

Fachbereich: Medien

**„Klangästhetische Analyse von professionellem Mastering  
unter Berücksichtigung aktueller Entwicklungen im Heimbereich“**

**- eingereicht als Bachelorarbeit -**

Hochschule Mittweida – University of Applied Sciences (FH)

Verfasser: Lars Dölle

Erstprüfer: Prof. Dr. Michael Hösel

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Götz-Michael Rieth

Mittweida - 2010

Dölle, Lars:

Klangästhetische Analyse von professionellem Mastering unter Berücksichtigung aktueller Entwicklungen im Heimbereich. - 2010 - 100 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Fachbereich Medien, Bachelorarbeit

Referat:

Die vorliegende Bachelorarbeit beschäftigt sich mit dem klangästhetischen Vergleich von professionellem Mastering gegenüber einem Mastering im Heimbereich. Ziel der Arbeit ist es herauszufinden, ob aktuelle technische Entwicklungen im Heimbereich in der Lage sind, gleiche klangliche Ergebnisse zu erreichen, wie große professionelle Mastering-Studios. Im Verlauf der Arbeit werden Techniken und Arbeitsweisen des Masterings vorgestellt und Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede zwischen Heim- und professionellen Produktionen herausgearbeitet. Die rein technische Betrachtung der Unterschiede zwischen Plugins und Outboard-Geräten werden im Rahmen dieser Arbeit eine eher untergeordnete Rolle spielen. Die klangästhetische Analyse soll unter Zuhilfenahme eines Hörtests durchgeführt werden.

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	11
1.1 Problemstellung und Zielsetzung.....	11
1.2 Gliederung der Arbeit.....	12
2. Begriffsklärung und Entwicklungsgeschichte.....	14
2.1 Definition professionelles Mastering.....	14
2.2 Definition Home-Mastering.....	14
2.3 Entwicklungsgeschichte des Masterings.....	15
3. Voraussetzungen.....	18
3.1 Studioakustik.....	20
3.1.1 Raumgeometrie.....	21
3.1.2 Nachhallzeit / Raumantwort.....	23
3.1.3 Early Reflections.....	24
3.1.4 Nebengeräusche.....	24
3.1.5 Studiomöbel.....	25
3.2 Abhörmonitore.....	27
3.3 Equipment.....	29
3.3.1 Equipment Professionell.....	29
3.3.2 Equipment Home.....	34
4. Vorbereitungen für das klangliche Mastering.....	35
4.1 Dateneingang.....	35

4.2 Nomenklatur und Ordnerstruktur.....	35
4.3 Archivierung und Datensicherheit.....	36
4.4 Zusammenstellung des Produktes.....	37
4.5 Arbeitsprotokoll.....	38
5. Techniken des Masterings.....	40
5.1 Filtern.....	40
5.2 Dynamikanpassung.....	44
5.2.1 Lautheit.....	44
5.2.2 Makrodynamik.....	48
5.2.3 Mikrodynamik.....	48
5.3 Stem-Mastering.....	50
5.4 M/S-Mastering.....	51
5.5 Nachbearbeitung / Restoration.....	53
5.6 Dithering.....	56
5.7 Codes (ISRC / UPC bzw. EAN).....	57
5.8 Erstellung des Pre-Masters.....	58
6. Feldversuch: Home- vs. professionelles Mastering.....	61
6.1 Studiokonfiguration professionelles Mastering.....	61
6.2 Studiokonfiguration Home-Mastering.....	63
6.3 Versuchsraum.....	63
6.4 Technischer Versuchsaufbau.....	64
6.5 Hypothese.....	65

6.6 Methode.....	65
6.6.1 Stichprobe.....	66
6.6.2 Versuchsdesign.....	67
6.6.3 Technische Unterschiede der ausgewählten Hörbeispiele....	68
6.6.4 Auswertungsverfahren.....	69
6.6.5 Durchführung.....	70
6.7 Ergebnisse.....	72
6.7.1 Einfluss der unabhängigen Variablen auf die Einschätzung....	72
6.7.2 Einfluss der unabhängigen Variablen auf die Verzerrung.....	74
6.7.3 Einfluss der Version auf alle weiteren abhängigen Variablen.	75
6.8 Schwächen des Feldversuches.....	76
6.9 Interpretation.....	76
7. Zusammenfassung.....	78
8. Literatur.....	79
Anlagen.....	LXXXIII

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wasserfalldiagramm stehende Wellen.....	22
Abbildung 2: Wirkungsweise einer abgeschrägten Tischoberfläche.....	25
Abbildung 3: Frequenzgang rosa Rauschen ohne Tischplatte.....	26
Abbildung 4: Frequenzgang rosa Rauschen mit ebener Tischplatte .....	26
Abbildung 5: Kurvenverlauf eines Terzband-EQs.....	41
Abbildung 6: Übersicht Frequenzbänder.....	42
Abbildung 7: Fletcher-Munson: Kurven gleicher Lautstärkepegel.....	46
Abbildung 8: K-System.....	47
Abbildung 9: Wavelab 6, Entfernung eines Klicks.....	54
Abbildung 10: Quantisierung mit überlagertem Rauschsignal (Dither). .	57
Abbildung 11: Einschätzung der Titel in ihren Versionen, Nicht-Musiker	74
Abbildung 12: Einschätzung der Titel in ihren Versionen, Musiker.....	74
Abbildung 13: Einschätzung VH vs. VP.....	XCVIII
Abbildung 14: Einschätzung VH vs. VP Malice .....	XCVIII
Abbildung 15: Einschätzung VH vs. VP Dickes B.....	XCVIII

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Geräteliste für professionelles Mastering.....	33
Tabelle 2: Plugins für Mastering im Heimbereich.....	34
Tabelle 3: Arbeitsprotokoll.....	39
Tabelle 4: Lage der Formanten der menschlichen Sprache.....	43
Tabelle 5: Nomenklatur ISR Code.....	57
Tabelle 6: Übersicht der beim prof. Mastering verwendeten Technik...	62
Tabelle 7: Übersicht der verwendeten Technik beim Home-Mastering.	63
Tabelle 8: verwendete Geräte.....	64
Tabelle 9: Versuchsdesign.....	68
Tabelle 10: Einschätzung der Titel in ihren Versionen, Musiker.....	73
Tabelle 11: Einschätzung der Titel in ihren Versionen, Nicht-Musiker.....	73
Tabelle 12: Bewertung der abhängigen Variablen in ihren Versionen.....	75
Tabelle 13: Einfluss der unabhängigen Variable Version.....	75
Tabelle 14: Berechnung der Mittelwerte.....	XCVII

## Abkürzungsverzeichnis

AD/DA	Analog Digital / Digital Analog
ADAT	Alesis entwickelte diese Schnittstelle in Zusammenhang mit dem Alesis Digital Audio Tape, einem 8-Kanal Digital-Audio-Recorder. Mittels Lichtleiterkabel werden digitale Audiosignale übertragen.
AES/EBU	Audio Engineering Society / European Broadcasting Unit: Audiostandard der Norm AES3 zur Übertragung digitaler Audioinformation via Kabel
Attended Session	Kunde ist beim Mastering-Prozess anwesend
CPU	Central Processing Unit
DAT	Digital Audio Tape
DAW	Digital Audio Workstation
dB	„deci bel“, der zehnte Teil eines Bels, dient zur Kennzeichnung des dekadischen Logarithmus des Verhältnisses zweier gleichartiger Leistungs- bzw. Energiegrößen
dBFS	engl. für „Dezibel full scale“, Einheit der absoluten logarithmischen Skala in einem digitalen tontechnischen System
dBu	absoluter Spannungspegel mit Bezugsspannung $U = 0,775V = 0\text{dBu}$
DDP	Disc Description Protocol
DSP	Digitaler Signalprozessor
EAN	European Article Number
EDL	Edit Decision List
ISRC	International Standard Recording Code

M/S	Stereofones Signalkodierungsverfahren in ein Mitten- und ein Seitensignal
PC	Personal Computer
PCM	Pulse Code Modulation
RAID	Redundant Array of Independend Discs
RAM	Random Access Memory
RMS	Roote Mean Square (quadratischer Mittelwert)
S/PDIF	Sony / Phillips Digital Interface
UPC	Universal Product Code
X/Y	XY-Stereophonie steht für die Wiedergabe der Kanäle links und rechts und deren Pegeldifferenz

## Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Michael Hösel für die Betreuung dieser Arbeit, sein großes Engagement und seine Unterstützung während meines Studiums, den beiden Mastering-Ingenieuren Götz-Michael Rieth und Dirk Henning Niemeier für die Betreuung dieser Arbeit und die Bereitstellung der professionellen Master-Versionen, allen Probanden für die Mithilfe beim Hörtest, allen Freunden und Bekannten, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, im Besonderen

Christian Gebhardt

IMM Prounique GmbH

Malice & MundArt

Natom Productions Dresden: Nathanael Wendt

Robert Hepach

sowie Delia Wiest und Karin Stötzer für die unermüdliche Geduld und Hilfe beim Korrekturlesen.

An dieser Stelle möchte ich mich auch ganz herzlich bei meinen Eltern und meinem Bruder bedanken, die mir mein Studium ermöglicht und mich bei allen Vorhaben unterstützt haben.

## 1. Einleitung

### 1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Immer mehr kommerziell erfolgreiche Musikproduktionen werden im Heimbereich durchgeführt. Zum einen gibt dies dem Künstler die Möglichkeit, seine Produktion in vertrauter Umgebung und ohne Bindung an festgelegte Studiozeiten durchzuführen. Zum anderen bestimmen auch die begrenzten finanziellen Ressourcen der Künstler den Rahmen, in welchem eine Musikproduktion durchgeführt werden kann. Die aktuellen technologischen Entwicklungen ermöglichen inzwischen aber auch im Heimbereich die Durchführung von Produktionen auf einem qualitativ hohen Niveau bei einem vergleichsweise geringen finanziellen Aufwand.

Auch wenn in Bezug auf den Aufnahme- und Mischprozess bei Musikproduktionen zunehmend die Heimvariante gewählt wird, zeigt sich beim Mastering, dass hier tendenziell eher die professionelle Studiovariante bevorzugt wird. Eine Erklärung dafür ist, dass das Mastering von Musikaufnahmen in der Regel innerhalb eines Tages erfolgt, während sich die Studiozeiten für den Aufnahme- und Mischprozess einer Produktion durchaus auf mehrere Wochen belaufen können. Für den Künstler ist die Aufteilung des Musikproduktionsprozesses in Home und professionell somit wesentlich kostengünstiger, als würde die gesamte Musikproduktion über ein professionelles Studio laufen.

Dennoch stellt sich die Frage, ob nicht auch der letzte Schritt innerhalb der Musikproduktion, also das Mastering, im Heimbereich mit qualitativ gleichwertigen Ergebnissen durchgeführt werden könnte?

Bisher wurde dem Bereich des Mastering in der wissenschaftlichen Diskussion vergleichsweise wenig Beachtung geschenkt. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher herauszufinden, ob es klangästhetische Unterschiede zwischen professionell gemasterter und im Heimbereich gemasterter Musik gibt.

## 1.2 Gliederung der Arbeit

Die Arbeit umfasst fünf thematische Bereiche. In Kapitel 2 wird zunächst eine begriffliche Abgrenzung zwischen Home- und professionellem Mastering vorgenommen sowie ein kurzer historischer Abriss über die klangliche Entwicklung gemasterter Produkte im Laufe der Zeit gegeben. Kapitel 3 beschäftigt sich mit den technischen und baulichen Voraussetzungen eines Masteringstudios. Im sich anschließenden Kapitel 4 werden die Vorbereitung eines Masterings und das technische Mastering behandelt. Dabei wird unter anderem auf die verschiedenen möglichen Eingangsformate, die Ordnerstruktur bzw. Nomenklatur sowie das Arbeitsprotokoll als Grundlage der Nachvollziehbarkeit und Kontrolle des gesamten Mastering-Prozesses eingegangen. Das 5. Kapitel beschäftigt sich mit dem klanglichen Mastering. Dies umfasst die Datenanalyse in Bezug auf mögliche Fehlerquellen, wie beispielsweise die Datenreduktion, das Filtern, dynamische Anpassungen sowie formale Aspekte, wie das Nachtragen von Metadaten (z.B. der CD-Text). Außerdem werden in Kapitel 5 verschiedene Techniken des Masterings vorgestellt. In Kapitel 6 wird in

---

einer empirischen Analyse untersucht, inwieweit es klangästhetische Unterschiede zwischen einem professionellen Mastering und einem Mastering im Heimbereich gibt. Anschließend werden in Kapitel 7 die Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst und ausgewertet.

## 2. Begriffsklärung und Entwicklungsgeschichte

Der Begriff „Mastering“ stammt aus der Zeit der Schallplattenherstellung. Die Aufgabe des Mastering-Ingenieurs bestand darin, die systembedingten Grenzen des elektro-mechanischen Nadeltonverfahrens durch technische Eingriffe in Hinblick auf den Frequenzgang, die Aufzeichnung tiefer Frequenzen bei Stereosignalen<sup>1</sup> und den verwertbaren Dynamikumfang zu kompensieren.<sup>2</sup> Um dies zu erreichen, ging der technischen Speicherung des Audiomaterials eine klangliche Bearbeitung vorweg.

### 2.1 Definition professionelles Mastering

Professionelle Mastering-Studios zeichnen sich vor allem durch eine sehr gute akustisch definierte Abhörumgebung in Kombination mit bestmöglichem Equipment und dem Sachverstand bzw. der Erfahrung des Mastering-Ingenieurs aus.

### 2.2 Definition Home-Mastering

Die meisten Heimkonfigurationen arbeiten ohne akustisch definierte Räume. Eine solche Maßnahme kostet viel Geld und setzt ein Verständnis für die Notwendigkeit akustisch definierter Räume voraus. Produktionen im Heimbereich sind meistens Plugin-basiert und verzichten auf jedwede externe Geräte. Meist sind die verwendeten Lautsprecher Nahfeldmonitore, welche nicht ausreichend präzise das Klangergebnis darstellen können. Auch hier spielt die wirtschaftliche Komponente eine große Rolle, denn gute Lautsprecher verbunden mit einer definierten Raumakustik

---

<sup>1</sup> bei zu großer Amplitude tiefer Frequenzen im Seitensignal, kann der Schneidestichel u.U. die Schneidspur verlieren

<sup>2</sup> vgl. Dickreiter/Dittel/Hoeg et al. 2008, S.817

sind teuer. Die Zeit ist zwar meistens vorhanden, leider mangelt es häufig an Erfahrung.

### 2.3 Entwicklungsgeschichte des Masterings

Im Laufe der Zeit fanden Mastering-Ingenieure Wege, die Musik mithilfe von Kompression und dem geschickten Einsatz von Filtern lauter zu machen und den Störabstand zwischen Nutz- und Rauschsignal zu erhöhen. Durch diese Entwicklung klangen einige Platten im Radio lauter als andere. Produzenten und Künstler folgerten daraus, dass ihre Musik besser verkauft werden würde, wenn sie im Radio lauter zu hören sei. Seither ist der Mastering-Ingenieur nicht nur für die technische Übertragung, sondern auch für die kreative Gestaltung der Musik verantwortlich.

Neben dieser klanglichen Bearbeitung trägt der Mastering-Ingenieur seitdem auch dafür Sorge, das Audiomaterial unter Berücksichtigung verschiedener Abhörsituationen (Küchenradio, Autoradio, Stereoanlage, iPod etc.) zu optimieren sowie die Mischung unvoreingenommen zu beurteilen.

Seit 1957 gibt es Stereoaufzeichnungen, welche einen räumlichen Schalleindruck ermöglichen. Durch den Einsatz von Filtern und Kompression kann der Mastering-Ingenieur seither auch Einfluss auf die Räumlichkeit der Aufnahme nehmen.

Mit der Einführung der CD im Jahre 1982 begann das digitale Zeitalter der Musikindustrie und auch im Mastering änderten sich Arbeitsweisen grundlegend und demzufolge auch das Klangbild des fertigen Produkts.<sup>3</sup> Die digitale Technik ermöglichte auch die extreme Einengung der Dynamik, wie zum Beispiel durch den Einsatz von

---

<sup>3</sup> vgl. Owsinski 2008, S.21

so genannten „Brick Wall Limitern“<sup>4</sup>. Dies hatte zur Folge, dass nun der Wettbewerb um das lauteste Master, den so genannten „Loudness War“<sup>5</sup>, endgültig ausbrach.

Inzwischen arbeiten nahezu alle Mastering-Studios mit so genannten DAWs (Digital Audio Workstation), also computergestützten Systemen mit der Möglichkeit externe, analoge Geräte einzubinden. Diese Arbeitsweise bringt eine große Zeitersparnis mit sich, da das Audiomaterial sehr schnell editiert werden kann, die Plugin-Einstellungen sofort aufrufbar sind und die fertigen Audiodaten sehr schnell gerendert<sup>6</sup> werden können, ohne sie in Echtzeit ausspielen zu müssen.

Streng genommen ist die Bezeichnung „Mastering“ für den Vorgang der klanglich-kreativen Bearbeitung nicht korrekt, sondern heißt im Fachvokabular „Pre-Mastering“, denn das eigentliche Glas-Master, das zur Erstellung des „Stempels“ der zu pressenden CDs verwendet wird, wird erst im Presswerk hergestellt. Erst hier werden alle Audio- und Subcodedaten, wie z.B. der CD-Text, in den finalen Datenstrom des Glas-Masters umgesetzt. Dennoch hat sich der Begriff „Mastering“ für den klanglich-kreativen Teil durchgesetzt.

Mit der stetigen Verbesserung digitaler, nativer<sup>7</sup> Mastering-Lösungen ist es mittlerweile möglich geworden, den kompletten Mastering-Prozess kostengünstig innerhalb des Rechners, ohne zusätzliche Geräte, durchzuführen. In diesem Zusammenhang hat es sich durchgesetzt, dass viele Produktionsschritte im Heimbereich durchgeführt werden, so auch das Mastering. Das Home-Mastering unterscheidet sich

---

4 **Brick Wall Limiter:** Pegel oberhalb der eingestellten Pegelgrenze werden nicht durchgelassen

5 **Loudness War:** siehe Kapitel 5.2.1, Lautheit

6 **Rendern:** einrechnen von Effekten in das Audiomaterial

7 **nativ:** zur Softwareanwendung gehörend

trotzdem deutlich von den Anforderungen, die ein professionelles Mastering-Studio erfüllen muss.

### 3. Voraussetzungen

Grundsätzlich gibt es vier Voraussetzungen, die beachtet werden sollten, um ein „ideales“ Mastering zu gewährleisten: (1) einen erfahrenen und gewissenhaften Toningenieur, (2) sehr gutes Equipment, (3) ein akustisch definiertes Studio und (4) die notwendige Zeit, die für ein sorgfältiges Ergebnis nötig ist.<sup>8</sup> Es fließen vor allem wirtschaftliche Überlegungen in den Gesamtprozess ein. Ein perfekt eingerichtetes Studio bedeutet eine Investitionssumme im deutlich 6-stelligen Bereich.<sup>9</sup> Diese Kosten werden auf den Kunden umgelegt. Folglich bleibt zu überlegen, ob nun tatsächlich jedes Gerät als Highend-Variante im Studio vorhanden sein muss oder ob ein gutes Zusammenspiel von sehr guten Outboard-Geräten und Plugins, wie sie vornehmlich im Heimbereich genutzt werden, auch eine Möglichkeit ist, qualitativ hochwertige Master zu erstellen. Die finanziellen Voraussetzungen des Kunden gehen meist mit Kompromissen beim Faktor Zeit oder bei der Geräteausstattung einher, da er häufig nicht in der Lage ist die Kosten von durchschnittlich 1.500€ bis 2.000€, die für das professionelle Mastering eines Albums erforderlich sind, zu zahlen.<sup>10</sup>

Entscheidet sich ein Kunde dennoch für ein Mastering-Studio mit technisch hochwertiger Ausstattung und entsprechend hohen Studio-Tagessätzen, so folgert Tischmeyer, wird er daran interessiert sein, die Zeit im Studio möglichst gering zu halten.<sup>11</sup> In der Regel darf der Kunde erwarten, dass sein Album innerhalb von acht Stunden für das Presswerk fertig gestellt wird, inklusive Gegenhören und Erstellung

---

<sup>8</sup> vgl. Tischmeyer 2006, S.20

<sup>9</sup> Quelle: Rieth 2009, *eastside mastering studios berlin GmbH*

<sup>10</sup> gängiger Preis auf dem deutschen Markt, Quelle: Rieth 2009, *eastside mastering studios berlin GmbH*

<sup>11</sup> vgl. Tischmeyer 2006, S.21

des Pre-Masters. In diesem Fall erreicht die Qualität des Masters höchstens 70 bis 75% des eigentlich möglichen Ergebnisses.<sup>12</sup>

Entscheidet sich der Kunde für die weniger kostenintensive Ausstattungsvariante, so kann ein Mastering-Ingenieur, der günstiger und Plugin-basiert arbeitet, für das gleiche Budget zwei Tage an dem Album arbeiten. Durch den Einsatz von Plugins können Effekte sehr schnell in das Audiomaterial eingerechnet werden und Einstellungen jederzeit rückgängig bzw. im Nachhinein wieder aufgerufen werden. Auf diese Weise erzielt der Mastering-Ingenieur möglicherweise 95% der erreichbaren Qualität.

Werden beide Mastering-Varianten gegenübergestellt, so liegt zunächst die Überlegung nahe, dass es in Bezug auf die Mastering-Qualität vorteilhafter erscheint, mehr Zeit unter Zuhilfenahme von sehr guten Plugins zu investieren, als der „oberflächliche“ Einsatz von Highend-Geräten aufgrund von Zeitmangel.

So einleuchtend die Ausführung Tischmeyers vielleicht im ersten Moment erscheinen mag, gibt es einige Punkte in seiner Überlegung, die kritisch zu hinterfragen sind. Die hohe Gewichtung der Komponente Zeit ist nur bedingt zulässig. Heutzutage berechnen die meisten Mastering-Studios ihre Arbeit nicht nach Tagessätzen, sondern nach einer so genannten Trackpauschale<sup>13</sup>. Diese erlaubt eine flexible Zeiteinteilung des Mastering-Ingenieurs in Hinblick auf die angestrebte Qualität. Weitaus bedeutender als die Zeitkomponente ist die Erfahrung des Mastering-Ingenieurs, unabhängig davon ob Outboard-Geräte oder Plugins verwendet werden. Fehlende Sachkenntnis lässt sich nicht ohne Weiteres durch einen zeitlichen Mehr-

---

<sup>12</sup> vgl. Tischmeyer 2006, S.21

<sup>13</sup> Zeitpauschale nur üblich, wenn Kunde beim Mastern anwesend ist

aufwand kompensieren. Nicht zuletzt ist das Ergebnis des fertigen Masters auch von der Qualität des Ausgangsmaterials abhängig, vor allem in Bezug auf die Mischung und die technische Qualität wie Bit-Tiefe oder Abtastrate. Darüber hinaus hat die Erfahrung der *eastside mastering studios berlin* gezeigt, dass Plugins aktuell noch keine Outboard-Geräte ersetzen können.<sup>14</sup>

Neben den Komponenten Zeit und Erfahrung fehlt es im Heimbereich allerdings auch häufig an akustisch definierten Räumlichkeiten und an notwendigem Equipment, wie beispielsweise qualitativ hochwertigen Lautsprechern.

Die in Kapitel 6 durchgeführte empirische Untersuchung soll beleuchten, wie sich die Eingangs beschriebenen Schwächen eines Home-Masterings in der tatsächlichen Höreinschätzung niederschlagen.

Die folgenden Überlegungen zur Umsetzung eines Mastering-Studios beziehen sich ausschließlich auf eine professionelle Konfiguration.

### 3.1 Studioakustik

Die Studioakustik ist ein sehr wichtiger Bestandteil bei der Planung eines Mastering-Studios. Jeder Raum hat seine eigene Klangcharakteristik. Im Gegensatz zu Aufnahmerräumen, in denen ein spezieller Raumklang durchaus erwünscht sein kann, sollte ein Mastering-Studio möglichst neutral klingen, um möglichst Verfälschungen auf dem Gehörten zu vermeiden. Arbeitet der Mastering-Ingenieur beispielsweise in einem Raum mit Bassüberhöhung, wird er vermutlich entsprechend tiefe Frequenzen

---

<sup>14</sup> Quelle: Rieth 2010, *eastside mastering studios berlin GmbH*

absenken. In einer anderen Umgebung würden dann aber genau diese Frequenzen fehlen.

Da die Studioakustik ein sehr umfangreiches Thema ist, sollen im Folgenden nur die wichtigsten Komponenten kurz erläutert werden.

### 3.1.1 Raumgeometrie

Jeder rechteckige Raum besitzt so genannte Raummoden. Dies bedeutet, dass es Resonanzen in dreizehn verschiedene Richtungen gibt:<sup>15</sup>

- axial – zwischen zwei gegenüberliegenden Wänden (3 Richtungen)
- tangential – zwischen zwei gegenüberliegenden Raumkanten (6 Richtungen)
- schief / diagonal – auf den Hauptdiagonalen des Raumes zwischen zwei gegenüberliegenden Raumecken (4 Richtungen)<sup>16</sup>

Aufgrund der Raumgeometrie können sich bestimmte, zumeist tiefe, Frequenzen im Raum überlagern und eine stehende Welle ausbilden. Dabei kommt es zu Überhöhungen oder Auslöschungen der entsprechenden Frequenz.<sup>17</sup>

---

<sup>15</sup> vgl. Görne 2008, S.70

<sup>16</sup> vgl. Görne 2008, S.70

<sup>17</sup> vgl. Görne 2008, S.71 und Abbildung 1

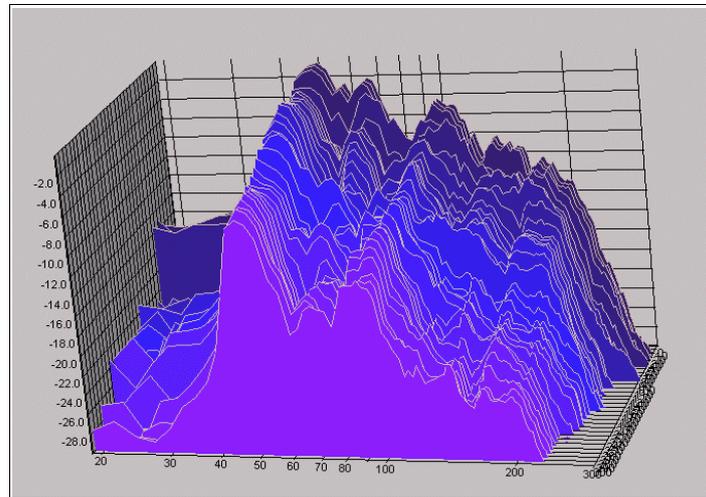


Abbildung 1: Wasserfalldiagramm stehende Wellen bei ca. 45Hz und 90Hz<sup>18</sup>

Insbesondere Frequenzen im tiefen Bereich neigen dazu, aufgrund ihrer großen Wellenlänge, im Raum stehende Wellen auszubilden (Bsp.: 60Hz entspricht bei 20°C Raumtemperatur einer Wellenlänge von 5,72m).<sup>19</sup> Diese Raummoden können zwar nicht verhindert, aber durch die geschickte Aufteilung des Raumes in Länge, Breite und Höhe, verteilt werden, um so Überlagerungen von Frequenzen zu vermeiden. Dies gelingt allerdings nur bei einer Raumgröße, deren Raummaße größer als die Wellenlänge tiefer Frequenzen sind. Die Wahrscheinlichkeit von Resonanzen ist deshalb gerade in kleinen Räumen sehr hoch. Neben der Anpassung der Raumproportionen ist auch der Einsatz von Absorbern ein sehr wirksames Mittel gegen Resonanzen.

Sind die Wände des Studios parallel angeordnet, kann es zu Flatterechos, also sich mehrfach wiederholenden Echos, zwischen den Wänden kommen.<sup>20</sup> Das Gleiche gilt

<sup>18</sup> Quelle: <http://www.mbakustik.de/dateien/leer.gif>

<sup>19</sup> vgl. <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-wellenlaenge.htm>

<sup>20</sup> vgl. Görne 2008, S.81

auch für die Anordnung von Decke und Fußboden. Um Flatterechos zu vermeiden, können Diffusoren eingesetzt werden und auch parallele Flächen im Raum „angeschrägt“ werden. Auch Raummoden höherer Frequenzen können durch das Vermeiden zueinander parallel stehender Flächen besser verteilt werden.

Das Studio sollte dennoch auf der Längsachse zwischen Abhörplatz und dem Mittelpunkt zwischen den Lautsprechern symmetrisch sein.<sup>21</sup> Dies ermöglicht eine homogene Abbildung auf beiden Kanälen (Links und Rechts) und ein symmetrisches Schallfeld der vorliegenden Aufnahme.<sup>22</sup>

### 3.1.2 Nachhallzeit / Raumantwort

Die Nachhallzeit beschreibt die Zeit, innerhalb welcher die Schallenergie um den Faktor  $10^{-6}$  ihres ursprünglichen Wertes abfällt.<sup>23</sup> Dies entspricht einer Pegelabsenkung um 60dB. Entscheidende Faktoren für die Dauer der Nachhallzeit sind der Absorptionsgrad der umgebenden Oberflächen und das Raumvolumen. Der Absorptionsgrad ist stark frequenzabhängig. Idealerweise sollte die Nachhallzeit über den gesamten Hörbereich gleichmäßig verteilt sein und einen leichten Anstieg bei tiefen Frequenzen aufweisen. Dieser Anstieg entspricht einer typischen Wohnzimmerhör-situation, die es auch dem Kunden innerhalb einer Attended Session<sup>24</sup> ermöglicht, das Audiomaterial im Studio beurteilen zu können. Durch den Einsatz von entsprechenden Absorbern, Reflektoren und Diffusoren kann die Nachhallzeit frequenzabhängig manipuliert werden. Je nach Raumgröße steigt die empfohlene Nachhallzeit

---

<sup>21</sup> vgl. Henle 2001, S.402

<sup>22</sup> vgl. Henle 2001, S.402 und Friesecke 2006, S.102f.

<sup>23</sup> vgl. Görne 2008, S.75

<sup>24</sup> **Attended Session:** wenn Kunde beim Mastern anwesend ist

an. Bei einer Regie mit der Grundfläche von 20 bis 25qm liegt der Richtwert bei etwa 200 bis 300ms.<sup>25</sup>

### 3.1.3 Early Reflections

Mit „Early Reflections“ sind die Reflexionen gemeint, welche den Hörerplatz innerhalb der ersten 50-80 ms erreichen.<sup>26</sup> Diese frühen Reflexionen beeinflussen die Wahrnehmung von Raumgröße, Raumeindruck (Raumgeometrie), Klang (Lautstärke und Klangfarbe) sowie die wahrgenommene Entfernung einer Schallquelle.<sup>27</sup> Der Pegel dieser Erstreflektion sollte mindestens 10dB unterhalb des Direktschallpegels liegen, besser noch 15-20dB.<sup>28</sup> Erreicht wird diese Absenkung durch Diffusoren oder Absorber.

### 3.1.4 Nebengeräusche

Nebengeräusche sollten nach Möglichkeit vollständig vermieden werden, da sonst keine exakte Beurteilung des Audiomaterials möglich ist. Störquellen können beispielsweise eine Klimaanlage, die Rechnerlüftung oder Straßenlärm sein. In einem Mastering-Studio, wie auch in jedem Aufnahme- bzw. Mischstudio, sollten all diese Geräusche möglichst reduziert bzw. vermieden werden.<sup>29</sup>

---

25 vgl. Tischmeyer 2006, S.29

26 vgl. Dickreiter/Dittel/Hoeg et al. 2008, S.23

27 vgl. Görne 2008, S.80

28 vgl. Tischmeyer 2006, S.30 und Katz 2007, S.195

29 vgl. Tischmeyer 2006, S.30

### 3.1.5 Studiomöbel

Bei der Einrichtung eines Mastering-Studios ist es neben raumakustischen Überlegungen auch wichtig, die Studiomöbel und deren akustisches Verhalten zu berücksichtigen. Eine ebene Tischplatte begünstigt den so genannten Kammfiltereffekt, da sich von der Oberfläche reflektierter Schall durch Verzögerung des Schallumweges (Lautsprecher zur Tischplatte zum Ohr) mit Direktschall gleicher Wellenlängen auslöschen oder summieren kann.<sup>30</sup> Dieses Problem kann durch eine im Winkel zur Abhörposition fallende Oberfläche gelöst werden, da diese den Schall nicht direkt zum Ohr reflektiert (vgl. Abb. 2). Der gewählte Winkel ist abhängig vom Abstrahlverhalten des verwendeten Lautsprechers. Werden Möbel massiver Bauart gewählt, kommt es außerdem zu einer Abschattung von Schall. Durch Stoffbespannung oder der Aussparung von Material wird eine bessere Schalldurchlässigkeit erreicht. Auf diese Weise kann eine Schallabschattung minimiert werden.

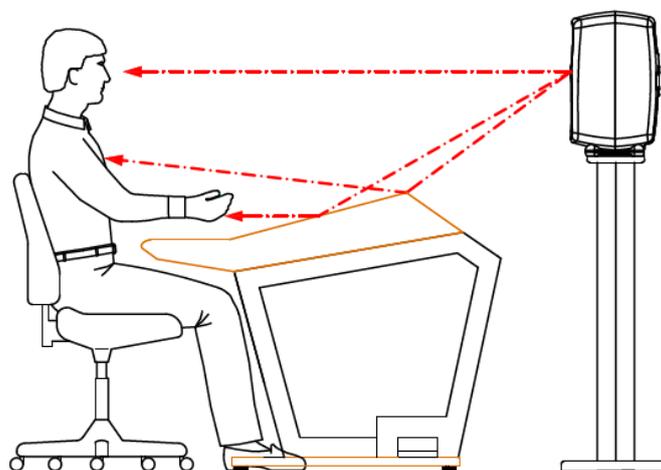


Abbildung 2: Wirkungsweise einer abgeschrägten Tischoberfläche<sup>31</sup>

<sup>30</sup> vgl. Fey 2008, S.54-58

<sup>31</sup> Quelle: Fey 2008, S.57

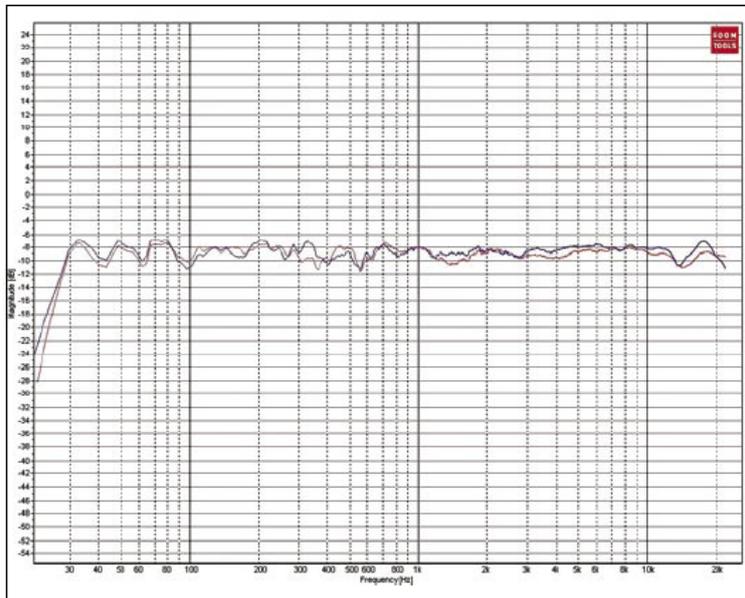


Abbildung 3: Frequenzgang rosa Rauschen ohne Tischplatte<sup>32</sup>

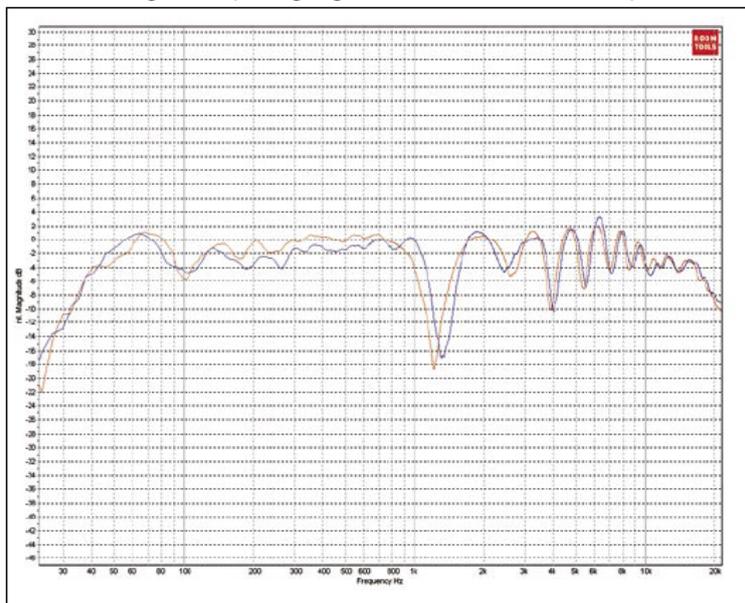


Abbildung 4: Frequenzgang rosa Rauschen mit ebener Tischplatte  
16dB Pegelabsenkung bei ca. 1.3kHz mit anschließenden Pegelsprüngen  
von ca. +/- 4dB (Kammfiltereffekt)<sup>33</sup>

32 Quelle: Fey 2008, S.58

33 Quelle: ebd.

### 3.2 Abhörmonitore

Ein Mastering-Lautsprecher muss das Audiomaterial präzise und möglichst unverfälscht wiedergeben. Bob Katz beschreibt die Wahl der Lautsprecher mit den Worten: „The mastering engineer's monitor system is an audio microscope“<sup>34</sup>.

Auch kleinste Feinheiten müssen abgebildet werden können, um entsprechende Eingriffe am Audiomaterial zu ermöglichen. Generell ist die Wahl des richtigen Lautsprechers eine Geschmacksfrage. Der Mastering-Ingenieur muss vor allem sehr vertraut mit seinen Boxen sein und wissen, wie das Audiomaterial auch in anderen Abhörsituationen (iPod, Küchenradio etc.) gut klingen wird. Es gibt allerdings Kriterien, die einen sehr guten Monitor auszeichnen.

Zum einen sollte das gesamte Hörspektrum des Menschen mit einem möglichst linearen Frequenzgang abgebildet werden können, um fehlerhafte Filtereinstellungen zu vermeiden.<sup>35</sup> Darüber hinaus ist es wichtig einen Lautsprecher zu wählen, welcher ein sehr gutes Impulsverhalten besitzt. Ein langsames Einschwingen und Ausschwingen der Lautsprechermembran führt vor allem bei tiefen Frequenzen dazu, dass Schall noch nach dem eigentlichen Impuls vom Lautsprecher abgestrahlt wird. Dieses „weiche“ Impulsverhalten hat eine nur ungenaue Beurteilung des Bassbereiches zur Folge.<sup>36</sup> Ein weiteres Kriterium von Abhörlautsprechern ist die Berücksichtigung des Phasengangs. Insbesondere bei Lautsprechern mit mehreren Boxen, die gleiche Frequenzen abstrahlen, kann es zu Auslöschungen kommen.

---

34 Quelle: Katz 2007, S.83

35 vgl. Katz 2007, S.84

36 vgl. Görne 2008, S.23

Neben der Bauart der Lautsprecher ist auch ihre Aufstellung im Raum von entscheidender Bedeutung. Der Schall eines Monitors wird sowohl nach vorn als auch nach hinten abgestrahlt. Wenn dieser rückwärtig abgestrahlte Schall von der Wand reflektiert wird und sich mit dem Direktschall mischt, kommt es zu Kammfiltereffekten. Je nach Abstand zur Wand sind entsprechende Frequenzen betroffen. Der Wandabstand entspricht einem Viertel der von Auslöschung betroffenen Wellenlänge, da die Strecke zur Wand und wieder zurück einer Phasendrehung des Signals um  $180^\circ$  entspricht. Bei einer Freiaufstellung der Lautsprecher im Raum ist es darum üblich, rückwärtig abgestrahlten Schall möglichst komplett zu absorbieren. Diese Bauweise wird auch als „Live End – Dead End“ bezeichnet. Eine weitere Lösung, um rückwärtig abgestrahlten Schall zu verringern, sind Monitore mit nierenförmiger Abstrahlcharakteristik. Es gibt auch die Möglichkeit, die Lautsprecher in die Wand einzulassen, um Reflexionen möglichst auszuschließen.<sup>37</sup> Seitlich und nach hinten abgegebene Schallanteile werden über die Wand abgestrahlt und addieren sich zum Direktsignal. Diese Lautsprecheraufstellung setzt allerdings voraus, dass die Wand aus einem nicht schwingenden Material besteht.

Werden Stative für die Lautsprecher verwendet, sollten diese möglichst schwer sein, um Körperschall durch die hohe Masse zu absorbieren. Darüber hinaus eignet sich eine Körperschalltrennung durch Spikes unter den Stativen. Damit wird verhindert, dass die Ständer in Resonanz versetzt werden. Gerade bei tiefen Frequenzen kann dies sonst zu einem sehr verwaschenen Bassklang führen.<sup>38</sup>

---

37 vgl. Fey 2009, S.35

38 vgl. Tischmeyer 2006, S.41

### 3.3 Equipment

Die Wahl des Equipments ist immer abhängig von den Vorlieben und dem finanziellen Budget des Mastering-Ingenieurs. Die folgende Zusammenstellung orientiert sich an einer von Bob Katz empfohlenen Geräteliste, der Gerätezusammenstellung der *eastside mastering studios berlin* sowie meiner eigenen Präferenz von Plugins im Heimbereich.

#### 3.3.1 Equipment Professionell

##### *Wandler*

Das Audiomaterial liegt in den meisten Fällen digital vor. Um es für die im professionellen Bereich übliche Analogkette zu wandeln, sind Wandler notwendig, die sehr präzise arbeiten müssen, um das Audiosignal möglichst fehlerfrei von analog zu digital bzw. von digital zu analog zu wandeln. Mögliche Fehlerquellen sind dabei Aliasing<sup>39</sup>, Quantisierungsrauschen<sup>40</sup> sowie Jitter<sup>41</sup> und sollten nach Möglichkeit ausgeschlossen werden.

##### *Monitorcontroller*

Der Monitorcontroller wird verwendet, um das Audiosignal auf verschiedene Lautsprecher zu senden, den Schallpegel exakt einzustellen oder das Signal auf Monokompatibilität zu prüfen.

---

39 **Aliasing:** Verzerrung des Audiosignals durch Unterabtastung

40 **Quantisierungsrauschen:** Störungen bei der Digitalisierung von Analogsignalen

41 **Jitter:** Zeitvariationen des digitalen Taktgebers

### *Schaltmatrix*

Mit einer Schaltmatrix ist es möglich, verschiedene Stereoquellen anzuschließen, wie z.B. Outboard. Somit kann die Reihenfolge bestimmt und verändert werden, in welcher die Audiosignale der Geräte bearbeitet werden.

### *Synchronisation*

Viele Mastering-Studios nutzen ein eigenständiges Gerät, als ausschließlichen Taktgeber für die Synchronisation der einzelnen digitalen Geräte. Damit können die Geräte in einer sternförmigen Anordnung angeschlossen werden, womit ein Durchschleifen des Taktsignals durch alle Geräte entfällt bzw. jedes Gerät eine primäre Master-Clock erhält. Darüber hinaus ist die Handhabbarkeit eines externen Gerätes unkomplizierter, da sehr schnell auf andere Abtastfrequenzen umgestellt oder beispielsweise aus einem Videosignal das Taktsignal gezogen werden kann.

### *Outboard analog*

Der größte Unterschied gegenüber einem Home-Mastering-Studio ist die Verwendung von Outboard. Analoges Outboard beinhaltet eine Auswahl an Equalizern und Kompressoren. Diese Geräte werden, sofern externe digitale Geräte vorhanden sind, nicht zur Ausbesserung genutzt, sondern färben den Klang entsprechend ihrer eigenen Bauart und der damit verbundenen Klangcharakteristik.

### *Outboard digital*

Neben analogen Outboard-Geräten werden auch digitale Outboard-Geräte eingesetzt, die aufgrund ihrer Bauart sehr präzise Eingriffe innerhalb des Audiomaterials erlauben. In der Kategorie Equalizer ist es möglich, Eingriffe vorzunehmen, ohne die Phase des Audiosignals zu verändern. Digitale Kompressoren werden vor allem als

Limiter eingesetzt, da sie wesentlich schneller auf Pegelspitzen reagieren können als die spannungsgesteuerte Verstärkung analoger Geräte. Digitale Limiter arbeiten mit einer vorausschauenden Signalanalyse, die eine dem Signalverlauf angepasste Einstellung der Parameter Threshold, Attacktime und Releasetime ermöglicht.<sup>42</sup> Damit wird der festgelegte Pegelgrenzwert nie überschritten, wodurch es zu weniger Verzerrung durch eventuelle Übersteuerungen kommt.<sup>43</sup> Weiterhin werden digitale Outboard-Geräte genutzt, um dem Audiomaterial Effekte hinzuzufügen, wie z.B. Hall. Diese Geräte nutzen Algorithmen, welche die entsprechenden Effekte wesentlich aufwendiger berechnen als vergleichbare Software-Plugins.

Die nachfolgende Tabelle 1 gibt eine Übersicht der üblicherweise verwendeten Geräte, obgleich keine Gewähr auf Vollständigkeit geben werden kann. Die Auswahl bezieht sich auf Empfehlungen von Bob Katz<sup>44</sup> sowie auf Geräte, die in den *eastside mastering studios berlin* verwendet werden.

---

42 vgl. 5.2.3 Mikrodynamik

43 vgl. Goertz/Müller 2000, S.5

44 vgl. Katz 2007, S.147ff.

Gerät / Gattung	Hersteller	Typ	
<b>Wandler analog/digital</b>	Cranesong	HEDD-192	
	Lavry	Gold AD 122-96 Mk III	
<b>Wandler digital/analog</b>	Lavry	Gold DA-924	
	Merging Technologies	Sphynx	
	Weiss	DAC 1	
<b>Monitorcontroller</b>	Cranesong	Avocet	
	Funk Tonstudioteknik	MTX-Monitor V3b	
<b>Schaltmatrix</b>	Manley	Mastering Backbone	
	Sound Performance Lab	Masterbay	
<b>externe Synchronisation</b>	Rosendahl	Nanosync	
<b>Outboard analog</b>			
<b>Equalizer</b>	Avalon Design	AD2077	
	Fairman	TMEQ SPE	
	George Massenburg	GML-9500	
	Manley	Massive Passive	
	Millenia	NSEQ-2	
	Tube-Tech	EQ 1AM	
	<b>Kompressoren</b>	Elysia	Alpha
		Fairman	TMC
		George Massenburg	GML-8900
		Manley	Stereo Variable Mu / SLAM!
Millenia		TCL-2	
Pendulum Audio	OCL-2		
<b>Outboard digital</b>			
<b>Equalizer</b>	George Massenburg	TC 6000	
	Weiss	EQ1-MkII	
	Z-Systems	ZQ-2	
<b>Kompressoren</b>	TC Electronics	System 6000	
	Weiss	DS1-MkIII	
	Z-Systems	Z-CL6	
<b>Brick Wall Limiter</b>	Waves	L2	
<b>Effekte</b>	TC Electronics	System 6000	

Gerät / Gattung	Hersteller	Typ
Plugins		
<b>Restoration</b>	Cubetech	Cubetech Restaurationspaket und SpectraPolator
	Wavelab	Wavelab Restaurationspaket
<b>Equalizer</b>	Algorithmix	Linear Phase PEQ red/orange
	Cubetech	analogEQ
	Flux	Epure II
	Universal Audio	Cambridge EQ, Pultec, Precision EQ
<b>Kompressoren</b>	Cubetech	VintageComp
	Universal Audio	Precision Bus Compressor
<b>Limitier</b>	Cubetech	Loudness Maximizer
	Universal Audio	Precision Maximizer, Precision Limiter
	Voxengo	Elephant Mastering Limiter

Tabelle 1: Geräteliste für professionelles Mastering<sup>45</sup>

45 Quelle: Katz 2007 S.147ff., eastside mastering studios berlin, eigene Darstellung

### 3.3.2 Equipment Home

Im Gegensatz zu einer professionellen Studiokonfiguration werden alle klangrelevanten Eingriffe am Rechner durchgeführt. Externe Geräte beschränken sich meist auf einen handelsüblichen Rechner sowie Kopfhörer bzw. Nahfeldmonitore. Die folgende Tabelle zeigt eine Auswahl an Plugins, die vornehmlich im Heimbereich genutzt werden.

Plugins	Hersteller	Typ
<b>Restoration</b>	Magix Samplitude	Restaurationspaket
	Steinberg Wavelab	Restaurationspaket
<b>Equalizer</b>	smartelectronix	Nyquist EQ
	Universal Audio	Cambridge EQ, Pultec, Precision EQ
	Waves	Renaissance EQ
<b>Kompressoren</b>	Buzzroom	BuzMaxi3
	Kjaerhus Audio	Classic Compressor
	Universal Audio	Precision Bus Compressor
	Waves	Renaissance Compressor
<b>Limiter</b>	Kjaerhus Audio	Classic Master Limiter
	Universal Audio	Precision Maximizer, Precision Limiter
	Waves	L2 Ultramaximizer

Tabelle 2: Plugins für Mastering im Heimbereich<sup>46</sup>

<sup>46</sup> Quelle: eigene Darstellung

## 4. Vorbereitungen für das klangliche Mastering

### 4.1 Dateneingang

Es gibt verschiedene Formen, wie das zu masternde Audiomaterial im Studio ankommen kann. In vielen Studios werden die Daten über eine Datenleitung oder auf einer Festplatte angeliefert. Dabei ist es wichtig, dass die Dateien mit einer Checksumme versehen werden, die sicher stellt, dass sie durch den Übertragungsweg nicht verändert worden sind. Die Anlieferung auf einer CD-Rom ist auch üblich. Formate wie DAT-Band oder analoge Magnetbänder haben mittlerweile nahezu ausgedient, außer im Re-Mastering-Bereich, wo alte Bänder neu eingespielt werden. Hin und wieder wird das Material auch auf einer Audio-CD angeliefert. Das hat allerdings den Nachteil, dass das Audiomaterial bereits auf 16bit reduziert wurde. Wenn es ein qualitativ besseres Format des Mixes gibt, sollte dieses auch die Grundlage für das Mastering sein. Darüber hinaus treten bei gebrannten CDs sehr schnell Jitter im Audiomaterial auf, bedingt durch schlechte Rohlinge oder zu schnelle Brenngeschwindigkeiten. CD- und DVD-ROM-Medien verfügen hingegen über eine hohe Datenkonsistenz, da sie im so genannten „Yellow Book Standard“<sup>47</sup> gebrannt werden.

### 4.2 Nomenklatur und Ordnerstruktur

In jedem Mastering-Studio ist es wichtig eine gewisse Grundordnung zu halten. Da viele Produkte unter Zeitdruck entstehen, ist es um so wichtiger das eigene Zeitma-

---

<sup>47</sup> **Yellow Book:** höhere Datensicherheit gegenüber Red Book (Audio-CD-Standard) durch zusätzlich genutzte Korrekturdaten (Logical Error Correction Code (LECC)), vgl. <http://www.mediatechnics.com/yellowbook.htm>

nagement durch eine entsprechende Ordnung zu unterstützen. Das eingehende Audiomaterial ist häufig sehr unterschiedlich betitelt. Je nach Kunde variiert die Nomenklatur sehr stark. Im eigenen Unternehmen sollte sich daher eine Nomenklatur etablieren, die für alle vorliegenden Projekte und Dateien angewendet wird, um eine schnelle Suche bzw. übersichtliche Archivierung zu ermöglichen.<sup>48</sup>

### 4.3 Archivierung und Datensicherheit

Das Audiomaterial wird heutzutage meist via Internet angeliefert bzw. nach der Fertigstellung wieder auf einen Server geladen oder von einem physischen Medium auf den Rechner kopiert oder eingespielt. Aus Gründen der Datensicherheit und zur besseren Stabilität des Systems empfiehlt es sich, die Audio-Workstation vom Netz zu entkoppeln und die Daten zwischen Internetrechner und Workstation über Festplatten zu verteilen.

Innerhalb der Audio-Workstation bietet sich ein so genanntes RAID-System<sup>49</sup> an, damit die Daten auch bei einem möglichen Festplattenausfall geschützt sind. Zusätzlicher Festplattenspeicher ist inzwischen vergleichsweise günstig zu erhalten, so dass es keiner immensen Investition bedarf, um eine solche Lösung zu installieren. Ideal ist natürlich die Nutzung eines internen Servers, auf welchem die fertigen Produkte archiviert werden können.

---

48 vgl. Tischmeyer 2006, S.133 und vgl. Katz 2007, S.303

49 **RAID:** redundant array of independent disks; RAID Systeme organisieren u.a. mehrere Festplatten zu einem logischen Laufwerk und beugen Datenverlust durch redundante Kopplung dieser Festplatten vor

#### 4.4 Zusammenstellung des Produktes

Dem zu masternden Audiomaterial sollte immer eine Labelcopy oder ein Tracklisting beigelegt werden, um sicherzustellen, dass auch alle Titel vorhanden sind.

Da das Repertoire bei großen Plattenfirmen häufig sehr umfangreich ist, enthält eine solche Labelcopy alle Informationen über Künstler, UPC/EAN<sup>50</sup>, ISRCs<sup>51</sup>, Spielzeiten, Urheberrechte sowie Label und Herkunft der Daten. Die Auflistung dieser Daten eines jeden Produktes sollte die Grundlage des gesamten Arbeitsprozesses innerhalb des Masterings bilden. Alle vorliegenden Titel werden mit der Labelcopy abgeglichen, um so mögliche Verwechslungen von Titeln oder falsche Versionen auszuschließen.

Zur Vorbereitung der klanglichen Bearbeitung des Audiomaterials gehört, neben der Dokumentation und Zusammenstellung des Produktes, auch die Analyse der einzelnen Titel in Hinblick auf ihr Korrelationsverhalten im Stereobild, einem eventuellen Gleichstromversatz sowie dem Abstand von Peaklevel und tatsächlichem odBFS Level. Gibt es auf Mischfehler zurückführbare Pegeldifferenzen zwischen dem rechten und linken Kanal, muss dieser Korrelationsfehler durch Pegelanhebung oder -absenkung eines der beiden Kanäle korrigiert werden. Gleichstromanteile des Audiosignals sollten durch Lowcut-Filter entfernt werden, da sie keinen tonalen Anteil am Gesamtsignal haben und zu viel Energie von Endstufe und Tieftöner in Anspruch nehmen.<sup>52</sup> Werden diese Gleichstromanteile nicht entfernt, kann es passieren, dass der Bassbereich nicht mehr klar dargestellt wird und „verwaschen“ klingt. Durch

---

50 **UPC:** Universal Product Code, EAN: European Article Number, näheres siehe 7.5 Codes

51 **ISRC:** International Standard Recording Code, näheres siehe 7.5 Codes

52 vgl. Tischmeyer 2006, S.119

den hohen Energieanteil von Gleichstrom, wird dem Gesamtsignal auch Headroom weggenommen.

Sind Aufnahmen nicht voll ausgesteuert, so ergibt sich ein nicht genutzter Dynamikraum zwischen tatsächlichem Peaklevel und der Vollaussteuerung von odBFS. Wird das Audiomaterial keiner weiteren Bearbeitung unterzogen, sollte eine Peak-Normalisierung durchgeführt werden, um diese Differenz auszugleichen.<sup>53</sup>

#### 4.5 Arbeitsprotokoll

Das Dokumentieren der einzelnen Arbeitsschritte ist in mehrfacher Hinsicht von großer Bedeutung. Zum einen ist in dem Protokoll ersichtlich welcher Arbeitsschritt wann, von wem und innerhalb welcher Zeitdauer durchgeführt wurde. Dies erleichtert die Kostenabrechnung und ermöglicht eine klare Auflistung der jeweiligen Arbeitsschritte gegenüber dem Kunden. Ein Protokoll stellt auf der anderen Seite eine eigene Kontrolle darüber dar, welcher Arbeitsschritt bereits durchgeführt wurde bzw. welcher noch fehlt, um später bei eventuellen Unklarheiten oder Rückfragen wieder darauf zurückgreifen zu können und die Reproduzierbarkeit aller Einstellungen (vor allem von Outboard) zu gewährleisten. Eigenheiten des Projektes werden in dem Protokoll ebenfalls erfasst, was insbesondere dann von praktischer Bedeutung ist, wenn ein Projekt lange Zeit nicht bearbeitet wurde. Wünsche des Kunden können ebenfalls im Protokoll notiert werden. Wenn mit mehreren Rechnern gearbeitet wird, ist es zudem von Vorteil, den jeweiligen Projektstandort aufzuschreiben (welcher Rechner, welche Festplattenpartition etc.).

---

<sup>53</sup> vgl. Tischmeyer 2006, S.91

Wie die nachfolgende Tabelle 3 zeigt, ist es neben den aufgeführten inhaltlichen Anmerkungen auch hilfreich, technische Daten im Protokoll zu vermerken:

dest.-#	source	file/songname	normlevel	RMS (post norm)	RMS (achieved)	DC removed	balance adjust	NR	comments
1	dat2 #11	01V1dr_love	-3	-18,5		x	---		
2	dat1 #1	02V1ramblin_man	-3	-16,3		x	---	intro	
3	cd1 #6	03V1no_money_down	-3	-21,6		x	left -0,8		
		03V2no_money_down	-3	-21,6		x	„-“		less highend F16kHz
4	cd2 #8								

Tabelle 3: Arbeitsprotokoll<sup>54</sup>

54 Quelle: Tischmeyer 2006, S.140

**dest.-#:** Finale Titelnnummer auf der zu masternden CD

**source:** Quelle der Datei

**File/Songname:** Titelnnummer, Version, Name des Titels

**Normalisierungslevel:** eingestellter Wert der Normalisierung

**RMS post norm:** Lautheitswert nach Normalisierung

**RMS achieved:** erzielte Lautheit nach Mastering

**DC removed:** Notiz, ob DC-Offset entfernt wurde

(ev. mit Angabe der Grenzfrequenz bzw. angewendete Methode wie EQ oder automatische Entfernung über Programm)

**DC removed:** Notiz, ob DC-Offset entfernt wurde

(ev. mit Angabe der Grenzfrequenz bzw. angewendete Methode wie EQ oder automatische Entfernung über Programm)

**Balance adjust:** Notiz der Korrekturen im Stereopanorama

**NR:** Noise Reduction, ob eingesetzt und wenn, in welcher Liedpassage

**Comments:** Notizen wie z.B. Kundenwünsche

## 5. Techniken des Masterings

### 5.1 Filtern

Es gibt ein Grundprinzip beim Mastern: eine Veränderung eines Parameters kann Auswirkung auf alle anderen Parameter haben.<sup>55</sup> Im Gegensatz zum Mix geht es beim Mastering nicht darum, einzelne Instrumente zu filtern, sondern ein ausgewogenes Klangbild aller Instrumente zu erzeugen. Unter Zuhilfenahme von Equalizern, also dem gezielten Eingriff in den Amplitudenfrequenzgang eines Tonsignals, wird versucht, diese Ausgewogenheit zu erreichen.<sup>56</sup> Üblicherweise wird zunächst der mittlere Frequenzbereich gefiltert. In diesem Bereich liegen Komponenten, die ein Lied maßgeblich charakterisieren, unter anderem Instrumente wie Klavier, Gitarren oder Snare sowie der Gesang. Selbst auf Laptoplautsprechern oder schlechten Küchenradioboxen ist dieser mittlere Frequenzbereich zu hören.<sup>57</sup>

Grundsätzlich werden zwei Bauarten von Filtern unterschieden: parametrische Equalizer (EQ) und grafische Filter. Der parametrische EQ geht auf den Toningenieur Georg Massenburg (1972) zurück.<sup>58</sup> Mit einem solchen EQ können drei Parameter unabhängig voneinander angesteuert werden: die Mittelfrequenz, die Bandbreite und der Grad der Verstärkung bzw. Absenkung. Im Mastering ist diese Gruppe der Filter am häufigsten anzutreffen.<sup>59</sup> Je nach Bauart eignen sich diese Filter entweder zum Entzerren von Resonanzfrequenzen durch sehr präzise steilflankige Filterkur-

---

55 vgl. Katz 2007, S.103

56 vgl. Kootz 2009, S.56

57 vgl. Katz 2007, S.104

58 vgl. <http://www.massenburg.com/c/gml/parametric.html>

59 vgl. Katz 2007, S.104/105

ven oder zum Beifügen einer gewissen Klangfarbe, um eine gewünschte Klangästhetik zu erreichen.<sup>60</sup>

Grafische EQs basieren auf festgelegten Frequenzbändern (typischerweise 31 Bänder mit 1/3 Oktavbreite), die lediglich im Grad der Verstärkung oder Absenkung verändert werden können. Sie werden vor allem im Studio zur Abhörkorrektur oder im Live-Bereich eingesetzt, allerdings nicht im Mastering, da die Güte der einzelnen Frequenzbänder festgelegt ist und die resultierende Frequenzkurve eine eher „wellige“ Form aufweist.<sup>61</sup>

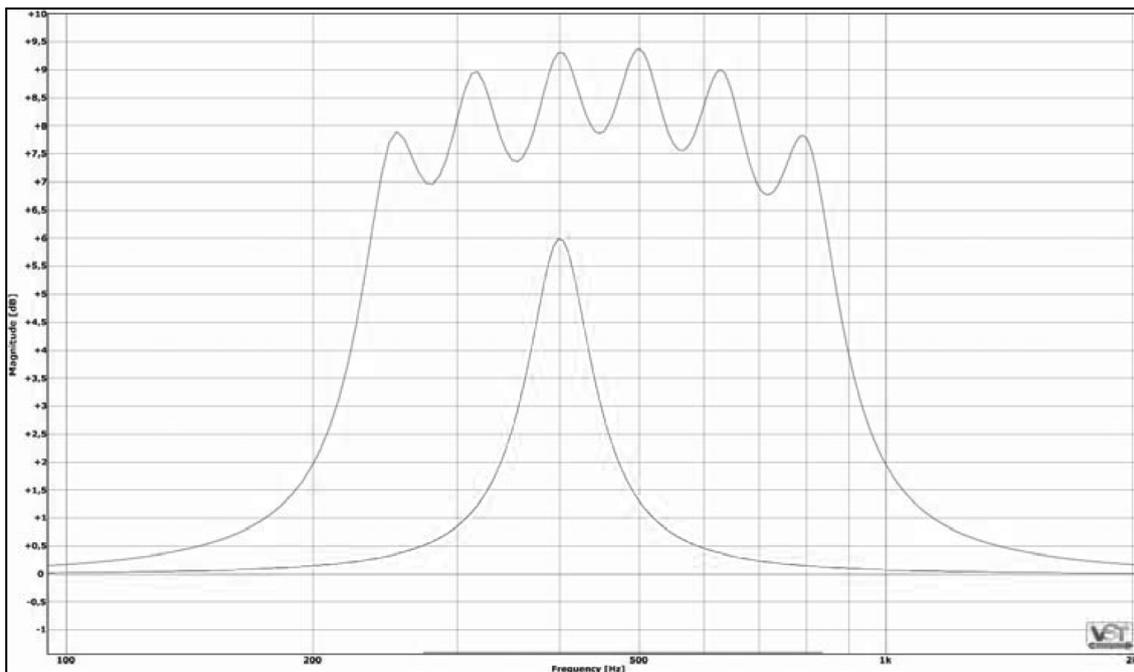


Abbildung 5: Kurvenverlauf eines Terzband-EQs im Vergleich zu einem einzelnen Band<sup>62</sup>

60 vgl. Tischmeyer 2006, S.177

61 vgl. Kootz 2009, S.59

62 Quelle: Kootz 2009, S.58

Es gibt verschiedene Begriffe, die das Frequenzspektrum versuchen mit verbalen Einschätzungen zu fassen. Bob Katz gibt eine gute Übersicht, welche Begriffe üblicherweise für welchen Frequenzbereich genutzt werden:

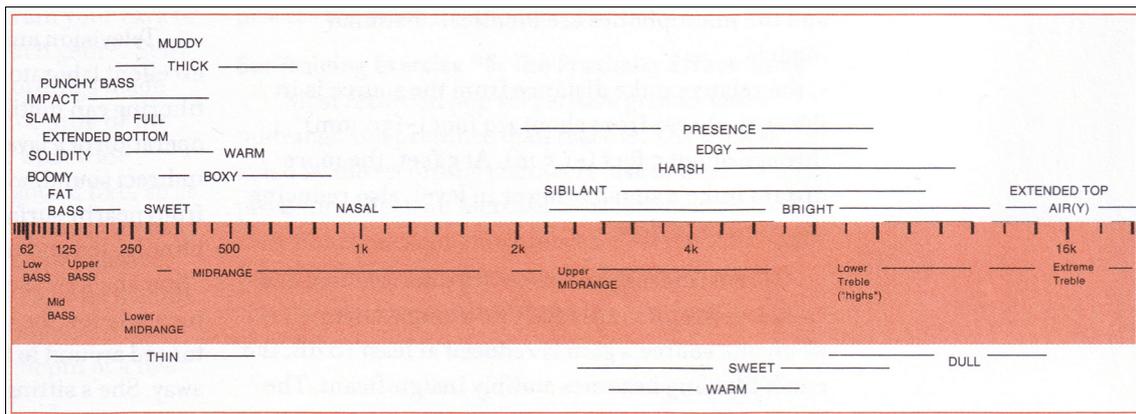


Abbildung 6: Übersicht Frequenzbänder<sup>63</sup>

Je nachdem, was im Master klanglich erreicht werden soll, werden gewisse Bereiche verstärkt oder abgesenkt.

Auch Tischmeyer unterscheidet 5 verschiedene Hauptfrequenzbereiche: (1) Subbassbereich, (2) Bassbereich, (3) tiefe Mitten, (4) hohe Mitten, (5) Höhen/Airband.<sup>64</sup>

Im Subbassbereich (0 – 25Hz) kann es zu tieffrequenten Störanteilen, wie z.B. Mikrofonrumpeln, innerhalb des Mixes kommen, die bei der Wiedergabe viel Energie der Endstufe und Lautsprecher verbrauchen. Gewisse elektronische Musik arbeitet bewusst mit Frequenzen in diesem Bereich. Wenn es sich aber um Störungen handelt, die nicht zum Mix gehören, empfiehlt es sich, durch den Einsatz eines Low-Cut Filters diese Störanteile zu entfernen.

<sup>63</sup> Quelle: Katz 2007, S.47

<sup>64</sup> vgl. Tischmeyer 2006, S.178ff.

Im Bassbereich (25 – 120Hz) befinden sich hauptsächlich der Bass und die Bassdrum. Da es kaum Frequenzüberschneidungen mit anderen Instrumenten in diesem Bereich gibt, ist eine unabhängige Einflussnahme auf diese Instrumente möglich. Dieser Frequenzbereich ist für die so genannte „Wärme“ im Lied verantwortlich.

In den tiefen Mitten (120 – 350Hz) überschneiden sich nahezu alle Instrumente. Dieser Bereich ist der zweite Bereich, welcher für die nötige „Wärme“ im Mix sorgt. Gleichzeitig kann dieser Frequenzbereich aber auch sehr schnell als störend empfunden werden, wenn die Musik als „dumpf“ wahrgenommen wird.

Der Mittenbereich (350 – 2000Hz) ist für das als „nasal“ bekannte Klangbild verantwortlich. Veränderungen in diesem Bereich sind sehr vom Mix abhängig, aber meist nicht nötig, da es selten Probleme durch z.B. schlechte Lautsprecheraufstellungen in der Mischung gibt.

Im Frequenzbereich der hohen Mitten (2kHz – 8kHz) liegt die Sprachverständlichkeit. Die nachfolgende Tabelle 4 gibt eine Übersicht der Formanten der menschlichen Sprache<sup>65</sup> mit dem dazugehörigen Frequenzbereich.

F <sub>1</sub>	(1. Formant)	200 – 800 Hz	(beim Mann 150 – 850 Hz)
F <sub>2</sub>	(2. Formant)	600 – 2500 Hz	(beim Mann 500 - 2500 Hz)
F <sub>3</sub>	(3. Formant)	1900 – 3000 Hz	(beim Mann 1500 - 3500 Hz)
F <sub>4</sub>	(4. Formant)	3000 – 4000 Hz	(beim Mann 2500 - 4500 Hz)

Tabelle 4: Lage der Formanten der menschlichen Sprache<sup>66</sup>

Eine entsprechende Anhebung oder Absenkung gewisser Frequenzen in diesem Bereich wirkt sich auf die Wahrnehmung der Klangfarbe des Gesangs aus. Darüber hin-

65 „Als Formant wird ein Partialtongebiet besonderer Intensität bezeichnet, welches die Klangfarbe eines Vokales bewirkt. Die Lage der Formanten in der Tonskala bleibt bei den einzelnen Vokalen unverändert, d.h., sie ist unabhängig von der Tonhöhe, in der der Vokal gesungen oder gesprochen wird“ (Wirth/Ptok 2000, S.92).

66 Wirth 1983, S.107

aus befinden sich in diesem Bereich aber auch Instrumente wie Gitarre, Klavier oder Teile des Schlagzeugs, welche immer auch von einer möglichen Veränderung betroffen wären.

Alle Frequenzen oberhalb von 8kHz bis ca. 12kHz zählen zum Bereich der Höhen. Eine Anhebung kann zu „Luftigkeit“ im Mix, aber auch schnell zu einem harschem Klang führen. Mit einem allmählichen Pegelabfall ab einer Frequenz von ca. 12kHz in Richtung 20kHz, dem so genannten „Airband“, kann eine dem Ohr eigene, natürliche Klangcharakteristik erreicht werden.<sup>67</sup> Das Frequenzspektrum eines Orchesters beispielsweise, welches vom Menschen als angenehm empfunden wird, hat eine ähnliches Frequenzspektrum.<sup>68</sup>

Ziel des Filterns sollte sein, eine ausgewogene Klangcharakteristik zu erreichen. Das menschliche Ohr empfindet eine Bass- bzw. Höhenanhebung mit einer leichten Absenkung der unteren Mitten, verbunden mit einer Unterstützung des Sprachbereiches (obere Mitten), als angenehm. Trotz aller graphischen Hilfsmittel sollte aber am Ende das Ohr des Mastering-Ingenieurs das finale Ergebnis beurteilen.

## 5.2 Dynamikanpassung

### 5.2.1 Lautheit

Die Geschichte der Lautheit beginnt mit der ersten Aufzeichnung von Musik. Im Jahre 1877 gelang es Thomas Alva Edison Töne in eine Zinnfolie zu ritzen und diese Töne nach Übertragung des Zinnfolienprofils auf einen Wachszyylinder erneut abzuspie-

---

67 vgl. Tischmeyer 2006, S.181

68 vgl. Katz 2007, S.104

len.<sup>69</sup> Da dieses Medium ausgesprochen rauschbelastet war, mussten die Musiker besonders laut spielen bzw. leise Instrumente bei der Aufnahme sehr nah an den Schalltrichter rücken, um überhaupt gehört zu werden.<sup>70</sup> Die daraus resultierende Einengung der Dynamik<sup>71</sup> war somit unvermeidbar. Mit der Erfindung von Mikrofon und Verstärker konnte ab Mitte der 1920er Jahre die Aufnahmequalität gegenüber dem bis dahin verwendeten Schalltrichter erheblich optimiert werden.<sup>72</sup> Eine weitere Verbesserung der Audioqualität brachte die Verwendung der Schellackplatte, eine Erfindung des Ingenieurs Emil Berliner im Jahre 1897. Ein halbes Jahrhundert später folgte 1948 die Vinylschallplatte. Das Signal-Rausch-Verhältnis, also die Pegeldifferenz zwischen Vollaussteuerung und Rauschpegel, erhöhte sich merklich.<sup>73</sup> Dies ermöglichte die Abbildung einer, im Vergleich zur Schellackplatte, umfangreichen Dynamikbreite, wie zahlreiche Aufnahmen der 1960er bis 1980er Jahre bezeugen. Durch den Einsatz von Kompressoren und Limitern im Zusammenspiel mit Digital- und Analogtechnik wurde die Dynamik jedoch immer weiter eingeeengt, um die Lautheit zu erhöhen. Die CD als digitales Speichermedium bietet zwar technisch einen enormen Dynamikumfang von 96dB, ironischerweise haben aber heutige Popproduktionen meist einen geringeren Dynamikumfang als die Aufnahmen Edisons im Jahre 1909 auf seinem Wachsylinder. Doch wie begründet sich diese Entwicklung?

Musikpsychologisch ist erwiesen, dass zwei identische Klangereignisse, die sich nur in der Lautstärke oder Lautheit unterscheiden, als unterschiedlich gut wahrgenommen werden.<sup>74</sup> Die Wahl des „besseren“ Musikstücks würde immer auf das lautere

---

69 vgl. Dickreiter/Dittel/Hoeg et al. 2008, S.371

70 vgl. Katz 2007, S.167

71 **Dynamik:** Systemdynamik = Rauschabstand + Headroom, vgl. Görne 2008, S.221

72 vgl. Dickreiter/Dittel/Hoeg et al. 2008, S.371

73 vgl. Görne 2008, S.221

74 vgl. Tischmeyer 2006, S.62

fallen. Die Begründung liegt in der Anatomie unseres Gehörs. Lautere Klangereignisse aktivieren zunächst unsere Aufmerksamkeit und geben uns das Gefühl, klangästhetisch besser zu sein. Ein weiterer Grund ist das Phänomen, dass Frequenzen gleicher Lautstärke (siehe Abb. 7) unterschiedlich laut wahrgenommen werden. Je lauter ein Klangereignis ist, desto lauter werden Frequenzen im Bass- bzw. Höhenbereich wahrgenommen. Ein am ehesten lineares Hören der Frequenzen gelingt nur bei einem Schalldruckpegel von 83dB SPL.

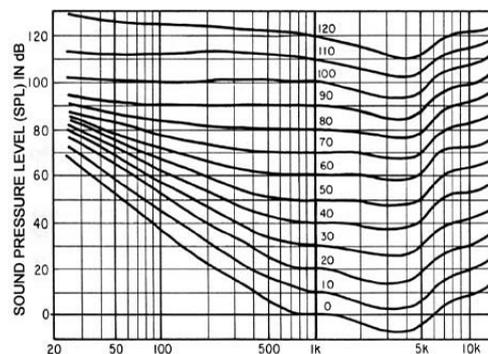


Abbildung 7: Fletcher-Munson: Kurven gleicher Lautstärkepegel<sup>75</sup>

Dieser Effekt wird beispielsweise genutzt, um Werbeeinspielungen im Radio oder im Fernsehen hervorzuheben. Entsprechend erklärt sich auch der eingangs erläuterte „Loudness War“. Beim Hören eines Radiosenders sticht ein lauter Titel deutlich heraus und wird als „besser“ empfunden. Inzwischen lässt sich jedoch eine Trendwende beobachten, da zum einen die Dynamikanpassungen im Radio dafür sorgen, dass alle Titel auf dem gleichen Lautheitslevel arbeiten und zum anderen eine Grenze erreicht wurde, die die Qualität eines Titels zugunsten noch höherer Lautheit enorm mindern lässt. Darüber hinaus hat Bob Katz mit seinem K-System einen weiteren Anstoß gegeben, dem Lautheitswettbewerb zu begegnen. Dieses System bringt die

<sup>75</sup> Quelle: <http://hansgrand.dk/pix/FletcherMunson.jpg>

definierte Abhörlautstärke in Zusammenhang mit einem festgelegten Headroom und definierten Anzeigecharakteristika (RMS +3dB).<sup>76</sup> Für verschiedene Musikstile und Anwendungen sind drei Haupteinsatzbereiche mit jeweils 20, 14 und 12dB Headroom vorgesehen. Diese Bereiche umfassen Kino, Heimkino und Rundfunk. Von Seiten des Masterings ermöglicht diese Einteilung die bessere Vergleichbarkeit verschiedener Produktionen in Hinblick auf bestimmte Parameter, die von der Abhörlautstärke abhängen, wie z.B. der Raumanteil oder der Frequenzgang im Bassbereich. 83dB SPL, also der Schalldruckpegel bei dem das menschliche Ohr am ehesten frequenzlinear hört, entsprechen auf allen K-Skalen der 0dB Marke.

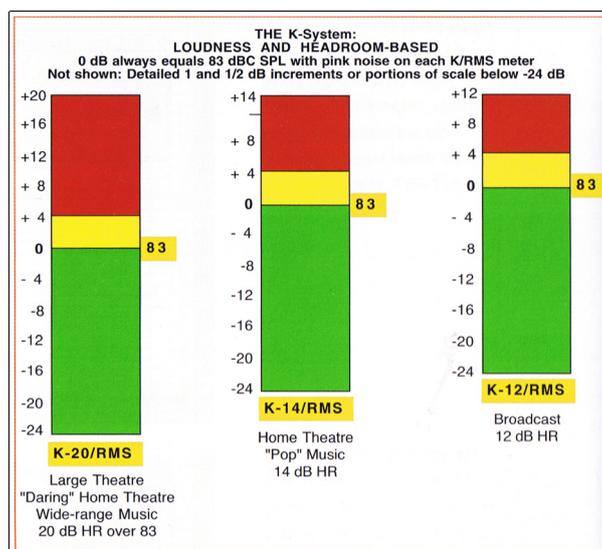


Abbildung 8: K-System<sup>77</sup>

Gleichwohl gibt es trotzdem immer wieder Beispiele von verschiedenen Künstlern, die dennoch versuchen, den Ehrenplatz des am lautesten gemasterten Albums zu erreichen.<sup>78</sup>

<sup>76</sup> vgl. Katz 2007, S.178

<sup>77</sup> Quelle: Katz 2007, S.186

<sup>78</sup> Beispiel: Metallica – Death Magnetic, vgl. <http://www.rollingstone.com/rockdaily/index.php/2008/09/18/fans-complain-after-death-magnetic-sounds-better-on-guitar-hero-than-cd/>

Neben dem Einsatz von Filtern sind dynamische Eingriffe ein weiterer wichtiger Arbeitsschritt beim Mastering eines Musikstückes. Es werden zwei verschiedene Arten der Dynamik unterschieden: Mikrodynamik und Makrodynamik.

### 5.2.2 Makrodynamik

Mittels Makrodynamik wird das gesamte Musikstück mit seinen musikalischen Teilen betrachtet. Es geht darum, die Unterschiede von Refrain zu Strophe oder Solist zu Ensemble unter Zuhilfenahme von dynamischen Eingriffen spannender bzw. dramatischer zu gestalten. Durch eine Absenkung oder Anhebung des Pegels über einen längeren Zeitraum innerhalb des Musikstücks kann der Kontrast zum folgenden Teil besser herausgestellt werden. Dies geschieht, ohne dass der Hörer den dynamischen Eingriff bewusst wahrnimmt. Dabei ist zu beachten, dass sich alle Eingriffe am musikalischen Verlauf des Stückes orientieren, also Crescendi<sup>79</sup> beispielsweise nicht mit einer Pegelabsenkung versehen werden. Zu Zeiten der Analogtechnologie wurden diese dynamischen „Nachzeichnungen“ mittels einer Faderbewegung in Echtzeit realisiert. Aktuelle computergestützte Systeme ermöglichen es, diese Faderbewegungen unter Zuhilfenahme von Lautstärkeautomationen umzusetzen.

### 5.2.3 Mikrodynamik

Jeder Eingriff in die technische Dynamik von Audiosignalen, sei es in Form eines Limiters, Expanders oder Kompressors, wird gemäß Bob Katz als mikrodynamischer Eingriff bezeichnet.<sup>80</sup> Der Kompressor verdichtet die Dynamik, der Limiter begrenzt den Höchstpegel und der Expander vergrößert die Dynamik des Audiosignals. Alle

<sup>79</sup> **crencendo:** (ital. anwachsen), musikalische Vortragsbezeichnung für „lauter werdend“

<sup>80</sup> vgl. Katz 2007, S.123

Geräte, bis auf den Expander, dienen der automatisierten Dynamikeinengung.<sup>81</sup> Das Ziel von Kompression ist die Erhöhung der Zuverlässigkeit der Aussteuerung von Signalen, die Einengung der Programmdynamik, die Klangverdichtung sowie die Erhöhung der wahrgenommenen Lautheit. Die Aussteuerung der Signale ist beim Mastering zu vernachlässigen, da dieser Schritt bereits beim Mischen erledigt wurde. Typische Einstellparameter eines Kompressors sind: Eingangsverstärkung (Input Level, Gain), Ausgangsverstärkung (Output Level, Makeup Gain), Kompressionsverhältnis (Ratio), Schwellwert (Threshold), Einregelzeit (Attack) und Ausregelzeit (Release, Recovery).<sup>82</sup>

Das Ziel beim Mastern sollte immer sein, eine Kompression möglichst unhörbar zu gestalten. Der klassische Weg ist die so genannte „Downward Kompression“, bei welcher programmabhängig Attack- und Releasezeit einstellt und gestaltet werden, so dass die Wahrnehmung der Kompression möglichst gering bleibt.

Eine spezielle Technik der Dynamikeinengung ist die so genannte parallele Kompression.<sup>83</sup> Dabei wird dem unkomprimierten Signal das komprimierte Signal zugemischt. Um eventuelle Phasenverschiebungen zu vermeiden, wird das Originalsignal zeitlich verzögert dem komprimierten Signal zugeführt. Dies hat den Vorteil, dass Transienten<sup>84</sup> nicht zerstört werden, leise Passagen aber an Lautheit bzw. Dichte gewinnen. Je nach gewünschtem Klang werden die Parameter des Kompressors entsprechend angepasst. Um einen transparenten Klang zu erreichen, ist es sinnvoll die Kompression mit einem möglichst niedrigen Schwellwert durchzuführen, um stetig

---

81 vgl. Dickreiter/Dittel/Hoeg et al. 2008, S.329

82 vgl. Görne 2008, S.348

83 vgl. Katz 2007, S.134

84 **Transienten:** sehr schneller, impulshafter, elektrischer oder akustischer Einschwingvorgang; meistens hochfrequente, steile Signale in Form instationärer Schwingungen

im Arbeitsbereich zu bleiben und die Einregelzeit möglichst gering einzustellen. Somit werden die Transienten nur im Originalsignal belassen und die Ausregelzeit wird relativ hoch gewählt (250-350ms), um ein mögliches „Pumpen“ zu vermeiden und das Kompressionsverhältnis so anzupassen, dass sich das komprimierte Signal gut in das Originalsignal einfügt. Die Ausgangsverstärkung des komprimierten Kanals bestimmt über die Höhe bzw. Hörbarkeit der Kompression. Soll der Klang aggressiver sein, kann z.B. die Einregelzeit des Kompressors erhöht werden. Damit mischen sich die Transienten des Originalsignals mit dem komprimierten Signal und treten im Gesamtklang lauter hervor.

Die parallele Kompression lässt sich auch sehr gut auf frequenzabhängige Kompression (Multibandkompression) anwenden. Wird beispielsweise nur der Bassbereich komprimiert und dem Originalsignal wieder zugeführt, ist dieser Frequenzbereich voller, ohne dabei die Transienten des Basses zu verlieren.

### 5.3 Stem-Mastering

„Stem“ (engl. für „Stamm“) bezeichnet spezielle Formen von Submixen, die dem Mastering-Ingenieur zur Verfügung stehen.<sup>85</sup> Dies kann beispielsweise der separate Mixdown der Hauptstimme oder bestimmter Instrumentengruppen sein. Alle „Stems“ zusammen ergeben den vollwertigen Mixdown. Dies erlaubt dem Mastering-Ingenieur die einzelnen Teile der Mischung perfekt ineinander zu fügen, ohne mit jedem Eingriff Einfluss auf alle Instrumente zu nehmen.

---

<sup>85</sup> vgl. Katz 2007, S.209

Wichtig bei der Anfertigung von Stems ist, dass die jeweiligen Submixe identisch lang sind und denselben Startpunkt haben. Alle Stems, selbst Monoinstrumente, sollten als Stereodatei vorliegen, um eine mögliche 3dB Erhöhung durch Summierung von zwei Stereokanälen zu einem Monokanal zu vermeiden. Stereo-Files sind eindeutig. Typische Stems sind Vokal-Stem und Instrumental-Stem. Der Instrument-Submix kann auch noch in weitere Stems unterteilt werden, wie beispielsweise in Rhythmusinstrumente und extra Bass-Stem. Jedes Instrument darf in jedem Submix auch nur einmal vorhanden sein, um mögliche Kammfiltereffekte oder Verschiebungen der Lautstärkeverhältnisse zu vermeiden. Ein Stem-Mastering dient nicht dem Remix von Audiomaterial, sondern soll durch den gezielten Einsatz hochwertiger Technik auf einzelne Teile des gesamten Stückes das Bestmögliche aus einer fertigen Mischung heraus holen. Dazu gehört neben Filterung und Dynamikanpassung auch die Lautstärkebalance der einzelnen Instrumentengruppen zueinander.

#### 5.4 M/S-Mastering

Wenn keine „Stems“ zur Verfügung stehen und dennoch einzelne Teile des vorliegenden Audiomaterials unabhängig voneinander bearbeitet werden müssen, gibt es die Möglichkeit das Audiomaterial mithilfe einer M/S-Codierung aufzubereiten. M/S-Mastering steht für Mitte/Seite oder Mono/Stereo Aufteilung des Audiosignals. Ein XY-Stereosignal<sup>86</sup> wird unter Zuhilfenahme eines Algorithmus zunächst in das Mit-ten- bzw. Seitensignal überführt, um es nach getrennter Bearbeitung wieder in ein XY-Stereosignal zu überführen. Dabei arbeitet der Algorithmus wie folgt:<sup>87</sup>

---

86 **XY-Stereophonie:** steht für die Wiedergabe der Kanäle links und rechts und deren Pegeldifferenz

87 vgl. Görne 2008, S.296

$$\begin{array}{l} L = (M + S) \frac{1}{\sqrt{2}} \\ R = (M - S) \frac{1}{\sqrt{2}} \end{array} \quad \text{bzw.} \quad \begin{array}{l} M = (L + R) \frac{1}{\sqrt{2}} \\ S = (L - R) \frac{1}{\sqrt{2}} \end{array}$$

Der Faktor  $1/\sqrt{2}$  entspricht einer Pegelabsenkung um 3dB, da sich die Amplitude des Stereosignals bei der Decodierung verdoppelt. Da beim Mastering zunächst das Signal M/S-codiert wird, um es danach wieder zu decodieren, kann der Faktor vernachlässigt werden. Eine Pegelanpassung wird nur dann nötig, wenn der Pegel nach der M/S-Codierung verändert wird, um beispielsweise einen Kompressor mit einem höheren Pegel anzusteuern. Diese Pegelanpassung richtet sich dann aber nach den vorgenommenen Eingriffen und ist nicht festgelegt.

Ziel der M/S-Codierung ist die getrennte Bearbeitung des Mitten- und Seitenkanals. Instrumente wie Gesang oder Bass liegen typischerweise in der Mitte. Ist der Gesang beispielsweise zu leise, kann er durch Anhebung der Lautstärke des Mittensignals besser herausgearbeitet werden, ohne die anderen Instrumente im Seitensignal anzuheben. Weiterhin kann das M/S-Verfahren als Stilmittel eingesetzt werden, um beispielsweise Refrain und Strophe mit einer unterschiedlichen Stereobreite zu versehen. Je lauter das Mittensignal ist, um so schmaler wird die Stereobreite des Summensignals bzw. je lauter das Seitensignal ist, desto räumlicher wird das Summensignal. Das gleiche gilt für den Einsatz von Filtern. Auch hierbei kann zielgerichtet Einfluss auf Instrumentengruppen entsprechend ihrer Anordnung im Panorama genommen werden. Ist die Vokalspur beispielsweise zu dumpf, können die hohen Frequenzen des Mittensignals angehoben werden, ohne die Instrumente des Seitensignals zu beeinflussen. Nicht zuletzt ist auch der Einsatz von Kompression nach

einer M/S-Codierung ein gutes Hilfsmittel, um ungleiche Verhältnisse zwischen Seiten- und Mittensignal an bestimmten Stellen des Audiomaterials zu beheben. Nachdem alle Änderungen vorgenommen wurden, wird das Audiosignal mit dem gleichen Verfahren wieder in eine XY-Stereodatei decodiert.

## 5.5 Nachbearbeitung / Restauration

Zur Nachbearbeitung gehören neben der Restauration des Audiomaterials vor allem Fades und die Pausen bzw. Marker zwischen den einzelnen Titeln. Zielsetzung ist immer die Durchhörbarkeit des Albums. Die Pausen sollten nie automatisch, sondern immer in Hinblick auf die Musikalität gestaltet werden. Schnelle Musik verlangt kürzere Pausen als zwei aufeinander folgende Balladen. Es gibt keine festgelegte Definition von Pausen. Schon die persönliche Tagesform des Mastering-Ingenieurs kann zu unterschiedlichen Pausen führen.<sup>88</sup>

Neben den Pausen sind Fades auch ein sehr wichtiges Mittel, die Übergänge von Musiktiteln zu gestalten. Verschiedene Aus- und Einblendkurven passen zu verschiedenen musikalischen Stilstiken. Ein sinusförmiger Fade klingt beispielsweise wesentlich natürlicher als ein linearer Fade. Auch hier gibt es keine festgelegte Regel wie Fades zu setzen sind, entscheidend sind die Präferenzen des Mastering-Ingenieurs.

„Im Bereich der klassischen Klangrestauration verstehen wir unter Störgeräuschen Abtastgeräusche und Artefakte unterschiedlichster Amplitude, Frequenz und Häufigkeit, die in Form von Knacken, Knistern, Rum-

---

<sup>88</sup> vgl. Katz 2007, S.96

peln, Zischen, Rauschen, kontinuierlichem Brummen und kurzzeitigem Brummen als Folge von Declicking auftreten.“<sup>89</sup>

Nachdem das Audiomaterial alle Schritte der Klangbearbeitung durchlaufen hat, muss es noch einmal komplett abgehört werden, um sicherzustellen, dass keine der genannten Störgeräusche entstanden bzw. überhört worden sind. Für jedes dieser Störgeräusche gibt es, je nach Schwere der Störung, eine Möglichkeit der Restauration. Viele Programme bieten bereits intern einige sehr nützliche Restaurationstools. „Wavelab 6“ beispielsweise kann das Signal in seiner spektralen Zerlegung darstellen. Dies ermöglicht ein schnelles Finden und Restaurieren der meisten Störgeräusche.

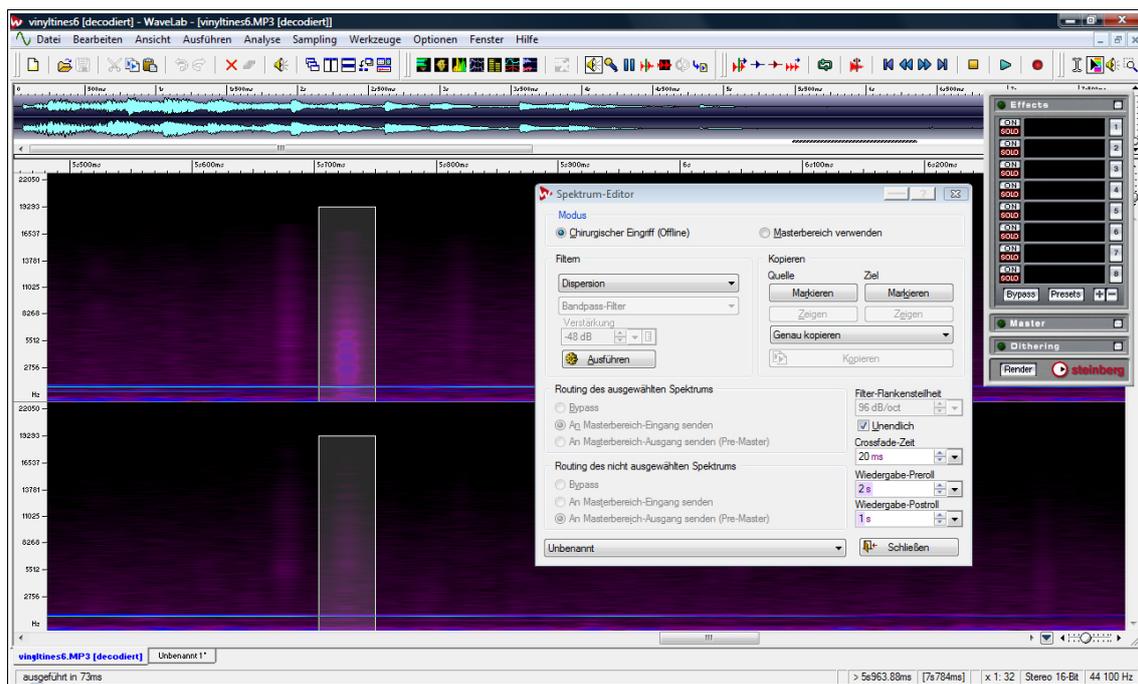


Abbildung 9: Wavelab 6, Entfernung eines Klicks<sup>90</sup>

89 Tischmeyer 2006, S.248

90 Quelle: eigene Darstellung

Der interne Spektral-Editor von Wavelab nutzt sehr steiflankige ( $>1000\text{dB/Oktave}$ ) phasenlineare Filter, um entsprechende Störgeräusche zu korrigieren.<sup>91</sup> Wesentlich mächtiger noch als dieses Tool ist der SpectraPolator von Cube-Tec. Mittels spektraler Interpolation des Signals können Störgeräusche sehr effizient entfernt werden. Unter „Interpolation“ wird ein Algorithmus verstanden, der beschädigte oder verloren gegangene Stellen im Audiomaterial anhand von benachbarten Audiodaten rekonstruiert.<sup>92</sup> Dieses Verfahren funktioniert sehr gut bei Störungen kurzer Dauer und breitem Frequenzspektrum (z.B. Klicks) oder auch langer Dauer, wenn das Störgeräusch sehr schmalbandig ist (z.B. homophoner Handy-Klingelton).

Einige Restaurations-Tools arbeiten automatisiert, wie z.B. der DeClicker. Dies birgt allerdings die Gefahr, dass das Tool nicht immer zwischen Nutzsignal und Störsignal unterscheiden kann.<sup>93</sup> Perkussive Klänge einer Snare, Explosivlaute<sup>94</sup> oder auch Handclaps sind dem Störsignal sehr ähnlich und werden nicht als Nutzsignal erkannt. Es besteht die Gefahr, dass der Musik eigene Transienten vom DeClicker zerstört werden. Die sicherste Art, Störgeräusche zu entfernen, ist immer noch das manuelle Entfernen.

Nachdem das Audiomaterial fehlerfrei ist, müssen noch der CD-Text sowie die ISR Codes und UPC eingetragen werden. Dies kann mit Wavelab erledigt werden, die Erfahrung der *eastside mastering studios berlin* zeigte allerdings, dass Wavelab in Hinblick auf den CD-Text nicht immer zuverlässig arbeitet. Aus diesem Grund verwen-

---

91 vgl. Nordmark 2006, S.277

92 vgl. Tischmeyer 2006, S.255

93 vgl. Tischmeyer 2006, S.253

94 **Explosivlaute:** Konsonanten, bei deren Artikulation der Atemluftstrom vollkommen blockiert und im Anschluss „explosionsartig“ wieder freigesetzt wird (typischer Weise P,T,K Laute)

det dieses Mastering-Studio ein von Sony entwickeltes Tool, das unabhängig von Wavelab eine CD-Text-Datei erzeugt, die dann dem fertigen DDP-File zugeführt wird.

## 5.6 Dithering

Wenn das Audiomaterial eine Wortlänge größer als 16 bit besitzt, muss dem Audiosignal ein Rauschen (Dithering) zugefügt werden, bevor es in das Pre-Master überführt wird. Bei einer Wortlängenkürzung auf die für Audio-CDs festgelegten 16bit kommt es ohne Dithering immer zu einem Quantisierungsrauschen. Dieses Rauschen resultiert aus den rechteckigen Stufen des quantisierten Signals, welches energiereiche harmonische Obertöne enthält.<sup>95</sup> Je geringer die Aussteuerung des Signals ist, desto größer wird das Quantisierungsrauschen, da die Auflösung des Least Significant Bit (LSB) nicht mehr ausreicht, das lineare bzw. zuvor höher aufgelöste Signal exakt darzustellen.<sup>96</sup> Das zugefügte, dem Ohr angenehmere, Dither-Rauschen summiert sich mit den leisen Signalen, ist dadurch lauter als das Quantisierungsrauschen und verdeckt die störenden Obertöne, die bei der Quantisierung entstehen. Es gibt verschiedene Arten von Dither-Rauschkurven. Das lineare Dithering entspricht einem weißen Rauschen. Nichtlineare Algorithmen arbeiten mit dem so genannten Noise-Shaping-Verfahren, welches das zugefügte Rauschen in den nicht hörbaren Bereich verschiebt bzw. den Rauschanteil tiefer Frequenzen reduziert. Das zugefügte Rauschen kann so angenehmer und dadurch weniger wahrnehmbar gestaltet werden.

---

<sup>95</sup> vgl. Dickreiter/Dittel/Hoeg et al. 2008, S.614

<sup>96</sup> vgl. Tischmeyer 2006, S.107

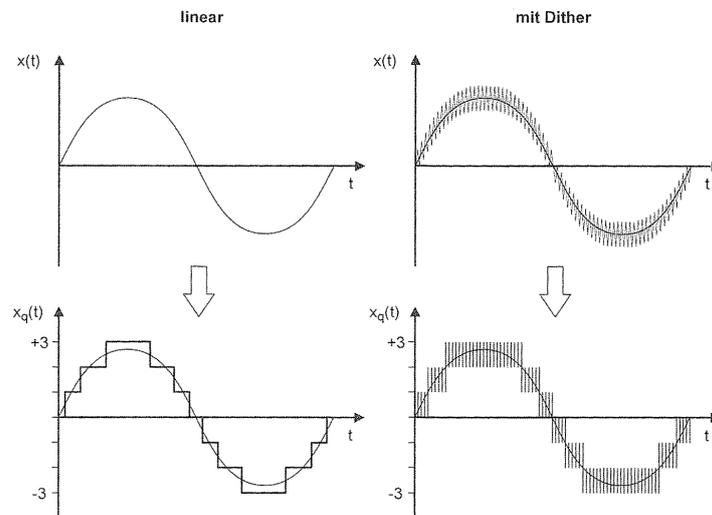


Abbildung 10: Quantisierung mit überlagertem Rauschsignal (Dither)<sup>97</sup>

## 5.7 Codes (ISRC / UPC bzw. EAN)

Jeder veröffentlichte Musiktitel, sei es als Onlineprodukt (e-Produkt) oder in Form eines physischen Mediums, sollte mit einer ihm eigenen Kennnummer (gemäß ISO 3901) versehen werden. Dieser ISR Code besteht aus einer 12-stelligen Anordnung von Buchstaben und Zahlen. Folgende Nomenklatur ist festgelegt:

Länderschlüssel	Erstinhaberschlüssel (Labelcode)	Jahresschlüssel	Aufnahmeschlüssel (fortlaufend, einmalig vergeben)
DE	P55	99	12345

Tabelle 5: Nomenklatur ISR Code<sup>98</sup>

Der Code ermöglicht eine genaue Firmenzuordnung von Ton- und Bildaufnahmen. Sämtliche Kostenabrechnungen laufen über diesen Code. Alle Datenbanken von

<sup>97</sup> Quelle: Dickreiter/Dittel/Hoeg et al. 2008, S.614

<sup>98</sup> Quelle: eigene Darstellung

Tonträgerherstellern, Verlagen, Verwertungsgesellschaften und Rundfunkanstalten werden mithilfe dieser Kennnummer organisiert.

Neben den ISRCs erhält auch jedes Produkt einen eigenen 13-stelligen Universal Product Code (UPC) bzw. eine eigene 14-stellige European Article Number (EAN). Diese Kennung ist allerdings nicht nur auf Produkte der Musikindustrie beschränkt, sondern gilt für sämtliche auf dem Markt befindliche Güter. Meist wird eine solche Kennnummer mit einem zugehörigen Strichcode kombiniert. Aus jeder UPC kann einer voran gestellten „0“ eine gültige EAN erzeugt werden. Die letzte Ziffer des UPC bzw. der EAN dient als Prüfziffer.

Technisch werden sowohl ISRCs als auch UPC/EAN entweder auf eine Master-Disc zusammen mit dem Audiomaterial gebrannt oder in den Standard „Disc Description Protocol“ eingebettet.

## 5.8 Erstellung des Pre-Masters

Nachdem das Projekt alle Schritte des klanglichen und inhaltlichen Masterings durchlaufen hat, wird das Pre-Master für das Presswerk erstellt. Dazu gibt es mehrere Formate, die üblich sind. Am meisten wird das DDP-Format verwendet, welches 1992 von der Firma DCA Inc. als plattformunabhängiges Austauschformat für Master-Medien patentiert wurde. Ein DDP besteht aus mindestens 4 Dateien, die ein fertiges Master gemäß red book standard<sup>99</sup> definieren:

---

<sup>99</sup> Definition Red Book gemäß IEC 60908: Maximalspielzeit: 79.8 min; Mindestspielzeit eines Tracks: 4 sek inklusive 2 sek Pause; maximale Trackanzahl: 99; maximale Anzahl Indexpunkte (Zwischenmarken eines Tracks): 99 ohne zeitliches Limit; International Standard Recording Code (ISRC) sollte eingearbeitet sein; technische Spezifikation: 16-bit PCM mit Abtastrate von 44.100Hz

- ddpid: DDP-Standard und EAN
- ddpms: Verzeichnis der Map-Streams (Audiodatei, PQ-Daten, CD-Text, ROM-Part wie z.B. Video), ihrer Namen und ihrer Größe -> Übereinstimmung mit realer Größe ist zwingend erforderlich!
- Audiodaten als durchgehendes Audiofile, z.B. image.dat (Name des Audiofiles muss in ddpms verzeichnet sein)
- Inhalt der Subcodechannels P&Q in einer PQ-Datei, z.B. pqdescr -> Marker / Titelverzeichnis für Audiofile

Wenn das DDP mit dem CD-Text versehen wird, kommt eine CDTEXT.bin Datei hinzu. Im Falle einer enhanced CD, also einem zusätzlichen Datenpart, wie z.B. einem Video, ist der Datenteil in Form eines weiteren Imagefile auch Bestandteil des DDPs.

Um DDPs zu erstellen, ist eine so genannte DDP-Solution erforderlich, die es erlaubt aus dem verwendeten Audioprogramm ein entsprechendes Datenpaket zu erstellen. Auch wenn der DDP-Standard international verbreitet ist und verwendet wird, verlangen einige Kunden nach wie vor das klassische physische Master. Dazu ist es notwendig, einen sehr zuverlässigen Brenner in Kombination mit qualitativ hochwertigen Rohlingen zu verwenden. Die Firma Plextor stellt Brenner her, die sich ideal für den Einsatz in einem Mastering-Studio eignen. Neben der hardwareseitigen Brennsicherheit wird außerdem eine Software (Plextools) zur Überprüfung von Brennfehlern mitgeliefert.

Abschließend werden alle vorgenommenen Veränderungen des Mastering-Prozesses in einem PQ-Protokoll vermerkt. Es enthält sämtliche relevanten Daten des Mas-

ters. Dazu gehören neben Titel und Künstler auch der Produkttyp (CDA, CDS etc.) sowie sämtliche ISR Codes, der UPC, Spielzeiten, Titellanzahl, Gesamtspielzeit, die Herkunft des Materials (Mixing-Engineer, download, Archiv etc.), das Label, die Protokollierung der vorgenommenen Master-Schritte, das Erstellungsdatum sowie die Namen der Personen, welche am Produkt gearbeitet haben.

## 6. Feldversuch: Home- vs. professionelles Mastering

Bei allen bereits genannten Techniken des Masterings stellt sich die Frage, ob ein Mastering, das ausschließlich unter den Voraussetzungen einer Heimkonfiguration durchgeführt wurde, in der Lage ist, dem klangästhetischen Vergleich mit einem professionellen Mastering stand zu halten? Immerhin gibt es starke Argumente, die für ein Home-Mastering sprechen- allem voran die wirtschaftliche Überlegung das Mastering kostengünstig zu gestalten. Bisher gibt es vor allem Studien, die den technischen Vergleich zwischen Plugin und Outboard unternehmen, jedoch nicht die klangästhetische Analyse des Ergebnisses. Eine Untersuchung von Hans-Joachim Maempel beschäftigt sich mit dem „Sound“ eines Popstücks in Hinblick auf klangästhetische Parameter.<sup>100</sup> Hier stellt sich die Frage: Bewirken verschiedene Mischungen eines Stückes beim Hörer unterschiedliche Bewertungen? Grundlage der Feldstudie der vorliegenden Arbeit ist ein Versuchsdesign, bei dem die Mischungen identisch sind und nur die Auswirkung des Masterings auf den „Sound“ und der damit verbundenen klangästhetischen Bewertung des Hörers untersucht wird.

### 6.1 Studiokonfiguration professionelles Mastering

Voraussetzung für die Feldstudie sind Hörbeispiele. Für die Produktion im professionellen Bereich kam dazu folgende Technik zum Einsatz:

---

<sup>100</sup> vgl. Maempel 2001

Gerät / Gattung	Hersteller	Typ
<b>Wandler analog/digital</b>	Lavry	Gold AD 122/96 Mk III
<b>Wandler digital/analog</b>	Merging Technologies	Sphynx
<b>Monitorcontroller</b>	Eigenentwicklung Emil-Berliner-Studios	Multichannel Audiomonitor
	Sound Performance Lab	Masterbay
<b>Pegelsteller</b>	Funk Tonstudioteknik	MTX-Monitor V3b
<b>externe Synchronisation</b>	Rosendahl	Nanosync
Outboard analog		
<b>Equalizer</b>	Fairman	TMEQ SPE
	Millenia	NSEQ-2
<b>Kompressoren</b>	Fairman	TMC
	Elysia	Alpha
Outboard digital		
<b>Equalizer</b>	Weiss	EQ1-MkII
<b>Kompressoren</b>	Waves	L2
	Weiss	DS1-MkIII
<b>Effekte</b>	TC Electronics	System 6000
Plugins		
<b>Restoration</b>	Cubetech	Restoration VPIs: u.a. SpectraPolator/DeClicker/DeNoiser
<b>Equalizer</b>	Flux	Epure II
	Cubetech	AttackDesigner
<b>Kompressoren</b>	Cubetech	Mastering VPIs: u.a. Loudness Maximizer, VintageComp
<b>Korrelation</b>	Cubetech	StereoShuffler

Tabelle 6: Übersicht der beim prof. Mastering verwendeten Technik (eastside mastering studios berlin)<sup>101</sup>

Neben der Studiokonfiguration verfügen die beiden Mastering-Ingenieure über eine jahrelange Berufserfahrung. Beide tragen den Titel des Diplom-Toningenieurs als Absolventen der Hochschule für Film und Fernsehen Babelsberg. Seit 2001 arbeiten

<sup>101</sup> Quelle: eastside mastering studios berlin 2009

sie im Bereich Mastering und haben unter anderem Künstler wie Till Brönner, Rammstein, Bushido oder auch Tokio Hotel gemastert.

## 6.2 Studiokonfiguration Home-Mastering

Bei der Erstellung der Home-Master kam folgendes Equipment zum Einsatz:

Komponente	Hersteller und Typ
PC	Lenovo Thinkpad R61i (4GB Arbeitsspeicher, Intel Core 2 Duo 1,5 Ghz)
AD/DA Wandler	RME Fireface 800
Monitore	Beyerdynamic DT 880 PRO Kopfhörer
Plugins	UAD 1 (Precision EQ, Precision Limiter, Precision Bus Compressor)
DAW	Steinberg Wavelab 5, Steinberg CuBase SX 3
Metering	RME DigiCheck

Tabelle 7: Übersicht der verwendeten Technik beim Home-Mastering<sup>102</sup>

Da zum Mastern keine Monitore zur Verfügung standen, wurden die verwendeten Klangbeispiele mit Kopfhörern produziert. Meine Erfahrung im Bereich Mastering zum Zeitpunkt der Erstellung der Hörbeispiele beruft sich auf Kenntnisse im Bereich Aufnahme und Mischung sowie die Teilnahme an einem Mastering-Kurs an der „University of the West of Scotland, Paisley“.

## 6.3 Versuchsraum

Der Versuch fand im Tonstudio Natom Productions Dresden statt. Der Raum wurde als Tonregie akustisch optimiert, um mögliche Störfaktoren, wie beispielsweise frühe Reflexionen, zu mindern. Die Positionierung der Lautsprecher wurde so gewählt, dass ein optimales Hören für die Probanden im Stereodreieck möglich war. Die Posi-

<sup>102</sup> Quelle: eigene Darstellung

tionen der Lautsprecher und des Hörers bildeten ein gleichschenkliges Dreieck. Die Lautsprecherbasisbreite betrug dabei 2m.

#### 6.4 Technischer Versuchsaufbau

Um den Hörtest durchzuführen, waren einige technische Vorkehrungen notwendig. Zum Einsatz kamen der Tonstudiorechner mit angeschlossenem Fireface 800 der Firma RME, der Monitorcontroller Mackie Big Knob und die aktiven Lautsprecherboxen MO2 der Firma ME Geithain.

Komponente	Hersteller und Typ
Tonzuspieler	PC, Steinberg Wavelab 6
DA Wandler	RME Fireface 800
Monitorcontroller/ Umschalteinheit	Mackie Big Knob
Lautsprecher	ME Geithain MO2

Tabelle 8: verwendete Geräte<sup>103</sup>

Die Musiksignale der beiden Liedversionen wurden auf zwei Stereokanälen vom Fireface 800 auf die beiden Stereoeingänge des Big Knob geroutet. Somit konnte der Proband selbstständig zwischen den beiden Versionen hin und her schalten, um die Titel im direkten Vergleich hören zu können. Der Monitor wurde außerhalb des Sichtfeldes des Probanden positioniert, um eine visuelle Beeinflussung zu vermeiden. Das Abspielen der Titel wurde von einem Dritten übernommen, so dass der Proband seine Konzentration ausschließlich dem Hören widmen konnte. Die Abhör-lautstärke wurde mittels rosa Rauschen auf 83dB SPL eingemessen, da gemäß Fletcher-Munson-Kurve bei diesem Wert eine nahezu lineare Balance zwischen Bass und Höhen erreicht wird, ohne das Gehör schädigen.

<sup>103</sup> Quelle: eigene Darstellung

## 6.5 Hypothese

Es wird erwartet, dass ein im Heimbereich gemasterter Titel schlechter klingt als derselbe Titel nach einem Mastering in einem professionellen Mastering-Studio.

## 6.6 Methode

Die aufgestellte Hypothese soll mithilfe eines Hörtests untersucht werden. Der Hörversuch besteht darin, dass Testbeispiele, die in Bezug auf Musikstil und Klanggestaltung variieren, Probanden zur Beurteilung vorgespielt werden. Ziel soll es sein, eine Tendenz bezüglich der Präferenz der Probanden für eine Version des Titels herauszustellen. Die empfundene Klangästhetik, welche ausschlaggebend für die Wahl eines der beiden Versionen der Titel ist, soll in einem Fragebogen protokolliert und später ausgewertet werden.

Der Fragebogen beinhaltet zwei Arten von Variablen, die abhängige Variable (auch Zielvariable) „Hörerurteil“, welche unter Zuhilfenahme von weiteren unabhängigen Variablen (auch erklärende Variablen) erfasst werden soll.<sup>104</sup> Die Variable „Hörerurteil“ setzt sich aus den folgenden Variablen zusammen: Einschätzung der Versionen, Lautstärke Bass, Lautstärke Höhen, Lautstärke Gesang, Dynamik (Verhältnis laut/leise), räumliche Abbildung und Verzerrung. Dieses Variablenspektrum soll ein genaues Bild der klangästhetischen Beurteilung durch den Probanden ermöglichen.

Für die Variable Einschätzung wurde die SAM-Skala (self-assessment Manikin) genutzt, die eine Einteilung des Urteils in fünf Schritte erlaubt. Die Skala gibt es in drei Versionen (Dominanzdimension, Zufriedenheitsdimension, Erregungsdimension)

---

<sup>104</sup> vgl. Anlage 2, Fragebogen Hörtest, S.93

und findet in der Erforschung von Emotionen Anwendung. Für den Fragebogen wurde die Skala Zufriedenheit ausgewählt.<sup>105</sup> Alle weiteren abhängigen Variablen wurden mit einer fünfstufigen Skala erfasst, da die Ausprägung dieser Variablen nicht mit der SAM-Skala abgebildet werden konnte.

Die erklärenden Variablen bestehen aus soziodemographischen Angaben wie Alter und Geschlecht sowie aus den Variablen Version (Home oder professionell), Musik hören, Musik spielen, Musik produzieren und der Stilistik (Rock oder Hip Hop).

Die angewendete Forschungsmethode der Untersuchung ist die mündliche Befragung im Einzelinterview. Die Grundgesamtheit der Stichprobe sind alle Käufer von kommerziell produzierter Musik, sowohl von Tonträgern als auch der im Internet käuflich zu erwerbenden Musik.

#### 6.6.1 Stichprobe

Gemäß einer Studie des Bundesverbands der Musikindustrie kauften im Jahr 2008 vier von zehn Deutschen (39,6%) mindestens ein Mal pro Jahr Musik.<sup>106</sup> Den höchsten Absatz erzielte die Tonträgerindustrie im Alterssegment der 30 bis 39-Jährigen. Hier gaben 58% der Hörer Geld für Musik aus. Für den Feldversuch wurden vor allem Studenten im Alter von 20 bis 29 getestet. Diese Zielgruppe erreicht einen ähnlich hohen Absatz von Tonträgern in der Sparte „Pop- und Rock“ wie auch die Altersgruppe der 30 bis 39-Jährigen und soll damit als Stichprobe stellvertretend für die Grundgesamtheit herangezogen werden.<sup>107</sup>

---

<sup>105</sup> vgl. Bradley und Lang 1994, S.49ff.

<sup>106</sup> vgl. <http://www.musikindustrie.de/musikkaeufere>

<sup>107</sup> vgl. ebd.

Insgesamt nahmen 26 Personen im durchschnittlichen Alter von 26 Jahren an dem Hörtest teil. Um mögliche Vorkenntnisse in der Musikbranche bzw. Musikproduktion zu streuen, wurden Probanden aus verschiedenen Fachbereichen mit unterschiedlichen musikalischen Vorkenntnissen eingeladen und getestet.

### 6.6.2 Versuchsdesign

Für den Hörtest wurden zwei Titel in jeweils zwei Versionen vorbereitet. Bei der Auswahl der Titel habe ich versucht, möglichst Produktionen auszuwählen, die nicht im Heimbereich unter Zuhilfenahme von Equipment geringerer Qualität entstanden sind. Der Fokus liegt somit auf den klanglichen Unterschieden, die während des Mastering-Prozesses entstehen.

Der erste Titel, „Dickes B.“, wurde im Sommer 2008 im Tonstudio der Hochschule Mittweida von mir sowohl aufgenommen als auch gemischt. Bei dem Lied handelt es sich um eine a cappella Adaption eines Hip Hop Titels der Berliner Band „Seed“, gesungen von MundArt. Stilistisch ist das Stück im Pop einzuordnen. Wie in vielen Home-Produktionen üblich, wurde die gesamte Produktionskette (Aufnahme, Mischung und Mastering) von mir übernommen. Damit berühre ich eine Komponente des Masterings, die nicht unwesentlich ist: Der Mastering-Ingenieur als externe Person mit beratender Funktion bezüglich möglicher Fehler eines Mixes. In diesem Hörbeispiel konnte ich diese Funktion nicht einnehmen. Die beiden Mastering-Ingenieure der *eastside mastering studios berlin* hingegen arbeiten ohne jegliches Vorwissen bezüglich der Produktionen.

Das zweite Hörbeispiel „Malice“, der gleichnamigen Band, wurde für die vorliegende Arbeit vom Toningenieur Christian Gebhardt zur Verfügung gestellt. Der Titel ist eine typische Rockproduktion. Die Wahl dieses Titels wurde gemeinsam mit den beiden Mastering-Ingenieuren der *eastside mastering studios berlin* getroffen. Bei diesem Titel nahm ich auch die Funktion eines externen, nicht in das Projekt involvierten Mastering-Ingenieurs ein.

Die Stichprobe von 26 Personen wurde auf die beiden Titel aufgeteilt, um die Dauer des Hörtests für jeden einzelnen Probanden zu minimieren. Des Weiteren variiert die Reihenfolge der im Fragebogen aufgelisteten Beurteilungskriterien von Home-Master und professionellem Master, um Positionseffekte der Fragen zu vermeiden.<sup>108</sup>

Musikstück 1	Malice - „Malice“	
Klanggestaltung	Master Home (MH)	Master Professionell (MP)
Stichprobe, 13 Personen	$S1_{(MH,MP)}, S2_{(MP,MH)}$	

Musikstück 2	MundArt - „Dickes B.“	
Klanggestaltung	Master Home (MH)	Master Professionell (MP)
Stichprobe, 13 Personen	$S3_{(MH,MP)}, S4_{(MP,MH)}$	

Tabelle 9: Versuchsdesign<sup>109</sup>

### 6.6.3 Technische Unterschiede der ausgewählten Hörbeispiele

Die ausgewählten Hörbeispiele lassen sich technisch nahezu gar nicht miteinander vergleichen, da das verwendete Equipment entsprechend der dem jeweiligen Gerät zugrunde liegenden Bauart sehr unterschiedliche Kennlinien, bei gleicher Einstellung, erzeugt. Ein Röhren EQ klingt beispielsweise grundlegend anders als ein Soft-

<sup>108</sup> **Positionseffekt:** mögliche Auswirkung der Anordnung oder Reihung von Fragen in einem Fragebogen auf die Beantwortung der Fragen

<sup>109</sup> Quelle: eigene Darstellung

ware EQ bei gleichen Einstellungen von Güte, Frequenz und Verstärkung. Darüber hinaus kann aus der finalen Wellenform kein Rückschluss auf die verwendeten Geräte und deren Klangverhalten gezogen werden, da es sich bei der finalen Datei um die Summe der einzelnen Klangprozesse handelt.<sup>110</sup> Der Fokus liegt auf der klangästhetischen Beurteilung des Ergebnisses. Eine Übersicht der verwendeten Geräte und Plugins in gewählter Reihenfolge befindet sich in Anlage 1.

#### 6.6.4 Auswertungsverfahren

Die durchgeführte Studie wurde mit den Messinstrumenten Mittelwerte und linearer Regressionsanalyse ausgewertet. Ziel einer Regressionsanalyse ist es, „den korrelativen Zusammenhang zwischen Variablen auf einen ihn am besten repräsentierenden funktionalen Zusammenhang zurückzuführen.“<sup>111</sup>

Folgende Annahmen liegen einer linearen Regression zugrunde und werden bei der nachfolgenden Analyse vorausgesetzt:<sup>112</sup>

1. Der Erwartungswert der Störgrößen, also die mittlere Abweichung des linearen Zusammenhangs, ist im Mittel 0.
2. Die Varianz der Störgrößen bleibt für alle Beobachtungen bzw. unabhängigen Variablen konstant.

Die unabhängigen Variablen sind stochastisch, also zufällig, verteilt. Darüber hinaus wird angenommen, dass die Designmatrix vollen Spaltenrang besitzt, also die Anzahl der Messwerte für alle Variablen gleich ist.

---

<sup>110</sup> Ein Vergleich des Verhaltens der einzelnen Geräte kann nur im direkten Vergleich von Gerät zu Gerät gleicher Funktion erfolgen. Dies soll aber nicht Bestandteil dieser Arbeit sein.

<sup>111</sup> Röhr, Lohe und Ludwig 1983, S.240

<sup>112</sup> vgl. Fahrmeir 2009, S.61

3. Es wird angenommen, dass die zufälligen Fehler normalverteilt sind. Zusammen mit den ersten beiden Annahmen ergibt sich daraus eine Normalverteilung der unabhängigen Variablen.
4. Es wird außerdem angenommen, dass die Störgrößen normalverteilt sind.

Der linearen Regression liegt folgendes mathematisches Modell zugrunde:

$$\begin{aligned} Y_i &= \beta_0 + \beta_k x_i + \epsilon_i & x_i &= \text{unabhängige Variablen} \\ (y_i, x_i), i &= 1, \dots, n & y_i &= \text{abhängige Variablen} \\ (\beta_k), k &= 1, \dots, n & \epsilon_i &= \text{Störgröße, unkorreliert mit homogener Varianz} \\ & & \beta_0 &= \text{Startpunkt der Regressionsgerade} \\ & & \beta_k &= \text{Steigungskoeffizient} \end{aligned}$$

Die beiden Parameter  $\beta_0$  und  $\beta_k$  sind unbekannt und werden mithilfe der Methode „Minimum der kleinsten Quadrate“ ermittelt. Dies bezieht sich auf die Minimierung der Differenz zwischen der Regressionsgeraden und den Messwerten  $y_i$ .

#### 6.6.5 Durchführung

Vor Beginn des Hörtests wurde den Probanden der Fragebogen erläutert, nicht jedoch die wissenschaftliche Fragestellung des Versuchs, um mögliche Verfärbungen bzw. Beeinflussungen des Probanden zu vermeiden. Die einzige Information war, dass es sich um einen Test handelt, bei dem zwei Versionen eines Titels zu hören sind, deren Klangästhetik es zu bewerten gilt. Dabei war ihnen unbekannt, welchen der beiden Testtitel sie bekommen würden. Jeder Proband wurde darüber informiert, dass keine speziellen musikalischen oder tontechnischen Kenntnisse und Fähigkeiten notwendig sind.

Bevor der eigentliche Test begann, wurden 2 Testtitel auf beiden Stereokanälen abgespielt, zwischen denen der Proband hin und her schalten konnte. Damit hatte die Testperson vorab die Möglichkeit, sich auf die Abhörlautstärke von 83dB SPL einzustellen und außerdem das Umschalten zwischen den Titeln zu üben.

Der eigentliche Test startete mit der ersten Version des ausgewählten Titels. Das Musikstück wurde vollständig gehört und die Attribute auf dem Fragebogen währenddessen bewertet. Nach einer kurzen Pause wurde die zweite Version des Titels vorgespielt und eine weitere Bewertung nach identischem Schema durchgeführt. Nachdem beide Versionen einzeln bewertet wurden, konnte der Proband im dritten Durchgang zwischen den beiden Versionen hin und her schalten und beide Versionen im direkten Vergleich auf Gefallen oder Nichtgefallen einschätzen. Der Test dauerte in der Regel nicht länger als 20 Minuten.

## 6.7 Ergebnisse

### 6.7.1 Einfluss der unabhängigen Variablen auf die Einschätzung

#### *Version*

Die Kernfrage der Untersuchung ist, ob sich die Home-Variante des gemasterten Titels von der professionell gemasterten Version unterscheidet. Im direkten Vergleich der beiden Versionen stellte sich heraus, dass die professionelle Version ( $M^{113}=4.27$ ,  $SD^{114}=0.72$ ) in der Einschätzung besser abschneidet als die Home-Version ( $M=3.19$ ,  $SD=1.02$ ).

Mithilfe der Regressionsanalyse konnte festgestellt werden, dass der Faktor Version einen positiven höchst signifikanten Einfluss<sup>115</sup> ( $\beta = 1.08$ ,  $t(254) = 10,47$ ,  $p < .000$ ) auf die Einschätzung hat.

#### *Musik spielen*

62% der Probanden gaben an, ein Instrument zu spielen ( $SD=0.5$ ). Die Variable Musik spielen hat einen positiven Einfluss auf die Einschätzung ( $\beta = 0.19$ ,  $t(254) = 1,65$ ,  $p = .100$ ). Probanden mit einem musikalischen Hintergrund haben im Durchschnitt beide Titel in beiden Versionen besser bewertet (Version Home:  $M=3.25$ ,  $SD=1$ ; Version Professionell:  $M=4.31$ ,  $SD=0.79$ ), als Hörer ohne musikalische Vorbildung (Version Home:  $M=3.1$ ,  $SD=1.1$ ; Version Professionell:  $M=4.2$ ,  $SD=0.63$ ). Die Abstufung der Bewertung für die professionelle bzw. Home-Version ist dennoch annähernd genauso

---

113 M=Mittelwert

114 SD=Standardabweichung

115 Signifikanzniveaus: höchst signifikant:  $p < .001$ , hoch signifikant:  $p < .005$ , signifikant:  $p < .01$

groß, wie die Bewertung der Probanden ohne musikalischen Hintergrund. Es gibt also keinen Interaktionseffekt zwischen dem Faktor Musik spielen und Version.

### Stilistik

Die Hälfte der Probanden bewertete den Titel Dickes B. und die andere Hälfte den Titel Malice. Dabei stellte sich heraus, dass die Stilistik unabhängig von der Version einen höchst signifikanten Einfluss auf die Einschätzung hat ( $\beta = -0,47$ ,  $t(254) = -4.46$ ,  $p < .000$ ). Der Titel Dickes B. wurde von den Probanden in beiden Versionen besser bewertet als der Titel Malice (Dickes B. Version Home:  $M=3.46$ ,  $SD=1.13$ ; Version Professionell:  $M=4.46$ ,  $SD=0.52$ ). Die Abstufung der Bewertung für die professionelle bzw. Home-Version ist dennoch annähernd genauso groß, wie die Bewertung der Probanden des Titels Malice (Malice Version Home:  $M=2.92$ ,  $SD=0.86$ ; Malice Version Professionell:  $M=4.08$ ,  $SD=0.86$ ). Auch hier liegt kein Interaktionseffekt zwischen dem Faktor Stilistik und Version vor.

Malice	Dickes B.	
2,63	3,88	M Version Home
0,92	0,64	SD Version Home
3,88	4,75	M Version Professionell
0,83	0,46	SD Version Professionell

Tabelle 10: Einschätzung der Titel in ihren Versionen, Musiker<sup>116</sup>

Malice	Dickes B.	
3,40	2,80	M Version Home
0,55	1,48	SD Version Home
4,40	4,00	M Version Professionell
0,89	0,00	SD Version Professionell

Tabelle 11: Einschätzung der Titel in ihren Versionen, Nicht-Musiker<sup>117</sup>

116 Quelle: eigene Berechnung

117 Quelle: eigene Berechnung

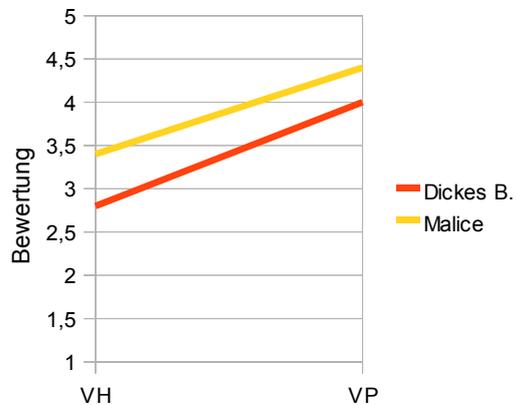


Abbildung 11: Einschätzung der Titel in ihren Versionen, Nicht-Musiker<sup>118</sup>

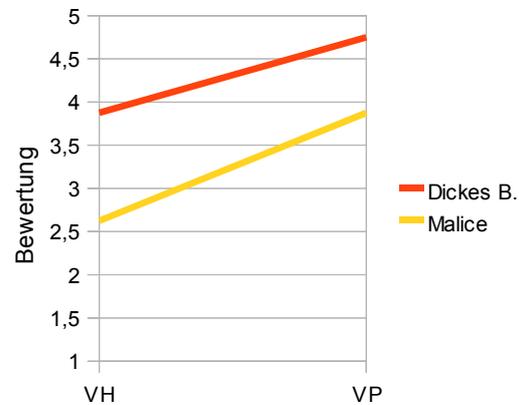


Abbildung 12: Einschätzung der Titel in ihren Versionen, Musiker<sup>119</sup>

Innerhalb der Gruppe „Probanden mit musikalischem Hintergrund“ wurde der Titel Dickes B. in beiden Versionen besser eingestuft, als der Titel Malice.

#### 6.7.2 Einfluss der unabhängigen Variablen auf die Verzerrung

Die Verzerrung der professionellen Version wurde im Mittel geringer bewertet ( $M=1.77$ ;  $SD=1.03$ ) als die Verzerrung der Home-Version ( $M=2.27$ ;  $S=1.19$ ).

#### Version

In der Regressionsanalyse zeigte sich tatsächlich ein negativer höchst signifikanter Einfluss der Variable Version auf die Variable Verzerrung ( $\beta = -0.5$ ,  $t(254) = -4.16$ ,  $p < .000$ ).

118 Quelle: eigene Berechnung

119 Quelle: eigene Berechnung

### Stilistik

Der Titel Malice wurde unabhängig von der Version mit einer höheren Verzerrung eingestuft (Malice Version Home:  $M=2.69$ ,  $SD=1.25$ ; Version Professionell:  $M=2.31$ ,  $SD=1.11$ ) als der Titel Dickes B. (Dickes B. Version Home:  $M=1.85$ ,  $SD=0.99$ ; Version Professionell:  $M=1.23$ ,  $SD=0.6$ ).

### 6.7.3 Einfluss der Version auf alle weiteren abhängigen Variablen

Die Einschätzung der Variablen Lautstärke Bass, Lautstärke Höhen, Lautstärke Gesang, Dynamik und räumliche Abbildung der professionellen Version liegt im Mittel immer näher am Ideal („genau richtig“) als die Home-Version.

Lautstärke Bass	Lautstärke Höhen	Lautstärke Gesang	Dynamik	räuml. Abb.	
3,56	2,31	2,80	3,04	3,19	M Version Home
0,77	0,68	0,87	0,96	0,80	SD Version Home
3,31	2,62	2,88	3,12	2,96	M Version Professionell
0,55	0,80	0,52	0,77	0,72	SD Version Professionell

Tabelle 12: Bewertung der abhängigen Variablen in ihren Versionen<sup>120</sup>

Es zeigt sich, dass die Variable Version für die abhängigen Variablen Lautstärke Bass, Lautstärke Höhen und Dynamik zwar einen positiven Einfluss hat, der aber nur für die Variable Lautstärke Gesang signifikant ist.

	$\beta$	t(46)	p
Lautstärke Bass	0,26	1,59	0,12
Lautstärke Höhen	0,23	1,46	0,15
Lautstärke Gesang	0,33	2,05	0,05
Dynamik	0,23	1,4	0,17

Tabelle 13: Einfluss der unabhängigen Variable Version<sup>121</sup>

<sup>120</sup> Quelle: eigene Berechnung

<sup>121</sup> Quelle: eigene Berechnung

## 6.8 Schwächen des Feldversuches

Die Durchführung des Hörtests zur klangästhetischen Bewertung von zwei Masters eines identischen Titels hat gezeigt, dass es eine eindeutige Präferenz des Hörers zugunsten des professionellen Masters gibt. Dennoch kann der Hörtest nur eine Idee geben, welche konkreten Faktoren Einfluss auf die Bewertung der Musik nehmen. Um von einem repräsentativen Test zu sprechen, wären deutlich mehr Probanden (mindestens 100) unterschiedlichen Alters, Geschlechts, Bildungsstandes sowie musikalischer Vorbildung für jeden Titel nötig gewesen, um beispielsweise auch den Einfluss der musikalischen Stilistik feststellen zu können.

Bei der Regressionsrechnung besteht die Vermutung, dass der Faktor Version einen höheren Einfluss auf die Messvariablen hätte, wenn mehr Probanden befragt worden wären. Ausreißerbewertungen erhalten durch die geringe Anzahl an Personen ein sehr hohes Gewicht.

## 6.9 Interpretation

Die Analyse hat gezeigt, dass eine Einzelbewertung der Titel deutlich schwieriger ist als die qualitative Einschätzung der Titel in ihren Versionen im direkten Hörvergleich. Dennoch wurde die professionelle Version tendenziell als stimmiger und besser empfunden als die Home-Version, auch wenn der Einfluss der Version deutlich geringer als im direkten Hörvergleich ausfiel. Aufgrund der unterschiedlichen Bewertungen der Titel innerhalb ihrer Stilistik, liegt die Vermutung nahe, dass es einen Zusammenhang zwischen Bewertung und Stilistik fernab ihrer Version gibt. Der durchgeführte Test untermauert in seinen Möglichkeiten die aufgestellte Hypothese

und zeigt, dass ein im Heimbereich gemasterter Titel im Hörerurteil im Mittel schlechter abschneidet, als der selbe Titel nach einem Mastering in einem professionellen Mastering-Studio.

## 7. Zusammenfassung

Die theoretische Vorbetrachtung wurden im Hörtest bestätigt. Es hat sich gezeigt, dass ein professionelles Master qualitativ höher eingeschätzt wurde als die entsprechende Home-Version. Die Gründe dafür liegen vor allem im Erfahrungsschatz des Mastering-Ingenieurs, verbunden mit exzellenter Technik und den entsprechend klanglich optimierten Räumlichkeiten.

Die Testergebnisse lassen allerdings auch darauf schließen, dass die qualitativen Unterschiede zwischen einem Home-Master und einem professionellen Master in der Hörwahrnehmung der Probanden gering sind. Somit zeigt sich, dass, je nachdem welche Reichweite ein Produkt später haben soll, ein Home-Master durchaus auch die sinnvollere Wahl sein kann. Nicht jede Demoaufnahme kann aufgrund fehlender finanzieller Möglichkeiten professionell gemastert werden. In solchen Fällen ist eine Qualitätseinbuße gegenüber einer Kostenersparnis durchaus zu rechtfertigen. Wird das Audiomaterial aber einem größeren Kreis von Hörern zugänglich gemacht, sei es durch eine hohe Stückzahl an Tonträgern oder die Onlinedistribution auf diversen Internetseiten, so ist die Wahl eines professionellen Mastering-Studios immer der eines Masterings im Heimbereich vorzuziehen.

## 8. Literatur

### Monographien

- Bortz, Jürgen/Döring, Nicola: Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. 4. Auflage, Heidelberg 2006
- Bronstein, Ilja N./Semendjaev, Konstantin A./Musiol, Gerhard et al.: Taschenbuch der Mathematik. 7. Auflage, Frankfurt am Main 2008
- Dickreiter, Michael/Dittel, Volker/Hoeg, Wolfgang et al.: Handbuch der Tonstudioteknik. Band 2, 7. Auflage, München 2008
- Ebster, C./Stalzer, L.: Wissenschaftliches Arbeiten für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler. 3. Auflage, Wien 2008
- Fahrmeir, Ludwig/ Kneib, Thomas/Lang, Stefan: Regression. Modelle, Methoden und Anwendungen. 2. Auflage, Heidelberg 2009
- Friedrichs, Jürgen: Methoden empirischer Sozialforschung. 14. Auflage, Opladen 1990
- Görne, Thomas: Tontechnik. 2. Auflage, München 2008
- Henle, Hubert: das Tonstudio Handbuch. Praktische Einführung in die professionelle Aufnahmetechnik. 5. Auflage, München 2001
- Howell, David C.: Statistical Methods for Psychology. 6th Edition, Belmont Californien 2007
- Katz, Robert A.: Mastering Audio. The Art And The Science. second edition, Oxford 2007
- Maempel, Hans-Joachim: Klanggestaltung und Popmusik: eine experimentelle Untersuchung. Heidelberg 2001
- Nordmark, Anders: Benutzerhandbuch Wavelab Studio 6. Audio Editing And Mastering Suite. Hamburg 2006
- Owsinski, Bobby: Mastern wie die Profis. Das Handbuch für Toningenieure. München 2009

- Spitzer, Manfred: Musik im Kopf. Hören, Musizieren, Verstehen und Erleben im neuronalen Netzwerk. Stuttgart 2002
- Ostermann, Rüdiger/Wolf-Ostermann, Karin: Statistik in Sozialer Arbeit und Pflege. 3. Auflage, München 2005
- Tischmeyer, Friedemann: Audio-Mastering mit PC-Workstations. Bremen 2006
- Wirth, Günther: Sprachstörungen, Sprechstörungen, kindliche Hörstörungen. Lehrbuch für Ärzte, Logopäden und Sprachheilpädagogen. 2. Auflage, Köln 1983

### **Zeitschriften**

- Bradley, Margaret M./Lang, Peter J.: Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. In: Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, Issue 1 (1994), Volume 25, 49-59
- Fey, Fritz: Der Ohren bester Freund. Überlegungen zur Abhörsituation in Tonstudios. In: Studio Magazin, 4 (2009), Nr. 344, Jg. 32, 34-44
- Fey, Fritz: Schöner Hören. Studiomöbel von Sterling Modular Systems. In: Studio Magazin, 2 (2008), Nr. 331, Jg. 31, 54-58
- Kootz, Friedemann: Filtertechnik. Hintergrundbetrachtung zu analogen und digitalen Equalizern, Teil 1. In: Studio Magazin, 8 (2009), Nr. 347, Jg. 32, 55-64
- Friesecke, Andreas: Reflektieren über Reflexionen. Die Grundprinzipien der Raumakustik besser verstehen lernen. In: Recording Magazin, 3 (2006), 100-105

### **Internetquellen**

- 24-96 Mastering: Hinweise zum Mastering.  
[http://www.hdm-stuttgart.de/~curdt/Mastering\\_24\\_96.pdf](http://www.hdm-stuttgart.de/~curdt/Mastering_24_96.pdf), 13.02.2010
- Bunderverband Musikindustrie e.V.: Übersicht Jahreswirtschaftsbericht 2008. Musikkäufer. <http://www.musikindustrie.de/musikkaeufer0>, 13.02.2010
- Georg Massenburg: Parametrischer Equalizer.  
<http://www.massenburg.com/c/gml/parametric.html>, 16.02.2010
- Goertz, A./Müller S.: Einsatz digitaler Limiter in der Beschallungstechnik. 28.11.2000,  
[http://www.anselmgoertz.de/Übersicht\\_dt/Anselm\\_Goertz\\_dt/Veroeffentlichungen\\_dt/daga95.pdf](http://www.anselmgoertz.de/Übersicht_dt/Anselm_Goertz_dt/Veroeffentlichungen_dt/daga95.pdf), 13.02.2010

Independent Recording Network: Übersicht Frequenzbänder. [http://www.independentrecording.net/irn/resources/freqchart/main\\_display.htm](http://www.independentrecording.net/irn/resources/freqchart/main_display.htm), 13.02.2010

Kahn, Jeffrey: Reporting Statistics in APA Style. Illinois State University, <http://my.il-stu.edu/~jhkahn/apastats.html>, 13.02.2010

Kreps, Daniel:

Fans Complain After “Death Magnetic” Sounds Better On “Guitar Hero” Than CD. <http://www.rollingstone.com/rockdaily/index.php/2008/09/18/fanscomplain-afterdeath-magnetic-sounds-better-on-guitar-hero-than-cd/>, 13.02.2010

Papenburg, Jens Gerrit: Promotionsprojekt: „Hörgeräte 1950-2000. Populäre Musik zwischen Mastering und Hören als Kulturtechnik“. <http://www2.hu-berlin.de/fpm/staff/Papenburg2.pdf>, 13.02.2010

Sander, Wolfgang: Tips und Tricks zur Erstellung eines Fragebogens, [http://www.bpb.de/methodik/C4EB3B,0,0,Info\\_04\\_05\\_Tipps\\_und\\_Tricks\\_zur\\_Erstellung\\_eines\\_Fragebogens.html](http://www.bpb.de/methodik/C4EB3B,0,0,Info_04_05_Tipps_und_Tricks_zur_Erstellung_eines_Fragebogens.html), 13.02.2010

Sengpiel, Eberhard:

Umrechnen: Frequenz  $f$  in Wellenlänge  $\lambda$  und Wellenlänge in Frequenz. <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-wellenlaenge.htm>, 13.02.2010

Was unterscheidet Ton, Klang und Geräusch?.

Weißes Rauschen und Rosa Rauschen im Vergleich.

[http://www.laermorama.ch/laermorama/modul\\_akustik/tonklang\\_w.html](http://www.laermorama.ch/laermorama/modul_akustik/tonklang_w.html), 13.02.2010

Zeileis, Achim: Lineare Modelle in R: Klassische lineare Regression. 20.02.2009, <http://statmath.wu.ac.at/courses/multverf2/tutorien/LiMo1.pdf>, 13.02.2010

### **Studentische Abschlussarbeiten**

Mönch, Jölka: Emotionale Wirkung von Filmmusik. Diplomarbeit, Universität des Saarlandes, Fachrichtung Psychologie, Saarbrücken 2005

Gebhardt, Christian: Konzeption einer Tonregie für umfangreiche Musikproduktion und Mischung unter bestmöglicher Ausnutzung der Vorteile digitaler sowie analoger Tonstudientechnik. Diplomarbeit, Hochschule Mittweida (FH), Fachrichtung Medien, Mittweida 2007

**Persönliche Gespräche**

Michael-Rieth, Götz/Niemeier, Dirk Henning (Mastering-Engineer/eastside mastering studios berlin GmbH): Hinweise zum professionellen Mastering.

Anlagen

## **Anlagenverzeichnis**

Anlage 1: Protokolle – Erfassung der technischen Eingriffe.....	LXXXV
Anlage 2: Fragebogen Hörtest.....	XCIII
Anlage 3: Regressionstabellen (R Printout) und Mittelwerte.....	XCIV
Anlage 4: Diagramme.....	XCVIII
Anlage 5: Audio-CD der verwendeten Klangbeispiele.....	XCIX
Anlage 6: Selbständigkeitserklärung.....	C

## Anlage 1: Protokolle – Erfassung der technischen Eingriffe

### Protokoll 1

#### professionelles Mastering

##### Allgemeines:

Name Mastering Ingenieur: Dirk Henning Niemeier  
bearbeiteter Titel: Dickes B.  
Datum: 17.11.09  
Studio: eastside mastering studios berlin, Studio 1  
Zeitaufwand: 1,5 h

##### Verwendete Geräte:

Workstation: Cube-Tec AudioCube  
Abhörlautsprecher: PMC MB2-XBDA  
Wandler D/A: Mergin Technologies Sphynx  
Wandler A/D: Lavry AD 128 MkIII  
Synchronisation/Clock: Rosendahl Nanosync  
weitere: Dangerous S&M

##### Plugins:

Hersteller (z.B. UAD)	Typ (z.B. Pultec)	Funktionsbezeichnung (z.B. EQ)
CubeTec	Attack Designer	EQ
Flux	Epure	Transient Modifier
CubeTec	StereoShuffler	Image Correction
CubeTec	VintageComp	Kompressor
CubeTec	LoudnessMaximizer	Limiter

**Effektgeräte:**

Hersteller (z.B. Fairman)	Typ (z.B. TMC)	Funktionsbezeichnung (z.B. Kompressor)
Weiss	DS1 Mk3	digitaler Comp./Exp.
Weiss	EQ1-Dyn-LP	digitaler EQ
Millenia	NSEQ-2	digitaler EQ
elysia	alpha	Kompressor
Fairman	TMC SPE	Röhren-Kompressor
Fairman	TMEQ SPE	Röhren-EQ
Funk	MTX-Monitor	Abhörmonitor, hier Pegelsteller
Waves	L2 Ultramaximizer	Brick Wall Limiter

- Vorgenommene Eingriffe:
- Equalisation
  - einfache Kompression
  - Multiband-Kompression
  - Korrelationskorrektur
  - Limitierung
  - Restauration (z.B. declickt)
  - Hüllkurvenbearbeitung

Besondere Einstellungen, Schaltungen, Vorgehensweisen (ggf. eigenes Protokoll):  
Stem Mastering, differenzierte Bearbeitung einzelner Gruppen vor Summierung

## Protokoll 2

## professionelles Mastering

**Allgemeines:**

Name Mastering Ingenieur: Götz-Michael Rieth  
 bearbeiteter Titel: Malice  
 Datum: 26.08.09  
 Studio: eastside mastering studios berlin, Studio 1  
 Zeitaufwand: 1 h

**Verwendete Geräte:**

Workstation: Cube-Tec AudioCube  
 Abhörlautsprecher: PMC MB2-XBDA  
 Wandler D/A: Mergin Technologies Sphynx  
 Wandler A/D: Lavry AD 128 MkIII  
 Synchronisation/Clock: Rosendahl Nanosync  
 weitere: Dangerous S&M

**Plugins:**

Hersteller (z.B. UAD)	Typ (z.B. Pultec)	Funktionsbezeichnung (z.B. EQ)
CubeTec	Loudness Maximizer	Brick Wall Limiter

**Effektgeräte:**

Hersteller (z.B. Fairman)	Typ (z.B. TMC)	Funktionsbezeichnung (z.B. Kompressor)
tc electronics	S6000	XY->MS, Multiband Parallel Compression
elysia	alpha	Kompressor
Fairman	TMC SPE	Röhren-Kompressor
Fairman	TMEQ SPE	Röhren-EQ
Waves	L2 Ultramaximizer	Brick Wall Limiter

- Vorgenommene Eingriffe:
- Equalisation
  - einfache Kompression
  - Multiband-Kompression
  - Korrelationskorrektur
  - Limitierung
  - Restauration (z.B. declickt)

Besondere Einstellungen, Schaltungen, Vorgehensweisen (ggf. eigenes Protokoll):  
Hüllkurvenbearbeitung vor Processing

## Protokoll 1

## Home-Mastering

**Allgemeines:**

Name Mastering Ingenieur: Lars Dölle  
bearbeiteter Titel: Dickes B.  
Datum: 13.12.08  
Studio: University of the West of Scotland, Paisley  
Zeitaufwand: 2 Tage

**Verwendete Geräte:**

Workstation: Lenovo Thinkpad R61i  
Abhörlautsprecher: Beyerdynamics DT880 Pro  
Wandler D/A: RME Fireface 800  
Wandler A/D: RME Fireface 800  
Synchronisation/Clock: RME Fireface 800  
weitere: -

**Plugins:**

Hersteller (z.B. UAD)	Typ (z.B. Pultec)	Funktionsbezeichnung (z.B. EQ)
Universal Audio	Precision EQ	EQ
Universal Audio	Precision Bus Comp.	Kompressor
Universal Audio	Precision Limiter	Brick Wall Limiter

- Vorgenommene Eingriffe:
- Equalisation
  - einfache Kompression
  - Multiband-Kompression
  - Korrelationskorrektur
  - Limitierung
  - Restauration (z.B. declickt)

Besondere Einstellungen, Schaltungen, Vorgehensweisen (ggf. eigenes Protokoll):  
Stem-Mastering

## Protokoll 2

## Home-Mastering

**Allgemeines:**

Name Mastering Ingenieur: Lars Dölle  
bearbeiteter Titel: Malice  
Datum: 22.11.09  
Studio: Natom Productions Dresden  
Zeitaufwand: 6 h

**Verwendete Geräte:**

Workstation: Lenovo Thinkpad R61i  
Abhörlautsprecher: Beyerdynamics DT880 Pro  
Wandler D/A: RME Fireface 800  
Wandler A/D: RME Fireface 800  
Synchronisation/Clock: RME Fireface 800  
weitere: -

**Plugins:**

Hersteller (z.B. UAD)	Typ (z.B. Pultec)	Funktionsbezeichnung (z.B. EQ)
Universal Audio	Precision EQ	EQ
Universal Audio	Precision Bus Comp.	Kompressor
Universal Audio	Precision Limiter	Brick Wall Limiter

- Vorgenommene Eingriffe:
- Equalisation
  - einfache Kompression
  - Multiband-Kompression
  - Korrelationskorrektur
  - Limitierung
  - Restauration (z.B. declickt)

Besondere Einstellungen, Schaltungen, Vorgehensweisen (ggf. eigenes Protokoll):

## Anlage 2: Fragebogen Hörtest

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

Geschlecht:  männlich  
 weiblich

Wie beschäftigst du dich mit Musik?  
 Musik hören/sehen  
 Musik spielen  
 Musikproduktion  
 \_\_\_\_\_

*Titel: „Malice“ - Malice, Version 1*

- |   |   |                          |   |                          |   |
|---|---|--------------------------|---|--------------------------|---|
| 1. Lautstärke Bass (Bass, Bassdrum)                           | <input type="checkbox"/> zu laut          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> genau richtig                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> zu leise                 |
| 2. Lautstärke Höhen (Becken, S-Laute etc.)                    | <input type="checkbox"/> zu laut          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> genau richtig                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> zu leise                 |
| 3. Lautstärke Gesang  | <input type="checkbox"/> zu laut          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> genau richtig                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> zu leise                 |
| 4. Dynamik (Verhältnis von leise und laut)                    | <input type="checkbox"/> eintönig         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> erkennbar                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> abwechslungsreich        |
| 5. Räumliche Abbildung der Instrumente/Stimmen (links/rechts) | <input type="checkbox"/> sehr räumlich    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> gute Balance<br>Raum/direktes Signal | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> überhaupt nicht räumlich |
| 6. Verzerrung (Übersteuerung)                                 | <input type="checkbox"/> keine Verzerrung | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> leichte Verzerrung                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> Verzerrt                 |

*Titel: „Malice“ - Malice, Version 2*

- |   |   |                          |   |                          |   |
|---|---|--------------------------|---|--------------------------|---|
| 1. Lautstärke Bass (Bass, Bassdrum)                           | <input type="checkbox"/> zu laut          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> genau richtig                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> zu leise                 |
| 2. Lautstärke Höhen (Becken, S-Laute etc.)                    | <input type="checkbox"/> zu laut          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> genau richtig                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> zu leise                 |
| 3. Lautstärke Gesang  | <input type="checkbox"/> zu laut          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> genau richtig                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> zu leise                 |
| 4. Dynamik (Verhältnis von leise und laut)                    | <input type="checkbox"/> eintönig         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> erkennbar                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> abwechslungsreich        |
| 5. Räumliche Abbildung der Instrumente/Stimmen (links/rechts) | <input type="checkbox"/> sehr räumlich    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> gute Balance<br>Raum/direktes Signal | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> überhaupt nicht räumlich |
| 6. Verzerrung (Übersteuerung)                                 | <input type="checkbox"/> keine Verzerrung | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> leichte Verzerrung                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> Verzerrt                 |

*Vergleich  
 „Malice“ - Malice Version 1 mit Version 2*

Welche Version des Titels gefällt Dir im Vergleich besser?

1. „Malice“ - Malice, Version 1
- 
- 
2. „Malice“ - Malice, Version 2
-

## Anlage 3: Regressionstabellen (R Printout)<sup>122</sup> und Mittelwerte

### Einfluss der unabhängigen Variablen auf den Faktor Einschätzung:

```
Call:
lm(formula = Einschätzung ~ Alter + Geschlecht + Musik.spielen + Version + RockMalice, data =
lars)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.42652 -0.46988 -0.01180  0.51744  1.60371

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  3.136249   0.299418  10.474 < 2e-16 ***
Alter         0.003359   0.009684   0.347  0.729
Geschlecht   0.176061   0.111139   1.584  0.114
Musik.spielen 0.186244   0.112875   1.650  0.100
Version      1.076923   0.104148  10.340 < 2e-16 ***
RockMalice   -0.469914   0.105394  -4.459 1.24e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.8397 on 254 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3396,    Adjusted R-squared:  0.3266
F-statistic: 26.12 on 5 and 254 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

### Einfluss der unabhängigen Variablen auf den Faktor Lautstärke Bass:

```
Call:
lm(formula = Skala_neu2 ~ Alter + Geschlecht + Musik.spielen +
Version + RockMalice, data = sub_bass)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.3136 -0.5025  0.1060  0.4231  0.9619

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -1.10051    0.46876  -2.348  0.0233 *
Alter         0.01733    0.01535   1.128  0.2651
Geschlecht   0.29968    0.17784   1.685  0.0989 .
Musik.spielen -0.03637    0.18248  -0.199  0.8429
Version      0.26170    0.16487   1.587  0.1194
RockMalice   -0.25810    0.16790  -1.537  0.1312
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.5878 on 45 degrees of freedom
(1 observation deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.1706,    Adjusted R-squared:  0.07846
F-statistic: 1.851 on 5 and 45 DF,  p-value: 0.1221
```

122 vgl. <http://www.r-project.org>, freie Programmiersprache für Statistikanwendungen

## Einfluss der unabhängigen Variablen auf den Faktor Lautstärke Höhen:

```
Call:
lm(formula = Skala_neu2 ~ Alter + Geschlecht + Musik.spielen +
    Version + RockMalice, data = sub_hohen)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.3287 -0.3101 -0.1384  0.5168  0.9835

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.921130   0.455918  -2.020   0.0492 *
Alter         0.001745   0.014746   0.118   0.9063
Geschlecht    0.054626   0.169230   0.323   0.7483
Musik.spielen 0.129098   0.171873   0.751   0.4564
Version       0.230769   0.158584   1.455   0.1524
RockMalice   -0.155364   0.160481  -0.968   0.3381
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.5718 on 46 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.07342,    Adjusted R-squared:  -0.02729
F-statistic: 0.729 on 5 and 46 DF,  p-value: 0.6053
```

## Einfluss der unabhängigen Variablen auf den Faktor Lautstärke Gesang:

```
Call:
lm(formula = Skala_neu2 ~ Alter + Geschlecht + Musik.spielen +
    Version + RockMalice, data = sub_gesang)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.3989 -0.4255  0.2099  0.3780  0.7154

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.740075   0.460070  -1.609   0.1147
Alter         0.001577   0.014859   0.106   0.9159
Geschlecht    0.066760   0.171860   0.388   0.6995
Musik.spielen 0.126918   0.173482   0.732   0.4682
Version       0.330750   0.161359   2.050   0.0462 *
RockMalice   -0.025766   0.163370  -0.158   0.8754
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.5758 on 45 degrees of freedom
(1 observation deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.09644,    Adjusted R-squared:  -0.003958
F-statistic: 0.9606 on 5 and 45 DF,  p-value: 0.452
```

### Einfluss der unabhängigen Variablen auf den Faktor Dynamik:

```
Call:
lm(formula = Skala_neu2 ~ Alter + Geschlecht + Musik.spielen +
    Version + RockMalice, data = sub_dynamik)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.27762 -0.40552 -0.04181  0.59466  0.84903

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -1.18604    0.47401  -2.502  0.0160 *
Alter          0.01142    0.01533   0.745  0.4600
Geschlecht   -0.05133    0.17595  -0.292  0.7718
Musik.spielen 0.27575    0.17869   1.543  0.1296
Version       0.23077    0.16488   1.400  0.1683
RockMalice    0.02152    0.16685   0.129  0.8979
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.5945 on 46 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.112,    Adjusted R-squared:  0.01552
F-statistic: 1.161 on 5 and 46 DF,  p-value: 0.3428
```

### Einfluss der unabhängigen Variablen auf den Faktor räumliche Abbildung:

```
Call:
lm(formula = Skala_neu2 ~ Alter + Geschlecht + Musik.spielen +
    Version + RockMalice, data = sub_raumliche)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.53928 -0.42855  0.01795  0.53138  0.71791

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -1.49180    0.45359  -3.289  0.00193 **
Alter          0.03141    0.01467   2.141  0.03760 *
Geschlecht    0.19224    0.16837   1.142  0.25944
Musik.spielen -0.03958    0.17100  -0.231  0.81798
Version       0.15385    0.15778   0.975  0.33461
RockMalice    0.03354    0.15966   0.210  0.83456
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.5689 on 46 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1243,    Adjusted R-squared:  0.02916
F-statistic: 1.306 on 5 and 46 DF,  p-value: 0.2779
```

## Einfluss der unabhängigen Variablen auf den Faktor Verzerrung:

Call:

```
lm(formula = Verzerrung ~ Alter + Geschlecht + Musik.spielen +
    Version + RockMalice, data = lars)
```

Residuals:

```
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.6734 -0.5826 -0.2841  0.6075  2.0369
```

Coefficients:

```
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2.63691    0.34526   7.637 4.51e-13 ***
Alter        -0.03187    0.01117  -2.854 0.00467 **
Geschlecht    0.12439    0.12816   0.971 0.33266
Musik.spielen -0.06971    0.13016  -0.536 0.59272
Version       -0.50000    0.12009  -4.163 4.30e-05 ***
RockMalice    0.90294    0.12153   7.430 1.66e-12 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 0.9682 on 254 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2671,    Adjusted R-squared:  0.2527
F-statistic: 18.52 on 5 and 254 DF,  p-value: 1.127e-15
```

## Berechnung der Mittelwerte:

unabhängige Variablen	
Alter in Jahren	26,31
Geschlecht	13 männlich, 13 weiblich
Musik hören	96,15%
Musik spielen	61,54%
Musikproduktion	11,54%

	Lautstärke Bass	Lautstärke Höhen	Lautstärke Gesang	Dynamik / Verhältnis laut leise	räumliche Abbildung	Verzerrung	Einschätzung
Version Home	3,56	2,31	2,8	3,04	3,19	2,27	3,19
Version Professionell	3,28	2,62	2,88	3,12	2,96	1,77	4,27
Differenzbetrag	0,28	0,31	0,08	0,08	0,23	0,5	1,08
Version Home Malice	3,67	2,5	3,27	3,25	3,25	2,75	2,92
Version Prof. Malice	3,25	2,25	3	3,33	2,92	2,42	4,08
Differenzbetrag	0,42	0,25	0,27	0,08	0,33	0,33	1,17
Version Home Dickes B.	3,46	2,15	2,38	2,85	3,15	1,85	3,46
Version Prof. Dickes B.	3,31	2,85	2,77	2,85	2,92	1,23	4,46
Differenzbetrag	0,15	0,69	0,38	0	0,23	0,62	1

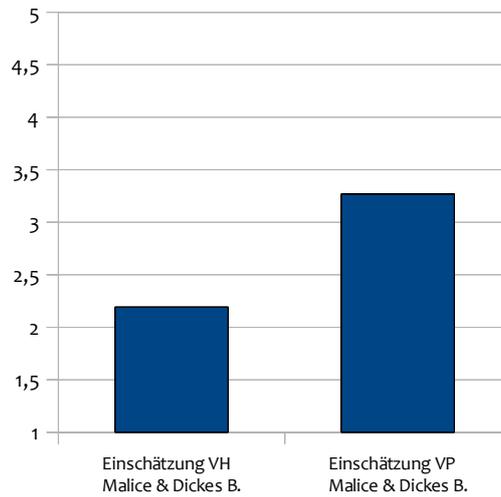
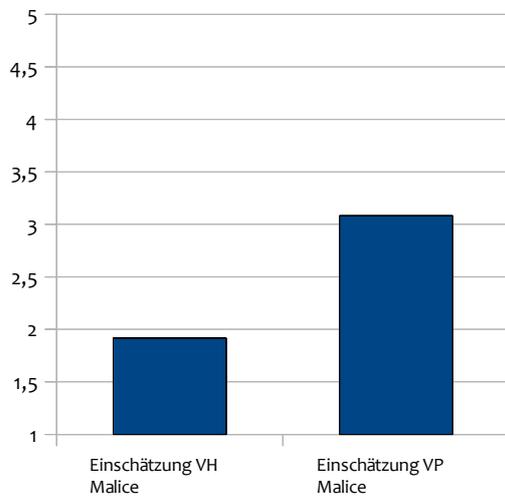
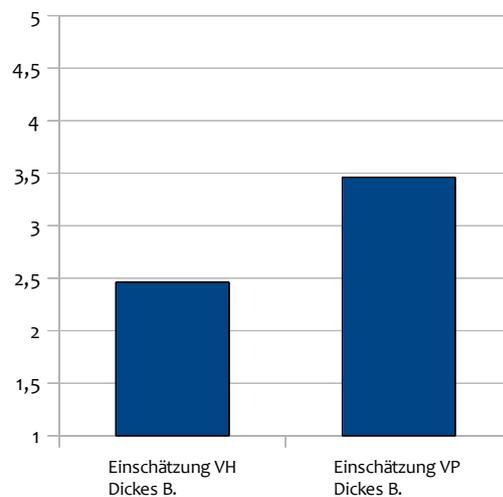
Einschätzung der Probanden entsprechend ihres musikalischen Hintergrunds

	Einschätzung Nicht-Musiker	Einschätzung Musiker
Version Home	3,1	3,25
Version Professionell	4,2	4,31

Tabelle 14: Berechnung der Mittelwerte<sup>123</sup>

123 Quelle: eigene Berechnung

## Anlage 4: Diagramme

Abbildung 13: Einschätzung VH vs. VP<sup>124</sup>Abbildung 14: Einschätzung VH vs. VP Malice<sup>125</sup>Abbildung 15: Einschätzung VH vs. VP Dickes B.<sup>126</sup>

---

124 Quelle: eigene Berechnung

125 Quelle: ebd.

126 Quelle: ebd.

## Anlage 5: Audio-CD der verwendeten Klangbeispiele

Beiliegend Audio-CD mit den verwendeten Klangbeispielen in 44.1kHz, 16bit, PCM:

### **Malice**

1. Malice – Mixdown (von 32bit auf 16bit gedithert)
2. Malice – Home-Master
3. Malice – professionelles Master

### **MundArt**

4. Dickes B. – Mixdown (von 24bit auf 16bit gedithert)
5. Dickes B. – Home-Master
6. Dickes B. – professionelles Master

## Anlage 6: Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Teile, die wörtlich oder sinngemäß einer Veröffentlichung entstammen, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde noch nicht veröffentlicht oder einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Lars Dölle,

Mittweida den 18.02.2010