

# Home Mastering mit Cubase

Ein Leitfaden für Anfänger und Fortgeschrittene

Roland Enders  
© 2007 bis 2014

## **Wichtige Hinweise:**

Diese Tutorial-Serie besteht aus drei Dokumenten:

**Teil 1: Grundlagen**

Teil 2: Mastering-Werkzeuge

Teil 3: Mastering-Praxis

Ich plane, dazu einige Videos auf meinem Youtube-Kanal und meiner Website zu veröffentlichen.

Sie können diese Tutorials zum eigenen, nicht kommerziellen Gebrauch kostenlos herunterladen (<http://www.songs-and-stories.de/>) und ausdrucken, und Sie dürfen sie auch weitergeben, wenn Sie folgende Regeln einhalten:

1. Sie dürfen den Link zu den Dateien auf einer Internetsite direkt einfügen, wenn Sie den Namen des Dokuments und meinen Namen als Urheber nennen (also z.B. Roland Enders: Home Mastering mit Cubase, Teil 1: Grundlagen: *Linkangabe*).
2. Sie dürfen diese Dokumente unter keinem anderen Link und auf keinem anderen Server speichern oder anderweitig zugänglich machen als über meine Website. Sie dürfen Sie ausschließlich kostenlos an andere weitergeben.
3. Sie dürfen Auszüge aus diesen Dokumenten in eigenen nicht kommerziellen Veröffentlichungen und Medien, gleich welcher Art, nur dann verwenden, wenn Sie sie deutlich als Zitat kennzeichnen, die Quelle (meine Website) und meinen Namen als Urheber korrekt nennen.
4. Sie dürfen diese Dokumente oder Auszüge daraus nicht in kommerziellen Veröffentlichungen und in kommerziellen Medien jedweder Art ohne meine Zustimmung verwenden.

Für meine Youtube-Videos gelten die auf meinem Kanal angegebenen Nutzerregeln.

### Vorwort

Beiträge zum Thema „Audio Mastering“ im Internet gibt es in Hülle und Fülle, manche sind herausragend, andere gut bis brauchbar, aber leider nicht wenige zeugen von mangelndem Wissen, mangelnder praktischer Erfahrung und schlechter didaktischer Qualität. Deshalb möchte ich kurz meinen Hintergrund schildern, damit Sie sich ein Bild davon machen können, ob und wie seriös dieser Beitrag ist.

Ich habe Physik studiert und darin promoviert und betreibe seit Anfang der 80er Homerecording. Angefangen habe ich mit einer geliehenen Vierspurbandmaschine, später habe ich mir ein Achtspur Tapedeck gekauft und ein richtiges kleines Studio mit separatem Regie- und Aufnahmeraum gebaut. Seit der Jahrtausendwende ist mein Studio „in the box“, also in meinem PC. Inzwischen habe ich 13 komplette Alben verschiedenen Musikern und Bands aufgenommen und produziert, insgesamt waren es weit über 200 Songs.

Vor der Jahrtausendwende war ich freier Autor bei der Zeitschrift Keyboards und habe in den 90ern das „Homerecording Handbuch“ verfasst, das in mehreren überarbeiteten Neuauflagen herauskam.

Mit Mastering beschäftige ich mich seit etwa 10 Jahren. Ich sehe mich aber als reinen Amateur, mastere nicht für Kunden und grundsätzlich unentgeltlich. Dabei arbeite ich nur mit Musik, die ich gut finde und an der ich beteiligt bin, sei es als Musiker oder Produzent. Ich habe mich zuerst an meinen eigenen Solo-Alben versucht, dann nach und nach auch die Alben befreundeter Musiker und Bands gemastert.

Ich habe bei meinen Mastering-Versuchen einiges Lehrgeld bezahlt und bin heute nicht stolz auf jedes Album. Ich habe aber viel dazu gelernt, vor allem von guten Lehrern, die mich zwar nicht persönlich kennen, deren Tutorials, Aufsätze und Videos ich aber eingesogen habe wie Nektar. Die drei wichtigsten möchte ich hier nennen und mich gleichzeitig bei Ihnen bedanken, auch wenn sie diesen Text wahrscheinlich nie lesen werden. Ich kann Ihnen nur empfehlen, ihre Webseiten aufzusuchen und dort ebenso viel zu entdecken wie ich. Hier sind sie also, meine Heroen:

Bob Katz: <http://www.digido.com/>

Friedemann Tischmeyer: <http://www.tischmeyer-mastering.de/pwde/>

Ian Sheperd: <http://productionadvice.co.uk/blog/>

Zu diesen Tutorials habe ich eine Serie von Videos geplant, die ich nach und nach auf meinem Youtube-Kanal hinzufüge.

Und nun viel Spaß beim Lesen, Lernen und Ausprobieren.

Roland Enders

## Teil 1: Grundlagen

### Was ist Mastering?

Die Produktionskette bei der professionellen Herstellung einer Audio-CD sieht so aus:

*AUFNAHME* (Recording-Studio) ⇒ *MIXEN* (Mixstudio) ⇒ *PREMASTERING* (Mastering-Studio) ⇒ *MASTERING* (Presswerk) ⇒ *VERVIELFÄLTIGEN* (Presswerk)

Es ist nicht ungewöhnlich, dass die einzelnen Produktionsschritte in verschiedenen Studios stattfinden.

Die Begriffe Premastering und Mastering werden häufig miteinander verwechselt und auch von Fachleuten unterschiedlich gebraucht. Die ursprünglichen Begriffsdefinitionen lauten:

**Premastering:** Audibearbeitung der abgemischten Stereo-Dateien der CD-Tracks mit dem Ziel einer klanglichen und pegelmäßigen Anpassung der Stücke aneinander, einer Klangverbesserung und ggf. einer Lautheitsanhebung aller Songs sowie die Herstellung einer Premaster-CD, die als Vorlage für das Presswerk dient.

**Mastering:** Herstellung eines Glas-Masters – einer Schablone für die Serienfertigung – im Presswerk.

Der Ausdruck *Mastering* wird aber heute sehr häufig anstelle von Premastering benutzt. Da sich diese Bezeichnung mehr und mehr durchsetzt, wollen wir uns dem nicht in den Weg stellen.



Mit Mastering wird in diesem Artikel die Audibearbeitung der fertig gemischten Songs bezeichnet, die später auf eine CD kommen sollen, sowie die Herstellung einer Premaster-CD zur Vervielfältigung.

Betrachten wir nun die durchschnittliche Homerecording-Produktion. Hier werden folgende Produktionsschritte abgearbeitet:

*AUFNAHME* ⇒ *MIXEN* ⇒ *MASTERING* ⇒ *VERVIELFÄLTIGEN* (meist durch Brennen)

Hier finden in der Regel alle Schritte im selben Studio (meist mit einem PC) statt. Es ist klar, dass es dadurch Einschränkungen gegenüber einer Profi-Produktion gibt.

### Welche Ziele werden beim Mastering verfolgt?

#### 1. Abstimmung der Tracks eines Albums untereinander:

Die einzelnen Tracks einer CD (oder für ein anderes Album-Medium) entstehen über einen längeren Zeitraum von Wochen und Monaten. Es werden vielleicht auch unterschiedliche Mikrofone, Instrumente und anderes Equipment eingesetzt. Beim späteren Mischen wird jeder Song zunächst für sich beurteilt und bearbeitet. Auch das Mischen zieht sich in der Regel über Tage hin. Fügt man später alle Tracks zusammen, so ist der Regelfall, dass es deutliche Unterschiede in Klang und Lautstärke der Tracks gibt. Eine Aufgabe des Masterings ist es deshalb, die Tracks klanglich und lautheitsmäßig aneinander anzugleichen, sodass ein homogenes Gesamtwerk entsteht.

#### 2. Beseitigung kleinerer Fehler:

Manchmal kommt es vor, dass ein Track kleinere Fehler enthält, die den Aufwand des neu Aufnehmens und Mischens nicht rechtfertigen. Etwa ein fast unhörbarer Knackser, leises Rauschen oder eine Unausgewogenheit des Stereobildes. Auch unhörbare Fehler wie Gleichspannungsanteile zählen dazu. Diese Fehler lassen sich im Mastering-Prozess korrigieren.

### 3. Klangliche Optimierung:

Beim Mastering ergibt sich die Möglichkeit, die Songs klanglich zu verfeinern. Mit hochwertigen Werkzeugen wie Mastering-EQ, Multiband-Kompressor und ähnlichen kann man nicht nur Unausgewogenheiten optimieren und die Songs untereinander klanglich ausbalancieren, sondern den Sound grundsätzlich aufpolieren, indem man diese Effekte auf einen ganzen Song anwendet.

### 4. Vergleich der Songs mit anderen Produktionen:

Natürlich will man, dass die eigene CD auch im Vergleich mit anderen Produktionen mithalten kann, und hier heißt es: vergleichen, vergleichen, vergleichen... Ziel ist es, sich beim Mastern dem Klangbild, der Dynamik und der Lautheit einer oder mehrerer Referenz-CDs anzunähern.

### 5. Lautheit bearbeiten:

Das ist der letzte Schritt der klanglichen Bearbeitung. Abhängig von der Art der Musik strebt man eine Ziel-Lautheit an, die die Tracks konkurrenzfähig zu anderen Produktionen macht, gleichzeitig aber die bisher erreichten Klangverfeinerungen und die Dynamik nicht beeinträchtigt, oder gar durch Clipping zerstört. Den „Sweetspot“, also die optimale Balance zwischen Lautheit und gutem Klang zu finden, gehört zu den schwierigsten Aufgaben beim Mastering.

### 6. Die Songs für die CD aufbereiten:

Zu diesem Arbeitsschritt gehören das Abschneiden überflüssigen Materials am Anfang und Ende des Songs, das Aus- und manchmal Einblenden (Fade-Out, Fade-In), sowie das Exportieren im Format 16 Bit 44,1 kHz unter Einbeziehung eines Dither-Algorithmus.

### 7. Premaster-CD herstellen:

Dabei bringt man die Songs in die richtige Reihenfolge, fügt Pausen ein, setzt CD-Trackmarker und fügt eventuell CD-Text mit Informationen ein, der von dem Display geeigneter CD-Player wiedergegeben werden kann. Schließlich brennt man die CD nach dem so genannten Red Book Standard.

Falls Sie sich fragen, ob Mastering immer mit einem Album zu tun hat, ob man nicht auch einzelne Songs mastern kann oder sollte: Die Antwort ist Jein. Während man beim Mischen eines Songs die optimale Balance der einzelnen Spuren und der Effekte anstrebt, ist das Mastering die Herstellung der Balance einer Reihe von Songs oder Stücken im Gesamtkontext eines Albums, einer EP oder meinetwegen auch einer Zusammenstellung für eine Playlist für eine Internet-Plattform. Das klangliche Aufpolieren oder Lautermachen eines einzelnen Songs würde ich nicht als Mastering bezeichnen, obwohl eine gute Kenntnis der Mastering-Materie dafür sehr hilfreich sein kann.

### ***Wann selbst mastern?***

Eine wichtige Empfehlung vorab: Sollten Sie vorhaben, CDs in einer größeren Auflage in einem Presswerk herstellen zu lassen und wollen Sie die Mühe und das finanzielle Risiko auf sich nehmen, Ihr Album zu vermarkten, dann sparen Sie nicht am Mastering. Lassen Sie das durch einen Profi durchführen.

Warum?

Argument 1: Beim Mastern kann man viel falsch machen. Obwohl dieser Artikel helfen soll, Fehler zu vermeiden, kann er ein Fachstudium nicht ersetzen. Und vermiedene Fehler sind noch kein Garant für ein gutes Ergebnis. Zum professionellen Mastern braucht man ein über Jahre geschultes Gehör und sehr viel Erfahrung.

Argument 2: Gutes Mastering-Equipment ist sehr teuer. Zwar gibt es all diese schönen, kostenlosen Plug-Ins, und für das Geld, die das Mastern einer CD kostet, bekommen Sie schon richtig gute Mastering-Software, aber das ist nur die eine Seite der Medaille. Zum professionellen Mastern braucht man nämlich einen akustisch ausgezeichneten Abhörraum und Studio-Monitore, die das Homerecording Budget sicher sprengen. Viele Experten schwören außerdem auf den Klang analoger Mastering-Geräte. Diese sind für Otto-Normalverbraucher meist unerschwinglich.

Wenn Sie also wirklich ins Musicbiz einsteigen wollen, dann überlassen Sie die Produktion Ihrer CD lieber einem Experten. Eigentlich gilt das für die gesamte Kette, also Aufnahme, Mix, Mastern und Druckvorlagen (Artwork, Credit-Texte usw.). Aber wer kann sich das schon leisten? Die wenigsten von uns sind so talentiert oder sehen so gut aus, dass sie von einem Major-Label entdeckt werden. Also müssen wir unsere CDs selbst produzieren, dann Klinken putzen, sie auf Auftritten, in Clubs oder über das Internet verkaufen. Aber selbst dann ist es eine gute Idee, die CD von einem Mastering-Experten aufpolieren zu lassen. Der Qualitätsgewinn kann sehr beachtlich sein.

Allerdings ist es auch nicht leicht, ein gutes Mastering-Studio zu finden. Solche, die in der Branche einen Namen haben, sind meist teuer. Daneben gibt es unzählige Kleinunternehmer, die professionelles Mastering anbieten. Gehen Sie hier nicht nur nach dem Preis, sondern sprechen Sie mit den Leuten, lassen sich mit den Vorkenntnissen, die Sie mit dieser Tutorial-Serie gewinnen, beraten und fühlen Sie ihnen auf den Zahn. Mastering Engineer ist keine geschützte Berufsbezeichnung. Jeder kann sich so nennen. Hier ein paar Tipps, falls Sie Ihr Album mastern lassen wollen:

1. Fragen Sie nach Referenzen, Hörbeispielen. Lassen Sie sich gemasterte CDs schicken und hören Sie sich das Material an, bevor Sie einen Auftrag über viele hundert oder gar tausend Euro erteilen.
2. Fragen Sie nach der Studio-Ausstattung, vor allem nach der Abhöre. Wichtig ist, dass der Raum, in dem gemastert wird, akustisch optimiert wurde. Viele seriöse Anbieter zeigen Bilder Ihres Studios auf Ihrer Website.
3. Sprechen Sie mit dem Anbieter über seine Mastering-Philosophie. Verspricht er Ihnen in erster Linie konkurrenzfähige Lautheit, dann werden Sie hellhörig. Ein guter Mastering-Fachmann sollte Sie auch über die Nebeneffekte und Nachteile maximaler Lautheit aufklären, und zwar von sich aus, ohne dass Sie erst danach fragen müssen.
4. Fragen Sie nach der Ausbildung und der Dauer der Tätigkeit. Ein Autodidakt muss nicht schlechter sein, als einer der, ein Studium als Toningenieur oder Tonmeister abgelegt hat (ich bin selbst Autodidakt). Aber er sollte Ihnen schon sagen können, wie er sein Wissen erlangt hat.
5. Vereinbaren Sie eine im Preis inbegriffene Neubearbeitung oder Nachbearbeitung, wenn Sie mit dem Ergebnis nicht zufrieden sind.
6. Formulieren Sie bei Auftragserteilung Ihre Wunsch so präzise wie möglich. Geben Sie Referenzmaterial an, das so klingt, wie Sie es sich für Ihre Musik wünschen.

Nun aber zum Do-It-Yorusef: Warum denn auch nicht? Wenn Sie Musik nur zum Vergnügen machen oder Ihre CD in kleiner Auflage produzieren, wenn Sie eine Demo-CD Ihrer Band für Konzertveranstalter herstellen, Freunde, Bekannte oder Verwandte mit Ihrer Musik beglücken wollen, kurz: wenn Sie das Ganze nur semiprofessionell oder als Hobby betreiben, dann versuchen Sie sich doch selbst am Mastering. Ich kann Ihnen nicht versprechen, dass Ihre CD so gut klingt wie ein professionelles Produkt, aber deutlich besser als ohne Mastering.

Und was brauchen Sie dazu?

Einen PC, Cubase (oder eine andere Recording- und Mixing-Software mit den im zweiten Teil des Tutorials vorgestellten Audio-Bearbeitungs-Tools), einige für das Mastering geeignete Plug-Ins (für erste Gehversuche tun es auch die Bordmitteln von Cubase), eine gute Abhöre und eine Brennsoftware.

Mastern mit Cubase? Braucht man dafür nicht Wavelab oder ein anderes spezielles Audio-Programm? Nun, damit geht es etwas leichter und komfortabler, aber bis auf das Brennen können Sie genauso gut alle Schritte mit Ihrem Sequencer-Programm erledigen, wenn Sie ein paar Euros in gute Plug-Ins investieren und gute Freeware-Tools verwenden.

### **Voraussetzungen**

Um beim Mastern ein gutes Ergebnis zu erzielen, müssen wir uns auch ein paar Gedanken über das Aufnehmen und Mixen machen. Denn das Mastering kann grobe Fehler bei den vorangegangenen Produktionsschritten nicht kompensieren.

### **Digitale Audioformate**

Schon beim Aufnehmen sollten Sie an das gesamte Projekt denken, also auch an Mischen und Mastern. Das Endprodukt ist ja meist die CD, und die speichert die Musik digital mit 16 Bit und 44,1 kHz Abtastrate. Wäre es denn dann nicht sinnvoll, gleich in diesem Format aufzunehmen? Die Antwort ist eindeutig: nein!

Wenn Sie etwa ein Live-Konzert über ein Stereo-Mikrofonpaar auf einen digitalen Recorder aufnehmen und das Ergebnis ohne jede Nachbearbeitung auf CD brennen, dann wäre das in Ordnung. Aber jede Art von Audibearbeitung – und sei es nur das Zusammenmischen mehrerer Spuren, ganz abgesehen von aufwändigen Frequenz-, Dynamik-, oder Effektbearbeitungen, führt zu Rundungsfehlern der digitalen Daten und damit zum Informationsverlust. Dieser ist umso größer, je weniger Bit Sie zur Verfügung haben.

Cubase kann Daten in 16 Bit, 24 Bit und 32 Bit speichern. In welchem Format sollten Sie dann aufnehmen?



Die Auflösung, mit der die aufgenommenen Audio-Daten in Cubase (oder jedem anderen Audio-Programm) gespeichert werden, sollte *mindestens* der Auflösung entsprechen, die die Analog-Digital-Wandler der Aufnahme-Hardware ermöglicht.

Wenn also Ihr Audio-Interface einen 24 Bit-Wandler hat (das ist heute Standard), dann sollten Sie auch mit mindestens 24 Bit speichern. Bei den großen Festplattenkapazitäten moderner PCs oder Macs kann man auch getrost Projekte direkt mit 32Bit (float) speichern.

Die Streitfrage ist: Bringt 32 Bit gegenüber 24 Bit einen Vorteil? Nicht, solange die Wandler weniger als 32 Bit Auflösung haben und alle Effekte und Bearbeitungen in Echtzeit hinzugefügt werden (Cubase rechnet nämlich – unabhängig von der eingestellten Auflösung – intern immer im 32 Bit Floating Point Format). Allerdings: Sobald wir Offline-Prozesse im Mix haben, also etwa einen Effekt in eine Spur einrechnen und diese als neue Audio-Datei abspeichern, kann es tatsächlich einen Vorteil bringen, in 32 Bit abzuspeichern.

Ob man den Unterschied hören kann, darüber wird kontrovers diskutiert. Manche sagen: eine Projekteinstellung auf 32 Bit bringt keinen hörbaren Vorteil, aber der Prozessor des Rechners wird dabei weniger belastet, weil alle internen Rechnungen sowieso im 32 Bit float Format erfolgen. Der PC muss 24 Bit Dateien hingegen „on the fly“ in 32 Bit Dateien umwandeln, bearbeiten, dann wieder auf 24 Bit umrechnen und abspeichern. Beim 32 Bit Speicherformat entfallen diese Konvertierungsprozesse.



Die andere Frage ist, mit welcher Abtastrate Sie aufnehmen sollen. Die meisten Audio-Wandler beherrschen 44,1 kHz und 48 kHz, viele auch 88 kHz und/oder 96 kHz und manche sogar 192 kHz.

Das Gehör eines jungen Menschen kann Schallfrequenzen zwischen 20 Hz und 20 KHz wahrnehmen. (Die obere Grenze sinkt mit zunehmendem Alter allerdings drastisch ab. Mehr dazu an späterer Stelle). Um diesen idealisierten Frequenzbereich digital zu erfassen, ist aus technischen Gründen eine Abtastrate erforderlich, die mindestens doppelt so hoch ist wie die Gehör-Obergrenze. Eine Abtastrate von 44,1 kHz, wie sie auch bei der CD verwendet wird, müsste also mehr als ausreichend sein. Allerdings gibt es ein physikalisches Problem: Frequenzen, die oberhalb der halben Sample Rate liegen, können durch den Wandlungsprozess als Spiegelfrequenzen unterhalb auftauchen und zu so genannten *Aliasing*-Verzerrungen führen – ein Grund dafür, warum die erste Generation von CD-Playern nicht gerade mit Begeisterung von Audiophilen aufgenommen wurde. Zur Beseitigung dieser Störung wurden nämlich sehr steile analoge Frequenzfilter eingesetzt, die alle Frequenzen oberhalb des Hörbereichs rigoros abschneiden. Solche Filter klangen sehr harsch, weil sie starke Phasenverschiebungen erzeugen. Durch bessere Wandler-technik (Oversampling, digitale Filter) konnte dieses Problem allerdings völlig behoben werden. Warum gibt es dann heute überhaupt höhere Abtastraten als 44,1 kHz? Die Abtastrate 48 kHz wurde hauptsächlich aus technischen Gründen eingeführt: Das Filter zur Verhinderung der Alias-Verzerrungen kann dann eine geringere Flankensteilheit haben und ist somit weniger aufwändig zu realisieren. Bei 96 kHz Sample Rate kann es noch höher ansetzen, so dass auch der Übertragungsbereich bis auf 40 kHz erhöht werden kann. Es gibt Leute, die Stein- und Bein schwören, dass ihr Audiointerface bei 48 oder gar 96 kHz besser klingt als bei 44,1 kHz. Ob das wirklich an der höheren Sample Rate liegt, oder an der Qualität der Wandler, oder sogar nur ein Placebo-Effekt ist, darüber lässt sich streiten. Ein Zitat von Thomas Sandmann, einem bekannten Toningenieur und Producer:

*„Aus diesen Gründen wurden bereits sehr viele Hörtests durchgeführt, die häufig zu einem sehr interessanten Schluss führten: Ob die Testhörer wirklich in der Lage waren, Aufnahmen mit 44,1 kHz und 96 kHz zu unterscheiden, konnte nicht abschließend geklärt werden, da die klanglichen Unterschiede der verschiedenen Wandler deutlich größer waren, und zwar unabhängig von der eingesetzten Samplingrate. Diese Ergebnisse zeigen, dass auch die Erweiterung des Audiobereichs nicht der ausschlaggebende Grund sein kann, von den bisherigen 44,1 kHz auf 96 kHz umzusteigen.“*

<http://www.amazona.de/interview-thomas-sandmannhochaufloesende-audioformate/3/>

Wer einen Unterschied hört (oder glaubt ihn zu hören), den will ich natürlich nicht davon abhalten, höhere Abtastraten zu verwenden. Allerdings sei hier festgehalten: wir produzieren eine CD mit 44,1 kHz, keine SACD oder DVD-Audio. Wenn wir also eine höhere Abtastrate bei der Aufnahme verwenden, müssen wir diese am Ende wieder auf 44,1 kHz konvertieren. Ob die bei höherer Sample Rate gewonnene Klangqualität dabei erhalten bleibt? Der erweiterte Audiobereich wird dann jedenfalls wieder abgeschnitten. Dazu kommt: Die Sample-Rate-Konvertierung kann auch zur Verschlechterung des Klangs führen. Lassen Sie Ihre eigenen Ohren entscheiden. Vielleicht hilft Ihnen dieses Video von Friedemann Tischmeyer dabei, das den Konverter-Algorithmus von Cubase als nicht sehr hochwertig entlarvt:

[http://youtu.be/c\\_JGmqOw63U](http://youtu.be/c_JGmqOw63U)

Meine Empfehlung deshalb:



**Nehmen Sie immer mit der Sample-Rate auf, in der das finale Medium erscheinen soll und vermeiden Sie Sample-Rate-Konversion, wenn Sie Ihr Album selber mastern wollen.**

Etwas anderes ist es, wenn Sie ein sehr gutes Mastering-Studio damit beauftragen. Das verfügt hoffentlich über einen ausgezeichneten Sample-Rate-Konverter.

## Pegel

Pegel sind das A und O bei der Produktion von Musik. Wer damit nicht richtig umgehen kann, wird i. A. auch keine guten Ergebnisse erzielen.

Wenn wir Fehler beim Einstellen der Pegel bei *Aufnahme* und *Mix* machen, wird sich dies im Mastering nicht mehr ausbügeln lassen, deshalb müssen wir hier auch auf diese Aspekte eingehen. Wie stellt man also Aufnahme- und Mix-Pegel richtig ein?

Pegel werden in **dB (Dezibel)** gemessen. Aber was ist das überhaupt?

Es gibt absolute und relative Maßeinheiten. Meter, Pascal und Volt etwa sind absolute Maßeinheiten. Wir können damit exakt die Länge, den Druck oder die elektrische Spannung angeben. Sie eignen sich aber schlecht zum Vergleichen. Wenn wir sagen, etwas sei 1 m größer als etwas anderes, dann macht es schon einen erheblichen Unterschied, ob es sich dabei zum Beispiel um Menschen handelt – dann ist der Unterschied der zwischen einem Zwerg und einem Riesen –, oder um Wolkenkratzer – dann ist der Unterschied unbedeutend und kaum zu sehen. Für Vergleiche besser geeignet sind relative Einheiten. Eines kennen wir aus der täglichen Praxis: das Prozent. Es hat verschiedene Vorteile: es ist nicht festgelegt auf eine bestimmte physikalische Größe, sondern man kann es für ganz unterschiedliche Dinge benutzen, also Längen ebenso damit vergleichen wie Spannungen. Auch ist es sehr viel anschaulicher. Wenn wir sagen, etwas sei 25 % größer als etwas anderes, dann können wir uns den Größenunterschied bei Menschen ebenso gut vorstellen wie bei Wolkenkratzern.

In der Audio-Welt wie auch in anderen Bereichen der Signaltechnik, geht es sehr oft um Vergleiche und weniger um die absolute Größe. Warum verwenden wir dann nicht das Prozent als Maßeinheit? Das liegt daran, dass wir es mit einem sehr großen Bereich von Werten zu tun haben. Ein Mikrofon zum Beispiel produziert eine Wechsellspannung in der Größenordnung von Millivolt. Am Ausgang eines analogen Mischpults haben wir es mit Volt zu tun. Der Unterschied liegt im Bereich von hunderttausend Prozent! Wenn wir also einen Spannungsunterschied auf einem Messgerät mit Prozentskala messen wollten, können wir uns vorstellen, dass diese sehr schwer ablesbar ist. Eine solche Skala hat eine *lineare* Einteilung: alle Skalenstriche haben den gleichen Abstand, und der müsste winzig sein, damit er auf eine Skala vernünftiger Größe passt.

Besser wäre eine Skaleneinteilung, die in dem Bereich hoch auflösend ist, der uns wirklich interessiert und in anderen Bereichen, die weniger wichtig sind, eine geringere Auflösung hat. Die Dezibel-Skala erfüllt genau diese Forderung. Das Dezibel ist eine relative Einheit, die wie die Prozent-Skala ein Verhältnis zweier Werte beschreibt, allerdings in *logarithmischer* Form. Auf den mathematischen Hintergrund will ich hier nicht eingehen. Stattdessen gebe ich Ihnen eine Tabelle an, die zeigt, welchen Verhältnissen zweier Werte a und b (gerundet auf zwei Kommastellen) ein bestimmter Dezibel-Wert entspricht:

<b>dB</b>	0	1	2	3	6	10	20	30	60
<b>Verhältnis</b>	1	1,12	1,26	1,41	2	3,16	10	31,6	1000

Aus dem ersten Wertepaar lesen wir ab: zwei Signalamplituden sind gleich, wenn ihr in dB gemessenes Verhältnis 0 ist.

Diese Tabelle oben gibt an, wie viel *größer* Wert a im Vergleich zu Wert b ist, bei 6 dB zum Beispiel ist er zweimal, bei 60 dB tausendmal so groß. Die Verhältnisse (in dB) sind dann positiv.

Man kann aber auch messen, wie viel kleiner ein Wert a als ein vergleichswert b ist:

<b>dB</b>	0	-1	-2	-3	-6	-10	-20	-30	-60
<b>Verhältnis</b>	1	0,89	0,79	0,71	0,5	0,32	0,1	0,03	0,001



Das führt uns noch einen Schritt weiter, um zu einem praktisch nutzbaren Pegel-Messinstrument zu kommen: nehmen wir an, wir haben ein analoges Mischpult, das wir mit einer Pegelanzeige ausstatten wollen. Jedes Mischpult funktioniert in einem bestimmten Pegelbereich optimal. Ist die Signalspannung am Ausgang sehr gering, dann geht das Signal im elektronischen Rauschen unter, ist sie zu hoch, dann übersteuert es und verzerrt. Deshalb sind Mischpulte und andere Audiogeräte auf eine bestimmte *Bezugsspannung* festgelegt. Es gibt verschiedene Bezugswerte für unterschiedliche Bereiche, für Consumer-Geräte, Studio-Geräte, Rundfunk usw. Wir wollen hier darauf nicht näher eingehen. Wichtig ist nur: wenn die gemessene Signalamplitude diesen Bezugswert erreicht, wird der Messwert 0 dB angezeigt. Ist die Signalspannung kleiner als die Bezugsspannung, wird ein negativer, ist sie größer, ein positiver Wert angezeigt.

Das logarithmische Verhältnis einer Größe zu einer *festen Bezugsgröße* gemessen in dB nennt man **Pegel**. Meist bekommt dann die Einheit dB noch einen ergänzenden Anhang, die kenntlich macht, um welchen Bezugswert es sich handelt. So wird in *dBu* ein Pegel gemessen, dessen Bezugswert eine Spannung von 0,7746 V ist. Die Bezeichnung *dBV* bezieht sich auf eine Bezugsspannung von 1 V. Wir unterscheiden also zwischen dem Pegel, einer absoluten Größe, gemessen auf einer Skala mit definiertem Nullpunkt, und dem *Pegelunterschied* zweier beliebiger Messwerte. Wir können also auch weiterhin sagen: Pegel a ist um 3 dB höher als Pegel b, ohne die Bezugsgröße zu kennen oder eine festlegen zu müssen.

Die dB-Skala ist für die Belange der Audiotechnik besser geeignet als eine lineare, weil sie besser ablesbar ist. Man kann damit alle möglichen Signal-Amplituden vergleichend messen, sei es die elektrische Spannung, den Strom oder den Druck einer Schallwelle an unserem Ohr.

Abbildung 1 zeigt ein analoges Pegel-Messinstrument. Sie erkennen, dass die Einteilung der Skalenwerte nicht linear ist. In dem für uns interessanten Bereich um 0 herum (also in der Nähe des Bezugswerts) ist die Auflösung sehr hoch, links und rechts davon werden die Skalenabstände zunehmend kleiner.

So, nun wissen wir, wie wir Pegel messen (zumindest in der analogen Welt). Die nächste Frage lautet: welche Pegel streben wir beim Recorden, Mixen und Mastern an?

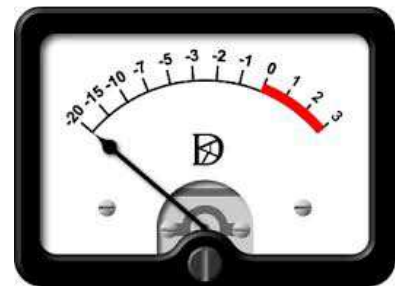


Abbildung 1: dB-Skala

### Aufnahmepegel

Jedes Audio-Interface hat entweder eine Eingangspegelanzeige oder doch zumindest ein paar LEDs, die grob über den anliegenden Signalpegel informieren. Das gilt auch für Mischpulte, dezidierte Vorverstärker und Digitalwandler. Eines müssen wir strikt vermeiden: Clipping (also digitale Übersteuerung)! Ein clippendes Signal kann nicht mehr korrekt abgebildet werden, wird verzerrt und klingt unangenehm. Ein Beispiel: Nehmen Sie ein Blatt Papier und zeichnen Sie eine Sinuswelle. Nun stellen Sie sich vor, sie wird immer weiter verstärkt, und Sie zeichnen sie mit immer größer werdenden Ausschlägen. Irgendwann ist das Papier nicht mehr hoch genug, und der obere und untere Teil passen nicht mehr drauf, wenn Sie darüber hinaus zeichnen. Das Bild zeigt dann eine gekappte Welle. Genau dasselbe passiert, wenn ein Analog-Digitalwandler versucht, ein Eingangssignal zu digitalisieren, das zu hoch verstärkt wird. Ein Teil der Welle geht verloren. Aus dem Sinus wird eine beschnittene Welle, die mehr einem Rechteck gleicht. Wenn Sie mit Synthesizern arbeiten, können Sie sich den Klangunterschied verdeutlichen. In der Regel kann man die Wellenform einstellen. Ein Sinus klingt rund und weich, eine Rechteckwelle harsch und hell. Das Eingangssignal des Mikrofons oder Instruments, das Sie angeschlossen haben, ist natürlich keine Sinuswelle, kann aber als Überlagerung von vielen Sinuswellen verstanden werden. Sie können sich dann vorstellen, was Clipping klanglich mit Ihrem Eingangssignal macht.

Was folgern wir daraus? Dass wir beim Aufnehmen sehr aufpassen müssen. Eine analog übersteuerte Aufnahme mag noch angenehm klingen (manche Produzenten nutzen die weiche Übersteuerung von analogen Tonbändern geradezu aus, um einen bestimmten Klang zu erzielen), eine digital übersteuerte Aufnahme klingt einfach nur nach Müll. Deshalb: Vorsicht walten lassen bei der Aussteuerung der Aufnahme. Manche Audio-Interfaces haben drei Leuchten: eine grüne, eine gelbe und eine rote. Grün heißt: alles OK, gelb hingegen Gefahr und rot: Clipping. Es ist in Ordnung, wenn grün oft leuchtet. Sobald es mehr als gelegentlich gelb wird: herunterregeln! Wenn es rot aufgeleuchtet: herunterregeln und Aufnahme wiederholen! Noch besser ist natürlich, wenn das Interface eine in dB geeichte Aussteuerungsanzeige hat (die kann auch in der beiliegenden Software enthalten sein). Dann sollte der Input-Pegel bei  $-15$  bis  $-10$  dB liegen, damit noch Luft nach oben (Headroom) für Pegelspitzen bleibt.

Das aufgenommene analoge Signal wird nach der Umwandlung digital auf der Festplatte gespeichert und im Mixer nachbearbeitet. Wie funktioniert eigentlich ein **Analog-Digital-Wandler**? Stellen wir uns das analoge Signal aufgetragen auf zwei Achsen vor: Die Zeitachse verläuft horizontal, und die Achse für die Signalstärke liegt vertikal (positive Schwingung nach oben, negative nach unten). Das besondere bei der Digitalisierung: sie ist keine genaue Erfassung der Schwingungszeit und der Schwingungshöhe, sondern beide Achsen sind gerastert. Gemessen wird nur, auf welche der Rasterwerte die momentane analoge Schwingung fällt.

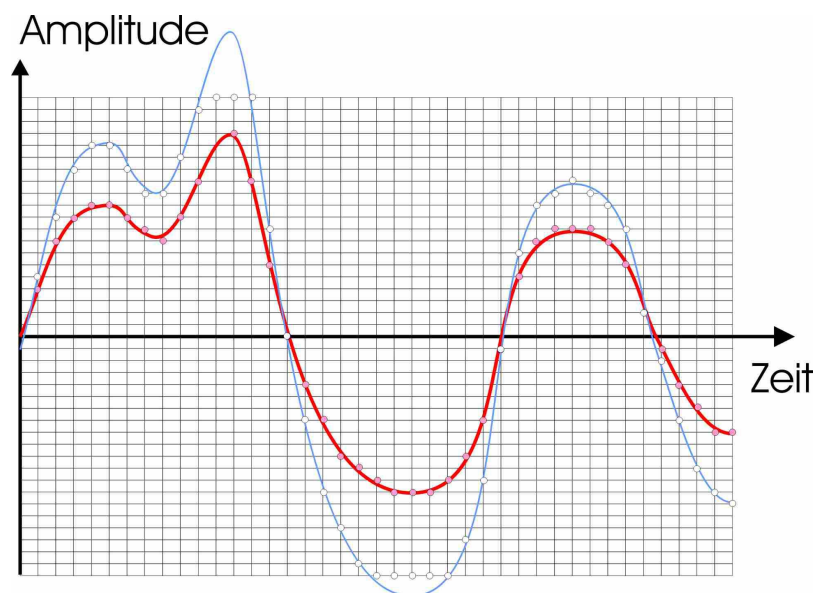


Abbildung 2: Analog-Digital-Wandlung

Im oberen Bild sehen Sie: gespeichert werden die Werte auf den Gitterpunkten, auch wenn die Kurve nicht exakt auf diese fällt. Sie wird bei der hier dargestellten groben Rasterung von nur 40 Werten (das entspricht weniger als 6 Bit Auflösung) natürlich nicht genau erfasst. Die rote Schwingung hat eine korrekte Aussteuerung. Die blaue clippt, weil sie über den Digitalisierungsbereich hinausgeht.

Bei der (späteren) Rückwandlung mit einem **Digital-Analog-Wandler** wird ein korrekt ausgesteuertes Signal nicht etwa wie vielfach falsch behauptet in eine Spannungskurve umgesetzt, die wie eine auf und ab gehende Treppe aussieht, sondern die ursprüngliche Wellenform wird durch Glättungsalgorithmen fast exakt wieder hergestellt. Lediglich unhörbare Frequenzanteile oberhalb der halben Samplingfrequenz gehen verloren.

## Mixpegel

Zurück zur Analog-Digital-Wandlung: Die Abtastrate oder Sampling-Frequenz steht für die Zeitrasterung. Bei einer Rate von 44,1 kHz wird die Signalstärke 44.100 mal in der Sekunde gemessen und digitalisiert.

Die Bitbreite steht für die vertikale Rasterung. Sie entscheidet über die Genauigkeit der Pegelmessung. Ein 16 Bit-Wandler hat z.B. einen Digitalisierungsbereich von  $2^{16} = 65.536$ , unterteilt in  $-32.768$  bis  $+32.768$  für die negative und positive Halbwelle. Die 24 Bit-Auflösung hat nicht etwa anderthalb mal so viele Rasterschritte, sondern sehr viel mehr, nämlich  $2^{24} = 16.777.216$ !

Gespeichert wird die momentane Signalhöhe als ganze Zahl, nämlich die des vertikalen Rasterpunkts, in dessen Nähe das Signal gerade fällt. Diese Zahl wird allerdings nicht im gewohnten Dezimalsystem, sondern im Binärsystem an Cubase weiter gereicht, weil Computer nur Nullen und Einsen (an und aus) speichern können. Das Dumme ist nur, dass wir überhaupt nichts damit anfangen können. Stellen Sie sich eine Anzeige vor, die uns den momentanen Wert 011001001110100100100011 (im 24 Bit-Format sind das 24 binäre Stellen) ausliest. Nicht sehr hilfreich oder? Deshalb wird das Cubase-intern wieder in einen in dB gemessenen Pegel umgerechnet und angezeigt.

Das Maß aller Dinge auf der digitalen Ebene ist die dB-Skala „dB FS“, das bedeutet *Dezibel Full Scale*. Ob wir mit 16 Bit, 24 Bit oder 32 Bit arbeiten: diese Skala ist immer gleich. Ihr Maximalwert liegt bei 0 dB FS. Zeigt die Pegelanzeige in einem Eingangskanal von Cubase diesen Wert, dann kann schon Clipping aufgetreten sein, denn höhere Werte können gar nicht mehr digital dargestellt werden. Da wir schon bei der Aufnahme auf korrekte Aussteuerung geachtet haben, sollte bei allen aufgenommenen Spuren der Pegel unter 0 dB FS liegt. Pegel unterhalb 0 dB FS werden negativ dargestellt, z.B. als  $-10$  dB.

Nun ist es aber so, dass wir die Spuren nach der Aufnahme z.B. mit den Spur-Fadern wieder verstärken können. Dabei können wir natürlich auch die 0 dB wieder erreichen oder sogar überschreiten. Darf man das?

Bei einigen älteren digitalen Mischpulten, die mit einer festen Bitbreite arbeiten, darf auf keinem Fall in irgendeinem Kanal die Clipping-LED aufleuchten. Die Kanäle sind also so auszupegeln, dass 0 dB FS niemals erreicht wird. Aber das allein reicht nicht! Stellen wir uns einmal folgende Situation bei Mixen vor:

Wir haben 20 Kanäle mit Audiosignalen. Wir stellen alle Fader so ein, dass in keinem Kanal 0 dB erreicht wird und routen sie auf die Stereo-Summe. Deren Fader stellen wir auf 0 dB. Dann wundern wir uns, warum der Pegel dort dauernd 0 dB erreicht und sogar Clipping angezeigt wird. Der Grund ist: Die Pegel der einzelnen Kanäle addieren sich (allerdings nicht linear, wie man vielleicht vermuten würde). Wie sie sich addieren, kann man leider nicht ohne weiteres vorhersagen. Es gibt nur eine Regel für die Addition zweier exakt gleicher Signale (gleicher Pegel, gleiche Frequenz, gleiche Phase): ihre Summe ist um  $+6$  dB größer als die Pegel der Einzelkanäle. Zwei identische  $-10$  dB-Signale addieren sich also zu  $-4$  dB. In der Regel haben wir es aber mit ganz unterschiedlichen Signalen auf den Mixerkanälen zu tun. Diese summieren sich nicht so stark wie gleiche Signale. Dennoch kann es bei 20 Kanälen, die mit weniger als 0 dB ausgesteuert sind, auf dem Masterbus zu Clipping kommen. Bei einem digitalen Pult mit fester Bitbreite reicht es leider nicht, den Masterfader herunter zu regeln, denn die Übersteuerung findet schon vor dem Fader statt! Das war ein Problem, mit dem die Studios mit der ersten Generation digitaler Mischpulte konfrontiert waren.

Nun kommt die gute Nachricht: Dank des 32 Bit float-Formats, mit dem Cubase intern arbeitet, ist es praktisch unmöglich, das Signal innerhalb des Cubase-Mixers zu übersteuern. Die Theorie ist mathematisch relativ kompliziert. Entscheidend ist, dass die Sample-Amplitude

nicht als ganze Zahl, sondern in 3 Bit-Blöcken als Kommazahl mit verschiebbarem Komma gespeichert wird. Das höchste Bit speichert das Vorzeichen der Schwingung. Die Position des Kommas wird im zweiten Bit-Block vermerkt. Im dritten steht dann die Amplitude der gemessenen Schwingung. Wird sie so groß, dass die 0 dB FS überschritten wird, dann wird die Kommastelle einfach nach links verschoben.

Wir haben mit dem 32 Bit Float-System viele Freiheiten beim Mix. Es gibt nur einen Punkt, wo wir aufpassen müssen: Der Stereo-Summenkanal sollte *nach dem Fader* immer einen Pegel haben, der 0 dB nicht erreicht, wenn alles, was durch dieses Nadelöhr geht, wieder in ein festes Bit-Format umgewandelt wird (etwa in 24 Bit). Denn dabei kann es zu Clipping kommen. Lediglich beim Export mit 32 Bit float wird Clipping sicher vermieden. Dennoch empfehle ich auch hier dringend, eine Aussteuerungsreserve (einen so genannten *Headroom*) einzuhalten, denn die Monitore werden ja über Wandler mit einem analogen Signal beschickt, so dass wir beim Abhören unangenehme Clipping Verzerrungen hätten, würden wir die Summe zu hoch aussteuern.

Wenn man beginnt, ein Stück abzumischen, dann ist es eine gute Regel, alle Kanal-Fader zu Anfang auf etwa  $-5$  bis  $-10$  dB zu stellen und den Masterfader auf 0 dB.



Die Abhörlautstärke wird *nicht* am Masterfader eingestellt. Dazu dient der Monitorregler an Mischpult, Audio-Hardware, Abhörverstärker oder bei der Profi-Version von Cubase der entsprechende Regler im Control-Room.

Anschließend macht man die Kanäle leiser, die im Mix zu laut erscheinen. Das Nachregeln nach oben sollte die Ausnahme bleiben. Das Wichtigste ist, zunächst eine Balance der Kanäle zu finden, einen ausgewogenen Mix. Dann schaut man sich den Summenpegel an. Ideal ist, wenn dieser in den höchsten Spitzen deutlich unter 0 dB FS liegt. Sollte das Peakmeter auf ein Maximum irgendwo zwischen  $-10$  dB und  $-3$  dB ausschlagen, ist die Welt in Ordnung. Falls es darüber liegt, regeln wir den Masterfader lieber etwas herunter, falls die Ausschläge deutlich unter  $-10$  dB liegen, schieben wir den Masterfader etwas nach oben. Warum ist dieser Bereich optimal? Eines ist klar: Die Transienten (also die kurzen Signalspitzen, die sehr wichtig sind für den Eindruck von Druck und Transparenz) sollten im Mix nicht beeinträchtigt werden. Könnten wir dann nicht bis knapp an die Aussteuerungsgrenze von 0 dB FS gehen? Besser nicht: Wir wollen beim Mastern noch etwas Headroom, also Luft nach oben haben um den Song bearbeiten zu können, ohne den Transienten gleich zu Leibe zu rücken. In der letzten Stufe des Masterings, wo es um die Erhöhung der Lautheit geht, wird dem dann auch die eine oder andere Transiente zum Opfer fallen, und wir müssen dann beurteilen, ob das klanglich akzeptabel ist. Aber diese Transientenbearbeitung sollte erst beim Mastering und nicht beim Mixen geschehen.

Den Spitzenwert in einem bestimmten Bereich zu halten, ist eine Methode der Aussteuerung beim Mixen. Es gibt aber eine meines Erachtens noch bessere Alternative: der Masterbus wird dabei so ausgesteuert, dass der **RMS**-Pegel bei ca.  $-20$  dB liegt. Das lässt einerseits genügend Headroom für das Mastering und führt andererseits zu konsistenten und miteinander vergleichbaren Mixes.

### Plug-Ins Masterbus beim Mischen?

Nicht selten verwendet ein Studioprofi im Masterbus einen so genannten Bus-Kompressor, um die einzelnen Tracks noch ein bisschen homogener „zusammenzukleben“. Bei richtiger Einstellung eines hochwertigen Bus-Kompressors kann der Klang durchaus verbessert werden, ohne die Transienten zu kappen. Leider glauben viele Homerecorder, sie könnten dies nachahmen, indem sie in die Stereosumme einen Kompressor mit Make Up-Gain oder – noch

schlimmer – einen Limiter oder Loudnessmaximizer einschleifen, der den Mix „schön laut machen“ soll. Das ist m.E. ein großer Fehler: Die Lautheitsbearbeitung ist eine Aufgabe des Masterings. Alles, was Sie dazu schon im Mix machen, schränkt die Möglichkeiten beim Mastering erheblich ein.



**Plug-Ins zur Lautheitsbearbeitung haben beim Abmischen eines Songs in der Stereosumme nichts zu suchen!**

*Kompressoren* sind in erster Linie Werkzeuge für einzelne Spuren oder allenfalls Gruppenkanäle (Drums, Background Vocals). Sie dienen dazu, zu große Dynamiksprünge einzuebnen, nicht, um den Kanal lauter zu machen. Außerdem sind sie gut, um Spuren klanglich zu bearbeiten, ihnen mehr Druck zu verleihen. Ein guter Summenkompressor kann im Masterbus Verwendung finden, allerdings nicht zur Lautheitsanhebung, sondern zur moderaten Verdichtung des Klangs ohne Beeinträchtigung der Transienten.

*Loudnessmaximizer* und *Limiter* sind streng genommen Mastering-Tools. Sie haben beim Mixen in der Regel nichts verloren, es sei denn, man verwendet sie ausnahmsweise zur Klangformung einzelner Spuren. Limiter dienen vorrangig dazu, Transienten (kurze Impulse) abzufangen und zu verhindern, dass diese zum Clipping führen. Für die Bearbeitung von Spuren braucht man sie zu diesem Zweck nicht, denn diese können im 32 Bit Float Format von Cubase ja gar nicht übersteuern. Der Masterbus wird beim Mixen so angesteuert, dass der Peak-Level stets kleiner ist als 0 dB FS. Dort wären sie also ebenfalls überflüssig.

Auch *Dithering* (mehr dazu im zweiten Teil) hat im Masterbus beim Mischen nichts zu suchen: das benötigt man nur, wenn man den Song in einer geringeren Bitbreite exportieren will, nämlich erst in der allerletzten Stufe des Masterings, wo man auf 16 Bit herunterskaliert (für die CD).

Fassen wir zusammen:

Ein guter Mix ist Voraussetzung für das Mastering. Halten Sie daher folgende Regeln ein:

- Regeln Sie die Abhörlautstärke über den Monitor-Controller, das Audio-Interface oder den Control Room Regler, nicht über den Masterfader!
- In den Spur- und Gruppenkanälen können (und sollen) Sie neben EQs und Effekten natürlich Dynamik-Plug-Ins zur Klangformung einsetzen. Diese dienen aber nicht der Lautstärkeanhebung.
- Verwenden Sie lieber keine Dynamik-Plug-Ins in der Stereo-Summe, es sei denn zur moderaten Kompression ohne Transientenbeeinflussung.
- Der maximale Spitzenpegel des Mixes in der Stereosumme sollte zwischen  $-10$  dB und  $-3$  dB FS liegen, oder der RMS-Pegel wird auf  $-20$  dB angesteuert. Diese Zielwerte erreichen Sie durch Regelung des Masterfadens.
- Exportieren Sie den fertigen Mix ohne Einsatz von Dither als 32 Bit float-Datei. Normalisieren Sie diese Datei nicht!

Warum in 32 Bit float exportieren, wenn das Projekt nur 24 Bit Audiofiles enthält? Beim Exportieren werden ja alle Bearbeitungen eingerechnet. Dadurch können Rundungsfehler entstehen. Auch wenn diese nicht erheblich und nur in Ausnahmefällen hörbar sind, ist dieser Schritt sinnvoll. Der Mehrbedarf an Speicherplatz ist für den Stereo-Mix viel geringer, als wenn wir das Projekt von vorn herein auf 32 Bit einstellten, denn dadurch würden die Audio-Dateien aller Einzelspuren in 32 Bit abgespeichert.



### Abhören

Mastern mit Monitor-Boxen oder mit Kopfhörer? Die meisten Mastering-Profis sind sich da ziemlich einig:

 **Wichtig**

**Mischen und Mastern Sie niemals *ausschließlich* mit Kopfhörer!**

Denn: Kopfhörer bilden den Klang völlig anders ab als Lautsprecher. Wenn Sie ausschließlich mit Kopfhörer mischen oder mastern, können Sie in der Regel nicht voraussagen, wie das Ergebnis – vor allem bezüglich der Raumanteile, der Stereoverteilung und der Tiefenstaffelung – auf Boxen klingt. Umgekehrt wird schon eher ein Schuh daraus: Ein Song, der auf Boxen gut klingt, wird in aller Regel auch über Kopfhörer ein Hörerlebnis sein. Natürlich ist es kein Fehler, das Misch- und Mastering-Ergebnis auf einem sehr guten Kopfhörer zu überprüfen, denn der hat durchaus auch Vorteile: die vielleicht nicht optimale Raumakustik wird ausgeblendet, der Kopfhörer reicht im Frequenzgang meist tiefer herab als ein kleiner Nahfeldmonitor und lässt eine bessere Beurteilung im Bassbereich zu. Ihre Hauptkontrollinstanz bezüglich der räumlichen Balance und Tiefenstaffelung sollte allerdings Ihre Monitore sein.

Wir können uns vielleicht nicht den Luxus leisten, superteure, hoch auflösende Monitore in einen akustisch optimierten Regieraum zu stellen, wie es die Profis tun, sollten aber doch einige Grundregeln einhalten, um unsere Songs so gut wie mit unseren bescheidenen Mitteln möglich beurteilen zu können:

#### **Benutzen Sie zum Mastern gute Studiomonitore mit linearem Frequenzgang.**

Diese müssen nicht teuer sein. Für einige hundert Euro finden Sie schon sehr gute Nahfeld-Monitore. Für Mischen und Mastern sind Zwei- oder Dreiwegboxen nach dem Bassreflex-Prinzip gut geeignet. Für Rock, Pop und Folk ohne ultratiefe Bässe darf der Basslautsprecher einen Durchmesser von 5 bis 7 Zoll haben. Für Electro-, Dance, Hip-hop oder ähnliche basslastige Musik sollten Sie größere Monitore ins Auge fassen. Beträgt der Durchmesser des Basslautsprechers weniger als 5 Zoll (12,5 cm), oder handelt es sich um eine geschlossene Box ohne Bassreflexöffnung, so wird der Tiefbassbereich für viele Musikrichtungen zu schwach abgebildet. In diesem Fall sollten Sie vielleicht die Anschaffung eines passenden Subwoovers – einer aktiven Box, die nur den Bassbereich überträgt – ins Auge fassen. Allerdings gibt es auch sehr gute und hochwertige Studiomonitore kleiner Größe, die Bässe linear bis fast 50 Hz abbilden.

Wie sieht es mit HiFi-Boxen aus? Früher hätte ich davon abgeraten, da diese vor allem den Klang verschönern und Fehler im Mix oder Master übertünchen. Allerdings habe ich gelernt, dass manche renommierte Mastering-Experten auf High-End-Boxen mastern, die eigentlich für den audiophilen HiFi-Hörer gedacht sind. Diese Boxen liegen aber in der Regel deutlich über unserem Budget. Wer exzellente, lineare und sehr transparente HiFi-Boxen sein Eigen nennt und deren Klang gut kennt, der kann natürlich damit arbeiten.

#### **Noch wichtiger als gute Monitorboxen ist ein gut klingender Raum!**

Gut klingend ist eigentlich falsch. Der Raum sollte möglichst gar nicht klingen. Hier sind wir im komplexen Bereich der *Raumakustik*, deren genauere Betrachtung den Umfang dieses Tutorials sprengen würde. Nur so viel sei gesagt: Wände, Boden und Decke reflektieren natürlich den Schall. Das führt zu Überlagerungen zwischen Direktschall (aus den Monitorboxen) und Reflektionen an unserem Abhörplatz. Deshalb sollten wir alles tun, um die Reflektionen möglichst nicht entstehen zu lassen bzw. zu dämpfen. Reflexionen im Bassbereich sind besonders kritisch, wenn die Wellenlängen mit den Raumabmessungen übereinstimmen. Dann bilden sich stehende Wellen, und der ganze Raum schwingt wie ein Resonanzkörper. Frequenzen dazwischen werden hingegen ausgelöscht. Ein würfelförmiger Raum mit gleicher



Breite, Länge und Höhe ist der schlimmste Fall und für Mastering normalerweise nicht zu gebrauchen. Räume mit Dimensionen, die nicht ganzzahlig durcheinander teilbar sind, sind viel gutmütiger. Am günstigsten sind Abmessungen, die sich etwa um den Faktor 1,6 oder ein Vielfaches davon unterscheiden. Es wäre natürlich ein Riesenzufall, wenn das bei dem von uns ins Auge gefassten Mastering-Raum der Fall wäre. Aber krumme Verhältnisse sind in jedem Fall besser als ganzzahlige. Dennoch kann man stehende Wellen und Reflexionen nicht ganz ausschließen. Wer den Etat dafür hat, der kann den Raum mit *Basstraps*, *Breitband-Absorbern* und *Diffusoren* behandeln. Solche Elemente zur akustischen Optimierung gibt es im Fachhandel. Allerdings muss man genau wissen, wo man sie aufstellen muss. Falls das Geld dafür nicht reicht: Hilfreich sind auch Teppiche, Vorhänge, Polstermöbel, Bücherregale usw. Finger weg von Eierkartons, die taugen überhaupt nicht zum Dämpfen von Resonanzen! Reflexionen lassen sich nicht vermeiden. Aber wir können vielleicht verhindern, dass sie uns zu Ohren kommen! Nämlich dadurch, dass wir den Abhörplatz und unsere Boxen um Raum korrekt platzieren:

### **Der Abhörplatz sollte nicht in der Mitte des Raumes liegen.**

Günstig ist, wenn der Abstand unseres Hörplatzes zur vorderen und hinteren Wand etwa bei rund ein bzw. zwei Drittel der Raumlänge liegt. Das Gleiche gilt für den Abstand zur rechten und linken Wand und zu Boden und Decke. Am besten wählt man eine Sitzposition vor der kürzeren Wand, so dass man zur Wand hinter sich den größten Abstand hat.

### **Monitorboxen sollten nicht in der Nähe von Flächen und Wänden aufgestellt werden.**

Der Schall wird an einer solchen Fläche reflektiert und trifft einerseits direkt vom Lautsprecher, andererseits über den Reflexionsumweg an Ihr Ohr. Das führt zu einer Phasenverschiebung der reflektierten zur direkten Welle und damit zur Abschwächung und Verstärkung bestimmter Frequenzen. Es kommt zu so genannten Kammfilter-Effekten.

An günstigsten ist die Aufstellung der Boxen auf Ständern möglichst frei im Raum. Wenn Sie die Monitore auf einem Schreibtisch oder Mixertisch aufstellen, dann achten Sie darauf, sie so zu positionieren, dass der an der Tischfläche reflektierte Schall nach dem Reflexionsgesetz (Einfallswinkel = Ausfallswinkel) Ihre Ohren nicht erreichen kann. Hier hilft der Spiegeltrick: legen Sie einen Taschenspiegel auf die Schreibtischfläche zwischen sich und eine Box und verschieben ihn auf dieser Linie. Wenn Sie von Ihrem Hörplatz aus irgendwo den Lautsprecher im Spiegel sehen, dann ist er falsch platziert. Verschieben Sie die Box (meist nach vorne zur Tischkante), bis er nicht mehr sichtbar ist.

### **Falls Ihre Boxen nicht auf Ständern stehen: Stellen Sie sie auf Unterlagen aus Akustikschaumstoff, damit sich die Schwingungen nicht auf die Tischplatte übertragen.**

Solche Pads für Monitore sind schon sehr preiswert im Fachhandel zu haben. Sparen Sie nicht daran.

### **Die Boxen sollten mit Ihrem Kopf ein gleichseitiges Dreieck bilden, d.h. der Abstand zwischen ihnen sollte ebenso groß sein wie der Abstand einer Box zu Ihren Ohren.**

Dann sitzen Sie genau in der Mitte der Stereobasis und können die Position der Instrumente besser beurteilen. Die beiden Boxen befinden sich in einem Winkel von  $\pm 30^\circ$  zur Geradeausrichtung (wenn Sie nach vorne in die Mitte zwischen die Boxen blicken). Das entspricht am besten den Hörgewohnheiten der Musikkonsumenten.

### **Stellen Sie die Boxen so auf, dass die Frontflächen zu Ihnen zeigen und die Hochtöner in Ohrenhöhe sind.**

Nur so ist eine optimale Beurteilung des Klangs gewährleistet.

### **Hören Sie im Nahfeld ab, d. h. die Boxen sollten 0,8 bis 1,50 m von Ihnen entfernt sein.**

So können Sie die negativen Einflüsse der Raumakustik (Reflexionen, Flatterechos, Raumresonanzen) minimieren.

### **Loudness oder Lautheit**

Jedes Schallereignis erzeugt Luftdruckschwankungen, die von den Trommelfellen unserer Ohren aufgenommen und vom Gehör in eine Wahrnehmung umgesetzt werden. Diese Luftdruckschwankungen lassen sich als Schalldruckpegel messen und in dB SPL (SPL: Sound Pressure Level) ausdrücken. Je größer der Schalldruck, desto lauter die Hörempfindung. Allerdings arbeitet unser Gehör nicht linear, das heißt, eine Verdopplung des Schalldrucks entspricht nicht einer Verdopplung der wahrgenommenen Lautstärke.

Eine Messgröße, die unser subjektives Hörempfinden widerspiegeln soll, ist die *Lautheit* (engl.: loudness). Sie wird in der Einheit *Sone* gemessen. Ein Schallereignis, das einen Schalldruckpegel von 40 dB SPL an unserem Ohr erzeugt, bekommt die Lautheit 1 Sone zugeordnet. Wie verhalten sich nun das physikalische Maß dB SPL und das hörphysiologische Maß Sone zueinander? Wir hören nicht bei allen Frequenzen gleich gut, sehr tiefe und sehr hohe Frequenzen erscheinen uns leiser, deshalb gilt die folgende Aussage nur für eine Frequenz von 1 kHz:

In dem Bereich, in dem wir normalerweise Musik hören, entspricht eine Erhöhung des Schalldrucks um 10 dB etwa einer Verdopplung der Lautheit. Mit anderen Worten: 50 dB SPL Schalldruck erscheinen uns doppelt so laut wie 40 dB, 60 dB viermal so laut, 70 dB 8-mal und 80 dB gar 16-mal so laut! Ein in Sone geeichtes Lautheits-Meter würde also die absolute Lautheit von 16 Sone bei 80 dB SPL Schalldruck anzeigen.

Ein Sone-Meter werden wir in Cubase vergeblich suchen, denn es kann ja nicht messen, welcher Schalldruck aus den Boxen herauskommt. Wir müssen uns daher mit Pegelmessungen und der dB-Skala begnügen und uns diese Verdopplungsregel merken.

Wir sollten außerdem beachten, dass der Begriff Loudness beim Mastern *relativ* gebraucht wird. Wie laut Musik absolut gehört wird, bestimmt der Hörer selbst, indem er den Lautstärkeregler seines Verstärkers oder Players entsprechend einstellt. Wenn wir ab jetzt von Loudness sprechen, dann meinen wir damit *nicht* die *absolute* Lautheit in Sone, sondern immer den Vergleich mit anderen, bei gleicher Einstellung des Lautstärkereglers leiser oder lauter klingenden Tracks. Was wir für das Mastern benötigen, ist eine Messgröße, in der wir solche Unterschiede angeben können.

Wovon hängt diese relative Loudness denn nun ab? Wann ist ein Track bei gleicher Einstellung des Verstärkers lauter als ein anderer? Nicht unbedingt, wenn sein Maximalpegel höher ist. Dazu ein Beispiel: Wenn bei einem abgemischten Track ein Maximalpegel von  $-0,2$  dB FS gemessen wird, der also immerhin ganz knapp unter dem Clipping-Punkt liegt, kann er doch sehr viel leiser sein als ein Track, der Pegelspitzen bei  $-5$  dB aufweist. Der Grund ist: hohe Pegelspitzen sind oft nur wenige Millisekunden lang. Diese kurzen aber hohen Impulse nennt man *Transienten*. Sie tragen sehr wenig zur Lautheitsempfindung bei. Viel wichtiger ist der zeitlich gemittelte **Durchschnittspegel**. In der analogen Studiowelt konnte man ihn halbwegs genau messen mit einem so genannten VU-Meter, einem langsam reagierenden Aussteuerungsmesser. In der digitalen Welt kann er auch berechnet werden. Man bezeichnet ihn als **RMS-Pegel**. Ein Track, dessen RMS-Pegel bei  $-10$  dB liegt, ist etwa doppelt so laut wie ein Track, der einen RMS-Pegel von  $-20$  dB besitzt, selbst dann, wenn letzter höhere Pegelspitzen aufweist. Allerdings ist RMS nicht die einzige Größe, die das Lautheitsempfinden beeinflusst. Zwei Tracks mit gleichem RMS-Pegel können dennoch unterschiedlich laut klingen, denn ebenso spielt die Frequenzverteilung der Musik eine Rolle.

Seit nicht allzu langer Zeit gibt es deshalb eine neue Einheit zur Messung der relativen Loudness, das LU (loudness unit). Loudness-Meter-Plug-Ins gibt es aktuell (2014) noch längst

nicht in jeder DAW. Ab Cubase 7 kann man die Lautheit in dieser Einheit messen. Es ist sinnvoll, sich damit genauer zu befassen, denn sie macht das Mastering viel einfacher und die Ergebnisse vergleichbar. Näheres dazu weiter unten.

### Der „Loudness War“

Diese Fehlentwicklung (übersetzt: Lautheitskrieg), findet etwa seit Mitte der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts statt. In der Pop-, Rock-, Dance- und Technomusik wurden die CDs immer lauter gemastert. Da der maximale Pegel von 0 dB FS aber nicht überschritten werden kann, geschieht das auf Kosten der Dynamik, die auf wenige dB zusammengequetscht wird, um jedes Quäntchen an Lautheit herauszuholen. RMS-Pegel von  $-5$  dB und höher sind heutzutage keine Seltenheit mehr. Aber warum denn bloß? Schließlich kann man die CD doch auch am Verstärker lauter stellen, wenn man will.

Der Grund für diesen Unfug ist die Angst, im Vergleich zu den Tracks anderer Interpreten zu leise zu klingen. Das Problem kann sich bei Mischung von Songs verschiedener Künstler ergeben, also im Radio, in der Disco, auf Musikseiten im Web oder der Zusammenstellung von eigenen Playlisten für den MP3-Player durch den Konsumenten. Nun gibt es leider einen zur Qualität kontraproduktiven psychoakustischen Effekt: Lautere Musik wird vordergründig als besser empfunden, erregt mehr Aufmerksamkeit als leise. Zwar dreht man die Lautstärke am Wiedergabegerät herunter, wenn es einem zu laut wird, doch auch dann profitieren wieder die lautereren Stücke, die dann gerade richtig zu klingen scheinen, während den leiseren der Dampf ausgeht. Also glauben viele Labelmanager und Produzenten, mit den lautesten mithalten zu müssen, um konkurrenzfähig zu sein.

Natürlich ist der Rundfunk für die Musik-Labels immer noch ein wichtiges Medium, um ihre Musik zu präsentieren und potentielle Käufer anzusprechen. Deshalb werden die meisten CDs heute für das *Airplay* – also möglichst laut – produziert. Dass dynamische Musik mit geringerer Lautheit im Radio auch leiser gesendet wird und deshalb weniger Aufmerksamkeit erregt, ist aber ein fataler Irrtum, dem leider viele maßgebliche Leute aus dem Musikbusiness aufsitzen. Tatsächlich benutzen nämlich fast alle Rundfunkstationen einen Prozessor der Firma *Orban*, der dafür sorgt, dass alle Titel der Playliste, unabhängig von ihrem tatsächlichen Pegel, etwa gleich laut gespielt werden. Zum Teil jetzt schon und noch mehr in naher Zukunft wird in Rundfunk und Fernsehen der Lautheitspegel normiert. Da die meisten Musikstücke viel lauter sind als der Normpegel, werden sie zum Teil kräftig heruntergeregelt.

Bis vor kurzem schienen laut gemasterte Tracks immerhin auf Musik-Web-Portalen den Vorteil größerer Aufmerksamkeit zu genießen, bis sich bei den großen gewerbsmäßigen Anbietern die Beschwerden häuften, dass es unmöglich sei, eine zusammengestellte Playlist von Songs verschiedener Künstler und Bands zu genießen, weil die Lautstärke erheblich schwankt. Deshalb haben große Anbieter wie I-Tunes, Spotify und andere ebenfalls eine Lautheitsnormierung durchgeführt. Ja, es gibt mittlerweile schon Hardware- und Software-Player, die alle auf Player oder PC gespeicherten Stücke mit gleicher Lautstärke wiedergeben und dem Hörer das ständige Nachregeln zu ersparen.

Der scheinbare Vorteil stark komprimierter gegenüber wenig komprimierter Musik wird bei angeglichenem Loudness-Pegel zu einem klaren Nachteil: an die Decke genagelte Tracks, sind auf einmal drucklos, nicht transparent und klingen verzerrt, dynamischere Songs (bei denen es also deutliche Unterschiede zwischen Spitzen- und Durchschnitts-Pegel gibt), klingen durchsichtiger, klarer und detailreicher. Dennoch glauben leider immer noch viele, die es eigentlich besser wissen sollten, dass Musik sich besser verkauft, wenn sie bis an die Schmerzgrenze komprimiert ist. Studien zeigen, dass das solche Musik schnell ermüdend wirkt und als unangenehm empfunden wird.

Doch zum Glück findet allmählich ein Umdenken statt. In der Pop- und Rockmusik setzt sich (hoffentlich unaufhaltsam) die Erkenntnis durch, dass dieser Lautheitswahn in die Irre führt. Man mastert oft wieder leiser und dynamischer. Es wird aber wohl noch eine Weile dauern, bis sich auch in Hiphop, Techno und Metal der Trend umkehrt.

Auf das Thema Lautheit und Dynamik gehe ich noch in einem Extrakapitel am Ende dieses Tutorials ausführlich ein.

### Die richtige Abhörlautstärke

Das ist ebenfalls eine Frage, die selbst unter Experten sehr kontrovers diskutiert wird. Auch wenn wir nicht über die Möglichkeit verfügen, unsere Monitore auf eine standardisierte Abhörlautstärke zu kalibrieren, sollten wir uns darüber ein paar Gedanken machen:

Bis heute gibt es keinen festgelegten Standard für die Abhörlautstärke in Tonstudios. Jeder stellt die Monitore nach Gutdünken ein. Wenn man Mastering-Experten fragt, wie laut abgehört werden soll, dann erhält man widersprüchliche Antworten. Ein häufiger Vorschlag ist, bei 85 dB Schalldruckpegel zu mischen und mastern. Der Grund dafür: Das Gehör funktioniert nicht linear. Bei geringen Lautstärken werden mittlere Frequenzen im Bereich zwischen 2 und 5 kHz deutlich lauter wahrgenommen als Bässe und Höhen. Je höher die Abhörlautstärke, desto geringer sei diese Mittenüberhöhung, und bei etwa 85 dB SPL – so wird argumentiert – arbeite das Gehör am linearsten.

Allerdings ist das schon sehr laut, und ich gehöre zu den nicht wenigen, die nicht auf Dauer dabei arbeiten können. Das Gehör ermüdet, und irreversible Schäden nach vielen Stunden oder gar Tagen Mastering bei dieser Lautstärke sind nicht ausgeschlossen. Die immer noch geäußerte Meinung, dass erst Schalldrücke über 90 dB zu dauerhaften Hörschäden führen, lässt sich nach heutigen Erkenntnissen nicht mehr halten. Ich zitiere dazu aus einem Fachbuch: „Ab 85 dB sind erste Schäden bei Dauerbeschallung an Hörzellen möglich.“ (Dr. med. Helmut Schaaf, Manfred Nelting: *Wenn Geräusche zur Qual werden*, Trias Verlag 2003).

Wenn man dies alles weiß, dann sollte es doch eigentlich logisch sein, dass man beim Mastern als bevorzugte Abhörlautstärke die wählen sollte, bei der auch der Großteil der Musik-Konsumenten hört. Dazu gibt es zwar keine genauen Untersuchungen aber durchaus Hinweise. Ich vermute, die durchschnittliche Consumer-Lautstärke liegt eher im Bereich 77 bis 80 dB SPL als bei 85 dB SPL. Aber was bedeutet das für unsere Abhörlautstärke beim Mischen und Mastern? Wir haben ja keine kalibrierten Monitore. Ich schlage Ihnen dazu folgende, wenn auch etwas unpräzise Regel vor:



Hören Sie in einer gehobenen Lautstärke ab, die Sie auch zum genussvollen Konsumieren von Musik einstellen würden. Wichtig ist, dass Sie mit dieser Lautstärke stundenlang hören können, ohne dass Ihre Ohren ermüden oder es Ihnen unangenehm wird.

Die Abhörlautstärke darf aber auch nicht zu gering sein, sonst können Sie Bässe und Hochtonbereich nicht richtig beurteilen.

Lassen Sie diese Lautstärke fest eingestellt und benutzen Sie sie immer beim Mastering! Benutzen Sie den DIM-Schalter an Ihrem Interface oder im Cubase Control-Room, um Ihre Songs vorübergehend bei leiserem Pegel zu überprüfen.

Wie Sie die Monitore auf diese für Sie optimale Lautstärke kalibrieren, werden Sie im dritten Teil erfahren.

## Anhang

### RMS-Pegel und Crest-Faktor

Wenn man Musikstücke in der Lautheit vergleichen oder ihre Lautheit in Bezug auf den absoluten Nullpunkt der dB-Skala, nämlich 0 dB FS, ausdrücken will, hatte man bis vor kurzem nur eine Möglichkeit: den Durchschnittspegel (RMS). Allerdings ist der als Lautheitsmaß nicht sehr genau, denn er berücksichtigt nicht die Frequenzverteilung des Programm-Materials, die auch ein Stückweit zur Lautheitsempfindung beiträgt. Basshaltiges Material wirkt bei gleichem RMS-Pegel leiser als mittiges bis höhenreiches.



**Außerdem ist RMS nicht gleich RMS!**

Diesen Satz muss ich hervorheben, denn es gibt kaum größere Verwirrung, selbst unter Mastering-Profis, als über die Frage, was denn nun eigentlich die korrekte Definition für den RMS-Pegel ist. Es existieren zwei unterschiedliche Skalen für die RMS-Anzeige. Eine ist mit einem Sinus-Ton (nach der Norm AES17), die andere mit einer Rechteckwelle geeicht. Letztere wird manchmal als „True-RMS“ bezeichnet, weil ihr Wert dem mathematisch berechneten entspricht.

Um zu verstehen, warum es zwei Skalen gibt, müssen wir die Historie betrachten. Vor der digitalen Ära hat man der Mittelwert einer elektrischen Schwingung mit trägen analogen Drehspulinstrumenten gemessen. Diese wurden mit einem Sinuston mit einer festgelegten Spannungsamplitude und einer Frequenz von 1 kHz geeicht und dieser Wert als 0 dB festgelegt. Der berechnete RMS-Wert dieser Schwingung ist um 3 dB kleiner als der Spitzenwert. Die Tonmeister und Ingenieure wollten aber ein Messgerät, das sich leicht eichen ließ, und zwar nicht auf -3 dB sondern auf 0 dB. Peaks konnten sie mit ihren trägen Instrumenten sowieso nicht messen, und es war ohne praktische Bedeutung, dass der Spitzenwert beim Sinus 3 dB höher ist, als der dargestellte Wert, solange sie ihre Aufnahmen mit ausreichendem Headroom gegen Verzerrungen aussteuern konnten. Es hat sich also in dieser Zeit eingebürgert, Pegelmessgeräte – unabhängig davon, wie schnell ihre Ansprechzeit war – mit einem Sinuston einer festgelegten Bezugsspannung auf 0 dB zu eichen. Mit dem Start der digitalen Ära waren diese Pegelmesser noch für lange Zeit im Gebrauch, denn es wurde ausschließlich auf analoger Ebene gemischt. Mit der Zeit wurden die Messinstrumente immer schneller und genauer und konnten auch Peaks einigermaßen erfassen. Es etablierten sich dann viele neue, von Land zu Land unterschiedliche Standards: Messgeräte mit verschiedenen Skalen, verschiedenen Bezugsspannungen für die 0 dB-Markierung und unterschiedlichen Ansprechzeiten. Sie konnten aber sehr kurze Peaks nicht darstellen, deshalb lag der Skalenstrich für 0 dB nie am oberen Ende der Skala, sondern es gab immer einen Headroom, also eine Aussteuerungsreserve. Gemeinsam war ihnen, dass ihre Skalen mit einem Sinussignal geeicht wurden. Einige dieser Meter findet man auch in Cubase ab Version 7. Erst sehr viel später gab es digitale Mischpulte und noch später DAWs (Digital Workstation: Computer + Studio-Software). Der Spitzenpegel konnte nun Sample-genau gemessen werden. Aber wie wird seitdem die RMS-Skala geeicht?

Da gibt es zum einen die schon genannte Norm AES17, die besagt, die Skala soll 0 dB FS anzeigen, wenn ein Sinuston (von 997 Hz) mit seinem Spitzenwert (Peak) die Clipping-Grenze (also die maximale digital darstellbare Amplitude) erreicht. Das hört sich erst einmal unlogisch an: Peak-Pegel = RMS-Pegel? Aber das ist nur deshalb verwirrend, wenn (wie im Cubase-Meter) beide Werte im gleichen Mess-Instrument dargestellt werden. Sie haben eigentlich nichts miteinander zu tun, denn sie werden ja völlig unterschiedlich gemessen. Der



RMS-Pegel wird über einen längeren Zeitraum (meist 300 ms) gemessen und gemittelt. Bei komplexen Signalen wie Musik oder rosa Rauschen ist der nach AES17 gemessene RMS-Pegel kleiner als der Peak-Pegel. Lediglich beim Sinus ist er gleich. Es gibt aber bei dieser Definition des RMS-Pegels eine Anomalie: ein Rechtecksignal mit einem Peak bei 0 dB FS würde auf der RMS-Skala +3 dB zeigen!

Einige kamen nun auf die Idee, diese Anomalie zu korrigieren und zogen daher für die Kalibrierung der Skala 3 dB ab (das entspricht der Eichung des RMS-Pegelmessers mit einer Rechteckwelle). Und so führten viele Hersteller digitaler Hard- und Software den neuen RMS-Standard ein, was noch heute zu einiger Verwirrung führt. Wenn ein RMS-Meter nach der ersten Definition (Sinus-geeicht) z.B. -10 dB anzeigt, würde ein Messinstrument nach der zweiten Definition (Rechteck-geeicht) -13 dB anzeigen.

Und jetzt wird es noch komplizierter: die Differenz zwischen dem Spitzenwert und dem RMS-Pegel bezeichnet man als **Crest-Faktor**. Er ist ein guter Wert für die Mikrodynamic des Mixes und sagt aus, um wie viel dB die kurzen Transienten über dem Durchschnittspegel liegen. Der Crest-Faktor wird also davon beeinflusst, wie man den RMS-Pegel misst. Die RMS-Messung nach der zweiten Definition (Rechteck-geeicht) führt zu einem um 3 dB höheren Crest-Faktor, das bedeutet aber in der Praxis nicht etwa mehr Dynamik, sondern weniger! Kommen wir dazu noch einmal auf das obere Beispiel zurück: zeigt ein RMS-Meter nach AES 17 -10 dB an, dann würde es nach der zweiten Definition geeicht -13 dB anzeigen. Wenn man den Masterfader um 3 dB nach oben zieht, zeigt es nun ebenfalls -10 dB an. Tatsächlich ist der Mix aber 3 dB lauter geworden und der Headroom ist um 3 dB gesunken. Man muss also früher begrenzen, um Clipping auszuschließen. Die Dynamik dieses Mixes ist um bis zu 3 dB geringer als die des nach AES 17 angesteuerten!

Aktuell (2014) sind Pegelmesser der meisten DAWs und Plug-Ins (mit Pegelanzeige) nach der zweiten Definition skaliert. Diese manchmal so genannte „echte“ RMS-Skala zeigt also einen um 3 dB niedrigeren Wert an als die „klassische“ Skala (nach AES17). Die Frage, welche denn die „korrekte“ RMS-Definition ist, ist strittig, aber eigentlich zweitrangig. Mathematisch betrachtet, ist der Crest-Faktor nur mit dem „echten“ RMS-Wert zu ermitteln. In Hinblick auf die Lautheitsmessung und die Übersteuerungssicherheit von digitalisierten Audiosignalen ist aber die „klassische“ AES17-Definition sinnvoller und praxisgerechter, denn alle bisherigen Empfehlungen für eine Genre- und Musik-abhängige Ziel-Lautheit beim Mastering beruhen auf der AES17-Definition des RMS-Pegels, auch wenn sie mathematisch gesehen nicht die korrekte ist.

Ich möchte das an zwei ganz konkreten Beispielen erläutern:

Hören Sie sich einmal einen Sinuston (Cubase Test-Generator) an. Mathematisch betrachtet hat er einen Crest-Faktor von 3 dB, weil der Durchschnittswert des Sinus-Pegels 3 dB niedriger ist als sein Maximalpegel (Amplitude). Aber was Sie hören ist ein absolut statischer Ton mit keinem Hauch von Dynamik. Musikalisch betrachtet macht es daher keinen Sinn, dem Sinuston einen Crest-Faktor (sprich Dynamikbereich) ungleich Null zuzuordnen. Die AES-17-Definition, die zu einem (mathematisch nicht korrekten) „Crest-Faktor“ der Sinus-Schwingung von 0 dB führt, entspricht mehr unserer Wahrnehmung von Dynamik. Mit anderen Worten: bei gleichförmigen, statischen Signalen ist der mathematisch definierte Crest-Faktor kein gutes Maß für die empfundene Dynamik.

Das andere Beispiel ist Musik: kein noch so heiß gemasterter Track kann jemals den Crest-Faktor 0 dB erreichen. Der bisher erreichte Rekord im Todquetschen liegt bei ca. 3 dB (nach der AES17-Definition). Der Track hätte dann einen RMS-Pegel, der 3 dB unter seinem Spitzenpegel liegt. So stark komprimierte Musik klingt in den allermeisten Fällen völlig ungehörbar. Gemessen mit der so genannten „echten“ RMS-Skala läge der RMS-Pegel aber 6 dB unter dem Peak-Pegel, hätte mathematisch betrachtet also einen Crest-Faktor von 6 dB. Das



könnte manchen Mastering-„Experten“ dazu veranlassen, noch stärker zu komprimieren und zu begrenzen, um noch ein Quäntchen Lautheit mehr herauszukitzeln. Sie können sich dann vorstellen, wie die Musik klänge, wenn der Crest-Faktor nach der „echten“ Skala bei 3 dB läge, nämlich völlig gleichförmig und ohne jede Dynamik. Der mathematisch korrekte Wert des Crest-Faktors mit dem „True“-RMS-Wert nach Definition 2 ist also nicht gut geeignet, die Mikroynamik der Musik zu beschreiben. Es ist daher empfehlenswert, die „musikalische“ Definition zu verwenden, d.h. den RMS-Pegel nach der Norm AES17 zu messen.

Um keine weitere Verwirrung zu stiften, vermeiden wir am besten zukünftig den Begriff des Crest-Faktors, wenn wir von AES17 sprechen, und verwenden lieber den Ausdruck **Dynamic Range**.

 **Wichtig**

**Wir legen hier fest: Die Differenz zwischen dem Peak-Pegel und dem nach AES17 gemessenen RMS Pegel heißt **Dynamic Range**.**

(Diese Definition entspricht keiner technischen Norm, sondern ist ein von Friedemann Tischmeyer eingeführter Sprachgebrauch.)

Bis zur Version 6 besaß Cubase überhaupt noch kein RMS-Meter. Ab Cubase 7 gibt es verschiedene Meter-Optionen im Control Room Mixer. Steinberg konnte sich aber nicht dazu entschließen, die AES17-Definition zum Standard zu machen, wahrscheinlich, weil die Mehrzahl der Konkurrenz-DAWs die andere RMS-Definition verwendet, die bei gleich angezeigtem Wert zu laueren (und undynamischeren) Mixes führt. Wieder ein Kollateralschaden des Loudness-Wars? Wenigstens gibt es in der Meter-Anzeige die Option, diese Skaleneichung zu aktivieren.

 **Wichtig**

**Die RMS-Anzeige in Cubase sollte generell auf die Option AES17 eingestellt sein. Insbesondere die Skalen nach dem K-System (K20, K14 und K12) zeigen nur richtig an, wenn die Schaltfläche aktiviert ist!**

**K-System?** Was ist denn das schon wieder? Der Mastering-Guru *Bob Katz* wollte dem Loudness-War zu Leibe rücken und hat diese modifizierten RMS-Skalen eingeführt, um abhängig von der Art der Musik den optimalen Loudness-Pegel im Mastering zu finden. Für sehr dynamische Musik wie z.B. sinfonische schlug er  $-20$  dB RMS als Ziel vor. Seine K20-Skala hat deshalb ihren Null- (und gleichzeitig Ziel-)punkt bei  $-20$  dB RMS (gemessen nach AES17). Für Popmusik gibt es die K14 Skala ( $-14$  dB RMS), für Broadcasting (also Mastering für Rundfunk) oder relativ undynamische Musik (Metal, Hiphop, EDM) hat er seine K12-Skala mit dem Zielpegel  $-12$  dB RMS vorgeschlagen. Bis vor kurzem habe ich auch mit diesen Skalen gearbeitet. Allerdings sind wir heute einen Schritt weiter, denn wir haben inzwischen eine bessere Messgröße als dB RMS, nämlich das LU (Loudness Unit).

### **Die Messung der relativen Lautheit und die neue Loudness-Einheit LU bzw. LUFS nach EBU R128**

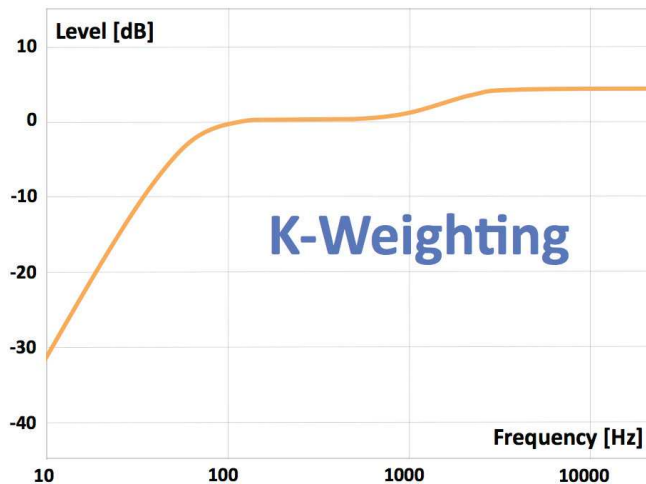
Wie kam es dazu?

Jeder kennt das Problem: bis zum Jahr 2012 waren die Werbeblöcke im Fernsehen immer deutlich lauter als das eigentliche Programm. Klar, die Werbefritzen wollten Aufmerksamkeit, wollten einen quasi aus dem Sessel hauen mit ihrem „überragenden“ Produkt, also haben sie uns wie die Marktschreier mit ihrer Werbung angebrüllt. Den Fernsehzuschauer nervte das weltweit, deshalb wurde eine internationale Expertenkommission (innerhalb der ITU, der International Telecommunication Union) eingerichtet, die sich mit dem Problem befassen sollte. Diese schlug eine Lautheitsnormierung vor, damit alle Teile des ausgestrahlten Fernsehprogramms bei dem beim Zuschauer eingestellten Volumen gleich laut klingen: jeder

Film, jede Reportage und natürlich auch die Werbung. Dazu musste man aber erst einmal festlegen, wie Lautheit überhaupt vergleichend gemessen werden soll. Herauskam das LU. Es entspricht etwa einem dB, wird aber durch ein Frequenzfilter gemessen, das die Gehörempfindlichkeit berücksichtigt:

Das funktioniert vereinfacht so:

Alle Signale des Programms (sei es mono, Stereo oder 5.0 Surround) durchlaufen einen eigenen Messkreis. Am Anfang dieses Kreises steht das Bewertungsfilter, das Bässe unter 100 Hz steilflankig ausblendet, da sie bei durchschnittlichen Lautstärken nicht viel zur Lautheit beitragen. Obere Mitten und Höhen werden jedoch in der Messung überproportional berücksichtigt, weil das Gehör zwischen 2 und 5 KHz am empfindlichsten ist. Nach der Bewertung wird von jedem Kanal ein Mittelwert über den Zeitraum 400 ms gebildet.



**Abbildung 3:** K-Gewichtung des Frequenzspektrums. Quelle: "Tech 3343-2011v2 Practical guidelines for Production & Implementation of R 128"

Bleiben wir der Einfachheit halber beim Stereo-Format, das für uns am

wichtigsten ist: die beiden Signale werden dann summiert und geben zuerst einmal die momentane Lautheit. Die Einheit ist **LUFS** (FS: Full Scale) und bezieht sich wie auch jede dB-Skala auf den absoluten Nullpunkt 0 dB FS. Ihr Wert ist in der Regel negativ, kann aber bei extrem höhenreichem Material (Rechteckwelle, weißes Rauschen) sogar positive Werte erreichen. Neben diesem absoluten Wert kann man Lautheitsunterschiede in LU ausdrücken. Dabei entspricht praktischerweise 1 LU einem dB. Wir müssen also nicht umdenken, was die gewohnte Pegelmessung angeht. Der größte Unterschied zwischen dB RMS und LUFS ist der, dass die RMS-Messung kein Bewertungsfilter durchläuft und deshalb nicht die frequenzabhängige Lautheitsempfindung des Gehörs berücksichtigt.

Nebenbei bemerkt: vergleicht man die Loudness in LUFS mit dem RMS-Pegel, der ja nicht frequenzgewichtet ist, so ist die Abweichung für rosa Rauschen – das ja ähnlich komplex ist wie Musik – relativ gering, wenn RMS nach AES17-Standard gemessen wird. Die Differenz zum „echten“ RMS-Pegel ist allerdings deutlich!

Neben diesem momentanen Wert (*M*: *momentary loudness*) zeigt ein LU-Meter nach EBU R128 noch zwei weitere Werte an, nämlich einen Kurzzeitwert, gemittelt über 3 Sekunden (*S*: *short-term loudness*) und einen integrierten Wert (*I*: *integrated loudness*), gemittelt über die ganze Programmlänge. Das kann ein einzelner Song oder aber ein ganzer Spielfilm sein. Wir können also damit die Durchschnittslautheit einer abendfüllenden Sendung messen. Und genau darauf kam es den Entwicklern an: sie legten fest, dass jeder Beitrag im Fernsehprogramm gemittelt über seine Länge exakt gleich laut sein soll, und definierten als Zielmarke – **23 LUFS**. Dieser Wert gilt in den meisten europäischen Ländern als Standard für Fernsehsendungen. (Andere Länder wie USA und Japan haben leicht abweichende Standards.) Auch viele Rundfunksender richten sich neuerdings nach diesem Wert, nur die deutschen Sender hinken noch hinterher. Seit 2012 überlegt man, wie man das umsetzen soll. Der Trend ist aber unaufhaltsam, und in einigen Jahren wird das auch Standard beim Rundfunk sein.

Übrigens: Stille und leisere Stellen werden beim integrierten Wert (*I*) nicht mit gemessen. Zwei Gates (ein absolutes Gate bei -70 LUFS und ein relatives Gate bei -10 LU unter dem

bis dahin gemessenen Loudness-Level) blenden diese aus dem Messkreis aus. Die Messung wird nur an Material vorgenommen, das den Schwellenwert der Gates überschreitet. Der Grund: man wollte verhindern, dass findige Werbespot-Produzenten in einem mehrsekündigen Spot zunächst sehr leise beginnen, um dann mit voller Wucht zur Lautheitsbegrenzungsvermeidung anzusetzen. Der Clip könnte ja dann in voller Länge die Norm von  $-23$  LUFS erfüllen. Dieses Schlupfloch hat man durch die gegatete Messung erfolgreich geschlossen.

Es gibt noch einen Wert, den ein nach EBU R128 genormtes Loudness-Meter anzeigt: den **Loudness Range (LRA)**. Dieser quantifiziert die Loudness-Änderung über die Zeit, gibt also eine Art makroskopischer Dynamik an. Er ist nicht vergleichbar mit dem Dynamic Range oder dem Crest-Faktor, der die Mikrodynamik der Musik beschreibt.

Was hat EBU R128 aber mit dem Mastering zu tun? Es betrifft zunächst nur die Spezialisten, die für das Fernsehen mastern. Ein Beitrag, der nicht dieser Norm entspricht, würde abgewiesen. Bei Musik für CD, Radio, Internet muss die Norm (noch) nicht eingehalten werden, und Musik-Master mit diesem Loudness-Pegel ließen sich heute auf freiwilliger Basis kaum durchsetzen, denn  $-23$  LUFS ist erheblich leiser als der durchschnittliche Pegel gemasterter aktueller Musik. Ich will Sie auch nicht dazu bringen, diese Ziel-Loudness anzustreben, denn selbst hyperdynamische Musik wie etwa eine Sinfonie würde den dadurch gegebenen Headroom für Dynamik nur selten ausnutzen, ganz zu schweigen von Pop, Rock oder noch lauterem Genres.

Was aber Sinn macht, ist, den Bezugspunkt des Pegels nicht auf  $0$  dB FS zu legen und zu versuchen, da möglichst nahe heran zu kommen (dann erhalten wir extrem undynamische Masters ohne Punch, Impact und Transparenz), sondern die Zielmarke auf eine Loudness zu setzen, die der Musik und ihrer Dynamik angemessen ist. Sie variiert zwischen  $-20$  LUFS für extrem dynamische Musik wie Klassik oder bestimmte Sub-Genres von Jazz bis hin zu  $-8$  LUFS für Heavy Metal und EDM.

Cubase hat ja ab Version 7 ein Loudness-Meter. Nutzen wir es, statt den Master an die  $0$  dB FS-Decke zu nageln!

### Spitzenpegel

Sie fragen sich jetzt vielleicht, ob der mit dem Peak-Meter gemessene Spitzenpegel beim Mastering keine Rolle mehr spielen soll? Die Antwort lautet: natürlich ist er nach wie vor wichtig, zwar nicht als Zielwert der Aussteuerung, aber als oberste Grenze, denn wir müssen ja Clipping vermeiden. Manche (sogar solche, die nach eigenen Angaben professionell mastern!) sehen das Problem damit gelöst, dass sie am Ende der Kette einen Brickwall-Limiter einsetzen, der auf  $0$  dB FS eingestellt ist, in der Hoffnung, damit alle Probleme digitaler Verzerrung vermeiden zu können. Weit gefehlt!

Das, was nach wie vor die Mehrzahl der Meter in DAWs und Plug-Ins anzeigt, ist nämlich kein korrekter Spitzenwert, jedenfalls wenn man die weitere Verarbeitung des Signals und seine Rückwandlung in ein analoges mit berücksichtigt. Wenn nämlich ein Limiter das Signal auf  $0$  dB FS begrenzt und das Peak-Meter dies auch anzeigt, dann gibt es mindestens ein Sample, das bei  $0$  liegt. Wenn wir aber immer lauter mastern, dann werden aus diesem eine Kette von sehr vielen hintereinander liegenden. Dass dieses dann zu einer Verstümmelung der Wellenform in Richtung Rechteck führt, dürfte augenscheinlich sein. Der Limiter beginnt zu verzerren. Deshalb haben die meisten Meter eine Overload-Anzeige, die warnt, wenn mehrere aufeinander folgende Samples der Schwingung gekappt worden sind. Manche Peakmeter geben bereits bei drei aufeinander folgenden Nullen eine Overload-Warnung, manche aber erst bei 10 oder mehr. Selbst samplegenaue Spitzenwertanzeigen (SPPM: Sample Peak Program Meter) geben also nur einen über einige Samples gemittelten Wert an. Nun könnte man denken, dass es unhörbar ist, wenn die Reaktionszeit nur kurz genug ist und nur wenige Sam-

ples hintereinander den Wert 0 zeigen. Das ist aber nicht immer der Fall. Bei der Rückwandlung in ein analoges Signal (z.B. durch den CD-Player des Hörers) kommt es nämlich zu so genannten *Interleaved Sample Peaks*, das heißt die reproduzierte Wellenform überschreitet den Grenzwert des Wandlers zum Teil um mehrere dB, und wenn dieser, wie es bei preiswerten Playern oft der Fall ist, über keinen ausreichenden analogen Headroom verfügt, dann kann das zu hörbaren Verzerrungen führen.

Ein Zitat von Friedemann Tischmeier hierzu:

*„Zeigt das SPPM-Verfahren gelegentlich ein einzelnes Sample an, das die 0-dB-Marke streicht, so mag das in Ordnung sein. In der Realität sieht das heutzutage jedoch völlig anders aus. So ist bei Analysen auffällig, dass auf vielen CDs bis zu 100 Samples in Folge förmlich gegen 0 dBFS genagelt sind. Selbst das Einbauen eines Sicherheits-Headrooms, bei dem 100 Samples in Folge beispielsweise nur bis -0,3 dB reichen, führt bei der DA-Wandlung zu einer satten Übersteuerung von bis zu sechs Dezibel.“*

(Quelle: <http://www.delamar.de/mastering/true-peak-level-14815/2/>)

Mit anderen Worten: Ein normales Sample Peak Program Meter, wie es heute (2014) in DAWs oder Plug-Ins der Standard ist, schützt nicht vor Overload. Am Ausgang des Digital-Analog-Konverters eines CD-Players können bis zu 6 dB über 0 ankommen, was auch der Grund ist, warum so viele „heiß“ gemasterte CDs verzerrt klingen!

Was kann man tun, um Interleaved Sample Peaks zu verhindern? Es gibt zwei Möglichkeiten:

1. Threshold des Limiters nicht auf 0 dB FS, sondern auf z.B. -0,5 dB FS stellen. Das bietet aber nur eine trügerische Sicherheit. Peaks zwischen den Samples sind immer noch möglich.
2. den wahren Spitzenwert messen (*True Peak*).

Wie funktioniert ein True Peak-Meter?

Es bedient sich des Tricks des *Oversamplings*: Die Sample-Rate wird intern im Messkreis vervielfacht, sodass das Abtastraster verfeinert wird. Einfaches Oversampling bedeutet dabei eine Verdopplung der Abtastrate (also z.B. 88,2 kHz, wenn die Sample-Rate 44,1 kHz beträgt), zweifaches Oversampling eine Vervielfachung, dreifaches eine achtmal höhere und vierfaches Oversampling eine sechzehnmal höhere Sampling-Frequenz!

Jedes Loudness-Meter nach EBU R128 bietet auch eine True Peak-Anzeige mit vierfachem Oversampling. Wir haben uns also mit noch einem Pegelmaß auseinanderzusetzen, oder wenn wir es positiv sehen, anzufreunden: dB TPL (Dezibel True Peak Level). Material, das nach diesem Standard an Sendeanstalten geliefert wird, darf einen Wert von -1 dB TPL nicht überschreiten. Für normales Musikmastering gilt das zwar nicht, aber wir sollten, um Interleaved Sample Peaks auf unserem Endprodukt, sei es CD oder ein datenreduziertes Format wie MP3, zu vermeiden, auf jeden Fall den True Peak Level messen und begrenzen. Cubase ab Version 7 ermöglicht die Messung von True Peak, ebenso wie viele moderne Brickwall-Limiter.

Was aber, fragen Sie sich vielleicht, wenn ich eine frühere Version von Cubase habe, die noch keine Möglichkeit bietet, Loudness und True Peak Level zu messen? Kann ich dann nicht mastern?

Die Antwort lautet: natürlich können Sie das. Sie haben zwei Möglichkeiten:

1. Sie benutzen das normale Meter des Control-Rooms von Cubase, limitieren aber den Masterbus auf -0,5 dB Peak oder darunter und fahren Ihren Master nicht zu heiß. Wählen Sie als Zielpiegel zum Beispiel einen der von Bob Katz vorgeschlagenen, z.B. -14 dB RMS oder -12 dB RMS (den RMS-Wert können Sie in Cubase bis Version 6 nicht ablesen. Sie benötigen dafür ein externes Meter-Plug-In). Das schützt Ihre Hörer nicht sicher vor Overloads beim Abspielen Ihrer CD, aber die möglicherweise auftretenden Verzerrungen dürften kaum bis gar



nicht hörbar sein. Über  $-10$  dB RMS sollten Sie aber nicht gehen, wenn Sie den True Peak Level nicht messen können. Die bessere Möglichkeit ist:

2. Schaffen Sie sich ein EBU R128 Meter an. Professionelle Mess-Plug-Ins nach diesem Standard können sehr teuer sein. Zum Glück gibt es auch sehr preiswerte oder sogar kostenlose, die fast keine Einschränkungen haben. Im zweiten Teil werde ich Ihnen welche vorstellen.

## Hörempfindlichkeitskurven

Das menschliche Gehör ist nicht für alle Frequenzen des Hörbereichs gleich empfindlich. Trägt man den Schalldruck, der bei einer bestimmten Frequenz nötig ist, um eben diese Frequenz mit einer festgelegten Lautstärke wahrzunehmen, gegen die Frequenz auf, so erhält man eine so genannte *Hörempfindlichkeitskurve*. Abhängig von der Messanordnung gibt es verschiedene, nicht unbedingt miteinander übereinstimmende Ergebnisse. Die bekannteste und am häufigsten zitierte dieser Hörempfindlichkeitskurven ist die von *Fletcher* und *Munson*. Inzwischen gibt es neuere und genauere Messungen, die auch in internationalen Normen verankert sind:

Die Grafik zeigt mehrere Hörempfindlichkeitskurven für unterschiedliche in Phon gemessene Lautstärkepegel: bei einem kHz entspricht der Lautstärkepegel dem Schalldruck des Testtons in dB SPL, bei anderen Frequenzen weichen Lautstärkepegel und Schalldruckpegel von einander ab.

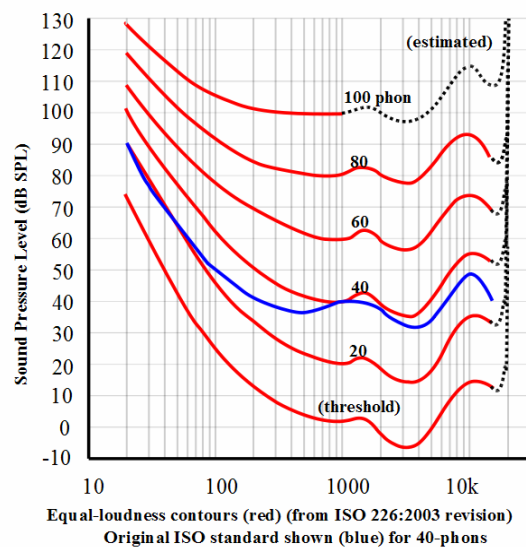
Allen Kurven gemeinsam ist offenbar: im Bereich zwischen 2000 und 5000 Hz, wo die Kurven ihr Minimum haben, ist das Gehör am empfindlichsten, sprich: es wird am wenigsten Schalldruck benötigt, um die Soll-Lautstärke zu erzielen. Und noch etwas ist offensichtlich: es gibt keine Lautstärke, bei der das Gehör auch nur annähernd linear arbeitet.

Außerdem haben wir uns zeitlebens an die Frequenz-Empfindlichkeit unserer Ohren gewöhnt. Würde man Musik gehörrechtig linearisieren, also Bässe und Höhen extrem anheben, damit alle Frequenzen gleich laut sind, würde die Musik wahrscheinlich schrecklich klingen.

Im Lautstärkebereich, in dem vernünftige Menschen, die nicht mit 30 Jahren er tauben wollen, normalerweise Musik hören, also etwa zwischen 60 und 90 Phon (was bei 1 kHz einem Schalldruck von 60 bis 90 dB SPL entspricht), gibt es einen signifikanten Empfindlichkeits-Unterschied allenfalls für die Bässe. Richtig ist, dass man diese bei sehr leisen 60 Phon deutlich schwächer empfindet als bei recht lauten 90 Phon. Ob wir allerdings mit 80 Phon oder 90 Phon abmischen und mastern, spielt hinsichtlich der Beurteilung der optimalen Frequenzverteilung keine wirklich relevante Rolle. Demnach ist die Behauptung, nur bei sehr hohen Lautstärken könne man Musik richtig beurteilen, eine Mär. Schonen Sie also Ihr Gehör, indem Sie überwiegend mit einer gehobenen Lautstärke mischen und mastern, bei der Sie auch Ihre Lieblings-Alben mit Genuss hören, ohne zu ermüden.

## Altersabhängigkeit der Hörfrequenzgrenzen

Ich sprach oben von der Beurteilung der Frequenzverteilung einer Musikproduktion. Ein erschwerender Faktor ist sicher die eben erwähnte frequenzabhängige Hörempfindlichkeit, ein anderer ist der Frequenzbereich, in dem wir überhaupt hören können. Allgemein wird dieser mit 20 bis 20.000 Hz angegeben. Testen Sie sich doch einmal selbst: Benutzen Sie den mit



**Abbildung 4:** Hörempfindlichkeit nach ISO 226

Cubase mitgelieferten Testton-Generator und stellen einen Sinuston mit der Frequenz 2000 Hz auf eine recht hohe aber noch gut erträgliche Lautstärke. Verändern Sie nun diese Frequenz nach oben und nach unten, bis Sie nichts mehr hören. Sie haben nun Ihre Hörgrenzen ermittelt. Wenn die obere Hörgrenze bei Ihnen deutlich unter 20 kHz liegt, ist das kein Grund zur Beunruhigung, denn die verschiebt sich mit zunehmendem Alter nach unten. Grob kann man sagen: Pro Lebensjahrzehnt nimmt die obere Grenzfrequenz um 2 kHz ab. Nehmen wir mal an, dass ein 10-Jähriger noch bis 20 KHz hören kann, dann ergibt sich folgende Tabelle:

Dazu muss man noch wissen, dass Hörgrenze nicht etwa bedeutet, dass ein Lautstärkeabfall von  $-3$  dB oder  $-10$  dB (wie er beim Frequenzbereich technischer Geräte angegeben wird) gemeint ist, sondern da hört man absolut nichts mehr.

Alter	Hörgrenze
20	18 KHz
30	16 KHz
40	14 KHz
50	12 KHz
60	10 KHz
70	8 KHz

Und warum erzähle ich Ihnen das? Weil es natürlich relevant ist für das Mischen und Mastern. Wenn Ihnen Ihre Musik zu dumpf erscheint, dann kommen Sie bitte nicht auf die Idee, die Frequenzen über 10 KHz kräftig anzuheben (es sei denn, Sie hören noch gut in diesem Bereich). Vielleicht würden bei Ihnen ja dann seidige Höhen erklingen, aber einem 20-Jährigen klingelten die Ohren! Beschränken Sie sich beim Mastern also auf die Frequenzbereiche, die Sie noch gut wahrnehmen können. Überprüfen Sie ab und zu Ihr Gehör – entweder mit dem oben genannten, allerdings groben Tests, oder lassen Sie einfach einen Hörtest beim Hörgeräte-Akustiker machen. Viele bieten ihn kostenlos an.

Sie fragen sich wahrscheinlich: kann ich überhaupt noch mastern, wenn meine Hörgrenze unterhalb von 12 KHz liegt? Meine Antwort: Ja, denn der menschliche Hörbereich erstreckt sich im Idealfall über 10 Oktaven. Die Musik spielt zu über 90% in den mittleren 8 Oktaven. Die oberste, zehnte nimmt Ihr Gehör vielleicht nicht mehr wahr. Die wenigen Obertöne, die sich dorthin verirren, sind zwar für jüngere Ohren hörbar, aber nicht so relevant für den Musikgenuss. Versuchen Sie also nicht, Ihr Manko zu kompensieren, indem Sie etwa mit einem EQ im Monitorweg eine drastische Anhebung der oberen Oktave einstellen. Mal abgesehen davon, dass Sie damit Ihre Hochtöner killen könnten: es würde Ihnen nicht viel helfen, denn wo sich nichts mehr regt, hilft auch eine Verstärkung nichts. Ziehen Sie in Zweifelsfällen lieber einen guten Frequenzanalysator zu Rate und vergleichen Sie den Hochfrequenzgehalt Ihrer Musik mit Referenz-CDs. Die würden Sie im Übrigen als genauso dumpf empfinden. Sollte eine Vergleichs-CD hingegen tatsächlich brillanter klingen, dann liegt es nicht an der oberen Oktave, sondern an Frequenzen in einem Bereich, den Sie noch gut hören. Deshalb ist Vergleichshören mit guten Produktionen so wichtig: es deckt schonungslos die Schwächen der eigenen Produktion auf.

Bis hierher haben Sie es geschafft. Gratuliere! Weiter geht es im nächsten Teil mit den Mastering-Werkzeugen.