

# Regelverstärker

## Inhalt

1. Einleitung .....	1
1.1 Statisches und dynamisches Verhalten .....	2
1.2 Grundparameter eines Regelverstärkers.....	2
2. Limiter.....	3
3. Kompressoren.....	4
3.1 De-Essing .....	5
3.2 Ducking / Voice Over Compression .....	5
4. Expander.....	6
5. Noise Gates.....	6
5.1 Gater-Effekt .....	7
6. Stereokopplung.....	7
7. Kombinierte Regelverstärker.....	7
8. Quellen .....	8

## 1. Einleitung

„Regelverstärker sind Verstärker, die ihre Verstärkung in Abhängigkeit von der Größe des Pegels des Eingangs- bzw. Ausgangssignals selbst regeln.“

So definiert Michael Dickreiter gewohnt kompakt die Funktionsweise von Geräten wie Kompressoren, Expandern, Limitern oder Noise Gates. Sie sind die wichtigsten Werkzeuge zur Dynamikbearbeitung von Audiosignalen – überall dort, wo die Reaktionszeit eines Menschen für manuelle Regelvorgänge deutlich zu lang ist.

Gründe für die Bearbeitung der Originaldynamik mit Regelverstärkern:

- die Originaldynamik eines Schallereignisses ist größer als die Übertragungsdynamik des Systems → Verhindern von Übersteuerung
- Unterdrückung von Störgeräuschen wie Rauschen, Brummen, Übersprechen
- ein Signal ist zu dynamisch im Hinblick auf Ausgewogenheit, Durchsetzungsfähigkeit oder Verständlichkeit in einer Mischung
- Steigerung der Lautheit durch Dynamikeinengung
- das Erreichen von druckvollen, kompakten und dichten Mischungen
- gezielte Klangbearbeitung von Signalen, Sounddesign
- Automatisierung von Regelvorgängen

Einfache Regelverstärker bewirken klar vordefinierte Dynamikänderungen und lassen keine Einflussnahme in musikalischer und künstlerischer Hinsicht zu. Erst, wenn ihr statisches und dynamisches Verhalten einstellbar ist, werden sie zu vollwertigen Werkzeugen.

## 1.1 Statisches und dynamisches Verhalten

Die sogenannte statische Kennlinie eines Regelverstärkers zeigt die Abhängigkeit des Ausgangspegels vom Eingangspegel und charakterisiert seine Arbeitsweise. Sie gilt bei konstantem oder sich langsam änderndem Eingangspegel. Bei schnellen Pegeländerungen gilt sie erst nach einer bestimmten Einschwingzeit. Ansonsten würde der Pegelverlauf deutlich verändert und Verzerrungen, Knackgeräusche und hörbare Regelvorgänge wären die Folge.

Das dynamische Verhalten definiert, wie schnell ein Regelverstärker auf Pegelsprünge reagiert.

## 1.2 Grundparameter eines Regelverstärkers

Statische Parameter:

Threshold / Schwellwert / Arbeitspunkt: Pegelschwelle, ab der die Regelung einsetzt

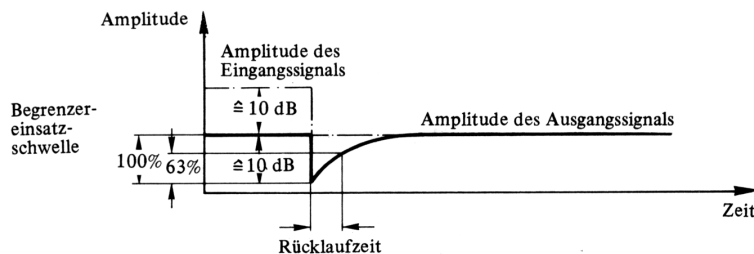
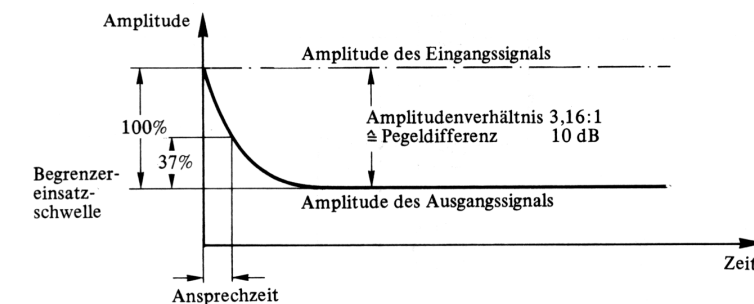
Ratio: üblicherweise das Verhältnis von Eingangspegel : Ausgangspegel. Eine Ratio von 3:1 führt beispielsweise bei einem Pegelanstieg von 3 dB am Eingang zu einem um 1 dB höheren Ausgangspegel.

Compression Gain / Hub: Gesamtverstärkung des Signals

Dynamische Parameter:

Attack / Ansprechzeit: Ein Eingangspegel liegt über dem Arbeitspunkt eines Regelverstärkers. Die Ansprechzeit ist die Zeit, die vergeht, bis die Ausgangsspannung auf 37 % ( $1/e \cdot 100\%$ ) der Differenz zwischen Eingangsspannung und der durch die statische Kennlinie vorgegebenen Ausgangsspannung absinkt.

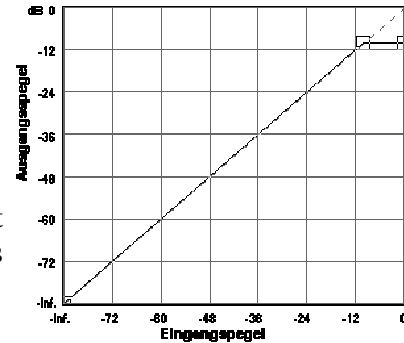
Release / Rücklaufzeit: Ein Eingangspegel liegt über dem Arbeitspunkt eines Regelverstärkers und wird sprunghaft reduziert. Die Rücklaufzeit ist diejenige Zeit, innerhalb welcher die Ausgangsspannung wieder auf 63 % der Differenz zwischen der Eingangsspannung und der durch die statische Kennlinie vorgegebenen Ausgangsspannung ansteigt. Ansprech- und Rücklaufzeiten sind daher immer kürzer als die Dauer des tatsächlichen Regelvorgangs.



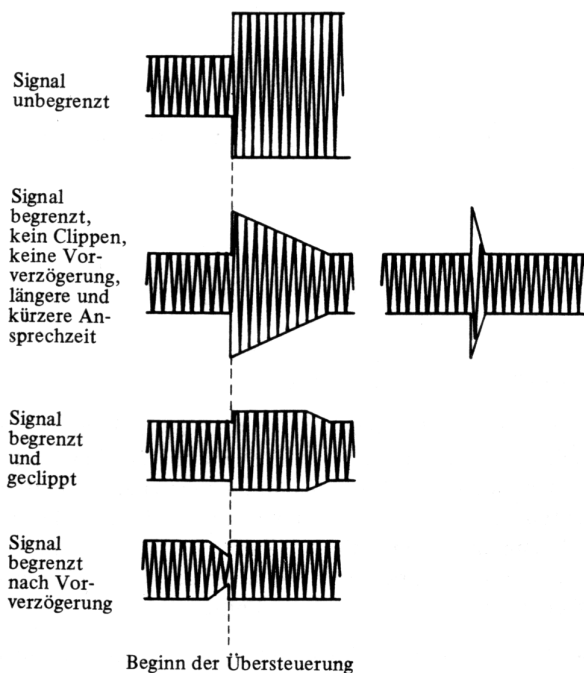
## 2. Limiter

Die Aufgabe eines Limiters ist die Begrenzung eines Signals auf einen voreingestellten Pegel. Pegel, die oberhalb des Schwellwertes liegen, werden mit einer hohen Ratio auf diesen zurückgeregelt. Man erreicht so einen zuverlässigen Schutz vor Übersteuerungen bei der Signalübertragung, Aufnahme oder Beschallung.

Die Kennlinie geht am Arbeitspunkt in eine waagrechte Gerade über. Für weichere Regelvorgänge bieten viele Limiter eine Knee bzw. Soft-Knee-Funktion. Die Kennlinie ist hier beim Übergang in den Limiter-Arbeitsbereich abgerundet und der Limiter beginnt mit zunehmender Ratio bereits etwas unterhalb des Arbeitspunkts zu arbeiten. Pegelspitzen werden so zunächst komprimiert und dann begrenzt.



Über einen Gain-Regler (Hub) kann die gesamte Kennlinie parallel verschoben werden. Oft geschieht dies über eine Auto-Gain-Funktion, die den durch die Begrenzung entstehenden Headroom automatisch ausgleicht. Der Limiter arbeitet dann als Kompressor mit sehr hoher Ratio.



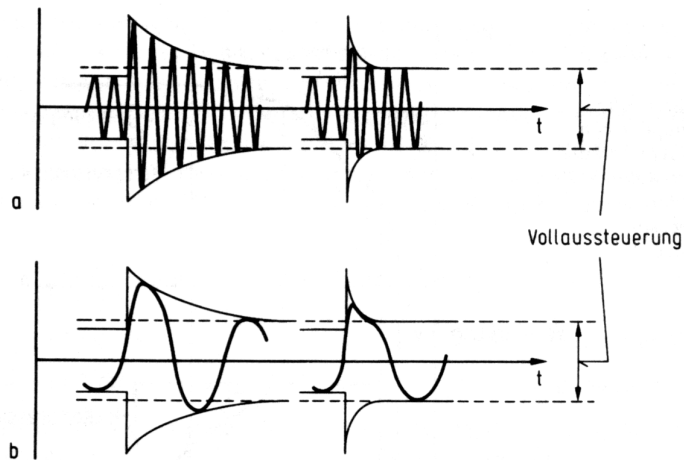
Grundsätzlich regeln Limiter das Signal erst zurück, nachdem es den Arbeitspunkt überschritten hat. Je nach Ansprechzeit kommt es zu kürzerem oder längerem Überschwingen. Es gibt zwei Möglichkeiten, dieses Überschwingen zu verhindern:

**Clipping:** Beschneiden der Schwingung, aus einer Sinusschwingung wird eine Rechteckschwingung, das Signal wird verzerrt. Damit das Clipping nur innerhalb der Ansprechzeit wirksam wird, liegt die Clippschwelle etwas höher als der Arbeitspunkt. Ist die Clippkennlinie zusätzlich abgerundet, lassen sich gute Ergebnisse erzielen.

**Signalverzögerung:** Verzögert man das Signal um den Wert der Ansprechzeit, findet der Regelvorgang bereits vor dem zu begrenzenden Pegelsprung statt. Das Überschwingen wird so vollständig vermieden und der Regelvorgang ist durch Rückverdeckung praktisch unhörbar.

Bei einer zu kurzen Ansprechzeit kann es zu einem hörbaren Knacken am Beginn einer Pegelspitze kommen – besonders bei tiefen Frequenzen (siehe b), da das Limiting hier merklich den Schwingungsverlauf verändert und verzerrt.

Wählt man die Ansprechzeit zu lang, umgeht man die Verzerrung tiefer Frequenzen, gleichzeitig überschwingen jedoch die Amplituden hoher Frequenzen.



Vergleichbare Probleme ergeben sich auch bei der Einstellung der Rücklaufzeit. Eine lange Rücklaufzeit sorgt zwar für einen unverzerrten Signalverlauf, gleichzeitig führen aber auch kurze Signalspitzen, die kaum zum Lautstärkeindruck beitragen, dazu, dass der Limiter das Signal für längere Zeit begrenzt.

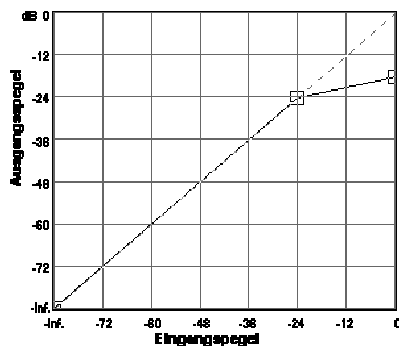
Mit der Wahl einer kurzen Rücklaufzeit kann man diesen Effekt umgehen. Es kann jetzt aber zu einer Erhöhung des Klirrfaktors kommen, da besonders bei tiefen Frequenzen jede Halbwelle einen neuen Regelvorgang auslöst. Kurze Pegelspitzen können zudem zu einer unnatürlichen Modulation des Gesamtsignals führen, das meist als „Pumpen“ umschrieben wird.

### 3. Kompressoren

Die Hauptaufgabe von Kompressoren ist die Einengung der Dynamik eines Signals. Eine solche Einengung kann aus rein technischen Gründen notwendig sein, beispielsweise bei der Übertragung über Mittel-, Lang- oder Kurzwelle. Hier hat die Übertragungskette selbst einen relativ hohen Störpegel und durch Kompression wird die Senderreichweite erhöht.

Kompressoren bieten darüber hinaus umfassende Möglichkeiten der Klanggestaltung und sind aus der modernen Musikproduktion nicht mehr wegzudenken. Sie „verdichten“ den Klangeindruck und lassen Signale kompakter, homogener und durchsetzungsfähiger werden. Bei Sprache führt dies beispielsweise zu einer deutlich höheren Sprachverständlichkeit und Präsenz.

Die Einstellmöglichkeiten sind im Vergleich zum Limiter vielseitiger und man kann direkt Einfluss auf einzelne Bereiche der Kennlinie nehmen.



Die Kennlinie eines Kompressors knickt am Arbeitspunkt je nach gewählter Ratio ab und nähert sich mit zunehmenden Werten immer mehr der horizontalen Linie eines Limiters an. Pegel oberhalb des Arbeitspunkts werden also in einem festen Verhältnis reduziert. Der entstehende Headroom ermöglicht eine Anhebung der mittleren und kleinen Pegel. Man regelt diesen Wert über den Kompressionshub (Compression Gain). Die gesamte Kennlinie verschiebt sich dabei nach oben. Kompressoren bewirken damit immer auch eine Verschlechterung des Geräuschspannungsabstands.

Knee und Softknee-Funktionen führen zu einem Kurvenverlauf am Arbeitspunkt. Die Kompression beginnt bereits unterhalb des Arbeitspunktes mit zunehmender Ratio und erreicht mit steigenden Pegeln am Arbeitspunkt die eingestellte Ratio. Die Regelvorgänge erfolgen so natürlicher und homogener.

Kompressoren bieten ein sehr breites Anwendungsspektrum mit jeweils eigenen Anforderungen an das dynamische Verhalten. Bearbeitet man ein Einzelsignal, kann man mit dem Kompressor gezielt seine Klangcharakteristik gestalten. Möchte man beispielsweise die Ausklingphasen eines Sounds herausarbeiten und ihn so verdichten, stellt man relativ kurze Ansprech- und Rücklaufzeiten ein. Auch das „Pumpen“ eines Signals bei diesen Einstellungen kann bewusst als Effekt eingesetzt werden.

Nutzt man den Kompressor hingegen in einem Summenkanal, ist das Ziel meist eine Verdichtung des gesamten Klangbildes und eine Erhöhung der Lautheit. Hier möchte man meist das vorher abgemischte Klangbild nicht mehr verändern und wählt daher eher lange Rücklaufzeiten. Ansonsten würden bestimmte Instrumente mit hoher Energie wie Bassdrum und Bass mit jeder Signalspitze einen Regelvorgang auslösen und das Gesamtsignal modulieren. Alternativ bieten manche Kompressoren Schaltungen, die den Einfluss tiefer Frequenzen aufheben.

Umgehen kann man diese Probleme mit Multiband-Kompressoren. Sie bestehen zunächst aus einigen Filtern, die das Eingangssignal in verschiedene Frequenzbänder aufteilen. Jedes einzelne Frequenzband wird dann durch eine separate Kompressor-Stufe bearbeitet, die unabhängig voneinander eingestellt werden können. Abschließend werden die Ausgangssignale der einzelnen Kompressoren wieder gemischt und zum Ausgang des Multiband-Kompressors geführt.

### 3.1 De-Essing

Es gibt spezielle Geräte, die überbetonte Zischlaute und scharfe Konsonanten bei Sprach- und Gesangsaufnahmen wirkungsvoll reduzieren. Diese De-Esser sind häufig Kompressoren, die gezielt nur ein bestimmtes Frequenzspektrum komprimieren, in dem die Überbetonung liegt. Die anderen Frequenzbereiche werden nicht beeinflusst.

Auch ein konventioneller Kompressor kann als De-Esser eingesetzt werden, vorausgesetzt er hat einen Side-Chain-Eingang. Zusätzlich zum Nutzsinal (das zu bearbeitende Signal) kann dem Kompressor so über den Side-Chain-Eingang ein eigenständiges Steuersignal zugeführt werden. Mit einem Equalizer kann man im Steuersignal gezielt den Frequenzbereich überbetonen und herausarbeiten, in dem Zischlaute und scharfe Konsonanten vorkommen. Bei jedem Zischlaut erhöht sich so die Spannung des Steuersignals und das Nutzsinal wird komprimiert. Der Nachteil bei dieser einfachen Technik ist offensichtlich: Zischlaute führen zur Kompression des Nutzsignals über das gesamte Frequenzspektrum. Kurze Ansprech- und Rücklaufzeiten ermöglichen es, den hörbaren Effekt zu reduzieren.

### 3.2 Ducking / Voice Over Compression

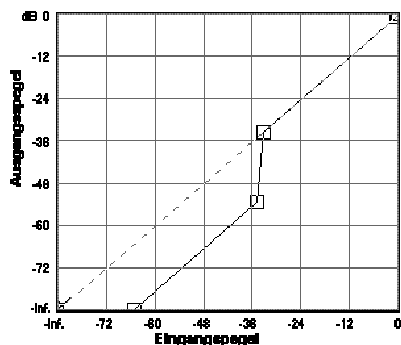
Der zweite Effekt, der durch die Nutzung des Side-Chain-Eingangs eines Kompressors möglich wird, nennt sich Ducking oder Voice Over Compression. Am bekanntesten ist dieser Effekt aus dem Radio, wo er dafür sorgt, dass Musik in den Hintergrund zurücktritt, sobald jemand spricht. Das Nutzsinal ist hier die Musik, das Sprachsignal wird als Steuersignal genutzt. Sobald gesprochen wird, wird das Musiksignal komprimiert. Der Arbeitspunkt und die Ratio legen fest, wie stark die Musik im Pegel reduziert wird, während die Geschwindigkeit der Lautstärkeänderung von der gewählten Ansprech- und Rücklaufzeit bestimmt wird.

Der Ducking-Effekt lässt sich auch zur automatischen Lautstärkeregelung innerhalb einer komplexen Mischung einsetzen.

## 4. Expander

Ein Expander arbeitet genau umgekehrt wie ein Kompressor: Er vergrößert die Dynamik von Signalen, indem er kleine Pegel unterhalb des Arbeitspunktes reduziert.

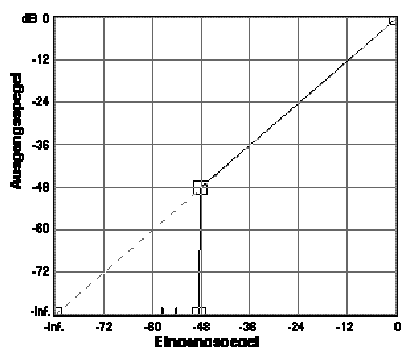
So lässt sich mit Expandern die Originaldynamik eines zuvor komprimierten Signals wieder herstellen (Komandersysteme). Störsignale mit niedrigem Pegel wie Rauschen oder Brummen können wirkungsvoll abgesenkt werden. Im Bereich der Klanggestaltung ermöglichen Expander, Signale lebendiger und offener werden zu lassen oder perkussive Einschwingphasen herauszuarbeiten.



Der Verlauf der Kennlinie verändert sich beim Expander unterhalb des Arbeitspunktes, wo Ratio-Werte kleiner als 1 für einen steileren Verlauf sorgen. Beispiel: Ein Signal fällt am Eingang um 1 dB unter den Arbeitspunkt. Bei einer Ratio von 1:2 (0,5) fällt das Ausgangssignal um 2 dB.

## 5. Noise Gates

So wie ein Kompressor mit einer hohen Ratio zum Limiter wird, ist ein Noise Gate ein Expander mit einem sehr kleinen Ratio-Wert. Signalpegel unterhalb des eingestellten Arbeitspunktes werden so stark abgeschwächt, dass sie nicht mehr zu hören sind. Im einfachsten Fall arbeiten Noise Gates damit wie Schalter, die Signalwege öffnen, sobald der Arbeitspunkt überschritten wird, und schließen, wenn der Pegel wieder unter den Arbeitspunkt absinkt.



Die Einsatzmöglichkeiten sind vielseitig: Noise Gates dienen zur Unterdrückung von Nebengeräuschen in Nutzsinalpausen, beispielsweise bei einer Diskussionsrunde mit mehreren Mikrofonen. Die jeweiligen Signale werden nur benötigt, wenn der entsprechende Teilnehmer spricht.

Im Bereich der Musikproduktion bietet sich der Einsatz von Gates bei Mehrspuraufnahmen an, um das Übersprechen von Signalen auf andere Mikrofone herabzusetzen. Besonders bei Schlagzeugaufnahmen zahlt sich ihre Verwendung aus, um den Gesamtsound transparenter und präziser zu gestalten.

Die Einstellung der Parameter eines Noise Gates muss sehr sorgfältig erfolgen, da ansonsten unerwünschte Nebeneffekte sofort hörbar werden. Der Arbeitspunkt sollte so gewählt werden, dass das Nutzsinal das Gate gerade zuverlässig öffnet, gleichzeitig aber für unerwünschte Signalanteile so weit wie möglich geschlossen bleibt. Um zu gewährleisten, dass ausklingende Signalanteile nicht abgeschnitten werden, bieten viele Gates zusätzlich zur Einstellung von Ansprech- und Rücklaufzeit einen Hold-Parameter, der eine Zeitspanne festlegt, für die das Gate geöffnet bleibt. Ein anderer Ansatz ist die Auswahl eines zweiten, niedriger liegenden Arbeitspunktes für das Schließen des Gates. Dies geschieht über den Parameter Hysteresis, der angibt, um wie viel dB dieser Arbeitspunkt tiefer liegt als der Hauptarbeitspunkt, der das Gate öffnet.

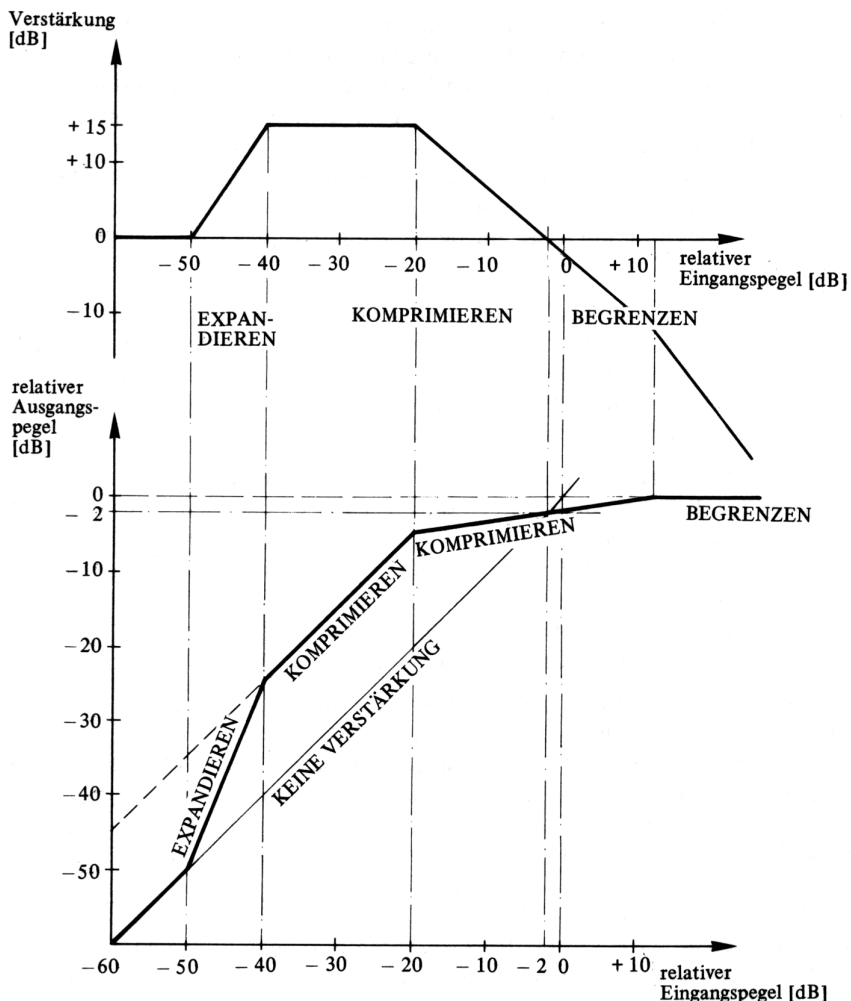
## 5.1 Gater-Effekt

Die Nutzung des Side-Chains eines Noise Gates für Steuersignale eröffnet interessante Möglichkeiten zur Klanggestaltung. Ein häufig genutzter Gater-Effekt ist das „Zerlegen“ eines Flächensounds im Rhythmus eines Drumloops. Der Flächensound wird dem Noise Gate als Nutzsignal zugeführt, der Drumloop über den Side-Chain als Steuersignal. Das Gate öffnet jetzt bei den Signalspitzen des Drumloops, die den Rhythmus bestimmen. Über die dynamischen Parameter kann nach Gehör genau festgelegt werden, ob dies hart und schroff oder eher sanft und verzögert geschehen soll. Somit lässt sich auch der Groove beeinflussen.

## 6. Stereokopplung

Damit bei der Bearbeitung von Stereosignalen mit Regelverstärkern die Balance zwischen den Kanälen nicht verändert wird, müssen die Regelverstärker in den beiden Kanälen miteinander verkoppelt werden. Der Kanal mit der größeren Pegelveränderung muss die Regelung beider Kanäle in gleicher Weise übernehmen. Mehrkanalige Regelverstärker bieten in der Regel die Möglichkeit einer internen Verkopplung.

## 7. Kombinierte Regelverstärker



Moderne Hardware-Regelverstärker und viele Plug-In-Lösungen ermöglichen die Kombination der Grundtypen Limiter, Compressor, Expander und Noise Gate. Ihre Kennlinien lassen sich flexibel einstellen und den jeweiligen Anforderungen anpassen.

## 8. Quellen

Michael Dickreiter: Handbuch der Tonstudioteknik. Band 1  
Johannes Webers: Tonstudioteknik  
Dave Bellingham: Logic. Audio-Praxis.

[www.musikmachen.net](http://www.musikmachen.net)  
<http://audio.uni-lueneburg.de>