Kabelleitungen würden diese Erscheinungen zeigen; aus Gründen einer ausreichenden Pfeifsicherheit werden jedoch möglichst nicht mehr als drei Zwischenverstärker in eine Zweidrahtleitung geschaltet, so daß damit die größte Länge einer bespulten Zweidraht-Kabelleitung auf rund  $4 \times 140 \text{ km} = 560 \text{ km}$  begrenzt ist. Freileitungen und unbespulte Kabelleitungen übertragen mit wesentlich höherer Geschwindigkeit.

nehmer gelangen und frühestens nach weiteren 1,6 s könnte die Antwort eintreffen. Zwischen Frage und Antwort würden also mindestens 3,2 s vergehen. Versuche, die an Leitungen verschiedener Übertragungszeit gemacht wurden, führten zu dem Ergebnis, daß eine zu lange Übertragungszeit die Wechselrede behindert (s. auch S. 243).

Die Laufzeit der bespulten Kabelleitungen muß also in bestimmten Teilen des Netzes vermindert werden, d. h. die Übertragungsgeschwindigkeit muß durch leichtere Bespulation wieder erhöht werden. Vernünftige Verhältnisse bekommt man, wenn zwischen zwei Teilnehmern keine größere Laufzeit als 250 ms zugelassen wird. Mit 100 ms Laufzeit zwischen zwei zwischenstaatlichen Endfernämtern liegt also die größte Reichweite einer mittelschwer bespulten Leitung schon bei 1500 km. Seit 1931 ersetzte man deshalb in stärkerem Maße die mittelschwere Bespulation (140 mH) durch eine leichte Bespulation (30 mH). Diese leicht bespulten Vierdrahtleitungen — sie werden zusätzlich durch ein trägerfrequentes Gespräch mit der L-Einrichtung ausgenutzt — übertragen mit einer Geschwindigkeit von etwa 28000 km/s; entsprechend vergrößert sich die Reichweite bei 100 ms Übertragungszeit auf 2800 km, eine Reichweite, die jedoch noch nicht für die längsten Verbindungen in Europa ausreicht. 1935 wurden deshalb für den zwischenstaatlichen Weitestverkehr im deutschen Fernkabelnetz sehr leicht bespulte Leitungen (3,2 mH) vorgesehen, die mit einer Geschwindigkeit von 77000 km/s übertragen und so bei 100 ms zugelassener Übertragungszeit Entfernungen von 7700 km überbrücken können. Diese Reichweiten vermindern sich durch die Laufzeiten und Laufzeitverzerrungen der Verstärker und Endgeräte. Heute ermöglicht uns der hohe Stand der Verstärkertechnik bei Weitverkehrsleitungen auf die Bespulation überhaupt zu verzichten („unbespulte Leitungen“) und die Aufgabe der Leitungsentdämpfung ganz dem Verstärker zu überlassen. Diese U-Leitungen — sie werden durch die Zwölfach-Trägerfrequenz-Fernsprecheinrichtung U mehrfach ausgenutzt — übertragen (einschließlich Verstärker) mit einer Geschwindigkeit von rund 200000 km/s, haben also eine Reichweite von 20000 km bei 100 ms Laufzeit bzw. von 30000 km bei 150 ms Laufzeit im Weltfernnetz, was für die längsten Verbindungen ausreichen würde. Die wirkliche Reichweite ist hier durch andere Bedingungen (Geräusche, Stabilität der Dämpfung) begrenzt.

#### 4. Einführung des Funkfernsprechens

Die bisher entwickelten Weitverkehrseinrichtungen verlangen die Einschaltung der Verstärker in verhältnismäßig kurzen Entfernungen (140, 70 bzw. 35 km). Sie eignen sich also nicht für Überseekabel, bei denen auf Tausenden von Kilometern Zwischenverstärker nicht eingeschaltet werden können. Außerdem bedingen die großen Wassertiefen besondere Kabelarten. Die Technik der Verbindungen über Seekabel von einigen hundert Kilometern wird heute sicher beherrscht; bei Überseeverbindungen ist man jedoch bis auf weiteres aus wirtschaftlichen Gründen noch auf das Funkfernsprechen angewiesen, obgleich es auch praktisch ausführbare Vorschläge für Seekabel-Fernsprechverbindungen von einigen tausend Kilometern gibt. In der Technik des Funkfernsprechens — zur Übertragung werden Kurzwellen bevorzugt — sind in den letzten Jahren wesentliche Fortschritte erzielt worden. Von größter Bedeutung war hier die Einführung des Einseitenbandverfahrens mit unterdrücktem Träger. Gegenüber dem Zweiseitenband-Verfahren mit übertragenem Träger bringt das Einseitenband-Verfahren praktisch eine vollkommene Beseitigung der kurzzeitigen Lautstärkechwankungen und der nichtlinearen Verzerrungen durch Schwund sowie eine Erhöhung der ausgestrahlten Nutzleistung und damit eine Herabsetzung des Geräusches. Außerdem nimmt ein Seitenband auch nur halb soviel Geräusch auf. Scharf gerichtete und steuerbare Empfangsantennen und selbsttätige Amplitudenregler wirken sich in diesem Sinne ebenfalls günstig aus. Diese Verbesserungsmaßnahmen haben dazu geführt, daß neuzeitliche Funksprechverbindungen in der Übertragungsgüte einem Leitungssprechkreis schon sehr nahe kommen und im Weltfern-sprechnetz eingesetzt werden können.

## II. Entwicklung des Leitungsverstärkers

### 1. Entwicklung der Verstärkerröhre

Als sich im Jahre 1910 Fernmeldeingenieure der Siemens-Werke mit der Entwicklung eines Leitungsverstärkers zu beschäftigen begannen, lagen bereits Erfindungen vor, die das „Telefonrelais“ zum Gegenstand hatten. Sie beruhten fast durchweg auf dem Gedanken der mechanischen Kupplung eines Telefons mit einem Mikrofon (Bild 4) nach dem Vorbild

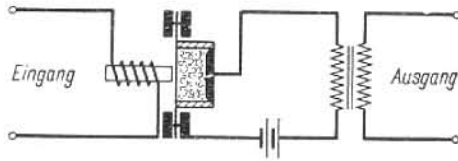


Bild 4. Schaltung des Kohlemikrofon-Verstärkers

der Relaiseinrichtungen in Telegrafiekreisen. Dabei bildet die Telefonmembran zugleich die Membran der Kohlekapsel, deren wechselnder Übergangswiderstand einen neuen Stromkreis im Rhythmus der Sprache steuert. Der Gedanke ist sehr naheliegend, bringt doch ein Kohlemikrofon eine Leistungsverstärkung von rund 1:1000.

So einfach eine solche Verstärkeranordnung an sich sein mag, so schwierig ist ihre Durchführung in der Praxis, denn sie kann nie trägeheitslos sein, muß also zu einer Verzerrung der Wechselströme und damit zu einer mehr oder weniger starken Unverständlichkeit der Sprache führen. Dennoch gelang es, das von S. G. Brown vorgeschlagene, unbeständige und betriebsmäßig so nicht einsetzbare Relais zum Teil in Zusammenarbeit mit dem

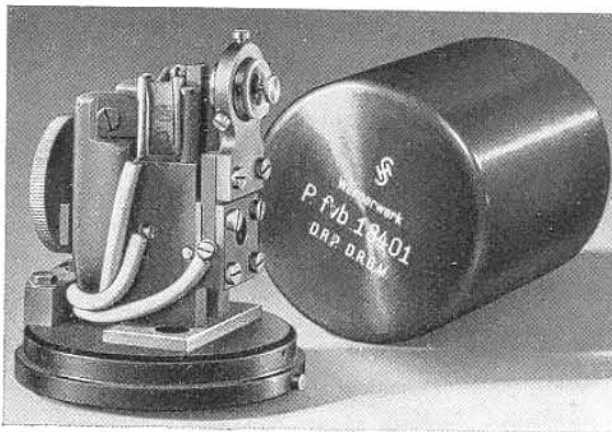


Bild 5. Die Siemens-Ausführung des Mikrofon-Verstärkers

Erfinder selbst derart umzubilden (Bild 5), daß es nach einmaliger Einstellung monatelang einwandfrei arbeitete. Seine Verstärkung betrug 2 bis 3 N (7 bis 20fache Spannungsverstärkung), und sicher wäre es zu einer weitgehenden Einführung dieses Mikrofon-Verstärkers gekommen, wenn nicht mit der trägeheitslosen Verstärkerröhre eine ganz neue, nahezu ideale Lösung gefunden worden wäre.

Mit der Nutzbarmachung elektrischer Entladungsvorgänge, vom Lichtbogen angefangen über die Glimmstromentladung bis zum reinen Elektronenstrom, beschäftigten sich die Siemens-Ingenieure und -Physiker seit 1910 in sorgfältiger Breitenarbeit. Während viele andere außerdem angestellte Versuche — z. B. die Benutzung von Widerständen mit negativer Charakteristik, die Steuerung der Stromabgabe von Dynamomaschinen durch Verändern des Feldes — zu keiner brauchbaren Verstärkerschaltung führten, wurde durch die Benutzung von Gasentladungen und Elektronenströmen der endgültige Schritt zur Lösung der Aufgabe getan. Wer als der eigentliche Erfinder der Verstärkerröhre angesprochen werden kann, läßt sich mit Bestimmtheit nicht sagen. Die Verstärkerröhre ist ein typisches Beispiel dafür, wie eine Erfindung zu ihrer Zeit an mehreren Stellen zugleich heranreifen kann. Dazu kommt, daß es auch an wissenschaftlichen Veröffentlichungen mangelt, nach denen man nachträglich den Erstanspruch an dieser großartigen, sich ungewöhnlich schnell durchsetzenden Erfindung, ohne die so viele große Zweige der Technik nicht denkbar sind, feststellen könnte. Im gewissen Sinne ist sie eine Gemeinschaftsleistung, da in ihr viele einzelne Forschungsergebnisse zusammengefaßt sind, z. B. benutzen alle Röhren die von Lenard (1898) zur Untersuchung langsamer Kathodenstrahlen eingeführte Hilfselektrode.

Der Gedanke, elektrisch oder magnetisch beeinflusste Glühkathodenströme zur Verstärkung zu verwenden, wurde 1906 von v. Lieben zum Patent angemeldet und mit späteren Patenten (1910) weiter ausgebaut. Das eingehende Studium der Entladungsvorgänge in dieser mit Quecksilberdampf gefüllten Röhre führte zunächst zur Änderung der Abmessungen und zur konzentrischen Anordnung zylindrischer Elektroden. Die lästige Abhängigkeit des Quecksilberdampfdrucks von der Außentemperatur bewirkte bald eine volle Abkehr von dieser Röhre und den Übergang zu einer anderen Anordnung, bei der sich sämtliche Elektroden im luftleeren Raum befinden. Als Vorläufer dieser Röhren sind wohl die ersten noch nicht in vollkommenem Vakuum arbeitenden amerikanischen Detektorröhren anzusehen (de Forest). Die eigentlichen Hochvakuumröhren wurden zunächst bis zu einem gewissen Grade durch I. Langmuir in Amerika entwickelt, dann aber, unabhängig davon, während des Weltkrieges vor allem in Deutschland. Die Entwicklung ist hier in erster Linie an die Namen Schottky und Rukop geknüpft. Von den deutschen Forschern gebührt Schottky unstreitig das Verdienst, als erster das große Gebiet der Verstärkerfragen weitgehend durchforscht und darüber hinaus die gefundenen Ergebnisse auch praktisch zur mustergültigen Ausbildung neuer Geräte angewendet zu haben. 1915 gab Schottky unabhängig von Langmuir das Raumladegitter an, eine vierte zwischen Kathode und Steuergitter angebrachte Elektrode mit konstanter Spannung, 1916 das Schirmgitter zwischen Steuergitter und Anode, das gleichfalls an konstanter Spannung liegt. Durch beide Hilfsgitter wird eine erhöhte Empfindlichkeit der Röhre bei kleinerer Anodenspannung erreicht. Gleichzeitig wurden die elektrischen Vorgänge in der Röhre selbst und in den zugehörigen Schaltelementen theoretisch so geklärt, daß nunmehr die Vorausberechnung der Verstärker- röhre für beliebige Zwecke und mit den verschiedensten Eigenschaften möglich war.

So entstand — nicht zuletzt durch die Erfordernisse des Weltkrieges mit den über sehr große Landstrecken einzurichtenden Fernspreverbindungen zwangsläufig stark vorangetrieben — 1917 die Siemens-Wolframdraht-Röhre Mc (Bild 6), bei der mit 8 W Heizleistung und 220 V Anodenspannung eine Wechselstromleistung von etwa 60 mW erreicht wurde. Die Röhre war reichlicher bemessen, als es für den Betrieb in Zwischenverstärkern erforderlich war, weil sie außerdem im Nachrichtendienst des Heeres in besonderen Schaltungen benutzt wurde. Als nach dem Weltkrieg Verstärkerämter mit zahlreichen Röhren einzurichten waren, wurde sie durch die etwas kleinere BF-Röhre (s. Bild 6)

mit 4 W Heizleistung, 220 V Anodenspannung und 30 mW Wechselstromleistung ersetzt. Die mittlere Lebensdauer dieser Röhre von 600 Betriebsstunden konnte durch Weiterentwicklung des Heizfadens auf über 1000 Stunden gesteigert werden.

Röhren mit Wolframdraht-Kathode haben einen verhältnismäßig hohen Heizleistungsbedarf; außerdem ist die Verstärkungsziffer stark von der Heizstromstärke abhängig, also von Spannungsschwankungen der Heizstromquelle. Die Entwicklung von Röhren mit Oxydkathoden, die diese Abhängigkeit nicht zeigen und bei gleicher Heizleistung eine wesentlich höhere Emission haben (Wehnelt, 1904), wurde daher in den Laboratorien von Siemens & Halske schon 1912 aufgenommen. Die Arbeiten waren 1923 so weit gediehen, daß der Deutschen Reichspost eine langlebige Hochvakuum-Oxydkathoden-

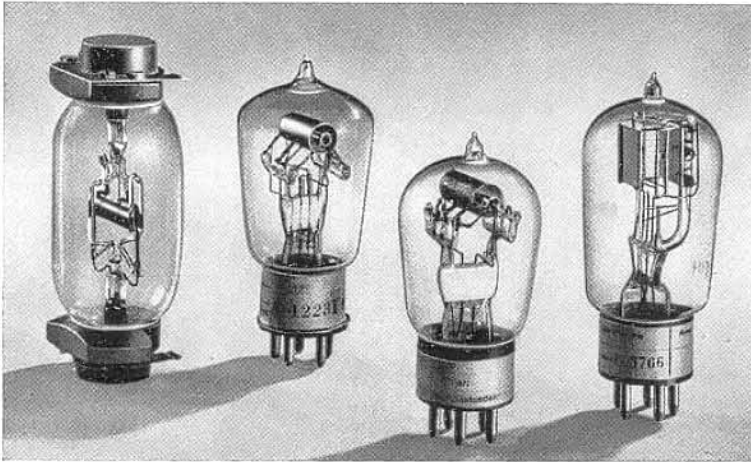


Bild 6. Entwicklung der Fernsprech-Verstärkerröhre  
(von links nach rechts Mc, BF, BO, Ba)

röhre zur Erprobung vorgelegt werden konnte. Diese BO-Röhre (s. Bild 6) gleicht in ihren charakteristischen Werten (Steilheit, Durchgriff, innerer Widerstand) der Wolframdraht-Röhre BF, sie benötigt jedoch nur 2 W, also halbe Heizleistung und ist der BF-Röhre auch insofern überlegen, als der Gitterstrom erst bei +2 V Gitterspannung merkbar einsetzt. Ihre Wechselstromleistung beträgt 60 mW, ihre durchschnittliche Lebensdauer konnte auf weit mehr als 10000 Stunden gebracht werden.

Erst nach etwa 10 Jahren wurde die leistungsfähige und betriebssichere BO-Röhre durch die Ba-Röhre für 220 V Anodenspannung (s. Bild 6) und eine ähnliche Be-Röhre für 130 V Anodenspannung abgelöst. Es sind dies ebenfalls unmittelbar geheizte Dreipolröhren mit weniger als 2 W Heizleistung und einer Wechselstromleistung von 60 mW. Jedoch beträgt — bei gleicher Heizleistung — der Heizstrom dieser Röhren nur 0,5 A gegenüber 1,1 A bei der BO-Röhre. Diese wesentliche Herabsetzung der Heizstromstärke wirkt sich günstig für die Bemessung der Stromversorgungsanlagen, der Heizstromleitungen und damit auch für die Verdrahtung der Gestelle aus.

In den Breitbandverstärkern der Trägerfrequenz-Fernsprechtechnik ist die Dreipolröhre durch Mehrfachgitterröhren abgelöst worden. Auch in neueren Niederfrequenz-Verstärkereinrichtungen tritt an die Stelle der Dreipolröhre immer mehr die Fünfpolröhre. Als C3e-Röhre (s. S. 186) finden wir sie z. B. in der Schaltung des Allverstärkers II, dem in der zukünftigen Verstärkeramtstechnik eine große Bedeutung zukommen wird.

## 2. Entwicklung der Grundsaltungen des Leitungsverstärkers

Mit der Schaffung einer geeigneten Verstärkerröhre war die Gesamtaufgabe nur zum ersten Teil gelöst. Als zweite Aufgabe kam hinzu, die geeigneten Schaltungen für den praktischen Einsatz der Verstärkerröhre zu entwickeln. Hier sind ebenfalls von Siemens-Ingenieuren wichtige Pionierarbeiten geleistet worden, die später auch für die anderen großen Zweige der Verstärkertechnik (Rundfunk, Tonfilm, Lautsprecheranlagen) grundlegende Vorarbeiten bedeuteten. Zu ihnen zählen in erster Linie die Arbeiten von Pohlmann, der die Erdung und Schirmung zur Vermeidung von nichtüberprüfbar Rückkopplungswegen bzw. Fremdspannungsbeflüßungen, für mehrstufige Verstärker Schaltmaßnahmen zur Speisung der einzelnen Stufen aus einer gemeinsamen Anoden- bzw. Gitterbatterie ohne Gefährdung der Stabilität angab. Pohlmann machte auch die ersten Vorschläge für die Beseitigung von Verzerrungen, die der Übertrager als Kopplungsglied bringt, für den modulierten Tonfrequenzruf und viele andere grundlegende Schaltmaßnahmen.

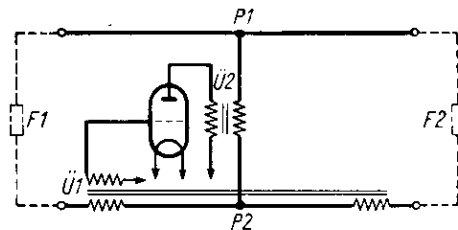


Bild 7. Einröhren-Grundsaltung

Für den Einsatz der Verstärkerröhre in der Fernsprechleitung erwuchs zunächst daraus eine Schwierigkeit, daß sie als Ventil grundsätzlich nur in einer Richtung wirkt. Das Fernsprechen fordert aber einen Gegenbetrieb. Die einfachste, schon sehr alte Lösung, ist die sogenannte Einröhrensaltung (Bild 7). Die z. B. von der Leitung F1 kommenden Sprechspannungen liegen an der Reihenschaltung aus Erstwicklung des Übertragers Ü1 und Leitung F2. Die in die Zweitwicklung übertragene Spannung wird in der Röhre verstärkt und gelangt über den Übertrager Ü2, die Punkte P1 und P2 nur zur Hälfte zum Teilnehmer am Ende der Leitung F2. Die andere Hälfte kommt nach F1 zurück und stört hier als 100%iges Echo. Man erkennt ferner, daß diese Schaltung Gleichheit der Scheinwiderstände der beiden Fernleitungen (F1, F2) fordert. Diese Bedingung kann im praktischen Betrieb nur schwer eingehalten werden. So gelangt bei Unsymmetrie ein Teil der verstärkten Spannung wieder auf das Gitter der Röhre, wird nochmals verstärkt und so fort, bis der Verstärker „pfeift“ und eine Sprechverständigung unmöglich macht. Da im Zuge einer Verbindung nicht mehr als einer dieser Verstärker eingeschleift werden kann, ist auch die Reichweite begrenzt. Die Schaltung wurde deshalb bald zugunsten von Schaltungen aufgegeben, die für jede Sprechrichtung eine besondere Röhre verwenden und bei denen die Pfeifgefahr mit anderen Mitteln vermieden wird oder möglichst überhaupt nicht auftreten kann.

Die eine Lösung ist nun die 1917 eingeführte Zweidrahtschaltung (Bild 8). Sie ist ebenfalls eine Ausgleichsschaltung, benutzt jedoch für jede Sprechrichtung eine besondere Röhre. Außerdem wird nicht die eine Leitung durch die andere nachgebildet, sondern für jede Leitung (F1, F2) werden besondere, und zwar künstliche Nachbildungen (N1, N2) verwendet. Durch zweckentsprechenden Aufbau und sorgfältige Einstellung der Nachbildungen ist also eine höhere „Nachbildgüte“ zu erreichen. Wegen der zeitlichen Inkonzistenz, insbesondere wegen des unregelmäßigen Verlaufs des Scheinwiderstandes der Fern-

leitung ist auch hier mit einer vollkommenen Symmetrie nicht immer zu rechnen. Da sich die Fehler bei den einzelnen im Zuge der Leitung liegenden Verstärkern addieren, vermeidet man es möglichst, in eine solche Zweidrahtleitung mehr als drei Zwischenverstärker einzuschalten. Immerhin werden so auf Freileitungen üblicher Leiterstärke mehr

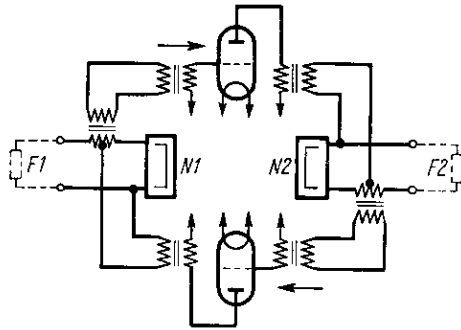


Bild 8. Zweidraht-Grundschialtung.

als 1000 (bis 1500 km) überbrückt, auf den üblichen Kabelleitungen je nach Leiterstärke und Bepulung 300 bis 600 km. Für wirkliche Weitverkehrsleitungen ist also auch diese Schaltung nicht brauchbar.

Weitverkehrsleitungen werden nach der allerdings nicht so billigen, sogenannten Vierdrahtschaltung, einer Zweiwegschaltung, die die vielen Nachbildungen vermeidet, aufgebaut. Es liegt der Gedanke nahe, die Nachbildungen dadurch ganz zu vermeiden, daß getrennte Wege vom Mikrofon eines jeden Teilnehmers zum Telefon des Gegen-

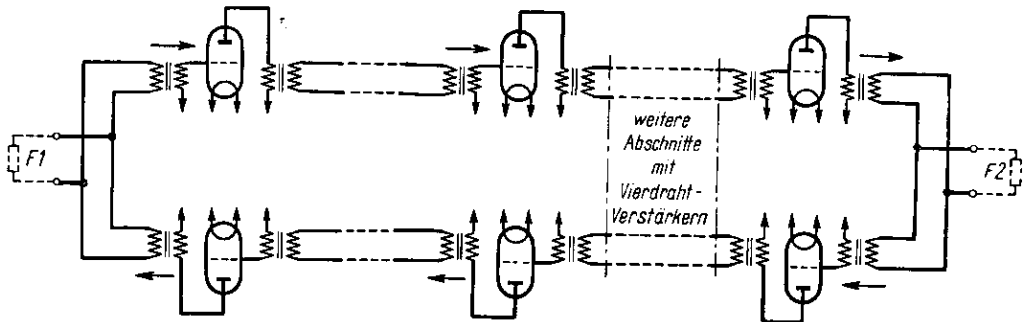


Bild 9. Vierdraht-Grundschialtung nach van Kesteren

sprechers benutzt werden. Das ist aber für den Nahverkehr ohne Nutzen und für den Fernverkehr nicht nötig, wenn die eigentlichen Fernleitungen auch über die Durchschaltunkte hinweg vierdrähtig geführt werden. Es kam also darauf an, eine Schaltung zu finden, die die Zusammenfassung von Zweidraht- und Vierdrahtleitungen ermöglicht. Van Kesteren schlug (1913) die in Bild 9 gezeigte Schaltung vor. Oberer und unterer Sprechweg bilden jedoch einen Kreis, so daß mit dieser Schaltung nur dann ein einwandfreier Betrieb durchführbar ist, wenn die gesamte Leitungsdämpfung des Vierdrahtkreises größer ist als die Verstärkung aller Verstärker zusammen. 1915 gab Ohnesorge, als

Postrat im Großen Hauptquartier tätig, als erster die Vierdrahtschaltung mit je einer Ausgleichsschaltung an den Enden der Leitung an (Bild 10). Die Pfeifgefahr ist hier gegenüber der van Kesterenschen Schaltung durch die bei guten Nachbildungen hohen Zusatzdämpfungen der Gabelschaltungen wesentlich geringer; an den Enden treten jedoch hin-

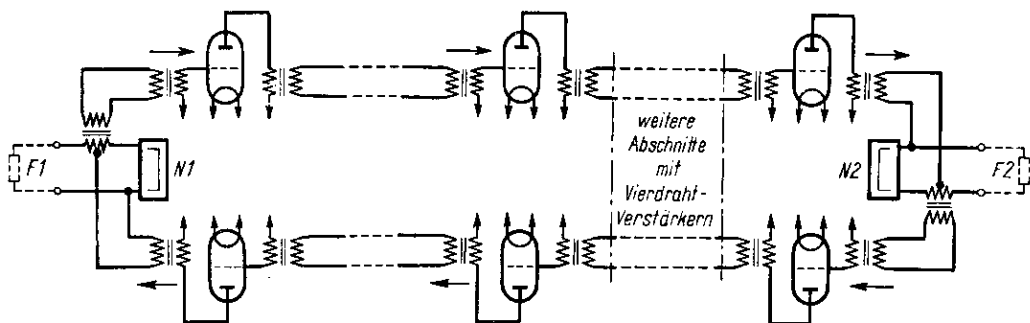


Bild 10. Vierdraht-Grundschaltung nach Ohnsorge

sichtlich des Abgleichs die gleichen Schwierigkeiten auf wie bei den Gabelschaltungen der später (1917) eingeführten Zweidraht-Verstärker. Ein Rückfluß erfolgt hier aber nur einmal an jedem Ende, unabhängig von der Länge der Leitung und der Zahl der eingefügten Zwischenverstärker. Die Abgleichschwierigkeiten sind daher auch bei unbegrenzter Länge nicht größer als die bei einer Zweidrahtleitung mit nur einem einzigen Verstärker. Mit dieser Schaltung war somit die Grundform der Weitverkehrsleitungen gefunden.

Von den bisher behandelten Grundschaltungen vollkommen verschieden ist die sogenannte „Richtschtung“ (Bild 11), eine Zweidrahtschaltung, an der Siemens-Ingenieure ebenfalls lange Zeit gearbeitet haben und wieder für Sonderzwecke arbeiten, weil sie hinsichtlich des Leitungsaufwandes gegenüber der Vierdrahtleitung große Vorteile bietet. Auch hier wird für jede Gesprächsrichtung ein besonderer Verstärker vorgesehen.

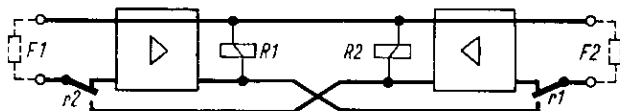


Bild 11. Richtschaltung

Die Verstärker sind jedoch so in die Leitung geschaltet, daß beim Sprechen des einen Teilnehmers nur der für diese Sprechrichtung benötigte Verstärker wirksam ist. Beim Wechsel der Sprechrichtung schalten die Sprechströme selbst die Verstärker um (Relaisumschaltung, wie Bild 11 zeigt, oder Umschaltung durch Röhren). Dadurch ergibt sich der große Nachteil der Richtschaltung: Entweder sie ist zu empfindlich eingestellt, dann gibt es Fehlschaltungen durch Raungeräusche, die ins Mikrofon gelangen, und durch Leitungsgeräusche, oder die Schaltung ist zu unempfindlich, dann schneidet sie Wortanfänge ab. Es ist leicht ersichtlich, daß eine solche Schaltung eine große Sprechdisziplin erfordert. Sie hat daher in öffentlichen Fernsprechnetzen keine Bedeutung gewinnen können.

### 3. Entwicklung des konstruktiven Aufbaues des Leitungsverstärkers

Als dritter großer Aufgabenkreis ergab sich die konstruktive Durchbildung der Verstärkerschaltungen. Dabei war es von großem Nutzen, daß bei Siemens & Halske im Bau von Fernsprech- und Telegrafengeräten und von Meßgeräten vieljährige Erfahrungen zur Verfügung standen. Es waren auch Mittel vorzusehen, mit denen die Verstärker in die Leitungen fest oder wahlweise eingeschaltet werden konnten. Ferner mußten Prüfeinrichtungen, Sicherungs- und Alarmvorrichtungen, schließlich zweckmäßige Ämterbauweisen



Bild 12. Kleiner Verstärkerschrank P rls 13

gefunden werden. Hier kamen die Erfahrungen sehr zustatten, die das Haus Siemens seit Jahrzehnten auf dem Gebiet der Hand- und Selbstanschlußämter gesammelt hatte.

Zu Beginn des Fernsprech-Weitverkehrs waren nur wenige einzelne Freileitungen mit Verstärkern auszurüsten. Die gegebene Bauart war somit der Einzelverstärker. Seine ersten Ausführungen mögen, durch die überaus schnelle Entwicklung, bereits heute wie wenig leistungsfähige Konstruktionen anmuten, und doch konnte mit ihnen im Ersten Weltkrieg bei sorgfältiger Auswahl der Leitungen den dringendsten Anforderungen der militärischen Dienststellen auf Einrichtung eines Weitverkehrsnetzes, z. B. zwischen den weit auseinanderliegenden Befehlsstellen der West- und Ostfront, entsprochen werden. Nach Lösung dieser vordringlichen Aufgabe wurde dann 1917 die systematische Weiterentwicklung wieder aufgenommen. Das Ziel war: Nutzbarmachung des Verstärkers für den allgemeinen Sprechverkehr, insbesondere für den Einsatz in das bereits vor dem Weltkrieg begonnene Fernkabelnetz. Die ersten grundlegenden Arbeiten in Deutschland sind hier von Siemens & Halske in enger Zusammenarbeit mit dem damaligen Telegrafentechnischen Reichsamt (Höpfner, Stöckel u. a.) geleistet worden.

Der erste Zweidraht-Zwischenverstärker (Bild 12) war mit Mc-Röhren bestückt. Unter dem Namen Kleiner Verstärkerschrank P rls 13 bewährte er sich z. B. in der Ver-

bindungsleitung der deutschen Hauptquartiere Ost und West. Die Nachbildungen wurden über Klinken angeschlossen. Die eingebauten Verstärkungsregler hatten nur einen kleinen Regelbereich. Bei der Zusammenschaltung kurzer Fernleitungen wurde deshalb mit den eingebauten Leitungsverlängerungen so viel künstliche Dämpfung zugeschaltet, daß die

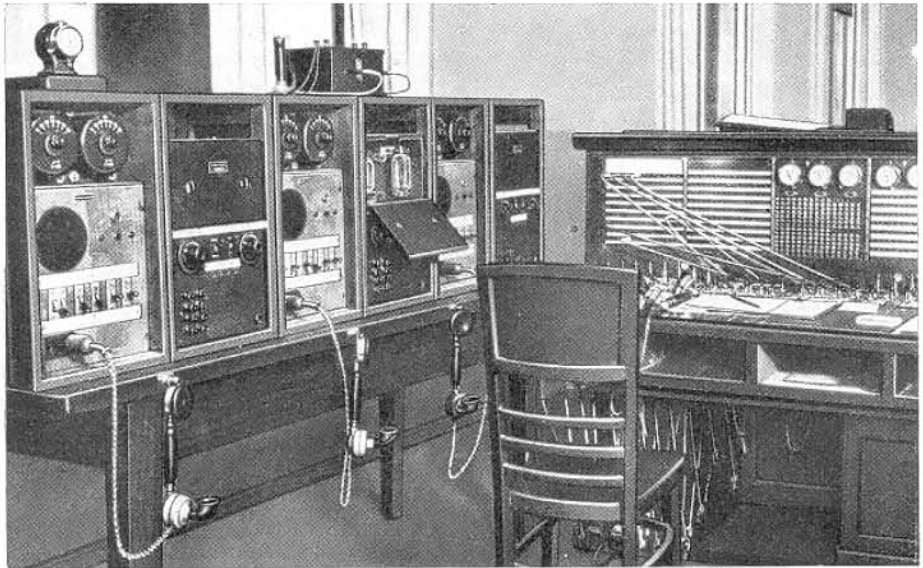


Bild 13. Ein Verstärkeramt aus dem Ersten Weltkrieg

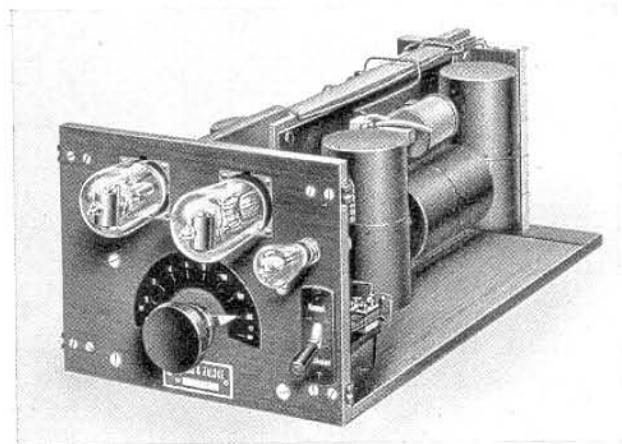


Bild 14. Zweidraht-Zwischenverstärker G verst 14

Regler jeweils etwa in der Mitte ihres Regelbereichs arbeiteten. Da der Verstärker für Freileitungen vorgesehen war, hatte er eine geradlinige Verstärkungskurve. In den ersten mehr provisorisch aufgebauten Verstärkerämtern (Bild 13) wurden die Einzelverstärker nebeneinander auf Tischen angeordnet und an dem im gleichen Raum befindlichen Schnurschrank in die einzelnen Fernverbindungen eingeschaltet. Ebenfalls mit der Mc-Röhre bestückt war die Endverstärkerschaltung P rls 23, damals allgemein bekannt als „Hersen“-Schaltung nach dem Hauptmann und Postrat gleichen Namens. Der Verstärker,

der neben einem Vor- und Nachübertrager einen Heizstromregler und -messer hatte, wurde auch im Zuge von Zweidrahtleitungen mit einseitigem Sprechbetrieb eingesetzt. Mit zwei Einheiten konnte ein Vierdraht-Zwischenverstärker gebildet werden.

Mit dem Zweidraht-Zwischenverstärker G verst 14 (Bild 14) wurde im Fernsprechverstärkerbau ein wesentlicher Schritt vorwärts getan. Er zeigte bereits verschiedene Merkmale der späteren Verstärkersätze für die Gestellbauweise. Der Verstärker war mit BF-Röhren bestückt. Auf gleichmäßigen Heizstrom regelte bei Heizspannungsschwan-

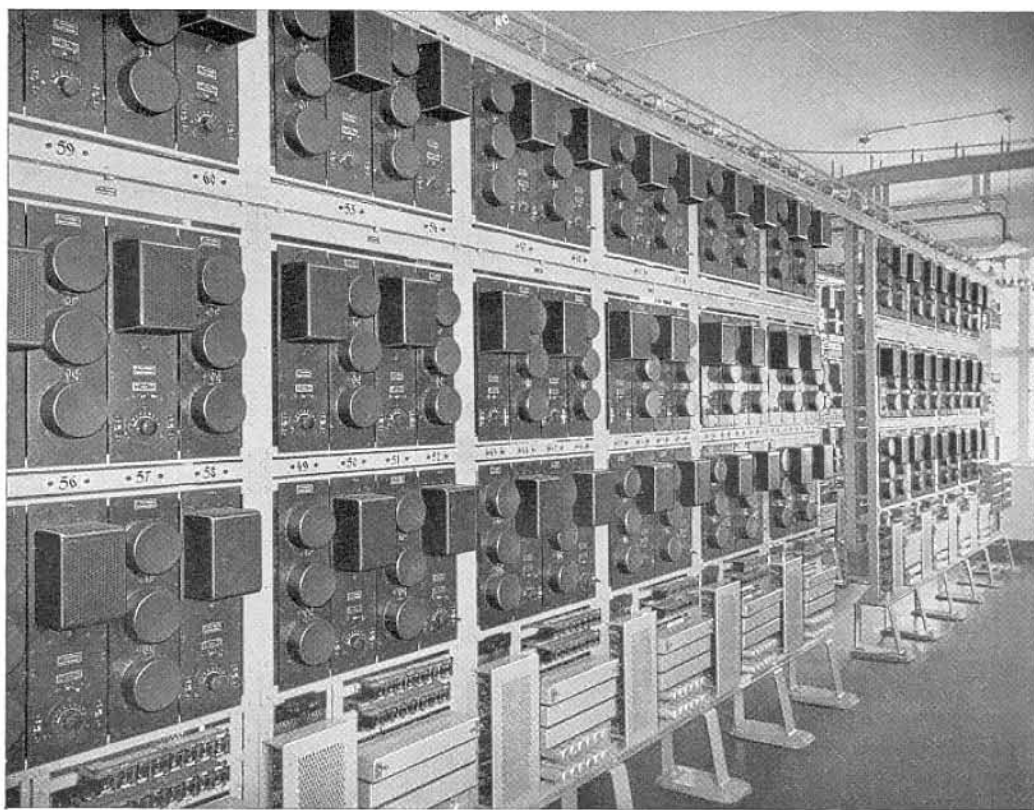


Bild 15. Ein Amt mit Verstärker-Gestellen der Bauweise 1922

kungen in einem bestimmten Bereich ein Eisenwasserstoffwiderstand selbsttätig ein. Konstruktiv war der Verstärker so durchgebildet, daß er sowohl als Einzelverstärker eingesetzt wie auch zu mehreren in Schnurschränke eingebaut werden konnte.

Die 1922 in großem Umfang eingeführten Verstärker für Verstärkerämter (Verst Ä 22) wurden bereits zu mehreren auf einem Gestell zusammengefaßt (Bild 15). Die Röhrenfassungen, die Übertrager und sonstigen Einzelteile der Schaltung waren auf einer eisernen Platte angeordnet. Die neben dem Zweidraht-Verstärker angebrachte gleich große Platte trug die dreigliedrige Spulenleitung zum Begrenzen des Sprachbandes. Die Anschlußstellen für die einzelnen Verstärker wie die für das gesamte Gestell waren zu Lötösenstreifen zusammengefaßt. Auch die 25-Hz-Rufumgehungsschaltungen wurden im unteren Teil des Gestells zusammengefaßt. Jeder Verstärker hatte zwei Röhrensätze. Der Reserve-satz schaltete sich beim Schadhafwerden der Betriebsröhren selbsttätig ein. Heizspannungsschwankungen wurden ebenfalls selbsttätig durch Eisenwasserstoffwiderstände aus-

geglichen. Die Sicherungen für den Heiz- und Anodenstrom, für die Gitterspannung, den Ruf- und Signalstrom waren jeweils für 60 Verstärker auf einem besonderen Sicherungs-Gestell zusammengefaßt. Das Ausbleiben einer Spannung und Durchbrennen eines Heizfadens wurden optisch durch Aufleuchten verschiedenfarbiger Lampen, akustisch durch einen Wecker angezeigt. Wir finden hier auch schon Nebenschlußwiderstände für die Überwachung des Heizstroms. Die Ringübertrager, die Verlängerungsleitungen und die zur leichten Nachbildung der Leitungen notwendigen Querkondensatoren wurden für

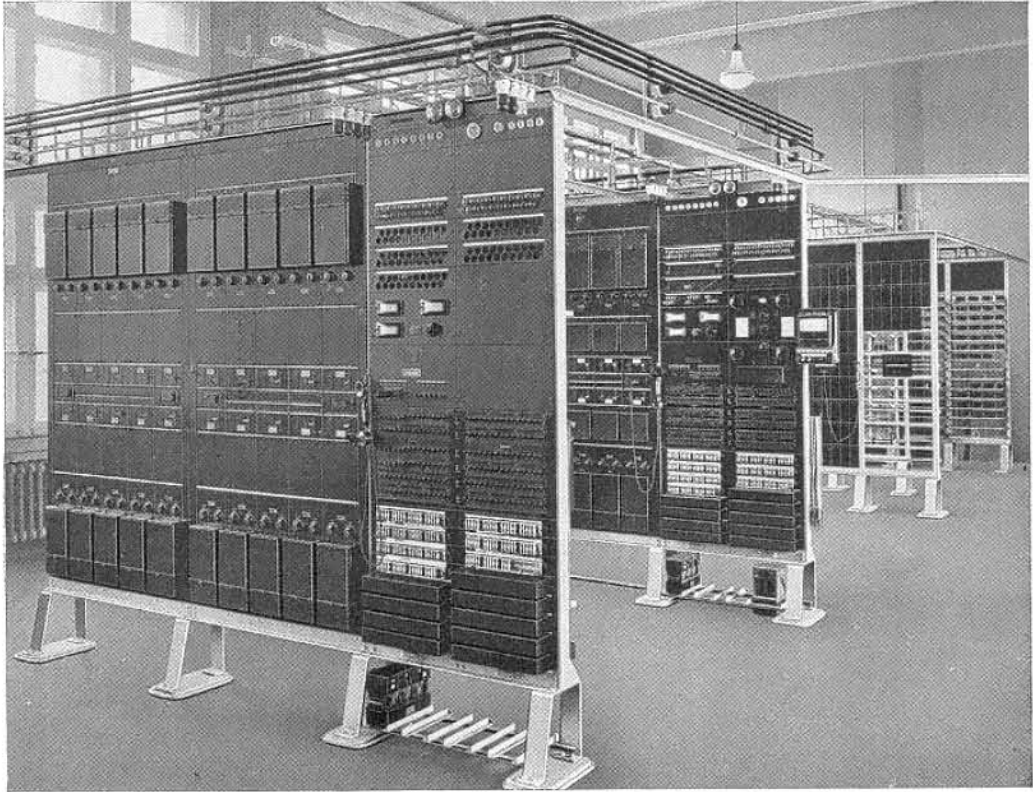


Bild 16. Verstärkeramt der Bauweise 1925

je 120 Leitungen auf einem sogenannten Zusatz-Gestell untergebracht. Die aus Induktionsspulen, Widerständen und Kondensatoren bestehenden Leitungsnachbildungen waren, ebenfalls für 120 Leitungen, auf einem Nachbildungs-Gestell angeordnet. Die Verstärker selbst wurden am Klinkenumschalter-Schrank überwacht. Diese Schränke waren für 30 Verstärker bemessen; sie enthielten eine Verstärkungs-Meßeinrichtung, die es gestattete, die Verstärkungsziffer durch eine vergleichende Messung zu bestimmen. Für je 300 Verstärker wurde ein Prüfschrank vorgesehen, an dem für jeden Verstärker getrennt der Heizstrom, ferner für das ganze Amt Anoden- und Gitterspannung gemessen werden konnten. Ein Spannungsmesser ermöglichte entsprechende Leitungsmessungen. In der Nähe der Nachbildungs-Gestelle wurde noch ein Abgleichsatz aufgestellt, der aus einem Abgleichprüfer und regelbaren Widerständen und Kondensatoren für Nachbildungen bestand. Manche der hier erstmalig getroffenen grundsätzlichen Anordnungen findet man auch noch bei späteren Bauweisen.

Die Bauweise Verst  $\ddot{A}$  22 wurde 1925 durch eine neue Bauweise abgelöst, die entsprechend die Bezeichnung Verst  $\ddot{A}$  25 trägt. Die Zweidraht- (Bild 16, zweite Gestellreihe) und die Vierdraht-Verstärker (erste Gestellreihe), sahen äußerlich bei dieser Bauweise nahezu gleich aus. Beim Vierdraht-Verstärker fiel der sogenannte Kopplungswechsler (zwischen den beiden Verstärkungsreglern) weg. Beim Zweidraht-Verstärker wurde zum Begrenzen des Sprachbandes eine sogenannte Doppelbrücke verwendet, die jedoch nicht wie die Spulenleitung bei Verst  $\ddot{A}$  22 auf einer besonderen Montageplatte untergebracht war,

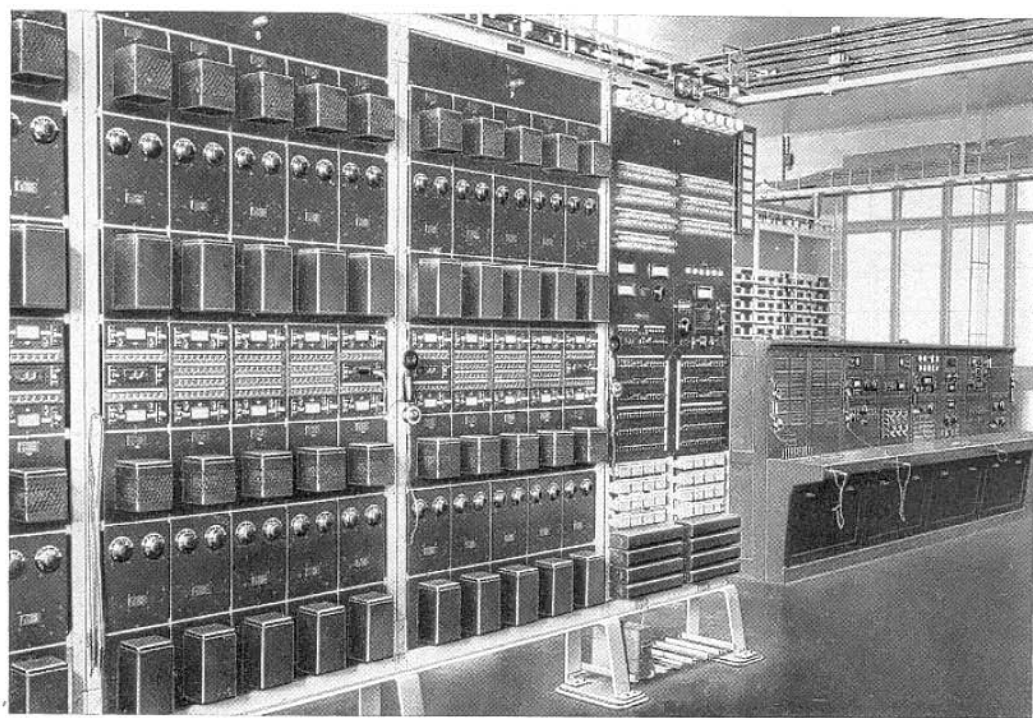


Bild 17. Verstärkeramt der Bauweise 1927

sondern mit auf der Platte des Verstärkers saß. Die Röhren — nur noch Betriebsröhren — waren von vorn durch eine hochklappbare Kappe zugänglich. Je 10 Verstärker mit den dazugehörigen Klinkenfeldern — beim Zweidraht-Verstärker auch Rufsätze — waren auf einem Gestell untergebracht.

In der Mitte des Gestells befanden sich die Klinkenfelder, unmittelbar anschließend nach oben und unten 5 Leerplatten bzw. 5 Rufsätze und daran anschließend je 5 Verstärkersätze. Im Gestellkopf waren die Klemmenleisten zum Anschließen der Stromversorgungsleitungen und unmittelbar darunter die Lötösenstreifen zum Anschließen der Fernsprechleitungen angeordnet. Auf der Vorderseite ist dieses Lötösenfeld durch eine Platte abgedeckt. Auch bei dieser Bauweise befanden sich die Nachbildungen für 120 Leitungen noch auf einem besonderen Nachbildungs-Gestell. Die Spulenfeldergänzungen oder Leitungsverlängerungen waren auf einem Leitungszusatz-Gestell untergebracht, das ebenfalls für 120 Leitungen bemessen war. Das Prüf- und Sicherungs-Gestell, das wir bereits bei der Bauweise Verst  $\ddot{A}$  22 kennenlernten, finden wir auch bei der Bauweise Verst  $\ddot{A}$  25 verbessert wieder. Neben verschiedenen Einzelmeßgeräten hatte es eine Verstärkungs-

Meßeinrichtung, eine Rufprüfeinrichtung und Vielfachamtsklinken, die den entsprechenden Klinken der zugehörigen Verstärker-Gestelle parallelgeschaltet waren.

1927 hatte die Entwicklung der Fernsprechverstärker zur Schaffung des Einheitsverstärkers geführt. Mit diesem Verstärker war es gelungen, die große Anzahl von Verstärkern, die man für die verschiedenen Leitungs- und Betriebsarten benötigte, weitgehend zu vereinheitlichen. Billigere Fertigung, einfachere Lagerhaltung und schnellerer Aufbau wurden mit dieser Vereinheitlichung erreicht. Der Einheitsverstärker bestand konstruktiv aus zwei getrennten Teilen: dem Verstärkersatz und dem Entzerrersatz. Der Verstärkersatz enthielt die den Zweidraht- und Vierdraht-Verstärkern gemeinsame Röhrenschialtung mit Vor- und Nachübertragern, ferner Drosseln für den Anodenspannungs-

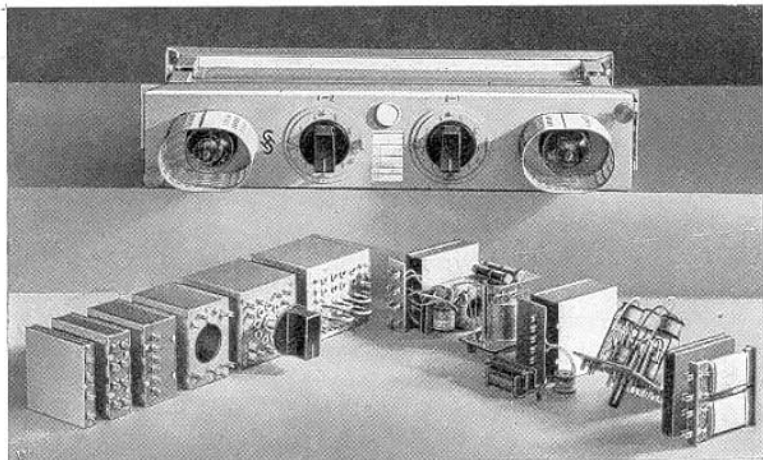


Bild 18. Einzelverstärker der Bauweise 1932

kreis und Eisenwiderstände für den Heizkreis. Im Entzerrersatz befanden sich die Längsentzerrer, die Verstärkungsregler und die Zweidrahtschaltungen, außerdem die Tiefpässe zur oberen Frequenzbegrenzung und die Ausgleichsübertrager. Entzerrer und Tiefpässe waren für sich so verdrahtet, daß die Entzerrer bei Umschaltungen leicht ausgewechselt werden konnten. Die Entzerrersatzteile von Zweidraht-Verstärkern, die in Leitungen mit UT-Betrieb eingeschaltet wurden, erhielten außerdem eine besondere Induktivität parallel zum Längskondensator des Entzerrers, um ein steileres Abfallen des unteren Teiles der Verstärkungskurve und damit eine bessere Trennung des NF-Sprechweges vom UT-Kanal zu erreichen. Im äußeren Aufbau glich das Verstärker-Gestell Verst. Ä 27 (Bild 17) sehr dem der Bauweise Verst. Ä 25. Die grundsätzliche Aufteilung war die gleiche, auch das Klinkenfeld hatte nur kleine Änderungen erfahren. Die weitere Entwicklung dieser Verstärker hatte noch einige Verbesserungen am elektrischen und konstruktiven Aufbau ergeben, bis dann 1932 ein vollkommen neues Konstruktionsprinzip eingeführt wurde.

Die weitgehenden Erfahrungen, die in einem Zeitraum von mehr als zehn Jahren in der Fertigung, im Aufbau und im Betrieb von Verstärkerämtern gesammelt worden waren, fanden 1932 im Baukasten-System ihre praktische Verwertung. Es unterscheidet sich grundsätzlich von den vorhergegangenen Bauweisen dadurch, daß für alle Geräte einheitliche Bauteile und Schaltelemente verwendet werden, die — in ebenfalls genormte Becher eingebaut — sich immer in gleicher Weise wie Teile eines Baukastens in geeigneten Aufnahmevorrichtungen (Wannen) leicht zusammenbauen lassen (Bild 18). Die Becher-

deckplatte aus Isolierstoff nimmt alle Anschlußpunkte (Lötösen) auf, so daß alle Anschluß- und Verbindungsstellen leicht zugänglich sind und die in einer Ebene liegende Leitungsführung kurz bleibt und gut zu übersehen ist. Die Geräteanschlüsse schließlich werden an seitlich angebrachte Lötösenstreifen geführt. Die Amtsgestelle erhalten eine ein- oder beidseitige Bestückung mit diesen Gehäusen. Für Verstärker ist die Doppelwanne die übliche Form. Sie wird so bestückt, daß alle zu bedienenden Teile in der vorderen Wanne, die übrigen in der dahinterliegenden Wanne angeordnet sind. In dieser Bauweise, zumindest in einer weitgehend angeglichenen Art, werden auch die übrigen

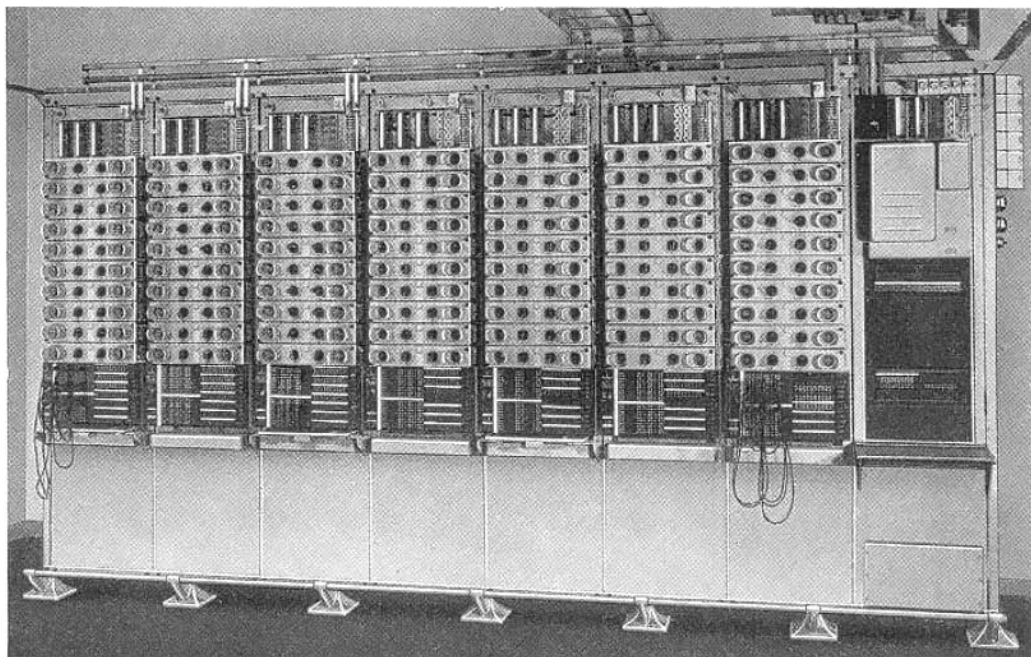


Bild 19. Gestellreihe mit Verstärkern der Bauweise 1932  
(rechts Sicherungs-Gestell)

Gerätesätze gebaut. Auch die Gestelle sind genormt, so daß alle Forderungen, die billigerweise an die Verstärkeramts-Konstruktionen gestellt werden können, erfüllt werden: weitgehend vereinfachte Fertigung, einfache Lagerhaltung, schneller Aufbau, übersichtliche Anordnung bei großer Raumersparnis, einfache Bedienung und leichte Auswechselbarkeit der einzelnen Bauteile. Hinzu kommt eine höhere Nebensprechdämpfung zwischen den einzelnen Sprechkreisen der Amtsverdrahtung.

Diese Bauweise hat sich bei mittleren und großen Ämtern (Bild 19) so ausgezeichnet bewährt, daß sie auch für Verstärkereinheiten in kleinen Ämtern, für Trägerfrequenz-Einrichtungen und schließlich für die zusätzlichen Einrichtungen in Verstärkerämtern, wie Tonfrequenz-Rufumsetzer und Echosperrern, für Rundfunkleitungs-Verstärker, darüber hinaus ganz allgemein für andere Zweige der Fernmeldetechnik angewandt wird. Trotz der ungewöhnlich schnellen Entwicklung gerade auf dem Gebiete der Nachrichtentechnik stellt das Baukasten-System auch heute noch für ortsfeste Ämter die technisch und wirtschaftlich günstige Bauweise dar.

### III. Grundbegriffe und Grundbauteile der Niederfrequenztechnik für Fernsprechleitungen

#### 1. Einheiten Neper und Dezibel

In der Fernmeldetechnik ist für das Verhältnis von elektrischen oder akustischen Größen gleicher Einheit zueinander oder zu ihren genormten Bezugswerten ein logarithmisches Maß gebräuchlich. Das entspricht dem exponentiellen Verlauf von Spannungen, Strömen und Leistungen auf elektrischen Leitungen und der Unterschiedsempfindlichkeit des menschlichen Gehörsinns. Ein Vorzug des logarithmischen Maßes ist außerdem der, daß die Dämpfungen der einzelnen Abschnitte eines Übertragungsweges — und wie wir noch sehen werden auch die Dämpfungen und Verstärkungen — einfach addiert werden können, statt multipliziert bei linearen Maßen.

Als Einheit des logarithmischen Verhältnisses gilt bei Benutzung der natürlichen Logarithmen das Neper (N), bei Benutzung der Briggs'schen Logarithmen das Bel (b) oder, was gebräuchlicher ist, sein 10. Teil, das Dezibel (db).

Sind  $N_1$  und  $N_2$  zwei Leistungen, die aufeinander bezogen werden sollen,  $A_1$  und  $A_2$  zwei Spannungen, Ströme oder Schalldrücke, die quadratisch in die Leistung eingehen, so erhält man ihr Verhältnis nach den geltenden Bestimmungen als

$$\frac{1}{2} \ln \frac{N_1}{N_2} \text{ bzw. } \ln \frac{A_1}{A_2} \text{ in Neper}$$

$$\text{und als } 10 \lg \frac{N_1}{N_2} \text{ bzw. } 20 \lg \frac{A_1}{A_2} \text{ in Dezibel.}$$

Bei der Festlegung des Neper waren die der Messung zugänglichen Spannungen und Ströme Ausgangspunkt:

$$e^x = \frac{A_1}{A_2}; \quad x = \ln \frac{A_1}{A_2} \text{ in Neper.}$$

Daher gilt für das Leistungsverhältnis:

$$\frac{N_1}{N_2} = \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = e^{2x}; \quad x = \frac{1}{2} \ln \frac{N_1}{N_2} \text{ in Neper.}$$

Beim Bel ging man von der dem elektrischen und akustischen Gebiet gemeinsamen Größe Leistung aus:

$$10^x = \frac{N_1}{N_2}; \quad x = \lg \frac{N_1}{N_2} \text{ in Bel}$$

$$\text{bzw. } 10^{0,1x} = \frac{N_1}{N_2}; \quad x = 10 \lg \frac{N_1}{N_2} \text{ in Dezibel.}$$

Für das Spannungs- und Stromverhältnis ergibt sich daraus

$$10^x = \frac{N_1}{N_2} = \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2; \quad 10^{\frac{x}{2}} = \frac{A_1}{A_2}; \quad x = 2 \lg \frac{A_1}{A_2} \text{ in Bel}$$

$$\text{bzw. } 10^{0,1 \frac{x}{2}} = \frac{A_1}{A_2}; \quad x = 20 \lg \frac{A_1}{A_2} \text{ in Dezibel.}$$

Zahlenwerte  $a$  in Neper und  $b$  in Dezibel sind untereinander umzurechnen nach den beiden Gleichungen

$$a = b \cdot 0,1151; \quad b = a \cdot 8,686.$$

Für überschlägliche Rechnungen kann der gesuchte Wert in Bild 20 abgelesen werden.

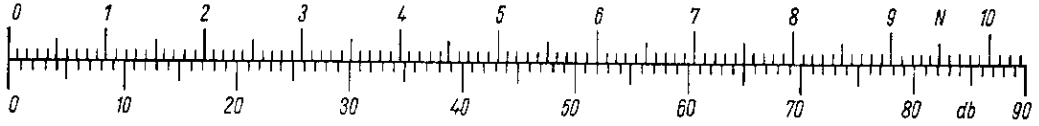


Bild 20. Neper-Dezibel-Umrechnung

Die abgerundeten  $e^x$ -Werte für  $x=0$  bis 12,9 in Stufen zu 0,1 sind in der folgenden Tafel zusammengestellt.

### $e^x$ -Werte

x	+0	+0,1	+0,2	+0,3	+0,4	+0,5	+0,6	+0,7	+0,8	+0,9
0	1,00	1,11	1,22	1,35	1,49	1,65	1,82	2,01	2,23	2,46
1	2,72	3,00	3,32	3,67	4,06	4,48	4,95	5,47	6,05	6,69
2	7,39	8,17	9,03	9,97	11,0	12,2	13,5	14,9	16,4	18,2
3	20,1	22,2	24,5	27,1	30,0	33,1	36,6	40,5	44,7	49,4
4	54,6	60,3	66,7	73,7	81,5	90,0	99,5	110	122	134
5	148	164	181	200	221	245	270	299	330	365
6	403	446	493	545	602	665	735	812	898	992
7	1100	1210	1340	1480	1640	1810	2000	2210	2440	2700
8	2980	3290	3640	4020	4450	4920	5430	6000	6630	7330
9	8100	8960	9900	10940	12100	13400	14800	16300	18000	19900
10	22000	24300	26900	29700	32900	36300	40100	44400	49000	54200
11	60000	66200	73100	80800	89300	98700	109000	121000	133000	147000
12	163000	180000	199000	220000	243000	268000	297000	328000	362000	400000

Zweckmäßigerweise merkt man sich, daß für  $x \leq 0,1$  die Gleichung  $e^x \approx 1 + x$  gilt. Daraus folgt auch, daß z. B. 0,02 N Meßunsicherheit oder Pegelabweichung gleichbedeutend mit 2% Unsicherheit ist. Ferner sollte man sich merken, daß 0,7 N dem Spannungs- oder Stromverhältnis 2:1 und 2,3 N dem Spannungs- oder Stromverhältnis 10:1 entsprechen. Es kann dann auch schnell überschlagen werden, daß z. B. 3 N einem Spannungs- oder Stromverhältnis 20:1 entspricht, denn es ist  $3 \text{ N} = 2,3 \text{ N} + 0,7 \text{ N}$ , also  $(10:1)(2:1) = 20:1$ , oder daß 4,6 N einem Spannungs- oder Stromverhältnis 100:1 entspricht, weil  $4,6 \text{ N} = 2,3 \text{ N} + 2,3 \text{ N}$  also  $(10:1)(10:1) = 100:1$  ist. Bei Leistungen gilt  $e^{2x} = \frac{N_1}{N_2}$ , somit entsprechen 0,7 N einem Leistungsverhältnis von  $(2:1)^2 = 4:1$  und 2,3 N einem Leistungsverhältnis von  $(10:1)^2 = 100:1$ .

## 2. Übertragungsgrößen der Fernleitung

### Gleichmäßige Leitung

Wie bei jeder Übertragung elektrischer Leistung nimmt auch beim Fernsprechen die Leistung längs der Leitung ab. Dieser Übertragungsverlust hängt von der Leitungsdämpfung ab. Diese ist um so größer, je länger die Leitung ist, je dünner die Leiter sind und je geringer der Leitwert der Leiter ist (Spannungsverluste), je kleiner der Abstand und je schlechter das Isoliermittel zwischen den beiden Leitern ist (Stromverluste). Die Leitungsdämpfung ist außerdem stark frequenzabhängig.

Wie auch aus Bild 21 zu ersehen ist, nimmt die übertragene Leistung längs der Leitung nicht nach einem linearen Gesetz ab: Der Spannungsverlust je Längeneinheit wird zum Verbraucher hin immer kleiner, da die Strombelastung der Leiter durch die inzwischen abgewanderten Querströme mehr und mehr fällt. Andererseits wird auch der Strom-

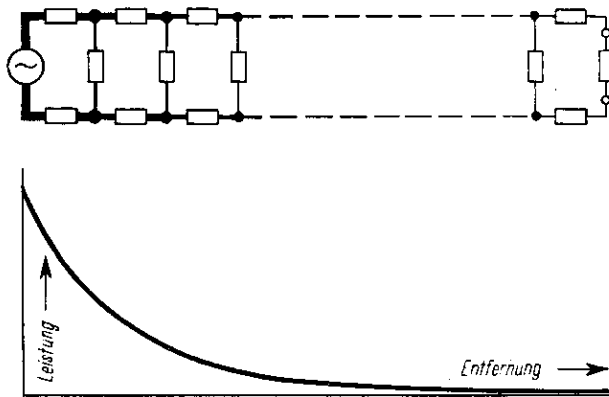


Bild 21. Übertragungsverlust längs einer gleichmäßigen Leitung

verlust je Längeneinheit nach rechts immer kleiner, weil die Querstrompfade an immer kleinerer Spannung liegen. Die übertragene Leistung fällt nach einer exponentiellen Kurve ab. Dies gilt strenggenommen nur für die gleichmäßige Leitung. Darunter verstehen wir Leitungen, die an allen Stellen gleichmäßig aufgebaut sind, also unbespulte Fernsprech-Freileitungen und -Kabelleitungen und auch Krarupleitungen.

Die genaue Untersuchung ergibt, daß in eingeschwungenem Zustand Spannungen und Ströme auf gleichmäßigen Leitungen als gedämpfte Sinusschwingungen fortschreiten. Die Gestalt und Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser räumlichen Spannungs- und Stromwellen hängt von den elektrischen Eigenschaften der Leitung und von der übertragenen Frequenz ab. Das Verhältnis der Spannungs- oder Stromamplituden  $A_1, A_2$  an zwei um 1 km auseinanderliegenden Punkten der Leitung ist mit  $e^\beta$  gegeben (Bild 22);  $e^{\beta \cdot l} = e^b$  gibt dann das Verhältnis der Amplituden am Anfang ( $A_1$ ) und Ende ( $A_2$ ) der  $l$  Kilometer langen Leitung an. Die auf 1 km bezogene Größe  $\beta$  heißt das bezogene Dämpfungsmaß;  $b = \beta \cdot l$  ist das Dämpfungsmaß, die wichtigste Größe für die Kenntnis der Übertragungseigenschaften einer Leitung. Der Unterschied in der Schwingungsphase dieser räumlichen Sinuswelle an zwei um 1 km auseinanderliegenden Punkten wird mit der bezogenen Größe  $\alpha$  angegeben und bezogenes Phasenmaß genannt. Das Phasenmaß  $a$  ist dann  $a = \alpha \cdot l$ . Die Wellenlänge der räumlichen Sinuswelle folgt als der kleinste Abstand von zwei Punkten der Leitung mit gleicher Schwingungsphase daraus zu  $\lambda = 2\pi/\alpha$  [km]. Die Geschwindigkeit, mit der die Welle längs der Leitung fortschreitet,

beträgt  $v = f \cdot \lambda = f \cdot \frac{2\pi}{\alpha} = \frac{\omega}{\alpha}$  und heißt Phasengeschwindigkeit. Die komplexe, für Form und Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer Welle maßgebliche kilometrische Größe, das bezogene Übertragungsmaß ergibt sich aus der Gleichung

$$\gamma = \beta + j\alpha \quad (1)$$

und das Übertragungsmaß

$$g = \gamma \cdot l = b + ja. \quad (2)$$

Das Verhältnis, in dem die Amplituden der Wellenspannung und die des Wellenstromes zueinander stehen, ist an jedem Punkt einer genügend langen Leitung das gleiche und fest; ferner haben Wellenspannung und Wellenstrom eine bestimmte Phasenverschiebung zueinander. Die komplexe Widerstandsgröße, deren Betrag gleich dem Amplitudenverhältnis und deren Winkel gleich der Phasendifferenz von Wellenspannung und Wellenstrom ist, wird Wellenwiderstand  $\mathfrak{S}$  genannt.

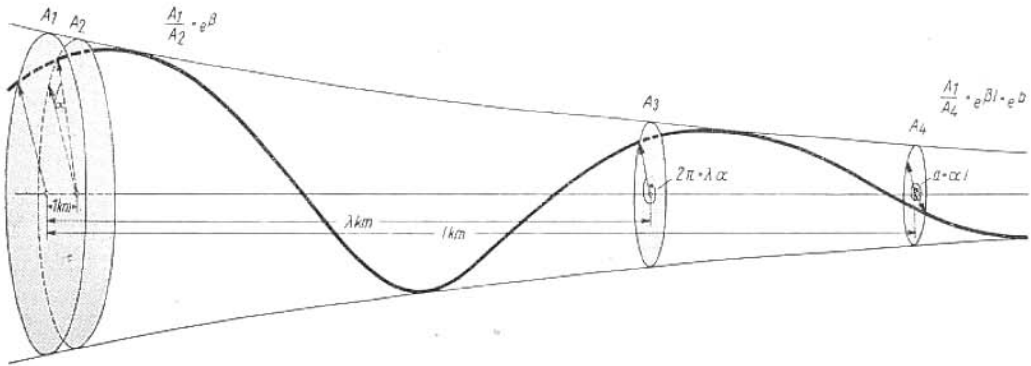


Bild 22. Zu den Begriffen Dämpfungs- und Phasenmaß und bezogenes Dämpfungs- und Phasenmaß

Die bisherigen Ausführungen gelten bei sehr langen Leitungen und bei Leitungen, die mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen sind. Ist das Leitungsende nicht genau mit dem Wellenwiderstand der Leitung abgeschlossen, so wird an dieser Stoßstelle der glatte Wellenverlauf gestört. Die tatsächlich längs der Leitung auftretenden Spannungs- und Stromwerte bilden sich durch Überlagerung von je zwei in entgegengesetzten Richtungen fortschreitenden, gedämpften Sinuswellen. Der zurücklaufende Wellenzug entsteht durch Reflexion des ankommenden Wellenzuges am nicht genau abgeschlossenen Leitungsende. Das gilt auch für den Fall, daß zwei Leitungen mit verschiedenen Wellenwiderständen  $\mathfrak{S}_2$  und  $\mathfrak{S}_1$  zusammenstoßen, auch hier wird der glatte Wellenverlauf gestört.

Die Stoßstelle gibt Anlaß zu einer Stoßdämpfung  $b_{st}$ ; diese ist bestimmt durch das logarithmische Verhältnis aus der Leistung, die eine angepaßte Leitung (mit  $\mathfrak{S}_1$ ) aufnehmen würde, zu der Leistung, die die nicht angepaßte Leitung (mit  $\mathfrak{S}_2$ ) aufnimmt; die Rechnung ergibt

$$b_{st} = \ln \left| \frac{\mathfrak{S}_1 + \mathfrak{S}_2}{2\sqrt{\mathfrak{S}_1 \cdot \mathfrak{S}_2}} \right| \text{ [N]}. \quad (3)$$

Die Stoßdämpfung ist also gleich dem natürlichen Logarithmus des Verhältnisses vom Betrag des arithmetischen Mittels der zusammenstoßenden Wellenwiderstände zu dem Betrag ihres geometrischen Mittels. Die Anpassung darf, wie Bild 23 zeigt, nach Betrag ( $Z_1, Z_2$ ) und Phase ( $\varphi_1 - \varphi_2$ ) ziemlich mangelhaft sein, ohne daß eine wesentliche Stoßdämpfung entsteht.

Die reflektierte Welle fließt der ursprünglichen Richtung entgegen zum Leitungsanfang zurück und kann dort eine echoähnliche Wirkung hervorrufen. Das logarithmische Ver-

hältnis aus der Leistung, die die am Leitungsende angepaßte Leitung  $\mathfrak{S}_1$  aufnehmen würde, zu der zurückfließenden Leistung bei nicht angepaßter Leitung  $\mathfrak{S}_2$  heißt Rückflußdämpfung. Sie ergibt sich am Ende der Leitung zu

$$b_r = \ln \left| \frac{1}{r} \right| = \ln \left| \frac{\mathfrak{S}_2 + \mathfrak{S}_1}{\mathfrak{S}_2 - \mathfrak{S}_1} \right| \text{ [N]}. \quad (4)$$

$$\text{Die Größe } r = \frac{\mathfrak{S}_2 - \mathfrak{S}_1}{\mathfrak{S}_2 + \mathfrak{S}_1} \quad (5)$$

heißt Reflexionsfaktor. Das feste Verhältnis  $r$  zwischen den Amplituden und Phasen der ankommenden Wellen zu denen der reflektierten Wellen ist also nur abhängig von den Wellenwiderständen  $\mathfrak{Z}_1$  und  $\mathfrak{Z}_2$  der zusammenstoßenden Leitungen.

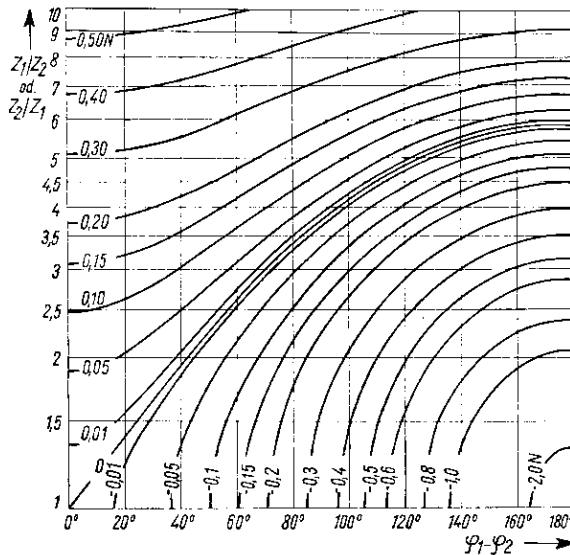


Bild 23. Abhängigkeit der Stoßdämpfung von  $Z_1/Z_2$  bzw.  $Z_2/Z_1$  und  $\varphi_1 - \varphi_2$  (nach Hoecke)

Ist also  $\mathfrak{Z}_2 = \mathfrak{Z}_1$ , diesen Fall der Übereinstimmung nennt man Anpassung, so treten keine zurücklaufenden Wellen auf. Leitungsspannung und Leistungsstrom entsprechen der hinlaufenden Wellenspannung bzw. dem hinlaufenden Wellenstrom. Dieses Ergebnis hat große praktische Bedeutung, denn in diesem Fall ist der Eingangsscheinwiderstand der Leitung gleich ihrem Wellenwiderstand. Anpassungsfehler wirken sich für den Eingangsscheinwiderstand der Leitung um so weniger aus, je größer  $\beta \cdot l$  ist. Ist  $\beta \cdot l > 2N$ , so gilt näherungsweise auch bei nicht ganz genauer Anpassung: Eingangsscheinwiderstand = Wellenwiderstand.

Bei kurzgeschlossenem Leitungsende ( $\mathfrak{Z}_2 = 0$ ) ist  $r = -1$ . Die ankommende Wellenspannung wird mit gleicher Amplitude aber entgegengesetzter Phase reflektiert. Die Leitungsspannung ist an diesem Punkt gleich Null. Der Wellenstrom wird mit gleicher Amplitude und gleicher Phase reflektiert; der Leistungsstrom ist doppelt so groß wie der ankommende Wellenstrom. Bei offenem Leitungsende ( $\mathfrak{Z}_2 = \infty$ ) ist  $r = +1$ . Die Wellenspannung wird mit gleicher Amplitude und gleicher Phase reflektiert. Die Leitungsspannung ist an diesem Punkt also doppelt so groß wie die ankommende Wellenspannung. Der ankommende Wellenstrom wird mit gleicher Amplitude jedoch entgegengesetzter Phase reflektiert; hier ist der Leistungsstrom gleich Null. Einen anderen Sonderfall stellt die elektrisch lange Leitung dar. Mit wachsendem  $\beta \cdot l$  wird die zum Anfang

der Leitung zurückkommende Welle klein sein zur abgehenden, und zwar kann man für  $\beta \cdot l > 2N$  die am Anfang ankommende reflektierte Welle praktisch vernachlässigen. Aus dem Eingangsscheinwiderstand der Leitungen bei offenem fernem Leitungsende (Leerlaufwiderstand  $\mathfrak{W}_L$ ) und dem bei kurzgeschlossenem Ende (Kurzschlußwiderstand  $\mathfrak{W}_K$ ) — beide Werte können leicht gemessen werden — läßt sich der Wellenwiderstand errechnen zu

$$\mathfrak{S} = \sqrt{\mathfrak{W}_L \cdot \mathfrak{W}_K}. \quad (6)$$

Von den beiden sich rechnerisch ergebenden Werten gilt der mit positivem Realteil.

Bei gleichmäßigen Leitungen sind der Drahtwiderstand, die Induktivität, die Ableitung und die Kapazität verhältnismäßig der Leitungslänge. Die Leitungsdämpfung ergibt sich also aus den auf die Längeneinheit bezogenen Werten Widerstand  $R$ , Induktivität  $L$ , Ableitung  $G$  und Kapazität  $C$ . Die meist auf 1 km bezogenen Werte  $R$ ,  $L$ ,  $G$  und  $C$  können bis auf etwa 2% genau berechnet werden; für genauere Untersuchungen werden sie durch Messungen bestimmt.  $R$ , der Widerstand einer Leiterschleife von 1 km Länge in Ohm, ist frequenzabhängig (Hauteffekt usw.) und dadurch größer als der Gleichstromwiderstand.  $L$ , die Selbstinduktion je km Leitung, wächst logarithmisch mit dem Verhältnis von Abstand zwischen Hin- und Rückleitung zu Leiterstärke ( $\mu = 1$  vorausgesetzt) und ist schwach frequenzabhängig.  $G$ , die Ableitung je km Leitung, ist fast verhältnismäßig der Frequenz.  $C$ , die kilometrische Kapazität der Leitung endlich, wächst mit kleiner werdendem Leiterabstand und kann als frequenzunabhängig angesehen werden.

Aus  $R$ ,  $L$ ,  $G$  und  $C$  ergibt sich das bezogene Übertragungsmaß zu

$$\gamma = \sqrt{(R + j \omega L)(G + j \omega C)}. \quad (7)$$

Führen wir mit  $\text{tg } \varepsilon = \frac{R}{\omega L}$  und  $\text{tg } \delta = \frac{G}{\omega C}$  zwei frequenzabhängige Winkelgrößen (Verlustwinkel)  $\varepsilon$  und  $\delta$  ein, dann gelten ganz allgemein und für jede gleichmäßige Leitung folgende Beziehungen:

$$\beta = \frac{\omega \sqrt{L \cdot C}}{\sqrt{\cos \varepsilon \cdot \cos \delta}} \cdot \sin \frac{\varepsilon + \delta}{2} \quad (8)$$

und

$$\alpha = \frac{\omega \sqrt{L \cdot C}}{\sqrt{\cos \varepsilon \cdot \cos \delta}} \cdot \cos \frac{\varepsilon + \delta}{2}. \quad (9)$$

Aus (8) und (9) läßt sich die ebenfalls allgemeingültige Gleichung ableiten

$$\alpha \beta = \omega \sqrt{LC} \left( \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right). \quad (10)$$

Für den Wellenwiderstand  $\mathfrak{S}$  ergibt sich

$$\mathfrak{S} = \sqrt{\frac{R + j \omega L}{G + j \omega C}}. \quad (11)$$

Der Wellenwiderstand der Leitung ist also, ganz gleich wie lang die Leitung ist, nur von  $R$ ,  $L$ ,  $G$  und  $C$  abhängig; er ist frequenzabhängig und auch gleich dem Grenzwert des Scheinwiderstandes bei unendlicher Leitungslänge. Mit  $\varepsilon$  und  $\delta$  ist der Wellenwiderstand ganz allgemein

$$\mathfrak{S} = \sqrt{\frac{L \cos \delta}{C \cos \varepsilon}} \cdot e^{-j \frac{\varepsilon - \delta}{2}}. \quad (12)$$

Aus den Gleichungen (8) bis (12) lassen sich einfachere und für die meisten praktischen Fälle ausreichende Näherungsformeln finden. Ist z. B.  $R \gg \omega L$  und  $G \ll \omega C$ , dieser Fall

liegt bei den dünnadrächtigen Kabelleitungen im Bereich der Sprachfrequenz vor, so gilt näherungsweise

$$\alpha = \beta = \sqrt{\frac{\omega RC}{2}} \quad (13)$$

$$\mathfrak{S} = \sqrt{\frac{R}{\omega C}} \cdot e^{-j45^\circ}, \quad (14)$$

d. h. das bezogene Dämpfungsmaß  $\beta$  ist ebenso groß wie das bezogene Phasenmaß  $\alpha$  ( $\alpha$  im Bogenmaß), und beide Maße wachsen mit der Wurzel aus der Frequenz. Daraus folgt, daß die hohen Töne merklich stärker gedämpft werden als die tiefen (s. auch Leitungsentzerrer S. 265). Die für die einzelnen Frequenzen verschiedene hohe Dämpfung ruft Verzerrungen hervor, die mit Dämpfungsverzerrungen bezeichnet werden. Der Betrag von  $\mathfrak{S}$  ist hier umgekehrt proportional der Wurzel aus der Frequenz; der Phasenwinkel hat nahezu den festen Wert  $-45^\circ$ .

Ist umgekehrt  $R \ll \omega L$  und wieder  $G \ll \omega C$ , dieser Fall der verlustarmen Leitung liegt bei den zunächst aus mechanischen Gründen starkdrächtigen Freileitungen vor, so erhält man näherungsweise

$$\alpha = \omega \sqrt{L \cdot C} \quad (15)$$

$$\beta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} = \beta_R + \beta_G \quad (16)$$

und

$$\mathfrak{S} = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot e^{-j\frac{\epsilon - \delta}{2}}. \quad (17)$$

Im NF-Bereich ist also  $\alpha$  der Frequenz verhältnismäßig und  $\beta$  näherungsweise frequenzunabhängig. Tatsächlich werden aber auch hier die hohen Töne mehr gedämpft als die tiefen, wenn auch in geringerem Maße als bei Kabelleitungen. Die Frequenzabhängigkeit steckt im wenig frequenzabhängigen  $R$  und stark frequenzabhängigen  $G$ .

Die Näherungsgleichungen gelten um so besser, je dünnadrächtiger die Kabelleitung bzw. je starkdrächtiger die Freileitung ist. Die Voraussetzung  $G \ll \omega C$  ist jedoch nicht mehr erfüllt, wenn die Frequenz sehr niedrig ist.

#### $\beta$ - und Z-Werte von einigen gleichmäßigen Leitungen

Freileitungen ( $f = 800$ Hz, $G = 0,5 \mu\text{S/km}$ )									
$d$ mm	Cu ( $a = 20$ cm)			Fe ( $a = 20$ cm)			Aldrey ( $a = 20$ cm)		
	$\beta$ mN/km	$\mathfrak{S} = Z_r - jZ_i$		$\beta$ mN/km	$\mathfrak{S} = Z_r - jZ_i$		$\beta$ mN/km	$\mathfrak{S} = Z_r - jZ_i$	
	$Z_r \Omega$	$Z_i \Omega$			$Z_r \Omega$	$Z_i \Omega$			$Z_r \Omega$
2,0	8,3	714	298	27,3	1765	970	—	—	—
2,5	5,8	657	198	21,8	1610	745	9,2	732	326
3,0	4,3	619	140	18,7	1450	610	7,0	674	235
4,0	2,7	574	83	15,5	1250	480	4,4	611	134
5,0	1,9	544	50	13,7	1095	405	3,0	573	86
Kabelleitungen ( $f = 800$ Hz, Papier-Lufttraum-Isolierung)									
	Cu			Cu (Krarup, 0,2 mm Eisendraht)					
	$\beta$ mN/km	$Z_r \Omega$	$Z_i \Omega$	$\beta$ mN/km	$Z_r \Omega$	$Z_i \Omega$			
0,6	103	577	553	—	—	—			
0,8	75	438	416	48	690	250			
1,0	59	377	346	35	615	170			
1,2	49	315	280	26	565	130			
1,4	42	274	231	(1,5) 19	510	100			

## Bespulte Leitung

In der Praxis wird stets eine möglichst kleine Ableitung  $G$  angestrebt. Läßt man deshalb in Gl. (16) das Glied  $\beta_G$  unberücksichtigt, so ergibt sich, daß  $\beta$  um so größer ist, je größer der Widerstand  $R$  und die Kapazität  $C$  sind und je kleiner die Induktivität  $L$  ist. Eine Erhöhung der Induktivität verringert also die Dämpfung (Heaviside, 1893).

Nach einem Vorschlag des Dänen Krarup wird eine Erhöhung der Induktivität dadurch erreicht, daß die Leiter mit dünnem Eisenband oder -draht besponnen werden. Solche Leitungen bleiben gleichmäßig; dennoch sind Krarup-Kabel vor allem wegen der umständlicheren Fertigung nur beschränkt verwendet worden. Sie werden als Einführungskabel und als Zwischenkabel in Freileitungsstrecken z. B. bei Flußübergängen verwendet, gelegentlich auch als Seekabel. Wegen der Wirbelstromverluste in Eisen steigt die Dämpfung bei höheren Frequenzen stark an. Die durch die Induktivitätserhöhung erzielte Dämpfungssenkung geht dann also wieder verloren. Nach dem heutigen Stand der Technik kann man aber Krarup-Kabel mit besonderen Eisenlegierungen noch bei Frequenzen bis etwa 40 kHz einsetzen.

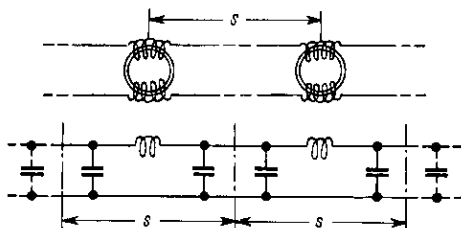


Bild 24. Zerlegung der bespulten Leitung in Dreieckschaltungen

Große Bedeutung hat ein älterer Vorschlag erlangt, die Induktivität durch punktförmiges Einschalten eisenhaltiger Spulen zu erhöhen. Voraussetzung für die praktische Auswertung dieses Vorschlages war jedoch eine Theorie (Pupin) solcher nun nicht mehr gleichmäßigen Leitungen. Das Ergebnis, durch Einschalten von Spulen in die Drähte (Bespulung), also durch Hinzufügen erheblicher Wechselstromwiderstände die Dämpfung verringern zu können, ist zunächst überraschend. Man darf jedoch nicht übersehen, daß die Rückleitung im Vergleich zur Leitungslänge sehr nahe bei der Hinleitung liegt, daß die Wirkung der Spule durch das Zusammenwirken von Spuleninduktivität und Leitungskapazität, also aus dem elektromagnetischen Feld zu verstehen ist.

Grundsätzlich lassen sich Kabel- und Freileitungen bespulen. Die Nachteile der Bespulung der Freileitung — Magnetisierung und Änderung der Isolation der Spulen durch atmosphärische Entladungen, Beschränkung der Mehrfachausnutzung durch TF-Einrichtungen, Inkonstanz durch Erhöhung der Ableitungsdämpfung u. a. — stehen aber in einem ungünstigen Verhältnis zu den hier geringen Vorteilen, so daß schon seit längerer Zeit auf die Bespulung von Freileitungen verzichtet wird.

Die bespulte Leitung gehört nicht mehr zu den gleichmäßigen Leitungen; ihre Übertragungseigenschaften sind also besonders zu untersuchen.

Die bespulte Leitung besteht aus gleich langen Stücken einer gleichmäßigen Leitung, die durch Spulen miteinander verbunden sind (Spulenfelder). In Deutschland ist es üblich, die Spulenleitung durch Schnitte jeweils in der Mitte eines Spulenfeldes in Dreieckschaltungen zu zerlegen (Bild 24), jede Leitung also mit einem halben Spulenfeld anfangen bzw. enden zu lassen. Eine bestimmte Induktivitätserhöhung und damit Dämpfungsminderung kann dadurch erreicht werden, daß in kurzen Abständen Spulen geringer

Induktivität oder in größeren Abständen Spulen größerer Induktivität gesetzt werden. Kleine Spulen eng gesetzt werden am ehesten der Leitung ihren Charakter als gleichmäßige Leitung belassen; die Grenze bestimmen Wirtschaftlichkeitsberechnungen. Praktisch einfacher ist ein großer Spulenabstand, jedoch kann der Spulenabstand  $s$  aus elektrischen Gründen auch nicht beliebig groß gewählt werden. Aus der Leitungskapazität und der Induktivität eines Spulenfeldes bildet sich ein Tiefpaßfilter, das bekanntlich eine Grenzfrequenz  $f_0$  hat. Unterhalb  $f_0$  ist die Dämpfung klein, steigt aber allmählich nach der Grenzfrequenz zu an. Oberhalb  $f_0$  ist die Dämpfung groß. Der Frequenzbereich wird also in einen Durchlaßbereich und einen Sperrbereich aufgeteilt; wie wir noch sehen werden, ist die Grenzfrequenz bei einer bestimmten Dämpfungsminderung nicht fest gegeben, sondern hängt auch vom Spulenabstand  $s$  ab.

Während bei einer idealen Spulenleitung (verlustfreie Längsinduktivität und Querkapazität) die Dämpfung im Durchlaßbereich gleich Null ist, kann bei der verlustbehafteten Spulenleitung das auf den Spulenabstand  $s$  bezogene Dämpfungsmaß  $b_s$  diesen Grenzwert nicht erreichen.  $b_s$  ist in erster Linie bestimmt durch das Dämpfungsmaß  $b_0$  eines Gliedes einer Vergleichsleitung, bei der man sich die Leitungs- und Spuleninduktivität gleichmäßig verteilt denkt; die gleichmäßig verteilte Induktivität der Ersatzleitung sei  $L_0$ . Für eine solche Vergleichsleitung ist  $R_0 \ll \omega L_0$ , und so gilt wieder näherungsweise für das Dämpfungsmaß  $b_0$  die der Gleichung (16) entsprechende Gleichung

$$b_0 = \frac{R_0}{2} \sqrt{\frac{C_0}{L_0}} + \frac{G_0}{2} \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \quad [\text{N}], \quad (18)$$

für das Phasenmaß  $a_0$  die der Gleichung (15) entsprechende Gleichung

$$a_0 = \omega \sqrt{L_0 \cdot C_0} \quad (19)$$

und für die Grenzfrequenz

$$f_0 = \frac{1}{\pi \sqrt{L_0 \cdot C_0}}. \quad (20)$$

Das Dämpfungsmaß  $b_s$  eines Spulengliedes kann dann im Durchlaßbereich (aber nicht bei sehr kleinen Frequenzen und nicht in der Nähe der Grenzfrequenz  $f_0$ ) näherungsweise mit

$$b_s = \frac{b_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}} \quad [\text{N}] \quad (21)$$

angesetzt werden, und für das auf den Spulenabstand  $s$  bezogene Phasenmaß  $a_s$  gilt

$$\sin \frac{a_s}{2} = \frac{f}{f_0}. \quad (22)$$

Als Näherungsformel für den Wellenwiderstand  $\mathfrak{Z}$  ergibt sich unter der Voraussetzung  $R_0 \ll \omega L$ ,  $G_0 = \text{Null}$

$$\mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}} - \frac{j R_0}{4} \frac{1}{\frac{f}{f_0} \left[1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right]^{3/2}}. \quad (23)$$

Eine Leitung mit  $n$  Spulengliedern hat dann die Gesamtdämpfung  $n \cdot b_s$  und das Phasenmaß  $n \cdot a_s$ ;  $n$ mal größer wird auch die Steilheit des Dämpfungsanstieges. Bei sehr niedrigen Frequenzen, also sehr kleinem  $\omega$ , ist die Voraussetzung  $R_0 \ll \omega L_0$  nicht mehr erfüllt. Für sehr niedrige Frequenzen ist  $b_s < b_0$  und das Phasenmaß praktisch gleich Null; der Wellenwiderstand steigt bei abnehmender Frequenz sehr stark an.

Der Frequenzgang des Wellenwiderstandes der bespulten Leitung wird schon durch kleine Ungleichmäßigkeiten im Kabelaufbau sehr gestört. Die Abweichungen des Wellenwiderstandes sind bei den Frequenzen am größten, bei denen auch der Leerlauf- und

Kurzschlußwiderstand extreme Werte erreichen. Die Theorie ergibt, daß für leicht nachbildbare bespulte Leitungen die Induktivitäten und Kapazitäten größte Gleichmäßigkeit aufweisen müssen. Die Nachbildbarkeit wird weiter durch andere Unregelmäßigkeiten beeinflusst, z. B. durch Abweichungen im Spulenabstand, kurzgeschlossene Spulen und kalte Lötstellen.

Die Bespulation einer Leitung hat noch eine andere sehr unerwünschte Wirkung: das Phasenmaß wächst durch die Bespulation in dem gleichen Maße, in dem  $Z$  erhöht, die Dämpfung also erniedrigt wird. Im Weitverkehr muß deshalb die durch die verminderte Fortpflanzungsgeschwindigkeit  $v = \frac{d\omega}{d\alpha}$  bedingte höhere Laufzeit,

$$t_0 = \frac{l}{v} = l \frac{d\alpha}{d\omega} = \frac{d\alpha}{d\omega} \text{ auch Gruppenlaufzeit [= Laufzeit einer Wellengruppe] genannt,}$$

beachtet werden. Bild 25 zeigt den Einfluß der Laufzeit auf den Gesprächsfluß. 200 ms Laufzeit beeinflussen danach nicht den Ablauf des Gesprächs, 0,5 s stört bereits die meisten Teilnehmer. Zwischen zwei Teilnehmern läßt man deshalb nur 200...250 ms zu, zwischen den Endpunkten der eigentlichen Weitverbindung nur etwa 100 ms. Leitungen für Weitverbindungen dürfen also nur leicht oder überhaupt nicht bespult werden.

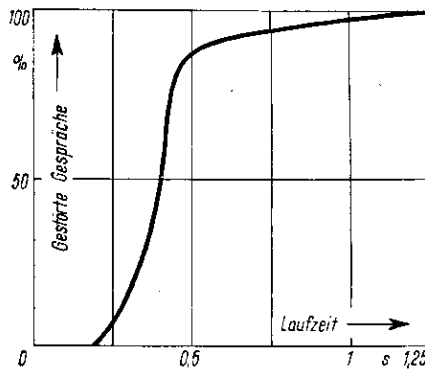


Bild 25. Einfluß der Laufzeit auf den Gesprächsfluß

Ferner sinkt die Grenzfrequenz  $f_0$  in demselben Maße, wie der Wellenwiderstand steigt. Das ist aus der etwas umgeformten Gleichung (20) zu erkennen, wenn man  $C_0 = s \cdot C$ ;  $L_0 = L_p$  einsetzt.

$$f_0 = \frac{1}{\pi \sqrt{L_0 C_0}} = \frac{1}{\pi \sqrt{L_p s C}} = \frac{1}{\pi \sqrt{\frac{L_p s}{s L} L s C}} = \frac{1}{\pi s \sqrt{\frac{L_p}{s L} \sqrt{C L}}} = \frac{\text{const}}{s w}$$

$w = \sqrt{\frac{L_p}{s L}}$  gibt das Maß der Induktivitätserhöhung, also der Erhöhung des Wellenwiderstandes an. Im Nenner steht außerdem  $s$  der Spulenabstand. Die Grenzfrequenz hängt also auch davon ab, in welchem Abstand die Spulen eingefügt werden. Ein großes  $s$  gibt eine niedrige Grenzfrequenz, d. h. die Wahl der oberen Grenze von  $s$  hängt davon ab, welches Frequenzband übertragen werden soll. Die untere Grenze ist dadurch gegeben, daß viele Spulen die Leitung nicht nur verteuern, sondern auch zuviel Widerstand in die Leitung bringen. Im Fernmeldenetz der Deutschen Reichspost ist für NF-, L- und S-Leitungen einheitlich der wirtschaftlich günstige Wert von  $s=1,7$  km festgelegt.

Hiervon wird allerdings bei Einführungs- und Zwischenkabeln für Freileitungen abgewichen, bei denen es weniger auf eine Dämpfungsminderung als auf eine Anpassung der Wellenwiderstände ankommt und bei deren Kürze die Spulenkosten keine Rolle spielen. Kleinere Spulenabstände werden neuerdings zum Teil auch bei Leitungen gewählt, die mit in hohen Frequenzbereichen arbeitenden TF-Einrichtungen belegt werden; man spricht dann von dicht bespulten Leitungen.

Auch die mit zwei Stammleitungen gebildeten Phantomleitungen lassen sich bespulen. Dabei ist es üblich, gleichen Spulenabstand für die Phantom- und Stammspulen zu wählen und auf gleiche Dämpfung für alle Sprechkreise zu bespulen. Die DM-Verseilung der Adernpaare bringt bei gleicher bezogener Dämpfung für Stamm und Phantomkreis eine höhere Grenzfrequenz des Phantomkreises. Bei Stern-Verseilung dagegen ergibt sich bei gleicher Dämpfung der Phantom- und Stammkreise für den Phantomkreis eine niedrigere Grenzfrequenz. Eine Phantombildung ist bei bespulten sternverseilten Adern in öffentlichen Netzen nicht brauchbar und nur dann am Platze, wenn die geringere Übertragungsgüte des Phantomkreises in Kauf genommen werden kann. Bespulte sternverseilte Leitungen finden wir hier als Bezirksleitungen, bei denen kein Phantomkreis gebildet wird.

Für die Bespulung der Phantomkreise wird eine dritte Spule, die Phantomspule, benötigt. Sie hat vier Teilwicklungen, die so geschaltet sind, daß nur der Strom des Phantomkreises in der Phantomspule magnetisierend wirkt; für den im Stammkreis fließenden Strom sind die beiden Teilwicklungen gegeneinander geschaltet. Umgekehrt wirkt in den Stammspulen nur der Strom des Stammkreises. Die drei zu einem Vierer gehörenden Spulen werden gewöhnlich zu einem Spulensatz in gemeinsamer Blechkappe vereinigt. Alle zu einem Spulenpunkt gehörenden Spulensätze wiederum werden in einem wasserdichten Spulenkasten untergebracht, der im Zuge des Kabels mit in die Erde gesetzt wird.

### $\beta$ - und Z-Werte einiger bespulpter Kabelleitungen

Deutsche bespulte Kabelleitungen (DM-Verseilung)											
		140/56 mH; $s = 1,7$ km				30/12 mH; $s = 1,7$ km			3,2 mH; $s = 1,7$ km		
$d$ mm	Hz	$\beta$ mN/km	$\Sigma = Z_r - jZ_i$		$\beta$ mN/km	$\Sigma = Z_r - jZ_i$		$\beta$ mN/km	$\Sigma = Z_r - jZ_i$		
			$Z_r$	$Z_i$		$Z_r$	$Z_i$		$Z_r$	$Z_i$	
0,9	Stamm	300	18,7	1590	300	32,5	890	508			
		800	19,3	1610	120	38,8	770	230			
		2100	21,0	2000	75	39,6	770	95			
		2700	22,7	2447	52	39,9	790	80			
	Phantom	300	18,4	850	180	30,8	468	295			
		800	19,1	800	70	37,8	397	138			
		2100	20,0	891	32	39,2	385	60			
		2700	20,8	994	27	39,7	390	45			
1,4	Stamm	300	8,9	1530	130				35,2	415	350
		800	9,5	1560	50				35,8	330	185
		2100	11,7	1915	40				41,8	288	88
		2700	12,7 <sup>1)</sup>	2120 <sup>1)</sup>	45 <sup>1)</sup>				43,0	280	68
	Phantom	300	8,9	760	78						
		800	9,5	773	31						
		2100	10,8	870	14						
		2700	11,2 <sup>1)</sup>	915 <sup>1)</sup>	13 <sup>1)</sup>						

1) Werte für 2400 Hz

### 3. Begriffe Wellendämpfung, Betriebsdämpfung, Restdämpfung und Pegel

Bei beiderseitigem Abschluß einer Leitung mit ihrem Wellenwiderstand  $\mathfrak{Z}$  ist ihre Dämpfung  $b$  bestimmt durch das Verhältnis der Scheinleistung  $N_1 = J_1 \cdot U_1$  am Anfang der Leitung zur Scheinleistung  $N_2 = J_2 \cdot U_2$  am Ende der Leitung gemäß der Beziehung

$$e^{2b} = \frac{N_1}{N_2} \quad (24)$$

oder auch

$$b = \ln \frac{U_1}{U_2} = \ln \frac{J_1}{J_2} = \frac{1}{2} \ln \frac{J_1 \cdot U_1}{J_2 \cdot U_2} \text{ [N]}. \quad (25)$$

Die so bestimmte Dämpfung  $b$  heißt Wellen-(Vierpol-)dämpfung der Leitung. Ganz allgemein ist Wellendämpfung die Dämpfung eines mit seinen Wellenwiderständen (früher auch Kennwiderstände genannt) abgeschlossenen Vierpols.

Die Voraussetzung der vollkommenen Anpassung ist aber in der Praxis nur selten erfüllt. Um für beliebig abgeschlossene Vierpole ein bequemes Maß ihrer Dämpfung unter Betriebsverhältnissen zu haben, ist der Begriff der Betriebsdämpfung geschaffen worden. Liegt am Eingang des betrachteten Vierpols mit einem beliebigen Wellenwiderstand  $\mathfrak{Z}$  ein Generator mit dem inneren Widerstand  $\mathfrak{Z}_1$ , so ist die Betriebsdämpfung  $b_B$  bestimmt durch das logarithmische Verhältnis der Scheinleistung  $N'_S$ , die der Generator an einen Widerstand  $\mathfrak{Z}_1$  abgeben würde, zu der Scheinleistung  $N_S$ , die er unter Zwischenschaltung

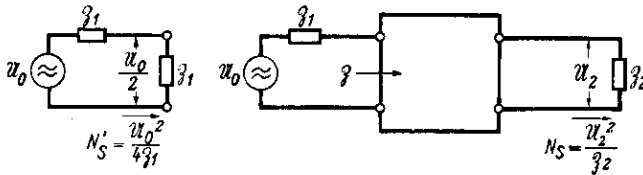


Bild 26. Zum Begriff der Betriebsdämpfung

des Vierpols an dessen Abschlußwiderstand  $\mathfrak{Z}_2$  abgibt (Bild 26). Die Vergleichsleistung  $N'_S$  hängt also nur vom Generator ab und nicht von den Eigenschaften des jeweils zu messenden Vierpols einschließlich dessen Verbraucherwiderstandes.

Mit den Bezeichnungen des Bildes 26, ferner  $Z =$  Betrag von  $\mathfrak{Z}$  und  $U =$  Betrag von  $U$  ist also:

$$e^{2b_B} = \frac{N'_S}{N_S} = \frac{U_0^2 \cdot Z_2}{4 U_2^2 \cdot Z_1} \quad (26)$$

oder

$$b_B = \ln \frac{U_0}{2 U_2} + \frac{1}{2} \ln \frac{Z_2}{Z_1} \text{ [N]}. \quad (27)$$

Positives Vorzeichen bedeutet Dämpfung, negatives Vorzeichen bedeutet Verstärkung (auch mit Betriebsverstärkung  $s_B$  bezeichnet).

Wie Gleichung (27) zeigt, hängt die Betriebsdämpfung zunächst einmal vom Verhältnis der Sender-EMK zur Spannung am Ende der Leitung ab. Lineare (stromunabhängige) Vierpole vorausgesetzt, ist dieses Verhältnis unabhängig von der Sender-EMK. Die Betriebsdämpfung einer Leitung hängt aber von ihren Abschlüssen  $\mathfrak{Z}_1$  und  $\mathfrak{Z}_2$  ab. Es gibt also an sich beliebig viele Betriebsdämpfungen einer Leitung. Für den Vergleich der

Betriebsdämpfungsangaben für zwei Leitungen ist es zweckmäßig, genormte Abschlußwiderstände zu verwenden. Man wählt aus diesem Grunde den Generator-Innenwiderstand  $\mathfrak{S}_1$  und den Verbraucherwiderstand  $\mathfrak{S}_2$  zu  $600\Omega$ ,  $\sphericalangle 0^\circ$  (gleich dem inneren Widerstand des später behandelten „Normalgenerators“), und nennt diesen Fall der Betriebsdämpfung die Restdämpfung. Es gilt also

$$b_R = \ln \frac{U_0}{2U_2} [\text{N}]. \quad (28)$$

Das Wort Restdämpfung erklärt sich daraus, daß damit zunächst einmal ausgesagt werden sollte, welchen Rest an Dämpfung die Verstärker in einer Leitung noch übrig lassen; heute gilt es ganz allgemein auch für verstärkerlose Leitungen.

Eine Verbindung besteht in den meisten Fällen aus einer Kette von Leitungen und Vierpolen, die einander nicht genau angepaßt sind. Die Betriebsdämpfung der gesamten Verbindung ergibt sich deshalb nicht ohne weiteres aus den Betriebsdämpfungen der einzelnen Glieder einer Kettenschaltung.

Zur Darstellung der Leistungs- bzw. Spannungs- und Stromverhältnisse längs eines Übertragungssystems wird der Begriff Pegel — ähnlich den Pegelangaben für Wasserstände — gebraucht. Je nach den Größen, die zueinander in ein logarithmisches Verhältnis gesetzt werden, ist zu unterscheiden zwischen Leistungs-, Spannungs- und Strompegel. Wird dabei der Wert an der Meßstelle verglichen mit dem entsprechenden am Anfang des Übertragungssystems, so spricht man vom relativen Pegel, wird er verglichen mit einem genormten Bezugswert, so spricht man vom absoluten Pegel.

Sind  $N_x$  und  $U_x$  Leistung bzw. Spannung an der Meßstelle,  $N_A$  und  $U_A$  Leistung bzw. Spannung am Anfang des Systems, so ergibt sich demnach:

für den relativen Leistungspegel

$$p = \frac{1}{2} \ln \frac{N_x}{N_A} [\text{N}], \quad (29)$$

für den relativen Spannungspegel

$$p_s = \ln \frac{U_x}{U_A} [\text{N}]. \quad (30)$$

Der relative Pegel am Anfang der Leitung ist also immer gleich Null. Als Anfang gilt bei Fernspreitleitungen die Fernplatzklynke, bei Rundfunkleitungen der Ausgang des Mikrofon-Leitungsverstärkers. Aus Gleichung (29) folgt, daß der an irgendeinem Punkt der Leitung bestehende relative Leistungspegel  $p$  bei positiver Dämpfung ( $N_x < N_A$ ) ein negatives Vorzeichen hat und bei negativer Dämpfung = Verstärkung ( $N_x > N_A$ ) ein positives Vorzeichen. Das gleiche gilt nach Gleichung (30) für den relativen Spannungspegel.

Sind ferner  $N_1$  und  $U_1$  genormte Bezugsgrößen, so sind der absolute Leistungspegel

$$p = \frac{1}{2} \ln \frac{N_x}{N_1} [\text{N}] \quad (31)$$

und der absolute Spannungspegel

$$p_s = \ln \frac{U_x}{U_1} [\text{N}]. \quad (32)$$

Durch zwischenstaatliche Regelung ist festgesetzt, daß diese Normalwerte durch einen „Normalgenerator“ gegeben sind, der bei konstanter EMK einen inneren Widerstand von  $Z_1 = 600\Omega$ ,  $\sphericalangle 0^\circ$  hat und an einen gleichen äußeren Widerstand  $Z_1$  die Leistung  $N_1 = 1\text{mW}$

abgibt. Die EMK des Normalgenerators ist demnach  $U_0 = 1,55 \text{ V}$ , der Normalwert der Klemmenspannung an dem Belastungswiderstand  $Z_1$  beträgt  $U_1 = U_0/2 = 0,775 \text{ V}$  und der Normalwert des in diesem Belastungswiderstand fließenden Stromes  $J_1 = 1,29 \text{ mA}$ . Die Normalwerte  $0,775 \text{ V}$ ,  $1,29 \text{ mA}$  und  $1 \text{ mW}$  werden mit „Spannungs-, Strom- bzw. Leistungspegel Null“ bezeichnet.

Mit diesen Normalwerten als Bezugsgrößen gehen die Gleichungen (31) und (32) über in

$$p = \frac{1}{2} \ln \frac{N_x}{1 \text{ mW}} [\text{N}] \quad (33)$$

und

$$p_s = \ln \frac{U_x}{0,775 \text{ V}} [\text{N}]. \quad (34)$$

Pegelmesser messen die Spannung  $U_x$ , werden aber gleich in absoluten Spannungspegeln geeicht. Für den absoluten Leistungspegel gilt

$$p = \frac{1}{2} \ln \frac{N_x}{1 \text{ mW}} = \frac{1}{2} \ln \frac{U_x^2 \cdot 600 \Omega}{Z_2 \cdot 0,775^2 \text{ V}^2} = \ln \frac{U_x}{0,775 \text{ V}} - \frac{1}{2} \ln \frac{Z_2}{600 \Omega} [\text{N}]. \quad (35)$$

Der Vergleich der Gleichungen (35) und (34) zeigt, daß sich der absolute Leistungspegel vom absoluten Spannungspegel an der gleichen Meßstelle lediglich durch die Korrekturgröße  $\Delta = \frac{1}{2} \ln \frac{Z_2}{600 \Omega}$  unterscheidet, die durch die Scheinwiderstandsabweichung von  $Z_2$  gegen  $600 \Omega$  bedingt ist. Zum Vergleich des Spannungspegels mit dem Leistungspegel bei beliebigem  $Z_2$  dient das in Bild 27 gezeigte Diagramm, das den Unterschied zwischen den Gleichungen (35) und (34) in Abhängigkeit von dem Verhältnis  $Z_2/600 \Omega$  darstellt.

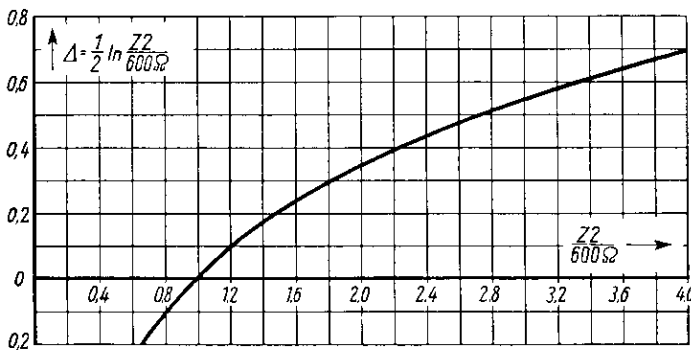


Bild 27. Ermittlung des Leistungspegels  $p$  aus dem Spannungspegel  $p_s$

$$p = p_s - \Delta = \ln \frac{U_x}{0,775 \text{ V}} - \frac{1}{2} \ln \frac{Z_2}{600 \Omega}$$

Wie die Gleichungen (35) und (34) ferner zeigen, wird in dem Fall des beiderseitigen Abschlusses der Leitung mit  $600 \Omega$  der absolute Leistungspegel  $p$  gleich dem gemessenen Wert des absoluten Spannungspegels  $p_s$  und nach Gleichung (28) mit umgekehrten Vorzeichen auch gleich der Restdämpfung. Vergleichen wir schließlich Gleichung (35) mit (27), so zeigt sich, daß der absolute Leistungspegel  $p$  den Betrag der Betriebsdämpfung  $b_B$

hat, wenn  $b_B$  mit einem Normalgenerator als Meßstromquelle bestimmt wird.  $p$  und  $b_B$  unterscheiden sich nur durch das Vorzeichen. Es gilt in diesem Fall

$$e^{2p} = e^{-2b_B} \quad (36)$$

Um den Verlauf des relativen Leistungspegels längs einer Leitung A—B darzustellen, wählt man das Pegeldiagramm (Bild 28). Beim Aufstellen eines Pegeldiagrammes ergibt sich der niedrigste Pegel einerseits aus der Verstärkungsziffer der eingesetzten Verstärker und andererseits aus dem zu erwartenden Geräuschpegel (Röhrenrauschen,

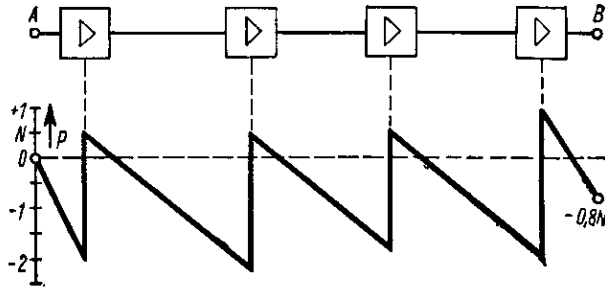


Bild 28. Beispiel für ein Pegeldiagramm

Stromversorgungsgeräusch, Nebensprechen, Starkstrombeeinflussung) und dem zulässigen Störpegelabstand (s. S. 254). Der obere Pegelwert ist in erster Linie durch die Leistungsfähigkeit der Verstärker und die Möglichkeit der Beeinflussung benachbarter Leitungen begrenzt, vor allem dann, wenn diese einen niedrigen Übertragungspegel haben.

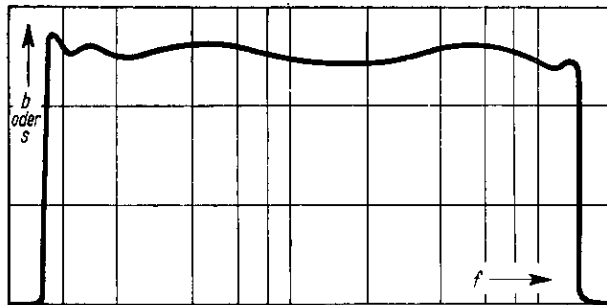


Bild 29. Beispiel für eine Pegelkurve

Die Pegelkurve (Bild 29), wie sie z. B. der Pegelschreiber selbsttätig aufzeichnet, zeigt die Frequenzabhängigkeit des absoluten Pegels an der Meßstelle, also die Dämpfungsverzerrungen (auch lineare Verzerrungen genannt) des gemessenen Vierpols.

Der absolute Spannungspegel wird auch mit Meßpegel bezeichnet, wenn die Leitung von einem Normalgenerator gespeist wird. Hat die Leitung einen Eingangsscheinwiderstand von  $600 \Omega$ , dann ist der absolute Spannungspegel gleich dem relativen Spannungspegel gleich dem Meßpegel. Der Meßfehler bleibt in annehmbaren Grenzen, wenn der Eingangsscheinwiderstand der Leitung  $600$  bis  $950 \Omega$  bei  $800$  Hz beträgt.

#### 4. Begriffe Geräusche, Kopplungen und Verzerrungen

Die Güte einer Übertragung wird nicht nur durch Leistungsverluste, sondern auch durch die verschiedenen Geräusche und Verzerrungen beeinträchtigt.

An Geräuschen, die ein Ferngespräch stören können, werden unterschieden:

- das Raumgeräusch an der Sprechstelle,
- das Mikrofongeräusch, vom Mikrophon erzeugt, und
- die verschiedenen Leitungsgeräusche:

Verstärkergeräusch, von den Verstärkerröhren hervorgebracht, verständliches Nebensprechen durch Sprechströme, die ohne Verschiebung oder Umkehrung des Frequenzbandes aus einem störenden Sprechkreis in den gestörten übergehen,

unverständliches Nebensprechen durch Sprechströme, die mit Verschiebung oder Umkehrung des Frequenzbandes aus einem störenden Sprechkreis oder -kanal in den gestörten übergehen,

Geräusche durch Einschwingvorgänge,

Kratzgeräusche durch schlechte Leitungskontakte oder Unterbrechungsstellen,

Knackgeräusche durch plötzliche Kondensatorentladungen oder Schaltvorgänge,

Telegrafiergeräusche durch Fernschreiberanordnungen auf den gleichen oder auf benachbarten Adern desselben Leitungsbündels,

Stromversorgungsgeräusch, durch Speiseeinrichtungen für Mikrofone und Verstärker erzeugt, und

Starkstromgeräusch, durch die magnetische oder elektrische Einwirkung von Starkstromanlagen hervorgebracht.

Bei der Untersuchung dieser Geräusche wird mit Fremdspannung die im Übertragungssystem hervorgerufene störende Spannung bezeichnet, und zwar bei Frequenzgemischen die effektive Summenspannung. Beim Abhören über ein Telefon entsteht ein subjektiver Störeindruck, der nicht nur vom Betrag der Fremdspannung, sondern auch von der Verteilung der Frequenzen abhängt, weil die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres und das Übertragungsmaß des Telefons frequenzabhängig sind. Die entsprechend frequenzbewertete Spannung heißt Geräuschspannung. Um diese objektiv messen zu können, gibt man dem Anzeigergerät (Geräuschspannungsmesser) vor der effektiven Summierung ein Filter, dessen Übertragungsmaß als mittlerer Frequenzgang von Ohr und Telefon festgesetzt ist („A-Filter“). Dabei wurde 800 Hz als Bezugsfrequenz gewählt, d. h. für einen reinen Ton von 800 Hz ist die Geräuschspannung gleich der Fremdspannung.

Von den verschiedenen Leitungsgeräuschen sei das Nebensprechen und das Starkstromgeräusch etwas näher behandelt.

Benachbarte Nachrichtenleitungen beeinflussen sich gegenseitig dadurch, daß jede Leitung im elektromagnetischen Feld der anderen liegt.

Bei Freileitungen werden die das Nebensprechen verursachenden Kopplungen dadurch niedrig gehalten, daß man die Leitungen in regelmäßigen Abständen gegeneinander kreuzt. Beim richtigen Kreuzen werden die Kopplungen gleich langer Leitungsabschnitte gegeneinander geschaltet, so daß sie sich in ihrer Gesamtwirkung aufheben. Das gelingt nicht vollkommen, weil durch Baufehler (Durchhangdifferenzen und ungleiche Mast-

abstände), die sich durch große Baugenauigkeit zwar herabsetzen, aber nicht ganz vermeiden lassen, die Kopplungen der einzelnen Abschnitte nicht genau gleich sind. Diese Baufehlerkopplungen müssen um so kleiner sein, je höher die übertragene Frequenz ist. Sie spielen bei Niederfrequenz-Übertragung nur eine untergeordnete Rolle.

Trägt ein Gestänge mehrere Leitungen, so müssen alle Leitungen gegeneinander ausgekreuzt sein. Das bedeutet einmal, daß die Kreuzungsstellen nicht alle an demselben Ort liegen dürfen, zum anderen, daß die Kreuzungsschritte verschieden lang sein müssen. Bild 30 zeigt, wie z. B. vier Leitungen gegeneinander ausgekreuzt werden können. Die

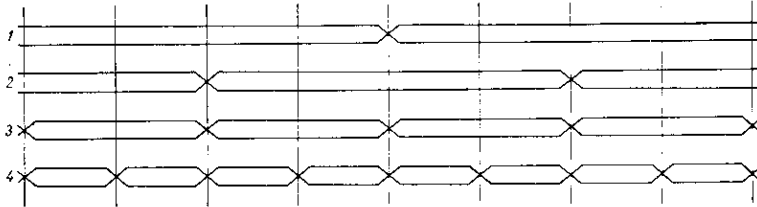


Bild 33. Beispiel für das Auskreuzen von vier Leitungen

Kreuzung muß in um so kürzeren Kreuzungsschritten erfolgen, je höher die übertragene Frequenz bzw. je kleiner die Wellenlänge ist. Als Grundregel für die Bemessung kann man die Forderung aufstellen, daß der größte Kreuzungsabstand immer kleiner als ein Viertel der kleinsten übertragenen Wellenlänge sein muß. Bei einer Übertragungsfrequenz von 100 kHz z. B. beträgt die Wellenlänge 3 km, der größte Kreuzungsschritt dürfte also nicht größer als 750 m sein. Für Leitungen mit nur Niederfrequenz-Übertragung beträgt die kürzeste Wellenlänge rund 100 km, also der größte Kreuzungsschritt höchstens etwa 25 km.

Die dicht beieinander liegenden Leitungen der Kabel werden stetig gegeneinander verdrillt. Von Paarverseilung spricht man, wenn nur jede Doppelleitung für sich verdrillt ist. Die einzelnen Lagen werden nochmals als Ganzes mit einem anderen Drall verdrillt. Eine Phantombildung ist hier nicht möglich, weil die Vierer nicht gegeneinander verdrillt sind und so zwischen zwei Phantomkreisen ein starkes Nebensprechen entstehen würde. Will man die Phantomkreise ausnutzen, was bei Niederfrequenz-Leitungen meistens geschieht, so wählt man die Vierer-Verseilung. Es gibt zwei Arten der Vierer-Verseilung: die Stern-Verseilung und die DM-Verseilung (Dieselhorst-Martin).

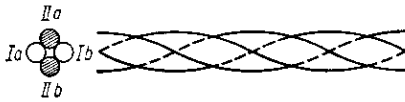


Bild 31. Stern-Verseilung

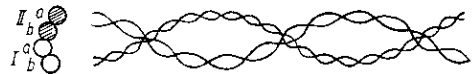


Bild 32. DM-Verseilung

Der Sternvierer (Bild 31) bringt günstigste Raumaussnutzung durch einen ziemlich gleichmäßigen zylindrischen Querschnitt des Vierers. Die Kopplungen zwischen den Paaren (Stämmen) des gleichen Vierers sind bei der Stern-Verseilung durch die senkrechte Anordnung der Paare zueinander sehr klein. Die Kapazität des Phantomkreises beträgt jedoch etwa das 2,7fache der Stammkapazität. Daher hat der Phantomkreis des Sternvierers stets ungünstigere Übertragungseigenschaften als seine Stammkreise. Der Sternvierer wird deshalb mit Vorliebe bei Kabeln ohne Phantomausnutzung z. B. bei Seekabeln und bei TF-Kabelleitungen angewandt.

Bei der DM-Verseilung wird jedes Paar für sich und dann werden beide zusammen nochmals verdreht (Bild 32). Jede Dralllänge ist verschieden von der anderen. Die Raumausnutzung je Vierer ist dadurch ungünstiger als beim Sternvierer. Die Kapazität der Phantomleitungen beträgt hier etwa das 1,6fache der Stammkapazität.

Die Verdrehung der Kabelleitungen entkoppelt auch bei sorgfältigster Ausführung nicht in ausreichendem Maße. Bei größeren Leitungslängen bleibt deshalb ein Nebensprechen durch Restkopplungen, die durch besondere Maßnahmen auf einen zulässigen Wert gemindert werden müssen. Zwei Verfahren sind grundsätzlich möglich und auch üblich: Die durch Messung bestimmten Restkopplungen werden entweder durch Kreuzungsausgleich z. B. an den Verbindungsstellen der Fabrikationslängen gegeneinandergeschaltet oder durch kleine Kondensatoren, z. B. durch Einschalten in der Mitte eines jeden Spulenfeldes, möglichst ganz aufgehoben (Kondensatorausgleich). Um das Eindringen von Störgeräuschen von außen zu verhindern, wird durch Erdausgleich auch die Kapazität der Adern gegen Erde abgeglichen.

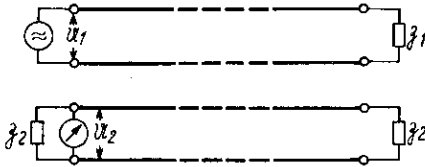


Bild 33a. Nahnebensprechen



Bild 33b. Fernnebensprechen

Nebensprechen ist der Sammelbegriff für die gegenseitige Beeinflussung von Nachrichtenleitungen. Im einzelnen wird zwischen Nahnebensprechen (Bild 33a) und Fernnebensprechen (Bild 33b) unterschieden, je nachdem ob die Stromquelle der störenden Leitung und die Meßstelle der gestörten Leitung am gleichen oder entgegengesetzten Ende liegen. Die gegenseitige Beeinflussung von zwei Stammleitungen oder von zwei Phantomkreisen wird näher mit Übersprechen bezeichnet im Gegensatz zum Mitsprechen bei der gegenseitigen Beeinflussung von Phantomkreis und Stammleitung des gleichen Verseilelements.

Die Nebensprechdämpfung ist gegeben durch das halbe logarithmische Verhältnis der in den Anfang der störenden Leitung gesendeten Leistung  $N_{S1}$  zu der am Anfang oder Ende der gestörten Leitung unter bestimmten Abschlußbedingungen auftretenden unerwünschten Leistung  $N_{S2}$  bzw.  $N_{S3}$ . Vollständige Sprechkreise zwischen zwei Fernämtern werden gewöhnlich mit Widerständen von  $600 \Omega$ ,  $\approx 0^\circ$  abgeschlossen, Verstärkerfelder oder einzelne Kabellängen mit ihren Wellenwiderständen. Es gilt also mit den Bezeichnungen der Bilder 33a und 33b für die Nahnebensprechdämpfung

$$b_n = \frac{1}{2} \ln \frac{N_{S1}}{N_{S2}} = \ln \frac{U_1}{U_2} + \frac{1}{2} \ln \frac{Z_2}{Z_1} \quad [\text{N}] \quad (37)$$

und für die Fernnebensprechdämpfung

$$b_g = \frac{1}{2} \ln \frac{N_{S1}}{N_{S3}} = \ln \frac{U_1}{U_3} + \frac{1}{2} \ln \frac{Z_2}{Z_1} \quad [\text{N}]. \quad (38)$$

Mit gleichen Abschlußwiderständen ( $Z_1 = Z_2$ ) ergibt sich also die Nebensprechdämpfung als logarithmisches Verhältnis von zwei leicht zu messenden Spannungen.

Die Störwirkung des Nebensprechens ist bei gleicher Nebensprechdämpfung um so größer, je größer der Pegel der störenden Leitung gegenüber dem der gestörten Leitung ist. Ferner muß der durch das Nebensprechen hervorgerufene Störpegel um einen Mindestbetrag  $b_0$  niedriger liegen als der Pegel der Nutzströme in der gestörten Leitung. Der geforderte Wert  $b_0$  wird der Grundwert der Nebensprechdämpfung genannt. Er ist definiert zu

$$b_0 = \frac{1}{2} \ln \frac{N_{S1}}{N_{S2}} \text{ [N]}. \quad (39)$$

Hierin bedeuten  $N_{S1}$  die Nutzleistung und  $N_{S2}$  die Störleistung an der betrachteten Stelle des gestörten Kreises unter der Voraussetzung, daß beide Kreise am Pegel Null gleiche Leistung haben.

Zum Grundwert der Nebensprechdämpfung  $b_0$  steht die gemessene Nebensprechdämpfung  $b_n$  bzw.  $b_g$  in folgender Beziehung

$$b_0 = b_n - (p_1 - p_2) \quad \text{bzw.} \quad b_0 = b_g - (p_1 - p_2) \text{ [N]}, \quad (40)$$

wobei  $p_1$  = relativer Pegel des störenden Kreises an der Anschaltstelle der Meßstromquelle,  
 $p_2$  = relativer Pegel des gestörten Kreises an der Anschaltstelle des Meßhörers ist.

Sind bei gleichartigen Kreisen  $p_1$  und  $p_2$  die Pegel am Anfang bzw. am Ende der Verstärkerfeldabschnitte des störenden und des gestörten Kreises, so muß die gemessene Nah- und Fernnebensprechdämpfung für einen solchen Abschnitt

$$b_n \text{ bzw. } b_g \geq b_0 + b \text{ [N]} \quad (41)$$

sein, wobei  $b_0$  wieder den Grundwert und  $b$  die Dämpfung des Verstärkerfeldes bedeuten. Die Adernpaare von Vierdrahtleitungen werden deshalb zu Gruppen gleicher Richtung zusammengefaßt und geschirmt im Kabel z. B. einander gegenüberliegend angeordnet. Zwischen den Adern gleicher Richtung, also für das Fernnebensprechen besteht dann praktisch an allen Punkten des Verstärkerfeldes kein Pegelunterschied. Die Schirmung wirkt sich für das Nahnebensprechen günstig aus; denn aus Gleichung (41) und (42) folgt, daß die Kopplungen auf etwa die Hälfte gebracht werden müssen, wenn die Verstärkerfelddämpfung  $b$  um 0,7 N erhöht wird. Eine Vergrößerung der kilometrischen Leitungsdämpfung, die sich günstig auf die Werkstoffeinsparung auswirkt, bringt also eine beträchtliche Erhöhung der Anforderungen an die Kopplungsfreiheit der Fernkabel mit sich.

Der Grundwert der Nah- oder Fernnebensprechdämpfung zwischen zwei vollständigen Sprechkreisen des gleichen Kabels im Endverkehr (Restdämpfung für Vierdrahtkreise auf 0,8 N und für Zweidrahtkreise auf 1 N eingeregelt) soll für 90% aller Kombinationen Vierdraht — Vierdraht vorläufig mindestens 7,5 N betragen und für alle überhaupt möglichen Kombinationen (auch unter Beteiligung von Zweidrahtkreisen) mindestens 6,8 N.

Der Grundwert der Nah- oder Fernnebensprechdämpfung zwischen zwei Rundfunkleitungen oder zwischen einer Rundfunkleitung und einem Fernsprechkreis soll für Sprache bei Kabelleitungen wenigstens 9 N und bei Freileitungen wenigstens 7 N betragen. In den Fällen, in denen für Rundfunkübertragungen Leitungen mit kleinerer Nebensprechdämpfung benutzt werden müssen, soll die Eingangsleistung entsprechend vermindert werden.

Die das Nebensprechen in der Hauptsache verursachenden Kapazitätsunterschiede werden als Kopplungen folgendermaßen bezeichnet:

Vorgang innerhalb eines Vierers V	Bezeichnung	Dämpfung	Kopplung
Übersprechen Stamm 1 auf Stamm 2 . . . . .	1/2	$b_1$	$k_1$
Mitsprechen Stamm 1 auf Phantomkreis . . . . .	1/V	$b_2$	$k_2$
Mitsprechen Stamm 2 auf Phantomkreis . . . . .	2/V	$b_3$	$k_3$
Erdunsymmetrie des Stammes 1 . . . . .	E/1	—	$e_1$
Erdunsymmetrie des Stammes 2 . . . . .	E/2	—	$e_2$
Erdunsymmetrie des Phantomkreises . . . . .	E/V	—	$e_3$
Vorgang zwischen Nachbarvierern I und II	Bezeichnung	Dämpfung	Kopplung
Übersprechen von			
Phantomkreis I auf Phantomkreis II . . . . .	I/II	$b_4$	$k_4$
Stamm 1 des Vierers I auf Phantomkreis II . . . . .	$I_1/II$	$b_5$	$k_5$
Stamm 2 des Vierers I auf Phantomkreis II . . . . .	$I_2/II$	$b_6$	$k_6$
Phantomkreis I auf Stamm 1 des Vierers II . . . . .	$I/II_1$	$b_7$	$k_7$
Phantomkreis I auf Stamm 2 des Vierers II . . . . .	$I/II_2$	$b_8$	$k_8$
Stamm 1 des Vierers I auf Stamm 1 des Vierers II . . . . .	$I_1/II_1$	$b_9$	$k_9$
Stamm 1 des Vierers I auf Stamm 2 des Vierers II . . . . .	$I_1/II_2$	$b_{10}$	$k_{10}$
Stamm 2 des Vierers I auf Stamm 1 des Vierers II . . . . .	$I_2/II_1$	$b_{11}$	$k_{11}$
Stamm 2 des Vierers I auf Stamm 2 des Vierers II . . . . .	$I_2/II_2$	$b_{12}$	$k_{12}$

Nahnebensprechdämpfungen werden durch Index n gekennzeichnet, Fernnebensprechdämpfungen durch Index g, z. B. Fernübersprechen von Phantomkreis I auf Stamm 2 des Vierers II mit  $b_{g8}$ , Dämpfungen und Kopplungen zwischen Nachbarvierern in verschiedenen Lagen (Sternvierer) durch einen zusätzlichen Stern, z. B.  $k_8^*$ .

Setzt man  $1/4 k_1 = k$  oder  $1/2 k_2 = k$  oder  $1/2 k_3 = k$ , so gilt, mit Z (in  $\Omega$ ) als Abschlußwiderstand eines kurzen Leiterstückes, zwischen  $k$  (in Farad) und der Nahnebensprechdämpfung  $b_n$  die Beziehung

$$b_n = \ln \frac{2}{Z \cdot \omega \cdot k} [N]. \quad (42)$$

Ist die beeinflussende Leitung eine Starkstromleitung, so können die in der beeinflussten Nachrichtenleitung entstehenden Spannungen und Ströme solche Werte annehmen, daß sie über die Beeinträchtigung der Gespräche hinaus die Bedienungskräfte und Anlagen und auch die Benutzer gefährden. Eine scharfe Grenze zwischen störenden und gefährdenden Fremdspannungen ist dabei nicht anzugeben. Eine Gefahr sind bereits die energieschwachen Knallgeräusche, die deshalb durch Knallschutzschaltungen vermieden werden. Die Kopplung zwischen Starkstrom- und Nachrichtenleitung kann sehr klein und doch wirksam sein, da in den Starkstromleitungen Leistungen bis zur Größenordnung  $10^8$  W übertragen werden und in einem Fernhörer noch Leistungen von einigen  $10^{-9}$  W wahrgenommen werden. Außer Fremdspannung und frequenzbewerteter Spannung = Geräuschspannung werden hier noch einige andere Begriffe gebraucht.

Die Störspannung in der Starkstromleitung ist diejenige 800-Hz-Spannung, die an Stelle der Betriebsspannung in einer Starkstromleitung wirkend in einer benachbarten Fernsprechleitung die gleiche Störung erzeugen würde wie die wirkliche Betriebsspannung mit allen ihren Oberwellen. Da die induktive Komponente des Scheinwiderstandes der Starkstromnetze meist die Wirkkomponente bedeutend überwiegt, kann die Kopplung zwischen den Leitungen als frequenzunabhängig angesetzt werden. Das Ver-

hältnis dieser Störspannung zur Betriebsspannung wird mit Fernsprechformfaktor der Spannung bezeichnet. Entsprechendes gilt für den Strom.

Alle an den Enden eines zwischenstaatlichen Sprechkreises festgestellten Leitungsgeräusche sollen so klein sein, daß die am Leitungsende gemessene Geräusch-EMK bei einer Freileitung ohne Endverstärker 5 mV und bei einer Kabelleitung 2 mV nicht überschreitet. Diese beiden Grenzwerte sind gleichwertig, weil bei einem Kabel im allgemeinen ein Endverstärker mit etwa 1 N Verstärkung zwischen Fernamtsklinke und Leitungsende geschaltet, die Freileitung dagegen unmittelbar mit der Fernamtsklinke verbunden ist. Das bedeutet, daß am relativen Pegel  $-0,8$  ( $-1$  N) eine Geräusch-EMK von 5 mV zulässig ist. Bei Rundfunkleitungen soll an den Leitungspunkten kleinsten relativen Spannungspegels das Verhältnis zwischen der größten Nutzspannung und der Geräuschspannung für Kabelleitungen mindestens 1000:1 (6,9 N) und für Freileitungen mindestens 400:1 (6 N) betragen. Die objektiv, also ohne Filter gemessene Fremdspannung soll niemals größer als  $\frac{1}{100}$  der größten Nutzspannung sein.

Neben Geräuschen beeinflussen Verzerrungen die Übertragungsgüte. Es werden unterschieden: die frequenzabhängigen Dämpfungsverzerrungen, die amplitudenabhängigen nichtlinearen Verzerrungen und die Phasenverzerrungen.

Dämpfungsverzerrungen sind vorhanden, wenn die Betriebsdämpfung eines Vierpols für die verschiedenen zu übertragenden Frequenzen nicht die gleiche ist; es sind „lineare“ Verzerrungen (s. auch Bild 29). Dämpfungsverzerrungen lassen sich durch Entzerrungsglieder mit spiegelbildlichem Frequenzgang der Dämpfung ausgleichen.

Für den zwischenstaatlichen Fernsprechverkehr gibt es Richtlinien über die Grenzen der zulässigen Restdämpfungsverzerrungen. Zweidrahtkreise sollen ein Frequenzband von 300 bis 2400 Hz, Vierdrahtkreise ein Band von 300 bis 2600 Hz wirksam übertragen. Wirksam übertragen wird beim Fernsprechen eine Frequenz ganz allgemein dann, wenn die Restdämpfung bei dieser Frequenz die Restdämpfung bei 800 Hz höchstens um 1 N übersteigt; bei Rundfunkübertragungen sollen diese Abweichungen höchstens 0,5 N betragen. In Bild 34 ist der Grenzbereich für die Restdämpfung von Zweidraht-Sprechkreisen grafisch dargestellt, in Bild 35 das gleiche für Vierdrahtkreise, und zwar für den Fall, daß die Restdämpfungen bei 800 Hz 1 N bzw. 0,8 N betragen. Andere Restdämpfungswerte bei 800 Hz — sie sollen immer zwischen 0,8 und 1,3 N bzw. 0,6 und 1 N liegen — müssen entsprechend berücksichtigt werden. Wegen der Echo- und der Pfeifgefahr empfiehlt es sich, die Sprechkreise so zu entzerren, daß sich als größte Minderung der Restdämpfung nur 0,1 N gegenüber 800 Hz ergibt.

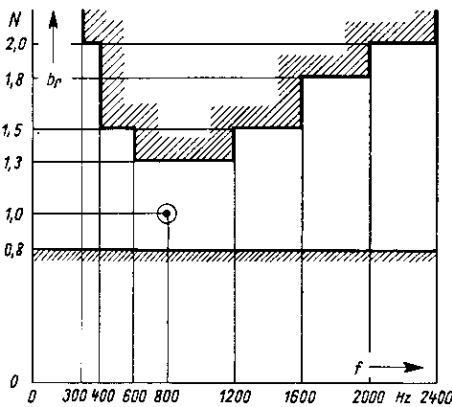


Bild 34. Grenzen der Restdämpfung eines zwischenstaatlichen Zweidrahtkreises im beiderseitigen Endverkehr

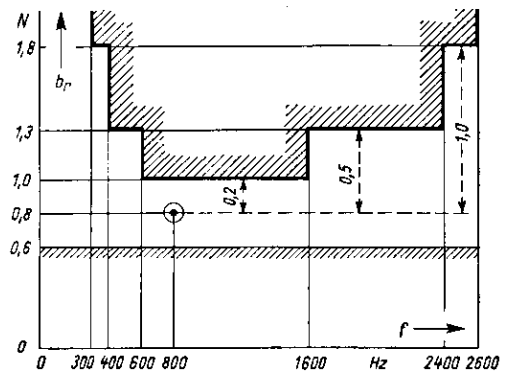


Bild 35. Grenzen der Restdämpfung eines zwischenstaatlichen Vierdrahtkreises im beiderseitigen Endverkehr

Nichtlineare Verzerrungen treten auf, wenn bei der Übertragung einer ursprünglich reinen Sinusschwingung höhere Teilschwingungen (Oberschwingungen) entstehen. Sie können nachträglich nicht wieder aufgehoben werden, sind also von vornherein in zulässigen Grenzen zu halten. Werden mehrere Schwingungen auf ein nichtlineares Übertragungsglied gegeben, so entstehen neben den Oberschwingungen auch noch Kombinationsöne, die die Übertragungsgüte meist in höherem Maße beeinträchtigen als die Oberschwingungen. Praktisch stören im wesentlichen die Differenzöne erster und zweiter Ordnung (quadratische und kubische Verzerrungen).

Der Klirrfaktor  $k$  kennzeichnet die Nichtlinearität eines Übertragungsgliedes bei einer Frequenz. Er wird gebildet durch das Verhältnis der effektiven Summe der Oberschwingungsamplituden zur effektiven Summe der Grund- und Oberschwingungsamplituden in Prozent und kann dabei auch für jede Oberschwingung einzeln angegeben werden, z. B.

$$k_3 = \frac{\text{Amplitude der dritten Teilschwingung}}{\text{effektive Summe der Grund- und Oberschwingungsamplituden}} \quad (43)$$

Es wird auch der Ausdruck Klirrdämpfung verwendet, und zwar ist

$$b_k = \ln \frac{1}{k} \text{ [N]}. \quad (44)$$

Als Maß der Kombinationstonbildung dienen der Differenztonfaktor erster Ordnung oder Faktor der quadratischen Verzerrung  $v_2$ , und der Differenztonfaktor zweiter Ordnung oder Faktor der kubischen Verzerrung  $v_3$ . Dabei wird  $v_2$  gebildet durch das Verhältnis des Effektivwertes der Differenzschwingung erster Ordnung  $y-x$  zur Summe der Effektivwerte der beiden Grundschwingungen  $x$  und  $y$  am Ausgang des Übertragungsgliedes und  $v_3$  durch das Verhältnis der Summe der Effektivwerte der beiden Differenzschwingungen zweiter Ordnung  $2x-y$  und  $2y-x$  zur Summe der Effektivwerte der beiden Grundschwingungen  $x$  und  $y$ .

Im gewöhnlichen Fernsprechtbetrieb wird die Übertragungsgüte durch Oberschwingungen und Differenzöne, solange sich diese innerhalb annehmbarer Grenzen halten, kaum beeinflusst. Bevor sich die Nichtlinearität nachteilig für die Verständlichkeit auswirkt, ergibt sich eine Änderung der Klangfarbe. Dagegen kann die Abhängigkeit der Restdämpfung von der Amplitude eine große Wirkung auf die Pfeifsicherheit ausüben. Für Rundfunkübertragungsleitungen ist bei der Übertragung der Höchstleistung und bei einer beliebigen Frequenz des Übertragungsbereichs eine Klirrdämpfung von mindestens 2,3 N zu fordern, wobei zu beachten ist, daß schon bei einer Klirrdämpfung von 3,2 N die nichtlineare Verzerrung in einer Rundfunkübertragung wahrnehmbar wird.

Phasenverzerrungen sind vorhanden, wenn der Gang des Winkelmaßes  $a$  mit der Kreisfrequenz  $\omega$  vom linearen Normalverlauf abweicht. Bei Sprechkreisen und bei Rundfunkleitungen äußert sich das durch den Unterschied der (Gruppen-) Laufzeit  $da/d\omega$  bei 800 Hz gegen die Laufzeit der unteren bzw. oberen Frequenz des Übertragungsbereichs. Laufzeit ist die Zeitspanne, die ein Höchstwert der Hüllkurve einer Gruppe von zwei Sinuswellen der benachbarten Kreisfrequenzen  $\omega$  und  $\omega + d\omega$  braucht, um den Sprechkreis zu durchlaufen. Zwischen der Laufzeit der Frequenz 800 Hz und der unteren oder oberen Eckfrequenz des Übertragungsbereiches sollen in einem zwischenstaatlichen Verbindungsabschnitt Unterschiede von höchstens 10 bzw. 5 ms bestehen. Für die innerstaatlichen Sprechkreisabschnitte sind doppelte Werte, also 20 bzw. 10 ms zugelassen, so daß sich für die gesamte Verbindung Werte von 50 bzw. 25 ms ergeben. Bei Rundfunkleitungen soll die Phasenverzerrung höchstens Laufzeitunterschiede von 70 ms zwischen den Laufzeiten bei 50 und 800 Hz und 10 ms zwischen den Laufzeiten bei 6400 und 800 Hz ergeben.

## 5. Wichtige Bauteile des Leitungsverstärkers

### Verstärkerröhre.

Das Fernsprechmikrofon bringt als Kohlemikrofon eine beachtliche Leistungsverstärkung der auftreffenden akustischen Leistung; die um mehr als 3N höhere abgehende elektrische Leistung wird von der Mikrofonbatterie gedeckt. Die Ausnutzung dieser Verstärkerwirkung für Leitungsverstärker — Kupplung eines Telefons mit einem Mikrofon — ist jedoch durch die Verschlechterung der Sprache begrenzt, die solche „Mikrofonverstärker“ als nicht trägheitslos auch bei bester Bauweise und sorgfältigster Ausführung mit sich bringen. Der Klirrfaktor des Mikrofons allein beträgt schon mehr als 5%. In Verstärkerschaltungen hat sich deshalb als eigentlicher Verstärkerteil nach anfänglichen Schwierigkeiten rasch die Elektronenröhre durchgesetzt. Sie ist zwar im Betrieb anspruchsvoller, jedoch lassen sich mit ihr auch größere Leistungen durch wesentlich schwächere trägheitslos steuern. Den Charakter eines trägheitslosen Relais hat die Röhre durch die großen Elektronengeschwindigkeiten auch noch bei sehr hohen Frequenzen (rund 100 MHz)

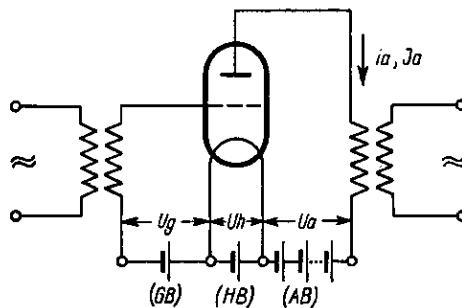


Bild 36. Spannungen an einer Dreipolröhre

der zu verstärkenden Wechselspannung; erst bei noch höheren Frequenzen spielt die Trägheit der Elektronen eine Rolle.

Das richtige Arbeiten der Röhre als trägheitsloses Relais setzt ein hohes Vakuum von  $10^{-7}$  mm Hg im Glaskolben voraus. Die Elektrodenanordnung besteht aus einer Kathode, einem oder mehreren Gittern und einer Anode. Die mittelbar oder unmittelbar geheizte Kathode sendet Elektronen aus, die unter der Einwirkung der Spannungen an den übrigen Elektroden durch die Gitter hindurch zur Anode fliegen. Bei den unmittelbar geheizten Kathoden befindet sich die emittierende Schicht auf dem Heizfaden, bei mittelbar geheizten Röhren ist sie durch eine Isolierschicht vom Heizfaden getrennt. Die Anode nimmt den größten Teil des von der Kathode ausgehenden Stromes auf (Anodenstrom). Zwischen ihr und der Kathode liegt im äußeren Stromkreis der Anodenbelastungswiderstand, an dem die verstärkte Spannung abgenommen wird. Von den Gittern ist das Steuergitter das wichtigste. Zwischen ihm und der Kathode liegt die zu verstärkende Spannung. Nach Maßgabe dieser Spannung schwankt der Anodenstrom, d. h. er wird von dieser Spannung gesteuert. Die Dreipolröhre wird auch mit Triode bezeichnet. Der unter dem Einfluß des Steuergitters schwankende Anodenstrom bedingt am Anodenbelastungswiderstand einen sich entsprechend ändernden Spannungsabfall und damit eine Schwankung der Anodenspannung. Ist dieser Einfluß störend, so kann er durch Zwischenschalten eines Schirmgitters zwischen Anode und Steuergitter beseitigt werden (Vierpolröhre oder Tetrode). Das Schirmgitter erhält meist eine ziemlich hohe positive Spannung, die dem Steuergitter eine konstante Anodenspannung vortäuscht. Bei anderen Röhren wird zwischen Schirmgitter und Anode noch ein Bremsgitter angeordnet, das mit der Kathode verbunden ist.

Durch sein niedriges Potential drängt das Bremsgitter etwa auf der Anode entstehende und für die Verstärkung nachteilige Sekundärelektronen wieder zur Anode zurück (Fünfpölröhre oder Penthode). Für Sonderzwecke, z. B. für Mischzwecke, werden noch weitere Gitter eingebaut (Sechspol- bis Achtpölröhren). Wir betrachten im folgenden nur die in Fernsprechverstärkern verwendeten Dreipol- und Fünfpölröhren.

Die durch die Heizung der Kathode aus dieser austretenden Elektronen bilden unter dem Einfluß des elektrischen Feldes (Anodenspannung  $U_a$  zwischen Kathode  $K$  und Anode  $A$ ) einen Elektronenstrom, den Anodenruhestrom  $J_a$  (vgl. Bild 36). Bei einer bestimmten Anodenspannung werden alle die Kathode als Raumwolke umlagernden Elektronen von der Anode angezogen; mit dieser Sättigungsspannung ist der Sättigungsstrom erreicht. Ein höherer Anodenstrom kann dann nur durch Erhöhung der Heizspannung erreicht werden; selbstverständlich hängt der Elektronenausstoß auch vom Stoff der Kathode ab.

Das Gitter wird mit der Gittervorspannung  $U_g$  negativ vorgespannt, um einen nachteiligen Gitterstrom zu vermeiden; diese negative Vorspannung wird also so bemessen,

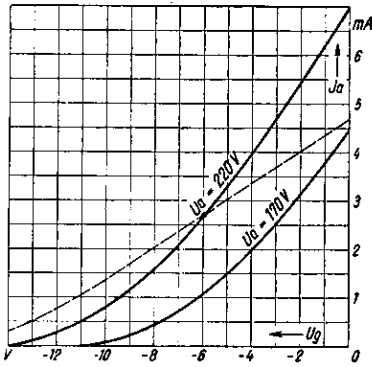


Bild 37.  $I_a - U_g$ -Kennlinienfeld mit  $U_a$  als Parameter (Dreipölröhre)

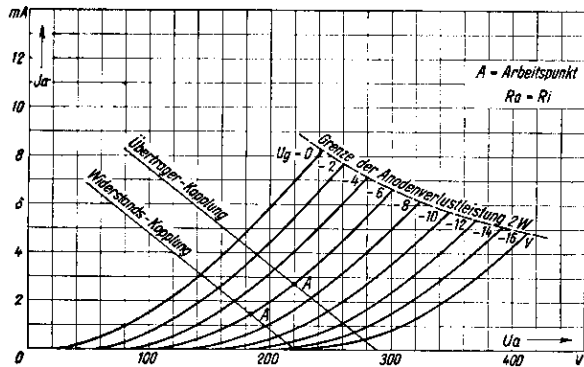


Bild 38.  $I_a - U_a$ -Kennlinienfeld mit  $U_g$  als Parameter (Dreipölröhre)

daß sie zusammen mit der angelegten Gitterwechselspannung nie positiv werden kann, also immer elektronenabweisend ist. Bei Fünfpölröhren hat das Schirmgitter etwa Anodenpotential, das Bremsgitter Kathodenpotential. Das feinmaschige Schirmgitter nimmt nur einen verhältnismäßig kleinen Teil des Elektronenstromes auf, der größte Teil fliegt zur Anode. Das Bremsgitter ist weitmaschig, damit es außer der Zurückdrängung der Sekundärelektronen zur Anode und zum Schirmgitter keinen weiteren Einfluß auf die Röhreneigenschaften hat.

Alle diese an der Röhre liegenden Gleichspannungen bedingen einen bestimmten Betriebszustand, den Arbeitspunkt, mit einem zugehörigen Anodengleichstrom. Die Amplituden der Wechselstromwerte müssen stets kleiner bleiben als die Gleichstromwerte am Arbeitspunkt, da der Strom in der Röhre immer nur in einer Richtung fließen kann. Es gibt demnach an der Röhre niemals einen reinen Wechselstrom, sondern immer nur einen Wellenstrom, aus einem Wechsel- und einem Gleichstromanteil bestehend. Die dem Eingang zugeführte Leistung ist meist verschwindend klein gegen die abgenommene Wechselstromleistung. Der Zuwachs wird durch die der Röhre zugeführten Anodenleistung gedeckt.

Einen guten Überblick über die Arbeitsweise der Röhre bei verschiedenen Betriebszuständen geben die sogenannten Kennlinienfelder; denn sie stellen den Zusammenhang von drei wichtigen Größen, und zwar der Gitterspannung  $U_g$ , der Anodenspannung  $U_a$

und des Anodenstromes  $I_a$  in Kurvenscharen dar. Aus den Kennlinienfeldern kann der Verlauf der Augenblickswerte bequem abgelesen werden. Zwei verschiedene Arten der Darstellung sind üblich: Das  $I_a-U_g$ -Kennlinienfeld mit  $U_a$  als Parameter (Bild 37 und 39) und das  $I_a-U_a$ -Kennlinienfeld mit  $U_g$  als Parameter (Bild 38 und 40).

Die Strom-Spannungsabhängigkeit wird bei diesen „statischen“ Kennlinien ohne Außenwiderstand gemessen. Mit dem praktisch ja immer erforderlichen Anodenbelastungswiderstand ergeben sich von diesen abweichende „dynamische“ Kennlinien, die Arbeitskennlinien. Sie sind im  $I_a-U_g$ -Kennlinienfeld unserer Beispiele für den Arbeitspunkt A gestrichelt eingetragen. Während bei der Fünfpolröhre beide Linien erst im Gebiet hoher Anodenströme voneinander abweichen, zeigt das Verhältnis der beiden Kennlinien der Dreipolröhre den starken Einfluß des Anodenbelastungswiderstandes. Die Arbeitskennlinie der Dreipolröhre hat jedoch einen geraderen Verlauf als die der Fünfpolröhre. Im

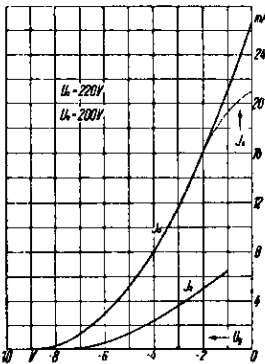


Bild 39.  $I_a-U_g$ -Kennlinienfeld mit  $U_a$  als Parameter (Fünfpolröhre)

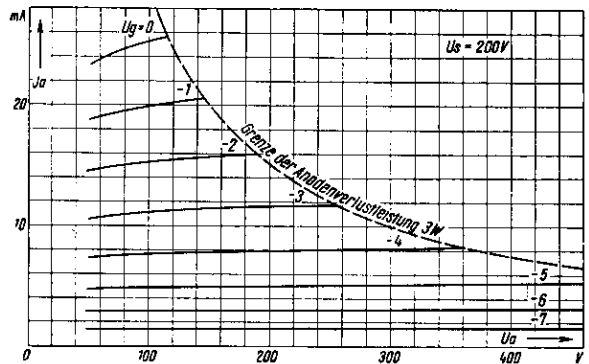


Bild 40.  $I_a-U_a$ -Kennlinienfeld mit  $U_g$  als Parameter (Fünfpolröhre)

$I_a-U_a$ -Kennlinienfeld bildet sich mit einem ohmschen Belastungswiderstand  $R_a$  im Anodenkreis die Arbeitskennlinie als eine gerade Linie ab. Ihre Neigung wird durch die Größe von  $R_a$  bestimmt. Für  $R_a=0$  ergibt sich eine Parallele zur  $I_a$ -Achse, für  $R_a=\infty$  eine Parallele zur  $U_a$ -Achse. Beim Aussteuern der Röhre wird die Arbeitskennlinie vom Arbeitspunkt aus nach beiden Seiten durchlaufen. Die Lage der Arbeitskennlinie in bezug auf die Anodenspannung ergibt sich aus der Art des Anschlusses von  $R_a$ . Bei Übertrager-Kopplung findet praktisch kein Abfall der Anodengleichspannung statt; der Arbeitspunkt hat die Anodenbatteriespannung  $U_{a0}$ . Der Augenblickswert der Spannung an der Anode kann erheblich größer werden als die Anodenbatteriespannung. Mit Übertrager-Kopplung läßt sich eine hohe Verstärkung erzielen, jedoch bestimmt der Übertrager die Grenzen des übertragenen Frequenzbandes. Zur gleichmäßigen Verstärkung sehr breiter Frequenzbänder wird die Widerstandskopplung angewandt. Durch den Abfall der Gleichspannung an  $R_a$  liegt der Arbeitspunkt niedriger als die Anodenbatteriespannung; die Verstärkung ist geringer.

Für die Wahl des Arbeitspunktes ergibt sich durch die Betriebsdaten der Röhren ein bestimmter Bereich, der bei Dreipolröhren (Bild 41) gegeben ist durch die größte Anodenspannung (a), die größte Anodenverlustleistung (b) und die Kennlinie für  $U_g=0$ . Bei Fünfpolröhren (Bild 42) sind die Frequenzen bestimmt durch die größte Anodenspannung (a), die größte Anodenverlustleistung (b), die größte Schirmgitterspannung (c) und die größte Schirmgitterverlustleistung (d).

Für überschlägliche Betrachtungen und als Grundlage für einen Vergleich von Röhren ist es vielfach nicht nötig, die Kennlinienfelder heranzuziehen, es genügt vielmehr, die

Röhren durch ihre Wechselstromeigenschaften an einem einzigen Punkt des Kennlinienfeldes, dem sogenannten normalen Arbeitspunkt, zu kennzeichnen. Dies geschieht durch die Kennwerte: Durchgriff  $D$ , Steilheit  $S$  und innerer Widerstand  $Ri$ . Diese drei Werte ermöglichen eine außerordentliche einfache und anschauliche Beschreibung

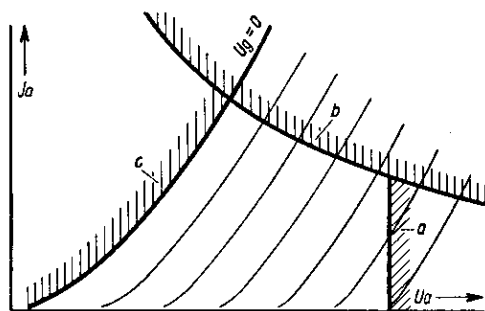


Bild 41. Arbeitspunktbereich bei Dreipolröhren

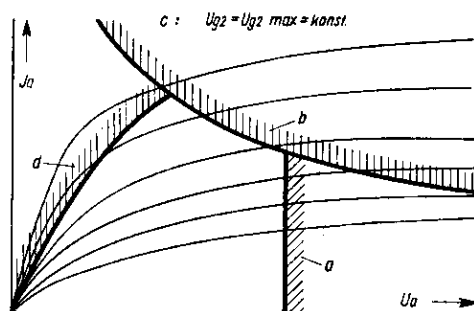


Bild 42. Arbeitspunktbereich bei Fünfpolröhren

des wechselstrommäßigen Verhaltens der Röhre in einer gegebenen Verstärkerschaltung. Zwischen diesen Kennwerten der Röhre besteht die Bezeichnung

$$D \cdot S \cdot Ri = 1. \quad (45)$$

Die Größe des von der Kathode zur Anode fließenden Stromes wird von allen Elektroden zwischen Anode und Kathode beeinflusst. Der Durchgriff gibt den Einfluß der Anodenspannung auf den Anodenstrom an, verglichen mit dem Einfluß der Gitterspannung auf den Anodenstrom. Er wird in % gemessen. Es gilt

$$D = 100 \cdot \left( \frac{\Delta Ug}{\Delta Ua} \right)_{\text{bei } Ja = \text{konst}} [\%]. \quad (46)$$

$D$  läßt sich dem Kennlinienfeld entnehmen

$$D = 100 \frac{\Delta Ug}{Ua_1 - Ua_2}. \quad (47)$$

Der reziproke Wert des Durchgriffs ergibt den Verstärkungsfaktor  $v_0 = \frac{1}{D}$ , nicht zu verwechseln mit der Verstärkung

$$v = \frac{1}{D} \cdot \frac{Ra}{Ri + Ra} \cdot 100 [\%]. \quad (48)$$

Anders ausgedrückt, gibt  $v_0$  die Verstärkung bei Leerlauf und  $v$  die Verstärkung bei Belastung der Röhre an.

Unter dem inneren Widerstand  $Ri$  versteht man den Wechselstromwiderstand, den die Röhre zwischen Anode und Kathode dem Wechselstrom entgegengesetzt. Es ist

$$Ri = \left( \frac{\Delta Ua}{\Delta Ja} \right)_{\text{bei } Ug = \text{konst}} [\Omega]. \quad (49)$$

Im  $Ia-Ua$ -Kennlinienfeld ist die Neigung der Kennlinien ein Maß für die Größe des inneren Widerstandes.  $Ri$  darf nicht verwechselt werden mit dem Gleichstromwiderstand der Röhre, der sich aus dem Verhältnis der Absolutwerte von Anodengleichspannung und Anodenstrom ergibt.

Die Steilheit  $S$  gibt an, um wieviel der Anodenstrom sich ändert, wenn man die Gitterspannung bei gleichbleibender Anodenspannung um 1 V ändert:

$$S = \left( \frac{\Delta J_a}{\Delta U_g} \right)_{\text{bei } U_a = \text{konst.}} \quad (50)$$

Ein Maß für die Steilheit ist die Neigung der Kennlinien im  $I_a$ — $U_g$ -Kennlinienfeld.

Außer der Heizleistung verbraucht die Röhre im Betrieb auch an der Anode eine Leistung, die im unausgesteuerten Zustand gleich dem Produkt aus Anodengleichspannung und -gleichstrom ist. Diese Leistung erwärmt die Anode (Anodenverlustleistung) und muß durch Strahlung oder Leitung wieder von ihr abgeführt werden. Die jeweils angegebene Verlustleistung darf nicht überschritten werden, wenn die Röhre keinen Schaden leiden soll. Auch im Schirmgitter entsteht eine Verlustleistung; besonders bei kleinen Anodenspannungen ist zu beachten, daß der angegebene Wert für die zulässige Schirmgitterverlustleistung nicht überschritten wird, weil hier der Schirmgitterstrom stark ansteigt. Im ausgesteuerten Zustand wird die aus der Batterie zugeführte Anodenleistung nur zum Teil in Wärme umgesetzt. Die Differenz deckt die vom Röhrenkreis abzugebende Wechselstromleistung. Ganz allgemein erhält man die größte dem Röhrenkreis überhaupt entnehmbare Wechselstromleistung, wenn der Außenwiderstand bei Dreipolröhren  $R_a = 1$  bis  $2 R_i$ , bei Fünfpolröhren  $R_a = \frac{U_{a_0}}{J_{a_0}}$  ist ( $U_{a_0}$ ,  $J_{a_0}$  sind die Werte am Arbeitspunkt).

Die Kennlinien der Verstärkerröhre weichen von der gewünschten geraden Linie mehr oder weniger ab. Die sich daraus ergebenden Verzerrungen werden mit dem Klirrfaktor  $k$  angegeben, und zwar drückt der Klirrfaktor das Maß der Verzerrung zwischen Steuerspannung am Gitter und verstärkter Spannung im Anodenkreis aus. Er ergibt sich zu

$$k = \frac{\sqrt{y_2^2 + y_3^2 + \dots}}{y_1} \quad (51)$$

wobei  $y_1$  die Amplitude der Grundwelle und  $y_2$ ,  $y_3$  die Amplituden der Oberwellen sind. Der Klirrfaktor ergibt sich im wesentlichen durch die zweite bzw. dritte Oberwelle.

### Gabelschaltung und Nachbildung

Die Gabelschaltung soll eine Zweidrahtleitung so mit einer Vierdrahtleitung verbinden, daß die Leistung vom Vierdraht-Empfangsweg nicht in den Vierdraht-Sendeweg gelangen kann. Sie wird benötigt an den beiden Enden jeder Vierdrahtleitung und bei jedem Zweidraht-Verstärker zum Aufspalten der Zweidrahtleitung in ein Stückchen Vierdrahtweg für die Einschaltung der beiden jeweils nur in einer Richtung verstärkenden Röhren. Die in Bild 43 gezeigte Differentialschaltung erfüllt die Bedingung, die an die Gabelschaltung zu stellen ist, ohne wesentlichen Leistungsverlust und erfordert an sich nur einen geringen Aufwand, jedoch eine genaue Einstellung der Nachbildung der Zweidrahtleitung. Diese ist durch den eigenwilligen Scheinwiderstandsverlauf der meisten Fernleitungen und ihre Inkonzanz oftmals sehr schwierig.

Die vom Verstärker II abgegebene Leistung  $N_b$  liegt an den Nullpunkten der Differentialschaltung. Die Leistung gelangt also bei genauer Nachbildung des Scheinwiderstandes der Leitung  $F1$  durch die Nachbildung  $Q1$  zur Hälfte zur Fernleitung und zur Hälfte zur Nachbildung. Anders ausgedrückt heißt das: Die Gabelschaltung bringt eine Dämpfung von  $b = \frac{1}{2} \ln \frac{N_b}{N_b/2} = \frac{1}{2} \ln 2 = \frac{1}{2} \cdot 0,7 = 0,35 N$ , zu der noch eine Dämpfung von mindestens  $0,05 N$  kommt, so daß die Gesamtdämpfung der Gabel in der betrachteten Richtung im Mittel mit  $0,4 N$  eingesetzt werden kann. Bei genauer Nachbildung und bei Erfüllung

der Anpassungsbedingungen ergibt sich auch für die Richtung Fernleitung  $F1$  — Verstärker-  
 eingang Verst I die gleiche Gabeldämpfung. Die zweite Hälfte der ankommenden Leistung  
 $N_a$  gelangt hier wirkungslos zum Ausgang des Verstärkers II.

In der praktischen Ausführung gibt es verschiedene Abwandlungen dieser Schaltung.  
 Sie sind im Grundsätzlichen aber alle gleich. So werden z. B. in den meisten Fällen der  
 Nachübertrager der Verstärkerröhre mit dem Gabelübertrager zusammengefaßt und die  
 Wicklungen der Differentialschaltung symmetrisch auf die a- und b-Ader aufgeteilt.

Die genaue Einstellung der Nachbildung ist sehr wichtig und deshalb immer mit  
 größter Sorgfalt durchzuführen. Dabei kommt es darauf an, daß der Scheinwiderstand  
 der Nachbildung im gesamten Übertragungsbereich mit dem Eingangsscheinwiderstand  
 der Leitung übereinstimmt.

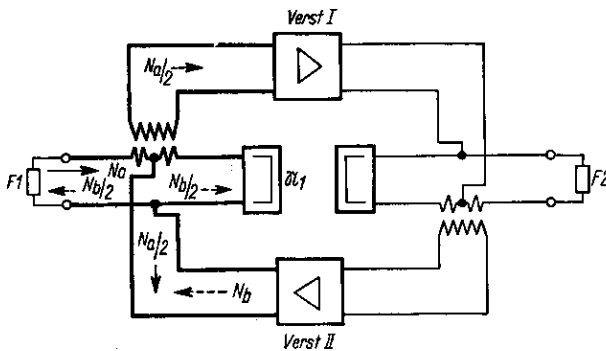


Bild 43. Zur Erklärung der Gabelschaltung

Wenn auch nur für eine Frequenz der Scheinwiderstand der Nachbildung und der Schein-  
 widerstand der angeschlossenen Leitung nach Betrag und Phase nicht übereinstimmen —  
 Nachbildfehler —, so kann ein Teil der von der einen Röhre verstärkten Frequenz wieder  
 zum Gitter der anderen Röhre und damit zum Sprecher selbst gelangen. Der Sprecher  
 wird durch Echos gestört. Ist auch die zweite Nachbildung des Zweidraht-Verstärkers oder  
 bei Vierdrahtverbindungen die ferne Ausgleichschaltung in der Pfeiffrequenz ungenau,  
 so gelangt ein Teil der in der zweiten Röhre verstärkten Frequenz wieder auf das Gitter  
 der ersten Röhre usw. Die Nachbildfehler bewirken so eine Rückkopplung innerhalb  
 des Verstärkerkreises. Überschreiten die Nachbildfehler eine bestimmte Größe, so kommt  
 der Verstärker zur Selbsterregung; er „pfeift“. Die Rückkopplung ist also von den Nach-  
 bildfehlern an beiden Gabeln abhängig, d. h. das Pfeifen kann unter Umständen schon  
 durch Verringern des Nachbildfehlers an einer Gabelschaltung beseitigt werden. Anders  
 ausgedrückt: das Pfeifen des Zweidraht-Verstärkers tritt dann auf, wenn die Summe der  
 durch die Nachbildfehler bedingten Rückkopplungsdämpfungen der beiden Gabelschal-  
 tungen kleiner ist als die Gesamtverstärkung von Verstärker I und II. Bei Vierdraht-  
 verbindungen sind entsprechend alle Verstärker und außer den beiden Gabeldämpfungen  
 auch die Leitungsdämpfungen der Verstärkerfelder zu berücksichtigen. Die Pfeifneigung  
 hängt also außer von der Nachbildgüte auch von der wirksamen Verstärkungsziffer ab.

Zur Kennzeichnung der Genauigkeit des erreichten Abgleiches der Nachbildung verwendet  
 man die Fehlerdämpfung. Diese ist bestimmt durch den Scheinwiderstand  $\mathfrak{N}$  der  
 Nachbildung und den Scheinwiderstand  $\mathfrak{B}$  der Leitung entsprechend Gleichung (4) zu

$$b_f = \ln \left| \frac{\mathfrak{B} + \mathfrak{N}}{\mathfrak{B} - \mathfrak{N}} \right| \quad [\text{N}]. \quad (52)$$

Im allgemeinen ist die Fehlerdämpfung stark frequenzabhängig. Man kennzeichnet dann die Nachbildung durch den kleinsten Wert der Fehlerdämpfung innerhalb des Übertragungsbereichs der Leitung. Beim Pfeifpunkt erhält man die Fehlerdämpfung für die Pfeiffrequenz. Die Pfeifsicherheit ergibt sich zu

$$r = \frac{r_1 + r_2}{2} \text{ [N]}, \quad (53)$$

wobei  $r$  der Mittelwert der betriebsmäßigen Restdämpfungen in beiden Übertragungsrichtungen ist,  $r_1$  und  $r_2$  die Restdämpfungen in jeder der beiden Übertragungsrichtungen darstellen, wenn die Verstärkung dort gleichmäßig bis zum Pfeifeinsatz gesteigert worden ist. Die Pfeifsicherheit einer Verbindung aus inner- und zwischenstaatlichen Sprechkreisen soll zwischen den beiden äußersten Fernämtern bei offenen Enden vorläufig mindestens 0,2 N betragen. Die zulässige kleinste Restdämpfung einer Verbindung ist damit von der Pfeifsicherheit und von der Echowirkung auf den Sprecher abhängig.

Um eine Fernleitung gut nachzubilden zu können, muß sie gleichförmig aufgebaut sein, d. h. ihre Teilabschnitte innerhalb eines Verstärkerfeldes müssen in ihren Scheinwiderständen einander angepaßt sein. Das Gegenteil sind Leitungen mit sogenannten Stoßstellen, die z. B. dadurch entstehen, daß Freileitungen unmittelbar mit Fernkabelleitungen verbunden oder Freileitungen unterirdisch eingeführt werden. Solche Stoßstellen bewirken eine unregelmäßige Frequenzabhängigkeit des Scheinwiderstandsverlaufs, der sich nicht nachbilden läßt. Stoßstellen müssen also vermieden werden, indem die Scheinwiderstände der Leitungen nach Betrag und Phase einander angepaßt werden. Dabei darf nicht vergessen werden, daß auch das ferne Ende der Leitung stoßfrei abzuschließen ist, d. h. praktisch mit einem Widerstand, der nach Betrag und Phase gleich dem Scheinwiderstand der Leitung ist.

Bei der Nachbildung gut angepaßter längerer Leitungen mit kleinen Aufbaufehlern können der Eingangswiderstand der nachzubildenden Leitung und ihr Wellenwiderstand bei fehlerfreiem Aufbau einander gleichgesetzt werden. Der Wellenwiderstandsverlauf ist einfacher und so mit geringerem Zeit- und Materialaufwand nachzubilden. Bei bespulten Leitungen ist selbst dieser Weg oftmals nicht mit erträglichem Aufwand gangbar; vor allem in der Nähe der Grenzfrequenz ist der Frequenzgang des Wellenwiderstandes sehr empfindlich gegen Abweichungen der Mittelwerte von  $L_p$  und  $s \cdot C$ . Die oberste übertragene Frequenz muß also genügend Abstand von der Grenzfrequenz halten ( $f_{\max} \approx 0,7 f_0$ ). Der Wert  $0,7 \cdot f_0$  ist auch mit Rücksicht auf die Gleichmäßigkeit der Dämpfungskurven und auf die Phasenverzerrungen üblich.

Bei den dickdrähtigen Freileitungen stimmt der Frequenzgang des Wellenwiderstandes mit dem Scheinwiderstand einer Reihenschaltung von Widerstand und Kapazität überein, weil bei ihnen hauptsächlich der Blindanteil des Wellenwiderstandes von der Frequenz abhängt. Freileitungen und gleichmäßige, dickdrähtige Kabelleitungen, deren Scheinwiderstand durch ihren Wellenwiderstand ersetzt werden darf, können also durch eine solche Reihenschaltung nachgebildet werden. Der Widerstand muß den Betrag  $\sqrt{\frac{L}{C}}$  haben, die Kapazität den Betrag  $\frac{2\sqrt{L \cdot C}}{R}$ . Eine solche Nachbildung ist bei den hohen Frequenzen genauer als bei den niedrigen. Sie wird vor allem zur Nachbildung von Teilnehmerleitungen verwendet. Für Fernleitungen ist vielfach die in Bild 44 gezeigte erweiterte Schaltung üblich. Die einzelnen Werte ergeben sich aus den auf 1 km bezogenen Größen der Freileitung  $L$ ,  $C$  und  $R$  zu

$$C_{01} = 2,88 \frac{2\sqrt{LC}}{R}; \quad R_{01} = 1,027 \sqrt{\frac{L}{C}};$$

$$C_1 = 1,66 \frac{2\sqrt{LC}}{R}; \quad R_1 = 1,177 \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Durchschnittswerte der Leitungsnachbildungen für Bronzefreileitungen sind für verschiedene Aderdurchmesser in der folgenden Tafel zusammengestellt:

$d$ mm	$C_{01}$ $\mu\text{F}$	$R_{01}$ $\Omega$	$C_1$ nF	$R_1$ $\Omega$
1,5	0,99	690	570	780
2,0	1,65	656	955	751
2,5	2,58	624	1495	714
3,0	3,72	599	2140	687
4,0	6,30	553	3630	633
4,5	7,76	536	4470	613
5,0	9,04	513	5270	588

Setzt sich die nachzubildende Fernleitung aus Frei- und nicht bespulten Kabelleitungen zusammen, so benutzt man die „Treppenschaltung“ nach Bild 45. Mit dieser Schaltung

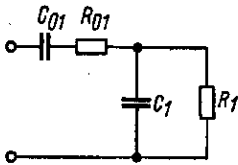


Bild 44. Nachbildung einer Freileitung

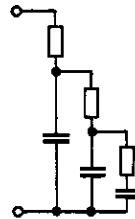


Bild 45. Nachbildung einer Freileitung mit nicht bespulter Kabelleitung

kann noch mehr als mit der in Bild 44 gezeigten Schaltung berücksichtigt werden, daß bei solchen zusammengesetzten Leitungen auch der reelle Teil ihres Wellenwiderstandes mit steigender Frequenz abnimmt; sie führt jedoch nicht immer zum Ziele.

Das für bespulte Kabelleitungen übliche Nachbildverfahren baut sich auf folgenden Betrachtungen auf: Bezeichnet man mit  $x$  das Verhältnis der Anlaufänge (Entfernung der ersten

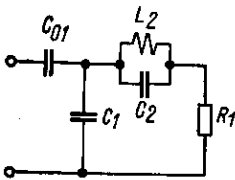


Bild 46. Nachbildung für bespulte Kabelleitungen

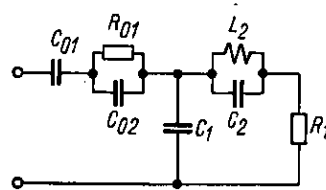


Bild 47. Erweiterte Nachbildung für bespulte Kabelleitungen

Spule vom Kabelanfang) zum Spulenabstand  $s$  und bestimmt man mit  $x$  als Parameter die Wirk- und Blindanteile des Wellenwiderstandes der Leitungen, so findet man, daß für  $x=0,17$  der Wirkanteil fast frequenzunabhängig bis zur Frequenz  $f \approx 0,7 \cdot f_0$  ist und daß bei  $x=0,5$  der Blindanteil bis etwa zur gleichen Frequenz frequenzunabhängig (und zwar gleich Null) ist. Jede Leitung wird deshalb so ergänzt, daß sie mit einem halben Spulenfeld ( $x=0,5$ ) beginnt. Zur Nachbildung des Wirkwiderstandes denkt man sich die Leitung mit  $x=0,17$  anfangend und bildet nach Bild 46 den Wirkwiderstand durch  $R_1$  nach und den Blindwiderstand durch einen mit  $R_1$  in Reihe liegenden Schwingkreis  $L_2, C_2$ . Mit hinreichender Genauigkeit bildet  $C_1$  das übrige Anlaufstück ( $x=0,5-0,17$ )

als nicht bespulte Kabelleitung nach. Mit  $C_{01}$  werden Leitungszusätze wie Rufsperrkondensatoren usw. miterfaßt. Bezeichnet man mit  $L_0, C_0, R_0$  die Werte einer bespulten Kabelleitung je Spulenfeld und mit  $L, C, R$  die auf 1 km bezogenen Werte einschließlich Spulenanteil in Henry, Farad und Ohm, so ergeben sich die einzelnen einzustellenden Werte zu

$$C_{01} = \frac{2\sqrt{L \cdot C}}{R}; \quad C_1 = (0,315 + 0,47\beta) \cdot C_0;$$

$$C_2 = 0,382 \cdot C_0; \quad L_2 = 0,339 \cdot L_0; \quad R_1 = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

wobei  $\beta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$  ist. Die so gefundene Nachbildung ist die in den meisten Fällen verwendete vereinfachte Nachbildung. Die Schaltung der erweiterten Nachbildung für bespulte Kabelleitungen zeigt Bild 47. Die Schaltelemente  $C_{01}, C_{02}$  und  $R_{01}$  errechnen sich zu

$$C_{01} = C_{02} = \frac{4\sqrt{L_0 \cdot C_0}}{R_0}; \quad R_{01} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

In der folgenden Tafel sind als Beispiel Werte für die Nachbildungen deutscher Fernkabelleitungen mit  $s = 1,7$  km angegeben.

Leitung		$C_{01} = C_{02}$ $\mu\text{F}$	$C_1$ $\text{nF}$	$C_2$ $\text{nF}$	$R_{01}$ $\Omega$	$R_1$ $\Omega$	$L_2$ $\text{mH}$
0,9 mm 140/56 mH	Stamm	3,7	19	23	770	1540	48
	Phantom	5,9	30	35	390	780	19
1,4 mm 140/56 mH	Stamm	8,2	20	24	750	1500	48
	Phantom	13,0	32	38	380	760	19
0,9 mm 30/12 mH	Stamm	1,8	20	23	360	720	11
	Phantom	3,0	31	35	185	370	4
1,4 mm 30/12 mH	Stamm	4,5	19	24	355	710	11
	Phantom	7,2	32	38	180	360	4

Die genauen Werte werden für den einzelnen Fall empirisch, und zwar mit der „Großen veränderbaren Nachbildung“ und dem „Fehlerdämpfungsmesser“ oder „Abgleichmesser“ ermittelt. Mit der großen veränderbaren Nachbildung lassen sich alle im Betriebe vorkommenden Zusammenstellungen von der einfachen Freileitungsnachbildung bis zur erweiterten Nachbildung für bespulte Kabelleitungen herstellen.

Wie bereits erwähnt, können Leitungszusätze, wie Fernleitungsübertrager, Rufrelais und Rufsperrkondensatoren durch die Nachbildungen mit erfaßt werden; lediglich ihre Werte ändern sich entsprechend. Verlängerungsleitungen und Frequenzweichen werden aber zweckmäßigerweise in der Nachbildung wiederholt.

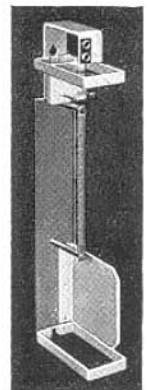


Bild 48. Beispiel einer Nachbildschiene zum Aufnehmen der Nachbildelemente

## Filter

Es ist leicht einzusehen, daß die Einstellung der Nachbildung um so einfacher ist, je schmäler das zu übertragende Frequenzband gewählt wird. Bei bespulten Kabelleitungen muß in jedem Fall mit Rücksicht auf die Nachbildschwierigkeiten in der Nähe der Grenzfrequenz die höchste zu übertragende Frequenz  $f_{\max}$  von der Grenzfrequenz  $f_0$  genügend Abstand halten ( $f_{\max} \approx 0,7 f_0$ ). Wenn auf der nachzubildenden Fernleitung Unterlagerungs-Fernschreiben (UT) übertragen wird und so die UT-Frequenzweichen den Frequenzgang des Eingangsscheinwiderstandes der Leitung umbilden, so muß man, um die Leitung nachbilden zu können, den Frequenzbereich auch nach unten begrenzen. Übliche Übertragungsbereiche sind bei Zweidrahtleitungen 300 bis 2400 oder 2100 Hz (in Sonder-

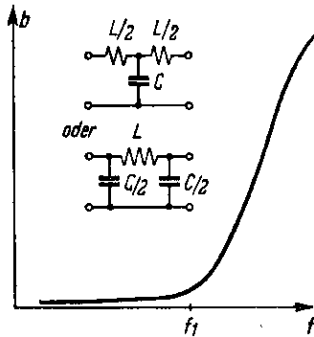


Bild 49.

Dämpfungskurve eines einfachen Tiefpasses

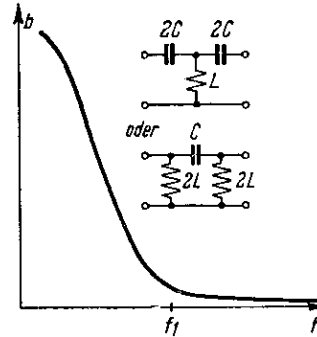


Bild 50.

Dämpfungskurve eines einfachen Hochpasses

fällen 400 bis 2000 Hz) und bei Vierdrahtleitungen 300 bis 2700 Hz. Die obere Begrenzung des Übertragungsbereiches wird durch einen Tiefpaß erreicht. Eine solche Kettenschaltung mit Spulen im Längszweig und Kondensatoren im Querzweig (s. Bild 49) läßt Frequenzen etwa bis zu ihrer Grenzfrequenz fast ungedämpft durch, sperrt aber die darüber liegenden. Die Dämpfungskurve eines solchen Filters zeigt ebenfalls Bild 49. Zur unteren Begrenzung dient ein Hochpaß, eine Kettenschaltung mit Kondensatoren im Längszweig und Spulen im Querzweig, von denen Bild 50 ein Beispiel einer Dämpfungskurve bringt. Bei neueren Verstärkern liegt der Tief- und gegebenenfalls auch der Hochpaß ebenso wie der Entzerrer (s. diesen) vor dem Vorübertrager der Verstärkerröhre. Sinngemäß befinden sich die Filter dort, wo Gabelschaltungen erforderlich sind, also nicht bei Vierdraht-Zwischenverstärkern.

## Leitungsentzerrer

Die Leitungsdämpfung ist vor allem bei Kabelleitungen nicht für alle übertragenen Frequenzen gleich groß. Die höheren Frequenzen werden mehr, die tieferen weniger gedämpft: die Leitungsdämpfung ist frequenzabhängig. Dem Verstärker fällt so mit der Aufhebung der Dämpfung des vorhergehenden Leitungsabschnitts die wichtige Aufgabe zu, diesen Leitungsabschnitt auch zu „entzerrern“, d. h. die mehr gedämpften Frequenzen entsprechend mehr zu verstärken. Der Frequenzgang der Verstärkungskurve des Verstärkers muß also entsprechend dem Frequenzgang des jeweils vorhergehenden Leitungsabschnitts so gewählt werden, daß die Differenz zwischen der Dämpfung des Leitungsabschnitts und dem Verstärkungsgrad des nachfolgenden Verstärkers im Übertragungsbereich möglichst für alle Frequenzen gleich groß ist. Dieser Angleich der Verstärkungskurve an den frequenzabhängigen Verlauf der Leitungsdämpfung ist eine wichtige und bereits früh erkannte Aufgabe, um eine hohe Übertragungsgüte zu erzielen. Die Siemens-Fernsprechverstärker sind deshalb von Anfang an als entzerrende Verstärker gebaut worden. Zuerst wurden

dafür einfachere Mittel eingesetzt, wie Ausnutzung der Resonanz der Übertrager oder Parallelschaltung zusätzlicher Scheinwiderstandsgebilde zum Übertrager. Im ersteren Fall wurde die Resonanzfrequenz des Vorübertragers des Verstärkers so gelegt, daß ein Verstärkungsanstieg bis 1500 Hz erzielt wurde; damit konnte naturgemäß nur eine unvoll-

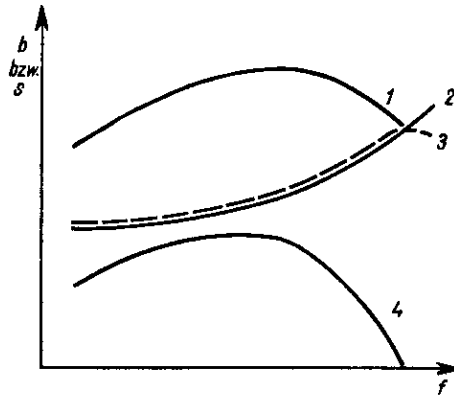


Bild 51. Wirkungsweise des Querentzerrers

kommene Entzerrung erzielt werden. Bessere Ergebnisse wurden mit dem Querentzerrer erreicht. Mit ihm wird die eigentliche Verstärkung des Verstärkers (Kurve 1, Bild 51) bei den einzelnen Frequenzen so gemindert, daß sich die der Leitungsdämpfung (Kurve 2) entsprechende Verstärkungskurve (Kurve 3) ergibt. Der Querentzerrer bringt also eine zusätzliche Dämpfung (Kurve 4). Darüber hinaus wirkt dieser frequenzabhängige Nebenschluß auf den Scheinwiderstand des Verstärkers zurück und verhindert eine einwandfreie Anpassung.

Beide Verfahren genügten zwar den damaligen Anforderungen. Für große Reichweiten, also beim Reiheneinsatz von Verstärkern im Zuge einer Leitung, muß jedoch genauer

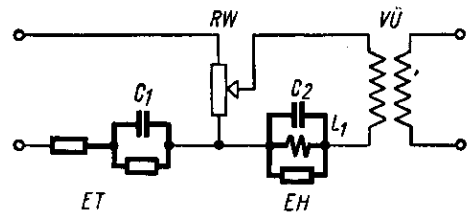
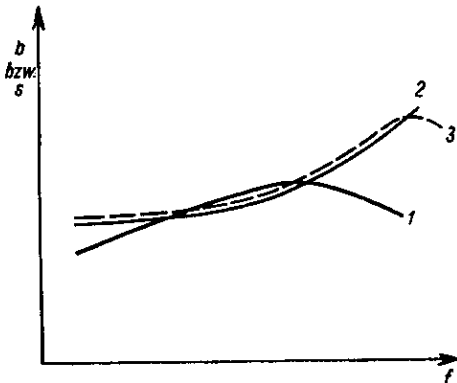


Bild 52. Wirkungsweise und grundsätzliche Schaltung des Längsentzerrers

und ohne Einfluß auf den Eingangsscheinwiderstand entzerrt werden. So wurde auf Vorschlag von Feldtkeller etwa 1925 der Längsentzerrer eingeführt, mit dem man der Verstärkungskurve die der jeweiligen Dämpfungskurve entsprechende Form geben kann, ohne daß sich dabei der Scheinwiderstand des Verstärkers wesentlich ändert. Die Anforderungen an Entzerrung und Scheinwiderstandsanpassung konnten somit getrennt voneinander erfüllt werden. Beim Längsentzerrer wird keine Leistung vernichtet, vielmehr wird die Verstärkungskurve links und rechts von der Resonanzfrequenz des Ver-

stärkers entsprechend der Leitungsdämpfung angehoben. In Bild 52 ist wieder mit 1 die Verstärkungskurve des Verstärkers ohne Entzerrer bezeichnet. Mit Entzerrer erhält sie die Form der Kurve 3 und entspricht so der Leitungsdämpfung (Kurve 2). Die Entzerrung der tiefen Frequenzen wird dabei dadurch erreicht, daß der hier positive Blindwiderstand des Vorübertragers (Bild 52) ganz oder teilweise durch den negativen Blindwiderstand des Kondensators  $C_1$  im Entzerrerteil  $E_T$  aufgehoben wird. Die Stromerhöhung in der Erstwicklung des Vorübertragers hat eine Spannungserhöhung in der Zweitwicklung zur Folge. Oberhalb der Resonanzfrequenz wird der hier negative Blindwiderstand des Vorübertragers durch die Induktivität  $L_1$  aufgehoben.  $C_2$  bildet mit  $L_1$  einen Sperrkreis, der ein weiteres Ansteigen der Verstärkungskurve oberhalb des Entzerrungsbereichs verhindert. Die Widerstände dienen zum Abschwächen der Resonanzwirkungen.

Verstärker mit fest eingestellter Verstärkungskurve bedingen — entsprechend den verschiedenen Leitungs-, Bespulungs- und Betriebsarten — eine Vielzahl von Verstärkern; sie erschweren und verzögern den Verstärkeramtsbau, weil sie jeweils erst angefertigt werden können, wenn man weiß, welche Anforderungen zu erfüllen sind. Da man seit Einführung der Längsentzerrung einheitliche Grundverstärkerschaltungen für Zweidraht- und Vierdrahtleitungen schaffen konnte, die nur durch Zusatz der Entzerrer dem Dämpfungs-

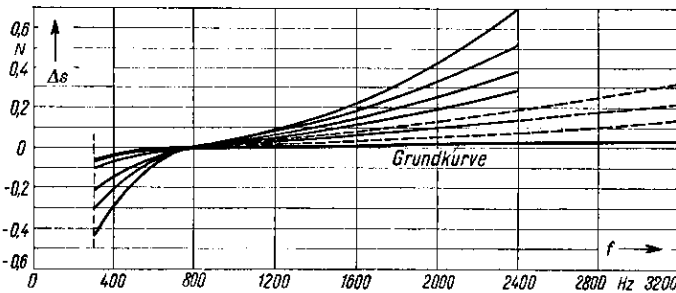


Bild 53. Einstellbare Kurven eines Fächerentzerrers für Vierdraht-Verstärker.

verlauf der Leitungen angepaßt zu werden brauchen, ergaben sich die Vorzüge einer vereinfachten Herstellung und eines schnellen Aufbaus der Verstärkerämter. Selbst nachträglich können Verstärker der einen Art durch Auswechseln der Entzerrer in Verstärker einer anderen Art umgewandelt werden. Mit umschaltbaren Induktivitäts- und Kapazitätswerten lassen sich schließlich Entzerrer bauen, die mit einer regelmäßig unterteilten Fächerung (Bild 53) dem Dämpfungsverlauf der praktisch vorkommenden Leitungsarten entsprechen. Diese Fächerentzerrer werden denn auch mit Vorteil da eingesetzt, wo die zu erwartenden Dämpfungskurven nicht genügend bekannt sind oder wo mit einer schnellen Umschaltung von der einen auf die andere Leitungsart gerechnet werden muß. Es ist jedoch zu beachten, daß Fächerentzerrer wegen der beschränkten Zahl der Fächerkurven nicht in jedem Fall einen vollkommen glatten Restdämpfungsverlauf ergeben.

### Der Verstärkungsregler

Die Verstärkung soll getrennt für jede Übertragungsrichtung in Stufen von 0,1 N regelbar sein. Die Bedingungen, die außerdem ein Verstärkungsregler erfüllen muß, sind: frequenzunabhängige Regelung, also Parallelverschiebung der Verstärkungskurve, geringer Leistungsverlust und keine Änderung der Anpassung. Neuere Verstärkerschaltungen haben deshalb vor dem Vorübertrager einen Regelwiderstand in Spannungsteilerschaltung. Dieser Spannungsteiler bildet einen Abschlußwiderstand mit nahezu festem Scheinwiderstand, da der Vorübertrager-Scheinwiderstand hochohmig ist, und erlaubt einen Abgriff von Teilspannungen in kleinen Stufen.

## 7. Fragen der Netzplanung

Ein Fernsprechnetzen planen heißt, es so zu entwerfen, daß beliebige Teilnehmer mit genügender und dem jeweiligen Stand der Technik entsprechender Güte miteinander sprechen können. Umfaßt das Gebiet einen Ort, so spricht man vom Ortsnetz. Es setzt sich im einfachsten Falle nur aus Teilnehmer-Anschlußleitungen zusammen und ist die kleinste Einheit. In größeren Städten mit mehreren Ämtern sind diese durch sogenannte Ortsverbindungsleitungen miteinander verbunden. Die Ortsnetze eines Bereiches, dessen Städte und Dörfer in regem wirtschaftlichen Verkehr miteinander stehen werden mit Hilfe von Netzgruppenleitungen zu einer Netzgruppe zusammengefaßt; in ihr wickelt sich der Nahverkehr ab. Die Netzgruppen sind miteinander durch Fernleitungen verbunden; diese Fernleitungen bilden das Fernnetz, den Träger des Fernverkehrs. Wurden vor einigen Jahrzehnten die Grenzen eines Reiches (innerstaatlicher Verkehr) nur selten überschritten, so ist man heute bereits daran gewöhnt, Gespräche mit allen wichtigen Städten unseres Erdteils zu führen (zwischenstaatlicher Verkehr). Der Verkehr zwischen den Erdteilen (Weltverkehr) ist jedoch noch auf wenige Plätze beschränkt. Er wird mit drahtlosen Verbindungen durchgeführt, weil sich Drahtverbindungen über diese Entfernungen bisher aus wirtschaftlichen Gründen verboten. Immerhin sind bereits Ansätze für ein den Erdball umspannendes Fernnetz vorhanden, und man ist bemüht, durch zwischenstaatliche Vereinbarungen die technischen Voraussetzungen für das Weltfernnetz zu schaffen.

Je größer die zu überbrückenden Entfernungen sind, um so schwerer wird es im allgemeinen sein, eine ausreichende Übertragungsgüte der Gespräche zu erreichen. Die Reichweite ist gegeben durch: Pfeifsicherheit, Echoerscheinungen, Einschwingvorgänge, Frequenzbandbegrenzung als Folge ungenügender Entzerrung, ferner durch zeitliche Schwankungen der Restdämpfung, durch Nebensprechen und Geräusche. Aber nicht nur die einzelnen Übertragungswege als solche begrenzen die Reichweite einer Verbindung. Es dürfen auch die einzelnen Abschnitte, aus denen sie zusammengesetzt ist, nicht beliebig vermehrt werden, weil sie einerseits zu Rückflüssen und Unsicherheiten in der Restdämpfung Anlaß geben, andererseits weil sie bei handbedienten Ämtern die Wartezeiten für den Verbindungsaufbau unzulässig erhöhen oder im Selbstwählerdienst die Zahl der zu wählenden Ziffern zu sehr vermehren.

Es ist also die Aufgabe der Netzplanung, für jede beliebige Verbindung das der Entfernung angemessene Übertragungssystem und entsprechende Leitwege vorzuschreiben, so daß diese Verbindung technisch einwandfrei und mit einem möglichst geringen Aufwand zustande kommt. Um die gestellte Aufgabe zu lösen, könnte man daran denken, alle Ortsämter als Mittelpunkte der Ortsnetze möglichst mit unmittelbaren Leitungen untereinander zu verbinden, und dabei die Leitungen sowie die Übertragungssysteme der jeweiligen Entfernung entsprechend zu wählen. Man würde auf diese Weise ein reines

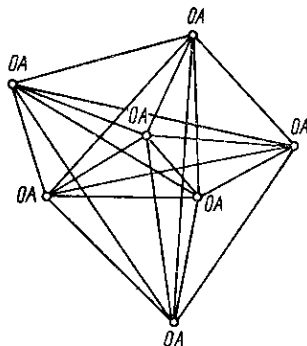


Bild 54. Maschennetz

Maschennetz (Bild 54) erhalten. Wegen der Vielzahl der benötigten Leitungen ist dieses Netz aber unwirtschaftlich und wäre praktisch nur innerhalb eines kleinen Gebietes, d. h. zwischen einer geringen Anzahl von Städten oder innerhalb einer einzigen großen Stadt durchführbar. Die Leitungen eines solchen Netzes würden, sofern nur kleine Verluste

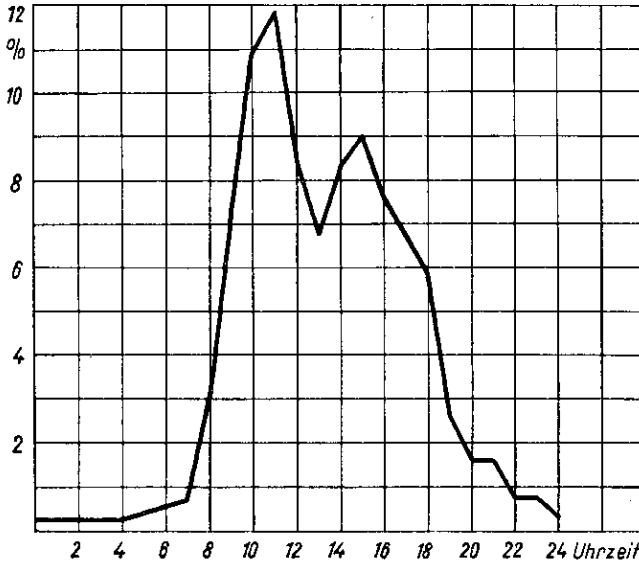


Bild 55. Häufigkeit des Fernsprechverkehrs in einem Amt in Abhängigkeit von der Tageszeit.

bzw. geringe Wartezeiten zugelassen werden sollen, schlecht ausgenutzt, da sie nur dem Verkehr zwischen zwei bestimmten Orten dienen, also in viele, dünne Leitungsbündel aufgeteilt werden müssen.

Wird die Leitungszahl eines Bündels nach der Hauptverkehrsstunde, die zwischen 9 und 12 Uhr vormittags liegt und in der etwa 30% aller Gespräche des Tages geführt werden (Bild 55), bemessen, dann ist in der übrigen Zeit der Anfall an Gesprächen für das vor-

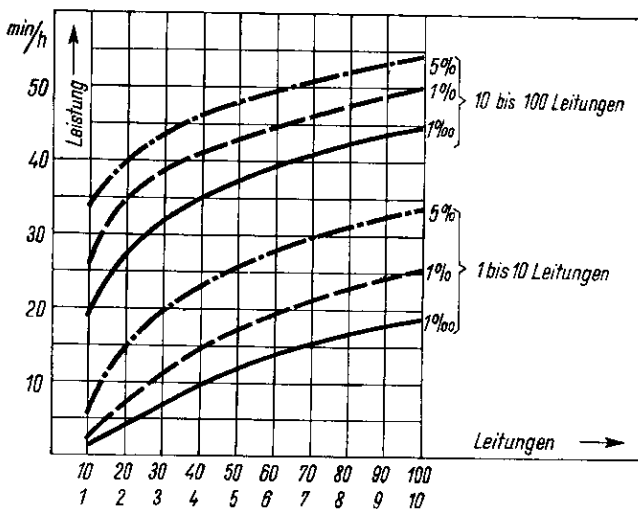


Bild 56. Ausnutzung gebündelter Leitungen bei 1<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, 1% und 5% Verlust

handene Angebot von freien Leitungen zu klein. Würde man umgekehrt nur so wenige Leitungen vorsehen, daß sie gerade ausreichen, um den Verkehr innerhalb von 24 Stunden zu bewältigen, dann wäre zwar jede Leitung nahezu pausenlos ausgenutzt, aber die Wartezeiten würden unerträglich anwachsen. Man muß also einen Mittelweg suchen und bemißt die Zahl der Leitungen in einem Bündel meist so, daß je nach der Wertigkeit der Verbindungen in der Hauptverkehrsstunde  $1\frac{0}{100}$  bis 5% der verlangten Verbindungen nicht abgesetzt werden können (Verlust) bzw. daß bei einer anderen Technik eine gewisse Anzahl von Verbindungen auf die Erledigung warten müssen (Wartezeiten). Bild 56 zeigt in Abhängigkeit von der Stärke des Leitungsbündels, wieviel Minuten je Stunde eine Leitung im Tagesdurchschnitt bei verschiedenen auf die Hauptverkehrsstunde be-

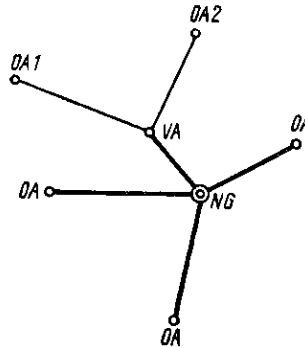


Bild 57. Sternnetz  
OA = Ortsamt, NG = Netzgruppenmittelpunkt, VA = Verbundamt

zogenen Verlusten belegt ist. Man erkennt, daß mit zunehmender Leitungszahl im Bündel die Leistung der einzelnen Leitung schnell zunimmt und man daher bei der Planung der Netze möglichst starke Bündel anzustreben hat.

Dies wird erzielt, wenn man vom Maschennetz zum Sternnetz übergeht. Es entsteht dadurch, daß man statt der unmittelbaren Verbindungen von Amt zu Amt im Maschennetz (Bild 54) mittelbare Wege über ein oder mehrere Ämter wählt und mehrere Leitungen zu einem Bündel zusammenfaßt (Bild 57). Dies kann praktisch um so leichter geschehen, als die örtlichen Verhältnisse auch beim Maschennetz meist eine Parallelführung der einzelnen Leitungsstränge über mehr oder minder große Strecken hinweg verlangen. Der günstigeren Leitungsausnutzung steht der Nachteil einer größeren Zahl von Verbindungsstellen gegenüber; bei Netzen mit Wählanlagen ist dies aber ohne Bedeutung.

Waren beim Maschennetz alle Ämter gleichberechtigt, so ist dies beim Sternnetz nicht mehr der Fall. Das Ortsamt (OA), in dem die meisten und stärksten Bündel zentral zusammenlaufen, wird zum Netzgruppenmittelpunkt (NG), und an den Stellen, wo kleinere Bündel auf ihrem Wege zu diesem Mittelpunkt zusammentreffen und verknötet werden, entstehen Verbundämter (VA). Diese werden entweder mit billigeren Mischwählern oder mit teureren Umsteuerwählern ausgerüstet. Bei dem einen wird für Gespräche zwischen OA1 und OA2 die Strecke VA—NG (Bild 57) für die Dauer des Gesprächs doppelt belegt, das Gespräch also über den Netzgruppenmittelpunkt geführt, im anderen Fall nur für die Dauer des Verbindungsaufbaus und umgesteuert, sobald die Kennziffer des OA2 gezogen wird.

Welche Ausführung man wählt, hängt von der Stärke der Verkehrsbeziehungen zwischen OA1 und OA2 ab. In beiden Fällen aber ist eine besondere Kennziffer wegen des Verbundamtes VA nicht erforderlich. Nach dem Abheben des Fernhörers und der Wahl der ersten, der Verkehrsausscheidungsziffer, die angibt, ob das Gespräch im eigenen Ortsbereich bleiben soll oder nicht, belegt der Teilnehmer sofort eine Leitung über das Verbundamt hinweg bis zum Netzgruppenmittelpunkt.

Ebenso wie man die Ortsnetze eines Gebietes von bestimmter Größe um einen Netzgruppenmittelpunkt sternförmig zusammenfaßt und so die Netzgruppe für den Nahverkehr schafft, werden als Ausgangspunkt für den Fernverkehr den einzelnen Netzgruppenmittelpunkten Endfernämter (EF) zugewiesen und aus diesen eine Anzahl von wichtigen Fernämtern ausgesucht, die man als Verteilerfernämter (VF) bezeichnet. Diese werden wieder

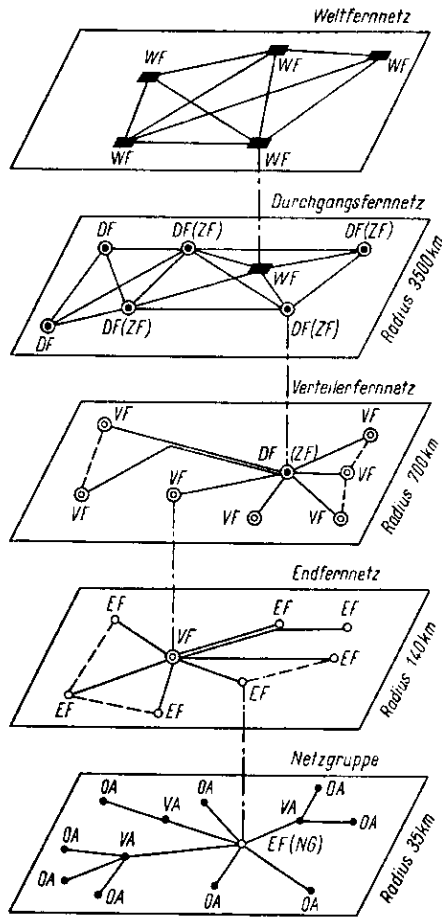


Bild 58. Die Netzebenen des allgemeinen Fernleitungsplanes

zu Durchgangsfernämtern (DF) zusammengefaßt. Man erhält damit die Netzebenen des allgemeinen Fernleitungsplanes (Bild 58). Jede Ebene hat ein besonderes Netz zum Inhalt: Netzgruppe, Endfernetz, Verteilerfernnetz, Durchgangsfernnetz. Diese Bezeichnungen reichen aus, um ein innerstaatliches Netz zu planen. Für den zwischenstaatlichen Verkehr und den Verkehr zwischen den Kontinenten sind noch weitere Begriffe nötig: Das zwischenstaatliche Fernamt (ZF) im Range eines DF und ihm übergeordnet schließlich das Weltfernamt (WF).

Während die Ortsverbindungen in Deutschland vorwiegend durch Wählen hergestellt werden, ist im öffentlichen Netz der Wähl-Nahverkehr, d. h. der Wählverkehr innerhalb einer möglichst weitreichenden Netzgruppe im Ausbau und der Wählferndienst erst in der

Entwicklung. Der zuletzt genannte erstreckt sich bisher nur über wenige benachbarte Netzgruppen, dagegen sind große private Netze, die sich über das ganze Land erstrecken, bereits vollselbsttätig in Betrieb.

Allgemein hat eine innerstaatliche Weitestverbindung den in Bild 59 gezeigten Aufbau, so daß man im Fernnetz mit vier Schaltstellen auskommt. Im Durchgangsverkehr werden

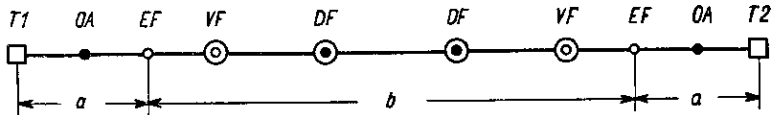


Bild 59. Innerstaatliche Weitestverbindung  
a = Netzgruppe, b = Fernnetz

also die einzelnen Netzebenen in aufsteigender Reihenfolge so lange durchlaufen, bis eine geeignete Querverbindung zwischen gleichartigen Ämtern vorhanden ist, worauf man abwärts steigend die gewünschte Netzgruppe erreicht. Der aufsteigende und absteigende Teil einer Verbindung soll niemals durch Querverbindungen unterbrochen werden, ferner sollen nicht mehr als zwei gleichartige Schaltämter innerhalb einer Verbindung vorkommen. Gerade in dieser Festlegung der Verbindungswege und in der Beschränkung der Schaltstellen liegt der Hauptvorteil des Netzplanes, weil damit überhaupt erst die Dämpfungsbilanz eines großen und weit verzweigten Netzes aufgestellt werden kann.

Der Netzplan für den zwischenstaatlichen Verkehr (Europäischer Netzplan) ist noch nicht endgültig aufgestellt, aber die Richtlinien besagen bereits, daß ein zwischenstaatlicher Sprechkreis möglichst nur aus einem, höchstens aber aus zwei Abschnitten bestehen soll

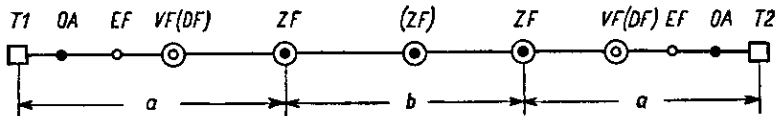


Bild 60. Zwischenstaatliche Weitverbindung  
a = innerstaatliche Leitung, b = zwischenstaatliche Leitung

und daß zwischen dem EF und ZF möglichst nur ein Zwischenamt (ein VF oder DF) liegen soll. Bild 60 zeigt das Verbindungsschema. Die Zahl der zulässigen Schaltstellen im zwischenstaatlichen Verkehr ist danach ebenfalls auf vier, höchstens fünf begrenzt. Im Weltverkehr kommen dann noch zwei Schaltstellen hinzu.

Für die nun zu treffende Dämpfungsaufteilung auf die einzelnen Glieder der Verbindung ist es wichtig zu wissen, über welche Entfernungen die einzelnen Gespräche geführt werden. Für die Masse der Gespräche werden aus wirtschaftlichen Gründen die billigsten Leitungsarten bereitzustellen sein und besondere Mittel für die Entdämpfung, Entzerrung usw. nur für wenige, aber hochwertige Leitungen aufgewendet werden. Die Fernsprechstatistik besagt, daß in Deutschland 85 bis 90% aller Gespräche in der Ortsnetzgruppe bleiben und daß von den Ferngesprächen wiederum etwa 90% über eine geringere Entfernung als 100 km geführt werden. Die Kurve a in Bild 61 zeigt die Häufigkeitssumme der Ferngespräche in Abhängigkeit von der Entfernung. Sie gibt an, wieviel % aller Ferngespräche unterhalb einer gewissen Entfernung bleiben. Die Kurve b bezieht sich auf die Zahl der für diese Ferngespräche benötigten Fernleitungen. Der Unterschied ergibt sich aus den verschiedenen Leistungen der Fernleitungsbündel für die verschiedenen

Entfernungen. Es folgt, daß man zweckmäßig die größten Energieverluste bei der Übertragung der Gespräche den untersten Netzebenen, der Netzgruppe und dem Endfernetz, zuordnet und daß die durch Verstärkung entdämpften Leitungen am besten den über-

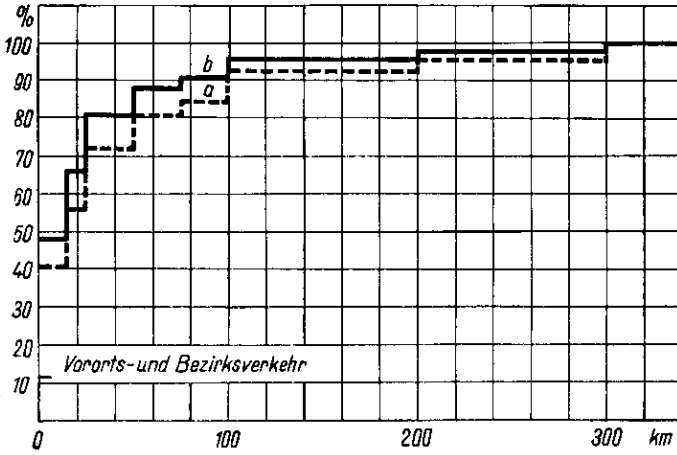


Bild 61. Häufigkeitssumme der Ferngespräche abhängig von der Entfernung  
 a = Prozentsatz der Ferngespräche, b = Prozentsatz der für die Ferngespräche erforderlichen Fernleitungen

geordneten Netzebenen vorbehalten bleiben. Es wird daher für eine zwischenstaatliche Weitverbindung eine Dämpfungsaufteilung nach Bild 62 für den Durchgangsverkehr und nach Bild 63 für den Endverkehr empfohlen, wobei das zwischenstaatliche Fernamt (ZF)

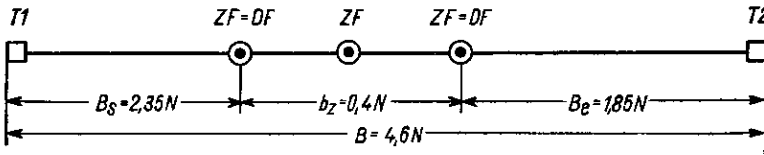


Bild 62. Dämpfungsaufteilung einer zwischenstaatlichen Weitverbindung  
 B = Gesamtbezugsdämpfung, B<sub>S</sub> = Bezugsdämpfung des innerstaatlichen Sendesystems, B<sub>E</sub> = Bezugsdämpfung des innerstaatlichen Empfangssystems, b<sub>Z</sub> = Durchgangsdämpfung der zwischenstaatlichen Leitung

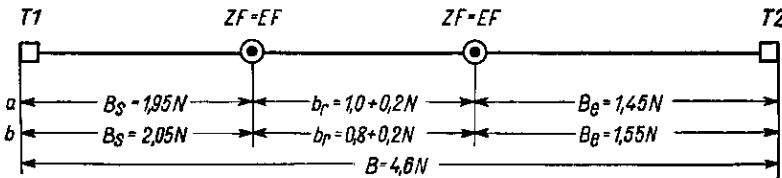


Bild 63. Dämpfungsaufteilung einer zwischenstaatlichen Endverbindung  
 a bei Fernleitung mit Einweg- (Zweidraht-) Betrieb, b bei Fernleitung mit Zweiweg- (Vierdraht-) Betrieb

im ersten Fall vom Range eines Durchgangsfernammtes (DF) ist, im zweiten Fall aber das äußerste Fernamt darstellt, also einem Endfernamte (EF) entspricht.

Die Dämpfung ist als Bezugsdämpfung angegeben. Sie bezieht sich auf das gesamte elektroakustische System und läßt sich nicht auf so einfache Weise messen wie die

Dämpfung der rein akustischen Übertragungssysteme. Man geht auf diesen Begriff immer dann zurück, wenn die Änderung der Lautstärke nicht nur von den Dämpfungen und Verstärkungen in den Leitungen und Amtsschaltungen abhängt, sondern auch von den Eigenschaften des Fernsprechers, also des Mikrofons und Telefons. Wenn Eigenschaften dieser elektroakustischen Geräte eingehen, bestimmt man einen über die Frequenz gemittelten Dämpfungswert, indem man die Lautstärke durch Vergleich mit einem Eichkreis, dessen Dämpfung einstellbar ist, feststellt. Diese Arbeitseichkreise selbst werden durch Vergleich mit einem Ureichkreis, dem SFERT geprüft. Die Dämpfung, die im Ureichkreis oder Arbeitseichkreis eingeschaltet, dessen Lautstärke der des zu messenden Übertragungssystems gleichmacht, heißt Bezugsdämpfung.

Diese so definierte Bezugsdämpfung soll von Teilnehmer zu Teilnehmer gemessen 4,6 N nicht überschreiten. Sie zerfällt in drei Teile: die innerstaatliche Sendebezugsdämpfung, die innerstaatliche Empfangsbezugsdämpfung und die Durchgangs- bzw. Restdämpfung der zwischenstaatlichen Fernleitung. Der Nennwert der Durchgangsdämpfung für die beiden in Europa zugelassenen zwischenstaatlichen Kreise ist 0 N, es werden aber für beide Kreise zusammen 0,4 N für Abweichungen vom Nennwert sowie für zeitliche Schwankungen zugelassen.

Wie die vorgeschriebenen innerstaatlichen Sende- und Empfangsbezugsdämpfungen innerhalb der einzelnen Länder aufgeteilt werden, bleibt dem einzelnen Staat überlassen. In Deutschland z. B. plant man (Bild 62) die Leitungsdämpfung von Teilnehmer zu Teilnehmer mit 3,3 N und die Ortsnetze so, daß man für die Teilnehmer-Anschlußleitung höchstens 0,45 N (Vierpoldämpfung) zuläßt, was einer Kabellänge von 2 km (0,6 mm  $\varnothing$  Cu) + 3,4 km (0,8 mm  $\varnothing$  Cu) und einem Widerstand von 490  $\Omega$  entspricht. Mit diesem und den üblichen Fernsprechern sowie einer kleinen Sicherheit für gelegentliche Überschreitungen, ergibt sich einschließlich des Ortsamts eine höchste Sendebezugsdämpfung von 1,5 N und eine höchste Empfangsbezugsdämpfung von 0,9 N.

Der Rest der zulässigen Dämpfung wird auf dem Wege vom Ortsamt über das Endfernamt zum Verteilerfernamt verbraucht, und für die eigentliche Weitverkehrsstrecke VF—VF wird nur so viel Dämpfung angesetzt, wie man für die Dämpfungsunsicherheit der langen, mit vielen Verstärkern versehenen Leitungen vorsehen muß, um auch in ungünstigen Fällen das Höchstmaß der Bezugsdämpfung nicht zu überschreiten. Der Planungswert für die Durchgangsdämpfung jeder Teilstrecke VF—DF oder DF—DF ist 0 N. Für die zusammengesetzte Verbindung jedoch müssen für kleine Dämpfungsabweichungen der einzelnen Teilabschnitte und die Schaltstellen sowie für zeitliche Schwankungen infolge von Temperatureinflüssen, wechselnder Feuchtigkeit in den Ämtern und Änderungen der Batteriespannungen 0,3 N eingesetzt werden. Es wird z. B. bei Echo-Stabilitätsrechnungen für alle Erscheinungen zusammen für jeden gesondert überwachten Sprechkreis eine Restdämpfungsunsicherheit von 0,2 N angenommen und für  $n$  Abschnitte entsprechend der Wahrscheinlichkeitsrechnung  $0,2 \cdot \sqrt{n}$  N.

Man erkennt, wie wichtig es ist, mit der Zahl der Teilabschnitte bzw. der Schaltstellen maßzuhalten, weil man sonst eine zu große Restdämpfungsunsicherheit erhält und dann entweder die Zweiwegkreise bis zum EF vortreiben oder Restdämpfungsregler für die zusammengeschaltete Verbindung einsetzen müßte.

Die Aufteilung der Dämpfung VF—EF—OA ist zur Zeit ziemlich in Fluß, weil die Einführung des Selbstwählfernamtes eine straffere Bündelung der Leitungen als beim Handamtsbetrieb verlangt. Hierdurch entstehen einerseits mehr Verbundämter (VA) als bisher, von denen jedes 0,15 N Dämpfung für sich beansprucht, andererseits ist man bestrebt, mehr Ortsämter zu einer Netzgruppe zusammenzufassen. Da es aber üblich und zweckmäßig ist, die Netzgruppenmittelpunkte und die Endfernamter (EF) zusammenzulegen, vergrößern sich damit die EF-Bereiche, und die Zahl der EF wird vermindert.

Man hat daher für die Planung der Netzgruppen folgende Regelung getroffen: Die bisherigen Richtlinien (Fall a im Bild 64) wonach auf die Fernvermittlungs- (Überweisungs- oder Netzgruppen-) Leitungen, d. i. die Strecke EF—OA, 0,3 N Dämpfung kommen, entsprechend einer Länge von 30 km (Kabel 1,4 mm  $\varnothing$  Cu, mittelschwerer bespult), bleiben grundsätzlich bestehen. Wird ein Verbundamt (VA) zwischengeschaltet, so sinkt die Reichweite auf die Hälfte. Für die Strecke EF—VF verbleiben damit 1,3 N Dämpfung, wie sie für alle Zweidrahtleitungen planmäßig ist. Bei neuzeitlichen Übertragungseinrichtungen hat man mit Erfolg den Versuch gemacht, die Dämpfung zwischen der Durchgangsklinke eines VF oder DF und der Fernamtsklinke eines EF von 0,5 auf 0,3 N (Fall b im Bild 64) herabzusetzen. Es können daher in solchen schon sehr zahlreichen Fällen die Fernvermittlungsleitungen auf 0,5 N gebracht werden, was einer Ausdehnung der Netzgruppen auf 50 km ohne VA oder 35 km mit VA entspricht. Es ist sogar gestattet, noch bis zu 0,15 N hinzuzunehmen, wenn

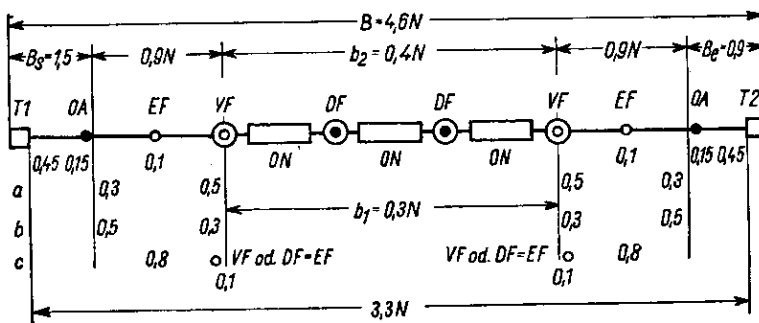


Bild 64. Dämpfungsaufteilung im innerstaatlichen deutschen Netz

$B_s$  = Sendebezugsdämpfung im Ortsnetz,  $B_e$  = Empfangsbezugsdämpfung im Ortsnetz,  
 $b_1$  = Planungswert der DRP,  $b_2$  = mit zeitlichen Schwankungen im Europaverkehr nach den  
 zwischenstaatlichen Empfehlungen

die Teilnehmer-Anschlußleitungen des OA nur kurz sind und um diesen Betrag unter dem Planungswert von 0,45 N bleiben. Die großen Wirtschaftszentren des Reiches verlangen besonders große Netzgruppen. Berücksichtigt man, daß solchen wichtigen Stellen auch stets Ämter höherer Netzebenen, also VF oder DF zugewiesen sind, dann läßt sich die Dämpfung der Fernvermittlungsleitung sogar auf 0,8 N erhöhen (Fall c im Bild 64), weil in diesen Fällen das VF oder DF gleichzeitig EF ist. Es ist nur dafür zu sorgen, daß die Leitungen nicht an der Fernamtsklinke sondern an der Durchgangsklinke verbunden werden.

Die Netzgruppen werden also mehr oder minder den örtlichen Verhältnissen entsprechend geplant; es wird nur an dem Grundsatz festgehalten, im EF oder einem ihm untergeordneten Amt ohne Verstärker zu arbeiten.

Aus allen diesen Erwägungen ergibt sich der Leitungs- und Verstärkerplan des Weitverkehrsnetzes (Bild 65). Vom Verteilerfernamt (VF) zu höheren Netzebenen und innerhalb dieser Ebenen sind nur Zweiwegkreise zugelassen, das sind Vierdrahtleitungen in Kabeln oder auf Freileitungen zweidrahtig geführte Trägerfrequenz-Systeme mit verschiedenen Frequenzbändern in den beiden Übertragungsrichtungen. Wenn die Strecke VF—DF nicht länger als ein Verstärkerfeld ist, können abweichend von der Regel auch Zweidrahtleitungen verwendet werden. Sie sind ebenso wie die Zweiwegkreise im Durchgangsverkehr mit 0 N Dämpfung zu betreiben. Wenn die Entfernung VF—VF zwei Verstärkerfelder übersteigt, sind Zweiwegkreise erforderlich, weil sonst die im Betriebe nötige Stabilität insbesondere der Verbindungen EF—VF—EF nicht genügend gewährleistet ist. Früher plante man bis zu fünf Zweidraht-Zwischenverstärker in einer Verbindung und hatte dabei 1,3 N Restdämpfung. Mit Einführung der Endverstärker ist die Restdämpfung der Zweidrahtleitungen auf 1 N und die Zahl der Rückkopplungskreise auf drei herabgesetzt worden,

was ungefähr die gleiche Pfeifsicherheit der Verbindung ergibt. Als Rückkopplungskreis werden hierbei Zweidraht-Zwischenverstärker oder zwei in einem Amt zusammengeschaltete Endverstärker oder zwei Zweidraht-Endverstärker mit einem zwischenliegenden Zweiwegkreis verstanden, weil bei der Endverstärkertechnik im Durchgangsverkehr der Rückfluß über die amtsseitige Gabel vernachlässigbar klein gehalten werden kann. Bei der Senkung der Restdämpfung auf 0,6 N mit dem Ziele, den Netzgruppen-Durchmesser zu vergrößern, wird die bisher vorhandene Pfeifsicherheit wesentlich herabgesetzt. Es

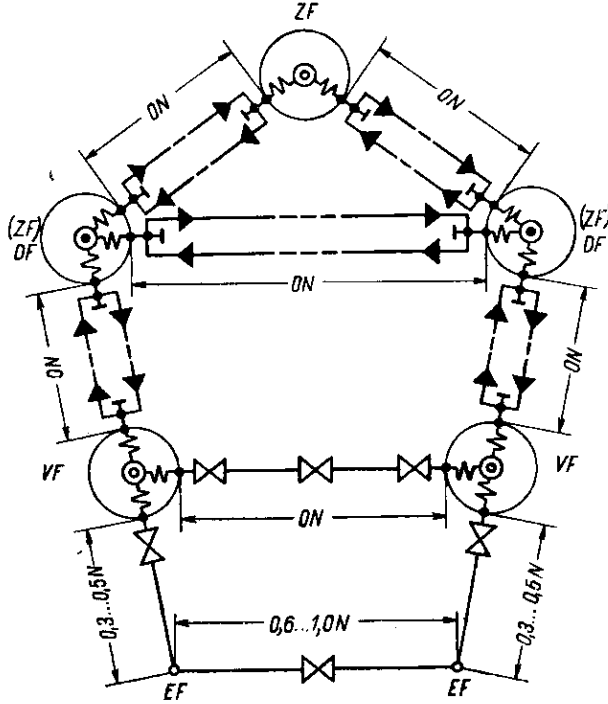


Bild 65. Leitungsplan des Weitverkehrsnetzes  
Entfernungen: EF—EF bis 280 km, DF—VF bis 140 km, VF—VF bis 280 km

werden daher in der Querverbindung VF—VF die Zweidrahtleitungen immer mehr abgebaut und durch Zweiwegkreise ersetzt. Es ist nicht ausgeschlossen, daß man in Zukunft die Vierdrahtleitungen sogar bis zum EF fortsetzt. Da hierdurch die Netzgruppenradien der EF wesentlich vergrößert werden könnten, ist dies gleichbedeutend mit einem weiteren Abbau der Zahl der EF, oder anders ausgedrückt, die bisherigen VF werden um ein geringes vermehrt und zum Netzgruppenmittelpunkt gemacht. Sie übernehmen dabei die Rolle eines EF.

Um eine genügende Pfeifsicherheit der Verbindungen sicherzustellen, sind alle Ämter, in denen Stromkreise mit 0 N Durchgangsdämpfung enden, also VF, DF, ZF, mit zwei Leitungsausgängen versehen (Bild 65). Im Durchgangsverkehr von einer Fernleitung zu einer anderen werden die sogenannten Durchgangsklinken benutzt, so daß keine Restdämpfung aufläuft, im Endverkehr, also beim Übergang in die eigene Netzgruppe, jedoch die Endverkehrsklinke. Zwischen Durchgangs- und Endverkehrsklinke befindet sich ein Dämpfungsglied von der Größe der halben Restdämpfung der Leitung im Endverkehr. Durchverbunden wird zweidrahtig. Im Handamtsverkehr war dieses Verfahren das gegebene, da die Klinkenstöpsel nur zwei Sprechadern erfordern und somit räumlich im Vielfachfeld leicht untergebracht werden konnten. Mit der Einführung des Selbstwähl-

verkehrs und der voraussichtlich damit verbundenen Vermehrung der Schaltstellen wird man zweifellos zu Wählern mit vier Sprecharmen übergehen und zumindest die Zweiwegkreise vierdrätig durchschalten. Man vermeidet also im Zuge einer Verbindung nicht notwendige Gabeln in den Ämtern. Wenn sie auch Nachbildungen enthielten die Rückflüsse praktisch ausschlossen, so sind sie immerhin Punkte möglicher Fehlerquellen, die man gerne beseitigt. Außerdem treten durch die häufige örtliche Trennung von Verstärkerarm und Fernarm Erschwernisse ein, die man bei einer vierdrätigen Durchschaltung leichter bewältigen kann.

Es ist schon darauf hingewiesen worden, daß die Gruppenlaufzeit einer Verbindung von Teilnehmer zu Teilnehmer nicht größer sein soll als 250 ms, da bei längeren Übertragungszeiten durch den Zeitverlust Schwierigkeiten in der Wechselrede entstehen. Wie diese

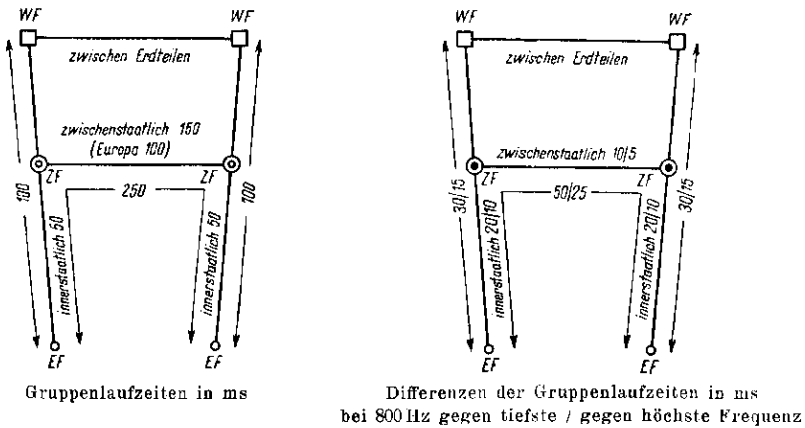


Bild 66. Aufteilung der zulässigen Gruppenlaufzeit

Zeit auf die einzelnen Teile der Verbindung aufzuteilen ist, ist in Bild 66 gezeigt. Hier-nach kommen auf den innerstaatlichen Teil der Verbindung 50 ms, und die Laufzeitverzerrung soll nicht größer sein als 20 bzw. 10 ms. Nach dem Netzplan (Bild 58 und 65) ist für die Strecke vom Teilnehmer bis zum VF, bestehend aus mittelstark bespulten Zweidrahtleitungen 1,4 mm (140/56 mH), mit rund 10 ms Laufzeit und etwa 7 bzw. 3,5 ms Laufzeitverzerrung zu rechnen. Für die Strecke VF—DF verbleiben mithin 40 ms Laufzeit und 13 bzw. 6,5 ms Laufzeitverzerrung. Es ergibt sich daraus, daß wegen der Laufzeitverzerrung höchstens zwei mittelschwer bespulte Vierdraht-Verstärkerfelder (280 km) zugelassen werden können. Darüber hinaus kommen nur noch leicht bespulte Kabel, z. B. 30/12 mH, in Frage, die zudem von etwa 200 km ab bei Betrieb mit der L-Einrichtung (bis 6 kHz) bezogen auf die Kosten eines Sprechkreises je km billiger sind. Andere Weitverkehrseinrichtungen sind die S-Einrichtung (bis 16 kHz) für sehr leicht bespulte Kabelleitungen (3,2 mH) mit vier Sprechkanälen und besonders großen Übertragungsgeschwindigkeiten sowie die U-Einrichtung mit 12 Kanälen auf unbespulten oder dicht bespulten Kabeln. Für besonders starke Bündel von 200 Sprechkreisen und mehr steht die B-Einrichtung für gleichachsige Kabelleitungen zur Verfügung.

Die Anwendung der Niederfrequenz-Verstärker bleibt also auf die niederen Netzebenen, auf das Verteiler- und Endfernnetz, beschränkt. Da aber gerade hier der Sprechverkehr am größten ist und daher die Leitungen am zahlreichsten sind, bilden sie im Fernverkehr über kurze Strecken und im Zubringerdienst für den Weitverkehr ein besonders wichtiges Glied der neuzeitlichen Fernsprechtechnik.

## IV. Stichwörterverzeichnis für den Anhang

Absoluter Pegel . . . . .	246	Gabelschaltung . . . . .	260
Anodenverlustleistung . . . . .	260	Geräusche . . . . .	249
Anpassung . . . . .	238	Geräuschspannung . . . . .	249
Anpassungsfehler . . . . .	238	Gleichmäßige Leitung . . . . .	236
Arbeitskennlinien . . . . .	258	Grundwert der Nebensprechdämpfung . . . . .	252
Arbeitspunkt . . . . .	257	Gruppenlaufzeit . . . . .	243
Bauweisen der Verstärker . . . . .	227	Hochpaß . . . . .	265
Bespulte Leitung . . . . .	241	 	
Bespulung, Einführung der . . . . .	217, 219	Innerer Widerstand der Röhre . . . . .	259
Betriebsdämpfung . . . . .	245	Innerstaatlicher Verkehr . . . . .	268
Bezogene Leitungsgrößen . . . . .	239	 	
Bezugsdämpfung . . . . .	274	Kennlinienfelder der Verstärkerröhre . . . . .	257
 		Klirrdämpfung . . . . .	255
Dämpfung . . . . .	245	Klirrfaktor, allgemein . . . . .	255
—, Betriebs- . . . . .	245	—, der Verstärkerröhre . . . . .	260
—, Bezugs- . . . . .	274	Kondensatorausgleich . . . . .	251
—, Nebenspruch . . . . .	251	Kopplungen . . . . .	253
—, Rest- . . . . .	246, 254	Krupleitung . . . . .	241
—, Wellen- . . . . .	245	Kreuzen . . . . .	249
Dämpfungsmaß . . . . .	236	Kreuzungsausgleich . . . . .	251
Dämpfungsverzerrungen . . . . .	254	Kubische Verzerrungen . . . . .	255
Dezibel . . . . .	234	 	
DM-Verseilung . . . . .	251	Längsentzerrer . . . . .	266
Durchgangsfernamt . . . . .	271	Laufzeit . . . . .	243
Durchgriff . . . . .	259	Laufzeitausgleich . . . . .	219
Durchlaßbereich . . . . .	242	Leistungspegel . . . . .	246
 		Leitung, bespulte . . . . .	241
Echoerscheinungen . . . . .	219	—, gleichmäßige . . . . .	236
Echosperre, Einführung der . . . . .	219	Leitungs-dämpfung . . . . .	245
Einröhrenschaltung . . . . .	224	Leitungsentzerrer . . . . .	265
Einschwingvorgänge . . . . .	219	Leistungsverstärkers, Entwicklung des . . . . .	221
Endfernamt . . . . .	271	Lineare Verzerrungen . . . . .	254
Entwicklung der Verstärkerröhre . . . . .	221	 	
Entwicklung des Fernsprech-Weitverkehrs . . . . .	216	Maschennetz . . . . .	268
Entwicklung des Leistungsverstärkers . . . . .	221	Meßpegel . . . . .	248
Entzerrer . . . . .	265	Mikrofon-Verstärker . . . . .	221
Erdausgleich . . . . .	251	Mitsprechen . . . . .	251
$e^x$ -Werte . . . . .	235	 	
 		Nachbildung . . . . .	260
Fächerentzerrer . . . . .	267	Nahnebensprechen . . . . .	251
Fehlerdämpfung . . . . .	261	Nahverkehr . . . . .	268
Fernnebensprechen . . . . .	251	Nebensprechdämpfung . . . . .	251
Fernnetz . . . . .	268	Nebensprechen . . . . .	251
Fernsprechformfaktor . . . . .	254	Neper . . . . .	234
Fernverkehr . . . . .	268	Netzgruppe . . . . .	268
Fremdspannung . . . . .	249	Netzplanung . . . . .	268
Filter . . . . .	265	Nichtlineare Verzerrungen . . . . .	255
Funkfernsprechens, Einführung des . . . . .	220	Normalgenerator . . . . .	246

Ortsnetz . . . . .	268
Paarverseilung . . . . .	250
Pegel . . . . .	246
—, Absoluter . . . . .	246
—, Leistungs- . . . . .	246
—, Meß- . . . . .	248
—, Relativer . . . . .	246
—, Spannungs- . . . . .	246
—, Strom- . . . . .	246
Pegeldiagramm . . . . .	248
Pegelkurve . . . . .	248
Pfeifpunkt . . . . .	262
Pfeifsicherheit . . . . .	262
Phasengeschwindigkeit . . . . .	237
Phasenmaß . . . . .	236
Phasenverzerrungen . . . . .	255
Quadratische Verzerrungen . . . . .	255
Querentzerrer . . . . .	266
Reflexion . . . . .	237
Reflexionsfaktor . . . . .	238
Relativer Pegel . . . . .	246
Restdämpfung . . . . .	246, 254
Richtschialtung . . . . .	226
Rückflußdämpfung . . . . .	238
Sättigungsspannung, -strom . . . . .	237
Spannungspegel . . . . .	246
Sperrbereich . . . . .	242
Steilheit . . . . .	259
Sternnetz . . . . .	270
Stern-Verseilung . . . . .	250
Stoßdämpfung . . . . .	237
Stoßstelle . . . . .	237
Strompegel . . . . .	246
Tiefpaß . . . . .	265

Übersprechen . . . . .	251
Übertrager-Kopplung . . . . .	258
Übertragungsgrößen der Fernleitung . . . . .	236
Übertragungsmaß . . . . .	237
Übertragungszeit . . . . .	219
Verbundamt . . . . .	270
Verkehrsausscheidungs-ziffer . . . . .	270
Verlustwinkel der Leitung . . . . .	239
Verseilung . . . . .	250
—, DM- . . . . .	251
—, Stern- . . . . .	250
Verstärker, Bauweisen der . . . . .	227
Verstärkerröhre . . . . .	256
Verstärkerröhre, Entwicklung der . . . . .	221
Verstärkung . . . . .	259
Verstärkung, Einführung der . . . . .	217
Verstärkungsfaktor . . . . .	259
Verstärkungsregler . . . . .	267
Verteilerfernamt . . . . .	271
Verzerrungen . . . . .	254
—, Dämpfungs- (Lineare) . . . . .	254
—, Nichtlineare . . . . .	255
—, Phasen- . . . . .	255
Vierdrahtschaltung . . . . .	225
Viererverseilung . . . . .	250
Vierpoldämpfung . . . . .	245
Wellendämpfung . . . . .	245
Wellenlänge . . . . .	236
Wellenwiderstand . . . . .	237
Weltfernamt . . . . .	271
Weltfernnetz . . . . .	268
Widerstands-Kopplung . . . . .	258
Zweidrahtschaltung . . . . .	224
Zwischenstaatlicher Verkehr . . . . .	268
Zwischenstaatliches Fernamt . . . . .	271