

Pilgrim Studio

Recording, Mixing & Mastering

Friedaustasse 17, 8003 Zürich

TEL: 079 744 61 19

WEB: www.pilgrimstudio.ch

E-MAIL: Contact@pilgrimstudio.ch

Grundlagen der digitalen Audiotbearbeitung

Teil 2

„Never turn your back on Digital!“

Bob Ludwig

4. Mischung

4.1. Der interne Mischer

Der interne Mischer bildet eine Summe aus allen Einzelsignalen (inklusive Subgruppen, Aux Returns etc.) und führt sie auf den Master Ausgang.

Der Master-Ausgang soll immer *auf Null* stehen, und der Mix soll so ausgeführt werden, dass der Master gut angesteuert wird. Dazu werden die *einzelnen Spuren* im Pegel verändert, nicht aber der Master!

Dasselbe gilt für Subgruppen etc.

Wie weiter unten genauer beschrieben ist jede Änderung des Pegels digitaler Audio-Daten eine Verrechnung. Wenn Ihr also den Pegel des Masters ändert, dann wird die gesamte Mischung einer Rechnung unterzogen, und jede Verrechnung führt eine Verschlechterung der Auflösung mit sich. Da jede einzelne Spur in der Mischung sowieso im Pegel angepasst wird (und somit die Verrechnung der Einzelsignale unvermeidlich ist) ist es sinnvoll, die Einzelspuren gerade so auszusteuern, dass der Master bei Nullstellung gut angesteuert wird. Die Veränderung des Master-Pegels ist demgegenüber eine zusätzliche Verrechnung, welche vermeidbar ist.

Jede akzeptable Audio-Software erlaubt es, alle Einzelspur-Fader gleichzeitig auszuwählen („Select all“). Somit können alle Einzelspur-Fader gleichzeitig um denselben Wert verändert werden, bis die Aussteuerung des Masters optimal ist.

Dazu kommt: Die internen Mischer von digitalen Aufnahmegeräten oder Audio-Software weisen zum Teil einen sehr geringen Headroom auf (dies gilt nicht für Floating-Point-Systeme). Wenn der Master-Fader zurückgeregelt wird, aber der Master-Ausgang trotzdem voll angesteuert ist, dann bedeutet dies, dass die Summierung aller Spuren im internen Mischer ein Resultat ergibt, das einem Wert grösser als 0 dBFS entspricht. Dies erscheint nicht als Over im Master, da der zusätzliche Pegel der Summe ja kompensiert wird durch die Zurückregelung des Master-Pegels. Und leider ist diese interne Überlastung des Mixers auch nicht als deutliche Verzerrung hörbar, sondern äussert sich nur als Verschlechterung der

Dynamik, Verschleierung des Klanges etc. Um diesen Klang kennen zu lernen empfehle ich, eine Mischung in einem Fixed-Point-System absichtlich mit Master-Fader bei -30 dBFS (aber Vollaussteuerung des Masters) durchzuführen und diese Mischung mit einer korrekten Mischung zu vergleichen. Wenn man den Klang solcher interner Überlastungen kennt ist man besser gewappnet gegen solche interne Überlastungen, welche auf keiner Over-Anzeige erscheinen.

Interne Überlastungen können sich auch in Plug-Ins ergeben – nicht nur wenn der Eingang zu hoch ist und der Ausgang tief, sondern auch einfach durch die im Plug-In stattfindende Verrechnung. Es ist eine lehrreiche Erfahrung wenn man bei einem digitalen EQ Frequenzen absenkt und feststellen muss, dass der EQ nun intern übersteuert, obwohl der Pegel nach der Absenkung ja leiser ist! Vorsicht ist ratsam... Man liegt auf der sicheren Seite, wenn man Plug-Ins immer mit etwas zu geringem Pegel ansteuert und mögliche interne Überlastungen umgeht.

4.2. Samplingrate

ein schwieriges Thema, dem ich vielleicht einmal einen eigenen Artikel widmen werde. Hier einige knappe Hinweise:

Eine höhere Sampling Rate bringt Verbesserungen:

- vor allem bei der internen Verrechnung in Kompressoren und Limitern
- eine weniger grosse Verbesserung in Equalizern und Effekten
- eine Klangverbesserung bei der Wandlung – je besser der Wandler ist desto geringer ist diese klangliche Verbesserung. Diese Verbesserung resultiert aus der Tatsache, dass bei der Wandlung ein Filter Spiegelungen des Signals in höheren Frequenzen ausfiltern muss, und bei 44,1 kHz Sampling Rate muss dieser Filter sehr steilflankig sein. Ein solcher steilflankiger Filter gut zu bauen ist schwierig und teuer. Bei höheren Sampling Rates muss dieser Filter nicht so steil sein, und er fällt klanglich weniger ins Gewicht, da er fern vom hörbaren Bereich ansetzt.
- geringeres Aliasing, da sämtliche Intermodulationen des Signals mit der Sampling Rate im unhörbaren Bereich liegen

Eine höhere Sampling Rate hat als negative Auswirkungen

- erhöhtes Jitter bei der Wandlung
- erhöhter Speicher-Bedarf

Eine Sampling Rate Conversion benötigt sehr hochwertige Geräte, und der Klang eines Signals, dessen Sampling Rate digital verändert wurde, ist meistens gegenüber einem Signal mit geringerer, nicht gewandelter Sampling Rate *gleichwertig oder schlechter*. Ich empfehle eine von 44,1 kHz abweichende (höhere) Sampling Rate nur, wenn das Signal sowieso nochmals in den analogen Bereich ausgespielt und daraufhin mit 44,1 kHz neu gewandelt wird.

5. Digitale Bearbeitung von Audio-Signalen

5.1. Quantisierung

Jede Veränderung der digital gespeicherten Daten ist eine Verrechnung. Jede Verrechnung addiert zum Signal Rauschen sowie Verzerrungen, beides verursacht durch Quantisierung.

Quantisierung bezeichnet die Tatsache, dass ein Signal im digitalen Bereich eben nicht analog und daher kontinuierlich vorhanden ist, sondern in Quanten = „Häppchen“ vorliegt.

Von einer Signalkurve sind im digitalen System nur die Werte einzelner Punkte gespeichert. Und diese Werte werden einem Raster angepasst, welches der Bit-Tiefe entspricht. Entspricht der analog anliegende Wert nicht einem Punkt in diesem Raster, dann wird der Wert auf den nächstliegenden digitalen Wert, welcher im Raster vorkommt, ‚gebogen‘. Der Wert ist also zu hoch oder zu niedrig, die Signalkurve hat eine Delle erhalten. Diese Delle äussert sich klanglich als Verzerrung, d.h. es erscheinen weitere Schwingungen, welche im Original nicht vorhanden sind.

Bei *jeder* digitalen Änderung der Signal-Daten geschehen solche Rundungen, d.h. jede Änderung produziert Verzerrungen! Bereits eine Pegel-Änderung setzt einer reinen Sinus-Schwingung weitere Schwingungen hinzu – die Sinus-Schwingung ist also bereits nach einer Pegel-Änderung nicht mehr rein, sondern verzerrt.

Während Röhren und analoges Band dem Signal Verzerrungen hinzufügen, welche als wohlklingend empfunden werden, da sie der Oberton-Struktur des Signals entsprechen, weisen solche digitale Artefakte oft keine frequenzmässige Verbindung zum Signal auf – sprich: sie klingen hässlich. Ganz besonders trifft dies auf Aliasing zu, Intermodulationen zwischen dem Signal und der Sampling Rate – ein weiteres Thema, das hier im Moment nicht behandelt wird...

Die durch Quantisierung entstehenden Artefakte sind mit dem Signal korreliert, sie fehlen also wenn kein Signal anliegt!

Daraus wird ersichtlich, dass die Angabe des Rauschabstandes eines Wandlers in Werbebroschüren ziemlich irrelevant ist, da dieser Wert keine Auskunft darüber gibt wie stark der Wandler rauscht wenn ein Signal anliegt – und Rauschen ist nur *eines* der unerwünschten Artefakte der Quantisierung!

Diese Quantisierungsprodukte bewirken, dass das Signal einen rauen Charakter erhält, die Aufnahme verliert Tiefe, Wärme, Klarheit im Stereobild etc.

Ihr könnt den Sound von Quantisierungsartefakten kennen lernen, wenn Ihr eine 16-Bit-Aufnahme aus Einem Fixed-Point-System mit –50 dBFS Pegel abspielt und den Endverstärker dementsprechend weit aufdreht. Ihr hört ein körniges, verzerrtes, flaches Klangbild, verursacht durch die ungenaue Quantisierung (wir haben bei –50 dBFS eine Auflösung von knapp 8 Bit!).

Daraus folgt ein weiterer Tip: Ein Fade-In oder Fade-Out sollte nie in 16-Bit-Auflösung erfolgen! Durch die mangelhafte Quantisierung und die mangelhafte Auflösung bei geringen Lautstärken stellt ein solches Fade-Out eher ein ‚Verbröseln im Nichts‘ dar...

Hingegen klingt ein Fade-Out, welches in einem 24-Bit-Mischer ausgeführt wurde, rund und voll, obwohl das Signal, an welchem das Fade-Out vollzogen wird, nur 16 Bit Auflösung aufweist. Warum ist das so?

Während des Fade-Outs weist das 16-Bit-Signal eben nicht mehr eine Auflösung von 16 Bit auf, sondern erhält nun plötzlich eine Auflösung von 24 Bit. Da bei einer Auflösung

von 24 Bit viel mehr Lautstärke-Stufen vorhanden sind, wird das Fade-Out runder, und die Auflösung bleibt besser erhalten, da ein 24-Bit-Signal erst bei -48 dBFS eine Auflösung von 16 Bit erreicht (aber natürlich wäre der Klang des Signals im Fade-Out noch voller, wenn das Signal selbst 24 Bit Auflösung aufweisen würde). Auf diese Zusammenhänge soll das folgende Kapitel etwas Licht werfen.

5.2. Audio-Bearbeitungen und Bit-Breite

Zu den Folgererscheinungen der Quantisierung gesellt sich zusätzlich das Problem, dass die Bit-Breite bei einer Verrechnung sehr schnell erhöht wird – das Resultat ist meistens eine Zahl, welche mehr Nachkommastellen aufweist als das Original; es braucht also mehr Bits um diese neue Zahl fehlerfrei darzustellen. Was mit den zusätzlichen Bits geschieht bestimmt massgeblich die Klangqualität.

Auch eine Pegeländerung ist eine Verrechnung. Wenn ich zum Beispiel ein Signal wiedergebe, dessen Pegel um 1 dB erhöht wurde, dann multipliziert der Computer jedes einzelne Sample dieses Signals mit 1,122018454 (auf neun Stellen nach dem Komma gerundet). Man kann sich denken dass das Resultat dieser Rechnung eine Zahl ist, die mehr Nachkommastellen aufweist als das Original vor der Verrechnung.

Dies bedeutet, dass zur adäquaten Wiedergabe des Resultates der Verrechnung mehr Bits erforderlich sind als das Original aufweist. Zusätzlich zu Klangeinbussen, welche durch Quantisierungsartefakte entstehen, weist das Resultat deshalb auch eine Klangverschlechterung gegenüber dem Original auf, weil das Resultat auf die im internen Mischer mögliche Bitbreite reduziert werden muss. Diese Reduktion der Bitbreite kann auf drei mögliche Arten erfolgen:

1. die überzähligen Bits werden ganz einfach *abgeschnitten* (Truncation). Dies ist klanglich die schlechteste Variante.
2. das Resultat wird auf die zur Verfügung stehende Bitbreite *gerundet*. Dies liefert klanglich bessere Resultate als die Variante 1, aber es ergeben sich deutliche Rundungsfehler. Diese Rundungsfehler vergrössern sich, sobald mehrere Verrechnungen mit anschliessender Rundung hintereinander stattfinden – konkret: eine Pegeländerung, danach EQ, danach Kompression, schliesslich ein Limiter, und jeder dieser Prozessoren rundet das Resultat seiner Verrechnung. Der Rundungsfehler des vorangehenden Prozessors wird vom nachfolgenden als Basis für seine Berechnungen genommen und unter Umständen massiv verstärkt.
3. das Signal wird mit *Dither* versehen und danach *abgeschnitten*. Dither ist ein Rauschen, das bewirkt, dass Signalanteile, welche von der Auflösung des Systems eigentlich nicht mehr erfasst würden, trotzdem vorhanden bleiben. Dadurch bleibt die Auflösung des Signals erhalten, aber das Resultat weist ein höheres Rauschen auf als das Original. Diese Variante ist die beste von allen dreien – wenn sie bewusst und richtig eingesetzt wird! – aber wenn sie zu oft wiederholt wird ergibt sich ein unter Umständen störendes Rauschen.

Dither sollte immer eingesetzt werden wenn ein Signal mit höherer Bit-Breite auf 16 Bit reduziert werden muss. Dies ist auch der Fall wenn ein 16-Bit-Signal in einem System mit höherer Bit-Breite bearbeitet wird und das Resultat wieder 16 Bit sein muss. Aber da mit Dither das Rauschen zunimmt kann dieses Verfahren nicht zu oft angewandt werden.

Wenn strikte mit 24-Bit-Signalen sowie mit internen Mixern und Plug-Ins, welche 24 Bit oder grössere Bit-Breite aufweisen, gearbeitet wird, dann ist kein Dithering nötig. Wenn ein Signal auf 24 Bit abgeschnitten wird ist dies in den meisten Fällen nicht hörbar, und somit ist Dithering unnötig und würde nur das Rauschen vergrössern. Dazu kommt, dass hochwertige Plug-Ins ihren Ausgang oft selber dithern, sodass ein Dithering dieses Ausgangs doppelt sinnlos ist – zum einen weil schon Dithering

erfolgte, zum andern weil das von Euch eingesetzte Dithering an der falschen Stelle ansetzen würde! Der Ausgang des Plug-Ins hat nämlich bereits wieder die Bit-Breite Eures Mixers, die Bit-Breite-Reduktion erfolgte also bereits vor dem Ausgang des Plug-Ins. Dither, welches nach der Bit-Breite-Reduktion hinzugefügt wird, kann seine Aufgabe nicht erfüllen (Dither muss immer *vor* der Bit-Breite-Reduktion eingesetzt werden) und ist nichts weiter als unnötig hinzugefügtes Rauschen. Kurzum: Meidet 16 Bit! Arbeitet mit 24-Bit-Signalen sowie mit digitalen Mixern und Plug-Ins mit mindestens 24 Bit interner Auflösung, und überlasst Dithering dem Mastering-Experten.

Jede digitale Veränderung von gespeicherten Audio-Signalen ist eine Verrechnung, und jede Verrechnung verschlechtert die Klangqualität Eurer Musik. Arbeitet also bewusst mit Pegel-Änderungen, und setzt Plug-Ins nur ein, wenn ihr wirklich *wisst* dass sie die Musik verbessern. Achtet bei Plug-Ins auf saubere Pegel – vor allem auch *innerhalb* des Plug Ins.

Überlasst Dithering dem Mastering-Experten.

Aus den obigen Ausführungen folgt auch, dass auch bei 16-Bit-Aufnahmen ein Mixer, der intern mehr als 16 Bit Auflösung aufweist, durchaus eine Klangverbesserung mit sich führen kann, da interne Rechengänge Resultate liefern, welche mehr als 16 Bit Auflösung aufweisen, und diese zusätzlichen Bits werden von einem Mixer mit mehr als 16 Bit Auflösung nicht sofort wieder weggeschnitten, was die Auflösung der Daten verbessert und somit mehr Tiefe, Greifbarkeit etc. in der Musik bewirkt.

Auch bei 16-Bit-Aufnahmen sollte der digitale Mixer eine möglichst grosse interne Bit-Breite aufweisen. Die Klangqualität der Mischung wird dadurch verbessert.

Ein seltsames Phänomen in der digitalen Audio-Bearbeitung stellt die Funktion *Normalizing* dar. Viele Mixer scheinen der Meinung zu sein, dass sie durch Normalizing die Qualität ihrer Aufnahmen oder Mischungen verbessern könnten. Hier gleich das Fettgedruckte zu diesem Thema:

Audio-Signale sollten *nie* normalisiert werden. Diese Funktion ist sinnlos und schädlich.

Auch Normalisierung ist eine Verrechnung und produziert Quantisierungsfehler, Quantisierungsrauschen und Quantisierungsverzerrungen. Noch dazu weisen normalisierte Audio-Dateien keinen Headroom auf, was Plug-Ins, welche diese Dateien bearbeiten müssen, zu internen Überlastungen führen kann.

Und überhaupt: Warum wollt Ihr den Pegel Eurer Aufnahme durch Normalisierung erhöhen, wenn Ihr ihn hernach im Mix sowieso absenkt? Erachtet Ihr es als sinnvoll, jedes einzelne Signal mit erhöhtem Pegel in eine Subgruppe zu schicken, um in der Subgruppe den Pegel dann abzusenken? Dieses absurde Vorgehen ist exakt dasselbe was im Normalizing passiert (vorausgesetzt das Normalizing ist hochwertig), nur mit anderen Funktionen des Mixers dargestellt.

Die Auflösung einer Aufnahme wird durch die Aussteuerung während der Aufnahme festgelegt und kann durch keine nachträgliche Bearbeitung erhöht werden – im Gegenteil, die Auflösung der Aufnahme selbst wird durch jegliche Bearbeitung nur verschlechtert. Normalizing bildet da keine Ausnahme.

Ganz besonders ist von Normalizing bei 16 Bit abzuraten.

Auch wenn Ihr Eure Endmischung (trotz allen daraus resultierenden Nachteilen) in 16 Bit zum Mastering bringt und diese Mischung nicht ganz auf 0 dBFS kommt – durch Normalizing wird da nichts gewonnen. Im Gegenteil: Normalizing verschlechtert die Qualität

von 16-Bit-Aufnahmen deutlich und macht es dem Mastering-Tontechniker schwerer (und nicht leichter!), Euren Mix gut zu mastern.

Zusätzlich zu dieser Klangverschlechterung kann sich die Angewohnheit negativ auswirken, korrelierte Audio-Daten (also beispielsweise ein Stereo-Signal auf zwei Spuren) einzeln zu normalisieren. Normalisierung erfolgt anhand von Pegelspitzen und berücksichtigt in keiner Weise die Lautheit eines Signals. Durch die Normalisierung korrelierter Daten wird unter Umständen das Lautheit-Verhältnis dieser Signale verändert und damit gestört.

Fazit: Normalizing ist eine unnütze Funktion und sollte nicht verwendet werden.

Vor einer destruktiven Bearbeitung sollte das Signal auf grösstmögliche Bit-Tiefe konvertiert werden.

5.3. Dynamik und Bits

Psychoakustische Forschungen haben ergeben, dass das menschliche Hörvermögen etwa einer Auflösung von 20 Bit entspricht. 20 Bit ist in etwa das Maximum, was wir mit unseren digitalen Aufnahmegeräten bei einer Auflösung von 24 Bit erreichen können.

Pro zusätzlichem Bit erhöht sich der Dynamikumfang um 6 dB. Dies bedeutet, dass der Pegel einer 24-Bit-Aufnahme bei -48 dBFS eine Auflösung von 16 Bit erreicht. Ihr müsst folglich den Pegel Eurer 24-Bit-Aufnahme um 48 dB verringern, um die Qualität einer 16-Bit-Aufnahme zu erreichen! Dies zeigt, dass bei 24 Bit Auflösung ein paar Bit mehr oder weniger keinen hörbaren Einfluss auf die Klangqualität haben.

Hingegen gibt es diverse andere Faktoren, welche den Klang beeinflussen können – und diese Faktoren bestimmen die ideale Aussteuerung.

Faktor 1: Digitale Aufnahmen klingen oft klarer wenn der Maximalpegel bei der Aufnahme bei -6 dBFS liegt.

Dies ist bedingt durch den mangelnden Headroom des analogen Teils des Wandlers. Viele Mittelklassen-Wandler weisen analoge Komponenten auf, welche nur wenig oberhalb von 0 dBFS clippen, also Verzerrungen produzieren. Der Clipping Punkt wird aber in analogen Schaltungen nicht sprunghaft erreicht, sondern die Verzerrung nimmt nach und nach zu, bis der Wert überschritten wird, der den Clipping Punkt darstellt. Für die Aussteuerung bedeutet dies: Es kann durchaus sein dass 24-Bit-Aufnahmen klarer klingen wenn der Maximalpegel bei -3 dBFS oder sogar -6 dBFS oder -10 dBFS liegt, da bei diesem Pegel die Wandler sauberer arbeiten. Und diese Klangverbesserung fällt stärker ins Gewicht als die Einbusse bei der Bit-Auflösung.

(mehr zu diesem Thema in Teil 1)

Diese Tatsache gilt natürlich auch für die D-A-Wandlung: Das Signal ist unter Umständen klarer wenn der Wandler keinen Maximalpegel über -6 dBFS empfängt.

Dies gilt aber nur für 24-Bit-Wandlung. Bei 16-Bit-Wandlung muss jedes Bit genutzt werden – also Aussteuerung bis knapp unter Null.

Faktor 2: Digitale Level-Meter sind nicht zuverlässig.

Es gibt fast keine digitale Level-Meter die genau sind. Digitale Overs werden nicht zuverlässig angezeigt. Wenn auf Eurem digitalen Level-Meter die Over-Anzeige nicht leuchtet heisst das noch nicht, dass da keine Overs drauf sind. Und durch Overs herbeigeführtes Clipping kann später nicht mehr entfernt werden.

Faktor 3: Es gibt Pegelspitzen über 0 dBFS.

Unter gewissen Umständen können sich Pegelspitzen ergeben, die von einem digitalen Level-Meter nicht angezeigt werden. Diese Spitzen können bis 3 dB über dem angezeigten Maximalwert liegen.

Faktor 4: ein voll ausgesteuertes Signal kann Probleme bei der Nachbearbeitung herbeiführen.

Das fette Fazit:

Steuert weder Eure Wandler noch digitale Signale auf 0 dBFS aus! Das gibt nur Probleme.

Bei der A/D-Wandlung sind Peaks 6 dB unter digitalem Vollausschlag empfehlenswert, intern (Einzelsignale, Plug-Ins etc.) sollten immer 3 dB Headroom vorhanden sein.