

**24-96**  
MASTERING

Robin Schmidt  
Chief Mastering Engineer  
BA (Hons) Sound Technology

CD  
HIGH RESOLUTION MASTERING

SURROUND MASTERING  
SACD  
AUDIO RESTORATION

DVD  
FORENSIC AUDIO SERVICES

Battertstraße 17  
76189 Karlsruhe Germany

<http://www.24-96.net>  
r.schmidt@24-96.net  
tel +49 721 957 535 0  
fax +49 721 957 535 5  
cell +49 172 720 741 4

### Was ist Mastering:

- Mastering (Premastering) ist der letzte Prozess in der Produktionskette vor der mechanischen Vervielfältigung.
- Mastering im herkömmlichen Sinne ist der Transfer zwischen dem Produktions- und dem Endmedium. Es gilt, die Tonqualität des Produktionsmediums verlustfrei auf das Endmedium zu übertragen.
- Mastering im erweiterten Sinne beinhaltet neben dem Transfer weitere Prozesse. Das Ziel dieser zusätzlichen Bearbeitung ist entweder
  1. eine (subjektive) Verbesserung des Klangs (In Musikersprache: Mehr Druck, Punch, Kick; weicherer Klang, seidige Höhen, räumlicherer Klang, dreckiger (!), etc.)
  2. oder eine vorbeugende Behandlung um den Limitationen des **Endmediums** entgegenzuwirken.  
(Filterung und Mono-Summierung der Bässe bzw. Limiting der Höhen für LP, Reduktion des Dynamikbereiches für Medien mit limitiertem Darstellungsvermögen wie MC, LP, CD (bedingt), low-bit Multimedia etc.)
- Außerdem ist es die Aufgabe des Masterings aus dem vorliegenden Material (unabhängig von der Form) ein fertiges Produkt zu erstellen. Das beinhaltet die Angleichung und Zusammenstellung der einzelnen Bestandteile (z.B. Musiktitel) zu einem ganzen (z.B. Album).

## Wie fängt man an?

### 1. Man stellt sicher, dass man über alle notwendigen Informationen verfügt.

- Woraus besteht das **Quellmaterial**? (Musik, Sprache, etc?)

Musik, Live-Aufnahmen aus verschiedenen Mischungen

- Was ist die **Endapplikation**? (Musik auf Tonträger, Installation, Hintergrundbeschallung im Supermarkt?, Multimediawiedergabe über TV oder Computerlautsprecher...)

Musik auf Tonträger

- Was ist das **Quellformat**? (Audio-CD, Daten-CD, Schallplatte, Band?)

24 Bit Dateien auf Firewire-Festplatte

- Was ist das **Zielformat**? (CD, DVD, LP, MC, SACD, MP3,

Audio-CD (Die Zusammenstellung wird evtl. später in Stuttgart montiert)

- Was ist das **Ziel** des Masterings? (Was wollen wir eigentlich erreichen? Geht es um einen reinen Transfer oder spielen künstlerische Aspekte eine Rolle?)

Angleichung des Klangcharakters der einzelnen Titel

Aufpolieren des Klanges / Ausgewogenheit des Klangbildes

Reparieren von Problemen im Mix (z.B. Stimme zu leise, Rauschen, etc.)

- Woran **orientieren** wir uns?  
(ist ein Auftraggeber anwesend, der Entscheidungen trifft? Gibt es klangliche Referenzaufnahmen zum Vergleich?)

Der Auftraggeber ist anwesend, klangliche Referenzen, sofern vorhanden, werden bereitgestellt.

### 2. Man vergleicht die vorliegenden Aufnahmen mit dem Ideal

Noch bevor man beginnt an Knöpfen zu drehen sollte erst einmal festgestellt werden inwiefern das Ausgangsmaterial nicht den Erwartungen entspricht und wie man die Probleme beheben kann. Das heißt nicht zwingend, dass man gegen eine Referenz vergleicht – da der Masteringingenieur die Akustik seines Arbeitsplatzes gut kennt erkennt er die wesentlichen Probleme beim ersten Hören.

Eine wichtige Erkenntnis, die man noch vor Beginn der Arbeit verinnerlichen sollte ist, dass es nichts bringt einen Bearbeitungsschritt ohne vorheriges kritisches Hören zu beginnen.

Geräte die Presets wie „Hard-Rock-Mastering“ anbieten sind selten hilfreich, da die zur Auswahl stehenden Prozesse statisch sind und weder auf die Klangeigenschaften des Quellmaterials, noch auf die Idealvorstellungen des Auftraggebers eingehen. Ein solches Gerät ist genau so nützlich wie ein Koch, der prinzipiell, und ohne zu probieren, jedes Gericht mit der Selben Menge an Salz würzt.

### 3. Problembeseitigung:

Eine Grundregel des Mastering lautet: „Jeder Eingriff beeinflusst das Gesamtbild“. (Everything affects everything.)

Deshalb ist es zum einen wichtig Probleme, wenn möglich, so weit wie möglich zu isolieren (liegen die Probleme in einem einzelnen Element oder in allen Elementen des Mixes?) und zum anderen ein Kompromissdenken zu erlernen (Überwiegen die Verbesserung oder die negativen Nebenwirkungen, die der Eingriff mit sich gebracht hat?).

Geht man falsch oder unvorsichtig vor kann man im Mastering mehr kaputt machen als man verbessert hat.

Folgendes systematisches Vorgehen ergibt sich:

1. Erkennung des **Problems**
2. **Analyse** des Problems mit Hinblick auf den gesamten Mix (Isolierung)
3. Erstellung einer Methode um das Problem zu **lösen**
4. **Revision** des Ergebnisses (Wurde wirklich eine Verbesserung erreicht?)

Zum Beispiel:

#### Beispiel 1:

**Problem:** Der Bass dröhnt

**Analyse:** Der Bass agiert im Mix hauptsächlich im Frequenzbereich zwischen 100 und 180 Hz. Außer dem Bass agiert in dem Bereich größtenteils nur die Bass-Drum.

**Lösung:** Man mindert den Bereich zwischen 100 und 180 Hz mit Hilfe eines parametrischen Filters um 1,5 dB.

**Revision:** Der Bass dröhnt jetzt zwar weniger, dafür hat aber die Bass-Drum an Gewicht verloren. Hat der Eingriff in Anbetracht der Nebenwirkungen eine Verbesserung erreicht? Falls nicht sollte man alternative Lösungswege probieren.

#### Beispiel 2:

**Problem:** Die Becken des Schlagzeugs tun in den Ohren weh

**Analyse:** Nur die Becken sind zu spitz, die anderen Elemente der Mischung sind ideal.

**Lösung:** Man behandelt die Summe mit einem De-Esser (ein frequenzabhängiger Kompressor, der den Höhenbereich absenkt sobald das Signal in diesem Frequenzbereich einen Schwellwert überschreitet).

**Revision:** Die Becken sind nun nicht mehr so spitz, dafür „erwischt“ der De-Esser leider auch einige Gesangspassagen und stumpft die S-Laute ab. Ist der Text an diesen Stellen noch gut verständlich? Wirkt die Stimme nun dumpf?

### Beispiel 3:

**Problem:** Die Stimme ist zu dumpf und etwas unverständlich.

**Analyse:** Die Stimme ist exakt in der Mitte des Stereobildes positioniert. Die Stimme ist im Konsonantenbereich (2-4 kHz) sehr schwach.

**Lösung:** Man trennt die Mitten- von den Seitenkomponenten mittels einer M/S-Matrix und hebt den Bereich zwischen 2 und 4 kHz nur im Mittenanteil (M) leicht an.

**Revision:** Der Gesang ist nun präsenter, dafür ist die Snare-Drum aber auch spitzer geworden. Hat der Eingriff Verständlichkeit gebracht? Ist die Snare-Drum nun zu weit im Vordergrund?

### 3. Processing / Reihenfolge der Prozesse:

Generell sollten korrigierende Operationen vor kreativen Behandlungen durchgeführt werden. Das heißt, dass spezifische Probleme der Mischung korrigiert werden, bevor eine Verbesserung des Gesamtklangs erreicht wird.

Zum Beispiel sollte Denoising in der Prozesskette vor Kompression erfolgen.

Innerhalb der korrigierenden Prozesse sollten einzelne Anomalien vor durchgehend auftretenden Problemen behandelt werden. Ein DeClicker sollte also vor einem Denoiser angewandt werden.

Innerhalb der „klang-verbessernden“ Prozesse gibt es wenig starre Regeln. EQ und Kompressor zum Beispiel sind voneinander abhängig (ein Kompressor reagiert unterschiedlich wenn vorher eine Bassanhebung passiert). Eine „richtige“ Reihenfolge gibt es hier nicht – jede Variante klingt verschieden und richtig ist, was gefällt, bzw. das erwünschte Resultat bringt.

Falls dem Signal Hall zugeführt werden soll, sollte dies in der Regel nach EQ und Stereoverbreiterung geschehen, da davon ausgegangen werden sollte, dass der benutzte Hall in seinen Eigenschaften vom Hersteller so realistisch (oder angenehm klingend) wie möglich gestaltet wurde. Eine Stereobasisverbreiterung nach der „Verhallung“ der Summe würde z.B. dazu führen, dass der Hall unnatürlich breit wirkt und die Phasenrelation über 90 Grad hinausgeht (Die Monokompatibilität würde stark vermindert).

Limiting sollte als letztes Glied (vor dem Dithering) in der Signalkette angewandt werden, da alle anderen Prozesse (in einer Floating-Point-Signalkette) im Ausgang Ergebnisse über 0dBfs erreichen und somit ungewollte Übersteuerungen verursachen können. Selbst Prozesse von denen man es nicht unbedingt erwartet (z.B. die einfache Konvertierung der Sample-Rate oder ein absenkender Filter [EQ]) können das Signal verstärken.

Natürlich vereinfacht es den Arbeitsablauf, sich an gewisse Daumenregeln zu halten, allerdings sollte man sich bewusst sein, inwiefern sich die Reihenfolge mehrerer Prozesse auf das Resultat auswirkt.

Falls man sich unsicher ist oder die komplexen Abhängigkeiten im Kopf nicht „durchspielen“ kann hilft es, verschiedene Szenarios einfach auszuprobieren und die verschiedenen Ergebnisse anzuhören.

Im Bezug auf Processing gilt generell: Weniger ist mehr.

Es gibt keinen transparenten Prozess. Jeder Bearbeitungsschritt beeinflusst die Tonqualität und generiert zusätzliche Verzerrung. Wenn also ein Bearbeitungsschritt nicht notwendig ist (also keine hörbare Verbesserung bewirkt) sollte er weggelassen werden.

Beim Mastering geht es selten darum, mit Hilfe von radikalen Eingriffen kreatives Neuland zu entdecken. Es geht viel mehr darum, aus dem vorliegenden Material das bestmögliche herauszuholen, ohne die künstlerische Intension zu verfälschen.

Natürlich gibt es Fälle in denen radikale Lösungen gewollt und auch vorteilhaft sind, allerdings sollte man, sofern der Auftraggeber keine ausdrücklichen Wünsche vorliegen, davon ausgehen, dass der Mix klanglich sehr nahe an der Idealvorstellung des Künstlers liegt.

### **„Für eine Handvoll Dynamik“ – Wie laut müssen CDs sein?**

Seit Anfang der Neunziger-Jahre sind CDs kontinuierlich lauter geworden.

Da die CD im absoluten Maximalpegel nach oben hin begrenzt ist (0 dBfs – full scale), bedeutet dies, dass der Dynamikumfang immer geringer geworden ist.

Den Dynamikumfang einer CD kann man z.B. messen, indem man die Durchschnittslautstärke misst (RMS Lautstärke [Root Mean Square – The square root of the average of the squares of a group of numbers]) und von dem Spitzenpegel abzieht. Den daraus resultierenden Wert nennt man Crest Faktor.

Wenn z.B. die RMS Lautstärke -11 dB und der Spitzenpegel -0,5 dB beträgt, so resultiert daraus ein Crest Faktor von 10,5 dB.

Ein Crest Faktor von weniger als 8 dB ist heutzutage bei Pop oder Rock CDs keine Seltenheit mehr.

Die CD stellt einen theoretisch nutzbaren Dynamikbereich von 96 dB zur Verfügung (realistisch gesehen, je nach Dithering bzw. Noiseshaping, eher zwischen 60 und 84 dB). Gerade wenn man bedenkt, dass die Musikindustrie nach immer höheren Auflösung in der Aufnahme und Bearbeitung von Signalen strebt (24 Bit, 32 Bit, 64 Bit, etc.) scheint es äußerst kontraproduktiv die mühsam gewonnene Auflösung am Ende aller Bearbeitungsschritte auf ein Minimum zu beschränken.

Die Vorteile einer „lauteren“ CD sind umstritten. Die Befürworter des Trends zu möglichst lauten CDs nennen zahlreiche Gründe:

#### **PRO:**

Der Mensch neigt dazu, laute Musik als besser klingend zu empfinden. Nach Fletcher und Munson (ca. 1930) verändert sich das menschliche Hörempfinden mit der Lautstärke – Je

lauter die Schallquelle, desto stärker werden tiefe und hohe Frequenzen wahrgenommen.

**CONTRA:**

Die Untersuchungen von Fletcher und Munson sind nahezu unumstritten. Das oben genannte Argument lässt allerdings einen sehr wesentlichen Aspekt vollkommen außer Acht: Nahezu jede Musikanlage dieses Planeten verfügt über einen einzigartigen Mechanismus (meist in Form eines runden Knopfes der einen regelbaren Widerstand oder digitalen Multiplikator steuert), der den Zuhörer in die einzigartige Position versetzt, die Lautstärke frei nach Belieben zu regeln.

Ein normaler Zuhörer wird, direkt nachdem er auf die <PLAY>-Taste drückt, den Lautstärkereglern justieren und die Musik somit auf die gewünschte Lautstärke regeln. Sämtliche Mühen des Produzenten oder A&R, die Musik möglichst laut erklingen zu lassen sind somit vollkommen zunichte gemacht.

**PRO:** Je lauter ein Master ist, desto lauter klingt die Musik im Radio. Dies lenkt die Aufmerksamkeit des Zuhörers auf den Titel.

**CONTRA:**

Diese Aussage ist wissenschaftlich unfundiert, sogar widerlegt. Alle Radiosender verwenden sehr ausgefeilte Mechanismen um sicherzustellen, dass jeder Titel gleich laut im Radio erklingt. Die Geräte die diese Aufgabe u.a. übernehmen sind unglaublich teuer und werden von speziell geschultem Personal eingestellt. Wer ernsthaft daran zweifelt, dass diese Geräte es nicht schaffen eine leise Quelle hoch zu regeln (oder eine laute Quelle zu beschränken) stellt die Intelligenz der fähigsten Elektronikingenieure sowie die aller Radiosender in Frage. Frank Foti und Robert Orban, die Entwickler der weltweit am weitesten verbreiteten Radioprozessoren, widerlegten diesen Mythos in ihrem Aufsatz „WHAT HAPPENS TO MY RECORDING WHEN IT’S PLAYED ON THE RADIO?“ (<http://www.tl-mastering.com/BobOrban.htm> ) und führten außerdem aus, warum laute Titel im Radio sogar schlechter klingen. Diejenigen, die sich näher mit diesem Thema beschäftigen wollen, sollten damit anfangen, dem oben genannten Link zu folgen und den (hervorragenden) Aufsatz selbst zu lesen.

**PRO:** Wenn die Dynamik eines Titels zu groß ist, gehen leise Passagen in lauten Umgebungen (z.B. im Auto) unter.

**CONTRA:**

Das ist korrekt. Allerdings befürwortet dieses Argument lediglich die (moderate) Kompression über längere Zeiträume (Levelling) und rechtfertigt keineswegs starkes Limiting, Clipping (Verzerrung) oder starke Kompression mit übertrieben kurzen Zeitvariablen, wie sie heute genutzt wird um laute CDs zu produzieren. Zudem verfügen die meisten, heute verkauften Autoradios über einen eingebauten Kompressor, der diese Problematik beseitigt.

**PRO:** In Restaurants und anderen öffentlichen Räumlichkeiten wird die Beschallungszuspielung oft von CD-Wechslern übernommen. Wenn eine CD leiser als die anderen ist, geht sie unter und wird nicht wahrgenommen. Wenn meine CD allerdings die lauteste ist, wird sie von vielen Menschen bemerkt; dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass

viele Menschen auf meine CD aufmerksam werden und diese dann kaufen. Außerdem provoziert eine höhere Lautstärke eine stärkere emotionale Reaktion bei den Zuhörern.

**CONTRA:**

Wahrscheinlich provoziert lautere Musik potentiell eine stärkere Reaktion als leise. Allerdings muss das nicht zwingend eine positive sein. Ganz im Gegenteil. Zu laute Musik wird oft als sehr störend empfunden. Wenn man sich in einer Bar wegen der lauten Musik nicht mehr unterhalten kann, wird das mit Sicherheit von den wenigsten als Grund empfunden in den nächsten Plattenladen zu stürmen und die störende Musik auf einem Tonträger zu erwerben. Außerdem verfügen die meisten Beschallungsanlagen (Restaurants, Geschäfte, Clubs, Bars, etc.) notgedrungen über einen Kompressor, der die Gesamtlautstärke der Musikanlagen konstant hält.

**PRO:**

Wenn der Dynamikumfang zu groß ist nutzen leise Passagen nur wenige Bits der zur Verfügung stehenden Auflösung der CD. Da allgemein bekannt ist, dass die 16 Bits einer CD zur originalgetreuen Darstellung von Musik nicht genug sind, sollte man sicherstellen, dass selbst schwache Passagen so viele Bits wie möglich nutzen.

**CONTRA:**

Zwar stimmt es, dass die CD mit 16 Bits nicht so hochauflösend ist, wie viele Musikschaffende und Audiophile es wünschen, allerdings bietet sie ohne Probleme genügend Dynamikumfang um die meisten Musikarten ganz ohne Kompression und Limiting in einem guten Rahmen wiederzugeben.

Außerdem muss gesagt werden, dass eine mit Dither „versetzte“ 16 Bit Aufnahme bis zum letzten Bit keinerlei signalkohärente Verzerrungen aufweist. Bei geringerem Pegel wird also nicht die harmonische Verzerrung größer, wie ein weit verbreitete Irrglaube einen glauben machen will. Die Auflösung des Systems ist in der Dynamik einzig allein durch den Dither-Rauschabstand festgelegt; und dieser ist mit bis zu -90 dB (ohne Noiseshaping) wesentlich besser als der einer Musikkassette oder einer LP.

**PRO:**

Wenn der Dynamikumfang zu groß ist haben kleinere Musikanlagen wie z.B. Ghetto-blaster oder Mini-Anlagen Probleme die Musik abzuspielen. Die Lautsprecher können dann leichter kaputtgehen bzw. in den Bässen verzerren.

**CONTRA:**

Das Gegenteil ist der Fall. Es sind nicht die kurzen Spitzenpegel, die ein System überlasten, sondern in erster Linie die Belastung über längere Zeit. Des Weiteren bereiten sehr laute Master für Konsumentensysteme noch andere Probleme: Es ist bei vielen Anlagen nur sehr schwer möglich die gewünschte Lautstärke einzustellen, da sich der Unterschied zwischen „Aus“ und „Vollgas“ oft in einem sehr kurzen Regelweg des Lautstärkereglers abspielt. Außerdem generieren viele Musikanlagen bei hohen Spitzen- und Durchschnittspegeln Verzerrungen, da die internen elektrischen Schaltungen und Standardbauteile nicht für solch hohe Stromstärken ausgelegt wurden. Eine wissenschaftliche Untersuchung zu diesem Thema liegt von Thomas Lund (TC Electronic) vor und liefert eindeutige beweise gegen die oben genannte These.

**PRO:**

Der Klang wird durch sehr starke Kompression und Limiting (notwendig um eine hohe Lautstärke zu erreichen) ja nicht schlechter. Im Gegenteil. Limiting verbessert den Klang. Immer wenn ich einen Vorher-Nachher-Vergleich anstelle, hört sich die limitierte Version besser an.

**CONTRA:**

Bei einem direkten A/B Vergleich wird meistens die lautere Aufnahme bevorzugt. Wenn man also die negativen Artefakte eines Prozesses bewerten will, sollte man mit kompensierter Lautstärke vergleichen. Der Endkunde wird nie A/B Vergleiche anstellen können. Die gewonnene Lautstärke beeindruckt also im Studio, nicht aber auf CD, da kein Vergleich vorliegt. Das einzige Kriterium des Endkunden ist also der Klang der Aufnahme – Der Crest-Faktor selbst ist irrelevant.

Bei einem Vergleich mit angeglicherer Lautstärke werden die hinzugefügten Verzerrungen sehr schnell deutlich. Im Masteringstudio geht es niemals darum, mittels Brickwall-Limiting den Klang zu verbessern – es geht vielmehr darum, die Musik auf die Lautstärke zu bringen, die der Kunde verlangt, und dem Klang dabei möglichst wenig Schaden hinzuzufügen.

**PRO:**

Wenn der Entscheidungsträger der Produktion eine sehr laute CD haben will, so ist das seine Entscheidung.

**CONTRA:**

Diese Aussage ist natürlich korrekt. Wenn der Kunde spezifische Wünsche äußert, haben Techniker keine Entscheidungsgewalt um den Kunden zu überstimmen. Da der Kunde unsere Arbeit finanziert entscheidet er über die Ausführung.

Nichtsdestotrotz können wir Anregungen und Vorschläge machen. Wir können dem Kunden die negativen Auswirkungen von starkem Limiting, Clipping und Kompression vorführen, die Mythen im Hinblick auf „laute“ CDs widerlegen und ihn so nach bestem Wissen aufklären. Der Grund für den horrenden Verzerrungsgrad auf vielen der heutigen Tonträger ist die Unwissenheit der Entscheidungsträger.

Man sollte dabei natürlich sehr taktvoll vorgehen: Falls der Kunde auf einer trotzdem „lauten“ CD besteht, so soll er nicht das Gefühl bekommen, er erhalte von uns ein minderwertiges (verzerrtes) Produkt. Es herrscht ein weit verbreiteter Irrglaube, dass die berühmtesten Masteringstudios dieser Welt spezielle Geheimwaffen besitzen, die eine CD laut machen können ohne Verzerrungen hinzuzufügen.