

Zeitschrift:	Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri
Herausgeber:	Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe
Band:	56 (1978)
Heft:	7
Artikel:	Modulationsaufbereitung : Trapezmodulation, Klippen
Autor:	Zimmermann, Markus
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-875210

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Modulationsaufbereitung: Trapezmodulation, Klippen

Markus ZIMMERMANN, Beromünster

621.376.9:621.396.665:621.396.97

Zusammenfassung. Es werden die drei gebräuchlichsten Aufbereitungsgeräte vorgestellt: Kompressor, Begrenzer und Klipper. Bei der Trapezmodulation wird die Formel für die erhöhte Senderausgangsleistung hergeleitet. Als wichtigster Punkt wird der Lautheitsunterschied zwischen Musik und Sprache untersucht und zum Schluss eine Lösungsmöglichkeit dieses Problems vorgestellt: die alleinige Verwendung des Klippers, jedoch mit differenzierter Pegelung, so dass nur Sprache geklippt wird.

Préparation de la modulation: modulation trapézoïdale, écrêtage (clipping)

Résumé. L'auteur présente les trois dispositifs les plus fréquemment utilisés pour améliorer l'efficacité de la modulation: le compresseur, le limiteur et l'écrêteur. Dans le domaine de la modulation trapézoïdale, il montre comment on établit la formule pour la puissance d'émission de sortie accrue. Il insiste surtout sur le problème que représente la différence d'intensité sonore dans la transmission d'émissions musicales et parlées et montre comment on pourrait le résoudre. Il serait possible d'utiliser uniquement un écrêteur à niveaux différenciés, qui n'écrêterait que les signaux de parole.

Preparazione della modulazione: modulazione trapezoidale, sfioratore (clipper)

Riassunto. Sono presentati i tre apparecchi di preparazione più comunemente usati: compressore, limitatore e sfioratore. Per la modulazione trapezoidale la formula è fatta derivare da una più elevata potenza d'uscita del trasmettitore. Quale punto principale si esamina la differenza di volume tra musica e parlato. Alla fine si propone una possibile soluzione di questo problema: solo l'impiego del clipper, tuttavia con livello differenziato, in modo che solamente il parlato sia sfiorato.

1 Warum muss die Modulation überhaupt aufbereitet werden?

Einerseits zur Verbesserung des Störabstandes, um bei Mittelwellen(MW)- und Kurzwellen(KW)-Übertragungen die Pianostellen aus den — auf dem Übertragungsweg dazukommenden — Störgeräuschen herauszuheben, anderseits als Senderschutz, da die Sender bei Amplitudenmodulation nicht über 100 % moduliert werden können. Zu diesen Zwecken kommen *Kompressoren*, *Begrenzer* und *Klipper* zum Einsatz. Jedes dieser Geräte hat seine spezifischen Vor- und Nachteile.

22 Der Begrenzer

Der Begrenzer ist als Aufbereitungsgerät schon nicht mehr so «human». Aus *Figur 2* ist ersichtlich, dass seine Dynamikkennlinie einen starken Knick aufweist, so dass zwischen Mezzoforte und Fortissimo kein Unterschied mehr besteht.

Der Begrenzer gewährleistet einen wirksamen Senderschutz. Vielfach wird er so eingestellt, dass er erst beim Maximalpegel anspricht und dadurch nur als Senderschutz wirkt. Auf diese Art ist jedoch kein Aufbereitungsgewinn mehr vorhanden.

Wie beim Kompressor, so handelt es sich auch beim Begrenzer um einen Regelverstärker, bei dem keine Verzerrungen, dafür Probleme mit den Ansprech- und Erholungszeiten auftreten.

2 Die gebräuchlichsten Aufbereitungsgeräte

21 Der Kompressor

Der Kompressor hat die Aufgabe, den Dynamikumfang in einem gewissen Verhältnis zu verkleinern. Eine typische Dynamikkennlinie ist in *Figur 1* ersichtlich. Man sieht, die Pianostellen sind angehoben; der Unterschied zwischen Piano und Forte ist nicht mehr so gross.

Der Kompressor ist das «humanste» aller Aufbereitungsgeräte. Die Dynamikkennlinie ist über einen grossen Teil des Übertragungsbereiches linear, und ausserdem erzeugt der Kompressor keine Verzerrungen.

Um die Anhebung der Geräusche zu vermeiden, wird im untern Teil des Übertragungsbereiches ein Expander eingesetzt. Die Einstellung des Expanderereinsatzbereiches kann leider nicht eindeutig vorgenommen werden, da das Gerät nicht unterscheiden kann, ob es sich um Pianostellen oder Geräusche handelt. Auch haben die Atmungsgeräusche von Sprechern zum Teil höhere Pegel als Pianostellen. Ein befriedigender Kompromiss kann kaum gefunden werden. Die Stimme mancher Sprecher tönt nach dem Kompressor wie die eines Astmatikers.

Da es sich beim Kompressor um einen Regelverstärker handelt, treten auch Probleme mit den Ansprech- und Erholungszeiten auf.

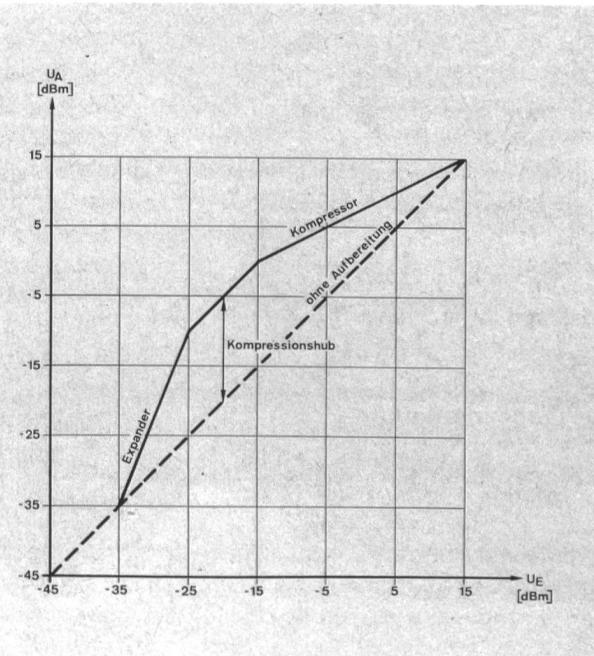


Fig. 1
Typische Dynamikkennlinie eines Kompressors

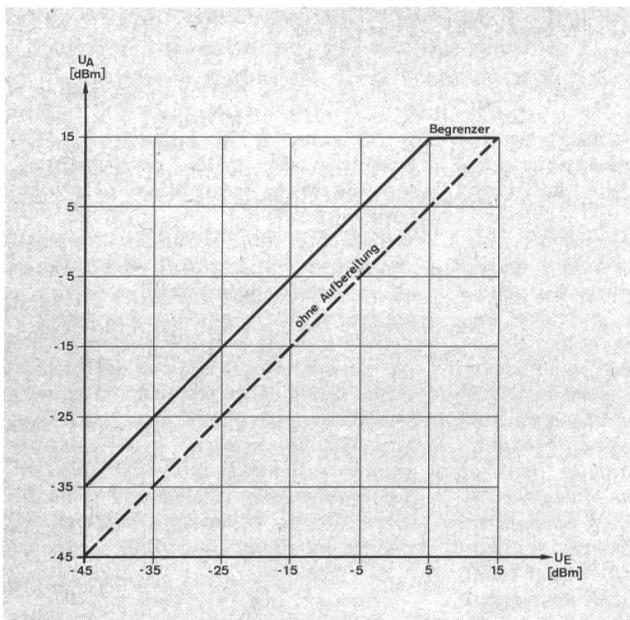


Fig. 2
Typische Dynamikkennlinie eines Begrenzers

Die Ansprechzeit ist ausserdem schuld daran, dass der Begrenzer nicht als idealer Senderschutz bezeichnet werden kann.

23 Der Klipper

Das «schlimmste» Aufbereitungsgerät ist der Klipper. Er bietet aber interessante Möglichkeiten. Deshalb soll auf ihn näher eingegangen werden.

Beim Klipper wird alles, was einen eingestellten Spitzenpegel überschreitet, abgeschnitten beziehungsweise geklippt. Es entstehen nichtlineare Verzerrungen. Dafür kennt man beim Klipper keine Ansprech- und Erholungszeiten.

Spitzenpegelmässig sieht die Dynamikkennlinie gleich aus wie die des Begrenzers. Lautheitseindrucksmässig geht die Kennlinie beim Knick jedoch beinahe gradlinig weiter, das heisst der Klipper gibt das Programm nahezu dynamikgetreu weiter. Er ist zudem der beste Senderschutz. Will man auf den Aufbereitungsgewinn verzichten, kann man auch den Klipper so einpegeln, dass er als reiner Senderschutz gebraucht werden kann, wodurch die nichtlinearen Verzerrungen entfallen.

Wird ein Sender mit einem geklippten Signal moduliert, spricht man von *Trapezmodulation*.

3 Trapezmodulation

Nach bekannter Formel für sinusförmige Amplitudenmodulation

$$P_{\text{mod.}} = P_{\text{Träger}} \left(1 + \frac{m^2}{2} \right) \quad (1)$$

nimmt die Ausgangsleistung eines Senders durch die Modulation höchstens um 50 % zu. Das heisst ein

250-kW-Sender kann im Maximum (bei $m=100\%$) 375 kW abgeben. Diese Tatsache wird auch durch Komprimieren oder Begrenzen des Modulationssignals nicht verändert.

Bei Trapezmodulation sehen die Verhältnisse nicht mehr so einfach aus. Es soll deshalb eine auch für Trapezmodulation gültige Formel hergeleitet werden. Als Grundlage für die Berechnungen dient Figur 3.

$$P_{\text{mod.}} = \frac{U_{\text{eff}}^2}{R} = \frac{\int_0^{2\pi} u_{\text{NF}}^2 dt}{2\pi R} \quad (2)$$

u_{NF} ist der NF-mässige Momentanwert des Effektivwertes der HF-Spannung. Wird $u = \frac{u_{\text{NF}}}{U_T}$ eingeführt, kann in (2) eingesetzt werden:

$$P_{\text{mod.}} = \frac{\int_0^{2\pi} (u \cdot U_T)^2 dt}{2\pi R} = \frac{U_T^2 \int_0^{2\pi} u^2 dt}{2\pi R} = \frac{P_{\text{Träger}}}{2\pi} \int_0^{2\pi} u^2 dt$$

Das Integral in Teilbereiche zerlegt, gibt

$$P_{\text{mod.}} = \frac{P_{\text{Träger}}}{2\pi} \left\{ 2 \int_0^{t_1} (1 + \hat{U} \sin t)^2 dt + \Delta t (1 + U_c)^2 + \right. \\ \left. + 2 \int_0^{t_1} (1 - \hat{U} \sin t)^2 dt + \Delta t (1 - U_c)^2 \right\}$$

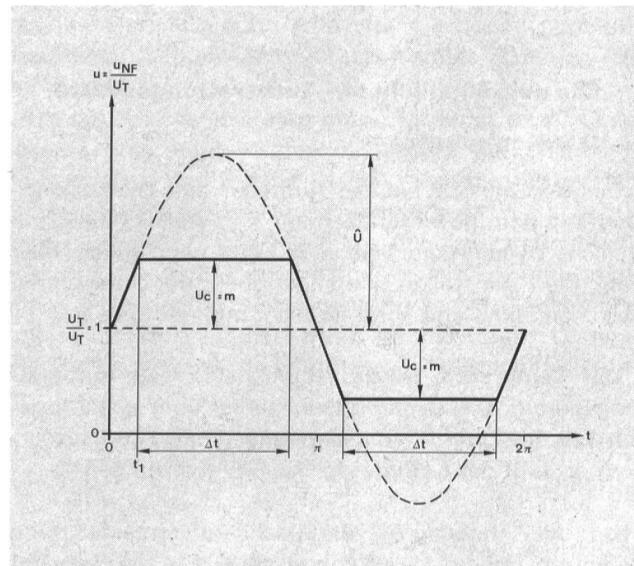


Fig. 3
Hilfsfigur zur Berechnung der Trapezmodulation

U_T Effektivwert der HF-Trägerspannung

u_{NF} NF-mässiger Momentanwert von U_T

$$u = \frac{u_{\text{NF}}}{U_T}$$

Spitzenwert der NF-Spannung

$$U_c = \frac{\text{Geklippte NF-Spannung}}{U_T} = m$$

$$\Delta t = \pi - 2t_1$$

$$t_1 = \arcsin \frac{U_c}{\hat{U}} = \arcsin \frac{1}{k}$$

$$k = \frac{\hat{U}}{U_c} = \text{numlog} \frac{K}{20}$$

$$K = \text{Klippungsgrad}$$

Dimensionslose Grössen

wobei gleichflächige Teilbereiche zusammengefasst wurden. \hat{U} und U_c sind wie u — ins Verhältnis zu U_T gesetzte Momentanwerte — und sind somit dimensionslos.

$$\begin{aligned} P_{\text{mod.}} &= \frac{P_{\text{Träger}}}{2\pi} \left[\Delta t (2 + 2 U_c^2) + 2 \int_0^{t_1} (1 + 2 \hat{U} \sin t + \hat{U}^2 \sin^2 t) dt + \right. \\ &\quad \left. + 2 \int_0^{t_1} (1 - 2 \hat{U} \sin t + \hat{U}^2 \sin^2 t) dt \right] \\ P_{\text{mod.}} &= \frac{P_{\text{Träger}}}{2\pi} \left\{ 2 \Delta t (1 + U_c^2) + 4 t_1 + 4 \hat{U}^2 \int_0^{t_1} \sin^2 t dt \right\} \\ P_{\text{mod.}} &= \frac{P_{\text{Träger}}}{2\pi} \left\{ 2 \Delta t (1 + U_c^2) + 4 t_1 + 4 \hat{U}^2 \left[\frac{t}{2} - \frac{1}{4} \sin 2t \right]^{t_1} \right\} \\ P_{\text{mod.}} &= \frac{P_{\text{Träger}}}{2\pi} \{ 2 \Delta t (1 + U_c^2) + 4 t_1 + \hat{U}^2 (2 t_1 - \sin 2 t_1) \} \quad (3) \end{aligned}$$

Setzt man $\hat{U} = U_c \cdot k$ und $U_c = m$ (wobei k den Klippungsgrad in Form des Verhältnisses $\frac{\hat{U}}{U_c}$ angibt) in (3) ein, entsteht folgendes Resultat:

$$P_{\text{mod.}} = \frac{P_{\text{Träger}}}{2\pi} \{ 2 \Delta t (1 + m^2) + 4 t_1 + m^2 k^2 (2 t_1 - \sin 2 t_1) \} \quad (4)$$

Nun kann man noch $\Delta t = \pi - 2 t_1$ und $t_1 = \arcsin \frac{1}{k}$ in (4) einsetzen, um eine Formel zu erhalten, die nur $P_{\text{Träger}}$, m und k enthält.

$$\begin{aligned} P_{\text{mod.}} &= \frac{P_{\text{Träger}}}{2\pi} \left\{ 2 \left(\pi - 2 \arcsin \frac{1}{k} \right) (1 + m^2) + 4 \arcsin \frac{1}{k} + \right. \\ &\quad \left. + m^2 k^2 \left[2 \arcsin \frac{1}{k} - \sin \left(2 \arcsin \frac{1}{k} \right) \right] \right\} \\ P_{\text{mod.}} &= \frac{P_{\text{Träger}}}{2\pi} \left\{ 2\pi + 2\pi m^2 - 4 m^2 \arcsin \frac{1}{k} + \right. \\ &\quad \left. + 2 m^2 k^2 \arcsin \frac{1}{k} - m^2 k^2 \sin \left(2 \arcsin \frac{1}{k} \right) \right\} \end{aligned}$$

Die goniometrische Umformung ergibt

$$\begin{aligned} P_{\text{mod.}} &= \frac{P_{\text{Träger}}}{2\pi} \left\{ 2\pi + 2\pi m^2 - 4 m^2 \arcsin \frac{1}{k} + \right. \\ &\quad \left. + 2 m^2 k^2 \arcsin \frac{1}{k} - m^2 k^2 \frac{2}{k} \sqrt{1 - \frac{1}{k^2}} \right\} \end{aligned}$$

Und nach Umgruppierung entsteht folgendes Endresultat:

$$P_{\text{mod.}} = P_{\text{Träger}} \left(1 + m^2, \frac{\pi + (k^2 - 2) \arcsin \frac{1}{k} - \sqrt{k^2 - 1}}{\pi} \right) \quad (5)$$

Wird in Formel (5) $k=1$ gesetzt (also OdB-Klipping), so resultiert die altbekannte Formel (1).

Einsetzen von gebräuchlichen m - und k -Werten in (5) zeigt, dass die Ausgangsleistung eines Senders bei Trapezmodulation weit mehr als 50 % zunimmt. Beispielsweise gibt ein 250-kW-Sender folgende Leistungen ab:

bei $m = 0,95$, $K = 3$ dB, $k = 1,413$	404 kW
bei $m = 0,95$, $K = 6$ dB, $k = 1,995$	426 kW
bei $m = 0,95$, $K = 9$ dB, $k = 2,818$	441 kW
bei $m = 0,95$, $K = 12$ dB, $k = 3,981$	451 kW

Der Modulationsgrad wird bei Trapezmodulation wegen der Dachschrägprobleme in der Regel nicht grösser als 95 % gewählt. Es muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass ein normaler Sendermodulator ein geklipptes Signal nicht formgetreu verstärkt. Würde keine Vorentzerrung vorgenommen, erschiene am Modulatorausgang ein Trapezzignal mit erheblicher Dachschräge, und damit wäre der Gewinn dahin.

Deshalb muss dem Modulator ein Gerät vorgeschaltet werden, das das Trapezzignal von vornherein mit einer Dachschräge in umgekehrter Richtung so überhöht, dass dadurch die Dachschräge des Senders kompensiert wird. Die Lösung dieses Problems ist aus [1] ersichtlich.

4 Kombination verschiedener Aufbereitungsgeräte

Vielfach werden Kompressor und Begrenzer hintereinander geschaltet, um von beiden Geräten deren Vorteile auszunützen: vom Kompressor die «humane» Aufbereitung und vom Begrenzer den guten Senderschutz. Leider muss dann der Kompressor trotzdem den vollen Dynamikumfang verarbeiten, was zu Übersteuerungsproblemen führt.

Kombinationen von Kompressoren und/oder Begrenzern mit Klippern sind, falls der Klipper nicht nur als reiner Senderschutz eingesetzt wird, qualitätsmässig untragbar. Bei Sprachsendungen hätte der Sender eine grosse Durchschlagskraft; bei Musiksendungen wären jedoch die auftretenden Verzerrungen für den Hörer unzumutbar.

Gute Resultate wurden mit kombinierten Geräten erzielt, bei denen Kompressor und Begrenzer in eine Schaltung integriert wurden [2].

Auch diesen guten Aufbereitungsgeräten haftet jedoch das Problem der *Lautheitsunterschiede* an.

5 Lautheitsunterschiede zwischen Sprache und Musik¹

51 «Allen Leuten recht getan, ist eine Kunst, die niemand kann»

Über das Problem der Lautheitsunterschiede zwischen Sprache und Musik wurden schon viele Untersuchungen angestellt [3], die zu den verschiedensten Re-

¹ Die Ausführungen der Abschnitte 5 und 6 geben die Meinung des Verfassers wieder. Red.

sultaten gelangten. In der Tat kommt es sehr auf die Hörergewohnheiten und -eigenheiten an, ob jemand Sprache oder Musik als zu laut empfindet. Man könnte also das Problem mit dem Sprichwort «Allen Leuten recht getan...» ad acta legen. Dieses Vorgehen wäre jedoch nur in Ordnung, wenn sich die gegenteiligen Auffassungen — Musik oder Sprache zu laut — ungefähr die Stange hielten. Dem ist jedoch nicht so. Frägt man 100 unvoreingenommene Mittelwellen-Radiohörer über ihren Eindruck, wird von über 90 Personen die Musik als zu laut empfunden.

Könnten nun nicht die Operateure im Studio die Musik schwächer aussteuern? Das könnten sie nicht nur, sondern das tun sie auch, aber die Aufbereitungsgeräte machen die Bemühungen der Operateure wieder zunichte. Kompressoren und Begrenzer heben die Musik spitzenmäßig wieder auf das gleiche Niveau wie die Sprache. Wenn nun aber die Spitzen bei Musik und Sprache auf dem gleichen Niveau sind, ist der Lautheitseindruck der Sprache kleiner, da bei Sprache hohe, schmale Spitzen auftreten, der mittlere Energieinhalt jedoch klein ist.

Wie könnte nun dieses Problem gelöst werden? Auf die Aufbereitung kann man nicht verzichten, weil sonst die in der Einleitung erwähnten Unzulänglichkeiten der Radioübertragung wieder in Kauf genommen werden müssten.

52 Elektronischer «Musik-Sprach-Schalter»

Hätte man ein Gerät, das Musik und Sprache identifizieren könnte, wäre es möglich, Sprache und Musik in der Aufbereitung getrennt zu behandeln (auch frequenzgangmässige Korrekturen betreffend [4]). Die interessanteste Variante ergäbe sich zweifellos dadurch, dass für die Musik ein Kompressor und für die Sprache ein Klipper eingesetzt würde. Beim Kompressor würde, da er keine Sprache mehr zu verarbeiten hätte, kein «Asthmatikereffekt» mehr auftreten, beim Klipper würde keine Musik mehr durch Verzerrungen verunstaltet.

Elektronische «Musik-Sprach-Schalter» wären auf dem Markt erhältlich, sie sind jedoch, wie aus [5] hervorgeht, mit mittleren Ansprechzeiten von 2,2 s und mittleren Abfallzeiten von 5,8 s behaftet. Außerdem könnte ein solcher Schalter nicht — so wie ein Tontechniker — die Übergänge den Besonderheiten der verschiedenen Programme anpassen.

53 Alleiniger Einsatz des Klippers mit differenzierter Pegelung

Den Klipper — das «schlimmste» Aufbereitungsgerät — allein einzusetzen, wäre das nicht ein arger Missgriff?

Nein, denn wenn alle andern Aufbereitungsgeräte (studio- und senderseitig) entfernt würden, könnte der Klipper so eingepegelt werden, dass nur die Vorteile des Klippers, nicht aber seine Nachteile zur Wirkung kämen.

Aus den vorangegangenen Ausführungen geht hervor, dass:

1. der Klipper den Lautheitseindruck nicht verändert
2. Musik nicht geklippt werden sollte
3. der Operateur im Studio die Sprachspitzen höher aussteuert als Musik

Würde nun der Klipper so eingestellt, dass er 9 dB vor Erreichen des Spitzenepegels anspricht, so könnte die Verstärkung des Sendermodulators um 9 dB erhöht werden. Dies brächte die nötige Störabstandsverbesserung.

Dem Operateur müsste nun aber die Auflage gemacht werden, dass er Musik nur noch bis 9 dB (6-dBm-Marke) unterhalb des Maximalwertes aussteuern dürfte. Dadurch würde keine Musik geklippt, und es entstünden keine Verzerrungen. Sprache dürfte nach wie vor bis zum Maximalwert ausgesteuert werden. Die Sprachspitzen würden dann geklippt, aber die vom Operateur eingestellte Lautstärke bliebe erhalten.

Selbstverständlich würde eine solche Anordnung eine genaue Einpegelung, gute Zusammenarbeit zwischen Sender und Studios und vor allem grosse Disziplin der Operateure erfordern.

Für die Anspeisung der UKW-FM-Sender aus den gleichen Studios entstünden keine Schwierigkeiten, denn auch bei diesen Sendern müssten die Sprachspitzen höher ausgesteuert werden, um einen ausgeglichenen Lautheitseindruck zu erhalten.

Eine Möglichkeit bestünde auch darin, die Sprachspitzen schon in den Studios bei den Mikrofonen zu klippen. Bei dieser Variante müssten jedoch zunächst die Dachschrägeprobleme, die durch die Leitungsübertragung entstehen, gelöst werden.

6 Schlussbetrachtungen

Es konnte nicht auf alle Detailprobleme der Aufbereitung eingegangen werden. Immerhin zeigen diese Ausführungen, dass vor dem Problem der Lautheitsunterschiede nicht einfach kapituliert werden muss.

Sobald nämlich das, was die Operateure regeln (*Titelbild*), auch in den Empfängern hörbar wäre und nicht mehr wie bisher durch irgendwelche Geräte verfälscht würde, wären die Operateure auch bereit, die Verantwortung für die Aussteuerung zu übernehmen. Da es sich um ein physiologisches Problem handelt, muss die Lautstärke von Menschen für Menschen eingestellt werden. Elektronische Geräte können der Vielfalt verschiedener Programmübergänge nie gerecht werden.

Bibliographie

- [1] *Dick M.* Probleme der Trapezmodulation. Zürich, Bull. SEV 61 (1970) Nr. 15, S. 677.
- [2] *Bäder K. O.* und *Blesser B. A.* Ein Kompressorsystem mit variablen Eigenschaften und Pulsdauermodulation. Berlin, Radio Mentor Electronic 34 (1968) Nr. 12, S. 865...868; 35 (1969) Nr. 1, S. 031...034.
- [3] *CCIR.* Genève, Commission d'études 10, Doc. 10/63-F, 3 mai 1972.
- [4] *Belger E.* und *Jakubowski H.* Möglichkeiten zur Erhöhung der Sprachverständlichkeit bei Mittelwellen-Fernempfang. Hamburg, Rundfunktechn. Mitt. 11 (1967) Nr. 5, S. 266...272.
- [5] *Ritter R.* Verhalten des «Musik-Sprach-Schalters» der Tonographie Apparatebau v. Willisen & Co., Bern, Generaldirektion PTT, Radio- und Fernsehabteilung, Sektion Betrieb und Studio, Messbericht vom 6. Sept. 1971.