

# Probleme der Aussteuerung des Tonprogrammsignals bei Rundfunk und Fernsehen

Teil 1

Dipl.-Ing. GERHARD STEINKE

Mitteilung aus dem Rundfunk- und Fernseh-technischen Zentralamt der Deutschen Post

Die Problematik einer Verringerung des Störpegels und der Verzerrungen liegt nicht bei den im statischen Fall erreichbaren Werten und Toleranzen für die Übertragungseinrichtungen, wie sie u. a. in der OIRT-Empfehlung 62/2 für den Programmaustausch festgelegt sind und außerdem für den Tonkanal bis zum Kontrollempfänger als orientierend angegeben werden [1] [2]. Die Schwierigkeiten entstehen im dynamischen Betrieb während der Übertragung des Programms durch die meist unkontrollierbaren Auswirkungen einer Anzahl von Kompromissen. Die relativ häufig und in unterschiedlicher Größe auftretenden Fehler und Probleme können wie folgt zusammengefaßt werden:

- Zunahme der hörerwirksamen Pegelschwankungen, der linearen und nicht-linearen Verzerrungen und der Störgeräusche durch Abweichungen von den festgelegten Pegeln und Dynamikverhältnissen innerhalb des gesamten Übertragungskanal, sowohl bei nationalen Programmen als auch im internationalen Programmaustausch
- Abweichung der Klangqualität nach Übertragung und Empfang gegenüber Produktion und Aufzeichnung durch Deformation des Tonsignalspektrums.

Unter anderen sind dafür folgende Ursachen zu nennen:

- Der maximale Betriebspegel für Programmsignale ist nicht eindeutig genug definiert und kontrollierbar.
- Kurzzeitige Übersteuerungen im Programmsignal werden von den gegenwärtig bei den Rundfunkorganisationen verwendeten unterschiedlichen Aussteuerungsmessern nicht einheitlich bewertet und somit nicht gleichartig beherrscht.
- Schutzeinrichtungen zur Vermeidung von Übersteuerungen und zur Einhaltung des maximalen Betriebspegels arbeiten nicht nach einheitlichen Forderungen.
- Die bisher für die Festlegung von Preemphasieverläufen in Magnetbandgeräten, Übertragungseinrichtungen, Digitalgeräten, UKW-Sendern, Kompandern usw. zugrunde liegende Amplitudenstatistik ist insbesondere durch den Einsatz von Kompressoren bei der Produktion überholt, so daß nachträgliche Klangveränderungen durch automatische Schutzvorrichtungen erzwungen werden müssen.
- Für die Qualitätsparameter des Materials für internationalen Programmaustausch fehlt beim CCIR noch eine grundlegende Empfehlung (etwa auf der Basis des Berichts 293-4 [3] bzw. OIRT-Empfehlung 62/2).

Die bisher geltenden nationalen und internationalen Standards können die verschie-

Die Qualität der Übertragung beim UKW-Hörrundfunk hat allgemein einen hohen Stand erreicht. Wesentliche Qualitätsverbesserungen werden nur noch für wenige Parameter als notwendig erachtet. Verbessert werden sollten die im folgenden diskutierten Störpegel- und Verzerrungsgrenzen für den Tonkanal, um den großen Teil derjenigen Hörer zu befriedigen, die unter UKW-Qualität wirklich „High-Fidelity“ erwarten.

denartigen Einflüsse nur teilweise erfassen, so daß sowohl beim Rundfunk- und Fernseheteilnehmer als auch im internationalen Programmaustausch immer wieder Störungen auftreten. Es ist daher erforderlich, die auftretenden Probleme schnellstens zu klären und einheitliche, schrittweise Maßnahmen zu deren Beherrschung zu vereinbaren, um noch vor der Übergangsphase von der analogen zur digitalen Technik eindeutige Verhältnisse zu schaffen, auf deren Grundlage später die Vorteile der Digitaltechnik voll ausgeschöpft werden können.

Innerhalb des CCIR befaßt sich inzwischen eine internationale Arbeitsgruppe mit dieser Problematik [5].

Im folgenden soll durch komplexe Betrachtungsweise des Tonübertragungskanal auf wesentliche Diskrepanzen oder auch unterschiedliche Verfahrensweisen bei den Rundfunkorganisationen aufmerksam gemacht werden.

## Aufgaben der Rundfunkübertragung

Die prinzipiellen technischen Aufgaben der Rundfunkübertragung können wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Umformung der Parameter von akustischen (natürlichen) Schallereignissen in ein elektrisches Tonsignal (Tonprogrammsignal) mit derartigen elektrischen Grenzwerten, wie sie entsprechend den Bedingungen auf der Wiedergabeseite, d. h. beim Hörer, aus subjektiven Gründen zur Erzeugung adäquater Hörereignisse als notwendig und ökonomisch vertretbar angesehen werden können.
2. Technisch-ästhetische Gestaltung des Tonprogrammsignals im Verlauf der Umformung entspr. Pkt. 1. mit Hilfe geeigneter Bearbeitungstechnologien (Richtungverteilung, Raumdarstellung, Mischung, Filterung usw.) derart, daß beim Hörer eine optimale Vorstellung vom jeweiligen Schallereignis vermittelt wird, einschließlich seiner Zuordnung im Raum (Ursprungsraum) und seiner akustischen Umgebung [6] [7].
3. Übertragung bzw. Programmaustausch des Tonprogrammsignals derart, daß ohne ästhetisch nachteilige Beeinflussung das Signal seine elektrischen Werte nur im Rahmen festgelegter Parameter und Toleranzen verändert [2]. Es sollte daher seinen bei der Produktion festgelegten Frequenz- und Dynamikbereich beibehalten und eine ausreichende Reserve bis zum Störpegel besitzen (gekennzeichnet durch den auf den Maximal-(Nenn-)Betriebspegel bezogenen Geräuschpegelabstand). Ferner ist für den (entsprechend definierten) Maximalpegel ein festgelegter Grenzwert für nichtlineare Verzerrungen einzuhalten.

Aus technisch-ökonomischen Gründen ist die Kanalkapazität des jeweiligen Übertragungssystems optimal zu nutzen.

4. Einhaltung einer ästhetisch befriedigenden Lautheitsbalance zwischen Musik und Sprache bzw. verschiedenen musikalischen Genres innerhalb eines geschlossenen Programmabschnitts unter Berücksichtigung der spezifischen Bedürfnisse des Hörers bzw. Gewährleistung eines gleichmäßigen mittleren Lautheitspegels, unabhängig vom Programmcharakter.

Die folgenden Betrachtungen beschränken sich vorwiegend auf die objektiven Aspekte der Übertragung, d. h. auf die unter Pkt. 1. und 3. genannten Aufgaben.

Die Frage einer optimalen Lautheitsbalance ist kein allein im Funkhaus zu beherrschendes Aussteuerungsproblem; sie ist ohne Bezug auf die jeweilige Situation des einzelnen Hörers nicht lösbar. Nach bisherigen Erkenntnissen (z. B. in [8]) und inzwischen auch international einheitlichen Auffassungen lassen sich Verbesserungen nur bei Einführung der automatisierten Programmabwicklung beim Rundfunk sowie bei gleichzeitiger Einbeziehung der Empfangsgeräte durch Übertragung entsprechender Programmkennsignale und Einsatz von Regelverstärkern erzielen. Die Anwendung der sog. lautheitsgerechten Aussteuerung setzt jedoch auch voraus, daß die im folgenden Abschnitt dargelegten Grundfragen befriedigend geklärt sind.

Darüber hinaus müssen natürlich alle Maßnahmen zur lautheitsgerechten Aussteuerung innerhalb der festgelegten Grenzen, d. h. zwischen Maximal-Betriebspegel und unterer Dynamikgrenze, liegen. Sie können daher als programmgestaltende Maßnahmen hier unberücksichtigt bleiben.

## Möglichkeiten der Beeinflussung des Tonprogrammsignals auf dem Übertragungsweg zum Hörer

In der Übertragungskette für Tonprogrammsignal vom Studio zum Hörer (Bild 1) gibt es eine Reihe kritischer Punkte:

- die Aussteuerungskontrolle des gestalteten und gemischten (Live-)Programmsignals im Regieraum bei der Programmabwicklung
- die Einhaltung von definiertem Pegel und Spektrum des Tonsignals mit hohem Störabstand bei der Aufzeichnung sowie bei der Abgabe des Signals am Verbindungspunkt Funkhaus - Übertragungsweg
- den Übertragungsweg (Leitung, Richtfunkstrecke) mit ggf. spezieller Preemphas-Deemphas- und Kompandereinrichtungen
- die Einhaltung von definiertem Pegel



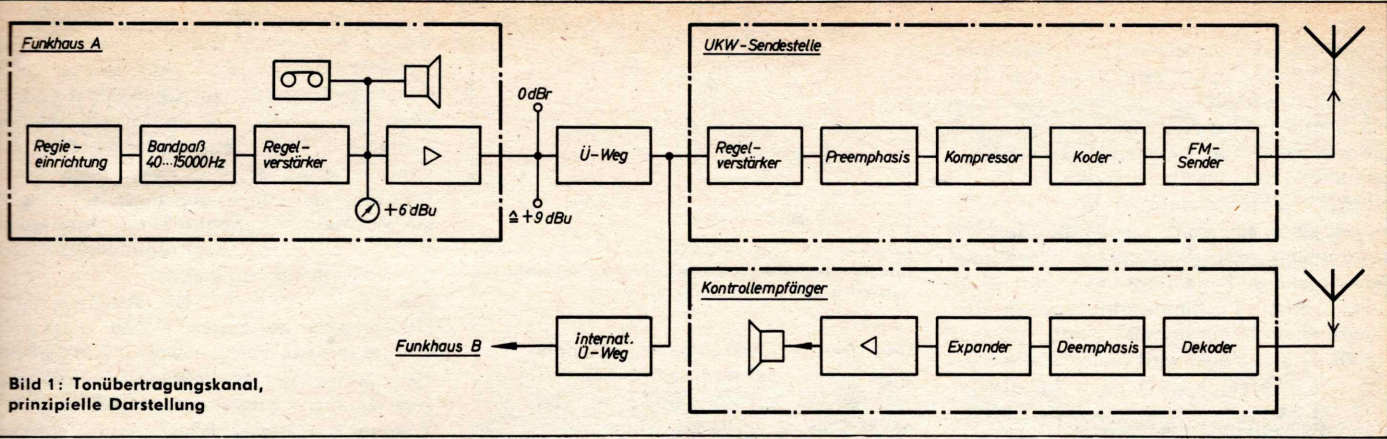


Bild 1: Tonübertragungskanal, prinzipielle Darstellung

- und Spektrum des zugeführten Signals mit hohem Störabstand am Eingang des FM-Senders
- die definierte Preemphasis (50 µs) bei FM-Sendern
- den eventuellen Einsatz von Kompandern bei der FM-Übertragung.

Bei den vorliegenden Betrachtungen wird davon ausgegangen, daß alle Mittel, die zur Gestaltung des Tonprogrammsignals im Funkhaus, also bei der Produktion und Aufzeichnung der Programme, eingesetzt werden können, zunächst außer acht gelassen werden können, weil durch die optische und akustische Überwachung bei der Produktion der Einfluß dieser Gestaltungsmittel genau beobachtet werden kann. Es ist allerdings zu berücksichtigen, daß beim Einsatz von Regelverstärkern (Kompressoren, Begrenzer, Kompander) im Produktionsbereich die im Übertragungsweg folgenden ähnlichen Geräte zusätzliche (meist negative) Einflüsse ausüben, wenn das dynamische Verhalten (Ein- und Ausregelzeiten) aller dieser Geräte nicht aufeinander abgestimmt ist.

**Festlegungen zur Einhaltung des Pegels**

Die Rundfunkorganisationen müssen durch geeignete Tonsignalaufbereitung, entsprechende Aussteuerungsrichtlinien und einheitliche Aussteuerungskontrolle gewährleisten, daß die zur Aufzeichnung verwendeten bzw. an die Übertragungsleitungen abgegebenen Programmsignale einen bestimmten Pegel nicht überschreiten. Innerhalb der CCITT- und CCIR-Gremien wurde in den letzten Jahren versucht, bezüglich der Pegel und der entsprechenden Begriffe eine gewisse Eindeutigkeit zu erreichen. Eine weitere Bearbeitung erscheint jedoch zur eindeutigeren Gegenüberstellung des Pegels der Meß- und Einregelungssignale (Sinussignale) und der Pegel der Programmsignale notwendig. Zunächst ist es erforderlich, sich über die zugrunde gelegten Pegeldefinitionen zu verständigen. Dazu soll das sog. Aussteuerungsprofil im Bild 2 betrachtet werden. Es ist auf den in Funkhäusern üblichen maximalen Betriebspegel +6 dBu (linke Seite des Bildes) und den am Übergabepunkt, d.h. Ausgang Funkhaus und Verbindungspunkt zum internationalen Übertragungsweg, geltenden Pegel (rechte Seite) bezogen. Dieser Punkt wird von den Nachrichtenverwaltungen, die für den Übertragungsweg verantwortlich sind, allgemein als „Punkt des relativen Pegels 0“

bezeichnet (CCITT-Empfehlung J. 13, s.a. [9]). Mit dieser Festlegung ist eine problemlose Umrechnung und der Bezug aller Pegelangaben im Übertragungskanal möglich (s. auch Bild 1). Bei Festlegungen für den internationalen Austausch von Tonprogrammen wird darauf orientiert, Bedingungen für einen *Maximal-Tonprogrammsignalpegel (TSP)* festzulegen und einzuhalten. Dieser Maximal-TSP sollte nur in sehr seltenen Fällen überschritten werden. Dieser Maximal-TSP kann jedoch auf Grund der gegenwärtig üblichen Betriebspraxis im allgemeinen nicht ständig überwacht und somit auch nicht gewährleistet werden. Eine Möglichkeit wäre die Kontrolle mit Hilfe einer trägheitslosen Anzeige, z. B. Oszilloskop. Aus verschiedenen Gründen hat sich das jedoch nicht eingeführt. Die Pegelangabe wird daher nur selten verwendet. Der Maximal-TSP kann z. Z. nur indirekt im Vergleich zu einer sinusförmigen Bezugsspannung definiert werden. Gemäß J. 31/CCITT sollte der Maximal-TSP +12 dB über einem sinusförmigen Testsignalpegel liegen. Dieser Testpegel beträgt 0 dBu am Punkt des relativen Pegels 0, also 0 dBu0 am Übergangspunkt zwischen Funkhaus und Übertragungsleitung. In unterschiedlicher Zuordnung zu diesem klar definierten Testpegel 0 dBu0 ist es bei den einzelnen Organisationen üblich, einen internen Maximal-Betriebspegel anzugeben, für den eine Wahrscheinlichkeit der Überschreitung von 10<sup>-4</sup> angenommen wird. Bezogen auf den Testpegel 0 dBu0 beträgt dieser Maximal-Betriebspegel +9 dBu0 (im Funkhausbetrieb dagegen meist +6 dBu). Der Maximal-Betriebspegel wird mit einem Quasi-Spitzenwertmesser

kontrolliert und im Rahmen der Ablesegenauigkeit (± 2 dB) eingehalten. Die Ursache dieser Betriebspraxis liegt bei dem z. Z. verwendeten Aussteuerungsmeßverfahren und der Integrationszeit von 10 ms bei der Pegelanzeige, wodurch sich bewußt eine Differenz zum Maximal-TSP erreichen läßt. Damit glaubte man das Risiko einer etwaigen Überschreitung des Maximal-TSP so klein wie möglich halten zu können. Weitere zugrunde gelegte Definitionen für Programmsignale sind:

*Maximal-Betriebspegel (BP)*

Pegel des Programmsignals im Rundfunk, der im Laufe einer Übertragung nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 10<sup>-4</sup> überschritten werden darf. Er stellt den Bezugswert 0 dB für Testpegel (-9 dB), Einregelungspegel (-21 dB) und Störspannungsabstand dar. Auf ihn erfolgt auch z. Z. der Bezug des Aussteuerungsmeßverfahrens (geeicht in Sinustonmessung, Effektivwert). Im Funkhaus der DDR beträgt dieser Pegel +6 dBu, am Übergangspunkt kann er +6 dBu0 oder (international empfohlen) +9 dBu0 betragen.

*Minimal-Betriebspegel*

Der Minimal-Betriebspegel stellt die untere Grenze des zu übertragenden Dynamikbereiches dar; er soll allgemein 40 dB unter dem Maximal-Betriebspegel liegen. Hier ist es erforderlich, neue Vereinbarungen über zweckmäßige Kontroll- und Meßmethoden und den Pegelwert selbst zu treffen.

*Übersteuerungsreserve*

Bereich zwischen dem Grenzpegel, d.h. der Systemgrenze von Übertragungseinrichtungen, und dem maximalen Betriebspegel. Dieser Bereich ist als Sicherheit für Pegelungsfehler bzw. Pegelschwankungen (etwa 2...3 dB) sowie für die durch die gegenwärtige Aussteuerungsmethode bedingte Vernachlässigung der Kurzzeitimpulse (weitere etwa 3 dB) erforderlich.

*Störpegel*

Als Störpegel (bewertet) wird ein Breitband-Störpegel angenommen, wobei berücksichtigt wird, daß verständliche Störsignale wie Sinustöne, verständliche Übersprechen u. ä. noch etwa 10...15 dB unter diesem Breitband-Störsignal liegen sollten. Der bewertete Störpegel des Breitband-Störsignals sollte am Ende der Übertragungskette bzw. beim Hörer noch mindestens 10 dB unter dem Minimal-Betriebspegel liegen.

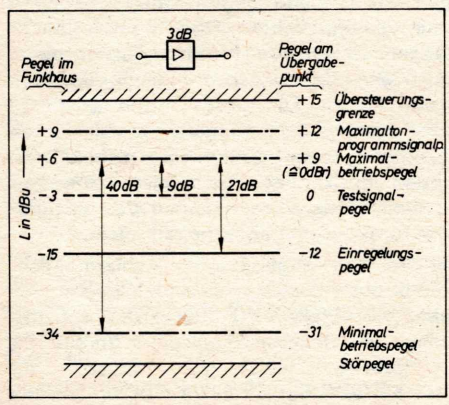


Bild 2: Aussteuerungsprofil für internationale Tonprogrammsignale (Pegel L in dBu)



### Testpegel

Pegel eines sinusförmigen Testsignals ( $f = 1000$  Hz) zur Überprüfung der Tonprogrammverbindung, der 9 dB unter dem Maximal-Betriebspegel des Rundfunkprogrammsignals liegt ( $\pm 0$  dBu/0 dBm0).

### Einregelungspegel

Pegel eines sinusförmigen Meßsignals zur Einregelung der Tonprogrammverbindung (entsprechend Pegeldiagramm), der 21 dB unter dem Maximal-Betriebspegel des Rundfunkprogrammsignals liegt ( $\pm -12$  dBu). Dieser Pegel wird auch für die Messung von Qualitätsparametern benutzt.

### Aussteuerungskontrolle

Entsprechend der Abgrenzung dieses Beitrages werden aus dem Komplex Aussteuerung nur die mehr objektiven Aspekte der Pegelkontrolle betrachtet.

Im Funkhausbetrieb ist die Aussteuerung eines Programms auf zwei Teilbereiche aufgeteilt:

- Bereich der Programmproduktion (-vorproduktion)
- Bereich der Programmabwicklung.

Bei der Programmproduktion, Aufzeichnung oder Live-Übertragung, bereitet die Einhaltung der vorgeschriebenen Minimal- und Maximalpegel besondere Mühe, da die Pegelschwankungen trotz Manuskript, Partitur, Proben usw. nicht exakt voraussehbar sind und erst nach Wiederholungen bzw. Ablauf eines bestimmten Zeitintervalls zu einer statistischen Erfahrung und Beherrschung der Aussteuerung führen, die eine höhere Sicherheit bei der Einhaltung des vorgeschriebenen Maximalpegels vermitteln. Die benutzten Anlagen und ihr Aussteuerungsprofil weisen daher ausreichende Reserven auf, ohne daß nicht-lineare Verzerrungen bzw. der Störpegel störend in Erscheinung treten. Mitunter wird daher in diesem Produktionsbereich nicht so sorgfältig wie notwendig ausgesteuert, so daß der maximale Betriebspegel bei Aufzeichnungen und auch bei Übertragungen schwankt. Durch die damit verbundene Addition zu vorhandenen Fehlern und Toleranzen des Aussteuerungskontrollverfahrens können sich die wirksamen Störungen erhöhen.

Neben der Kontrolle des Maximal-Betriebspegels ist auch eine Kontrolle des Dynamikbereiches, d. h. des Minimal-Betriebspegels (s. Bild 2), notwendig. Für dessen Größe ist bereits seit etwa 1935 ein Wert von 40 dB vorgeschrieben (CCITT, J. 15). Mit den Aussteuerungskontrolleinrichtungen jetziger Konzeption mit relativ langer Ausregelzeit (etwa 2 s) ist eine Beurteilung der Dynamik jedoch nur annähernd möglich. Es ist aber dringend notwendig, exakte Vereinbarungen über ein zweckmäßiges Kontrollverfahren zu treffen, wenn vom Funkhaus, d. h. vom Tonregisseur, die Einhaltung eines definitiven Dynamikwertes gefordert wird.

Orientierende Versuche haben ergeben, daß in den meisten Fällen für raumbezogene Wiedergabe eine Dynamik von 30 bis 35 dB auch vollauf befriedigen und genügen würde. Die erreichbare Schalldämmung von Wohnräumen begrenzt die mögliche Wiedergabelautstärke mit Lautsprechern bei der Mehrheit der Hörer; außer-

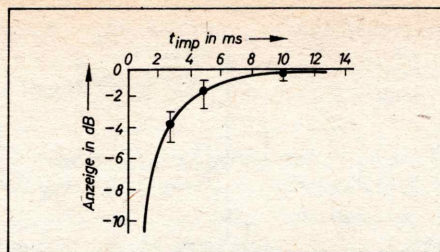


Bild 3: Integrationsverhalten des Aussteuerungsmessers nach OIRT-Empfehlung Nr. 59

dem muß man akzeptieren, daß hohe Lautstärken, wie bei natürlichen Schallereignissen, bei Lautsprecherwiedergabe nur kurzzeitig gewünscht bzw. ertragen werden. Die Notwendigkeit der Verringerung der Dynamik wird daher im allgemeinen nicht bestritten; sie ist somit ein unabhängig von der Art der Übertragungstechnik (analog, digital) bedingter Kompromiß und eine wesentliche technisch-künstlerische Aufgabe bei der Produktion im Rundfunk und Fernsehen und analog bei der Schallplatte.

Spätere unkontrollierbare Einflüsse bei der Übertragung und im Programmaustausch müssen vermieden werden. Die Verwendung von Expandern, die automatisch und unkorreliert zur Dynamikeinengung durch den Tonregisseur das Signal unter günstigen Abhörbedingungen wieder mit höherer Dynamik versehen, erscheint nicht als befriedigende Lösung. Möglicherweise kann das mit der bereits erwähnten Übertragung von Kennsignalen bei der automatisierten Programmabwicklung besser beherrscht werden. Bei Übertragungen in Kunstkopf-Stereofonie mit Kopfhörerwiedergabe ist dagegen eine höhere Dynamik wünschenswert.

Der verbleibende Wert von der unteren Dynamikgrenze bis zum zugelassenen Störpegel bedarf ebenfalls noch einer Festlegung vom CCIR (die OIRT-Empfehlung 62/2 gibt hierzu bereits Orientierungen).

Im Bereich der Programmabwicklung treten analoge Probleme nur bei zu gestaltenden Live-Sendungen auf; der größere Anteil der Programmzeit ist der Aufgabe der exakten Einhaltung des Maximal-Betriebspegels von aufgezeichneten Programmteilen gewidmet; eine weitere gestaltende Beeinflussung ist sogar unerwünscht. Es verbleiben die Programmteile, für die durch Beachtung bestimmter Aussteuerungsregeln die Diskrepanzen der Lautheit von Wort- und Musikbeiträgen vermindert werden sollen [8].

Regelverstärker zum Schutz der nachfolgenden, teilweise gegen Übersteuerungen sehr empfindlichen Übertragungseinrichtungen sollen den Maximal-Betriebspegel auch gegenüber unerwarteten Pegelspitzen stabil halten. Für diese Geräte existieren aber bisher keine allgemein verbindlichen Festlegungen auf Grund noch nicht ausreichend gesicherter Erkenntnisse; meistens verhindern sie Schwankungen des maximalen Tonprogrammsignalpegels nicht.

Neben den angedeuteten Fehlermöglichkeiten aus subjektiven Gründen zeigen sich aber die objektiven Einflüsse des z. Z. üblichen Aussteuerungskontrollverfahrens als maßgebend.

Gemäß CCIR-Bericht 292/4 [10], in dem die meist üblichen Aussteuerungsgeräte aufgeführt sind, ist der sog. Volumenmesser (VU-

Meter) nur noch in wenigen Ländern in Gebrauch. Weitgehend hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, daß er für eine lautstärkegerechte Aussteuerungskontrolle ebensowenig wie die Spitzenwertmethode geeignet ist. Da seine Trägheit (Integrationszeit etwa 300 ms) aber auch keine Überwachung von Pegelspitzen erlaubt, ist ein VU-Meter zur Kontrolle etwaiger Übersteuerungen von Übertragungseinrichtungen vollkommen ungeeignet.

Die sich mehr und mehr durchsetzenden Quasi-Spitzenwertmesser haben meist eine Integrationszeit von 5...10 ms (bezogen auf 80%  $\pm -2$  dB des Vollausschlages, nach CCITT). Die in moderner Musik und bei Kompression immer häufiger auftretenden Kurzzeitimpulse unter 5 ms bzw. 10 ms werden daher nicht bzw. nur unzureichend angezeigt.

Bild 3 zeigt das Integrationsverhalten des Aussteuerungsmessers nach OIRT-Empfehlung Nr. 59. Die Definition der Integrationszeit von 10 ms bezieht sich hier auf 90% Vollausschlag ( $+0/-1$  dB). Die Empfehlung definiert weiterhin einen Kurvenverlauf durch Angabe der Anzeigetoleranzen für 3 ms und 5 ms, wie im Bild 3 ersichtlich. Impulse im Bereich von 1...3 ms, wie sie heutzutage in bestimmter Häufigkeit auftreten (s. u. a. in [11]), werden nur stark unterbewertet angezeigt.

Wie festgestellt werden konnte, sind in vielen Fällen auch die benutzten Aussteuerungsmeßverstärker für Kurzzeitimpulse hoher Intensität (d. h.  $\geq$  Maximal-Betriebspegel) nicht ausreichend ausgelegt. Die Folge sind Fehlanzeigen und schädliche Übersteuerungen der nachfolgenden Einrichtungen.

Die Festlegung der heute meist üblichen Integrationszeit von 10 ms beruht auf UER/CIT-Empfehlungen aus dem Jahre 1935 [12]. Die Zeit von 10 ms erschien seinerzeit als zweckmäßiger Kompromiß zwischen zulässiger Übersteuerung durch (damals) nicht hörbare Kurzzeitimpulse und dem Mittelwert der Aussteuerung, der den durchschnittlichen subjektiven Störabstand und damit auch die Reichweite der Senderaussteuerung bestimmt. 1935 war die Auffassung über die vernachlässigbare Störwirkung bei Übersteuerungen von Impulsen  $< 10$  ms in Form von nichtlinearen Verzerrungen, Knacken usw. auf Grund der unzureichenden Abhörbedingungen noch berechtigt, zumal subjektive Untersuchungen über die Hörbarkeit von Tonimpulsen und deren Verzerrungen zugrunde lagen.

Mit der Integrationszeit von 10 ms wird ein Fehler von etwa 3 dB gegenüber Impulsen zwischen 1 ms und 5 ms zugelassen; einschließlich der möglichen Gerätefehler bzw. zugelassenen Toleranzen und der Ablesefehler liegt der tatsächliche Spitzenpegel – gemäß Definition der Maximal-Tonprogrammsignalpegel – häufig 3...5 dB über dem Maximal-Betriebspegel.

Untersuchungen des RFZ von 1960 [13] zeigten, daß die Erkennbarkeit verzerrter Tonimpulse von 5 ms Dauer größer ist als seinerzeit angenommen wurde. Da aber 1960 nach amplitudenstatistischen Messungen Impulse unter 10 ms nicht sehr häufig auftraten, gab es bei der Entwicklung der Aussteuerungsgeräte noch keine Veranlassung, die Integrationszeit zu verringern.

Fortsetzung auf Seite 672



Inzwischen ist durch die Entwicklung der Musik und der modernen Aufnahmetechnik das Auftreten von Kurzzeitimpulsen nachweisbar häufiger geworden; durch verbesserte Abhöreinrichtungen wurden sie aber auch deutlicher erkennbar, d. h. störender. Neuere subjektive Untersuchungen sind z. Z. nicht bekannt; sie müßten aber auch auf vielfältige dynamische Einflüsse der verschiedenen Glieder im Übertragungsweg (einschließlich digitaler Geräte, Empfänger usw.) ausgedehnt werden.

Eine Notwendigkeit zur Verkürzung der Integrationszeit ergibt sich jedoch bereits aus der komplexen Betrachtung der im Beitrag dargestellten Gesamtproblematik. Ein geeigneter Wert könnte zwischen 1 und 5 ms liegen; darüber hinaus sind aber weiterhin ein definierter Kurvenverlauf, eine einheitliche Definition für die Integrationszeit (z. B. bezogen auf 90 % Vollausschlag), übersteuerungsfeste Meßverstärker usw. zu vereinbaren.

*Wird fortgesetzt*



# Probleme der Aussteuerung des Tonprogrammsignals bei Rundfunk und Fernsehen

Teil 2 und Schluß

Dipl.-Ing. GERHARD STEINKE

Mitteilung aus dem  
Rundfunk- und Fernsehtechnischen Zentralamt  
der Deutschen Post

## Spektrum des Tonprogrammsignals

Bei der Umformung des akustischen Schallsignals mit großem Pegel- und Frequenzumfang und meist auch gutem Störabstand in ein Programmsignal, das den Bedingungen auf der Wiedergabeseite, beim Hörer bzw. im internationalen Programmaustausch, angepaßt ist, wurden bisher nur Maximal- und Minimalpegel mit den problematischen Kompromissen betrachtet. Im Bild 4 ist das vereinfacht dargestellt. Der Frequenzbereich und seine notwendige Eignung wurden bisher als weniger kritisch angesehen.

Für die überwiegende Mehrheit der Hörer ist die in den internationalen Standards empfohlene Einschränkung auf elektroakustischer Seite von 40...15 000 Hz allgemein als sinnvoll und zweckmäßig anzusehen [1] [2]. Auch neuere Untersuchungen mit Hilfe verbesserter Abhöreinrichtungen und Digitaltechnik [14] zeigen, daß der Prozentsatz der Hörer, die überhaupt eine Vergrößerung des Frequenzbereiches wahrnehmen würden, zu gering ist, um den ökonomi-

schen Aufwand einer Änderung zu rechtfertigen. Um jegliche Fehler im technisch-künstlerischen Aufnahme-prozeß und der folgenden Übertragung zu vermeiden, ist daher ein entsprechendes Begrenzungsfilter am Ausgang der Regieeinrichtungen (noch vor der Abhöreinrichtung) zweckmäßig (s. Bild 1).

An die spektrale Verteilung innerhalb des Programmsignals wurden dagegen bisher noch keine definitiven Bedingungen gestellt. Das ist um so verwunderlicher, als in allen Teilprozessen sowie bei Testsignalen ein bestimmter amplitudenstatistischer Verlauf angenommen und vorausgesetzt wird, der seit Jahren längst überholt ist. Die Folgen sind erheblich und auch seit langem bekannt.

## Berücksichtigung der Amplitudenstatistik

Etwa 1930 vorgenommene Untersuchungen zur Amplitudenstatistik in Wort- und Musikprogrammen führten zu Festlegungen in der Übertragungstechnik, die bisher unverändert blieben. Die Energieverteilung der Programme entsprach in den früheren Jah-

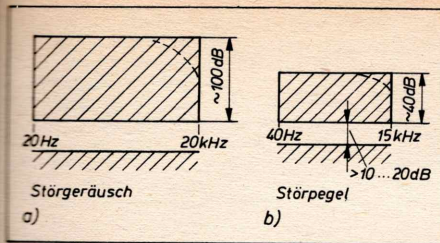
ren einem größeren Abfall bei den höheren Frequenzen (etwa 15 dB bei 10 bis 15 kHz), woraus dann für viele Übertragungsglieder eine zulässige Preemphasis von 50  $\mu$ s abgeleitet wurde.

Für das Auftreten nichtlinearer Verzerrungen sind aber nicht Effektivwerte, sondern Spitzenwerte maßgebend.

Veröffentlichungen über neuere, amplitudenstatistische Untersuchungen (u. a. in [11]) zeigen, daß insbesondere bei moderner Musik und durch den Einsatz von Kompressoren der Anteil der Amplituden im oberen Frequenzbereich ständig gestiegen ist, wie schon beim Auftreten von Kurzzeitimpulsen erwähnt.

Im Bild 5 ist u. a. der Frequenzgang des maximalen 1-%-Pegels aus zahlreichen Musik- und Sprachaufnahmen aus dem Funkhaus Berlin (1970) angegeben. Der Abfall bei hohen Frequenzen verläuft hier wesentlich flacher als bei einer inversen 50- $\mu$ s-Grenzkurve, wie früher angenommen wurde (zum Vergleich ist auch eine inverse 25- $\mu$ s-Kurve eingetragen).





**Bild 4:** Umformung eines akustischen Schallereignisses (a) in ein elektrisches Tonsignal (Programmsignal) (b)

Im Extremfall (bei elektronischer Musik und impulshafte Klängen) kann bei hohen Frequenzen nahezu der gleiche Pegel wie beim Bezugswert 1 kHz auftreten. Bei der Speicherung und Übertragung derartiger Programmsignale muß auf Übertragungsglieder mit Preemphasis Rücksicht genommen werden, sonst treten starke nichtlineare Verzerrungen auf (Magnetbandgerät, Richtfunk- bzw. Trägerfrequenzverbindung, UKW-Sender bzw. -Empfänger).

Werden am Ausgang des Funkhauses Regelverstärker eingesetzt (s. Bild 1), so können zwar zusätzliche nichtlineare Verzerrungen weitgehend vermieden werden, es wird jedoch häufig eine unkontrollierte Verformung des Programmsignals mit Pegelabsenkungen usw. verursacht.

#### Konsequenzen für Aufzeichnungs- und Bearbeitungsgeräte

Noch vor einigen Jahren verstand man in der Magnetton-technik als „Aussteuerungsgrenze“ vorwiegend die Höhenanhebung im Aufsprechverstärker von etwa 25  $\mu$ s (etwa 8 dB bei 15 kHz), die bei der Einmessung durch entsprechende Zurücknahme des Testpegels berücksichtigt werden mußte. Auf Grund verbesserter Magnetbänder und Magnetköpfe beträgt dieser Wert heute bei einer Bandgeschwindigkeit von 38,1 cm/s nur noch etwa 3 dB. Dennoch gibt es in der analogen Magnetband-technik eine Aussteuerungsgrenze, die durch korrekte „Aussteuerung“, d. h. Einhaltung des Maximalpegels und spektrale Begrenzung des Programmsignals, respektiert werden mußte. In der Literatur findet man hierzu kaum neuere Angaben. Das Ergebnis orientierender Messungen im RFZ, u. a. am Magnetband PER 525, ist im Bild 6 dargestellt. Es ist zu erkennen, daß beim Maximal-Betriebspegel (+6 dBu) bereits ab 5 kHz ein merklicher Abfall einsetzt; gleichzeitig nehmen die nichtlinearen Verzerrungen (auf  $k_3 =$  etwa 3%) zu.

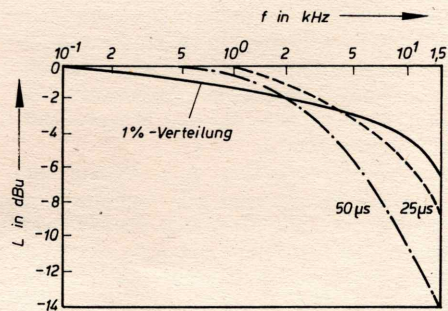
Nach den vorangegangenen Darlegungen gilt aber für den (bestimmenden) Maximal-Tonprogrammsignalpegel der Bereich der Kurzzeitimpulse, die im Übersteuerungsbereich bis zur +12-dB-Aussteuerungskennlinie auftreten. Hier liegt u. a. die Ursache für den erheblichen subjektiven Unterschied beim Vergleich der Digital- zur Analogmagnetband-technik auf Grund der Band-Kopf-Eigenschaften usw. Die Schlußfolgerung sollte auch hier korrektere Aussteuerung und gleichzeitig Berücksichtigung dieser Aussteuerungsgrenze sein, um die Verzerrungen (Differenzöne u. a.) gering zu halten.

Der Nachteil der Verringerung des Störabstandes muß durch Einsatz von linearen Kompanderverfahren, aber auch eine sinn-

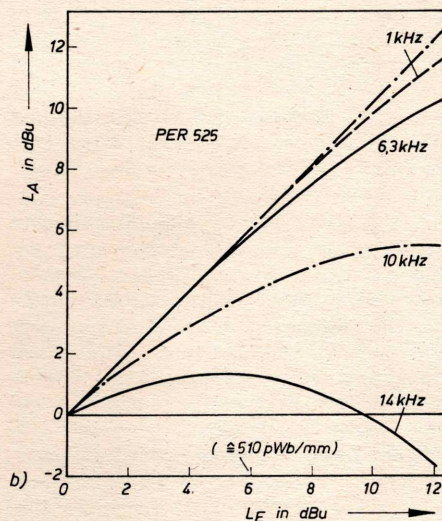
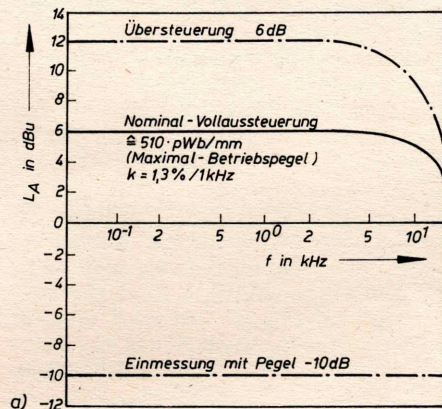
vollere und reduzierte Anwendung der zahlreichen Bearbeitungsgeräte, die den Störabstand verschlechtern, kompensiert werden.

Moderne digitale Bearbeitungsgeräte verwenden zur Verbesserung des Störabstandes meist auch eine Preemphasis von 50  $\mu$ s (z. B. Verzögerungsgeräte, Verhaltungsgeräte), die durch entsprechend ausgebildete Regelverstärker (Limiter) berücksichtigt werden muß. Die korrekte Aussteuerung allein reicht hier also nicht.

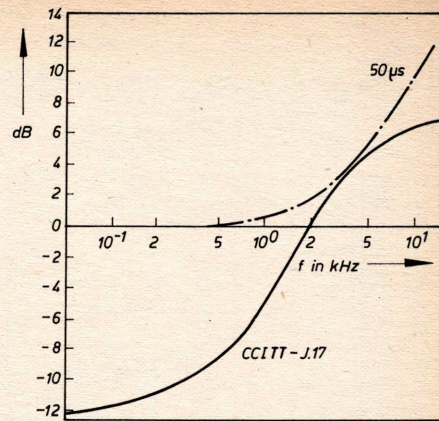
Die obigen Aussteuerungsgrenzen für das Magnetband lassen übrigens auch die Schlußfolgerung zu, daß die Reduzierung der Bandgeschwindigkeit auf 19 cm/s nur unter speziellen Bedingungen möglich ist, da damit die Aussteuerungsgrenze zu weitere etwa 10 dB bei 15 kHz gesenkt wird.



**Bild 5:** Amplitudenstatistik-Kurven. -1%<sub>0</sub>-Verteilung (nach [15]) und inverse 25- $\mu$ s- und 50- $\mu$ s-Verläufe



**Bild 6:** Aussteuerungscharakteristik für Magnetband (PER 525; 38,1 cm/s, Ferritköpfe). a)  $L_A = f(L_E)$ ;  $f = 1; 6,3; 10; 14$  kHz; b)  $L_A = f(f)$ ;  $L_E = -10; +6; +12$  dBu



**Bild 7:** Preemphasis für Übertragungsleitungen nach CCITT, J. 17

#### Konsequenzen für Übertragungswege und FM-Sender

Übertragungswege müssen, um hohe Störabstände zu erreichen, allgemein mit Preemphasis und z. T. auch mit Kompandereinrichtungen arbeiten.

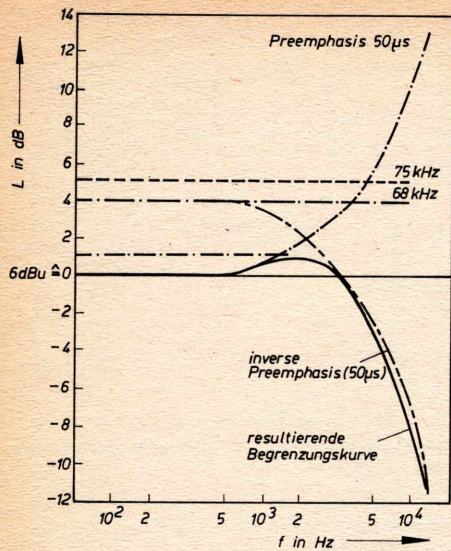
Die dynamischen Eigenschaften und Übertragungscharakteristiken von Kompandern sind trotz der erreichten Verbesserungen nicht optimal. Ausgehend von Standardisierungsbestrebungen, ist zu erwarten, daß sich Geräte mit linearer Charakteristik durchsetzen werden. Hinsichtlich der Unterteilung der Frequenzbereiche und Wahl der Ein- und Ausregelzeiten ist zu bedenken, daß vom Funkhaus bis zum Hörerempfangsgerät mehrere Kompander hintereinander liegen können, was zu nachteiligen Auswirkungen führen kann. Gesicherte Aussagen liegen dazu nicht vor; aber es gibt kritische Programmsignale, die bei allen Typen unter ungünstigen Bedingungen zu Störungen führen. Darüber hinaus werden auch Regelverstärker (Begrenzer) zum Schutz der Übertragungswege am Anfang eingesetzt (vorzugsweise am Ausgang des Funkhauses).

Bei der Preemphasis wird ein Verlauf nach CCITT, J. 17, empfohlen. Im Bild 7 ist dieser einer 50- $\mu$ s-Preemphasis gegenübergestellt. Die Einschalttdämpfung ist je nach Art des Übertragungsweges (Leitung, PCM-Weg usw.) unterschiedlich. Zwar kann damit eine Verbesserung des Geräuschpegelabstandes bis zu 9 dB erreicht werden, die Anwendung dieser Preemphasis kann bei z. B. moderner Effektmusik jedoch zu einer Zunahme der nichtlinearen Verzerrungen führen, wenn der Störpegelgewinn nicht wieder verschenkt werden soll.

Für digitale Übertragungseinrichtungen gibt es bereits Vorschläge [17] beim CCIR, auf die Anwendung dieser Preemphasis/Deemphasis zu verzichten, da die Verschlechterungen nicht mehr akzeptierbar seien (besonders bei Zymbalklängen). Zumindest sollte ein Verlauf ähnlich der 50- $\mu$ s-Preemphasis erwogen werden, sofern eine Programmsignalbegrenzung vorgenommen wird. Eine Preemphasis von 50  $\mu$ s findet bekanntlich bei FM-Sendern Anwendung (in USA: 75  $\mu$ s!).

Bild 8 zeigt die meist übliche Einschaltung mit 5 dB (d. h. bei 42 kHz Hub) unter dem Spitzenhub von 75 kHz. Der volle Störabstandsgewinn durch Preemphasis kann also gar nicht ausgeschöpft werden. Da noch 1 dB vom Hub für den Stereohilfsträ-





**Bild 8: Aussteuerungsverhältnisse bei FM-Sendern. Preemphasis 50 µs; Einpegelung 42 kHz Hub  $\pm 6$  dBu und Begrenzungskurve für die spektrale Verteilung eines Programmsignals**

ger benötigt wird, bleiben für die Höhenanhebung nur 4 dB Spielraum. Ab 4 kHz treten aber bereits Hubüberschreitungen auf, wenn das Amplitudenspektrum nicht den zur Preemphasis inversen Verlauf hat. Wie bereits erwähnt wurde, kann aber davon heute keine Rede mehr sein. Die Hubüberschreitungen müssen daher zu störenden „Spuckeffekten“ im Empfänger führen, wie seit Jahren bekannt ist [15].

Mit Regelverstärkern spezieller Charakteristik am FM-Sendereingang wird versucht, diese Folgen zu verringern, so daß je nach Einpegelung und Betriebsart am Sender unterschiedliche Verformungen des Programmsignals eintreten. Der Unterschied zwischen dem Signal im Funkhaus und dem empfangenen Signal ist oft gravierend.

Es gibt auch Vorschläge, die Preemphasis auf 25 µs zu reduzieren und somit die nichtlinearen Verzerrungen stark zu verringern. Der Störabstand sollte dann durch zusätzliche Anwendung von Kompandern verbessert werden [18].

Das TELCOM-Verfahren eignet sich dafür wahrscheinlich am besten; allerdings muß man bezweifeln, daß eine Reduzierung dieser weltweit eingeführten Zeitkonstante 50 µs erreicht werden kann. Eventuell bieten sich beim Fernsehen mit Einführung des Mehrkanaltones Möglichkeiten für solche Änderungen, da hierbei die Kompatibilität im Sinne einer „Erträglichkeit“ akzeptabel sein könnte.

Auch wenn eine Änderung der Preemphasiszeitkonstante nicht erreichbar erscheint, sollte dennoch der Gedanke des Einsatzes von Kompandern im UKW-Sende- und Empfangsweg weiter verfolgt werden, um den Störabstand verbessern zu können. Besonders im Hinblick auf die künftige Digitalschallplatte mit etwa 80 dB Geräuschspannungsabstand wird die Rundfunkübertragung verbessert werden müssen. Allerdings sind dann auch die Störpegel der Tonkanalabschnitte bis zum FM-Sender (z. B. auch die Sendebänder) in dieser Hinsicht zu überdenken.

Der Kompander löst jedoch noch nicht die Frage des Signalspektrums, wenn der 50-µs-Verlauf beibehalten wird. Zwangs-

läufig führt das zu der Überlegung, bereits bei der Programmproduktion das Signalspektrum zweckmäßig zu formen.

#### Beeinflussung des Signalspektrums bei der Produktion

Um die unkontrollierte Verformung des Programmsignals bei der Übertragung und Ausstrahlung zu vermeiden, sollte der Vorschlag eingehender untersucht werden, das für Sendungen und für den Programmaustausch vorgesehene Programmsignal bereits während der Produktion in seiner spektralen Verteilung derart einzugrenzen, daß unter Berücksichtigung dieser Begrenzung vom Aufnahmepersonal (Tonregisseur, Toningenieur) eine entsprechende endgültige, klangästhetische Balance hergestellt werden kann. Diese Balance wird dann von nachfolgenden Schutzeinrichtungen bzw. preemphasisbehafteten Einrichtungen nicht mehr nachteilig beeinflusst. Dazu wird, wie im Bild 1 bereits eingezeichnet, ein spezieller Regelverstärker (mit variabler Deemphasis) am Ausgang des Regiepultes bei der Produktion bzw. bei der Programmabwicklung eingesetzt.

Da der Toningenieur den Einfluß der Klangveränderung stets erkennen kann, ist er in der Lage, die Klangbalance so zu verändern, daß auch die mit dem speziellen Regelverstärker kontrollierte Fassung seinen Vorstellungen entspricht. Gleichzeitig sind Abhöreinrichtungen und Magnetbandgeräte innerhalb der gleichen Begrenzungskurve geschützt.

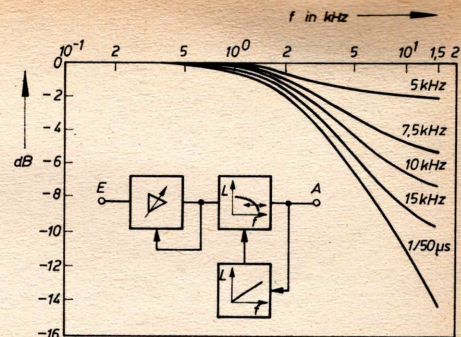
Der Regelverstärker begrenzt die spektralen Anteile wie eine 50-µs-Deemphasis ohne Gesamtpegelveränderungen bis 4 kHz. Die resultierende Kurve des Programmsignals im Bild 8 zeigt, daß der zulässige Hub des FM-Senders nicht überschritten wird. Es kann vielmehr der Gesamtpegel um etwa 2 dB erhöht werden.

Die subjektive Wirkung entspricht keinesfalls einer Beschneidung des Gesamtsignals durch einen Tiefpaß. Der Unterschied zum Tonsignal von natürlichen Schallereignissen bleibt im Produktionsstudio stets überschaubar und nach subjektiver Einschätzung vertretbar und akzeptabler als die unkontrollierte Beschneidung am FM-Sender.

Die Berücksichtigung der Begrenzungskurve nur im Aussteuerungsmesser wäre nicht ausreichend, da für das Aufnahmepersonal der praktische Betriebsfall der Übertragung nachgebildet werden muß. Regelverstärker dieser Art sind seit einiger Zeit bekannt [19] [20] [21]. Ein vom RFZ im Jahre 1975 entwickeltes Prinzip und erreichbare Regelkurven zeigt Bild 9.

Die Anordnung enthält eine Kombination von Begrenzer und Höhenabsenkung mit zwei geschlossenen Regelkreisen. Der Begrenzerkreis weist keine Besonderheiten auf. Der Regelkreis zur Höhenabsenkung enthält im Signalweg einen Tiefpaß mit steuerbarer Grenzfrequenz; dieser Tiefpaß bestimmt den Frequenzgang des Übertragungsweges. Der Regelspannungsweg enthält ein Bewertungsglied mit frequenzproportionaler Verstärkungszunahme, was einen dazu inversen Frequenzgangverlauf des Begrenzungseinsatzes bewirkt [19].

Zur Einhaltung des festzulegenden Spektrums müßten Regelverstärker mit geregelter Höhenabsenkung im Produktionsstudio,



**Bild 9: Prinzipschaltung und Übertragungsfrequenzgänge eines Regelverstärkers mit variabler Deemphasis (nach [19]) für  $L_v = f(f_0) = 5...15$  kHz**

für die Herstellung von Sende- und Austauschbändern, bei der Programmabwicklung von Live-Programmen sowie vor UKW-Sendern eingesetzt werden. (Im letzten Fall dienen sie nur noch zur Sicherheit gegen unbeabsichtigte Pegelfehler bis zum Eingang des Senders.)

Die dem Studio folgenden Regelverstärker werden bei Programmsignalen, die in dieser Art spektral begrenzt sind, kaum noch ansprechen; sie korrigieren lediglich Aufzeichnungen, die ein abweichendes Spektrum aufweisen.

Die Begrenzung des Spektrums wird im gesamten Übertragungsweg eine korrektere Einpegelung als bisher erlauben. Dabei ist das Zusammenwirken mit der Aussteuerung zu beachten.

Die erwähnte Möglichkeit der Anhebung des Pegels am FM-Sender läßt die Frage entstehen, ob die Energie in den Seitenbändern dann so stark ansteigt, daß unzulässige Nachbarkanalstörungen auftreten. In [22] wird jedoch nachgewiesen, daß bei korrekter Einhaltung des Spitzenhubs von 75 kHz die bisherigen Festlegungen eingehalten werden.

Eine Anhebung des Pegels im UKW-Sender bzw. in anderen Übertragungsgliedern erfordert allerdings Regelverstärker, die im gesamten Frequenzbereich keine größere Abweichung (Pegelanstieg) als etwa 1 dB zulassen. In [20] bis [22] werden Vorschläge in Form von Kurzzeitverzögerungen ( $\approx 0,3$  ms), zusätzliche Klipperschaltungen u. a. empfohlen. Auch hier sollte baldmöglichst eine Standardisierung angestrebt werden.

#### Literatur

- [1] OIRT-Empfehlung Nr. 62/2: Zulässige Globalwerte der Parameter und Toleranzen für hochwertige Rundfunk-Tonübertragungskanäle. Miskolc-Tapolca 1981
- [2] Steinke, G.: Zur technischen Qualität der Rundfunkübertragung. radio fernsehen elektronik 27 (1978) H. 12, S. 751-754
- [3] CCIR-Bericht 293-4: Audio-frequency parameters for the Stereophonic transmission and reproduction of sound. Kyoto 1978
- [4] Beschluß der Studienkommission 10-CCIR (Decision 40-1/1981) Bildung der Interim Working Party (IWP) 10/6: Parameters and tolerance limits for the technical quality of programmes intended for international exchange. Doc. 10/5020, 5. Oktober 1981
- [5] Beitrag der DDR zur CCIR-Schlußkonferenz, Studienkommission 10: Considerations on Problems of correct level regulation in Broadcasting. Doc. 10 218, 11. August 1981



- [5] Steinke, G.: Zur Frage der Kompatibilität zwischen kopfbezogener und raumbezogener Stereophonie. Techn. Mitt. des RFZ 19 (1975) H. 4, S. 89-95
- [7] Hoeg, W.; Steinke, G.: Grundlagen der Stereophonie. Berlin: VEB Verlag Technik 1972 2. Auflage)
- [8] Steffen, E.: Untersuchungen zur lautheitsgerechten Aussteuerung von Rundfunk-Tonsignalen. Techn. Mitt. des RFZ 22 (1978) H. 3, S. 66 bis 72
- [9] Buchold, H.; Schaffner, H.: Umstellung des Einregelungspegels in den Tonübertragungswegen der Deutschen Post. Techn. Mitt. des RFZ 24 (1980) H. 1, S. 3-6
- [10] CCIR-Bericht 292-4: Measurement of programme level in sound Broadcasting. Kyoto 1978
- [11] Gerber, W.: Untersuchungen zur Aussteuerung des niederfrequenten Modulationssignals für FM-Rundfunkübertragung. Rundfunktechn. Mitt. 23 (1979) H. 4, S. 165-170
- [12] Thilo, H. G.; Bidlingmaier, M.: Der Tonmesser, ein Spannungsspitzenmesser mit logarithmischer Anzeige. E.N.T. 13 (1936) H. 5, S. 175 bis 183
- [13] Hoeg, W.: Zum Problem der Aussteuerungsmessung. Techn. Mitt. des BRF 4 (1960) H. 2, S. 67-72
- [14] Schöne, P.; Plenge, G.; Jakubowski, H.: Genügt eine Bandbreite von 15 kHz für elektroakustische Übertragungssysteme? Rundfunktechn. Mitt. 23 (1979) H. 1, S. 1-9
- [15] Steffen, E.: Untersuchungen zu Fragen des Spuckeffektes bei FM-Rundfunkübertragungen. Techn. Mitt. des RFZ 11 (1967) H. 3, S. 112 bis 118
- [16] CMTT-Bericht 491-2: Characteristics of signals sent over sound-programme circuits. Kyoto 1978
- [17] CMTT-Bericht 647-1 (F): Digital-transmission of sound-programme signals. Doc. CMTT/5041, 6. Oktober 1981
- [18] Stetter, E.: Die Verwendung des Dolby-Verfahrens bei der FM-Rundfunkübertragung. Rundfunktechn. Mitt. 22 (1978) H. 1, S. 32-38
- [19] Kratzsch, R.: Zur Problematik von Regelverstärkern. Techn. Mitt. des RFZ 20 (1976) H. 4, S. 93-95
- [20] Gleave, M.; Manson, W. I.: The development of sound-programme limiters in the BBC. BBC-Engineering 1977, August, S. 9-19
- [21] Voigt, K.: Möglichkeiten zur Aussteuerungsbegrenzung von Sendern durch gezielte Maßnahmen in der AF-Ebene. Vortrag zur NTG-Tagung 1980, NTG-Fachberichte, S. 191-198
- [22] Bäder, K. O.: Transienten-Begrenzung und variable Preemphasis zur Vermeidung des Nachbarkanalübersprechens beim FM-Rundfunk. NTG-Tagung 1980, NTG-Fachberichte, S. 199-205