

# Loudness-Schaltung

**Zur vollautomatischen Anpassung des Audio-Frequenzgangs an den lautstärkeabhängigen Höreindruck des Menschen dient diese kleine Schaltung, die zwischen Vorverstärker und Endstufe zu schalten ist.**

## Allgemeines

Unserem Gehör zugeführte Schallereignisse werden in erster Linie durch die Größe des Schalldruckpegels (Lautstärke) und der Frequenz (Tonhöhe) bestimmt. Die Empfindlichkeit des menschlichen Ohrs ist allerdings nicht linear, sondern stark frequenzabhängig, so daß zwei verschiedenen Töne mit gleichem Schalldruck, jedoch unterschiedlicher Frequenz nicht als gleich laut empfunden werden.

Während die größte Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs bei ca. 3 bis 4 kHz liegt, nimmt die Empfindlichkeit zu höheren und besonders auch zu tieferen Frequenzen hin stark ab.

Hinzu kommt, daß die Frequenzabhängigkeit bei kleinen Lautstärken erheblich ausgeprägter ist als bei größeren Lautstärken. Die in Abbildung 1 dargestellten Kurven gleicher Lautstärke, auch als Isophone bezeichnet, zeigen den genauen Zusammen-

hang zwischen Frequenz und Empfindlichkeit.

Als Bezugspegel gilt die Hörschwelle, d. h. die Lautstärke, die bei einer Frequenz von 1 kHz gerade noch wahrnehmbar ist. Der Wert dieses Referenzdrucks ist international festgelegt mit  $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ .

Wenn wir nun die unterste Kurve im Diagramm, also die Hörschwelle betrachten, ist zu sehen, daß diese bei 30 Hz ca. 60 dB höher liegt, als bei 1

kHz, also für die Wahrnehmung der tausendfachen Schalldruckpegel erforderlich ist.

Die Schmerzgrenze, d. h. der Schalldruckpegel, der zu irreparablen Gehörschäden führen kann, ist durch die oberste Kurve im Diagramm dargestellt. Die Schallintensität liegt dann etwa 120 dB über der Hörschwelle. Des weiteren verdeutlicht das Diagramm den außerordentlich hohen Dynamikumfang des menschlichen Gehörs.

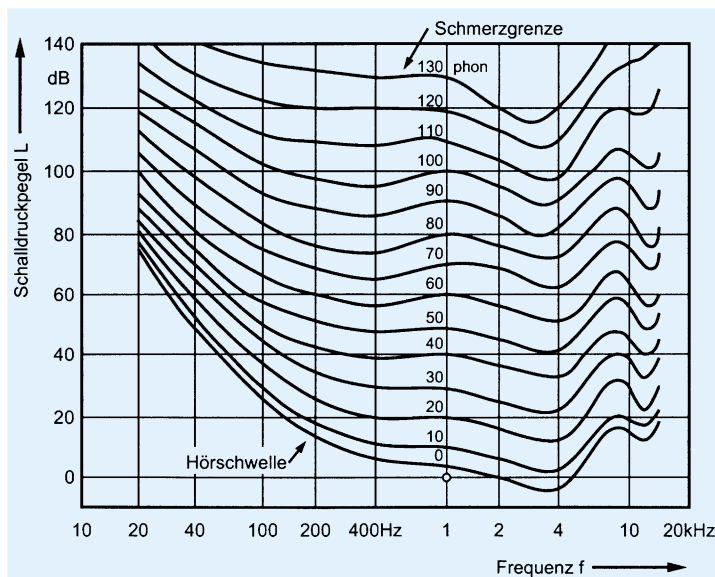
Bei den unteren Frequenzen, d. h. im Baßbereich (bis ca. 500 Hz) ist zu sehen, daß die Kurven gleicher Lautstärke nicht parallel verlaufen. Je leiser wir z. B. eine Musik hören, desto mehr geht der Baßeindruck verloren.

Die Aufgabe der Loudness-Schaltung, auch gehörrichtige oder physiologische Lautstärkeeinstellung genannt, ist es nun, den Baßeindruck bei geringer Lautstärkeeinstellung zu erhalten. Durch eine lautstärkeabhängige Baßkorrektur erhalten wir dann einen weitestgehend lautstärkeunabhängigen Höreindruck.

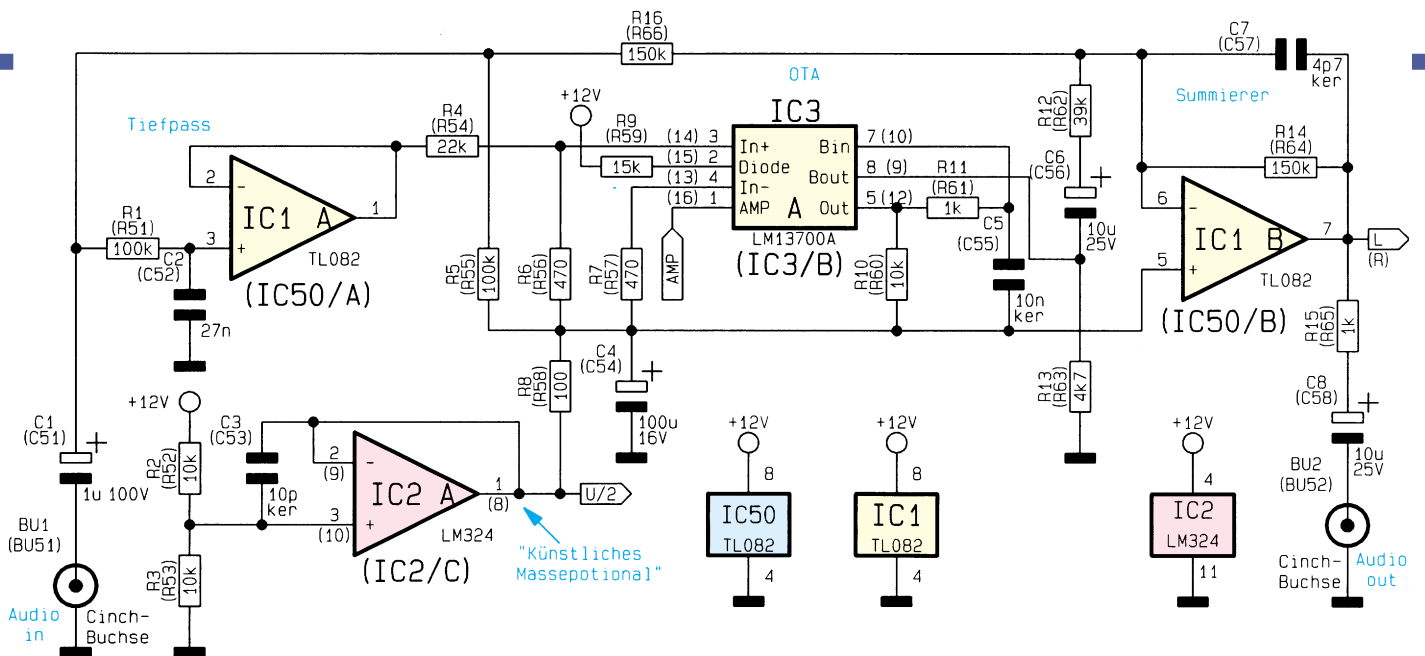
Bei der Konstruktion eines Verstärkers ist die physiologische Lautstärkeeinstellung einfach mit wenigen passiven Bauelementen zu realisieren.

Auch eine nachträgliche Loudness-Einstellung mit einem eingeschleiften Lautstärke-Poti und entsprechender passiver Beschaltung ist einfach, jedoch schränkt dies den Bedienungskomfort, z. B. mit einer Fernbedienung, stark ein.

Bei der vollautomatisch arbeitenden ELV-Loudness-Schaltung ist der Schaltungsaufwand zwar größer, dafür bestehen jedoch keine Einschränkungen im Bedienungskomfort. Die einfach im Signalweg zwischen Vorverstärker und Endstufe einzusetzende Schaltung sorgt vollautoma-



**Bild 1: Die Kurven gleicher Lautstärke zeigen die Frequenzabhängigkeit des menschlichen Gehörs**



**Bild 2: NF-Signalweg des linken Stereo-Kanals**

tisch signalpegelgesteuert für eine gehör-richtige Lautstärkeinstellung.

Zur Spannungsversorgung ist eine un- stabilisierte Gleichspannung zwischen 14 V und 25 V erforderlich, wobei die Strom- aufnahme der Schaltung ca. 150 mA be- trägt. Da ein unstabiles Steckernetz- teil bei dieser Last ca. 15 V bis 18 V abgibt, ist dieses direkt an die dafür vorgesehene Klinkenbuchse anzuschließen.

### Schaltung

In Abbildung 2 bis 4 ist das Schaltbild der vollautomatisch arbeitenden gehör-richtigen Lautstärkeinstellung zu sehen.

Da die Stufen des linken und rechten Stereokanals vollkommen identisch auf- gebaut sind, wurde in Abbildung 2 nur die Schaltung des linken Stereokanals darge- stellt. Die direkten Bauteilzeichnungen gelten daher für den linken Kanal und die Bauteilnumerierungen für den rechten Kanal stehen in Klammern.

Das Audiosignal wird der Schaltung an der Cinch-Buchse BU 1 zugeführt und gelangt über den Koppelkondensator C 1 auf den mit R 1, C 2 aufgebauten Tiefpaß und auf den mit IC 1 B aufgebauten invertierenden Verstärker.

Durch die Dimensionierung des Wider- standes R 16 und des Widerstandes im Rückkopplungsweig von IC 1 B (R 14)

beträgt die Spannungsverstärkung 1. Der Keramikkondensator C7 dient zur Schwin- gungsausgleichung am Operationsver- stärker.

Über R 15 und C 8 gelangt das NF- Signal direkt zur Cinch-Ausgangsbuchse IC 3. Am Ausgang (Pin 1) des mit IC 1 A aufgebauten Pufferverstärkers steht das über den mit R 1 und C 2 aufgebauten Tiefpaß geführte Signal niederohmig zur Verfügung.

Der OTA (Operational Transconduc- tance Amplifier) des Typs LM 13700 wird üblicherweise mit einer symmetrischen Plus- Minus-Spannung betrieben. Da in unserer Schaltung nur eine einfache Versorgungs- spannung (+12 V) zur Verfügung steht, wird mit Hilfe des Spannungsteilers R 2, R 3 und des Pufferverstärkers IC 2 A ein auf halber Betriebsspannung liegendes, künstliches „Massepotential“ erzeugt. Über R 8 gelangt die Ausgangsspannung des IC 2 A (halbe Betriebsspannung) auf den Puf- ferelko C 4.

Kehren wir nun wieder zum Ausgang des Operationsverstärkers IC 1 A zurück. Die Bauteile des NF-Signals gelangen über R 4 auf den positiven Eingang des LM 13700. Über die relativ niederohmigen Widerstände R 6 und R 7 sind sowohl der positive als auch der negative Eingang des OTAs mit der halben Betriebsspannung (künstliches Massepotential) verbunden.

Die Eingangs-Linearisierungsdioden des OTAs werden über R 9 mit einem Vor- strom beaufschlagt.

Mit dem Lastwiderstand R 10 am Aus- gang des IC 3 (Pin 5) ist über den Eingangs- strom an Pin 1 (AMP) die Ausgangsspan- nung stufenlos steuerbar.

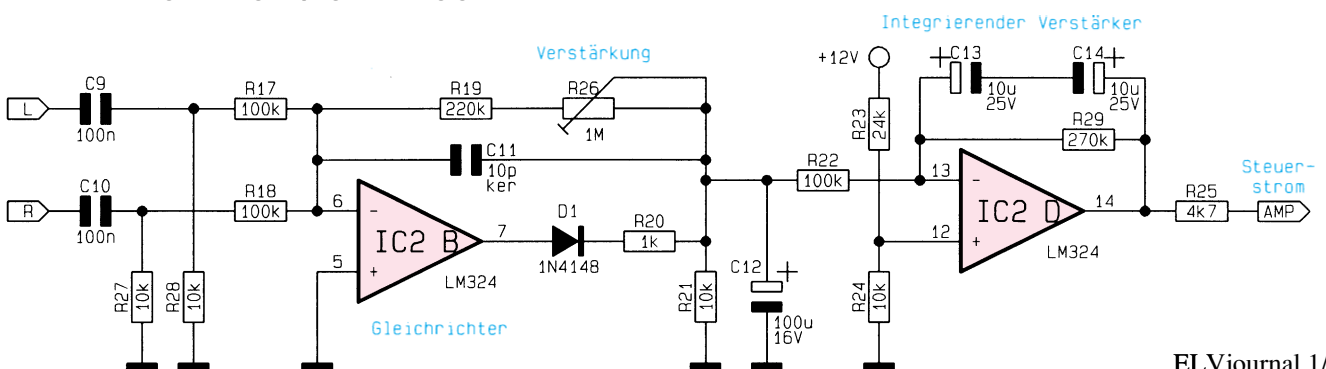
Über ein weiteres mit R 11 und C 5 aufgebautes Tiefpaßfilter zur Rauschun- terdrückung wird das Signal auf die Basis eines in IC 3 integrierten Emitterfolgers gegeben. Das an Pin 8 niederohmig zur Verfügung stehende Baßsignal wird letzt- endlich über den zur gleichspannungsmä- ßigen Entkopplung dienenden Elko C 6 dem Summenverstärker IC 1 B zugeführt.

Kommen wir nun zur Generierung des vom NF-Signalpegel abhängigen Steuer- stromes in Abbildung 3. Diese Schaltung ist sowohl für den linken als auch für den rechten Stereokanal zuständig.

Die NF-Signale der beiden Stereokanäle werden über C 9 und C 10 dem mit IC 2 B und externer Beschaltung aufgebauten Ein- weggleichrichter zugeführt, der über R 20 den Elko C 12 auf den Spitzenwert der Signalspannung auflädt. Die um den Fak- tor 10 größere Entladezeitkonstante wird durch R 21 und C 12 bestimmt.

Zur Anpassung an unterschiedliche Au- dio-Signalpegel ist die Verstärkung der mit IC 2 B aufgebauten Stufe mit Hilfe des Trimmers R 26 einstellbar.

**Bild 3: Generierung des signalpegelabhängigen Steuerstroms für den OTA**



## Stückliste: Loudness-Schaltung

### Widerstände:

100Ω	R8, R58
470Ω	R6, R7, R56, R57
1kΩ	R11, R15, R20, R61, R65
4,7kΩ	R13, R25, R63
10kΩ	R2, R3, R10, R21, R24, R27, R28, R52, R53, R60
15kΩ	R9, R59
22kΩ	R4, R54
24kΩ	R23
39kΩ	R12, R62
100kΩ	R1, R5, R17, R18, R22, R51, R55
150kΩ	R14, R16, R64, R66
220kΩ	R19
270kΩ	R29
PT10, stehend, 1MΩ	R26

### Kondensatoren:

4,7pF/ker	C7, C57
10pF/ker	C3, C11, C53
10nF/ker	C5, C55
27nF	C2, C52
100nF	C9, C10
100nF/ker	C16, C18-C22
1μF/100V	C1, C51
10μF/25V	C6, C8, C13, C14, C17, C56, C58
100μF/16V	C4, C12, C54
100μF/40V	C15

### Halbleiter:

TL082	IC1, IC50
LM324	IC2
LM13700A	IC3
78L12	IC4
1N4148	D1

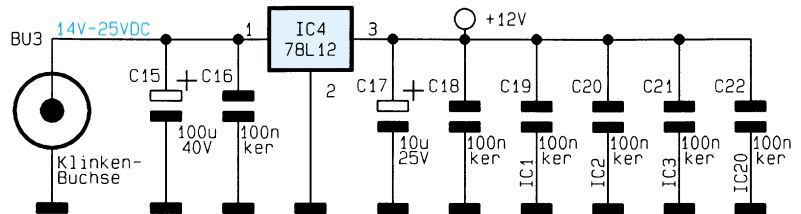
### Sonstiges:

Chinch-Einbaubuchse, print	BU1, BU2, BU51, BU52
Klinkenbuchse, 3,5mm, mono, print	BU3

Die gleichgerichtete Signalspannung an C 12 dient wiederum als Eingangsgröße für den mit IC 2 D und externen Komponenten aufgebauten integrierten Verstärker. Am Ausgang des Miller-Integrators (IC 2 D, Pin 14) erhalten wir dann eine Gleichspannung zwischen 0 und 10V, die direkt proportional zur Amplitude des NF-Signals ist.

Mit R 25 wird die NF-proportionale Gleichspannung in einen Strom gewandelt und deden beiden OTAs am Steuereingang (AMP) zugeführt.

Die Versorgungsspannung wird, wie in Abbildung 3 zu sehen ist, der Loudness-Schaltung an BU 3 (3,5 mm Klinkenbuchse) zugeführt. Nach der Pufferung mit C 15 nimmt IC 4 eine Stabilisierung auf 12 V vor. C 17 ist für die Schwingneigungsunterdrückung am Ausgang des Spannungsreglers zustän-



**Bild 4: Spannungsversorgung der Loudness-Schaltung**

dig, und C 18 bis C 22 sind zur HF-Abblockung direkt an die Versorgungspins der einzelnen ICs angeordnet.

### Nachbau

Der praktische Aufbau dieser kleinen Schaltung ist einfach und in kurzer Zeit zu bewerkstelligen. Zur Aufnahme sämtlicher Bauteile (inklusive Cinch-Buchsen) dient eine einseitige Leiterplatte mit den Abmessungen 99 x 54 mm.

Zuerst sind 3 Brücken aus versilbertem Schtadtraht einzulöten. Danach folgen dann die Keramik- und Folienkondensatoren.

Die 1%igen Metallfilmwiderstände sind stehend zu bestücken. Nach dem Verlöten der Anschlußbeinchen werden die überstehenden Drahtenden abgeschnitten.

Im nächsten Arbeitsschritt erfolgt die Bestückung der Elektrolyt-Kondensatoren, wobei unbedingt die korrekte Polarität der am Minuspol gekennzeichneten Bauelemente zu beachten ist.

Die Diode D 1 ist so einzulöten, daß die durch einen Ring gekennzeichnete Kathodenseite mit der Pfeilspitze im Bestückungsdruck übereinstimmt.

Der Spannungsregler ist mit möglichst

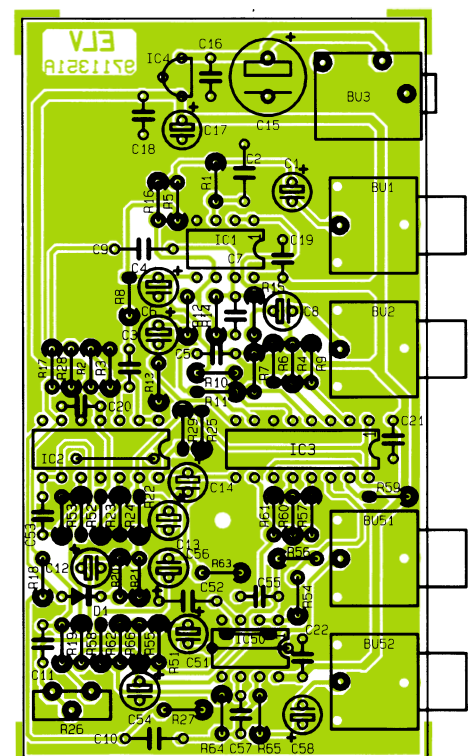
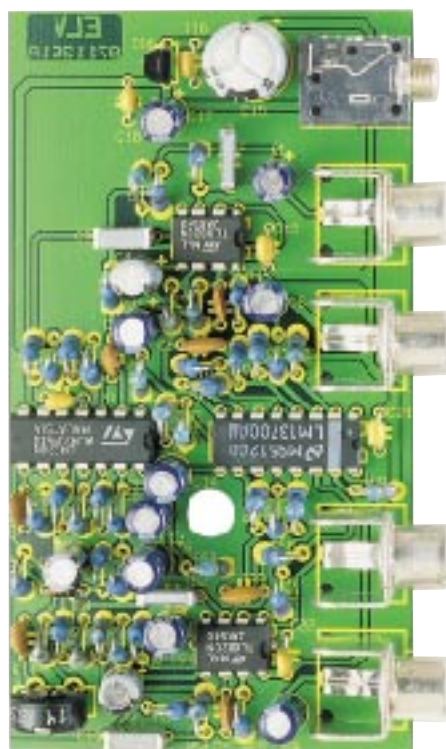
kurzen Anschlußbeinchen einzulöten, und beim Einsetzen der integrierten Schaltkreise muß die Gehäusekerbe des Bauelements mit dem Symbol im Bestückungsdruck übereinstimmen.

Während der Trimmer R 26 und die 3,5 mm Klinkenbuchse BU 3 beim Lötvorgang nicht zu heiß werden dürfen, sind die Cinch-Buchsen mit ausreichend Lötzinn festzusetzen.

Nach einer gründlichen Kontrolle hinsichtlich Löt- und Bestückungsfehler kommen wir zum einfach durchzuführenden Abgleich.

Dazu ist zunächst an BU 3 die Versorgungsspannung und an die Cinch-Eingangsbuchsen das NF-Signal des rechten und linken Stereokanals anzulegen. R 26 wird nun so eingestellt, daß bei maximalem NF-Pegel (maximale Lautstärke) die Gleichspannung an IC 2 Pin 14 gerade 0 V erreicht.

Zuletzt bleibt nur noch der Einbau der Leiterplatte in das dafür vorgesehene Kunststoffgehäuse. Eingeschleift in den Signalweg der Stereoanlage bleiben nun auch bei geringer Lautstärkeinstellung die Bässe in empfindungsmäßig richtiger Stärke erhalten. **ELV**



**Fertig aufgebaute Platine mit zugehörigem Bestückungsplan**