

10 Effekte

10.1 Regelverstärker

Regelverstärker (engl. dynamic control devices) verstärken das Signal abhängig von einer Steuerspannung.

10.1.1 Dynamikbegriffe

Die *musikalische Dynamik* umfasst maximal 90dB. Die original Dynamik bezeichnet dabei die Dynamik der Darbietung. Die Programmdynamik dagegen die Dynamik der Aufnahme.

Die *technische Dynamik* bezeichnet die Dynamik die ein tontechnisches Gerät verarbeiten kann. Die Systemdynamik ist dabei die messbare Dynamik. Die nutzbare Dynamik ist noch kleiner da noch der headroom und der footfloor wegfallen.

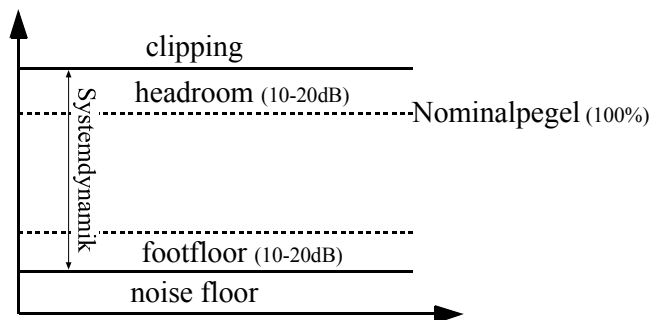


Abb. 1

Die folgende Tabelle zeigt die Dynamik von unterschiedlichen Aufnahmesystemen.

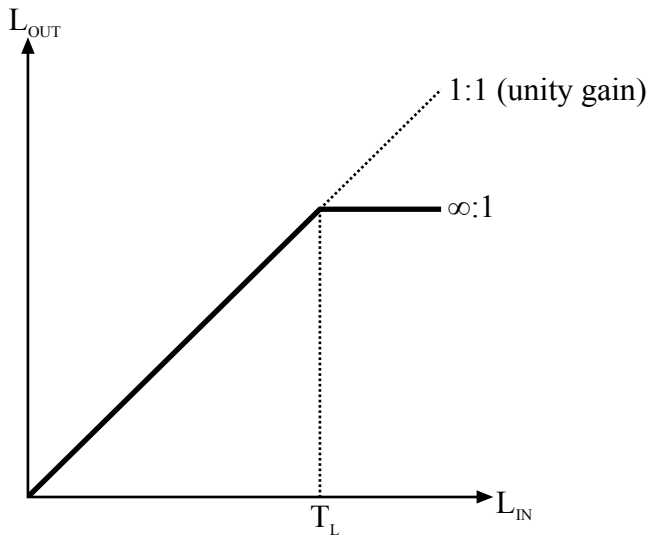
Mikrofon	ca. 120dB
Analoge Bandmaschine	ca. 60dB
Analoge Bandmaschine mit Noise Reduction	bis zu 90dB
DAT(16Bit)	ca. 90dB
Analoge Schallplatte	ca. 55dB bis 70dB
CD	96dB

10.1.2 Limiter

Das *statische Verhalten* eines Regelverstärkers wird durch die statische Kennlinie dargestellt. Diese zeigt den Ausgangspegel in Abhängigkeit vom Eingangspegel. Sie gilt nur wenn der Pegel gleich bleibt oder sich nur sehr langsam ändert. Bei schnellen Pegeländerungen benötigt der Regelverstärker eine gewisse (einstellbare) Zeit bis er tatsächlich auf den statischen Kennlinienwert herunter oder herauf geregelt hat.

Die Abbildung 2 zeigt eine Limiterkennlinie. Ein Limiter besitzt immer eine sehr hohe Ratio. Die Ratio gibt an im welchem Verhältnis der Pegel bei überschreiten des Thresholds ansteigt. Beispielsweise steigt der Pegel, bei einer eingestellten Ratio von 10:1, lediglich um 1dB an wenn der Threshold um 10dB überschritten wird.

Anwendungsbeispiele für einen Limiter sind die Verwendung als Schutzlimiter (Boxen) oder als Programmlimiter beim Rundfunk.



- T_L : Limiter Threshold
- Limiter Ratio ($\sim 10:1$)

Abb. 2

Das *dynamische Verhalten* gibt Auskunft über das zeitliche Regelverhalten des Regelverstärkers. Die Attacktime bestimmt wie lange der Limiter benötigt um nach überschreiten des Thresholds um 63% auf den statischen Kennlinienwert herunterzuregeln. Die Releasetime bestimmt wie lange der Limiter benötigt um nach unterschreiten des Thresholds um 63% auf unity gain zurückzuregeln.

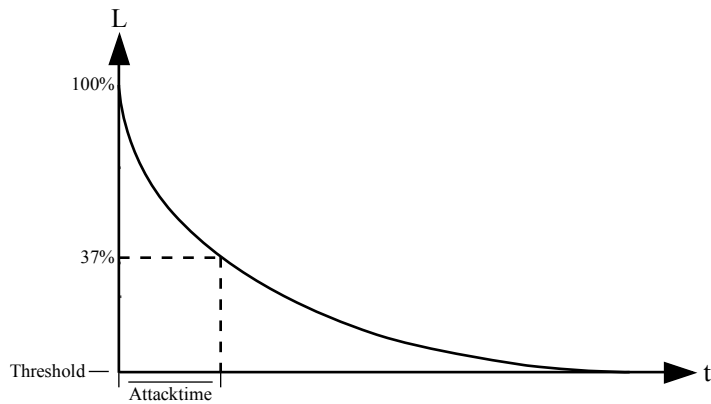


Abb. 3

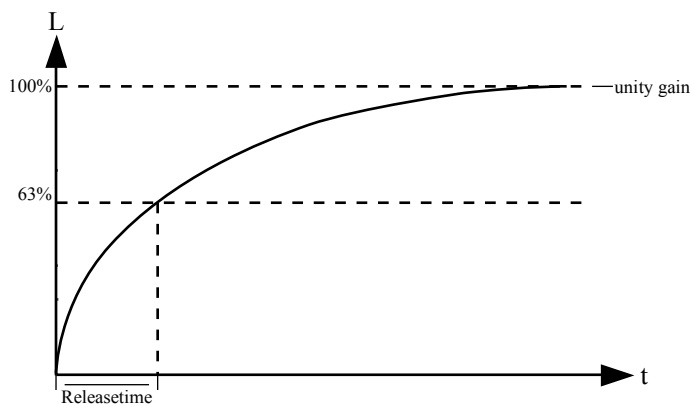


Abb. 4

Schutzlimiter	Kurze Attack- und Releasetime.
Programmlimiter	Kurze, aber nicht zu kurze Attacktime. Eine zu kurze Attacktime führt, besonders bei tiefen Frequenzen, zu einem Knacken oder Verzerrungen. Die Releasetime sollte nicht zu kurz eingestellt werden, da sonst die Gefahr besteht das das Signal zu "pumpen" anfängt.

Technische Umsetzung von Limitern

Der *Clipper* besitzt keine Attack- und Releasetime. Das Signal wird sozusagen sofort bei überschreiten des Thresholds "abgeschnitten". Er ist technisch sehr einfach zu realisieren und wird beispielsweise als Schutzlimiter eingesetzt wenn der Threshold unter keinen Umständen überschritten werden darf.

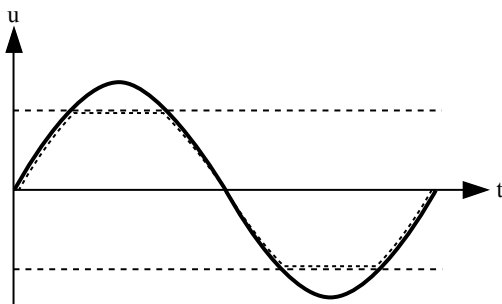


Abb. 5

Technisch komplizierter ist die Realisierung mittels eines spannungsgesteuerten Verstärkers. (engl. *voltage controlled amplifier*, VCA). D.h. das Übertragungsmaß des VCA ist abhängig von einer gleichgerichteten Steuerspannung, welche entweder von dem Eingangssignal selbst oder von einem über den Sidechain eingespeisten Signal erzeugt wird.

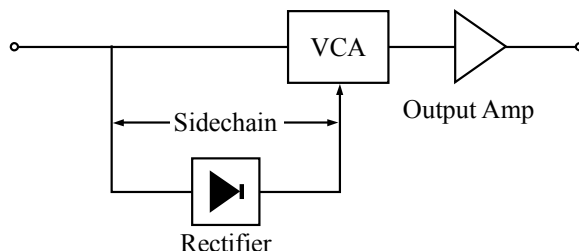
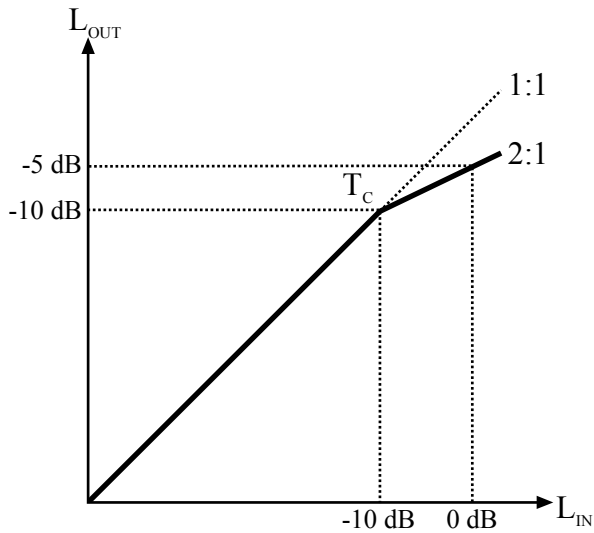


Abb. 6

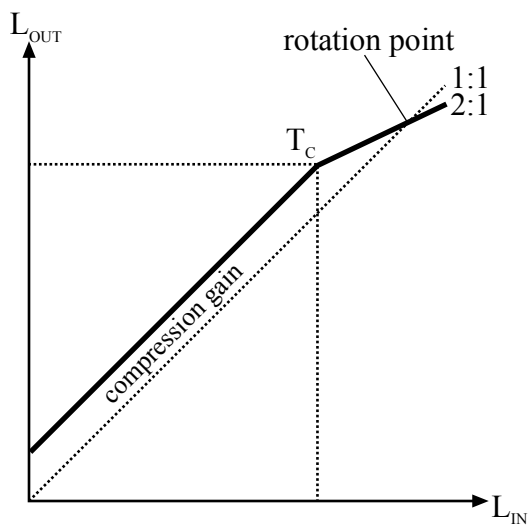
10.1.3 Kompressor

Der Limiter ist eine Sonderform des Kompressors. D.h. ein Kompressor mit sehr hoher Ratio wird als Limiter bezeichnet. Somit sind auch die weiteren Einstellparameter eines Kompressors (Attack- und Releasetime, Threshold) mit denen eines Limiters identisch. Der Parameter Output Gain ist ein zusätzlicher Parameter mit welchem man die Verstärkung nach der Kompression einstellen kann, um den Pegel wieder auf Nominalpegel zu bringen. Der Schnittpunkt der Kompressorkennlinie und der 1:1-Geraden wird *rotation point* genannt. Kompressoren werden immer mit einem VCA realisiert. Ferner kann der Kompressor einen Automatikmodus besitzen. Die Attack- und Releasetime wird in diesem Modus vom Eingangssignal abgeleitet. Ein *Stereolinkschalter* sorgt dafür, dass bei der Bearbeitung von Stereosignalen die Monosumme als Steuerspannung an beiden VCAs anliegt. Somit wird verhindert, dass sich die Stereoabbildung durch den Kompressor verschiebt.



- T_C : Compressor Threshold
- Compressor Ratio (z.B. 2:1)

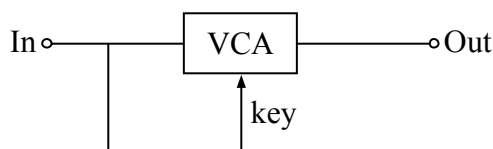
Abb. 7



- Output Level

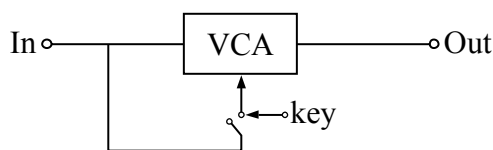
Abb. 8

Der *Sidechain* liefert die Steuerspannung die der VCA benötigt. Je nach dem, ob das Eingangssignal oder ein externes Signal zur Erzeugung der Steuerspannung verwendet wird, spricht man von internal oder external keying.



- internal keying

Abb. 9



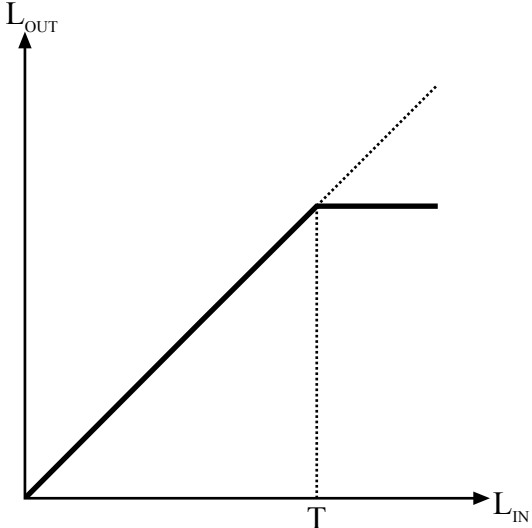
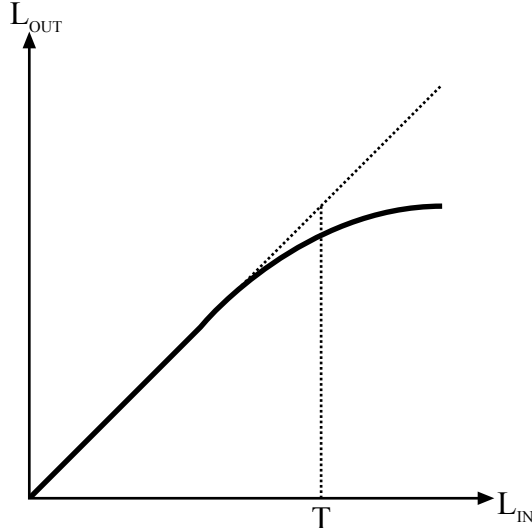
- external keying

Abb. 10

Die technische Ausführung des Sidechain ist je nach Gerät verschieden. Die folgende Auflistung zeigt alle möglichen Ausführungen.

- Key Input als Mono-Trennklinkenbuchse
→ kein Anschluss an Patchbay möglich
- Sidechain Send/Return als Stereotrennklinkenbuchse
→ kann an eine half normalized Patchbay angeschlossen werden
- Sidechain Send & Return als Monoklinkenbuchsen, Schalter auf Frontplatte
- Key Input als Monoklinkenbuchsen, Schalter auf Frontplatte
- Sidechain Send & Return als Cinch-Buchsen, Verbunden mit Drathbrücken
→ kann an eine half normalized Patchbay angeschlossen werden

Teilweise lässt sich der Kompressor noch zwischen *hardknee* und *softknee* umschalten. Bei einer *softknee* Charakteristik weist die Kennlinie eine Krümmung auf und die Kompression beginnt schon in geringem Maße vor Erreichen des Thresholds.

hardknee	softknee
	
<p>Abb. 11</p>	<p>Abb. 12</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Schutzlimiter • Einzelinstrumente 	<ul style="list-style-type: none"> • Programmlimiter • Gesang

10.1.4 Expander

Der Expander ist das Gegenstück des Kompressors; er senkt unterhalb des Thresholds den Pegel ab. Somit ist der Expander ein Gerät, das die Dynamik vergrößert um unerwünschte Signalanteile auszublenden.

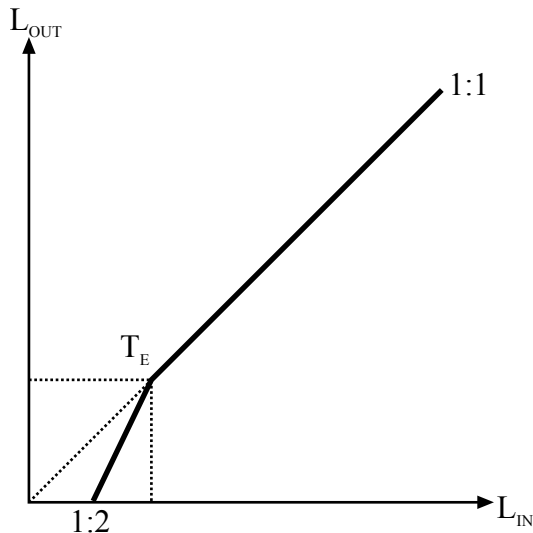


Abb. 13

- T_E : Expander Threshold
- Expander Ratio (z.B. 1:2)

10.1.5 Noise-Gate

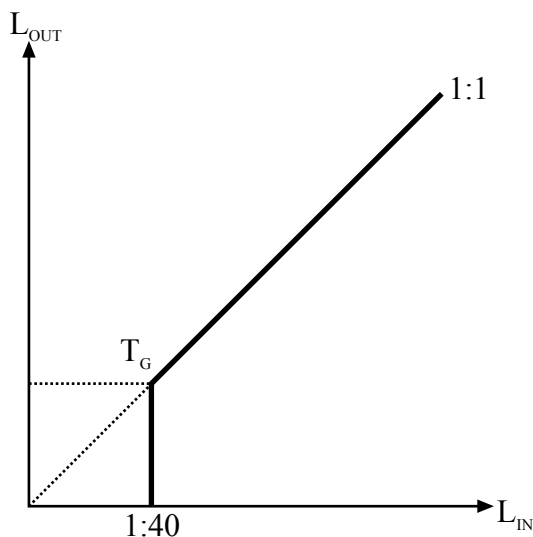
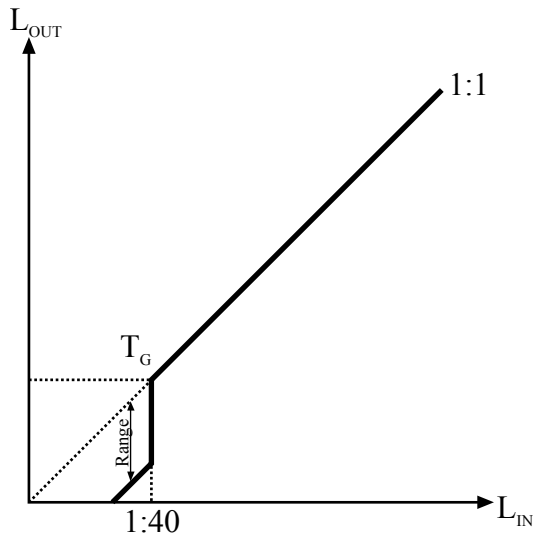


Abb. 14

- T_G : Gate Threshold
- Gate Ratio (z.B. 1:40)

Das Noise-Gate ist eine Sonderform des Expanders mit einer sehr hohen Ratio, so wie auch der Limiter eine Sonderform des Kompressors ist. Ein Noise-Gate schaltet also das Signal nach unterschreiten des Thresholds stumm und wirkt somit wie ein automatischer "Ein / Aus-Schalter". Ein weiterer Parameter der bei einem Gate vorhanden sein kann ist die *Range*. Ist die Range eingeschaltet wird das Signal nach unterschreiten des Thresholds nicht stumm geschaltet sondern nur um den bei der Range eingestellten Wert abgesenkt. Das Noise-Gate mit Range wirkt somit eher wie ein automatischer "PAD-Schalter". In manchen Gates lassen sich auch zwei Thresholds definieren, einen *Open-Threshold* und einen *Close-Threshold*. Der Close Threshold muss immer niedriger liegen als der Open-Threshold. Bei anderen Geräten wird um dasselbe zu erreichen ein Close-Threshold und ein relativer Open-Threshold definiert (\rightarrow Hysteresis) oder ein Open-Threshold mit relativem Close-Threshold (\rightarrow Logic).

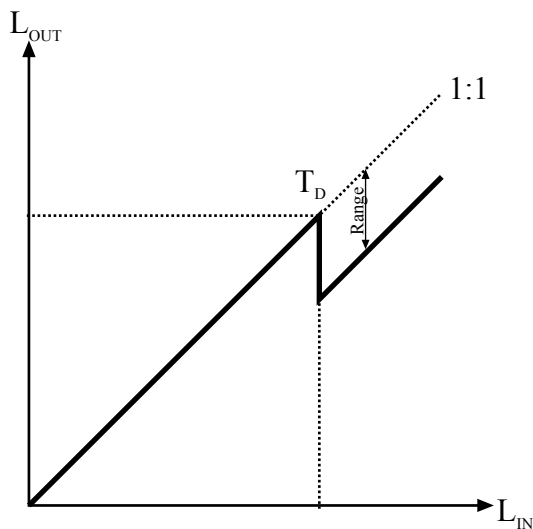


- Gate Range
- Gate Ratio (z.B. 1:40)

Abb. 15

10.1.6 Invers-Gate (Ducker)

Ein Invers-Gate senkt nach überschreiten des Thresholds den Pegel um eine bestimmte Range ab. Teilweise lässt sich ein "normales" Gate auf Invers-Gate umschalten. Angewendet wird ein Ducker beispielsweise um die Musik automatisch im Pegel zu reduzieren, wenn in ein Mikrofon gesprochen wird.



- T_D : Ducker Threshold
- Ducker Range

Abb. 16

	Noise-Gate	Ducker
Attacktime	Die Attacktime bestimmt wie lange das Noise-Gate benötigt um nach überschreiten des Thresholds zu öffnen.	Die Attacktime bestimmt wie lange der Ducker benötigt, um nach überschreiten des Thresholds den Pegel abzusenken.

Releasetime	Die Releasetime bestimmt wie lange das Noise-Gate benötigt um nach unterschreiten des Thresholds zu schließen.	Die Releasetime bestimmt wie lange der Ducker benötigt, um nach unterschreiten des Thresholds auf unity gain zurückzuregeln.
Holdtime	Die Holdtime bestimmt wie lange das Noise-Gate in jedem Fall geöffnet bleibt nachdem der Threshold unterschritten wurde.	Die Holdtime bestimmt wie lange die Pegelreduktion des Duckers in jedem Fall bestehen bleibt nachdem der Threshold unterschritten wurde.

10.1.7 Anwendungsbeispiele

Noise-Gate

- Noise-Gate in jedem Kanalzug
- Unterdrücken von Crosstalk
- Gating von z.B. Gesang, akustische Gitarre
- Gating mit geringer Range
- Noise-Gate mit Filter im Sidechain
- Gating von Effekt-Sends (z.B. Gated Reverb)

External Keying

- Kick keyt Bass

Die Range sollte einen sehr kleinen Wert von z.B. 6 dB haben. Der Bass wird nun jedes Mal lauter wenn die Kick spielt.

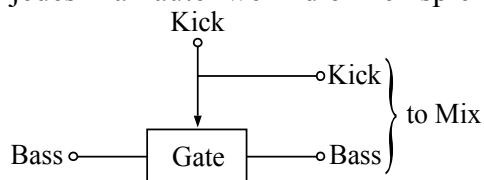


Abb. 17

Um das Kick-Signal zu splitten benutzt man am besten eine half-normalized Patchbay.

- Kick (Snare) keyt Tieffrequenzoszillator (Rauschoszillator)

Dem Kick-Signal wird durch diese Anordnung immer ein tieffrequenter Ton zugemischt.

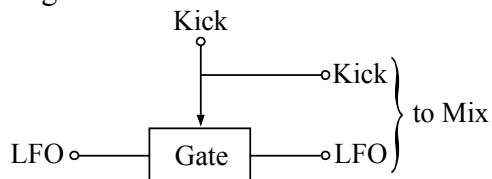


Abb. 18

- Gated Reverb

Für diesen Effekt ist es wichtig, dass eine Holdtime definiert ist. Außerdem sollte die Releasetime sehr kurz eingestellt sein.

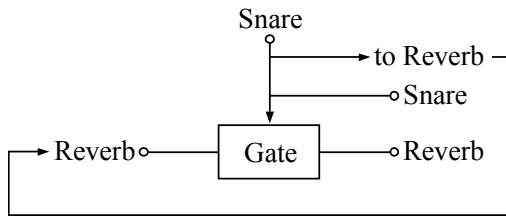


Abb. 19

- „Tighte“ Bläusersätze

Der erste Bläser liefert die Steuerspannung für alle weiteren Bläser.

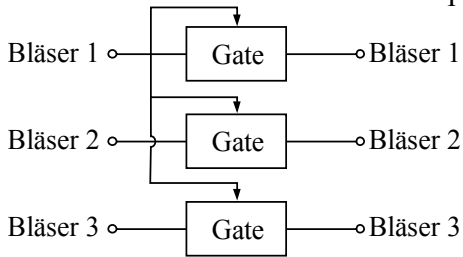


Abb. 20

- Rechteckgenerator keyt Gitarre

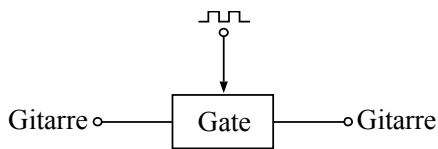


Abb. 23

Ducker

- Ducker mit Filter im Sidechain
- Stimme duckt Musik

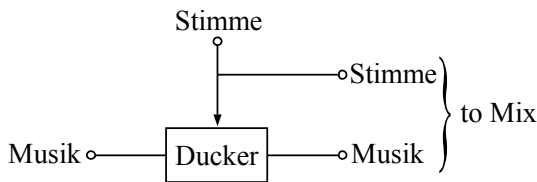


Abb. 24

- De-Esser

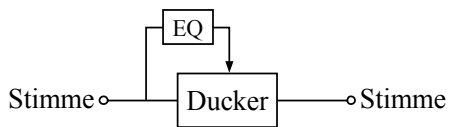


Abb. 25

- Gitarre duckt Delay

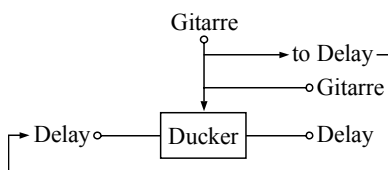


Abb. 26

10.2 Equalizer

- Filter
- Entzerrer
- Verzerrer

10.2.1 Anwendungsbeispiele

technisch, akustische Anwendung	musikalisch, gestalterische Anwendung
<ul style="list-style-type: none"> • Trittschallfilter • Frequenzweiche • Anpassung an die Raumakustik • Feedback-Killer • dB(A)-Messung • Entzerrung von Mikrofonen • Entzerrung bei analoger Bandmaschine, Schallplatte • Sidechain-Filter 	<ul style="list-style-type: none"> • EQ-Effekte • Mastering • Verzerrung von Musikinstrumenten

10.2.2 Arten von Filtern

- Tiefdurchlassfilter (Tiefpassfilter, low pass, hi cut)
- Hochdurchlassfilter (Hochpassfilter, hi pass, low cut)
- Banddurchlassfilter (Bandpassfilter, band pass)
- Bandsperrefilter (Bandsperre, band reject)
- Allpassfilter (erzeugt lediglich Phasenverschiebungen)

10.2.3 Ideales Filter

Ein ideales Filter ist folgendermaßen definiert. Im Durchlassbereich sollte das Verhältnis von U_{Aus} zu U_{Ein} konstant sein. Der Flankenabfall im Sperrbereich sollte unendlich groß sein und die Zeitverzögerung sollte über den ganzen Frequenzbereich gleich sein. In der Praxis ist es nicht möglich ein Ideales Filter herzustellen.

10.2.4 Filterkennlinien

Tiefenentzerrung

High Pass Filter

Die Grenzfrequenz f_g in Hz ist die Frequenz bei der der Pegel um 3 dB bedämpft wird. Die Flankensteilheit in dB/Oktave gibt an um wie viel dB der Pegel pro Oktave abnimmt. Ein Filter mit einer Flankensteilheit von 6 dB/Oktave wird Filter 1. Ordnung (\rightarrow ein Frequenzabhängiges Bauteil) genannt.

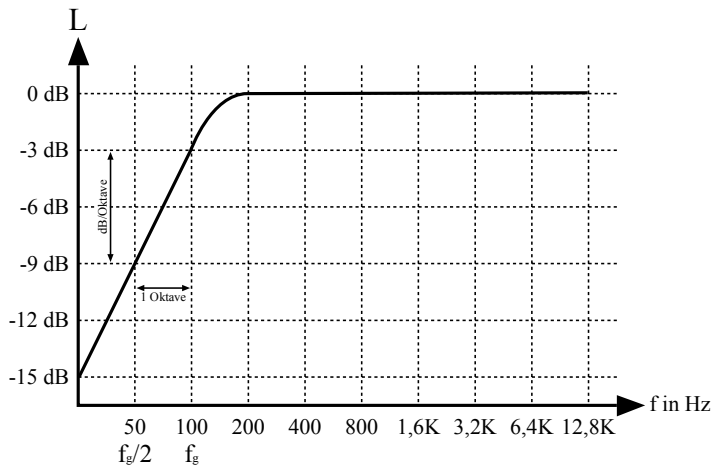


Abb. 27

Shelving Filter

Er besteht aus einem Verstärker und einem Filter mit flachabfallender Flanke. Über den Cut/Boost-Steller kann man die Verstärkung einstellen. Die Turnoverfrequency liegt $|3\text{dB}|$ unterhalb des maximalen boost bzw cut.

Höhentzerrung

Low Pass Filter

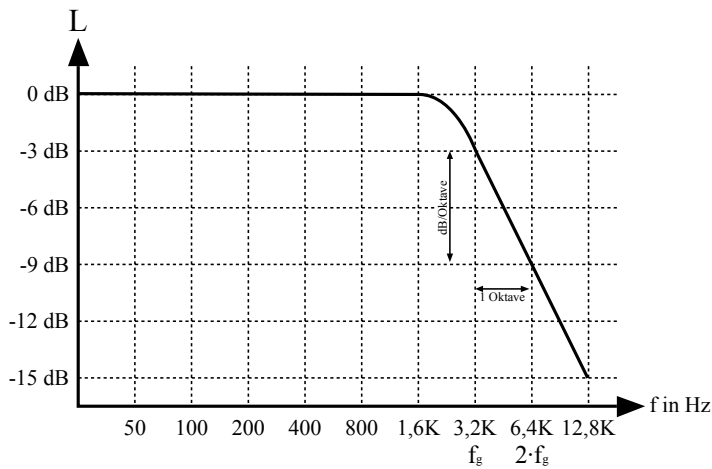


Abb. 28

High Shelving Filter

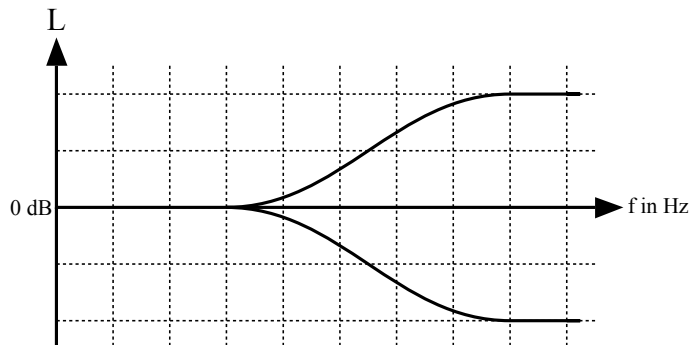


Abb. 29

Mittentzerrung

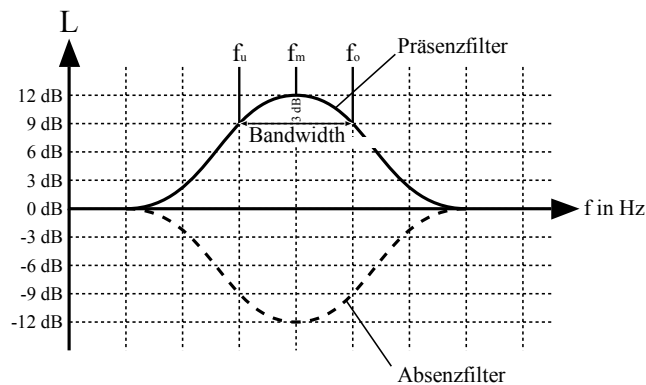


Abb. 30

10.2.5 Einteilung nach einstellbaren Parametern

- Nur An/Aus
- Nur Cut/Boost
- Cut/Boost & Centerfrequency (Sweep EQ, semi-parametrischer EQ)
- Cut/Boost, Centerfrequency & Bandwidth (voll-parametrischer EQ)

10.2.6 Bandbreite

Die Bandbreite (engl. bandwidth) wird entweder in Oktaven oder als Q-Faktor (quality factor) angegeben. Berechnen lässt er sich wie folgt.

$$Q = \frac{f_c}{\Delta f} = \frac{f_c}{f_{o(-3dB)} - f_{u(-3dB)}}$$

Beispiel 1:

Neve High-Q

$$f_c = 226\text{Hz}$$

$$f_{o(-3dB)} = 286,8\text{Hz}$$

$$f_{u(-3dB)} = 176,3\text{Hz}$$

$$Q = \frac{226\text{Hz}}{286,8\text{Hz} - 176,3\text{Hz}} = 2,05$$

Beispiel 2:

Neve Low-Q

$$f_c = 372,6\text{Hz}$$

$$f_{o(-3dB)} = 752,5\text{Hz}$$

$$f_{u(-3dB)} = 193,2\text{Hz}$$

$$Q = \frac{372,6\text{Hz}}{752,5\text{Hz} - 193,2\text{Hz}} = 0,67$$

Variable/Constant Q

Bei einem variable Q-Filter ist der Q-Faktor von Cut/Boost bzw. Cut/Boost abhängig vom Q-Faktor (\rightarrow proportional). Bei einem constant Q-Filter bleibt der Q-Faktor konstant, unabhängig von Cut/Boost.

10.2.7 Grafischer EQ

Die Mittenfrequenzen des grafischen EQs sind genormt. Der Oktavband EQ hat 10 und der Terzband EQ 30 definierte Bänder. Einstellbar ist lediglich Cut/Boost. Er wird häufig in Verbindung mit einem Analyser verwendet.

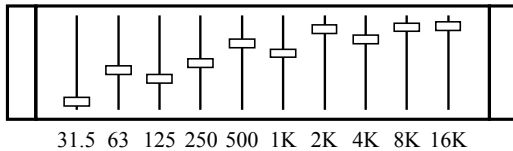


Abb. 31

10.2.8 Bandpassfilter

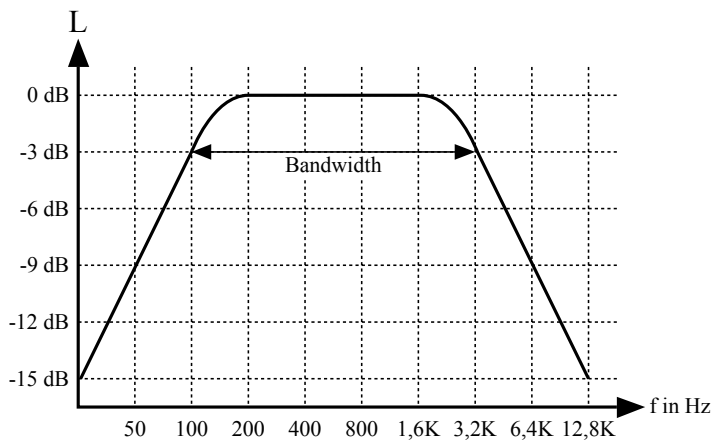


Abb. 32

Die Kombination aus Hochpass- und Tiefpassfilter nennt man Bandpassfilter. Anwendung findet ein Bandpass z.B. als Sidechainfilter oder als "Telefoneffekt".

10.2.9 Bandsperfilter

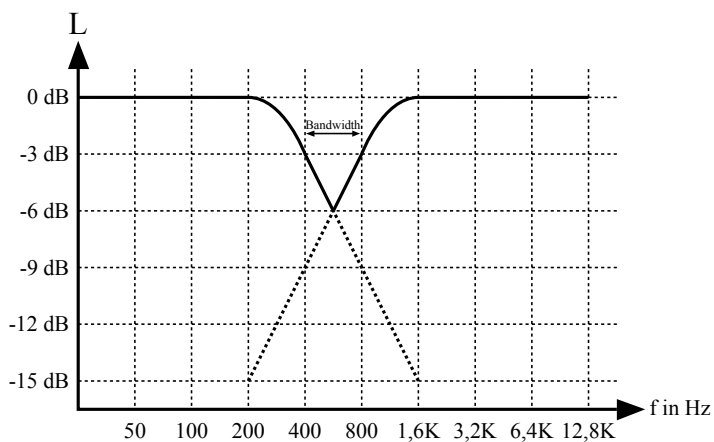


Abb.33

Anwendung findet der Bandsperfilter (engl. notch filter) hauptsächlich als Feedbackunterdrücker.

10.3 Hall

Bei Freifeldbedingungen stehen dem Schall keine Hindernisse im Weg. Bei Diffusfeldbedingungen wird der Schall reflektiert oder absorbiert und es baut sich ein Diffusschallfeld auf.

10.3.1 Absorptionsgrad

Er gibt an wie stark ein bestimmtes Material bei einer bestimmten Frequenz den Schall absorbiert. Ist $\alpha = 1$ wird der Schall total absorbiert, bei $\alpha = 0$ wird der Schall total reflektiert.

10.3.2 Absorptionsvermögen

Diese raumbezogene Angabe in m^2 gibt an wie groß eine Fläche mit einem Absorptionsgrad von 1 sein müsste um genauso viel Schall zu absorbieren wie der Raum.

10.3.3 Überschrift??

- Brechung
- Beugung
- Bündelung
- Streuung

10.3.4 Zeitlicher Aufbau einer Schallfelds im Raum

Der Direktschall trifft zuerst beim Hörer ein. Die Zeit bis zum Eintreffen der Ersten Reflexionen (engl. early reflections) wird Pre Delay genannt. Die Länge des Pre Delays ist hauptsächlich für den Raumgrößeneindruck verantwortlich. Nach den Ersten Reflexionen werden die Reflexionen immer dichter. Dieser Zeitabschnitt wird als Nachhall bezeichnet. Man spricht auch davon, dass im Nachhall das Schallfeld diffus ist.

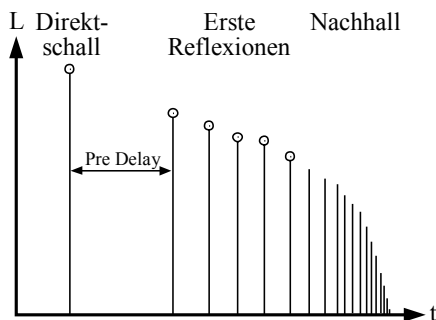


Abb. 34

Anhall, Mithall, Nachhall

Unter Anhall (engl. initial reverberation time; early decay time) versteht man die Zeit die der Hall benötigt um sich aufzubauen. Vermischt sich neuer Direktschall mit Nachhall spricht man von Mithall. Der Nachhall (\neq Nachhallzeit) ist der ausklingende Hall der nach den frühen Reflexionen in Erscheinung tritt.

Pre Delay

Die Dauer des Pre Delays kann unterschiedliche Auswirkungen haben. Die nachfolgende Tabelle listet unterschiedliche Pre Delay Zeiten, die dem entsprechende Umlenkung und ihre Wirkung auf Sprache auf.

Pre Delay	Umlenkung	Wirkung auf Sprache
bis 20 ms	bis 7 m	unangenehme Klangfärbung durch Kammfiltereffekte
20 ms – 50 ms	7 – 17 m	“nutzbarer“ Bereich → erhöht die Sprachverständlichkeit
über 50 ms	über 17m	Echo

Nachhallzeit RT60

Der Zeitabschnitt in dem nach abschalten der Schallquelle die Schallintensität auf den millionsten Teil oder der Schalldruck auf ein tausendstel gesunken ist wird Nachhallzeit genannt.

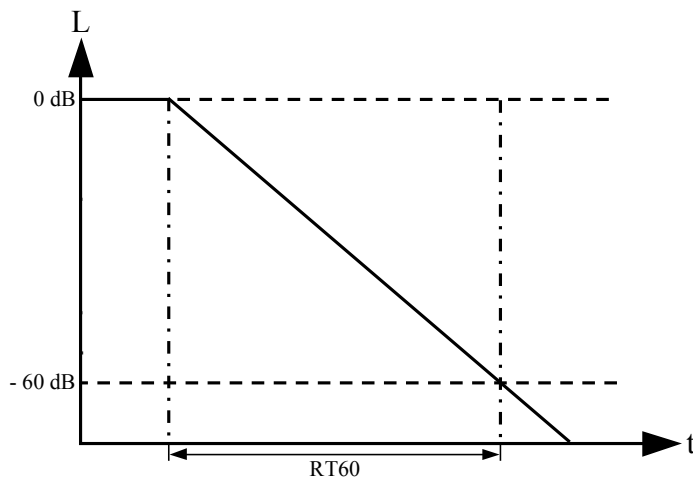


Abb. 35

$$L_t = 10 \cdot \lg \frac{1}{1000000} \text{ dB}$$

$$L_t = -60 \text{ dB}$$

$$L_p = 20 \cdot \lg \frac{1}{1000} \text{ dB}$$

$$L_p = -60 \text{ dB}$$

Raum	Nachhallzeit
Sprecherkabine	bis 0,3s
Wohnraum	0,5s – 0,8s
Theater	ca. 1,2s
Mehrzweckhalle	ca. 1,6s
Konzertsaal	2,0 – 2,5s
Kirche	> 3s

Halldauer

Hier wird die Zeit gemessen die vergeht bis nach abschalten der Schallquelle die Hörschwelle unterschritten wird. Diese Angabe ist abhängig vom Ausgangsschalldruck und deshalb nicht sehr aussagekräftig.

10.3.5 Künstliche bzw. Nachträgliche Hallerzeugung**Raummikrofone**

Im Diffusfeld des Aufnahmeraums werden zusätzliche Mikrofone aufgestellt um den original Hall aufzunehmen; z.B. mit einem AB-Verfahren.

Hallraum

Über Lautsprecher wird das zu verhallende Signal in einen Raum geschickt und dann über Mikrofone wieder aufgenommen.

Hallplatte (EMT 140)

Die Hallplatte ist eine 2m x 1m große und 0,5mm dicke Stahlplatte die über starke Federn in einen starren Holzrahmen eingespannt ist. Sie besitzt eine schlechte Übersprehdämpfung und benötigt deshalb immer noch einen separaten Raum. Die Nachhallzeit lässt sich, über eine Filzplatte welche vor der Stahlplatte sitzt, zwischen 1s-5s bei 500Hz einstellen. Wegen der schnellen Schallgeschwindigkeit in Stahl von etwa 5000m/s besitzt sie kein Pre Delay. Daher muss ein Pre Delay vorgeschaltet werden.

Hallfolie (EMT 240)

Die Erzeugung des Halls funktioniert wie bei der Hallplatte. Anstatt der sperrigen Stahlplatte kommt jedoch eine 0,3m x 0,3m große und 0,02mm dicke Goldfolie zum Einsatz. Durch ein abgeschirmtes Gehäuse ist die Übersprehdämpfung im Gegensatz zur Hallplatte gut. Ein auf 25ms festgelegtes Pre Delay ist auch schon eingebaut.

Digital Reverb**10.4 Delay**

Delays sind Verzögerungsgeräte.

10.4.1 Technische Realisierung**Delay Tubes**

Am Anfang einer einige Meter langen Röhre befindet sich ein Lautsprecher. In der Röhre befindet sich ein Mikrofon welches das Signal verzögert wieder aufnimmt. Durch die Entfernung zum Lautsprecher lässt sich die Verzögerungszeit einstellen.

Magnetbandtechnik (Bandecho)

Das Signal wird von einem Schreibkopf auf Band geschrieben und durch ein dahinter liegenden Widgabekopf kurze Zeit später wieder ausgelesen. Die Verzögerungszeit t lässt sich bei einem Bandecho wie folgt berechnen.

$$t = \frac{d}{v}$$

d: Kopfabstand
v: Bandgeschwindigkeit

Analog Delay (Eimerkettenspeicher)

Die Spannung wird von einem Kondensator zum nächsten weitergegeben, wodurch Verzögerungen entstehen.

DDL – Digital Delay Line

10.4.2 Anwendungsbeispiele

- Delay Tower (Stütz-PA)
- Doubling (ADT: automatic doubling track)
- Echo
- Modulationseffekte
 - Flanger
 - Phaser
 - Chorus
- Stützmikrofone verzögern (ctd: controlled time delay)
- Pseudo-Stereofonie
- Latenzausgleich
- Transientenlimiter

10.4.3 Modulationseffekte

Flanger

Der Flanger erzeugt frequenzunabhängige Zeitverschiebungen und dadurch Kammfiltereffekte. Ein Flanger könnte man auch mit einem Delay erzeugen indem man die Delayzeit ständig ändert.

Phaser

Phaser bestehen aus All Pass Filtern und erzeugen somit frequenzabhängige Phasenverschiebungen. Der Phaser ist weniger aufdringlich als der Flanger und hört sich nicht so künstlich verzerrt an. Der Phaser kann nicht per Delay simuliert werden

Chorus

Der Chorus gehört ebenfalls zu den Eimerkettenschaltungen. Beim Chorus bilden sich keine Kammfiltereffekte und er liegt unterhalb der Echogrenze. Man nennt ihn auch Ensemble Effekt.

Effekt	Flanger	Chorus	Doubling
Delayzeit	1 – 10ms	20 – 40ms	40 – 80ms