Verfahren zur Rauschminderung bei der Tonsignalverarbeitung

Dipl.-Ing. HEINZ BERGMANN

Die Qualität der Tonsignalübertragung, der Tonsignalspeicherung und der Tonwiedergabe hat einen hohen Stand erreicht. Er ist dadurch gekennzeichnet, daß die in den HiFi-Qualitätsstandards festgelegten Mindestparameter vielfach überboten werden. Weitere Verbesserungen sind möglich, wenn es gelingt, die nachteiligen Einflüsse einer unzureichend beherrschten Dynamik und des Rauschens weiter zu verringern – eine Zielstellung, die von verschiedenen Verfahren zur Rauschminderung (Rauschminderungsverfahren) mit unterschiedlichem Erfolg erreicht wird. Die international bekannt gewordenen Verfahren werden in diesem Beitrag gegenübergestellt.

Dynamikumfang

Der Dynamikumfang, d. h., das Lautstärkeverhältnis zwischen leisesten und lautesten Stellen einer Originaldarbietung, eines Symphonieorchesters kann bis zu 100 dB betragen. Dieser Dynamikumfang ist – abgesehen von digitalen Tonspeichern – für die Tonsignalverarbeitung zu groß und muß verringert (komprimiert) werden. Professionelle Tonbandgeräte können nur einen Dynamikumfang in der Größenordnung von 70 dB verarbeiten, so daß es notwendig wird, Pianostellen lauter und Fortestellen leiser auszusteuern, um die Originaldarbietung an den Dynamikumfang des Tonbandgerätes anzupassen.

Die vorgenommene Dynamikbegrenzung gewährleistet, daß leise Passagen des akustischen Ereignisses nicht im Rauschen untergehen, laute nicht zu Sättigungserscheinungen oder Übersteuerung führen. Das Ergebnis ist eine verringerte Dynamik am Ende der Übertragung oder bei der Wiedergabe.

Der beherrschbare Dynamikumfang verschiedener Übertragungskanäle und Speichermedien ist differenziert und hängt mit von den vorliegenden Rauschverhältnissen ab. Gute Schallplatten können eine Dynamik bis zu 75 dB aufweisen, die der Kompaktkassette liegt bei 50...55 dB.

Die Grenzen des Dynamikumfangs [1] werden speziell bei der Tonspeicherung durch die Aussteuerbarkeit des Speichermediums nach oben (Sättigung) und durch das Rauschen nach unten vorgegeben. Bei der Tonspeicherung muß dabei dem Rauschen besondere Bedeutung beigemessen werden,

Tafel 1: Verfahren zur Rauschminderung

Bezeichnung	Art/Funktionsweise	Betrieb bei	Rauschunterdrückung	Kompressionsgrad	Anwendung
DNL (dynamic noise limiter)	dynamisches Rauschfilter (ab 4 kHz)	Wiedergabe			Tonband
Burwen DNF (dynamic noise filter)	dynamisches Rauschfilter (ab 500 Hz)	Wiedergabe			Tonband
DNR (dynamic noise reduction)	dynamisches Rauschfilter mit IS LM 1894	Wiedergabe	10 dB		Tonband, u. a.
Phase linear 1000	autokorreliertes Filtersystem	Wiedergabe			Tonband, Schallplatte
NFD (noise free device)	Abschaltung in Modulationspausen	Wiedergabe			Tonband
(MK 43)	dynamisches Rauschfilter (ab 500 Hz)	Wiedergabe			Tonband
ARP (Adaptiver Rauschprozessor)	dynamisches Rauschfilter (ab 5 kHz)	Wiedergabe			Tonband, Rundfunk
ANR (audio noise reduction)	dynamisches Rauschfilter	Wiedergabe	14 dB		Tonband, Schallplatte u. a. Tonquellen
dbx	linearer Breitband-Kompander	Aufnahme Wiedergabe	25...30 dB	1 : 2	professionell Tonband Schallplatte
Dolby A	4-Bereichs-Kompander	Aufnahme Wiedergabe	10 dB ...15 dB	1 : 2	professionell Tonband, Schallplatte Lichtton
Dolby B	Sliding-Band-Kompander (oberhalb 1 kHz)	Aufnahme Wiedergabe	10 dB	1 : 2	Tonband Rundfunk
Dolby C	Breitband-Kompander (oberhalb 200 Hz)	Aufnahme Wiedergabe	20 dB	1 : 2	Tonband
ANRS (automatic noise reduction system)	Sliding-Band-Kompander (oberhalb 500 Hz), ähnlich Dolby B	Aufnahme Wiedergabe		1 : 2	Tonband
Super ANRS	wie ANRS mit Zusatzregelkreis Verbesserung der Höhenaussteuerung	Aufnahme	6 dB		Tonband
ADRES (automatic dynamic range expander)	Sliding-Band-Kompander	Aufnahme Wiedergabe	30 dB	1 : 1,5	Tonband
Super D	linearer Zweiband-Kompander	Aufnahme Wiedergabe	40 dB	1 : 2	Tonband
ExKo	Breitband-Kompander	Aufnahme Wiedergabe	9 dB		Tonband
telcom c 4	Mehrbereichs-Kompander	Aufnahme Wiedergabe	30 dB	1 : 1,5	Tonband professionell
High Com	linearer Breitband-Kompander	Aufnchme Wiedergabe	20 dB	1 : 2	Tonband
HiFi Com II	Zweiband-Kompander	Aufnahme Wiedergabe	20 dB	1 : 2	Tonband
cx (compatible expansion)	Sliding-Band-Kompander	Aufnahme Wiedergabe	20 dB	1 : 2	Schallplatte
Dolby HX	Verbesserung der Höhenaussteuerung	Aufnahme	10 dB		Tonband
SNRS (silence noise reduction system)	Breitband-Kompander	Aufnahme Wiedergabe	30 dB	1 : 2	Tonband
Supercom	Kompander	Sprachübertragung		1 : 2	Sprechfunk

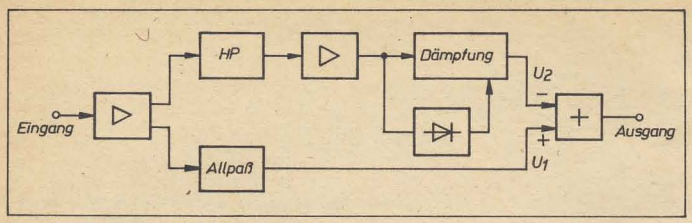
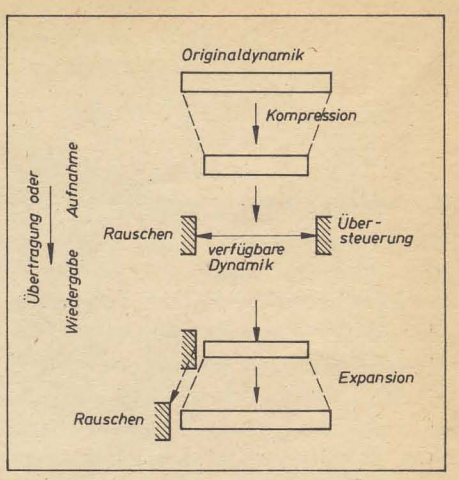


Bild 1: DNL-Prinzip (Aufnahmeseite)

Bild 2: Kompander (Dynamikverhältnisse) ▶



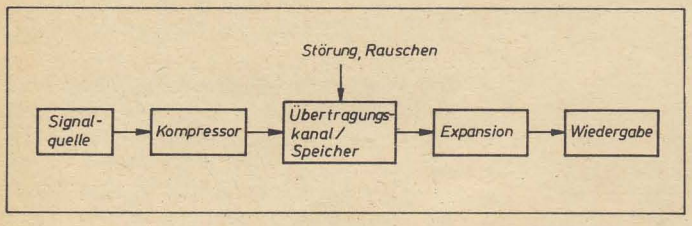


Bild 3: Kompander-Blockschaltbild

da durch das Speichermedium selbst neben dem Rauschen der Bauelemente und Verstärker ein Rauschbeitrag verursacht wird, der beim Magnetband hauptsächlich durch eine ungleichmäßige Verteilung der Elementarmagnete, bei der Schallplatte durch Unebenheiten in Rille und Rillenführung und beim Film (Lichtton) durch Körnung des Filmmaterials und durch Staub und Kratzer verursacht wird. Bei Kassettentonbandgeräten liegen die Rauschverhältnisse wegen der geringen Spurbreite (Stereo 0,6 mm) besonders ungünstig. Die Nutzsignalspannung ist proportional zur Spurbreite, während das phaseninkohärente Rauschen proportional zur Wurzel aus der Spurbreite ist, d. h., bei einer Verringerung der Spurbreite (Stereobetrieb) verringert sich das Signal/Rauschverhältnis [2].

Um speziell Kassettentonbandgeräte trotz geringer Spurbreite, niedriger Bandgeschwindigkeit und des sich ergebenden geringen Signal/Rauschverhältnisses stereo- und HiFi-tüchtig zu machen, wurden mit erheblichem Aufwand Laufwerke, Aufnahme- und Wiedergabeköpfe, Magnetbänder verbessert und verschiedene Rauschminderungsverfahren entwickelt, über die hier ein Überblick (Tafel 1) gegeben werden soll. Dabei wird gleichzeitig auch Bezug auf die Rauschminderung bei der Tonübertragung bzw. -speicherung allgemein genommen.

Klassifizierung

Die Verfahren bzw. Möglichkeiten zur Rauschverminderung [1] lassen sich wie folgt klassifizieren (Tafel 2):

- Verfahren, die komplementär und nicht komplementär arbeiten
- Verfahren mit und ohne Beeinflussung des Dynamikumfangs.

Unter komplementären Rauschminderungsverfahren versteht man Verfahren, die das Tonsignal bei der Aufnahme nach einer bestimmten Vorschrift verändern und die Veränderung bei der Wiedergabe wieder rückgängig machen. Nicht komplementäre sind nur bei der Wiedergabe wirksam. Diese Prinzipien ergeben nun (Tafel 2) vier Möglichkeiten, wobei die komplementär arbeitenden Verfahren in Systemen mit hoher Übertragungsgüte angewendet werden, da das Signal wieder in seinen ursprünglichen Zustand vor seiner Verarbeitung zurückversetzt werden kann. Die höchste Stufe dabei stellen komplementäre Verfahren mit Dynamikbeeinflussung dar, die auch als Kompanderverfahren (Kompression bei der Aufnahme, Expansion bei der Wiedergabe) bezeichnet werden.

Rauschfilter

Zu den nicht komplementären Verfahren mit Dynamikbeeinflussung zählen verschiedene dynamische Rauschfilter, die zur Rauschminderung im Wiedergabeteil von Kassettentonbandgeräten eingesetzt werden. Sie verfolgen im Prinzip das Ziel, das störende Rauschen, das vor allem bei höheren Frequenzen auftritt, zu verringern. Die Rauschminderung soll dann wirksam werden, wenn der Signalpegel unter einen vorgegebenen Wert (z. B. leise Musik) fällt und dort das Rauschen besonders störend wirkt. Bei großen Signalpegeln (laute Musik) wird das Rauschen vom Nutzsignal überdeckt (Verdeckungs- oder Überdekkungseffekt). Aus den höherfrequenten Tonsignalen wird dazu ein Steuersignal abgeleitet, dessen Amplitude zur Steuerung der Rauschminderung ausgewertet wird.

Zu diesen Rauschminderungsverfahren zählt das DNL-Verfahren [2], das als frequenz- und pegelabhängiges Rauschfilter wirkt und die höherfrequenten Tonsignale ab 4 kHz absenkt. Bei kleinen Signalpegeln sind die Ausgangsspannungen der beiden Zweige (Bild 1) gleichgroß und um 180° phasenverschoben, so daß höhere Frequenzanteile abgesenkt werden. Mit steigendem Signalpegel verschiebt sich das Verhältnis der beiden Spannungen zugunsten von U_1, was einer scheinbaren Erhöhung der oberen Grenzfrequenz entspricht. Ähnlich arbeitet auch das dynamische Rauschfilter Burwen DNF [3], bei dem jedoch eine Absenkung schon ab 500 Hz wirksam wird.

Kennzeichnend für den Entwicklungsstand der Rauschminderungsverfahren sind spezielle IS, die möglichst alle notwendigen Funktionen ausführen. Hierzu zählt die IS LM 1894 [3] [4], die ein dynamisches Rauschfilter darstellt. Das mit der LM 1894 realisierte dynamische Rauschfilter senkt bei nicht vorhandenem höherfrequentem Nutzsignal den Hochtonbereich ab. Dabei beginnt im Extremfall die Filterwirkung schon ab 1 kHz mit 6 dB/Oktave. Sobald ein Nutzsignal in diesem Frequenzbereich auftritt, verschiebt sich die Grenzfrequenz nach oben. Die Rauschminderung beträgt 10 dB.

Ein weiteres nicht komplementäres Rauschminderungsverfahren wird mit NFD bezeichnet. Es ist nur in den Modulationspausen wirksam und verringert das Rauschen breitbandig.

Im ungarischen Kassettentonbandgerät MK 43 wird ebenfalls ein Rauschminderungsverfahren eingesetzt, das nur wiedergabeseitig wirkt.

Mit Linear 1000 wird ein digitales Rauschfiltersystem [3] bezeichnet, das mit neun Bandpaßfiltern arbeitet. Ein Autokorrelator untersucht das Eingangssignalspektrum und liefert entsprechende Steuersignale für die Signalbeeinflussung.

Der adaptive Rauschprozessor [5] ist ein weiteres nicht komplementäres Rauschminderungsverfahren, das mit speziellen IS (LM 13600, LM 387 N) arbeitet. Es reduziert die Bandbreite des Übertragungs- oder Wiedergabekanals, wenn das Tonsignal keine ausreichende Signalamplitude um 6 kHz zur Verdeckung des Rauschens enthält.

Nicht komplementäre oder einseitig arbeitende Rauschminderungsverfahren lassen sich auch bei anderen Tonquellen anwenden und erfordern keine Kompatibilität mit der Aufnahmeseite. Sie liefern einen Informationsverlust, wenn Nutzsignal und Störsignal (Rauschen) nicht in getrennten Be-

Tafel 2: Rauschminderungsverfahren (Klassifikation)

	nicht komplementär (einseitig)	komplementär (zweiseitig)
ohne Dynamikbeeinflussung	Klangblende Höhendämpfung Rauschfilter	Übertragung: Pre- und Deemphasis Speicherung: Aufsprechentzerrung und Umkehr bei der Wiedergabe (z. B. Schallplatte)
mit Dynamikbeeinflussung	dynamische Rauschfilter	Kompander

reichen liegen [6], und sind relativ einfach aufzubauen, so daß auch Bauanleitungen dafür [7] bekannt wurden.

Kompander

Kompander sind komplementär, d. h. aufnahme- und wiedergabeseitig aufeinander abgestimmte Rauschminderungssysteme [8] mit Dynamikbeeinflussung, die bei der Aufnahme oder am Senderort eine Kompression der Dynamik (Bilder 2 und 3) und bei der Wiedergabe oder am Empfangsort eine gleichwertige Expansion der Dynamik vornehmen. Ein Signal, das Kompander und Expander durchläuft, bleibt insgesamt unverändert. Signale, die nur eine Komponente durchlaufen, erfahren eine Veränderung. Das betrifft die Rauschstörung, die sich im Speichermedium oder Übertragungskanal dem Nutzsignal überlagert und nur den Expander durchläuft, bei der Expansion also abgesenkt wird. So kann z. B. eine Originaldynamik von 80 dB um einen Kompressionsgrad (-faktor) von 2 : 1 auf den nutzbaren Dynamikbereich eines Speichermediums oder eines Übertragungskanals von 40 dB komprimiert werden. Auf der Wiedergabeseite wird eine Expansion von 1 : 2 vorgenommen, so daß man wieder 80 dB an Dynamik erhält. Das durch den Speichervorgang hinzukommende Rauschen (z. B. Bandrauschen) wird bei der Expansion verringert und damit die erwünschte Rauschminderung erzielt. Bei der Kompression werden kleine Signalpegel angehoben, große dagegen nahezu unverändert gelassen oder auch abgesenkt. Bei der Wiedergabe wird die Anhebung bzw. Absenkung rückgängig gemacht.

Die Kompandierung wird bei den verschiedenen Rauschminderungsverfahren im Prinzip ähnlich, aber in den Parametern und Zielstellungen unterschiedlich vorgenommen, wobei zur Optimierung Kompromisse erforderlich sind. Da der Kompander seine Verstärkung pegelabhängig verändert, stellen sich für diese Veränderung je nach Verfahren unterschiedliche Zeitkonstanten ein, d. h. Anstiegs- und Abfallzeiten, bis die Wirkung von Kompression oder Expansion eingesetzt hat bzw. unwirksam wird. Da diese Zeiten nicht beliebig kurz gemacht werden können, treten störende Nebeneffekte wie „atmendes" Hintergrundrauschen (Rauschmodulation) auf. Bei zu kleinen Werten für die Zeitkonstanten machen sich Verzerrungen bei tiefen Frequenzen bemerkbar. Deshalb wurden unterschiedliche Rauschminderungsverfahren entwikkelt, die

- eine Aufteilung des NF-Bereiches in Teilbereiche und ihre möglichst optimale Verarbeitung (verschiedene Zeitkonstanten)
- eine pegelsprungabhängige Zeitkonstante
- eine automatische Zeitkonstantenumschaltung
- die Beschränkung der Kompanderwirkung auf den Hochtonbereich
- eine pegelabhängige untere Frequenzgrenze (Sliding-Band-Kompander)

bzw. entsprechende Kombinationen anwenden.

Ein anderes Unterscheidungsmerkmal sind die gewählten Kompressions- und Expansionsgrade (Kompandierungsgrad).

Eine weitere Klassifizierungsmöglichkeit ergibt sich aus der Art und Weise, wie das NF-Band verarbeitet wird:

- Breitbandkompander: breitbandiges NF-Band mit festem Kompandierungsgrad
- Zweibandkompander: Aufteilung des NF-Bandes in zwei Teilbereiche
- Mehrbandkompander: Aufteilung des NF-Bandes in mehrere Teilbereiche (professionelle Anwendungen)
- Sliding-Band-Kompander: Veränderliche unter Frequenzgrenze des NF-Bandes

Dolby-Systeme

Die Kompander-Rauschminderungsverfahren Dolby A und Dolby B wurden bereits in [2] [6] beschrieben.

Dolby B ist eine vereinfachte Variante des mit vier Teilbereichen arbeitenden Dolby A und nimmt eine Kompression des Signals bei niedrigem Pegel in einem Frequenzbereich vor, dessen Bandbreite sich pegelabhängig verschiebt (Sliding-Band). Man erhält damit pegel- und frequenzabhängige Parameter. Zur Signalverarbeitung wird das Signal in einen Hauptkanal ohne Signalbeeinflussung und in den Nebenkanal aufgeteilt, der als dynamisches Hochpaßfilter wirkt (Bild 4). Über eine weitere Stufe erfolgt eine Signalzusammenführung vor der eigentlichen Aufnahme. Das Filter im Nebenkanal wird durch das jeweils vorhandene Signal entsprechend gesteuert, so

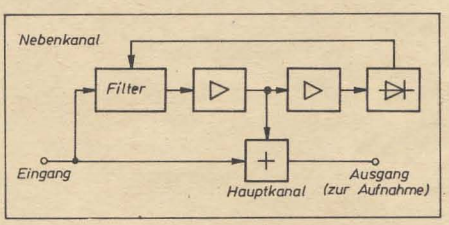


Bild 4: Dolby-B-Prinzip (Aufnahme)

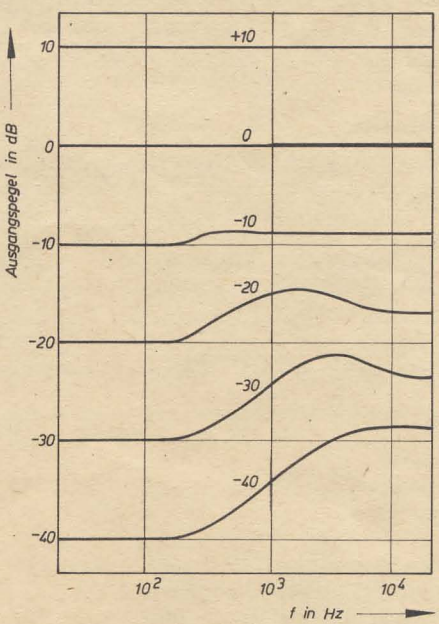


Bild 5: ▲ Dolby-B (Aufnahmecharakteristik)

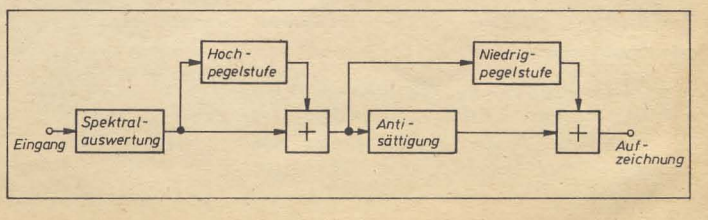


Bild 6: Dolby-C (Aufnahmeseite) ▶

daß sich der gewünschte Kompressionseffekt ergibt (Bild 5). Die Expansion verläuft analog, wobei aus ökonomischen Gründen einige Baustufen der Kompression wieder eingesetzt werden.

Dolby C ist ein Sliding-Band-Verfahren und lehnt sich in seinen Haupteigenschaften stark an Dolby A und B an. Das Frequenzband, in dem die Rauschminderung stattfindet, wird hier um zwei Oktaven nach unten erweitert. Neben einer Rauschminderung von insgesamt nunmehr 20 dB bleiben die Eigenschaften der Dolbysysteme wie Pump- und Atmungsfreiheit der Signalverarbeitung erhalten. Die relativ hohe Kompression und Expansion während der Aufnahme und der Wiedergabe werden durch zwei in Reihe geschaltete Verarbeitungsstufen (Bild 6) erzielt, wobei jede Stufe einen Anteil von 10 dB liefert und bei einem unterschiedlichen Pegel anspricht.

Die erste Stufe arbeitet beim gleichen Signalpegel wie Dolby B, während die zweite Stufe bereits bei einem niedrigeren Signalpegel betrieben wird. Da beide Stufen in Reihe wirken, multipliziert sich ihr Einfluß. Durch die Verwendung von zwei voneinander unabhängigen Stufen werden Probleme vermieden, wie sie bei einer einzigen 20-dB-Stufe auftreten. Dolby C läßt sich durch eine einfache Umschaltung auch als Dolby B betreiben und kann mit zwei Dolby-B-IS aufgebaut werden. Weiterhin besteht eine gewisse Kompatibilität zwischen C-dolbysierten Aufnahmen, die auf Dolby-B-Geräten abgespielt werden. Neu ist weiterhin ein Antisättigungsnetzwerk, das zur Unterdrückung von unerwünschten Nebeneffekten (Kodier- und Dekodierfehler, Bandsättigung bei höheren Frequenzen, Intermodulation) dient.

Dolby HX [11] nimmt unter den Verfahren zur Rauschminderung eine Sonderstellung ein, da es nur auf der Aufnahmeseite wirkt und hier eine verbesserte Aufzeichnung für höherfrequente Signale mit hohem Pegel schafft (Erweiterung der oberen Aufzeichnungsgrenze). Treten derartige Signale auf, so wird die Vormagnetisierung automatisch verringert. Durch die automatische Regelung des Vormagnetisierungsstromes in Abhängigkeit von der jeweiligen spektralen Energieverteilung des NF-Signals erhält man eine dynamische Arbeitspunktverschiebung. Weiterhin wird auch die Vorverzerrung verändert. Durch Dolby HX kann mit einem höheren Pegel bei der Aufzeichnung gearbeitet werden, so daß sich eine Verbesserung des Rauschabstandes von etwa 10 dB ergibt.

Telcom und High Com

Das Rauschminderungsverfahren telcom c 4 [9] ist ein Mehrbandverfahren für professionelle Zwecke, bei dem das NF-Band in vier Teilbereiche (35 Hz...215 Hz; 215 Hz bis 1 450 Hz; 1 450 Hz...4 800 Hz und 4 800 Hz bis 16 000 Hz) aufgeteilt wird. Durch diese schmalbandigen Teilbereiche (Kanäle) las-

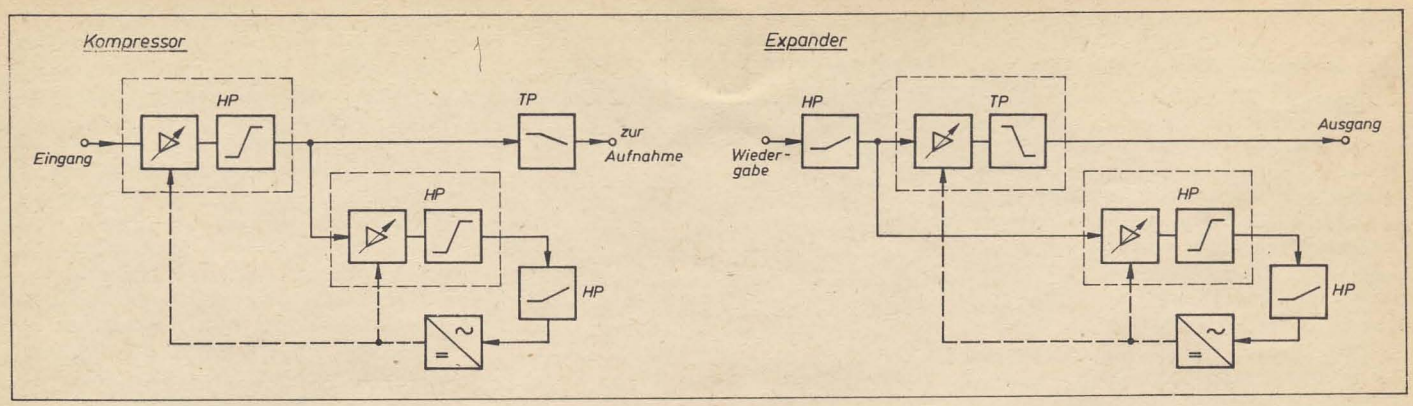


Bild 7: High-Com-Kompander

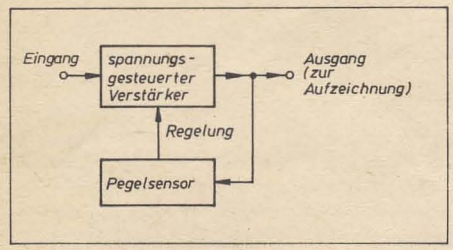


Bild 8: dbx-Verfahren (Aufnahmeseite)

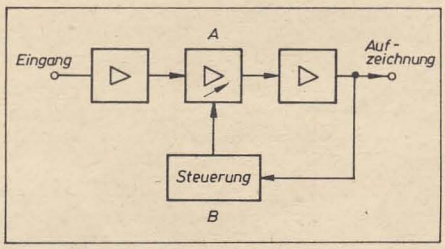


Bild 9: ANRS-Verfahren (Aufnahmeseite)

sen sich rascher wirkende Verstärkungsänderungen bei schnellen Pegeländerungen verwirklichen, wobei auch im schmalbandigen Kanal die akustische Verdeckung des Rauschens durch ein großes Nutzsignal erhalten bleibt. Durch die Frequenzaufteilung wird ein Rauschatmen verhindert. Weiterhin können optimale Parameter bei ansteigenden und abfallenden Signalpegeln angewendet werden. Die Rauschminderung beträgt bis zu 30 dB.

Das Rauschminderungsverfahren High Com [9] ist ein Breitbandkompandersystem, bei dem die notwendigen Einrichtungen zur Kompression und Expansion pegelunabhängig arbeiten. Bild 7 zeigt den Prinzipaufbau. Die Kompression des Signals wird mit einem zweistufigen Kettenverstärker vorgenommen, dessen Ausgangspegel durch eine Regelschaltung konstant gehalten wird. Um Bandübersteuerungseffekte bei hohen Frequenzen zu vermeiden, werden Höhenabsenkungen vorgenommen. Kompressor und Expander sorgen für eine Absenkung der mittel- und höherfrequenten Rauschanteile, wenn das Nutzsignal für eine Verdeckung des Rauschens zu gering ist. Die Rauschminderung beträgt bis zu 20 dB. Unempfindlichkeit gegen Pegel- und Frequenzgangfehler sind u. a. neben einem günstigen Aufbau (IS) die Vorteile dieses Verfahrens.

High Com II [12] ist ein Zweibandkompandersystem und aus telcom c 4 abgeleitet. Das NF-Band wird hier in zwei Teilbereiche aufgeteilt, die unabhängig mit optimalen Zeitkonstanten kompandiert werden. High Com II erzielt bei einem Kompressionsgrad von 2 : 1 eine Rauschverbesserung von etwa 20 dB. Bei sehr niedrigen Signalpegeln liegt das Kompressionsverhältnis nur bei 1 : 1.

dbx-Verfahren

Das Rauschminderungsverfahren dbx [13] [14] ist ein Breitbandkompanderverfahren, das in seiner Grundkonzeption für die Aufzeichnung auf Tonband und auf Schallplatte geeignet ist. Um Beeinträchtigungen der Wiedergabe durch Rauschmodulation und Pumperscheinungen bei schnellen Ein- und Ausschwingvorgängen zu vermeiden, wird hier mit einem speziellen Effektivwertpegelsensor gearbeitet, dessen Ausgangssignal Einfluß auf die Verstärkung des spannungsgesteuerten Verstärkers nimmt (Bild 8). Vor dem Verstärker liegt noch eine (feste) Preemphasis, die die höherfrequenten Signalpegel (ab 1 600 Hz) anhebt. Es wird eine dB-lineare Kompandierung vorgenommen. Der Kompressionsgrad beträgt 2 : 1. Das Verfahren liegt in einer professionellen und in einer Konsumgüterversion vor. Zur Wiedergabe von dbx-kodierten Schallplatten ist ein Dekoder erforderlich. Das Verfahren ist im Gegensatz zu Dolby B weniger kritisch gegenüber Pegeleinstellungen.

Super D

Das japanische Rauschminderungsverfahren Super D [15] arbeitet mit zwei Teilbereichen (Zweibandkompander) des NF-Bandes. Die Rauschminderung ist 40 dB. Der Kompressionsgrad beträgt 2 : 1. Durch die Aufteilung in zwei Teilbereiche können eine optimalere Anpassung der Parameter vorgenommen und das Rauschatmen stark verringert werden. Die Kompandierung wird unabhängig vom Signalpegel vorgenommen. Die Übergangsfrequenz zwischen den beiden Teilbereichen liegt bei 4,8 kHz. Durch die Verwendung von zwei Teilbereichen wird vermieden, daß Lautstärkeveränderungen im unteren Frequenzbereich Einfluß auf die Signalverhältnisse im oberen Frequenzbereich (Rauschatmen) nehmen.

ANRS und Super ANRS

Beim Rauschminderungsverfahren ANRS [15], das ebenfalls aus Japan kommt, wird die Signalverarbeitung im Signalpfad (Bild 9) selbst und nicht wie bei Dolby B über einen Nebenpfad vorgenommen. Damit entfallen Probleme bei der gegenphasigen Addition von Signalen, wobei Phasenverschiebungen auftreten können. Bild 9 zeigt das Aufnahmeprinzip von ANRS. Ein in seiner Verstärkung veränderbarer Verstärker wird von einer Steuerschaltung beeinflußt, der das Ausgangssignal zur Auswertung zugeführt wird. Genau wie bei Dolby werden höherfrequente Signale bei der Kompression um so mehr angehoben, je kleiner ihr Pegel ist (Bild 10) Die Komponenten A und B sind praktisch so ausgelegt, daß sie auch bei entsprechender Umschaltung zur Wiedergabe benutzt werden können. Die frequenzmäßige Beeinflussung des Signals erfolgt oberhalb von 500 Hz.

Super-ANRS verfolgt zur Rauschminderung einen anderen Weg, indem es die Aussteuerbarkeit des Bandes für höhere Signalpegel bei höheren Frequenzen verbessert. Damit werden Beeinträchtigungen durch Bandsättigungen bei großen Signalpegeln und höheren Frequenzen vermieden, die ja durch die bei der Tonspeicherung übliche Vorverzerrung bei Kassettentonbandgeräten (geringe Bandgeschwin-

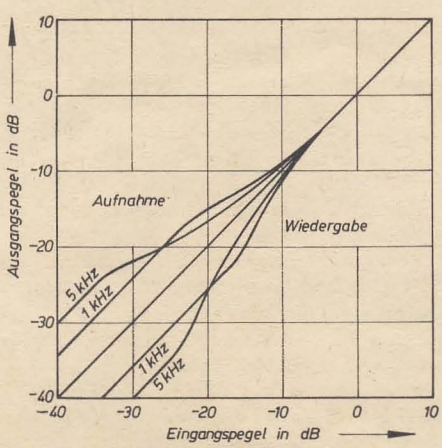


Bild 10: Kompandierungsgrad bei ANRS

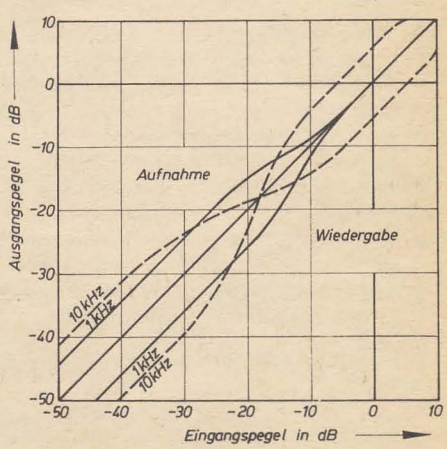


Bild 11: Kompandierungsgrad bei Super-ANRS

digkeit) stärker angehoben werden. Dabei wird zur üblichen ANRS-Schaltung eine Stufe mit veränderlicher Impedanz zugeschaltet, die bei großen Signalpegeln zusätzlich eine Höhenabsenkung (Kompression) vor der Aufzeichnung vornimmt und damit eine Sättigung verhindert. Bei der Wiedergabe wird eine entsprechende Expansion angewandt (Bilder 11 und 12).

Super-ANRS erzielt somit einen zweifachen Effekt: Verringerung des Rauschens und Erweiterung des Dynamikumfangs nach unten und Vermeidung einer Sättigung und Erweiterung des Dynamikumfangs nach oben. Die zusätzliche Kompression liegt bei 6 dB für ein 10-dB-Signal bei 10 kHz.

ADRES

ADRES [17] arbeitet mit einem Kompressionsgrad von 1 : 1,5 (Bild 13). Es wird wieder eine pegelabhängige Anhebung vorgenommen, wobei schwache Signale angehoben, starke Signale sogar abgesenkt werden. Bei der Aufnahme wird ein Bewertungsnetzwerk angesteuert, das über einen Pegelsensor und einen Begrenzer auf den Signalverstärker einwirkt, dessen Verstärkung in Abhängigkeit vom vorhandenen Signalpegel beeinflußt wird. Die Rauschverbesserung beträgt bis zu 30 dB.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten für Rauschminderungsverfahren

Die bisher vorgestellten Rauschminderungsverfahren beziehen sich in ihrem praktischen Einsatzbereich auf die Magnettonspeicherung. Weitere Verfahren oder spezielle Modifizierungen der Verfahren sind auch für andere Aufgabenbereiche geeignet, so für die Schallplattentechnik, für die FM-Rundfunkübertragung und für die Lichttonspeicherung.

Speziell zur Rauschverbesserung bei Schallplatten dient das Rauschminderungssystem CX [18] (compatible expansion), das ein kompatibles Kompandersystem darstellt, d. h., die komprimierten Aufnahmen sind auch ohne speziellen Dekoder (Expander) allerdings ohne Rauschverbesserung abspielbar. Dabei wird das Ziel verfolgt, die von Digitaltonbändern bereitgestellten Störabstände von 80 dB und die dadurch mögliche große Dynamik auch beim Überspielen auf die Schallplatte zu erhalten. Die Kompression (Bild 14) erfolgt mit einem Kompressionsgrad von 2 : 1, bei sehr niedrigem Signalpegel (ab —40 dB) nur mit 1 : 1. Die Rauschverbesserung beträgt 20 dB. Zur Unterdrückung des Rauschatmens wird neben einem Hauptzeitkonstantenkreis noch ein Nebenzeitkonstantenkreis mit vier Einzelzeitkonstanten eingesetzt.

Wie bereits erwähnt, kann dbx auch zur Rauschminderung bei Schallplatten herangezogen werden, wobei ein Kompressionsgrad von 2 : 1 verwendet wird. Die Rauschminderung kann bis zu 25 dB betragen [14]. Die Schallplatten werden dabei mit einem geringeren Signalpegel geschnitten, so daß auch durch die kleineren Rillenabstände eine größere Spielzeit erzielt werden kann. Bei der Wiedergabe ist ein Dekoder erforderlich.

Die Anwendung des Dolby-Systems (Dolby A) in der Lichttonspeicherung (Kinematographie) gestattet eine qualitative Verbesserung [19] der Tonwiedergabe im Kino, da neben einer Rauschverminderung auch

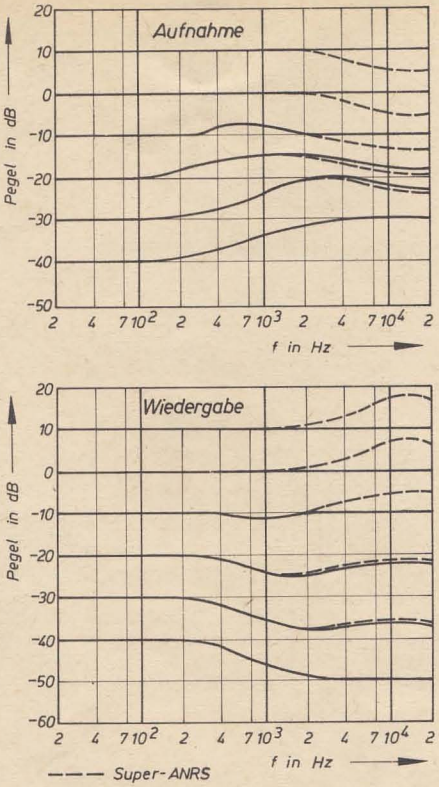


Bild 12: Pegelverhältnisse bei ANRS und Super-ANRS

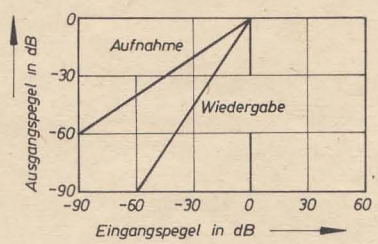


Bild 13: Kompandierungsgrad bei ADRES

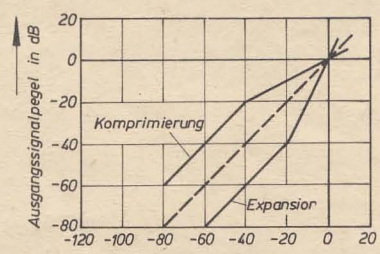


Bild 14: Kompandierungsgrad bei CX

linearere und breitbandigere Frequenzgänge bei Aufnahme und Wiedergabe erzielt werden können. Dadurch kann die mögliche Bandbreite von 10 kHz bei Lichttonkopien besser ausgenutzt werden. Auf diese Weise läßt sich der Nachteil der Lichttonspur gegenüber einer Magnettonspur, nämlich schlechtere Rauscheigenschaften, stark verringern. Die Rauschminderung liegt in der Größenordnung von 10 dB.

Der Einsatz des Dolby-B-Systems bei der FM-Rundfunkübertragung [20] verfolgt – abgesehen bei schwach einfallenden Sendern – weniger das Ziel, das Rauschen zu verringern, da bei guten FM-Rundfunkempfängern und ausreichender Feldstärke der Signal-Rauschabstand der Empfänger (z. B. 70 dB) über dem des vorwiegend zur Verfügung stehenden Programmaterials (Magnetband, Schallplatte) liegt. Durch die im FM-Rundfunk verwendete Preemphasis (50 μs) müssen auch bei höherfrequenten Signalen die Modulationsspitzen begrenzt (Kompressoren, Begrenzer) werden, damit der Hub nicht überschritten wird. Durch diese Maßnahme wird die Dynamik der Übertragung verringert. Mit Verringerung der Preemphasis und Dolby-Einsatz kann diese Dynamikeinschränkung weitgehend entfallen, ohne daß dadurch der Rauschabstand verschlechtert wird. Zur Ausnutzung dieser Vorteile muß ein FM-Rundfunkempfänger mit einer Preemphasis von 25 μs und einem Dolby-Dekoder ausgerüstet werden.

Schlußbemerkungen

Wie der Überblick zeigt, gibt es eine relativ große Anzahl von Rauschminderungsverfahren, die untereinander nicht kompatibel sind und territorial unterschiedlich angewandt werden. Eine große Verbreitung hat das mit zu den ersten Verfahren gehörende Dolby-B-Verfahren erlangt, dessen Schaltungsaufwand in einer IS realisiert werden kann.

Rauschminderungsverfahren werden überall dort angewandt, wo die Übertragung oder Speicherung Unzulänglichkeiten aufweist, die man im Rahmen einer verbesserten und originalnahen Wiedergabe auszuschalten bzw. zu mindern versucht. Oftmals unberücksichtigt dabei bleibt die Frage, ob die erzielbare Rauschminderung bzw. Vergrößerung des Dynamikumfangs nicht wieder durch andere Einflußfaktoren beeinträchtigt wird, zu denen der Störgeräuschpegel im Wiedergaberaum, die Wiedergabemöglichkeit von Dynamikspitzen in normalen Wohnräumen und letztlich auch Grenzen der Wahrnehmbarkeit gehören.

Literatur

[1] Rauschunterdrückung bei Tonübertragungen. Funkschau 50 (1978) H. 2, S. 61–64; H. 4, S. 145–146

[2] Scholz, Ch.; Pohl, J.: Schaltungstechnik in Kassettenrecordern. Berlin: VEB Verlag Technik 1980

[3] Zehnmal gegen Tonbandrauschen. Nachrichtentechn. Zeitschrift 34 (1981) H. 10, S. 724, 726

[4] Neue Rauschverminderungssysteme auf der CES vorgestellt. HiFi-Stereophonie 20 (1981) H. 8, S. 882

[5] Mengele, U.: Adaptiver Rausch-Prozessor. Funkschau 51 (1979) H. 25, S. 1451–1464

[6] Pohl, J.: Kassettentechnik und DOLBY-System. radio fernsehen elektronik 24 (1975) H. 10, S. 318–325

[7] Fischer, B.: Dynamische Rauschfilter. radio fernsehen elektronik 26 (1977) H. 2, S. 56–58

[8] Ziegahn, K. F.: Kompander. HiFi-Stereophonie 20 (1981) H. 7, S. 743–744

[9] Dickopp, G.; Schröter, E.: Der Telefunken-Kompander. Rundfunktechn. Mitteilungen 22 (1978) H. 2, S. 63–74

[10] Feldman, L.: New Dolby noise reduction system. Radio Electronics 52 (1981) H. 5, S. 70–72

[11] Feldman, L.: Dolby HX – new noise reduction system. Radio Electronics 50 (1979) H. 12, S. 58–60

[12] Feldman, L.: Better than Dolby B?. Radio Electronics 51 (1980) H. 9, S. 61–62, 104

[13] Pfeifer, H. G.: Das dbx-Rauschunterdrükkungsverfahren für Schallplatte und Tonband. Funkschau 47 (1975) H. 7, S. 63 und 64

[14] Feldman, L.: Noiseless discs at last. Radio Electronics 46 (1975) H. 2, S. 31–34

[15] Noise reduction systems: three methods to hush audio hisses and boos. J. of the Electronics Industry 25 (1978) H. 11, S. 30, 32, 34, 35

[16] Feldman, L.: Improved noise-reduction for tapes. Radio Electronics 47 (1976) H. 11, S. 76 und 77, 104

Fortsetzung auf Seite 736