

Rauschunterdrückung bei Tonübertragungen

**1 Rauschquellen**

**1.1 Rauschquellen im HF-Teil eines Empfängers**

Rauschquellen sind: Aktive Bauelemente (Transistoren), ohmsche Widerstände sowie ohmsche Verlustwiderstände von Schwingkreisen und Antennen, ferner Rauscheinstrahlungen aus dem Welt-raum. Alle Rauschquellen, die sich im HF-Teil des Gerätes befinden, lassen sich, bei AM- wie FM-Empfängern, zu einer einzigen Rauschquelle zusammenfassen [1, 2]

**1.2 Rauschquellen im NF-Bereich bei Tonträgern**

Bei Tonbändern bzw. Magnetbändern spricht man vom Bandrauschen. Es entsteht durch ungleichmäßige Verteilung der Elementarmagnete und durch Schwankungen bei der HF-Löschung bzw. HF-Vormagnetisierung. Die remanente Induktion des unbespielten Bandes ist also längs des Bandes inkonstant, diese Schwankungen überlagern sich dem Tonfrequenzsignal.

Besonders bei Kassettengeräten ist dem Bandrauschen besondere Beachtung zu schenken. Dafür gibt es zwei Gründe: a) Die Tonspur ist sehr schmal ( $\approx 1$  mm). Ungleichmäßigkeiten in der Beschichtung können sich nicht ausmitteln. b) Bei der Wiedergabe ist die Absenkung bei hohen Frequenzen geringer als bei normalen Bandgeräten, um bei den niedrigen Bandgeschwindigkeiten noch einen annehmbaren Amplitudengang im Bereich hoher Frequenzen zu erreichen. Geringe Höhenabsenkung bedeutet aber gleichzeitig geringe Rauschunterdrückung [3, 16]. Bei Schallplatten spricht man vom Nadel- oder Rillenrauschen. Seine Ursachen liegen in Unebenheiten in Rille und Rillenführung [4].

**1.3 Rauschen in den NF-Verstärkern**

Natürlich entstehen auch in den NF-Verstärkern Rauschspannungen. Durch zweckmäßige Dimensionierung kann man sie aber im Verhältnis so klein halten, daß sie bei dieser Betrachtung unberücksichtigt bleiben können.

**2 Überblick über die Verfahren zur Rauschunterdrückung**

Man unterscheidet zwischen folgenden Möglichkeiten: a) Komplementäre und nicht komplementäre Verfahren, b) Verfahren, bei denen die Dynamik des Signals geändert wird, und solche, die ohne Beeinflussung der Dynamik wirksam sind.

Unter *komplementären Verfahren* versteht man solche, bei denen im ersten Teil des Übertragungsweges (Aufnahme) der Frequenzgang nach einer bestimmten Gesetzmäßigkeit verändert (verzerrt) und dies im zweiten Teil (Wiedergabe) wieder rückgängig gemacht wird. Das Signal nimmt also danach wieder seinen ursprünglichen Zustand an.

Bei den *nicht komplementären Verfahren* erstreckt sich eine solche Frequenzgangkorrektur nur auf einen Teil des Übertragungsweges, und zwar meist auf die Empfänger-/Wiedergabeseite.

Beide Methoden (a und b) werden nun, je nach Aufgabe, miteinander kombiniert, so daß sich, wie *Tabelle 1* zeigt, vier Prinzipien zur Rauschunterdrückung ergeben. Dabei werden die komplementär arbeitenden Methoden in Systemen mit hoher Übertragungsgüte bevorzugt angewendet, da

das Signal wieder in den Originalzustand zurückversetzt wird [5].

**3 Rauschunterdrückung nach Gruppe 1 (nicht komplementär, ohne Dynamikbeeinflussung)**

Hierzu gehören die bekannten Schaltungen für Rauschfilter, Klangblende usw.

**4 Rauschunterdrückung nach Gruppe 2 (komplementär, ohne Dynamikbeeinflussung)**

Hier seien zwei Verfahren erwähnt: Aufsprechtzerrung bei einer Schallplatte (Schneidkennlinie) und Pre-/Deemphasis bei UKW-Empfang.

Bei der *Aufsprechtzerrung* wird die (Schnelle<sup>1</sup>) für die Tiefen abgesenkt, um die Auslenkungen zu begrenzen, ferner werden die Höhen angehoben. Das letztere geschieht zur Rauschunterdrückung.

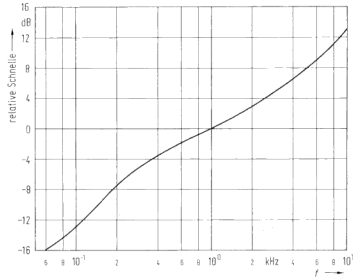


Bild 1. Schallplattenschneidkennlinie nach DIN 45 537. Frequenzgang der Lichtbandbreite bzw. Schnelle bei konstanter Eingangsspannung der zu verwendenden Aufschreppapparatur

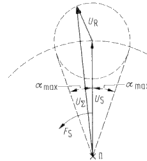
Auf der Wiedergabeseite werden ja, um das Ursprungssignal wieder herzustellen, die Höhen abgesenkt. Dabei werden die im oberen Frequenzbereich liegenden Rauschspannungen im gleichen Verhältnis wie die Signalspannungen reduziert. *Bild 1* zeigt die genormte Schneidkennlinie.

<sup>1</sup> Schnelle = Auslenkung  $\cdot 2\pi f$ , z. B. Auslenkung 65  $\mu\text{m}$ ,  $f$  1 kHz gibt eine Schnelle von  $65 \cdot 10^{-6} \text{m} \cdot 2\pi \cdot 1 \cdot 10^3 1/\text{s} = 410 \cdot 10^{-6} \text{m/s} = 41 \text{ cm/s}$ .

**Tabelle 1. Die Rauschunterdrückungsverfahren (Beispiele)**

	nicht komplementär	komplementär
Ohne Dynamikbeeinflussung	Gruppe 1 Rauschfilter Geräuschfilter Klangblende	Gruppe 2 Pre- und Deemphasis bei UKW  Aufsprechtzerrung (Schallplatte) und ihre Umkehr auf der Wiedergabeseite
Mit Dynamikbeeinflussung	Gruppe 3 DNL	Gruppe 4 (Componder) Dolby ANRS

Bild 2. Phasen- und Amplitudenmodulation durch einen Störsender.  $U_s$  = Signalspannung. Der Zeiger  $U_s$  dreht sich mit seiner durch  $f_s$  bestimmten Winkelgeschwindigkeit. Die Störspannung  $U_n$  wird geometrisch addiert. Sie erzeugt eine Amplitudenschwankung von  $U_s$  zwischen  $max. U_s + U_n$  und  $min. U_s - U_n$ . Sie erzeugt ferner für  $U_s$  einen Phasenhub von  $\pm \alpha_{max}$ .  $\Sigma U$  = Summenspannung,  $\alpha$  = Phasenhub von  $U_s$  (im Bogenmaß),  $\alpha_{max}$  = max. Phasenhub für gegebene Werte von  $U_s$  und  $U_n$ . Umsetzung der Phasenmodulation in Frequenzmodulation. Frequenzmodulation:  $M = \Delta f / f$  ( $M$  = Modulationsindex,  $\Delta f$  = Frequenzhub,  $f$  = Modulationsfrequenz) – Phasenmodulation:  $\alpha = M = \Delta f / f$ . Daraus folgt: Bei konstantem Phasenhub steigt der Frequenzhub linear mit der Modulationsfrequenz an [7].



### 5 Rauschunterdrückung nach Gruppe 3

(nicht komplementär, mit Dynamikeinfluss; auch als pegelabhängige Klangblende bezeichnet)

Hierher gehört das DNL-Verfahren (Dynamic Noise Limiter = dynamischer Rauschbegrenzer). Diese aktive Schaltung zur Rauschunterdrückung wird vor allem im Wiederabgabeteil von Kassettengeräten eingesetzt. Sie ist, wie erwähnt, nicht als komplementäre Schaltung ausgelegt, d.h., sie ist nicht auf einen bestimmten Frequenzgang auf der Aufnahme- und Wiedergabe-Seite ausgerichtet. Deshalb kann sie beim Abspielen jeder Kassette von Vorteil sein. Sie ist also voll kompatibel [8, 9, 10].

#### 5.1 Das Prinzip

Ziel ist, das störende Rauschen, das bei Bandgeräten vor allem oberhalb 4 kHz hörbar wird, zu unterdrücken. Verwendet man zu diesem Zweck übliche passive Filter, so beeinträchtigen diese den Signalinhalt. Denn es werden höhere Grundtöne und Harmonische abgeschnitten oder geschwächt. Die Wiedergabe wird dumpf. Um nun die folgenden beiden Forderungen zu erfüllen, nämlich das Rauschen zu unterdrücken und die Wiedergabe gleichzeitig nicht zu beeinträchtigen, macht man von zwei Tatsachen Gebrauch:

- a) Bei kleinen Signalamplituden (leiser Musik) ist im Bereich oberhalb 4 kHz das Nutzsignal, bestehend aus Grund- und Obertönen, klein. Es gibt nur wenige Musikinstrumente, deren Grundtonumfang über 4,5 kHz hinausgeht<sup>2)</sup>, außerdem ist bei kleinen Signalamplituden der Obertongehalt klein. Das Verhältnis Signal/ Rauschen ist also sehr klein und das Rauschen stört.
- b) Bei großen Signalamplituden (laute Musik) ist der Obertongehalt sehr hoch. Das Verhältnis Signal/Rauschen ist groß. Das Rauschen stört nicht, weil es von dem Nutzsignal überdeckt wird (Überdeckungseffekt). Außerdem braucht man in diesem Fall den vollen Übertragungsbereich im Gebiet hoher Tonfrequenzen, um keine Signalinformation zu verlieren.

Daraus ergeben sich zwei Bedingungen für die Rauschunterdrückung. Sie muß wirksam sein, wenn der Signalpegel unter einem vorgegebenen Wert liegt, also z. B. bei leiser Musik und natürlich in den Signalpausen.

Die Rauschunterdrückung darf nur dann aufgehoben werden, wenn im Bereich hoher Tonfrequenzen diese Pegelgrenze überschritten wird. Denn in dem Gebiet, in dem das Rauschen stört (> 4 kHz), muß es durch hohe Signalamplituden überdeckt werden. Da niedrige Tonfrequenzen mit ihren Obertönen einen zu kleinen Beitrag für das kritische Frequenzgebiet liefern, darf durch sie die Rauschunterdrückung nicht abgeschaltet werden.

Daraus folgt also: Man muß aus den höheren Tonfrequenzen ein Steuersignal ableiten, dessen Amplitude dann über Ein-/Aus-schalten der Rauschunterdrückung entscheidet.

Die *Preemphasis/Deemphasis* wird im UKW-FM-Rundfunk angewendet. Im Modulationsverstärker des Senders werden die hohen Frequenzen angehoben, im Empfänger wieder abgesenkt. Bei der FM-Übertragung ist eine solche Maßnahme besonders wichtig, da jede Rauschspannungskomponente einen um so höheren Frequenzhub erzeugt, je größer die Differenz zwischen Signalfrequenz und der Frequenz der betrachteten Rauschspannungskomponente ist [Bild 2] [6, 7].

In den USA arbeitet man mit einer Vorverzerrung von 75 µs, in Europa mit 50 µs. Mit dieser Angabe wird die Zeitkonstante des verzerrenden RC-Gliedes festgelegt. Eine RC-Kombination, bestehend aus 100 kΩ und 500 pF, hat die Zeitkonstante  $10^5 \cdot 500 \cdot 10^{-12} \text{ V} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{A} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 50 \text{ µs}$ . Bild 3 zeigt den Verlauf der Höhenanhebung/-Absenkung für die drei Fälle: 75 µs, 50 µs, 25 µs. Der letztgenannte Wert ist im Fall einer Dolby-Entzerrung von Interesse (s. Abschn. 6).

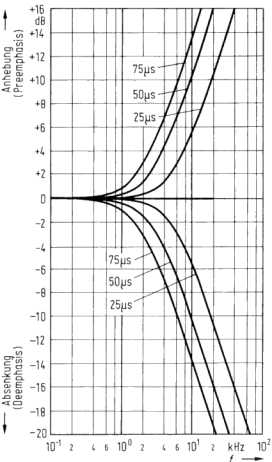
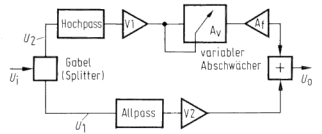


Bild 3. Der Verlauf von Höhenanhebung bzw. Höhenabsenkung für verschiedene Werte der Vorverzerrung (75, 50, 25 µs)

<sup>2)</sup> FTA Ea 61; FUNKSCHAU 1975, H. 5, S. 59, Bild 4

Bild 4. ▶  
Prinzipschaltung für die Rauschunterdrückung nach dem DNL-Verfahren [9]. Die Eingangsspannung  $U_i$  wird in die beiden Teilspannungen  $U_1$  und  $U_2$  aufgeteilt.  $U_1$  wird mit konstantem Frequenzgang verstärkt. Auf dem Weg 2 ( $U_2$ ) werden nur die hohen Frequenzen, und zwar pegelabhängig, verstärkt. Im Summierglied wird  $U_2$  (da um 180° gedreht) von  $U_1$  abgezogen



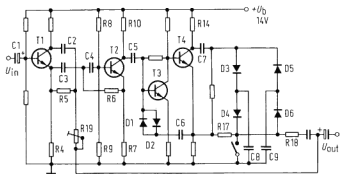


Bild 4a. Schaltung für die DNL-Rauschunterdrückung [9]. Der Hauptkanal läuft über T1, C2 || R5, R19; der Zusatzkanal mit dem Hochpaßfilter über T1, C3, C4, T2, C5, T4, C7 zu den Widerständen R17, R18 und zur Summation mit dem Hauptkanal. Das Hochpaßfilter 3. Ordnung wird mit T2 gebildet. Die frequenzbestimmenden Schaltelemente dafür sind: C3, R6, C4, R8 || R9 zusammen mit der Rückkopplung über R7, ferner C5, R10 + R1 (T3). D1, D2 dienen zur symmetrischen Begrenzung der Stufe mit T3. Die variable Abschwächung des Signals im Zusatzkanal erfolgt mit Hilfe von D4, D6. Die Kondensatoren C6, C9 werden durch Spitzengleichrichtung der höheren Frequenzen über die Dioden D3, D5 geladen.

5.1.1 Die Prinzipschaltung

Wie Bild 4 zeigt, wird das Eingangssignal gleichzeitig zwei Übertragungswegen zugeführt. Im Weg 1 (U1) werden die Frequenzen des gesamten NF-Spektrums gleichmäßig verstärkt. Auf dem Weg 2 (U2) dagegen erfolgt eine selektive Verstärkung. In seinem Eingang liegt ein Hochpaßfilter mit einer Grenzfrequenz von etwa 6 kHz, ihm folgt der Verstärker V1 und der festgestellte Abschwächer A<sub>f</sub>. Zwischen beiden liegt ein variabler Abschwächer A<sub>v</sub>, dessen Wert durch den Pegel des Signals U2 gesteuert wird.

5.2 Die Funktion

a) schwaches Signal

Es wird auf dem Weg U1 normal verstärkt, auf dem Weg U2 wird nur der obere Frequenzbereich in gleicher Weise wie U1 verstärkt und in der Phase um 180° gedreht. Dann kann bei einer Summation von U1 und U2 das obere Frequenzband von U1 ausgelöscht oder geringer verstärkt werden. Im Addierer werden also die oberen Frequenzen von U1 unterdrückt.

b) Signal mit hohen Amplituden im oberen Tonfrequenzbereich

Das Signal wird auf dem Weg U1 normal verstärkt, auf dem Weg U2 wird sein oberer Frequenzbereich im variablen Abschwächer A<sub>v</sub> sehr stark geschwächt, so daß über diesen Weg (U2) praktisch keine Spannung an den Addierer geleitet und das Signal original übertragen wird (Bild 4a).

5.2.1 Ergebnisse

Mit dem Ohrkurvenfilter<sup>3)</sup> gemessen erhöht sich der Geräuschspannungsabstand um etwa 3 dB, ohne Ohrkurvenfilter gemessen steigt der Rauschabstand bei 6 kHz um 5 dB, bei 10 kHz um 20 dB.

6 Rauschunterdrückung nach Gruppe 4

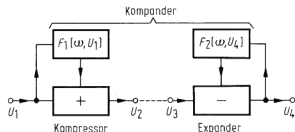
(komplementär, mit Dynamikbeeinflussung; auch als Com-pander bezeichnet)

Hierher gehören das Dolby-System A und B<sup>4)</sup> sowie das ANRS-System (Automatic Noise Reduction System)

<sup>3)</sup> Elektronik-Arbeitsblätter (EAB) Ea 01, Abschn. 3.7. Franzis-Verlag, München.

<sup>4)</sup> Dolby = Warenzeichen der Dolby Laboratories Inc.

Bild 5. Funktionsprinzip des Dolby-B-Verfahrens (Obertragungsschema) [11]



6.1 Das Dolby-System

(auch Dolby Noise Reduction System genannt)

Im Dolby-System werden die beiden Prinzipien aus Abschn. 4 und 5 gemeinsam angewendet.

6.1.1 Das Dolby-System B – Prinzip

Man arbeitet (nach Abschn. 4) auf der Aufnahme-seite mit einer Vorverzerrung. Diese wird auf der Wiedergabeseite durch einen entgegengesetzten Frequenzgang kompensiert, so daß das ursprüngliche Signal wiederhergestellt wird. Außerdem wird die Verzerrung (wie in Abschn. 5) pegelabhängig gemacht. Es gilt also das in Bild 5 dargestellte Übertragungsschema.

Der auf der Aufnahme-seite notwendige Schaltungsteil besteht aus dem Hauptkanal, in dem alle Frequenzen gleich und pegelabhängig verstärkt werden, und dem Zusatzkanal, dessen Verstärkung von Frequenz und Dynamik abhängig ist. Auf der Wiedergabeseite ist der gleiche Aufwand erforderlich [11].

Den Schaltungsteil auf der Aufnahme-seite bezeichnet man als Kompressor, den auf der Wiedergabeseite als Expander. Denn auf der Aufnahme-seite werden Signale mit hohem Pegel frequenzlinear übertragen, bei Signalen mit kleinem Pegel dagegen wird die Amplitude im oberen Frequenzbereich angehoben (Bild 6), so daß in diesem Gebiet die ursprüngliche Pegeldifferenz verringert (komprimiert) wird.

Für die Kombination von Kompressor und Expander gelten folgende Beziehungen:

U2 ist gegeben als Summe der Spannungen des Haupt- und des Zusatzkanals. Nach dem vorher Gesagten ist die vom Hauptkanal an die Summierschaltung abgegebene Spannung = a · U1, oder vereinfacht = U1. Dagegen ist die vom Zusatzkanal gelieferte Spannung eine Funktion der Frequenz (ω) und des Pegelwertes (U1), also = U1 · F1 (ω, U1). Damit wird U2 = U1 (1 + F1 (ω, U1)).

Auf der Expandersseite gilt das Analoge, nur muß hier die Spannung des Zusatzkanals abgezogen werden, um die im

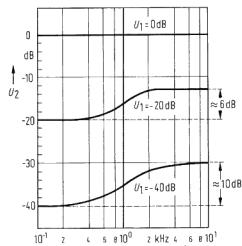
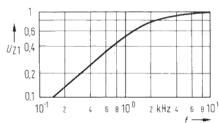
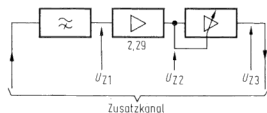


Bild 6. Kompressor-eigenschaften beim Dolby-B-Verfahren [11]



◀ Bild 7. Frequenzgang für den Hochpaß im Zusatzkanal



◀ Bild 8. Prinzipschaltbild für den Zusatzkanal [11]

Kompressor erzeugte Verzerrung rückgängig zu machen. Es ist dann

$$U_4 = U_3 - U_4 \cdot F_2[\omega, U_4] \text{ und}$$

$$U_4 = \frac{U_3}{1 + F_2[\omega, U_4]}$$

Wird nun die Forderung  $U_2 = U_3$  erfüllt, d. h. liegt zwischen dem Ausgang des Kompressors ( $U_2$ ) und dem Eingang des Expanders ( $U_3$ ) ein Übertragungsglied mit konstantem Frequenzgang, dann wird

$$U_1 (1 + F_1[\omega, U_1]) = U_4 (1 + F_2[\omega, U_4])$$

Die Gleichung wird erfüllt, wenn  $U_1 = U_4$  ist (das Ausgangssignal ist gleich dem Eingangssignal); ferner muß

$$F_1[\omega, U_1] = F_2[\omega, U_4]$$

sein, das bedeutet aber, daß die Zusatzkanäle im Kompressor und Expander gleich auszulegen sind (eine Bedingung und ein Vorteil zugleich).

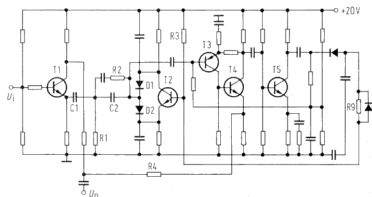


Bild 10. Beispiel für eine Dolby-B-Kompressorschaltung [11] Das über den gesamten Frequenzbereich konstant verstärkte Signal wird über T1 und R5 an die Ausgangsklemme ( $U_4$ ) geführt.

Das Zusatzsignal läuft über C1, C2 // R2, T3, T4, wird am Emittor von T4 ausgekoppelt und über R4 zur Ausgangsklemme ( $U_4$ ) geführt, d. h. zum Hauptsignal addiert. Der Frequenzgang des Zusatzkanals (Hochpaßcharakter) wird vornehmlich durch C1, R1 bestimmt.

Die Verstärkungsbegrenzung (nach Bild 9) erfolgt über D1, D2 in Verbindung mit T2.

Bei kleinen Signalamplituden ist T2 durchgeschaltet, die Spannung an D1 + D2 ist klein, der Wechselstromwiderstand beider Dioden groß. Die Eingangsspannung des Zusatzkanals wird linear verstärkt. Bei großen Signalamplituden befindet sich T2 im aktiven Bereich, die Spannung an D1 + D2 steigt, der Wechselstromwiderstand beider Dioden nimmt ab und die Verstärkung im Zusatzkanal wird verringert.

Zur Steuerung von T2 dient eine über R9 zugeführte Gleichspannung. Sie wird aus der über T3, T4, T5 hochverstärkten Signalamplitude gewonnen

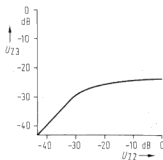


Bild 9. Die pegelabhängige Verstärkung im Zusatzkanal; Verlauf der Ausgangsspannung des Zusatzkanals in Abhängigkeit von der Eingangsspannung [11]

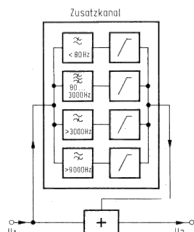


Bild 11. Der Aufbau des Zusatzkanals im Dolby-A-System [16]

### Die Dimensionierung im Zusatzkanal

Der Hochpaß muß die in Bild 7 gezeigte Frequenzkennlinie besitzen (s. a. Anhang). Die in Bild 6 gezeigten Kompressorkennlinien erhält man nun in folgender Weise (Bild 8). Am Ausgang des Hochpasses steht die Spannung

$$U_1 \cdot F_1[\omega] = U_1 \frac{j\omega T}{1 + j\omega T} = U_{21}$$

Das Signal im Zusatzkanal wird beim Dolby-Verfahren um den Faktor 2,29 verstärkt. Somit ist

$$U_{22} = U_1 \frac{j\omega T}{1 + j\omega T} \cdot 2,29 \text{ (Bild 9)}$$

Die Spannung  $U_{22}$  wird nun amplitudenabhängig verstärkt (Bild 9).

$$\text{Für } U_{23} \text{ ergibt sich } U_1 \frac{j\omega T}{1 + j\omega T} \cdot 2,29 \cdot \left( F \left[ \frac{U_1 j\omega T}{1 + j\omega T} \cdot 2,29 \right] \right)$$

$$\text{und für } U_2: U_2 = U_1 \left( 1 + 2,29 \frac{j\omega T}{1 + j\omega T} \cdot F \left[ \frac{j\omega T}{1 + j\omega T} \cdot 2,29 \cdot U_1 \right] \right)$$

Diese Gleichung für  $U_2$  sowie die Bilder 9 und 6 zeigen, daß der Kompressionsgrad von der Frequenz und dem Pegel der Signalspannung abhängig ist (Bild 10) [12, 13].

#### 6.1.2 Das Dolby-System A

Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Ausführungen A und B besteht darin, daß die Variante A gegenüber B erheblich verfeinert ist. Bei der Variante A wird das gesamte zu übertragende Tonfrequenzspektrum in vier Bereiche aufgeteilt.

Bereich 1 reicht von 0 Hz bis 80 Hz,

Bereich 2 von 80 Hz bis 3 kHz,

Bereich 3 ist durch einen 3-kHz-Hochpaß und

Bereich 4 durch einen 9-kHz-Hochpaß bestimmt. Der Hochpaß (Bild 8) von Dolby-B wird (Bild 11) durch vier Filter ersetzt und jede Filter-Ausgangsspannung amplitudenabhängig verstärkt. Die Aufteilung entspricht den verschiedenen Geräuschspektren, wie sie durch Bandgeräuschpegel, Rumpeln, Brummen usw. hervorgerufen werden.

Die Funktion von Dolby-System-A ähnelt der des B-Verfahrens. Signale mit kleinem Pegel, die also ein schlechtes Signal/Geräusch-Verhältnis verursachen, werden im Zusatzkanal verstärkt. Damit ergibt sich für sie ein höheres Ausgangssignal ( $U_2$ ) und als Folge ein besserer Geräuschabstand [14, 15, 16].

(Fortsetzung folgt)

### 6.1.3 Die Anwendung der Dolby-Systeme A und B

Das Dolby-B-System wird vornehmlich in Hi-Fi-Kassetten-Recordern (also in der Konsum-Elektronik) angewendet. Das aufwendigere Verfahren, Dolby-A, benützt man in der professionellen Technik:

Bei Bandaufnahmen

Herstellung des Mutterbandes, Herstellung von Kopien von einem Mutterband.

Bei Schallplattenaufnahmen.

wenn die Aufnahme nicht direkt mitgeschnitten, sondern zunächst auf Magnetband gespeichert wird.

Bei den Rundfunkgesellschaften,

z. B. bei Überspielvorgängen.

In der Lichtton-Aufzeichnungstechnik;

mit Lichtton-Wiedergabe ist wegen des starken Hintergrundrauschens die Qualität einer Magnetton-Wiedergabe nicht ohne weiteres zu erreichen. Durch Anwendung des Dolby-Verfahrens läßt sich dieser Qualitätsnachteil vermeiden.

In der FM-Rundfunk-Übertragung [17, 18].

### 6.1.4 Die Erhöhung des Rauschabstandes bei Anwendung des Dolby-Verfahrens

Dazu werden in der Literatur folgende Angaben gemacht:

Dolby B

Der Störabstand, gemessen nach DIN 45 405 verbessert sich um 9 dB; ist die Rauschleistung vornehmlich im oberen Frequenzbereich konzentriert, steigt der Rauschabstand um fast 10 dB.

Die Verringerung des Rauschens beginnt bei 1000 Hz und beträgt etwa 10 dB für Frequenzen über 2000 Hz.

Dolby A

Die dem Nutzsinal nach der Kompression überlagerten Störsignale lassen sich zwischen 30 Hz und 5 kHz um 10 dB, ansteigend auf 15 dB bei 15 kHz reduzieren [14, 15, 16, 17, 19].

## 6.2 Das ANRS-System (JVC NIVICO)

Es wurde im Zusammenhang mit dem Quadrofonie-Verfahren CD-4<sup>3)</sup> entwickelt und später in Hi-Fi-Kassetten-Recordern eingesetzt. Da es sich bei ANRS wie auch bei Dolby um das gleiche Problem der Rauschunterdrückung handelt, sind auch die bei beiden Verfahren eingeschlagenen Wege einander im Prinzip gleich, d. h. auf der Aufnahmeseite pegelabhängiges Anheben der hohen Frequenzen und auf der Wiedergabeseite deren spiegelbildliches Absenken.

Bild 12 zeigt im Blockschalbild das Funktionsprinzip. Sind im Signal Frequenzen enthalten, die den Hochpaß (4)

<sup>3)</sup> FIA Mo 24; FUNKSCHAU 1976, H. 17, S. 717

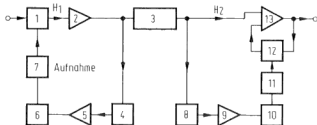


Bild 12. Funktionsprinzip des ANRS-Systems [20]. Fa bedeuten: 1 = Regelverstärker, 2 = Verstärker, 3 = Taubendglied, 4 = Hochpaß-Filter, 5 = Gegenkopplungs-Verst., 6 = Gleichrichter, 7 = Integrier-Glied, 8 = Hochpaß-Filter, 9 = Gegenkopplungs-Verst., 10 = Gleichrichter, 11 = Integrier-Glied, 12 = Regelverstärker, 13 = Verstärker

passieren können, werden sie im Verstärker (5) verstärkt und dem Gleichrichter (6) zugeführt. Mit der dort gewonnenen Gleichspannung kann die Verstärkung im Signalweg H1 beeinflusst werden. Im Wiedergabeteil ist die Schaltung spiegelbildlich aufgebaut. Mit dem Regelverstärker (12) kann die Gegenkopplung des Operationsverstärkers (13) verändert und damit die Signalverstärkung auf dem Weg H2 auf den gewünschten Wert gebracht werden [20].

## 7 Die Anwendung des Dolby-B-Verfahrens bei der UKW-FM-Rundfunk-Übertragung

Bei der UKW-FM-Übertragung verwendet man eine Höhenanhebung bzw. -Absenkung (s. Abschn. 4). Mit dieser erreicht man eine Verbesserung des Rauschabstandes.

Betrachtet man einen FM-Empfänger mit idealem Begrenzer und einer Vorverzerrung von 50  $\mu$ s, so ergibt sich für das Verhältnis der Rauschspannungen vor und hinter dem Deemphasis-Glied – bei einem Durchlaßbereich des NF-Verstärkers von 10 000 Hz – der Wert 2,34 oder 7,4 dB und – bei einem Durchlaßbereich von 15 000 Hz – der Wert 3,24  $\triangleq$  10,2 dB [16].

Man muß dabei aber berücksichtigen, daß wegen der Vorverzerrung der max. mögliche Hub für die mittleren und tiefen Frequenzen von  $\pm 75$  kHz auf etwa  $\pm 40$  kHz eingeschränkt wird.

Vergleicht man also mit der eben erwähnten Betriebsart einen Senderbetrieb ohne Vorverzerrung, bei dem bei allen Frequenzen der Sender mit dem max. Hub von  $\pm 75$  kHz angesteuert werden kann, so ergibt sich zwischen der Betriebsart mit Vorverzerrung gegenüber einer Betriebsart ohne Vorverzerrung

– bei einem Durchlaßbereich des NF-Verstärkers von 10 000 Hz – ein relativer Gewinn an Rauschabstand von 1,25  $\triangleq$  2 dB und – bei 15 000 Hz-Durchlaßbereich – ein Rauschabstandsgewinn von 1,73  $\triangleq$  4,8 dB.

Man muß also bei der Wahl der Vorverzerrungsgröße berücksichtigen, daß mit ihrem steigenden Wert zwar der Rauschabstand steigt, daß aber gleichzeitig der volle Hub nur für die hohen Frequenzen ausgenutzt werden kann, während tiefe und mittlere Frequenzen je nach Frequenz/Amplituden-Statistik des gesendeten Programms nur etwa mit dem halben Hub angesteuert werden dürfen (Bild 13) [18].

Geben also die ersten beiden Zahlen (7, 4 und 10 dB) die absolute Verbesserung (vor und hinter dem Deemphasis-Glied gemessen) an, so bringt das zweite Wertepaar (2 und 4,8 dB) den relativen Vergleich zwischen einem Betrieb mit Vorverzerrung (50  $\mu$ s) und einem Betrieb ohne jede Vorverzerrung, also mit möglicher Vollaussteuerung für jede Fre-

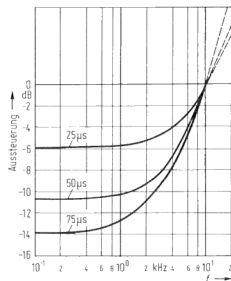


Bild 13. Der Verlust an Aussteuerung bei mittleren und tiefen Tonfrequenzen, wenn durch Vorverzerrung die hohen Frequenzen angehoben werden. Die für verschiedene Vorverzerrung gültigen Kurven sind so eingetragen, daß jeweils bei 10 kHz Vollaussteuerung (voller Hub) erreicht wird [18]

quenz. Denn mit steigender Aussteuerung, steigender Sendeleistung steigt die Signal-Empfangsspannung am Antenneneingang des Gerätes und damit der Rauschabstand.

Der Vorschlag von Dolby besteht deshalb darin, die Preemphasis generell auf 25  $\mu$ s abzuskenen. Dadurch kann man an Sendeleistung in den mittleren Tonlagen. Das bedeutet Rauschverbesserung bzw. Erweiterung des Empfangsbereichs eines Senders. Die durch Senkung der Preemphasis entstehende Verringerung des Rauschabstandes kann durch Anwenden des Dolby-B-Verfahrens ausgeglichen werden. In [18] werden dafür folgende Angaben gemacht:

Stereo-Empfang, gemessen mit Bewertungsfilter ohne Dolby-B, mit 50  $\mu$ s Vorverzerrung

Rauschpegel -5,2 dB

mit Dolby-B, mit 25  $\mu$ s Vorverzerrung

Rauschpegel -12,1 dB.

Der Rauschabstand würde sich also nach diesem Vorschlag um den Faktor 2,2 verbessern.

## Anhang

Vergleich von vier typischen Frequenzkennlinien mit einer Anhebung/Absenkung von 20 dB/Dekade bzw. 6 dB/Oktave (Bild 14).

Die Darstellung (Bild 14a) benützt das Bode-Diagramm. In diesem werden in Teilbild I der Realteil (Betrag), d. h. die Amplitudenkennlinie ( $\lg |G(j\omega)|$ ) und in Teilbild II der Imaginärteil, d. h. die Phasenkennlinie  $\varphi$  als Funktionen von  $\lg \omega$  dargestellt.

Ein solches Diagramm besteht also aus zwei Teilen (Bild 14a). Beide Abszissen werden logarithmisch geteilt, die Ordinate von Teilbild a wird ebenfalls logarithmisch, die von Teilbild b linear geteilt. Es empfiehlt sich in Teilbild a die Einheitenlänge, d. h. die Skalenzahl/Dekade auf beiden Achsen gleich groß zu machen. Auf der Ordinate von Teilbild a kann vorteilhafterweise auch noch die dB-Skala ange-

tragen werden. Der in Bild 14a gestrichelt eingetragene Verlauf gilt für die Funktion  $G(j\omega) = 1/j\omega$ .

In den Bildern 14b ... e sind vier charakteristische Amplitudenverläufe eingetragen, die zugehörigen Funktionen sind in den Diagrammen angegeben. Zur Konstruktion der Kurven dienen:

1. die durch die Ordinate 1 gehende x-Achse,
2. die durch Punkt A unter  $45^\circ$  gehende Gerade; Punkt A hat die Koordinaten:  $\omega = 1/T$  und  $|G| = 1$ ,  $|\omega$  und  $|G|$  sind normierte Größen
3. der Punkt B; Punkt B hat die Koordinaten:  $\omega = 1/T$  und  $|G| = \sqrt{2}$  oder  $1/\sqrt{2}$ .

$$\text{Für G 3 } (j\omega T) = \frac{1 + j\omega T}{j\omega T} \text{ kann auch geschrieben werden}$$

$$= 1 + \frac{1}{j\omega T} \text{ und für G 4 } (j\omega T) = \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega T}}$$

In den Bildern 14b und c ist  $\frac{1}{T} = 1,41 \cdot \omega$  und

in den Bildern 14d und e  $\frac{1}{T} = 0,707 \cdot \omega$  gesetzt.

## Literatur

- [1] Elektronik-Arbeitsblätter (EAB) Bd. 8, Rö 81. Franzis-Verlag, München
- [2] Engbert, W.: Die Rauschmodulation des FM-Empfängers. Die Telefunken-Röhre im UKW-Empfänger, Teil I. Franzis-Verlag, München
- [3] Junghans, W.: Tonbandgeräte-Praxis. RPB 9/10. Franzis-Verlag, München
- [4] Bergtold, F.: Moderne Schallplattentechnik. RPB 63/65a. Franzis-Verlag, München
- [5] Duncan, M.G., Rosenberg, D., Hoffman, G.: Design Criteria of a Universal Compander for the Elimination of Audible Noise in Tape, Disc and Broadcast Systems. Journ. of the Audio Engineering Society 1975 Okt., Nr. 8, S. 610
- [6] Nowak, A.: Das Empfängergeräuschen bei AM- und FM-Empfang. Die Telefunken-Röhre im UKW-Empfänger, Teil III. Franzis-Verlag, München
- [7] Elektronik-Arbeitsblätter (EAB) Bd. 7, Gl 22 u. Mo 11. Franzis-Verlag, München
- [8] Knobloch, W.: Die Philips-DNL-Schaltung. Philips Presse-Information Nr. 210/71, Hamburg
- [9] Knobloch, W.: Dynamischer Rauschbegrenzer. Philips Presse-Information Nr. 211/71, Hamburg
- [10] Elsässer, D., Singer, G.: CN 710. Grundig Techn. Informationen 1974, H. 3, S. 328
- [11] Glaab, A.: Beschreibung der kombinierten „Dolby“- und „DNL“-Schaltung des Cassette-Recorders CN 730 HiFi. Grundig Techn. Informationen 1974, H. 3, S. 340
- [12] Göldner, K.: Mathematische Grundlagen für Regelungstechniker. VEB Fachbuchverlag, Leipzig
- [13] Elektronik-Arbeitsblätter (EAB) Bd. 9, Fi 21. Abschn. 3. Franzis-Verlag, München
- [14] Petersdorff, G.: Der Dolby-Stretcher für Tonaufnahme und -wiedergabe. FUNKSCHAU 1970, H. 19, S. 659
- [15] Pokorny, L.: Dolby: Wer B sagt, muß auch A sagen. Radio Elektronik Schau 1975, H. 9, S. 487
- [16] Mergner, F.L.: Dolby-System und Chromdioxid-Bänder in einem neuen Kassetten-Recorder. FUNKSCHAU 1971, H. 18, S. 577
- [17] Siemens Presseinformation Nr. 4.573 und 4.569. Lichtton-Aufnahme- und -Wiedergabegeräte mit dem Dolby-Verfahren und Lichtton-Umspielanlage mit Dolby-System. München 1
- [18] Schulz, W.: FM-Rundfunk mit Dolby-B-Rauschunterdrückung. FUNKSCHAU 1974, H. 23, S. 887
- [19] Konkurrierende Rauschunterdrückungsverfahren: Dolby-B und DNL vereint. Radio Elektronik Schau 1974, H. 10, S. 600
- [20] ANRS – ein hochwertiges Rauschunterdrückungssystem. Radio Elektronik Schau 1975, H. 3, S. 144

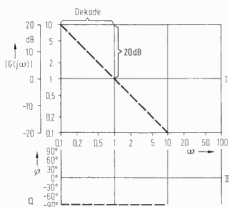


Bild 14. Vier charakteristische Frequenzkennlinien im Bode-Diagramm. Bild a zeigt das Prinzip der Darstellung von Amplituden- und Phasenverlauf, die Bilder b...e bringen die Amplitudencharakteristiken für vier verschiedene Funktionen [12]

