
BACHELORARBEIT

Herr
Maximilian Jäger

Dynamic Range
Das Ende des Loudness War

2018

BACHELORARBEIT

Dynamic Range Das Ende des Loudness War

Autor:
Herr Maximilian Jäger

Studiengang:
Medientechnik

Seminargruppe:
MT12wH-B

Erstprüfer:
Prof. Dr.-Ing. Michael Hösel

Zweitprüfer:
Dipl.-Musikpädagoge Thomas Wand

Einreichung:
Mittweida, 08. Januar 2018

Faculty of Media

BACHELOR THESIS

Dynamic Range The End of Loudness War

author:
Mr. Maximilian Jäger

course of studies:
media technologies

seminar group:
MT12wH-B

first examiner:
Prof. Dr.-Ing. Michael Hösel

second examiner:
Dipl.-Musikpädagoge Thomas Wand

submission:
Mittweida, 08 January 2018

Bibliografische Angaben:

Jäger, Maximilian:

Dynamic Range – Das Ende des Loudness War

Dynamic Range – The End of Loudness War

2018 - 91 Seiten

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), University of Applied Sciences,
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2018

Abstract

Diese Arbeit soll eine aktuelle Tendenz über den Loudness War aufzeigen sowie den Einfluss von zu lauter bzw. zu komprimierter Produktion auf die Dynamik eines Musikstückes darstellen. Dabei soll ebenfalls festgehalten werden, welchen Kriterien eine Musikproduktion gerecht werden sollte, damit sie vom Zuhörer als dynamisch klingend empfunden wird und welches Potential die Dynamic Range besitzt dem Loudness War entgegenzuwirken. Hierfür wurden die Dynamic Ranges von insgesamt 5269 Musiktiteln aus dem Zeitraum von 1982 bis 2017 bestimmt.

This study contains a current tendency of the Loudness War which deals with the question in which way a louder and more compressed production impacts the dynamic of a song. The main focus of this study is to give an advice, which criteria should be fulfilled that music reaches an audience in a dynamic way and to show whether the Dynamic Range has got the potential to lead the Loudness War to an end. For this purpose, the Dynamic Ranges of 5,269 songs were determined. All these songs were released in the time period from 1982 to 2017.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	VI
Formelverzeichnis.....	VII
Abbildungsverzeichnis.....	VIII
Tabellenverzeichnis.....	IX
1 Einleitung.....	1
1.1 Einführung in die Thematik.....	3
1.2 Gegenstand und Zielsetzung.....	7
2 Definitionen.....	8
2.1 Lautheit und ihre Wahrnehmung.....	13
2.2 Loudness War.....	18
2.3 Dynamic Range.....	21
3 Anforderungen an dynamische Musik.....	24
4 Praktische Überprüfung der Musik.....	28
4.1 Korpus.....	28
4.2 Methodik.....	29
4.3 Auswertung und Beurteilung der Messung.....	31
5 Schlussbetrachtungen.....	46
5.1 Fazit.....	46
5.2 Ausblick.....	47
Literaturverzeichnis.....	X
Anlagen.....	XII
Eigenständigkeitserklärung.....	XLIII

Abkürzungsverzeichnis

<i>CD</i>	Compact Disc
<i>DAW</i>	Digital Audio Workstation
<i>dB</i>	Dezibel
<i>dBFS</i>	Dezibel Full Scale
<i>dB SPL</i>	Dezibel Sound Pressure Level
<i>dBTP</i>	Dezibel Sound True Peak
<i>DR</i>	Dynamic Range
<i>EAN</i>	European Article Number
<i>EBU</i>	European Broadcasting Union
<i>ITU</i>	International Telecommunication Union
<i>LU</i>	Loudness Unit
<i>LUFS</i>	Loudness Unit Full Scale
<i>PCM</i>	Puls-Code-Moulation
<i>RMS</i>	Root Means Square
<i>WAV</i>	Waveform Audio File Format

Formelverzeichnis

Audiotechnik

$$DR = Peak - RMS_{Top20} \quad \text{Dynamic Range} \quad [\text{dB}]$$

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Frequenz} \quad [\text{Hz}]$$

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad \text{Schalldruckpegel} \quad [\text{dB}]$$

$$p = \frac{F}{A} \quad \text{Schalldruck} \quad [\text{Pa}]$$

$$RMS_{Top20} = DR + Peak \quad \text{Durchschnittspegel} \quad [\text{dBFS}]$$

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lautheitsmessungen von 1951-2011 (Ortner, 2011, S.51).....	XIV
Abbildung 2: Fletcher-Munson-Kurve der gleichen Lautheit (Vgl. Pleasure Music Foundation).....	XIV
Abbildung 3: eigene Darstellung, Wellenform des Musiktitels "Hello" von Adele.....	XV
Abbildung 4: Bewertungsmaßstab der Dynamic Range nach Musikgenres (Tischmeyer, 2011).....	XV
Abbildung 5: eigene Darstellung, Wellenform des Musiktitels "So Far Away" von Dire Straits.....	XVI
Abbildung 6: eigene Darstellung, Wellenform des Musiktitels "The Day That Never Comes" von Metallica.....	XVI
Abbildung 7: eigene Darstellung, Anzahl der untersuchten Musiktitel.....	XXI
Abbildung 8: eigene Darstellung, Durchschnittliche Dynamic Range von Veröffentlichungen der Band Red Hot Chili Peppers.....	XXXIX
Abbildung 9: eigene Darstellung, Durchschnittliche Dynamic Range von Veröffentlichungen der Band Metallica.....	XXXIX
Abbildung 10: eigene Darstellung, Durchschnittliche Dynamic Range von Veröffentlichungen von Madonna.....	XL
Abbildung 11: eigene Darstellung, Durchschnittliche Dynamic Range von Veröffentlichungen der Band Bon Jovi.....	XL
Abbildung 12: eigene Darstellung, Rückgang der Dynamic Range am Beispiel der vier betrachteten Interpreten.....	XLI
Abbildung 13: eigene Darstellung, Durchschnittlicher RMS-Wert der untersuchten Musiktitel.....	XLI
Abbildung 14: eigene Darstellung, Durchschnittliche Dynamic Range der untersuchten Musiktitel.....	XLII

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: eigene Darstellung, Beispiele für verschiedene Schalldruckpegel (Vgl. Levitin, Daniel Joseph (2006): This Is Your Brain On Music – Understanding A Human Obsession, Montreal, S. 71).....	11
Tabelle 2: eigene Darstellung, Zusammenhang zwischen Lautheit und Lautstärkepegel (Vgl. Sengpiel-Audio).....	14
Tabelle 3: eigene Darstellung, untersuchte Alben sortiert nach Erscheinungsjahr des Tonträgers.....	XVII

1 Einleitung

Musikproduktionen dauerhaft und immer wieder abspielbar auf einem Medium zu speichern, ist bereits seit Ende des 19. Jahrhunderts mit der Erfindung und Patentierung der Schallplatte gängige Praxis. Doch die Vinylschallplatte als analoges Speichermedium ist für häufiges Abspielen und eine dauerhafte Speicherung unter gleichbleibender Klangqualität eher ungeeignet. Auch ist dieses Medium mit einem Durchmesser von zwölf Zoll für Alben und sieben Zoll für Singles recht sperrig und unhandlich. Ebenso wirkt sich der Lesevorgang langfristig negativ auf den Zustand der Vinylschallplatte aus. Denn ein Tonarm muss fortwährend direkten Kontakt mit der Schallplatte herstellen, um sie abzuspielen.

Erste Bemühungen einer digitalen und langlebigeren Speicherung von Produktionen fanden bereits in den neunziger Jahren statt. Durch die Markteinführung der Compact Disc (CD) im Jahr 1982 war die Möglichkeit gegeben, Produktionen auf ein handliches, leicht zu bedienendes und vor allem auf ein beständigeres, optisches Medium zu speichern. Federführend bei der Entwicklung der CD für den Verbrauchermarkt waren die beiden Firmen Sony und Philips. Hier werden die auf dem Medium befindlichen Informationen nicht länger mit einem Tonarm, sondern mit Hilfe eines Lasers gelesen. Wodurch die CD bei Lesevorgang keiner mechanischen, sondern einer optischen Einwirkung ausgesetzt ist. Die Vorteile, die mit der digitalen Speicherung auf CD einhergehen, werden durch den Informationstext, welcher in den achtziger Jahren im einheitlichen Wortlaut in die Booklets von CD Veröffentlichungen abgedruckt wurde, abschätzbar.

„Das Compact Disc Digital Audio System bietet die bestmögliche Klangwiedergabe – auf einem kleinen, handlichen Tonträger. Die überlegene Eigenschaft der Compact Disc beruht auf der Kombination von Laser-Abtastung und digitaler Wiedergabe. Die von der Compact Disc gebotene Qualität ist somit unabhängig von dem technischen Verfahren, das bei der Aufnahme eingesetzt wurde“¹

Der ursprüngliche Gedanke hinter der Einführung der CD als Tonträger ist dementsprechend die Abbildung einer höheren Dynamik innerhalb der Musik, als es noch auf Vinyl möglich war.

1 Marillion: CD-Booklet, Misplaced Childhood, EMI Records Ltd. (1985) Middlesex, England

Schnell hat sich die digitale Datenspeicherung auch im professionellem Tonstudiobereich durchgesetzt, wodurch in den achtziger Jahren immer mehr digital erstellte Produktionen veröffentlicht wurden.

Über die Jahre wurde aus der anfänglichen Haltung „analog oder digital“ zu „analog und digital“. Dieses Umdenken hatte großes positives Auswirken auf den Klang der Musikproduktionen. Durch die digitale Tonstudioteknik war ein höheres akustisches Qualitätsniveau bei Produktion, Speicherung und Vervielfältigung gegeben. Außerdem wurde fortan die verwendete Technik auch im Fehlerfall um einiges besser kalkulierbar.² Daher werden hochwertige, professionelle Musikproduktionen in der heutigen Zeit hauptsächlich digital in einem Aufnahmestudio mit Hilfe einer Digital Audio Workstation (DAW) realisiert. Bevor eine Produktion komplett abgeschlossen ist und auf einem Tonträger veröffentlicht werden kann, wird auf drei strikt voneinander trennbare Arbeitsprozesse zurückgegriffen.

Zunächst werden alle notwendigen Audiospuren, die für die Gesamtaufnahme vorgesehen sind, in einem Studio aufgenommen. Vor den Studioaufnahmen finden in der Regel Demoaufnahmen sowie Vorproduktionen statt. Diese werden von den Künstlern selbst oder in selteneren Fällen durch ein Aufnahmestudio realisiert. Die Aufnahmen der Audiospuren können entweder analog oder digital stattfinden.

Anschließend werden alle Spuren in einer entsprechenden DAW einzeln so zusammengeführt, dass eine Einheit, das Summensignal, entsteht. Dieser Prozess wird als die Abmischung bezeichnet, welche den vorletzten Schritt der Realisierung einer Musikproduktion darstellt.

Danach findet das Mastering statt, das den unverzichtbaren und finalen Arbeitsschritt vor der Veröffentlichung eines Tonträgers darstellt. Mit Hilfe des Mastering ist die Möglichkeit gegeben, einen harmonischen Albumklang samt einheitlicher Lautstärke innerhalb des gesamten Albums zu generieren. Zudem wird die Verteilung der Frequenzen innerhalb des Musiktitels regulierbar. Des Weiteren ist in einem eingeschränkten Rahmen die Möglichkeit gegeben, eventuelle Fehler innerhalb der Audioaufnahme zu beheben, die beispielsweise durch ein fehlerhaftes Abmischen entstanden sein könnten.³

2 Rohmann, Götz (2013): Grundlagen der digitalen Tontechnik, in: Dickreiter, Michael u.a. (Hrsg.) (2013): Handbuch der Tontechnik Band 2, 8. Auflage, S.657

3 Vgl. Pauli, Marko (2008) SWR2 Wissen, SWR2 extra: Die Macht der Musik – Popmusik im Lautheitswahn, <http://bit.ly/2lqJg7H> (zuletzt abgerufen am 12.11.2017), hier: 3:50-4:10

1.1 Einführung in die Thematik

Wurde bei der Marktführung der Compact Disc noch auf die klangästhetischen Vorteile des Mediums gesetzt und leise Passagen innerhalb eines Musikstückes wurden auch als solche wiedergegeben (dasselbe gilt für laute Passagen eines Musikstückes)⁴, so trieben Musikproduktionen, die ab den neunziger Jahren veröffentlicht wurden das Potential der CD ad absurdum. Musik wurde viel zu laut gemischt und gemastert. Daher wird innerhalb dieses Zeitraums auch oft der Beginn des sogenannten Loudness War datiert.

Mastering-Ingenieur Bob Katz sieht für die Entstehung dieses Trends verschiedene Gründe. Beispielsweise sieht er einen Grund im Aufkommen der Peak Normalisierung von Audioaufnahmen, bei der alle Spitzen innerhalb einer Audioproduktion auf einen eingestellten Maximalpegel angehoben werden. Ebenso sieht er einen weiteren Grund für den Loudness War in der vermehrten Veröffentlichung von Greatest Hits CDs Mitte der neunziger Jahre, wie etwa „Big Ones“ von der Band Aerosmith aus dem Jahr 1994 oder das Album „Greatest Hits“ von Bruce Springsteen aus dem Jahr 1995. Dabei wurden hauptsächlich Produktionen aus der Vergangenheit, deren ursprüngliche Veröffentlichung teilweise vor der Markteinführung der CD liegt, mit einer höheren Lautheit wiederveröffentlicht. Einen weiteren Grund für immer lauter werdende Musikproduktionen sieht Katz in der Markteinführung von tragbaren, digitalen Abspielgeräten, wie etwa dem iPod von der Firma Apple im Jahr 2005. Durch diese Produkte waren die Aufnahmestudios gezwungen, lauter zu produzieren, damit auch unterwegs Musik gehört werden kann, ohne dass Hintergrundgeräusche lauter sind als die gehörte Musik.⁵ Als entsprechendes Werkzeug des Loudness War wird auch häufig die übermäßige Verwendung von Regelverstärkern wie Limitern, Gates, oder Kompressoren angesehen. Diese Geräte wurden in der Vergangenheit derart „extrem missbraucht“, um einen Anstieg der Lautheit innerhalb einer Musikproduktion zu beabsichtigen.⁶

Regelverstärker ermöglichen Einfluss auf das Ausgangssignal einer Musikproduktion durch die Bearbeitung des Eingangspegels und werden in erster Linie zur Optimierung, Klanggestaltung und als Übersteuerungsschutz von Audioaufnahmen genutzt. Daher sind diese Geräte unverzichtbar für die Fertigstellung eines Musikstückes bevor es auf

4 Vgl. Pauli, Marko (2008) SWR2 Wissen, SWR2 extra: Die Macht der Musik – Popmusik im Lautheitswahn, <http://bit.ly/2lqJg7H> (zuletzt abgerufen am 12.11.2017), hier: 9:58-10:30

5 Katz, Bob (2017): Loudness War and Peace. Video veröffentlicht bei YouTube am 18.04.2017, <https://www.youtube.com/watch?v=xuEi1vLP1SA> (zuletzt abgerufen am 12.11.2017), hier: 5:01-6:20

6 Vgl. Deruty, Emmanuel: 'Dynamic Range' & The Loudness in: Sound on Sound vom 01.09.2011, <https://www.soundonsound.com/sound-advice/dynamic-range-loudness-war>, (zuletzt abgerufen am 18.10.2017)

einen Tonträger gespeichert wird. Wird der entsprechende Regelverstärker optimal eingesetzt, so kann das Ausgangssignal je nach Art des Gerätes entweder verstärkt, reduziert oder begrenzt werden. Diese Vorgehensweise dient der Verhinderung von Verzerrungen, der Generierung einer ausgewogeneren Mischung sowie dem Erzielen einer besseren Verständlichkeit innerhalb eines gesamten Tonträgers. Es ist aber ebenso Einfluss auf die Lautheit eines Musiktitels gegeben. Soll eine Musikproduktion gut umgesetzt werden, so sollte während ihres Ablaufes unbedingt Gebrauch von Kompressoren, Limitern, Expandern oder auch von Noise-Gates gemacht werden.⁷

Ein Kompressor nimmt dabei Einfluss auf die Verdichtung des Dynamikumfangs des gesamten Audiosignals. Durch seinen Einsatz wird der Dynamikunterschied zwischen lauten und leisen Passagen reduziert, um einer möglichen Übersteuerung, die durch plötzliche Lautheitssprünge entstehen kann, entgegenzuwirken. Der Kompressor ermöglicht die Veränderung von verschiedenen Parametern innerhalb eines Audiosignals. So kann durch seine Verwendung der Schwellenwert (Threshold) eingestellt werden. Dieser Wert trifft Aussage, ab welchem Signalpegel der Kompressor das Ausgangssignal bearbeitet. Auch können Attack und Release durch einen Kompressor bestimmt werden. Beide Werte werden in Millisekunden angegeben. Attack beschreibt dabei die Einschaltzeit, die der Kompressor benötigt um den eingestellten Threshold zu überschreiten. Ist dieser Schwellenwert einmal überschritten, so wird das Signal danach komprimiert wiedergegeben. Release beschreibt dementsprechend die Ausschaltzeit des Kompressors. Es handelt sich also um die Zeit, die benötigt wird um den Threshold zu unterschreiten, um im Anschluss ein unkomprimiertes Signal wiederzugeben. Des Weiteren wird auch das Ratio durch den Einsatz eines Kompressors einstellbar. Dieser Wert trifft Aussage über das Verhältnis zwischen dem Anstieg des unkomprimierten Eingangspegels und dem Anstieg des komprimierten Ausgangspegels. Durch ihn kann die Stärke der Kompression beschrieben werden. So bedeutet beispielsweise ein Ratio mit dem Verhältnis von 2:1 eine Reduzierung des Signals über dem Threshold um den Faktor 2. Nimmt das Verhältnis zwischen Eingangs- und Ausgangspegel einen Wert gegen unendlich an, so wirkt der Kompressor als Limiter. Im Allgemeinen spricht man aber bereits ab einem Ratio von 10:1 von einer Limitierung des Audiosignals.⁸

7 Mock, Christopher / Doetsch, Simon (2013): Das Knistern: Ein Podcast im Dunstkreis der Musik – Im Weitesten Sinne: Episode 17 Mastering, Köln, http://dasknistern.de/dk0017_mastering (zuletzt abgerufen am 13.11.2017) hier: 1:18:45-1:19:15

8 Steinigke Showtechnik, Regelverstärker – Überblick über Funktionen und Begriffe. Verfügbar unter: <http://www.steinigke.de/out/pictures/wysiwigpro/cmscontent/support/whitepaper/de/ton/Regelverst%C3%A4rker.pdf> (zuletzt abgerufen am 15.11.2017) S.1 f.

Durch einen Limiter kann der Ausgangspegel des Musiktitels begrenzt werden. Er vermag also auf die Amplitude des Audiosignals Einfluss zu nehmen. Der Betrag der Begrenzung der Amplitude wird durch den Limiter-Threshold festgelegt. Eine besondere Form des Limiters ist der Brick-Wall Limiter, der garantiert kein Pegel über dem eingestellten Threshold ausgibt. Durch die Bearbeitung des Eingangspegels kann so schnell eine hohe Lautheit erzielt werden.⁹

Außerdem wird auch oft auf einen Expander zurückgegriffen, der genau umgekehrt wie ein Kompressor arbeitet. Durch seinen Einsatz kann die Dynamik eines Signals vergrößert werden. Dies geschieht indem Pegel, die unter dem Threshold liegen, reduziert werden. Expander werden in der Regel in Kombination mit einem Noise Gate eingesetzt. Bei diesem Regelverstärker handelt es sich um ein automatisches System, das einen Tonkanal nur dann einschaltet, wenn ein Signal einen gewissen Schwellenwert erreicht. Durch die Verwendung des Noise Gates ist die Möglichkeit gegeben alle Signale, die unterhalb des eingestellten Schwellenwerts liegen, derart stark herabzusetzen, dass sie nicht mehr zu hören sind. Auf diese Weise können unerwünschte Nebengeräusche wie Übersprechen, Rückkopplungen oder auch Rauschen unterdrückt werden.¹⁰ Werden diese aufgeführten Geräte jedoch übermäßig eingesetzt, klingt der Musiktitel laut und verwaschen und somit für den Zuhörer unästhetisch.

Die Verwendung von Kompression oder Limitierung in der Unterhaltungsmusik ist allerdings kein Phänomen der letzten beiden Jahrzehnte, denn bereits in den sechziger Jahren wurde Kompression von George Martin, der unter anderem als Produzent der Beatles tätig war, aus klangästhetischen Gründen verwendet.¹¹

In den letzten drei Jahrzehnten hat sich die westliche Unterhaltungsmusik merkbar verändert, was sich in erster Linie auf die zahlreichen, technischen Innovationen der Aufnahme-, Misch-, und Masteringtechnik zurückführen lässt. Mit der Markteinführung der CD war nicht nur die Möglichkeit zur Abbildung von höherer Dynamik gegeben, sondern es konnte auch viel lauter produziert werden, was die Darstellung einer durchgängig hohen Lautheit innerhalb einer Audioproduktion ermöglicht.

9 Steinigke Showtechnik, Regelverstärker – Überblick über Funktionen und Begriffe. Verfügbar unter: <http://www.steinigke.de/out/pictures/wysiwigpro/cmscontent/support/whitepaper/de/ton/Regelverst%C3%A4rker.pdf> (zuletzt abgerufen am 15.11.2017) S. 2

10 ebenda

11 Vgl. Pauli, Marko (2008) SWR2 Wissen, SWR2 extra: Die Macht der Musik – Popmusik im Lautheitswahn, <http://bit.ly/2lqJg7H> (zuletzt abgerufen am 12.11.2017), hier: 8:06-8:15

Auch Rudolf Matthias Ortner, der für die Erstellung seiner Master-Thesis „Je lauter desto bumm! - The Evolution of Loud“ die Entwicklung der Lautheit und Klangcharakteristika von mehr als 10.000 Musiktiteln der Populärmusik aus dem Zeitraum von 1951 von 2011 untersucht hat, konnte innerhalb seiner Messreihe eine ähnliche Tendenz aufzeichnen. Gemäß seines Abrisses der einzelnen Jahrzehnte lässt sich innerhalb des Zeitfensters zwischen 1951 bis in die späten sechziger Jahre hinein beobachten, dass nur ein allmählicher Anstieg der Lautheit festzustellen ist. Bei Musikproduktionen, die zwischen den Jahren 1979 und 1984 veröffentlicht wurden, konnte die niedrigste Lautheit festgehalten werden. Ortner konnte durch seine Messreihen in diesem Zeitfenster eine durchschnittliche Lautheit von -17,63 LUFS feststellen, was er auf die Einführung der CD zurückführt. Diesen Anstieg der Programmlautheit veranschaulicht Abbildung 1 auf Seite XIV.

Erst ab etwa Mitte der neunziger Jahre lässt sich in Ortners Lautheitsmessung ein deutlicher, drastischer Anstieg der Lautheit beobachten. Grund dieses Anstieges sieht Ortner im technischen Fortschritt, welcher mit dem vermehrten Einsatz von digitalen Limitern wie der Peak-Limiter L1 und L2 von Waves und des TC Electronics Finalizers, einhergeht. Diese Produkte ermöglichen in der Produktion eine kostengünstige Regulierung von Spitzen.¹² Mit dieser aufgeführten Messung bietet Ortner Zahlenwerte, die das Einsetzen des von Bob Katz beschriebenen Loudness War untermauern.

¹² Vgl. Ortner, Rudolph Matthias (2012): Je lauter desto bumm! - The Evolution of Loud. Untersuchung zur Evolution der Lautheit Klangcharakteristik in 60 Jahren Populärmusik, Krems, S.52

1.2 Gegenstand und Zielsetzung

Diese Arbeit soll aufzeigen, inwiefern der von Ortner verzeichnete drastische Anstieg der Lautheit – der sogenannte Loudness War, Einfluss auf die Dynamik einer Musikproduktionen hat. Dabei soll die Fragestellung beantwortet werden, ob das Bestreben eines dynamischeren Produzierens die Lautheit eines Musiktitels zu reduzieren vermag.

Ebenso soll beleuchtet werden, welche Kriterien eine Musikproduktion erfüllen sollte, damit sie für den Zuhörer dynamisch klingt und eine Tendenz seit der Markteinführung der Compact Disc geboten werden, durch die sich abschätzen lässt, inwieweit die aufgeführten Kriterien umgesetzt wurden. Des Weiteren soll aufgezeigt werden, in welchem Maße die Dynamic Range zur Einschränkung und zur allmählichen Beendigung des Loudness War beitragen kann.

Dadurch soll eine Orientierung aufgeführt werden, durch deren Hilfe bei der Produktion eine zu laute, überkomprimierte Mischung vermieden werden kann. Betrachtet wurden dafür die Dynamic Ranges sowie Spitzen- und Durchschnittspegel von insgesamt 5269 Musiktitelproduktionen seit der Markteinführung der Compact Disc.

2 Definitionen

Um zu verstehen, wie das menschliche Ohr auf Lautheit reagiert, sollte zunächst geklärt sein, wie ein Schallereignis an sich vom Menschen wahrgenommen wird. Schall versteht sich im Allgemeinen als die Schwingung eines elastischen Mediums (beispielsweise Luft). Dabei werden Luftmoleküle so angeregt, dass sie sich aus ihrer Ruhe- oder Gleichgewichtslage heraus schwingen, benachbarte Moleküle anstoßen und diese ebenfalls in Schwingung versetzen. Es entsteht eine Art von Kettenreaktion, durch die sich der Schall ausbreiten kann und somit zum Ohr des Hörers gelangt. Dies geschieht in Schallgeschwindigkeit c , die unter Normalbedingungen einen Betrag von 343,2 m/s (Meter/Sekunde) besitzt. Da durch Reibungsverluste wie etwa Dämpfungen und mit zunehmender Entfernung von der Schallquelle mit einer Verminderung des Schalls zu rechnen ist, handelt es sich bei der Ausbreitung von Schall um einen verlustbehafteten Vorgang. Soll ein Schallereignis physikalisch beschrieben werden, so kann dies durch drei physikalische Größen geschehen. Diese sind der Schalldruck p , die Frequenz f und die Zeit t .¹³

Der Schalldruck p wird in der Maßeinheit Pascal (Pa) angegeben und beschreibt Druckschwankungen innerhalb eines Mediums, die zur Bewegung des Trommelfells und somit zum Prozess des Hörens führen. Je heftiger sich die angeregten Luftmoleküle bewegen desto höher ist der Betrag des Schalldrucks. Er lässt sich daher mit dem Verhältnis zwischen der Kraft F und der Fläche A beschreiben, weshalb sich für den Schalldruck folgende Formel ergibt.¹⁴

$$p = \frac{F}{A} \text{ [Pa]}$$

Die Frequenz f wird in Hertz (Hz) angegeben und beschreibt die Druckschwankung eines Schallereignisses in Abhängigkeit zur Zeit. Schwankt der Schalldruck von seiner Ausgangslage über die maximale Verdichtung und die Ruhelage zur maximalen Verdünnung und schließlich wieder zur Ausgangslage zurück, so wird dies als Periode T bezeichnet. Die Periode eines Schallereignisses ist als der Kehrwert der Frequenz definiert, weshalb sich für die Frequenz folgende Formel ergibt.

¹³ Feldmann, Joachim (2003): Raumakustik und baulicher Schallschutz, Berlin, S.1 f.

¹⁴ ebenda, S.3

$$f = \frac{1}{T} \text{ [Hz]}$$

oder äquivalent dazu

$$T = \frac{1}{f} \text{ [s]}$$

Ändert sich der Schalldruck eines Schallereignisses mit einer konstanten Periode beziehungsweise Frequenz bezeichnet man dies als harmonische Schwingung oder auch Ton. Diese Änderung lässt sich als Sinus- oder Kosinusfunktion darstellen. Weißt ein Ton mehrere Frequenzanteile auf, so wird das Schallereignis Klang genannt. Solche Frequenzanteile werden als Harmonische bezeichnet und besitzen Obertöne, die zum Grundton (der tiefsten Schwingung) in ganzzahligem Verhältnis stehen. Sind sehr viele Frequenzanteile enthalten, die in keinem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen, so ist das Schallereignis ein Geräusch.¹⁵

Das menschliche Ohr vermag Schall allerdings nur dann wahrzunehmen, wenn sich der Schalldruck mindestens 20 Mal in der Sekunde ändert, also eine Frequenz von 20 Hz aufweist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Hörbereich eines menschlichen Ohrs einen Frequenzbereich zwischen 20 Hz und 20 kHz umfasst, wobei 20 Hz einen tiefen Ton mit hoher Periode und 20 kHz dementsprechend einen hohen Ton mit geringer Periode darstellt. Mit zunehmenden Alter des Hörers nimmt in erster Linie die Wahrnehmung von hochfrequenten Schallereignissen ab.¹⁶

Soll nun die Stärke eines Schallereignisses dargestellt werden, so wird die physikalische Größe des Schalldruckpegels betrachtet. Der Schalldruckpegel ist eine logarithmische Größe, welche typischerweise in Dezibel (dB) angegeben wird. Durch die Betrachtung dieser Größe lässt sich eine Aussage über die durch den Schall verursachte Abweichung des Schalldrucks vom Atmosphärendruck treffen. Dabei ist ein Anstieg des Schalldruckpegels von +6 dB mit einer messbaren Verdopplung des Schalldrucks gleichzusetzen.

Die Formel des Schalldruckpegels L_p ist folgendermaßen definiert.

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0} \text{ [dB]}$$

¹⁵ Feldmann, Joachim (2003): Raumakustik und baulicher Schallschutz, Berlin, S.6 f.

¹⁶ Levitin, Daniel Joseph (2006): This Is Your Brain On Music – Understanding A Human Obsession, Montreal, S.24

Der Bezugsschalldruck p_0 steht hierbei für den Schalldruck, dem das menschliche Ohr bei einer Frequenz von 1 kHz ausgesetzt ist. Es handelt sich um einen internationalen Bezugswert, welcher einen Wert von $20 \mu\text{Pa}$ ($=2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$) besitzt. Dieser Wert wird der „Hörschwelle“ gleichgesetzt, dem ein Schalldruckpegel von 0 dB zugewiesen ist. Liegt dem Schalldruckpegel eben dieser Bezugswert zu Grunde, so wird der Einheit dB der Suffix SPL angehängt. SPL steht dabei für „Sound Pressure Level“.¹⁷

Die „Schmerzgrenze“ charakterisiert den Schalldruckpegel, ab den das menschliche Ohr Gefahr geht, bleibende, irreparable Schäden zu nehmen. Ein universeller Wert für die Grenze lässt sich nicht bestimmen, da diese Schmerzgrenze von Mensch zu Mensch variiert. Ein Schalldruck, der dem menschlichen Ohr schaden kann, ist mit einem Betrag von zwischen 20 und 200 Pascal angesetzt.

Setzt man dies in die aufgeführte Gleichung für den Schalldruckpegel L_p ein, so ergibt sich der Bereich für die „Schmerzgrenze“ in dBSPL.

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} = 20 \lg \frac{20 \text{ Pa}}{2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}} = 120 \text{ dBSPL}$$

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} = 20 \lg \frac{200 \text{ Pa}}{2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}} = 140 \text{ dBSPL}$$

In Regel wird 120 dBSPL als die „Unwohlseinsschwelle“ betrachtet. Da es sich beim Schalldruckpegel um einen logarithmischen Wert handelt, ist zu beachten, dass bereits kleinere Wertveränderungen des Schalldruckpegels bereits einer großen Veränderung des Schalldrucks zu Grunde liegen. So basiert ein Schalldruckpegel mit einem Wert von 140 dBSPL auf einem bereits zehn Mal so hohen Schalldruck wie vergleichsweise ein Schalldruckpegel von 120 dBSPL.

Daniel Joseph Levitin, Professor der Musik und Neurowissenschaften an der „McGill University“ im kanadischen Montreal hat in seiner wissenschaftlichen Abhandlung „This Is Your Brain On Music – Understanding A Human Obsession“ aus dem Jahr 2006 Beispiele für die entsprechenden Schalldruckpegel aufgelistet. Durch diese Beispiele lassen sich verschiedene Schalldruckpegel besser veranschaulichen.

¹⁷ Feldmann, Joachim (2003): Raumakustik und baulicher Schallschutz, Berlin, S.8 f.

Schalldruck-pegel	Beispiele
0 dB	Eine Mücke, die in einem ruhigen Raum in einer Entfernung von 3 Metern fliegt
20 dB	Ein Aufnahmestudio
35 dB	Ein normales, leises Büro mit verschlossenen Türen und ausgeschalteten Computern
50 dB	Normale Unterhaltung in einem Raum
75 dB	Normale, komfortable Abhörlautstärke von Stereo-Kopfhörern
100-105 dB	Klassische Musik oder eine Opernaufführung in ihren lautesten Passagen
110 dB	Ein Presslufthammer in der Entfernung von etwa einem Meter
120 dB	Der Motor eines Düsenflugzeugs auf der Landebahn in einer Entfernung von etwa 100 Metern, ein normales Rockkonzert
126-130 dB	Schmerzgrenze, ab der das Gehör dauerhafte, irreparable Schäden erleiden kann
180 dB	Start eines Spaceshuttles
250-275 dB	Zentrum eines Tornados, Vulkanausbruch

Tabelle 1: eigene Darstellung, Beispiele für verschiedene Schalldruckpegel (Vgl. Levitin, Daniel Joseph (2006): This Is Your Brain On Music – Understanding A Human Obsession, Montreal, S. 71)

Bei digitalen Musikproduktionen wird statt dB SPL die Maßeinheit dBFS (Dezibel Full Scale) verwendet, wobei „Full Scale“ für Vollausssteuerung steht. Ein Wert von 0 dBFS repräsentiert den höchstmöglichen Pegelwert, den das Signal innerhalb eines digitalen Systems annehmen und verarbeiten kann. Dieses Maximum wird auch oft als digitaler Vollpegel oder als digitale Vollausssteuerung bezeichnet. Wird nun der maximal zu verarbeitende Pegel von 0 dBFS erreicht, so findet Vollausssteuerung statt.¹⁸

Wird der Pegel für die Verarbeitung durch ein Gerät oder durch eine entsprechende DAW zu hoch gewählt, so findet Übersteuerung statt. Die überschüssigen Signalanteile werden nicht wiedergegeben und es findet sogenanntes Clipping statt. Das heißt - salopp ausgedrückt - die Amplituden des Audiosignals werden bei der Wiedergabe „abgeschnitten“ und nicht in ihrer Gänze dargestellt, wodurch ein großer Teil der ursprünglichen Informationen unnötig verloren gehen kann.¹⁹

¹⁸ Vgl. Hifi-Regler Online Shop: <http://www.hifi-regler.de/lexikon/v/vollausssteuerung.php> (zuletzt abgerufen am 30.11.2017)

¹⁹ Delamar – Frequently Asked Questions: Was ist Clipping?: <https://www.delamar.de/faq/clipping-31684/>, (zuletzt abgerufen am 01.12.2017)

Wie hoch der Betrag des Pegels gewählt werden kann, bevor Übersteuerungen auftreten, ist von Gerät zu Gerät unterschiedlich. Einige DAW neigen mittlerweile bereits dazu Pegel über 0 dBFS anzuzeigen, wobei es sich aber vielmehr um theoretische Pegelspitzen handelt. Denn Werte über 0 dBFS sind von einem digitalen Audiosignal nicht zu verarbeiten. Je nach Häufigkeit und Länge der abgeschnittenen Amplituden variiert das klangliche Resultat der vorliegenden Audioaufnahme. In einer dezenten Form ist ein Pegelüberschreitung, die zu Clipping führt, praktisch nicht hör- oder wahrnehmbar. Im extremen Fall und bei unverhältnismäßigem häufigen Auftreten kann Clipping aber zu „sehr starken, harsch klingenden Verzerrungen“ führen.²⁰

²⁰ Vgl. Delamar – Frequently Asked Questions: Was ist Clipping?: <https://www.delamar.de/faq/clipping-31684/>, (zuletzt abgerufen am 01.12.2017)

2.1 Lautheit und ihre Wahrnehmung

Um zu beschreiben, wie das menschliche Ohr Schallereignisse wahrnimmt, wird vor allem auf psychoakustische Größen zurückgegriffen. Diese beschreiben nicht wie Schallwellen sich in einem bestimmten Medium verhalten, sondern viel mehr den vom menschlichen Gehör empfundenen, psychoakustischen Eindruck eines Schallereignisses. Unter der Lautheit N ist die subjektiv vom Menschen wahrgenommene Lautstärke eines Schallereignisses zu verstehen. Es handelt sich daher um eine solche psychoakustische Empfindungsgröße mit entsprechend großer Toleranz. Sie ist nicht mit dem Schalldruckpegel L_p zu verwechseln und wird in der Einheit Sone angegeben. Der Lautstärkepegel eines Geräusches besitzt die Maßeinheit Phon. Er hat die Lautheit als Grundlage.

Einem Schallereignis mit einer Lautheit von 1 sone liegt ein Lautstärkepegel von 40 phon zu Grunde, wobei dieser Wert mit dem Schalldruckpegel eines 1 kHz Sinuston mit den Betrag von 40 dB SPL gleich zu setzen ist. Wird ein zweites Schallereignis nun als doppelt so laut empfunden, verdoppelt sich auch der Betrag der Lautheit und nimmt demzufolge den Wert von 2 sone an. Dieser Lautheit wird ein Lautstärkepegel von 50 phon gleichgesetzt. Selbes gilt bei einem vier Mal so laut empfundenen Schallereignis, welchem eine Lautheit von 4 sone zugeordnet wird.²¹ Wichtig ist dabei, dass sich der Lautstärkepegel nur auf einen Sinuston mit der Frequenz von 1 kHz bezieht. Die nachfolgende Tabelle soll visualisieren in welchem Zusammenhang die beiden psychoakustischen Größen Lautheit N und der Lautstärkepegel L_N stehen.

²¹ Sengpiel-Audio: Rechner Sone/Phon: <http://www.sengpielaudio.com/RechnerSonephon.htm>, (zuletzt abgerufen am 11.12.2017)

Lautheit N [sone]	Lautstärkepegel L_N [phon]
1/64	9
1/32	11
1/16	14
1/8	19
1/4	25
1/2	32
1	40
2	50
4	60
8	70
16	80
32	90
64	100
128	110
256	120

Tabelle 2: eigene Darstellung, Zusammenhang zwischen Lautheit und Lautstärkepegel (Vgl. Sengpiel-Audio)

Aus Tabelle 2 geht hervor, dass sich die Lautheit N keineswegs in dem Maße messen lässt, wie etwa der Schalldruckpegel. Dennoch lässt sich festhalten, dass eine vom menschlichen Gehör empfundene Verdopplung der Lautheit mit einem Anstieg des Lautstärkepegels von etwa +10 phon (gleichzusetzen mit +10 dB) zu beobachten ist. Auf Grund dieses Sachverhalts wurden in der Vergangenheit zahlreiche Hörtests durchgeführt mit deren Hilfe Lautheit abschätzbarer gemacht werden sollte. Die Resultate lassen sich in der „Gehörriichten Lautstärkekurve“ ablesen, die von den beiden Physikern Harvey Fletcher und Wilden A. Munson bereits im Jahr 1933 veröffentlicht wurde. Diese Kurve ist auch bekannt als die sogenannte „Fletcher-Munson-Kurve“ oder als „Kurve gleicher Lautheit“ und ist in Anlage 3 auf Seite XIV durch Abbildung 3 dargestellt. Beim Betrachten dieser Kurve ist festzustellen, dass das menschliche Gehör bei Schalldruckpegeln mit höherem Betrag (beispielsweise 90 dB SPL) dazu neigt sowohl tiefe als auch hohe Frequenzen als subjektiv lauter wahrzunehmen. Durch dieses Phänomen wird erklärbar, weshalb ein mit höherem Schalldruckpegel wiedergegebener Musiktitel vom Hörer als subjektiv wärmer und brillanter und damit auch druckvoller empfunden wird, als sein Pendant, das mit einem niedrigeren Schalldruckpegel wiedergegeben wurde.²² Ebenso ist zu erkennen, dass das menschliche Gehör bei etwa 3 kHz die größte Empfindlichkeit besitzt.

²² Vgl. Pleasure Music Foundation – Was macht stark komprimierte Titel scheinbar attraktiv? (Fletcher-Munson-Kurve) (2011): <http://www.dynamicrange.de/de/de/was-macht-stark-komprimierte-titel-scheinbar-attraktiv-fletcher-munson-kurve> (zuletzt abgerufen am 14.11.2017)

Auf exakt diesem psychoakustischen Phänomen basieren auch die sogenannten Loudness-Schaltungen in Hifi-Anlagen. Wird eine solche Loudness Schaltung aktiviert, so werden die Tiefen und Höhen bei niedrigeren Lautstärkepegeln angehoben und den mittleren Frequenzen angeglichen. Je niedriger der Schalldruckpegel also angesetzt wurde, um mehr Anhebung der Tiefen und Höhen bedarf es, damit ein gleichmäßiges Klangbild erzielt werden kann. Durch diesen Vorgang wird die wiedergegebene Musik vom menschlichen Gehör als subjektiv lauter und damit auch als druckvoller und wärmer eingeschätzt.

Um eine internationale Gültigkeit und Vereinheitlichung bei der Messung und der Betrachtung der Lautheit zu gewährleisten, wurde zusätzlich die Maßeinheit Loudness Unit (LU) als Relativwert durch die International Telecommunication Union (ITU) eingeführt. Diese Einheit orientiert sich an der logarithmischen Dezibel-Skala, weshalb 1 LU auch 1 dB entspricht. Sie ist das Maß für die relative Lautheit und wurde 2011 mit der Lautheitsempfehlung R 128 von der European Broadcasting Union (EBU) ebenfalls ausgesprochen. Diese Empfehlung definiert die Lautheitsaussteuerung, die Normalisierung und den zulässigen Maximalpegel von Hörfunk- und Fernsehprogrammen neu. Die EBU-R128 empfiehlt unter anderem, die „Benutzung der Parameter Programmlautheit, Lautheitsbereich und exakter maximaler Spitzenpegel für die Beschreibung eines Audiosignals“.²³ Unter der Programmlautheit ist laut EBU R 128 die „über die gesamte Dauer eines Programms integrierte Lautheit“ zu verstehen und wird in der Einheit LUFS (Loudness Unit Full Scale) angegeben.²⁴ Diese Messgröße ist ein absoluter und zeitabhängiger Wert bei dem folgende drei Zeitfenster definiert sind.

- Momentane Lautheitswerte - (Momentary Loudness „M“) mit einer Integration über 400 Millisekunden
- Kurzzeitige Lautheitswerte - (Short-Term Loudness „S“) mit einer Integration über 3 Sekunden
- Durchschnittslautheit - (Integrated Loudness „I“) mit individueller Integrationslänge über die Länge eines Programmabschnitt²⁵

Der Programmlautheitspegel ist der resultierende Wert der Programmlautheit und wird ebenfalls in LUFS angegeben. Wie es der Name bereits vermuten lässt, ist die Einheit LUFS äquivalent zur Maßeinheit dBFS, die sich auf einen Maximalpegel von 0 dBFS

²³ Vgl. European Broadcasting Union, (2011), EBU - Empfehlung R 128, Genf: European Broadcasting Union. Verfügbar unter: https://tech.ebu.ch/docs/r/r128_2011_DE.pdf (zuletzt abgerufen am 14.12.2017), S.4

²⁴ ebenda, S.5

²⁵ European Broadcasting Union, (2011), EBU Tech 3341, Genf: European Broadcasting Union. Verfügbar unter: <https://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3341.pdf> (zuletzt abgerufen am 14.12.2017), S.5 f.

bezieht. Mit Durchsetzen der EBU R128 soll dies nicht länger der Fall sein, denn die European Broadcasting Union sieht in ihrer Empfehlung das Durchführen einer Loudness Normalisierung vor. Hierbei wird keine Normalisierung gegen einen Maximalpegel vollzogen, sondern eine Aussteuerung der Programmlautheit auf den Zielwert -23 LUFS ± 1 LU, dem sogenannten „Target Level“. Die zulässige Abweichung vom Zielwert soll generell nicht überschritten werden. Bei einer Loudness Normalisierung sollen die durchschnittlichen Lautheitspegel von vorliegenden Audioproduktionen am den Zielwert von -23 LUFS angegliedert werden. Ein Wert von -23 LUFS würde demnach bedeuten, dass die Programmlautheit 23 dB unter dem maximalen digital zu verarbeitenden Pegel angesetzt wird.²⁶

Ebenso wird der Begriff des Lautheitsbereichs oder auch der „Loudness Range“ eingeführt, unter dem die Verteilung der Lautheitspegel innerhalb eines Programms zu verstehen ist. Der maximale Wert der stetigen Audiosignal-Wellenform eines Programms wird als exakter Maximalspitzenpegel (Maximum True Peak Level) bezeichnet.²⁷ Dieser Spitzenpegel ist zeitabhängig und liegt einer True Peak Messung, also einer tatsächlichen Messung, zugrunde. True Peak Messungen sind in der Maßeinheit dBTP (Dezibel True Peak) anzugeben. Laut der EBU R 128 sollte der exakte Maximalspitzenpegel eines Programms einen Wert von -1 dBTP nicht überschreiten und mit einem True Peak Meter entsprechend der Normen ITU-R BS.1770 und EBU Tech Doc 3341 erfasst werden. Die Einheit dBTP ist dabei äquivalent zu dBFS.²⁸ Der Suffix TP weist lediglich auf die Bestimmung des exakten Maximalspitzenpegels durch ein True Peak Meter hin.

Durch das Einhalten und Durchsetzen der EBU R 128 soll innerhalb von Radio- oder Fernsehprogrammen die Lautheit angepasst werden. Dies wird vorgesehen, da der Unterschied zwischen lauten und leiseren Programmen stark variiert. Wird beispielsweise ein dialoglastiges Fernsehprogramm – etwa ein Spielfilm oder auch eine Talkshow – durch einen Werbeblock unterbrochen, so wurden extrem große Lautheitsunterschiede festgestellt. Dies entsteht, da es in der Werbeindustrie gängige Praxis ist, durch Kompression die Lautheit der Spots zu erhöhen ohne dabei aber die Amplitude zu erhöhen. Durch diese Vorgehensweise soll beim Zuschauer eine größere Aufmerksamkeit erzeugt werden. Eine Realisierung der Empfehlung R 128 im Rundfunk, speziell im Hörfunk, würde allerdings das Hörverhalten und das Hörempfinden in Anbetracht auf die Lautheit drastisch ändern. Denn das Hörverhalten des Menschen hat sich im

²⁶ European Broadcasting Union, (2011), EBU - Empfehlung R 128, Genf: European Broadcasting Union. Verfügbar unter: https://tech.ebu.ch/docs/r/r128_2011_DE.pdf (zuletzt abgerufen am 14.12.2017), S.4

²⁷ ebenda, S.4

²⁸ ebenda, S.4

Laufe der letzten Jahrzehnte merkbar verändert. So wurden ab Mitte der neunziger Jahre vermehrt Produktionen veröffentlicht, die nach Vollendung des Masteringprozesses eine maximale Aussteuerung besitzen und somit einem Maximalwert von 0 dBFS sehr nah sind. Resultat dieser Pegelüberschreitung ist das Übersteuern und die Verzerrung des Musikstückes in seiner Gesamtheit. Grund der höher empfundenen Lautstärke ist die Verwendung von Kompressoren, die beim Hörer eine höhere psychoakustische Lautheit suggeriert. Daniel Joseph Levitin erklärt das Phänomen der Lautheitsempfindung ebenfalls in seiner wissenschaftlichen Abhandlung „This Is Your Brain On Music: Understanding A Human Obsession“.

„Our ears compress sounds that are very loud in order to protect delicate components of the middle and inner ear. Normally, as sounds get louder in the world, our perception of the loudness increases proportionately to them. But when sounds are really loud, a proportional increase in the signal transmitted by the eardrum would cause irreversible damage“²⁹

Da das innere Ohr aus Selbstschutz dazu neigt laute Geräusche zu komprimieren, wird Kompression oft mit der Lautheit assoziiert. Die tatsächlich wahrgenommene Lautheit und auch die Hörgewohnheiten haben sich in den letzten Jahrzehnten entsprechend Levitins Aussage verändert, da sich das menschliche Gehirn an ein lautes Umfeld gewöhnt hat. Zudem ist es so entwickelt, dass es lauterem Geräuschen mehr Aufmerksamkeit widmet als leiseren. Musikproduktionen, die extreme Kompression erfahren haben und somit lauter klingen, werden daher als zunächst „interessanter“ und „wichtiger“ wahrgenommen. Dementsprechend wird solchen Produktionen von unserem Gehör auch zunächst mehr Aufmerksamkeit gewidmet.³⁰ Weshalb dieser Effekt nicht lange anhalten kann, begründet Daniel Joseph Levitin in der Reportage „The Death of High Fidelity“, die 2007 vom Rolling Stone Magazine veröffentlicht wurde. Dort vertritt er den Standpunkt, dass die Spannung in der Musik durch Variation, Rhythmus, Klangfarbe, Stimmung der Instrumente und durch die Lautheit entsteht. Würde einer dieser beschriebenen Anforderungen an ein Musikstück auf einem konstanten Level gehalten werden, so könne das Gesamtwerk dem Zuhörer als monoton erscheinen. Wird der Mensch fortwährend mit einer durchgängig gleichen Lautheit beschallt, so kann dies schnell zu Ermüdungserscheinungen führen, wie auch Testreihen, welche mit verschiedenen Probanden durchgeführt wurden, aufzeigen konnten. Levitin beschreibt dieses Phänomen und diese Testreihe in derselben Reportage des Rolling Stone Magazine. Laut seiner Aussage verspürten einige der Testpersonen sogar den Drang auf den nächsten Titel schalten zu wollen.³¹

29 Levitin, Daniel Joseph (2006): This Is Your Brain On Music – Understanding A Human Obsession, Montreal, S. 70

30 Ketterer, Nicolay: Louness War – Wie laut geht es noch?, in: Sound & Recording vom 03.06.2016, S. 59

31 Vgl. Levine, Robert: The Death of High Fidelity, in: Rolling Stone Magazine vom 26.12.2007, verfügbar unter <http://bit.ly/2ERFMCn> (zuletzt abgerufen am 20.11.2017)

2.2 Loudness War

Durch den Begriff des Loudness War wird der Konkurrenzkampf der Plattenfirmen sowie das Bestreben der Künstler und Produzenten nach Produktionen von möglichst lauten Audioaufnahmen beschrieben. Im Zuge dieses Wettstreites wurden stärker komprimierte Veröffentlichungen geschaffen, um möglichst große Aufmerksamkeit beim Konsumenten und Zuhörer zu schaffen.³²

Die Ursachen dieses Wettstreits wurden bereits aufgeführt und sind laut Mastering-Ingenieur Bob Katz auf das Aufkommen der Peak Normalisierung, die vermehrte Veröffentlichung von Greatest Hits CDs und auf die Markteinführung von tragbaren, digitalen Abspielgeräten zurückzuführen. Ebenso konnte Rudolph Matthias Ortner festhalten, dass der Grund für vermehrt lautere und komprimiertere Produktion mit dem technischen Fortschritt einhergeht. Denn durch Produkte, wie beispielsweise die Peak-Limiter L1 und L2 von Waves oder durch einen Finalizers der Firma TC Electronics, wurden Limitierung und Kompression von Audioaufnahmen schnell und vor allem kostengünstig möglich. Visualisiert wurde dieser immense Anstieg der Lautheit durch die in Anlage 1 ersichtliche Abbildung 1 auf Seite XIV. In dieser aufgeführten Kurve wird die Zunahme der Programmlautheit von Musikproduktionen innerhalb des Betrachtungszeitfensters von 1951-2011 abschätzbar. Die ersten Anzeichen sind dabei etwa ab Anfang der neunziger Jahre zu beobachten. Hier ist auch in etwa der Beginn des Loudness War anzusetzen. Ab diesem Zeitpunkt stieg laut Ortners Einschätzung die Lautheit von Musikproduktionen im stetigen Maße, bis die Messung innerhalb der Jahre 2006-2008 ihren Höhepunkt bei einem Wert von -8,78 LUFS annimmt. Das ist ein Anstieg von fast +9 LU im Vergleich zum untersuchten Zeitintervall 1979-1981 und somit beinahe eine subjektive wahrgenommene Verdopplung des Lautstärkepegels L_N .³³

Das lautere und komprimiertere Produzieren hat sich in den letzten zwei Jahrzehnten aber nicht nur auf Grund dieser neuen Anforderungen und neue technischen Innovationen als gängige Praxis etabliert. Denn weil das menschliche Gehör dazu neigt lautere Schallereignissen mehr Aufmerksamkeit zu widmen als leiseren, hat sich rasch ein Wettbewerb unter den Künstlern und Plattenfirmen entwickelt. Zudem etablierte sich

32 Vgl. Pleasure Music Foundation – Unser Ziel (2011): <http://dynamicrange.de/de/de/unser-ziel> (zuletzt abgerufen am 14.11.2017)

33 Ortner, Rudolph Matthias (2012): Je lauter desto bumm! - The Evolution of Loud. Untersuchung zur Evolution der Lautheit Klangcharakteristik in 60 Jahren Populärmusik, Krems, S. 52

die Vermutung, dass derjenige, der lauter wahrgenommen wird, auch mehr Tonträger verkaufen würde.

Die Non-Profit Organisation „Pleasure Music Foundation“, die sich aktiv gegen zu lautes und undynamisches Produzieren einsetzt, beschreibt, wie diese Tendenz in der Vergangenheit entstanden ist.

„Der Mastering-Engineer erhielt stets gemeinsam mit der Anweisung den Auftrag, mindestens so laut wie die Referenzveröffentlichung XY oder lauter zu mastern. Der Einzug moderner digitaler Signalverarbeitung machte jedoch Kompressionen (Verdichtungen) möglich, die eines Tages die Grenze des guten Geschmacks überschritten.“³⁴

Durch das Zurückgreifen auf dynamische Kompression wurde der Unterschied zwischen Spitzen- und Durchschnittspegel stark herabgesenkt. Dies geschah in Vergangenheit jedoch in einem allmählichen Prozess. Hat ein Musiktitel übermäßige Kompression erfahren, so vermag der Zuhörer alles als identisch laut zu empfinden.

Es sind dementsprechend verschwindend geringe bis hin zu gar keinen Unterschieden in Lautheit oder Dynamik von verschiedenen Instrumenten festzustellen. Dies kann im Extremfall dazu führen, dass ein natürlich laut klingendes Instrument (beispielsweise ein Schlagzeug) genauso laut wahrgenommen wird wie ein natürlich leiseres Instrument (beispielsweise ein Klavier oder eine Akustikgitarre). Ist dass der Fall so geht die Natürlichkeit und die Räumlichkeit innerhalb der Musik verloren. Die „Pleasure Music Foundation“ bewertet diese Tendenz auf drastische Art und Weise als klanglich sehr unästhetisch.

„Heute ist diese Spirale [Anm.: Verwendung der Kompression] soweit eskaliert, dass die Angst der verantwortlichen Plattenfirmen-Manager, mit einer leiseren Veröffentlichung nicht genügend wahrgenommen zu werden, die Warnung verantwortungsbewusster Mastering-Engineere übertönt. Das führt zu Veröffentlichungen, die kurz davor sind, Weißem Rauschen zu gleichen und dem Ohr ungefähr so charmant schmeicheln wie ein kräftiger Schlag ins Gesicht.“³⁵

Kompression und die daraus resultierende steigende Lautheit beeinträchtigt die Klangqualität einer Audioaufnahme maßgeblich. Wird Daniel Joseph Levitins Auswertung über die neurowissenschaftliche Auswirkung von Kompression und fortwährend hoher Lautheit berücksichtigt, wird schnell klar, dass sich diese Vorgehensweise von Künstlern und Plattenfirmen-Managern als der falsche Weg herausstellt. Denn dass der Hörer durch die Einwirkung von subjektiv lauterer Musik Ermüdungserscheinungen verspürt, kann keinesfalls die Absicht von Plattenfirmen, die überkomprimiert produzieren, sein. Ebenso hat sich die Herangehensweise, dass Audioaufnahmen durch lauterer

34 Vgl. Pleasure Music Foundation – Wie ist der Loudness War entstanden?: <http://dynamicrange.de/de/de/wie-ist-der-loudness-war-entstanden> (zuletzt abgerufen am 14.11.2017)

35 Vgl. Pleasure Music Foundation – Wie ist der Loudness War entstanden?: <http://dynamicrange.de/de/de/wie-ist-der-loudness-war-entstanden> (zuletzt abgerufen am 14.11.2017)

und teilweise überkomprimiertes Produzieren besser vom Konsument wahr- bzw. angenommen werden und daraus höhere Verkaufszahlen resultieren, als Irrglaube herausgestellt. Leidtragender dieses Irrglaubens ist die dynamische Qualität eines Songs und das Hörempfinden der Musikkonsumenten, das sich an das undynamische und überkomprimierte Produzieren bereits gewöhnen konnte.

Inwieweit sich das Verharren auf diesem Irrglauben auf die dynamische Qualität ein Audioproduktion auswirkt, ist festzustellen. Ebenso soll festgehalten werden wie dieser Tendenz entgegengewirkt werden kann.

2.3 Dynamic Range

Durch die Hilfe der Dynamic Range lassen sich Aussagen über die effektiv genutzte Dynamik, die dynamische Qualität und über den Grad an Verdichtung innerhalb einer Audioaufnahme treffen. Die Maßeinheit der Dynamic Range wird daher in dB angegeben, wobei der Wert stets als ganze positive Zahl angegeben ist. Zur Kennzeichnung der dynamischen Qualität der Aufnahme wird dafür eine Gliederung der in ganzzahlige Werte zwischen dem Zahlenraum DR1 für eine sehr undynamische Aufnahme und DR20 für eine sehr dynamische Aufnahme vorgenommen.³⁶

Die Dynamic Range definiert sich als die Differenz zwischen der maximalen Aussteuerung (Peak) und der Quadratwurzel der lautesten Passagen des gesamten Audiosignals (RMS_{Top20}). Weshalb sich folgende Formel ergibt.

$$DR = Peak - RMS_{Top20}$$

Durch die Messgröße Peak wird die höchste gemessene Amplitude des zu betrachtenden Audiosignals, der Maximalpegel, beschrieben. Dieser Wert wird mit der Einheit dBFS (Dezibel Full Scale) angegeben und daher logarithmisch dargestellt. Um ein gutes und nicht übersteuertes Signal gewährleisten zu können, sollte sich der Maximalpegel nicht in zu großem Maß dem Grenzpegel nähern, geschweige denn ihn überschreiten. Idealer Richtwert für die Einstellung des Maximalpegels ist daher mindestens ein Pegel von -1 dBFS.

Der RMS-Wert beschreibt den quadratischen Mittelwert des vorliegenden Audiosignals und trifft Aussage über die standardisierte durchschnittliche Lautstärke, die über die Dauer eines gesamten Musiktitels gemessen wird. Dieser Wert ist ebenfalls in der Maßeinheit dBFS anzugeben und ist zeitabhängig. Der RMS Wert ist vergleichbar mit der Programmlautheit, wie sie durch die EBU R 128 definiert ist.

Um nur die lautesten Passagen des Titels darzustellen, werden als Berechnungsgrundlage des Durchschnittspegels (RMS-Wert) nur die lautesten 20 Prozent der Aufnahme bedacht. Diese ergeben sich entsprechend der Gleichung zur Bestimmung der Dynamic Range aus Summe von DR und dem im Song verwendeten Headroom, weshalb sich für RMS_{Top20} folgende Gleichung ergibt.

³⁶ Vgl. Pleasure Music Foundation c/o Tischmeyer Publishing America Inc. (2009): Gebrauchsanweisung TT DR Offline Meter Software Version 1.3, http://dynamicrange.de/sites/default/files/DR-Gebrauchsanweisung-V1_3-Deutsch.pdf (Zugriff: 02.12.2017), S.1

$$RMS_{Top20} = DR + Peak \quad 37$$

Diese Herangehensweise ermöglicht eine genauere Widerspiegelung der Verdichtung innerhalb eines Musiktitels. In der Gebrauchsanweisung des Offline Tools „DR Offline Meter Software“ von Tischmeyer Technology wird an einem Beispiel erläutert, weshalb für die Bestimmung der Dynamic Range die lautesten 20 Prozent des Audiosignals herangezogen werden.

„Ein Mastering-Engineer vergleicht die lauten Passagen eines Songs und sorgt neben spektralen Anpassungen und klanglichen Veredelungen für eine gleichmäßige Lautheit über den gesamten Tonträger. Das kann nur funktionieren, solange man die lauten Passagen als Bemessungsgrundlage nimmt. Ein Titel mit einem leisen, langen Intro und einem auf DR2 komprimierten finalem Refrain würde im Falle der Berücksichtigung des gesamten durchschnittlichen RMS-Wertes im schlechtesten Fall vielleicht mit DR10 oder DR12 bewertet werden. Der DR-Wert würde daher nicht den Grad der Verdichtung widerspiegeln, der naturgemäß nur in lauten Passagen kritisch ist.“³⁸

Die Messwerte des Musiktitels „Hello“ von der Sängerin Adele bieten für diese beschriebene Vorgehensweise ein eindrucksvolles Beispiel. Bereits in der Wellenform dieses Songs, welche in Abbildung 3 auf Seite XV ersichtlich ist, lässt sich ablesen, wann die Strophen und die Refrains einsetzen. Weißt „Hello“ in seinen Strophen noch Maximalpegel auf, die deutlich unter dem Grenzpegel liegen, so nähern sich die Peaks im ersten Refrain deutlich sichtbar 0 dBFS bis hin zur Vollaussteuerung, was einen deutlich kleineren Headroom als die Strophe zur Folge hat. Im zweiten Refrain wird der Grenzpegel sogar erreicht, sodass eine Übersteuerung stattfindet. In der Wellenform lässt sich dies besonders gut erkennen, dass jede einzelne Amplitude ihr Maximum erreicht hat und sogar vereinzelt Clipping stattfindet. Hier ist überhaupt kein Headroom mehr vorhanden. Das Signal ist in diesem Songabschnitt als entsprechend undynamisch einzuschätzen.

Auch die Messwerte von „Hello“ spiegeln genau diese Einschätzung wider. Die Peaks haben einen Betrag von -0,01 dBFS auf beiden Seiten, was den Gebrauch eines Brickwall-Limiters vermuten lässt, der genau auf diesen Wert eingestellt wurde. Der RMS-Wert ergibt sich zu einem Wert von -8,18 dBFS im linken und -7,89 dBFS im rechten Kanal.

Durch Einsetzen in die entsprechende Gleichung ergibt sich der Wert des RMS_{Top20} zu 4,80 dBFS im linken und 4,47 dBFS im rechten Kanal. Diese Werte sind auf Grund des quasi nicht vorhandenen Headrooms vom 0,01 dB, den Werten der Dynamic Range sehr

37 Vgl. Pleasure Music Foundation c/o Tischmeyer Publishing America Inc. (2009): Gebrauchsanweisung TT DR Offline Meter Software Version 1.3. Verfügbar unter: <http://www.http://dynamicrange.de/sites/default/files/DR-Gebrauchsanweisung-V1_3-Deutsch.pdf> (Zugriff am 02.12.2017), S.3

38 ebenda, S.10

ähnlich. Die Messwerte von „Hello“ sind ebenfalls auf in Anlage 3 auf Seite XV einzusehen.

Obwohl der Song sehr ruhig beginnt, ergibt sich bei der Messung insgesamt eine offizielle Dynamic Range von DR5. Wären bei der Bestimmung der Dynamic Range hier nicht die lautesten 20 Prozent berücksichtigt worden, so wäre die Dynamic Range deutlich höher und der Grad der Verdichtung nicht entsprechend wiedergegeben. Wie der Wert der Dynamic Range zu bewerten ist, wird im folgenden Abschnitt ausgeführt.

3 Anforderungen an dynamische Musik

Die Produktion eines Musiktitels sollte immer an die Absicht gebunden sein, den Zuhörer auf möglichst angenehme Art und Weise zu erreichen. Wer jedoch eine Produktion zu laut oder zu komprimiert umgesetzt, kann dieser Maßgabe nur sehr schwer gerecht werden.³⁹ Umso wichtiger ist es daher, dass Mastering-Ingenieure gewisse Kriterien einhalten, um die Produktion für den Hörer so angenehm wie möglich zu gestalten. Mögliche Anforderungen sowie eine Einschätzung der Bewertung einer Audioproduktion durch den Wert der Dynamic Range ist nachfolgend aufgeführt.

Durch das Bewertungssystem der Dynamic Range werden innerhalb einer Audioaufnahme ihre dynamische Qualität, ihr Grad an Verdichtung und die effektiv genutzte Dynamik abschätzbar. Friedemann Tischmeyer, Mastering-Ingenieur, Gründer der bereits erwähnten Non-Profit Organisation „Pleasure Music Foundation“ sowie Mitentwickler des Bewertungssystems der Dynamic Range erläutert die Bewertung dieses Wertes.

„Ein niedriger Wert (z.B. DR3) reflektiert einen starken Missbrauch von Kompression (künstliche dynamische Verdichtung). DR3 entspricht einer effektiv genutzten Dynamik von 3 dB zwischen den höchsten Pegeln (Peaks) und durchschnittlichen Pegeln (RMS). Hohe DR-Werte (DR12 oder höher) stehen für natürliche und atmende Aufnahmen, die einer geringen Dosis dynamischer Klangbearbeitung unterzogen wurden.“⁴⁰

Mit dem DR-System soll, so Tischmeyer weiter, eine Schwarz-Weiß-Beurteilung von Dynamikbearbeitung vermieden werden. Dementsprechend muss die Dynamic Range je nach Musikgenre unterschiedlich betrachtet werden.

„Während DR7 für Rock Musik einen niedrigen und für Jazz einen sehr niedrigen Wert darstellt, ist dieser Wert für elektronische Club-Musik schon fast vorbildlich, da die Mehrzahl heutiger Veröffentlichungen in diesem Genre Werte um DR4 oder niedriger aufweist. Alle Werte über DR12 haben generell eine hohe dynamische Qualität.“⁴¹

Entsprechend dieser Einschätzung ist sehr differenziert mit dem Bewertungssystem der Dynamic Range umzugehen. Durch Abbildung 4 auf Seite XV soll das Bewertungssystem der Dynamic Range in Abhängigkeit zu dem jeweiligen Musikgenre verdeutlicht werden. Durch die Farbe Rot wird ersichtlich, ab welcher Dynamic Range die betrachtete Audioaufnahme überkomprimiert ist. Solche Produktionen werden vom

39 Mock, Christopher / Doetsch, Simon (2013): Das Knistern: Ein Podcast im Dunstkreis der Musik – Im Weitesten Sinne: Episode 17 Mastering, Köln, http://dasknistern.de/dk0017_mastering (zuletzt abgerufen am 13.11.2017) hier: 9:30-9:36

40 Vgl. Pleasure Music Foundation – Unser Ziel (2011): <http://dynamicrange.de/de/de/unser-ziel> (zuletzt abgerufen am 14.11.2017)

41 Vgl. ebenda

Zuhörer als nicht wohlklingend wahrgenommen. Wie von Tischmeyer beschreiben, kann der Grund für eine solche niedrige Dynamic Range der „starke Missbrauch von Kompression“ sein.⁴² Die Farbe Gelb beschreibt einen Übergangsbereich, bei dem die Produktion sowohl komprimierte als auch dynamische Passagen besitzt. Die Dynamic Ranges, die mit einer grünen Färbung versehen wurden, beschreiben dynamische und für den Hörer wohlklingende Produktionen. Um die Bewertung der Dynamic Range besser zu veranschaulichen, wurde jeweils ein Musiktitel mit beispielhafter, hoher sowie ein Titel mit beispielhafter, niedriger Dynamic Range betrachtet.

Ein gutes Beispiel für eine sehr dynamische Produktion ist der Song „So Far Away“ von der Band Dire Straits, wie er auf dem Album „Brothers in Arms“ von 1985 zu hören ist. Die Messwerte dieser Aufnahme sind in Anlage 5 auf Seite XVI einzusehen. Auf der selben Seite ist die Wellenform des Musiktitels durch Abbildung 5 dargestellt. Bereits auf den ersten Blick lässt sich feststellen, dass der Maximalpegel zu keinem Zeitpunkt des Songs den Grenzbereich erreicht. Dies bedeutet, dass hier ein sehr großer Headroom vorliegt, der die Aufnahme offen und lebendig klingen lässt. Die Messwerte bestätigen dies. Für „So Far Away“ wurde ein Maximalpegel von -2,00 dBFS für beide Seiten ermittelt, was einem Headroom von +2 dB entspricht. Die Durchschnittspegel (RMS-Werte) haben einen Betrag von -23,77 dBFS im linken und -23,96 dBFS im rechten Kanal. Somit ergibt sich durch die Messung eine hervorragende Dynamic Range von DR20. Der Song „So Far Away“ weist dementsprechend eine große effektiv genutzte Dynamik von 20 dB auf, was ihn laut Friedmann Tischmeyers Bewertungsmaßstab Prädikate wie „natürlich klingend“, „atmend“ und „für den Zuhörer sehr gut genießbar“ verleiht. Dementsprechend erreicht der Titel „So Far Away“ den Musikkonsumenten auf angenehme Art und Weise mit einer beispielhaften und erstrebenswerten Dynamik.

Um aufzuzeigen, welches Verhalten ein sehr undynamischer und sogar überkomprimierter Song aufweist, wurde der Titel „The Day That Never Comes“ von der Band Metallica betrachtet. Dieser Song fällt beim ersten Hören durch seine extreme Lautheit auf. Auch der Blick auf die Wellenform, welche in Abbildung 6 auf Seite XVI ersichtlich ist, bestätigt diesen ersten Eindruck. In den ersten paar Takten, die von einer Gitarre gespielt werden, befindet sich der Maximalpegel des Songs noch deutlich unter 0 dBFS. Jedoch ist dort bereits deutlich die Verwendung eines Brickwall-Limiters zu beobachten, denn das Signal überschreitet einen bestimmten, eingestellten Wert zu keinem Zeitpunkt.

42 Vgl. Pleasure Music Foundation – Unser Ziel (2011): <http://dynamicrange.de/de/de/unser-ziel> (zuletzt abgerufen am 14.11.2017)

Mit dem Einsetzen des Schlagzeugs nach etwa fünfzehn Sekunden wird aber bereits der Grenzpegel überschritten, was die Messwerte, die ebenfalls in Anlage 6 auf Seite XVI ersichtlich sind, bestätigen können. Hier wurde bei der Messung für den die Maximalpegel auf beiden Seiten „over“ angezeigt, was bedeutet, dass eine Übersteuerung innerhalb des Musiktitels vorliegen, wodurch die Maximalpegel in ihren Spitzen „abgeschnitten“ und sogar stark verzerrt werden. Das bedeutet, dass wegen des Pegelüberschritts die Maximalpegel nicht in ihrer Gesamtheit durch ein Abspielgerät oder durch eine DAW wiedergegeben werden können. Es findet Clipping statt.

Bei Betrachtung der Wellenform wird ebenfalls deutlich, dass über den weiteren Verlauf des Titels der Maximalpegel auf einem sehr hohen Niveau verharrt und den Grenzpegel von 0 dBFS fortwährend überschreitet, was die Vermutung zulässt, dass hier offenbar sehr stark auf Kompression zurückgegriffen wurde. Deshalb ist auch der RMS-Wert des Titel als vergleichsweise hoch anzusetzen. Auch die Messungen bestätigen diese Vermutungen, denn für den RMS-Wert wurden links -3,85 und rechts -3,77 dBFS verzeichnet. Das heißt, dass bereits die RMS-Werte verhältnismäßig sehr nah am Grenzpegel sind. Diese niedrige Differenz zwischen Maximal- und Durchschnittspegel kann also gar keine hohe Dynamic Range zulassen. Durch Einsetzen der entsprechenden Werte ergibt sich als Dynamic Range des Musiktitels daher ein sehr unbefriedigendes Ergebnis von DR2, was bedeutet, dass zwischen Durchschnitts- und Maximalpegel nur ein verschwindend geringer Abstand von +2 dB existiert. Da durch übertrieben genutzte Kompression der Durchschnittspegel einem sehr hoch angesetzten Maximum angeglichen wurde, vermag der Hörer auch keine Lautheitsunterschiede zwischen einzelnen Instrumenten festzustellen. Daher ist „The Day That Never Comes“ sehr undynamisch, überkomprimiert und erreicht den Hörer daher nicht auf so angenehme Weise, wie es das andere aufgeführte Beispiel „So Far Away“ von der Band Dire Straits vermag. Eine derart niedrige Dynamic Range ist daher als nicht empfehlens- oder gar erstrebenswert einzustufen und bedarf einer Korrektur durch einen Mastering-Ingenieur.

Ist ein Musiktitel mit einer großen Dynamik ausgestattet, kann der Mastering-Ingenieur der Grundmaxime des angenehmen Erreichens der Zuhörer gerecht werden. Dies bedeutet, dass ein Audiosignal mit einer Dynamic Range, die über einen hohen Betrag verfügt, angestrebt werden sollte. Dabei sollte, wie in Friedemann Tischmeyers Bewertungsmaßstab dargestellt, ein zweistelliger Wert für die Dynamic Range Mindestanforderung sein. Um dies zu erzielen, bedarf es einem niedrig angesetzten RMS-Wert, wie er bei dem aufgeführten Beispiel „So Far Away“ von der Band Dire Straits auf optimale Weise umgesetzt wurde.

Ebenso ist es von Vorteil, wenn bei der Produktion eine Volllaussteuerung oder gar Übersteuerung innerhalb des gesamten Titels vermieden wird. Um das zu realisieren, sollte der Maximalpegel zum Grenzpegel von 0 dBFS einen ausreichend großen Abstand besitzen. Somit ist innerhalb des Musikstückes auch ein großer Headroom gegeben, durch den die Produktion für den Hörer natürlich, atmend und angenehm klingt. Ein Maximalpegel mit einem Wert zwischen -2 und -3 dBFS wäre daher sehr erstrebenswert, denn dadurch wäre auch ein Headroom von +2 bzw. +3 dB gegeben. Dadurch können auch Übersteuerungen, Verzerrungen oder auch Informationsverluste durch unerwünschtes Clipping vermieden werden, denn befindet sich der Maximalpegel unterhalb des Grenzbereiches, so kann auch keine Gefahr bestehen, dass das Musikstück übersteuern könnte.

4 Praktische Überprüfung der Musik

Um das dynamische Verhalten einzelner Musiktitel beschreiben zu können, wurde im einzelnen der Maximalpegel (Peak), der Quadratische Mittelwert oder auch Durchschnittspegel (RMS) sowie die Dynamic Range (DR) bestimmt. Um universelle und vor allem untereinander vergleichbare Ergebnisse zu gewährleisten, wurde für alle zu untersuchenden Dateien die folgenden Vorgaben realisiert.

Alle Musiktitel wurden ausnahmslos im Dateiformat „Wave“ betrachtet, da es sich um ein lineares und verlustfreies handelt. Zudem sollten alle Dateien CD-Qualität besitzen, was bedeutet, dass eine Abtastfrequenz von 44,1 kHz und eine Auflösung von 16 Bit anzusetzen ist. Durch die Wahl der Auflösung sind innerhalb der Datei 65536 Zustände darstellbar. Dies entspricht einer Anzahl von 2^{16} Zuständen. Dadurch wird garantiert, dass eventuelle Rundungsfehler auf Grund von Quantisierung der Daten gering gehalten werden können. Der Wert von 44,1 kHz entspricht genau der Abtastfrequenz der Compact Disc.

Alle CDs wurden in stereo mit einem PCM-Codec (Puls Code Modulation) eingelesen. Die Pulsmodulation ist dabei als Verfahren zu verstehen, durch dessen Hilfe ein analoges Signal mit kontinuierlichem Wert und kontinuierlicher Zeit in ein digitales Signal umgesetzt werden kann, das zeit- und wertdiskret ist.

4.1 Korpus

Als Grundlage der vollzogenen Messung wurden überwiegend Musiktitel der Genre Rock und Pop betrachtet. Aus der in Anlage 7 ersichtlichen Tabelle 3 auf den Seiten XVII ff. geht hervor, welche Alben für die Messung betrachtet wurden. Bei allen in der Tabelle aufgeführten Veröffentlichungen handelt es sich ausnahmslos um CD Aufnahmen, weshalb die Betrachtung auch bei 1982, der Markteinführung der Compact Disc beginnt. In die Betrachtung fließen insgesamt die Messwerte von 413 Alben ein. Dafür wurden der Maximal- und Durchschnittspegel sowie die Dynamic Range von insgesamt 5269 Musiktiteln, die sich auf den aufgeführten Alben befinden, ermittelt. Zudem wurde noch der Mittelwert der Dynamic Range für das gesamte Album bestimmt, um eine Tendenz im Betrachtungszeitraum zwischen 1982 und 2017 aufzeigen zu können.

Alle Veröffentlichungsjahre wurden durch einen Abgleich mit dem auf der Rückseite einer jeden CD befindlichen EAN-Code (European Article Number) zu den Daten auf der Seite „musik-sammler.de“ festgestellt. Für den Fall, dass das Veröffentlichungsjahr nicht mit dem Erscheinungsjahr des Tonträgers übereinstimmt, da es sich bei der betrachtenden CD beispielsweise um eine Wiederveröffentlichung oder um eine gemasterte Variante handelt, wurde dies in der Tabelle entsprechend hinter dem Namen der Veröffentlichung in Klammern vermerkt. Selbes gilt, wenn die betrachtete Veröffentlichung ein oder mehrere CDs umfasst. Ist dies der Fall, so wurde hinter dem Namen des Albums in eckigen Klammern der Vermerk „Doppelalbum“ angefügt.

Die Anzahl der untersuchten Musiktitel, die jedem einzelnen Veröffentlichungsjahr innerhalb des Betrachtungszeitraums zu Grunde liegt, geht aus der in Anlage 8 ersichtlichen Abbildung 7 auf Seite XXI hervor. Hier wurde darauf geachtet, dass die Anzahl der untersuchten Musiktitel eine in etwa gleichmäßige Aufteilung aufweist.

4.2 Methodik

Von allen vorliegenden und in Anlage 7 ersichtlichen Tabelle 3 auf den Seiten XVII ff. aufgeführten Alben wurde für jeden Musiktitel der Maximalpegel (Peak), Durchschnittspegel (RMS) sowie die Dynamic Range bestimmt. Dafür wurde das Offline Tool „DR Offline Meter Software“ von Tischmeyer Technology verwendet. Diese Software dient der Messung des offiziellen Wertes der Dynamic Range und liefert Auskunft über den Kompressionsgrad der betrachteten Veröffentlichung.

Zur Bestimmung der Dynamic Range Werte wird der Titel bzw. das Image des Tonträgers mit den genannten Anforderungen (Wave, 16 Bit, 44,1 kHz) mit Hilfe des „DR Offline Meter“ gescannt. Im Hintergrund dieser Messung wird ein Lautheitsverteilungsdigramm (Histogramm) mit einer Auflösung in 0,01 dB Schritten erzeugt. Der Song wird dadurch in 10.000 unterschiedliche Dynamikstufen aufgeteilt, die durch das „DR Offline Meter“ statistisch eingeteilt werden.⁴³ Durch dieses Tool wird abschätzbar, wie oft die einzelnen Stufen innerhalb der gesamten Länge des Songs erreicht werden. Mit Hilfe des Mediaplayers „foobar2000“, der in Kombination mit einem DR-Plug-In benutzt wird, kann ein Messprotokoll für einen gesamten Tonträger erstellt werden. Dieses verwendete Plug-In greift beim Messvorgang auf das „DR Offline Meter“ zurück und bestimmt Maximal- und Durchschnittspegel sowie die Dynamic

⁴³ Pleasure Music Foundation c/o Tischmeyer Publishing America Inc. (2009): Gebrauchsanweisung TT DR Offline Meter Software Version 1.3, http://dynamicrange.de/sites/default/files/DR-Gebrauchsanweisung-V1_3-Deutsch.pdf (Zugriff: 02.12.2017), S.3

Range von jedem einzelnen Musiktitel der untersuchten Alben. (Vgl. Anlage 7, Tabelle 3, Seite XVII ff.)

Da aus Platzgründen nicht die Messprotokolle von allen 413 untersuchten Alben aufgeführt werden können, wurden vier Interpreten, von denen mehrere Veröffentlichungen innerhalb des Betrachtungszeitraums untersucht wurden, einzeln genauer betrachtet. Diese Interpreten sind die Bands Red Hot Chili Peppers, Metallica und Bon Jovi sowie die Sängerin Madonna. Bei diesen Interpreten liegen sowohl Messwerte von Tonträgern, die aus den achtziger Jahren stammen, als auch Messwerte von aktuellen Veröffentlichungen aus den letzten drei Jahren vor. Die Messprotokolle dieser vier Interpreten sind in den Anlagen 9 bis 12 auf den Seiten XXII ff. dargestellt.

4.3 Auswertung und Beurteilung der Messung

Um abzuschätzen, inwieweit sich lauterer und komprimierteres Produzieren auf das dynamische Verhalten von Musik auswirkt, wurden repräsentativ Veröffentlichungen von den vier Interpreten Red Hot Chili Peppers, Metallica, Madonna sowie Bon Jovi ausgewählt. Diese Interpreten wurden betrachtet, da von ihren Veröffentlichungen eine Vielzahl an Messwerten aus verschiedenen Jahren innerhalb des Betrachtungszeitraums von 1982 - 2017 erstellt wurden. Die Messung geschah innerhalb des bereits aufgeführten Korpus unter Ausführung der beschriebenen Methodik. An dieser Stelle werden nun die Ergebnisse der Messung entsprechend ausgewertet und eingeordnet. Des Weiteren wurde für alle 5269 Musiktitel die durchschnittlichen RMS-Werte sowie der durchschnittliche Wert der Dynamic Range je Erscheinungsjahr der jeweiligen Veröffentlichung betrachtet. Diese werden ebenfalls ausgewertet und eingeordnet.

Für die Band Red Hot Chili Peppers wurden die folgenden Alben betrachtet. Alle aufgelisteten Tonträger sind in chronologischer Reihenfolge nach dem Jahr ihrer Veröffentlichung aufgelistet. Dies wurde ebenso bei den Interpreten Metallica, Madonna und auch Bon Jovi berücksichtigt. Die Messprotokolle für die untersuchten Red Hot Chili Peppers Alben sind in Anlage 9 auf Seite XXII ff. aufgeführt.

- „Blood Sugar Sex Magik“ (1991)
- „Californication“ (1999)
- „By the Way“ (2002)
- „I'm With You“ (2011)
- „The Getaway“ (2016)

Auf Seite XXII sind die Messwerte für das 1991 erschienene Album „Blood Sugar Sex Magic“ von der Band Red Hot Chili Peppers aufgeführt. Bei dieser Aufnahme ist auffällig, dass die gemessenen Maximalpegel zu keinem Zeitpunkt des gesamten Albums den Grenzpegel von 0 dBFS erreichen. Eine Übersteuerung und gar Clipping ist bei dieser Veröffentlichung also vollkommen auszuschließen. Dennoch ist auffällig, dass eine Vielzahl an Songs einen Maximalpegel von einem Betrag von -0,2 dBFS aufweisen vermutlich wegen des Einsatzes eines Limiters der auf diesen Wert eingestellt wurde. In nur ein paar wenigen Ausnahmen, wie beispielsweise bei dem dritten Titel „Breaking the Girl“ oder bei „Apache Rose Peacock“ ist ein Maximalpegel zu beob-

achten, der einen Wert unter -1 dBFS annimmt. Für „Apache Rose Peacock“ wurde ein Wert von -1,19 und für „Breaking the Girl“ gar ein Wert von -1,71 dBFS ermittelt, womit auch ein beispielhafter Headroom innerhalb der beiden Aufnahmen eingehalten wurde. Des Weiteren ergeben sich die gemessenen RMS-Werte für alle untersuchten Musiktitel zu niedrigen, zweistelligen Werten, was ein Garant für eine gute und atmende Aufnahme darstellt. Gute Beispiele hierfür sind beispielsweise der Song „I Could Have Lied“ mit einem RMS Wert von -17,54 oder auch „Under the Bridge“ mit -18,28 dBFS. Auch die Bestimmungen der Dynamic Ranges bestätigen dies, denn die Songs des Albums „Blood Sugar Sex Magik“ haben ohne Ausnahme einen hoch angesetzten zweistelligen DR-Wert zwischen DR12 als niedrigsten und DR15 als höchsten bestimmten Wert innerhalb des Albums. Insgesamt ergibt sich für alle siebzehn Titel der Aufnahme „Blood Sugar Sex Magik“ eine durchschnittliche Dynamic Range von DR14. Es wurde als dementsprechend durchschnittlich 14 dB bei dieser Aufnahme zwischen lautesten und leisesten Ton verwendet. Dies lässt den Schluss zu, dass es sich bei diesem untersuchten Album um eine sehr dynamische, lebendige und wohl klingende Aufnahme handelt.

Einen komplett andere Herangehensweise wurde vermutlich bei dem Red Hot Chili Peppers Album „Californication“ verfolgt. Diese Aufnahme wurde 1999 veröffentlicht. Bei der Betrachtung der Messwerte auf Seite XXIII lässt sich im Gegensatz zu „Blood Sugar Sex Magik“ bei einer Vielzahl von Songs als Maximalpegel 0 dBFS beobachten. Diese Vorgehensweise kann Übersteuerung mit sich bringen. Einige Beispiele für Musiktitel die 0 dBFS aufweisen sind u.a. „Around the World“, „Scar Tissue“ oder auch „Easily“. Auch allgemein ist es sehr auffällig, dass die Pegel, die nicht 0 dBFS entsprechen, dem Grenzwert sehr nah sind. Als Beispiele seien hier „Get On the Top“ mit -0,09 oder auch „Californication“ mit 0,1 dBFS genannt. Auch die RMS-Werte sind entsprechend hoch angesetzt und sind zu keinem Zeitpunkt des Albums unter einem Wert von -10 dBFS. Der am häufigsten auftretende RMS-Wert hat einen Betrag näherungsweise -5 dBFS, zu beobachten bei den bereits aufgeführten Beispielen wie „Scar Tissue“, „Get On the Top“, „Californication“ oder auch „Easily“. Von einer guten und atmenden Aufnahme kann also nicht die Rede sein. Eher von einer dauerhaft hohen Beschallung, die auf den Zuhörer im Extremfall ermüdend wirken kann, womit die Zielstellung des Albums vollkommen verfehlt wäre. Für die Dynamic Range ergibt sich überwiegend Werte die zwischen DR3 und DR6 liegen wobei Dynamic Ranges mit dem Wert von DR 4 auf „Californication“ am häufigsten gemessen wurden. Daher ergibt sich auch für das gesamte Album eine durchschnittliche Dynamic Range von DR4 mit Musiktiteln, die Vollaussteuerung oder teilweise sogar Übersteuerung erfahren.

Das bedeutet bei der Produktion dieses Albums wurden nur 4 dB zwischen lautesten und leisesten Ton effektiv verwertet, was im Direktvergleich zu dem acht Jahre vorher erschienenen „Blood Sugar Sex Magik“ einen Rückgang von -10 dB effektive genutzter Dynamik bedeutet. Das Red Hot Chili Peppers Album „Californication“ lässt sich demnach als dynamisch mangelhaft umgesetzt bezeichnen und dies hört man auch.

Im Jahr 2002 wurde das Red Hot Chili Peppers Album „By the Way“ veröffentlicht. Die Messwerte dieses Albums sind auf Seite XXIV zu finden. Der Blick auf die Maximalpegel lässt hier die Verwendung eines Brickwall Limiters vermuten, denn für fast alle Songs ist ein Maximalpegel von -0,1 dBFS eingestellt. Einzige Ausnahme bildet der fünfte Titel „Don't Forget Me“ dieser ist mit einem Wert von 0 dBFS in den Spitzen in der Übersteuerung. Dennoch lässt diese Peakeinstellungen einen wahrhaft überschaubaren und sehr kleinen Headroom von +0,1 dB unter Vollaussteuerung zu. Die RMS-Werte wurden mit einem geringfügig niedrigeren Wert als noch bei dem Vorgängeralbum „Californication“ bestimmt. So wurde beispielsweise beim Titel „By the Way“ -9,12 und bei „Can't Stop“ -8,12 dBFS gemessen. Für die Dynamic Ranges sind über den gesamten Verlauf des Album Werte zwischen DR5 und DR7 bestimmt worden, was einen Mittelwert von DR6 ergibt. Mit effektiv genutzten +6 dB ist das Album „By the Way“ dynamischer als „Californication“ mit +4 dB. Dennoch sieht ein dynamisch wohlklingendes Album anders aus.

Ebenfalls untersucht wurde das Album „I'm with You“, das von der Band Red Hot Chili Peppers im Jahr 2011 veröffentlicht wurde. Das Messprotokoll dieses Albums ist in den Anlagen auf Seite XXV einzusehen. Hier fällt direkt auf, dass ausnahmslos alle Musiktitel übersteuert sind, denn jeder einzelne Maximalpegel wurde mit einem Wert von 0 dBFS bestimmt. Es ist also von Übersteuerungen und sogar Verzerrungen innerhalb der Musiktitel von „I'm with You“ ausgehen. Auch die RMS-Werte sind eher ernüchternd und weisen teilweise sogar Werte auf, die höher anzusiedeln sind als es beim undynamisch umgesetzten „Californication“ aus dem Jahr 1999 der Fall ist. Titel wie beispielsweise „Monarchy of Roses“ wurden mit einem Durchschnittspegel von -4,36 oder „Goodbye Hooray“ gar mit -3,85 dBFS bestimmt. Da bereits diese Werte dem Grenzpegel von 0 dBFS recht nah sind, können aus ihnen gar keine Dynamic Ranges mit einem hohen Beträgen resultieren. Dies bestätigen auch die Messwerte die sich zwischen DR3 und DR4 bewegen, was eine mangelhafte durchschnittliche Dynamic Range von DR4 für das gesamte Red Hot Chili Peppers Album „I'm with You“ als Resultat bedeutet. Somit ist „I'm with You“, wie auch schon „Californication“ dynamisch mangelhaft umgesetzt.

Die jüngste Veröffentlichung der Band heißt „The Getaway“ und stammt aus dem Jahr 2016. Das Messprotokoll dieser Veröffentlichung ist ebenfalls auf Seite XXV einzusehen. Zwar wird bei diesem Album der Grenzpegel von 0 dBFS durch den Maximalpegel zu keinem Zeitpunkt erreicht, was bei „I'm With You“ fünf Jahre zuvor noch anders war, aber dennoch wurden die Spitzenwerte der untersuchten Musiktitel sehr hoch angesetzt. Geschehen ist dies bei Songs wie beispielsweise „The Getaway“ mit einem Maximalpegel von -0,39 oder wie bei „Dark Necessities“ mit -0,38 dBFS in seinen lautesten Stellen. Die RMS-Werte der einzelnen Songs des Albums sind ebenfalls hoch angesetzt, beispielsweise bei „The Getaway“ mit einem Wert von -7,11 oder bei „Dark Necessities“ mit -7,45 dBFS. Dies lässt die Vermutung zu, dass auch die daraus resultierenden Dynamic Ranges keinen hohen Wert aufweisen werden. Die durchschnittlichen Dynamic Ranges des Album sind ebenfalls als eher undynamisch zu bewerten und weisen über den gesamten Verlauf des Albums „The Getaway“ vermehrt Werte um die DR5 auf. Daher ist auch die durchschnittliche Dynamic Range des Tonträgers auf diesen Wert angesetzt.

Um aufzuzeigen, inwieweit sich die durchschnittlichen Dynamic Ranges auf den untersuchten Alben der Band „Red Hot Chili Peppers“ je Erscheinungsjahr geändert haben, wurden die in Anlage 13 befindliche Abbildung 8 erstellt. Diese Abbildung ist auf Seite XXXIX einsehbar. In dieser Kurve wird deutlich, dass ein Rückgang der Dynamic Range zwischen „Blood Sugar Sex Magik“ von 1991 und „The Getaway“ von 2016 zu beobachten ist. Der extremste Rückgang ist dabei zwischen 1991 und 1999 zu verbuchen. Dort reduziert sich der Betrag der effektiv genutzten Dynamik innerhalb des Tonträgers um ganze -10 dB. Der Loudness War und somit auch das lautere und komprimiertere Produzieren hat entsprechend der aufgeführten Abbildung 7 ganz klar Einfluss auf die Dynamik der Veröffentlichungen der Band Red Hot Chili Peppers. Während der durchgeführten Messung ließ sich eindeutig ein Rückgang von dynamischen Werten (DR12 oder DR 13) im Jahr 1991 auf mangelhafte zu bewertende Dynamik Ranges (DR4 oder DR5) im Jahr 2016 nachweisen.

Um weitere Einflussnahmen des Loudness War auf die Dynamic Range von Musikproduktionen aufzuzeigen, wurden ebenfalls Aufnahmen der Band „Metallica“ betrachtet. Dafür sind der Arbeit Messprotokolle angehängt, die in Anlage 10 auf den Seiten XXVI ff. einsehbar sind. Dabei wurden folgende Alben der Band auf die aufgeführten Messgrößen untersucht.

- „Master of Puppets“ (1989) (ursprünglich 1986 veröffentlicht)
- „Metallica“ (1991)
- „Load“ (1996)
- „Reload“ (1997)
- „Garage Inc.“ (1998) [Doppelalbum]
- „St. Anger“ (2003)
- „Death Magnetic“ (2008)
- „Hardwired... to Self Destruct“ (2016) [Doppelalbum]

Das Messprotokoll für das 1986 erschienene Metallica Album „Master of Puppets“ ist auf Seite XXVI einzusehen. Dieses Album wurde in einer Variante gemessen, wie es im Jahr 1989 veröffentlicht wurde. Die Betrachtung der hohen Maximalpegel lassen anfänglich vermuten, dass hier erneut Übersteuerung stattfindet. Allerdings ist die Differenz zwischen dem Durchschnittspegel und der Maximalpegel entsprechend groß gewählt, dass die Werte von 0 dBFS während des Ablaufs eines Musiktitels nur selten erreicht werden. Eindrucksvolle Beispiele für dieses Phänomen bilden die Musiktitel „Master of Puppets“ mit einem RMS-Wert von -15,49 und „Orion“ mit -14,98 dBFS. Bei beiden dieser aufgeführten Musiktiteln wurde der Maximalpegel zu 0 dBFS bestimmt. Die durchschnittlichen Dynamic Ranges ergeben sich zu minimalen Werten von DR12 (etwa bei „Orion“) und maximalen Werten von DR13 (bei „Master of Puppets“), weshalb sich auch ein mittlerer Wert von DR12 für die gesamte Aufnahme ergibt.

Eine vergleichbare Herangehensweise lässt sich bei dem 1991 erschienenen Album „Metallica“ festhalten, dessen Messprotokoll auf Seite XXVI dargestellt wurde. Auch hier erreichen alle Maximalpegel 0 dBFS, wobei die Differenz zwischen dem Durchschnitts- und Maximalpegel, wie auch schon bei „Master of Puppets“ entsprechend hoch gewählt wurde. Somit ist die Möglichkeit gegeben, dass die Maximalpegel den 0 dBFS nur in seltenen Fällen erreichen. Solche Fälle sind kurze Spitzenwerte innerhalb der Amplitude des Songs, wie sie beispielsweise beim Spielen eines Crash-Beckens

entstehen können. Beispiele hierfür können Musiktitel wie „The Unforgiven“ mit -13,29 oder „Nothing Else Matters“ mit sogar -15,01 dBFS als gemessenen Durchschnittspegel sein. Bei beiden Musiktiteln wurde, wie schon bei den aufgeführten Beispielen zum Album „Master of Puppets“ der Maximalpegel zu einem Wert 0 dBFS bestimmt. Durch die im niedrigeren Betrag umgesetzten RMS-Werte sind auch die Dynamic Ranges vergleichsweise hoch anzusetzen und führen bei der Messung zu Werten die zwischen DR10 und DR12 liegen. Daraus resultiert eine durchschnittliche Dynamic Range von DR11 für das Album „Metallica“ aus dem Jahr 1991.

Bei den beiden Metallica Alben „Load“ von 1996 und „Reload“ von 1997 lassen sich in den Messwerten ähnliche Tendenzen beobachten. Die Messprotokolle gehen aus der Seite XXVII im Anhang hervor. Die Maximalpegel nehmen bei beiden Veröffentlichungen ohne Ausnahme einen Wert von 0 dBFS an, was erneut auf Übersteuerungen schließen lässt. Auch die gemessenen Durchschnittspegel der beiden Alben sind auf vergleichbar hohem Niveau. Beim Album „Load“ sind beispielsweise RMS-Werte zwischen näherungsweise -8 und -10 dBFS und bei „Reload“ zwischen -7 und -9 dBFS feststellbar. Daher ergibt sich auch der durchschnittliche Wert der Dynamic Range für das Album „Load“ zu DR7 und bei „Reload“ zu DR6, was bedeutet, dass beide Alben mit dynamischen Mängeln umgesetzt wurden.

Das Doppelalbum „Garage Inc.“ wurde durch Metallica im Jahr 1998 veröffentlicht. Die Messwerte von beiden untersuchten CDs des Albums gehen aus den auf Seite XXVIII dargestellten Protokollen hervor. Auffällig ist, dass die Messwerte von „Garage Inc.“ sehr stark den Ergebnissen von „Load“ und „Reload“ ähneln, weshalb auch die Dynamic Ranges für beide CDs des Doppelalbums ähnliche Werte annehmen. Für beide CDs wurden in der Messungen jeweils eine durchschnittliche Dynamic Range von jeweils DR6 ermittelt, was hier denselben Schluss wie bei „Load“ und „Reload“ zulässt. Das Album wurde dynamisch nicht optimal realisiert.

2003 wurde das Album „St. Anger“ veröffentlicht, das vor allem durch sein unnatürlich klingendes Schlagzeug - gespielt von Lars Ulrich - in Verruf geraten ist. Die Messwerte dieses Albums gehen aus dem Messprotokoll auf Seite XXIX hervor. Es wurde vermutlich ein Brickwall Limiter verwendet, denn abgesehen von wenigen Ausnahmen haben alle Maximalpegel einen Wert von -0,1 dBFS. Die Messwerte ähneln dem Red Hot Chili Peppers Album „By the Way“, welches nur ein Jahr zuvor ebenfalls unter Zusammenarbeit mit dem Produzenten Rick Rubin erschienen ist, sehr stark. Die RMS-Werte sind auch hier in einem Bereich zwischen -6 und -7 dBFS angelegt, Es lässt sich also ein gewisses Muster bei diesem Produzenten beobachten. Messwerte, wie sie bei „St.

„St. Anger“ bestimmt wurden, können gar keine dynamische Produktion als Resultat haben, wie die vorliegende durchschnittliche Dynamic Range von DR5 beweist.

Ähnlich sieht es bei dem Album „Death Magnetic“ aus, das bei seiner Veröffentlichung im Jahre 2008 als das „lauteste Album seit langem“ galt.⁴⁴ Die Messwerte bestätigen dieses Prädikat. Die Maximalpegel von Death Magnetic sind ausnahmslos bei 0 dBFS und auch die Durchschnittspegel sind extrem hoch gewählt, was extreme Verzerrungen als Resultat haben kann. Beispielsweise bei Titeln wie etwa „The Day That Never Comes“ oder „The Judas Kiss“ existieren bei -3,81 bzw. -3,82 dBFS als RMS-Wert gerade einmal +3 dB zwischen Maximum und Durchschnitt, was von einer dauerhaften Lautheit unter extremer Kompression zeugt. Die Dynamic Range über das gesamte Album ist dem entsprechend niedrig und ergibt sich zu einem Wert von DR3, was eine extrem undynamische Aufnahme charakterisiert.

Das Album „Death Magnetic“ markiert den dynamischen Tiefpunkt der Messung für die Band Metallica, denn das 2016 veröffentlichte Doppelalbum „Hardwired... to Self-Destruct“ besitzt eine bessere Dynamische Qualität als sein Vorgänger. In den Messungen ergaben sich für beide CDs dieses Albums durchschnittliche Dynamic Ranges von DR6, was von einem doppelt so großem effektiv genutzten Dynamik innerhalb des Albums zeugt. (Vgl. Seite XXX) „Hardwired... to Self-Destruct“ ist zwar dynamischer als „Death Magnetic“, hat aber immer noch eine dynamische Qualität, die sich als nicht zufriedenstellend und auch als nicht gerade angenehm dauerhaft hörbar erweist.

Auch für die Veröffentlichungen der Band „Metallica“ wurden, um die Änderung der durchschnittlichen Dynamic Range je Erscheinungsjahr zu visualisieren, eine Grafik erstellt. Diese Grafik ist in Anhang 14 durch Abbildung 9 dargestellt, die auf Seite XXXIX einsehbar ist. Wie auch schon bei der Betrachtung der Band Red Hot Chili Peppers lässt sich bei Metallica ein Rückgang der durchschnittlichen Dynamic Range im großen Maße feststellen. Wurde 1989 und 1991 noch annehmbar dynamisch produziert, so wurde ab den 2000er Jahren mit Veröffentlichungen wie „St. Anger“ 2003 oder „Death Magnetic“ 2008 die effektiv genutzte Dynamik immer geringer und die veröffentlichte Musik von Metallica immer flacher. Als besonders auffällig erwies sich, dass bei ausnahmslos jeder Veröffentlichung seit 1991 die Maximalpegel extrem nah dem Grenzpegel von 0dBFS sind. Häufig wird dieser Wert sogar überschritten, so dass hörbare Übersteuerungen entstehen. Geschehen ist dies bei Veröffentlichungen wie beispielsweise „Load“, „Reload“ oder auch bei „Death Magnetic“.

44 Vgl. Ketterer, Nicolay: Louness War – Wie laut geht es noch?, in: Sound & Recording vom 03.06.2016, S. 60

Zuletzt genanntes Album bildet mit einer durchschnittlichen Dynamic Range von DR3 sogar den extrem undynamischen Tiefpunkt der Messung.

Folgende Alben der Sängerin Madonna wurden ebenfalls für die Messung betrachtet, um abzuschätzen, wie sich der Loudness War auf Produktionen des Genres Pop auswirkt. Die ermittelten Messwerte gehen aus Anlage 11 auf Seite XXXI ff. hervor.

- „Like a Virgin“ (1984)
- „True Blue“ (1986)
- „Like a Prayer“ (1989)
- „Ray of Light“ (1998)
- „Music“ (2000)
- „Confessions on a Dance Floor“ (2005)
- „Rebel Heart“ (2015)

Das Messprotokoll des 1984 veröffentlichten Madonna Albums „Like a Virgin“ ist auf Seite XXXI dargestellt. Erste ersichtliche Auffälligkeit bei diesen Messwerten ist das große Variantenreichtum in den Maximal- und Durchschnittspegeln. Beispielsweise der Titel „Angel“ hat einen maximalen Pegel von $-2,67\text{dBFS}$, was mit einem entsprechend hohem Headroom einhergeht. Dem gegenüber steht der Song „Like a Virgin“ mit 0 dBFS . Jedoch wurden die Durchschnittspegel hier so niedrig bestimmt, dass mit einer durchaus dynamischen Produktion zu rechnen ist. Am Beispiel von „Like a Virgin“ bedeutet das ein RMS-Wert mit dem Betrag von $-18,46\text{ dBFS}$, was bei der Bestimmung der Dynamic Range einen Wert von DR16 ergibt. Aus stark variierenden Maximalpegeln und niedrig angesetzten Durchschnittspegeln resultiert eine durchschnittliche Dynamic Range von sehr dynamischen DR14. Das Album „Like a Virgin“ aus dem Jahr 1984 lässt sich daher als dynamisch sehr gut umgesetztes Popalbum einschätzen.

1986 wurde das Album „True Blue“ durch Madonna veröffentlicht. Die Messwerte dieser Aufnahme sind auf Seite XXXI einzusehen. Bei dieser Aufnahme sind die Messwerte vergleichbar mit denen, die schon durch die Alben „Master of Puppets“ (1989) oder „Metallica“ (1991) betrachtet und ausgewertet wurden. Die Maximalpegel liegen alle bei 0 dBFS , wobei niedrig gewählten RMS-Werten von unter -12 dBFS als Durchschnittspegel bestimmt wurden. Dies hat, aus den bereits bei der Band Metallica betrachteten Gründen, Auswirkung auf eine Dynamic Range, die im dynamischen

Bereich anzusiedeln ist. Die Messwerte im Bereich zwischen DR12 und DR 13 können dies bestätigen. Daher ergibt sich für die gesamte Aufnahme „True Blue“ eine durchschnittliche Dynamic Range von DR12, was von einer gut dynamisch umgesetzten Produktion zeugt.

Das Album „Like a Prayer“ wurde von „Madonna“ 1989 veröffentlicht. Aus dem Messprotokoll auf Seite XXXII geht hervor, dass in dieser Aufnahme, wie schon bei „Like a Virgin“, die Maximal- und Durchschnittspegel stark variieren. Daher haben beide Alben eine hervorragende Dynamic Range von DR14, womit sich das Album „Like A Prayer“ ebenfalls als sehr dynamisch charakterisieren lässt.

Die beiden Madonna Alben „Ray of Light“ (1998) und „Music“ (2000) haben bei den Messungen etwa gleiches Verhalten aufweisen können. Die Messprotokolle von diesen beiden Veröffentlichungen sind auf der Seite XXXII f. aufgeführt. Beim Betrachten der Maximalpegel fällt auf, dass hier mit sehr hohem Pegel und dementsprechend mit sehr wenig bis gar keinem Headroom gearbeitet wurde. Alle Titel von „Ray of Light“ haben einen Maximalpegel von $-0,01$ dBFS, was bereits Übersteuerungen mit sich bringen kann. Bei „Music“ wird dieser Wert überschritten und es kommt vermehrt zum Erreichen des Grenzpegels von 0 dBFS. Zudem wurden die RMS-Werte der beiden Alben mit recht ähnlichem Pegel gewählt. Sowohl auf „Ray of Light“, als auch auf „Music“ befinden sich die Durchschnittspegel zwischen näherungsweise -8 und -12 dBFS. Daher kann bei beiden Aufnahmen jeweils eine durchschnittliche Dynamic Range von DR8 festgestellt werden, was von einer dynamisch durchschnittlich umgesetzte Pop-Produktion zeugt.

Bei „Confessions on a Dance Floor“ aus dem Jahr 2005 sind die Maximalpegel ähnlich wie bei „Ray of Light“ oder bei „Music“ Dies geht aus dem Messprotokoll auf Seite XXXII hervor. Jedoch wurden die Durchschnittspegel hier mit einem etwas höherem Wert bestimmt. So hat der Titel „Sorry“ oder auch der Titel „Hung Up“ einen RMS-Wert von $-7,34$ bzw. $-8,08$ dBFS. Insgesamt ergibt sich für diese Aufnahme eine durchschnittliche Dynamic Range von DR6, was als undynamisch zu bewerten ist.

Durch die aufgeführten Messwerte lässt sich also festhalten, dass die Dynamic Range auch in Pop-Produktionen stetig abnimmt. Wurden in den achtziger Jahren noch hervorragend zu beurteilende Werte von DR14 bzw. DR12 gemessen, so nahmen ab den neunziger Jahren die betrachteten Dynamic Range Werte deutlich ab. So wurden ab dem Album „Ray of Light“ nur noch einstellige durchschnittliche Dynamic Ranges verzeichnet, die im stetigen Maße abnehmen. Das Album „Rebel Heart“ markiert den Tiefpunkt bei der Messungen von Madonna Alben und hat eine durchschnittliche Dynamic

Range von DR5. (Vgl. Messprotokoll auf Seite XXXIV). Mit Hilfe der in Anlage 15 ersichtlichen Abbildung 10 auf Seite XL können diese Beobachtungen visualisiert werden.

Von der Band Bon Jovi wurden insgesamt acht Alben gemessen. In Anlage 12 auf Seite XXXV ff. wurden die Messprotokolle dieser Alben aufgeführt.

- „Slippery When Wet“ (1986)
- „Keep the Faith“ (1992)
- „Cross Road“ (1994)
- „Crush“ (2000)
- „Bounce“ (2002)
- „Have a Nice Day“ (2005)
- „Lost Highway“ (2007)
- „This House is Not to Sale“ (2016)

Das Messprotokoll zum 1986 erschienenen Bon Jovi Album „Slippery When Wet“ ist auf Seite XXXV einzusehen. Der Blick auf die Messerwerte verrät, dass hier nicht ein einziger Maximalpegel die 0 dBFS erreicht, als häufig auftretender Maximalpegel zeichnet sich ein Wert von -0,4 dBFS ab. Dieser Wert tritt beispielsweise bei Titeln wie „You Give A Love a Bad Name“, „Livin' on a Prayer“ oder auch „Wanted Dead or Alive“ auf. Andere Songs wie „Let It Rock“ oder „Never Say Goodbye“ weisen sogar Spitzenpegel von unter -1 dBFS auf. Die Durchschnittspegel haben alle einen recht niedrigen Wert und bewegen sich ungefähr zwischen -15 und -16 dBFS. Daher haben auch die gemessenen Dynamic Ranges einen hohen Wert zwischen DR12 und DR13, was zu einer durchschnittlichen Dynamic Range von DR13 für „Slippery When Wet“ führt.

Auf Seite XXXV ist das Messprotokoll des Albums „Keep the Faith“ aus dem Jahr 1992 ersichtlich. Aus den Messwerten geht her vor, dass alle Titel ausnahmslos Spitzenpegel von 0 dBFS erreichen. Allerdings sind die Durchschnittspegel bei allen Titeln dieser Veröffentlichung mit niedrigeren, zweistelligen Beträgen angesetzt. Als Beispiele seien hier „Keep the Faith“ mit -10,8 oder „Bed of Roses“ mit -12,23 dBFS aufgeführt. Durch diese niedriger angesetzten RMS-Werte ergeben sich für die durchschnittliche Dynamic Range je Musiktitel Werte zwischen DR9 und DR10, weshalb auch die durchschnittliche Dynamic Range des gesamten Albums einen Wert von DR9 annimmt.

Das Messprotokoll des Bon Jovi Albums „Cross Road“ aus dem Jahr 1994 ist auf Seite XXXVI dargestellt. Da es sich bei dieser Veröffentlichung um ein Best of Album handelt, wurden hier unter anderem Titel von „Slippery When Wet“ und „Keep the Faith“ wiederveröffentlicht. Allerdings ist auffällig, dass Titel, die auf „Slippery When Wet“ noch als dynamisch eingeschätzt wurden, auf dieser Veröffentlichung bedeutend höhere Maximal- und Durchschnittspegel aufweisen. Beispielsweise hat „You Give A Love a Bad Name“ auf „Slippery When Wet“ noch einen Maximalpegel von $-0,4$ dBFS bei einem Durchschnittspegel von $-15,65$ dBFS. Auf dem Album „Cross Road“ wurden für den gleichen Song 0 dBFS als Maximum und $-9,44$ als Durchschnitt ermittelt. Dadurch ergibt sich für diesen Titel eine Dynamic Range von DR13 auf „Slippery When Wet“ und ein Wert von DR8 auf „Cross Road“ nur acht Jahre später. Selbes lässt sich auch bei Titel wie „Livin' on a Prayer“ oder bei „Wanted Dead or Alive“ festhalten. Beim Vergleich zwischen „Keep the Faith“ sind nur geringfügige Abweichungen zwischen einzelnen Songs festzustellen. Beispielsweise wurde „Bed of Roses“ auf „Keep the Faith“ noch mit einem Maximalpegel von -0 dBFS bei einem Durchschnittspegel von $-12,23$ dBFS gemessen, so hat derselbe Song auf „Cross Road“ Werte von 0 dBFS als Maximum und $-10,9$ dBFS als Durchschnittspegel. Das bedeutet eine Abnahme der Dynamic Range von DR9 auf DR8. Daher ergibt sich für das Album „Cross Road“ die durchschnittliche Dynamic Range mit dem Betrag von DR8.

Die beiden Alben „Crush“ (2000) und „Bounce“ (2002) haben bei der Messung vergleichbare Werte aufweisen können. Die Maximalpegel nehmen bei beiden Veröffentlichungen ohne Ausnahme einem Wert von 0 dBFS an, was erneut auf Übersteuerungen schließen lässt, denn auch hier befinden sich die gemessenen Durchschnittspegel der beiden Alben auf vergleichbar hohem Niveau. Beim Album „Crush“ sind beispielsweise RMS-Werte zwischen näherungsweise -8 und -10 dBFS und bei „Bounce“ zwischen -7 und -9 dBFS feststellbar. Das sind ähnliche Werte wie bei den beiden Metallica Alben „Load“ und „Reload“, weshalb mit einer vergleichbaren durchschnittlichen Dynamic Ranges wie bei diesen beiden Veröffentlichungen auszugehen ist. Durch die Bestimmung der durchschnittlichen Dynamic Ranges für das jeweilige Album, die für „Crush“ und „Bounce“ jeweils zu einem Wert von DR7 ermittelt wurden, kann diese Vermutung bestätigt werden. Beide Alben wurde daher dynamisch mangelhaft umgesetzt. (Vgl. Seite XXXVI f.)

Auch bei den beiden Bon Jovi Alben „Have A Nice Day“ (2005) und „Lost Highway“ (2007) lassen sich vergleichbare Messwerte beobachten. Die Messprotokolle der beiden Alben sind auf Seite XXXVII f. aufgeführt. Bei der Betrachtung der beiden Alben fällt auf, dass alle Musiktitel dieser beiden Veröffentlichungen hohe Spitzenpegel auf-

weisen. Bei dem Album „Have A Nice Day“ wurden Maximalpegel festgestellt, die ausnahmslos einen Wert von 0 dBFS annehmen, während bei „Lost Highway“ offenbar erneut auf die Verwendung eines Brickwall-Limiters zurückgegriffen wurde, der auf den Wert von -0,01 dBFS eingestellt wurde. Die Einstellung der Maximalpegel auf einen derart hohen Wert lassen nur einen verschwindend geringen Headroom und damit eine Übersteuerung des Signals zu. Zusätzlich wurden auch die Durchschnittspegel bei beiden Veröffentlichungen eher auf einem hohen Pegel gehalten. So sind auf „Have a Nice Day“ RMS-Werte zu beobachten, die sich ungefähr zwischen Beträgen von -8 und -9 dBFS bewegen. Auf dem Album „Lost Highway“ wurden die RMS-Werte ähnlich hoch angesetzt. Durch den gering gehaltenen Abstand zwischen Maximal- und Durchschnittspegel ist bei beiden Alben von niedrigen durchschnittlichen Dynamic Ranges auszugehen. Die Messprotokolle bestätigen dies, denn für das 2005 veröffentlichte Bon Jovi Album „Have a Nice Day“ ergibt sich eine durchschnittliche Dynamic Range mit dem Wert von DR7 und für das zwei Jahre später veröffentlichte „Lost Highway“ eine durchschnittliche Dynamic Range von DR6. Beide Werte lassen sich als dynamisch mangelhaft und daher als verbesserungswürdig zu werten.

Das Messprotokoll des Bon Jovi Albums „This House Is Not For Sale“ aus dem Jahr 2016 ist auf Seite XXXVIII einzusehen. Auch hier fällt auf, dass die Spitzenpegel von allen Titeln 0 dBFS erreichen, was Übersteuerungen oder sogar Clipping des Signals als Resultat haben kann. Auch die RMS-Werte wurden derart hoch angesetzt, dass nur wenig Raum zwischen Maximal- und Durchschnittspegel zu verzeichnen ist. Beispielsweise weisen Titel wie etwa „Knockout“ oder auch „Born Again Tomorrow“ hohe RMS-Werte von -5,66 beziehungsweise von -6,42 dBFS auf, die keine hohen Dynamic Ranges zulassen können. Das Messprotokoll bestätigt dies, denn die Dynamic Ranges von „This House Is Not For Sale“ bewegen sich zwischen mangelhaften Werten von DR4 und DR6. Daraus resultiert für das gesamte Album eine durchschnittliche Dynamic Range von DR5.

Auch bei diesen aufgeführten Messwerten lässt sich eine stetige Abnahme der Dynamic Range feststellen. Diese stetige Abnahme lässt sich durch die in Anhang 16 befindliche Abbildung 11 auf Seite XL abschätzen. Somit lassen sich bei den Messwerten der betrachteten Bon Jovi Alben vergleichbare Schlüsse, wie bei der Sängerin Madonna oder bei der Band Metallica ziehen. In den achtziger Jahren wurden für die Dynamic Range noch Werte bestimmt, die von einer hervorragenden dynamischen Qualität innerhalb der gesamten Aufnahme zeugen. Ein hervorragendes Beispiel für diese Beobachtung bildet die Aufnahme „Slippery When Wet“ aus dem Jahr 1986, die bei der Messung eine durchschnittliche Dynamic Range von DR13 aufweisen konnte.

Mit dem Album „Keep the Faith“ aus dem Jahr 1992 wurde bereits eine durchschnittliche Dynamic Range mit einem Wert von DR9 gemessen. Mit jedem weiteren veröffentlichtem Bon Jovi Album kann ein Rückgang der Dynamic Range verzeichnet werden, der bei dem Album „This House Is Not For Sale“ mit einem Messwert von DR5 seinen Tiefpunkt erfährt.

Somit lässt sich festhalten, dass sich bei den vier repräsentativ ausgewerteten Interpreten Red Hot Chili Peppers, Metallica, Madonna und auch Bon Jovi ein vergleichbarer Trend abzeichnet. Denn für alle diese Künstlern ergab sich ein drastischer Rückgang der durchschnittlichen Dynamic Range je Erscheinungsjahr des untersuchten Albums (Vgl. Anlagen 13 bis 16, Seite XXXIX f.). Auffällig ist hierbei, dass bei allen Beispielen die Dynamic Range einen Rückgang von einem zweistelligen auf einen einstelligen Wert unter DR10 vollzogen hat. Wurde ein einstelliger Wert einmalig erreicht, so nimmt bei allen vier Beispielen die Dynamic Range im stetigen Maße ab. Dieses Phänomen lässt sich, wie aus den Messprotokollen hervor geht, hauptsächlich in den neunziger Jahren beobachten. Beispielsweise bei der Band Metallica setzt dieser Punkt ab dem Album „Load“ im Jahr 1996 ein. Hier wurde ein durchschnittlicher Wert von DR7 gemessen. Nur fünf Jahr zuvor, im Jahr 1991, wurde das Album „Metallica“ veröffentlicht, bei dem noch eine zweistellige Dynamic Range von DR11 gemessen wurde. Mit jedem weiteren von der Band veröffentlichten Album nimmt die Dynamic Range im stetigen Maße ab. Aus den in Anlage 13 bis 16 aufgeführten Kurven lässt sich daher bei den vier Interpreten ein Trend zur undynamischeren Produktion feststellen, der mit niedrigen Dynamic Ranges einhergeht.

Um zu verdeutlichen, dass dieser Trend nicht nur bei der Band Metallica, sondern bei allen vier aufgeführten Beispielen eintritt, wurde der Rückgang der durchschnittlichen Dynamic Range je untersuchtes Album durch die in Anlage 17 aufgeführte Abbildung 12 auf Seite XLI visualisiert. Tiefpunkte der Messung bilden Alben wie „Califonication“ von der Band Red Hot Chili Peppers aus dem Jahr 1999 mit einer durchschnittlichen Dynamic Range von DR4 oder auch das Album „Death Magnetic“ von der Band Metallica aus dem Jahr 2008 mit einem Wert von DR3. Die aktuellen Veröffentlichungen der betrachteten Interpreten zeigen bei der Messung ebenfalls vergleichbar niedrige Dynamic Range Werte auf. So wurden Alben, wie etwa Madonnas „Rebel Heart“ (2015), Bon Jovis „This House Is Not For Sale“ oder auch „The Getaway“ von der Band Red Hot Chili Peppers (beide von 2016) mit einem Wert von DR5 bestimmt. Für Metallicas „Hardwired... to Self Destruct“ aus dem Jahr 2016 wurde ein Wert von DR6 ermittelt.

Zusätzlich wurden für diese Arbeit für alle 5269 Musiktitel die durchschnittlichen RMS-Werte je Erscheinungsjahr der betrachteten Aufnahme visualisiert. Diese Messungen sind in Anlage 18 durch Abbildung 13 auf Seite XLI ersichtlich. Auf dem ersten Blick ist bereits zu erkennen, dass innerhalb der betrachteten 413 Alben und ihren insgesamt 5269 Titeln in den Durchschnittspegeln ein allmählicher aber stetiger Zuwachs abzulesen ist. Somit wird das Audiosignal der untersuchten Alben immer flacher und komprimierter, was bedeutet, dass ein Musikstück weniger Raum zwischen Durchschnitt und Maximum zur Verfügung hat. Dadurch klingt das Signal unnatürlich und komprimiert. Betrachtet man diese Kurve gestaffelt nach Jahrzehnten, so fällt auf, dass zwischen 1982 und 1989 alle ermittelten RMS-Werte niedrige Beträge unter -15 dBFS aufweisen. Ab den neunziger Jahren ist bereits ein allmählicher Anstieg festzustellen. So lässt sich im Zeitraum zwischen 1990 und 1999 eine Zunahme des durchschnittlichen RMS-Wertes um näherungsweise +4 dB feststellen. Innerhalb des Zeitraums zwischen 2000 und 2009 erreicht dieser Durchschnittswert erstmalig Pegel über -10 dBFS, die sich bis 2017, als anhaltender Trend abzeichnen. Dies unterstreicht die Existenz und den Einfluss des Loudness War innerhalb der Messung.

Die im Anhang 19 aufgeführte Abbildung 14 auf Seite XLII vermag aufzuzeigen, dass innerhalb der betrachteten 5269 Musiktitel ein deutlicher, beinahe linearer Rückgang der Dynamic Range stattfindet. Das heißt, dass nicht nur bei den vier ausgewerteten Interpreten Red Hot Chili Peppers, Metallica, Madonna sowie Bon Jovi ein Rückgang der Dynamic Range zu beobachten ist, sondern, dass diese Tendenz vielmehr als allgemeiner Trend in der Musikproduktion zu bewerten ist. Somit lassen sich durch diese Kurve vergleichbare Schlüsse wie bei den separaten Betrachtungen der einzelnen Interpreten formulieren. Wurde in den achtziger Jahren noch deutlich über DR10 produziert, nahm über die Jahre die durchschnittliche Dynamic Range merkbar ab. Innerhalb der Messung ist etwa ab dem Jahr 1994 nur noch durchschnittliche Dynamic Ranges im einstelligen Bereich zu verzeichnen. Aus Abbildung 13 geht hervor, dass sich die durchschnittlich genutzte Dynamik von allen betrachteten Titeln, die im Jahr 1994 veröffentlicht wurden, zu +9,07 dB ergibt. Dies ist einer durchschnittlichen Dynamic Range mit dem Wert DR9 gleichzusetzen. Grundlage dieses Messwertes ist ein durchschnittlicher RMS-Wert von -11,762 dBFS für alle betrachteten Titel aus dem Jahr 1994. (Vgl. Abb.13, Seite XLI)

Im Vergleich dazu wurde beispielsweise für das Jahr 1986 innerhalb der betrachteten Alben eine durchschnittlich genutzte Dynamik von +12,86 dB festgestellt. Dies ist einer Dynamic Range von DR13 gleichzusetzen und hat laut Messung einen durchschnittli-

chen RMS-Wert mit einem Betrag -16,61 dBFS als Grundlage. Dies sind Werte, die als sehr dynamisch zu werten sind.

Der höchste durchschnittliche RMS-Wert wurde für das Jahr 2009 bestimmt. Hier liegt ein Durchschnittswert von -7,553 dBFS vor. Die genutzte Dynamik ergibt sich zu einem Wert von durchschnittlich gerade einmal +5,48 dB, was einer Dynamic Range von DR5 entspricht.

Daher lässt sich festhalten, dass je höher der RMS-Wert angesetzt wurde, umso niedriger ist die daraus resultierende Dynamic Range. Wurde der RMS-Wert bei einem Tonträger niedrig angesetzt, so ergab sich die Dynamic Range in der Messung zu einem hohen, meist zweistelligen Wert. Bei Alben, bei denen sowohl hohe Maximal- als auch Durchschnittspegel bestimmt wurden, ergaben in den Messungen niedrige Dynamic Range Werte, die auf eine undynamische, nicht wohlklingende Produktion hinweisen.

5 Schlussbetrachtungen

Die aufgeführten Messungen haben ergeben, dass lautes Produzieren unmittelbaren und großen Einfluss auf die Dynamik eines Musiktitels hat. Wurde eine lautere Produktion nachgewiesen, so wurde auch die Dynamic Range zu einem niedrigen Wert ermittelt. Dies wird bei der Betrachtung und dem Direktvergleich von Abbildung 13 sowie Abbildung 14 deutlich. Somit lässt sich das Potential der Dynamic Range, den Loudness War zu einem Ende zu führen, als entsprechend groß einschätzen.

5.1 Fazit

Wurde eine Produktion dynamisch umgesetzt, so ist es sehr unwahrscheinlich, dass sie auch einen hohen RMS-Wert aufweist. Somit lässt sich die Aussage treffen, dass beim Erstellen einer dynamischen Aufnahme der Ingenieur automatisch zu einer leiseren Produktion gezwungen ist. Das lässt sich durch die direkte Abhängigkeit zwischen dem Durchschnittspegel eines Musikstückes und seiner Dynamic Range begründen, welche aus der folgenden Formel ersichtlich wird.

$$DR = Peak - RMS_{Top20}$$

Je niedriger der RMS-Wert angesetzt wird, umso höher ist dies daraus resultierende Dynamic Range des Musikstückes. Wird nun laut produziert, wird auch der RMS-Wert deutlich höher und nähert sich dem Grenzpegel von 0 dBFS. Dies hat eine niedrige Dynamic Range als Resultat. Soll ein Musiktitel dynamisch klingen so sollte beim Produzieren darauf geachtet werden, das mindestens ein zweistelliger Wert für die Dynamic Range eingehalten wird, Dadurch kann eine möglichst angenehmes und für den Zuhörer wohlklingendes Resultat veröffentlicht werden. Um zu verhindern, dass ein Musiktitel flach und undynamisch klingt bzw. einen niedrigen DR-Wert ausweist, kann beim Produzieren auf folgendes geachtet werden.

Der Maximalpegel einer Musikproduktion sollte sich nach Möglichkeit nicht in der Vollaussteuerung oder gar in der Übersteuerung befinden, dadurch kann es passieren, dass Clipping stattfindet, durch das Verzerrungen auftreten und sogar mit Informationsverlust innerhalb der Amplitude eines Musikstückes zu rechnen ist. Der Durchschnittspegel (RMS-Wert) sollte im niedrigeren zweistelligen Bereich angesetzt werden. Dadurch klingt die Aufnahme natürlicher, räumlicher und offener und es kann ein

großer Abstand zwischen Maximal- und Durchschnittspegel garantiert werden, selbst wenn der Maximalpegel 0 dBFS sehr nahe ist. Im Idealfall erreicht der Maximalpegel den Grenzpegel jedoch zu keiner Zeit. Durch diese Vorgehensweise kann bezweckt werden, dass die Produktion einen offen und atmenden Klang besitzt. Dadurch ist auch ein entsprechend großer Headroom zum maximal darstellbaren Pegel gegeben, der nach Möglichkeit auch einen hohen Wert von beispielsweise +2 oder auch +3 dB annehmen sollte.

Daraus ergibt sich in jedem Fall eine Dynamic Range mit einem zweistelligem Betrag, die von einer hohen effektiv genutzten Dynamik innerhalb des Musiktitels zeugt.

5.2 Ausblick

Es sollte in der Musikindustrie rasch ein Umdenken geschehen, denn die ermittelten Dynamic Range Werte zeigen einen drastischen Trend auf. Dies untermauern auch die aufgeführten Beispiele. (Vgl. Abb. 15 Seite XLII) Die Dynamic Range und damit auch die dynamische Qualität nehmen im stetigen Maße ab, was dazu führt, dass die Musik, die auf Tonträgern der letzten näherungsweise zwanzig Jahre veröffentlicht wurde flach und undynamisch klingt. Würde bereits in der Produktion darauf geachtet werden, dass das Musikstück einer Mindestanforderung gerecht wird, kann diesem verheerenden Trend entgegengewirkt werden. Etwaige, denkbare Richtwerte an die Dynamic Range wurden bereits aufgeführt.

Zudem würde bei der Etablierung einer Loudness Normalisierung, wie sie durch die aufgeführte Lautheitsempfehlung R 128 der EBU etwa im Hörfunk in Zukunft gängige Praxis wäre bzw. bei manchen Fernsehanstalten bereits durchgeführt wird, der dynamisch produzierte Song im Direktvergleich zu seinem undynamischeren Pendant profitieren. Daher werden Produzenten in Zukunft immer mehr dazu gezwungen sein, dynamischer zu produzieren, wenn sich ihre Produktion nach einer Loudness Normalisierung noch gegen andere, dynamischere Musik durchsetzen soll. Außerdem wäre laut EBU R 128 ein exakter Maximalspitzenpegel von -1 dBTP (äquivalent zu -1 dBFS) als Maximalpegel einer Audioproduktion festgelegt. Damit könnten Übersteuerungen, die zu Verzerrungen oder Clipping innerhalb eines Musiktitels führen, vermieden werden. Zeitgleich ist durch das Einhalten von -1 dBTP automatisch ein Headroom von mindestens +1 dB gegeben.

Überkomprimierte Produktionen können durch diese Etablierung nicht länger durch ihre hohe Lautheit Aufmerksamkeit generieren, sondern müssen dies viel mehr auf dynamische Art und Weise erzielen. Dies gilt sowohl für Fernseh- als auch für Audio- oder Hörfunkproduktionen. Ein etwaiges Umdenken würde dementsprechend auch die Hörgewohnheiten des Menschen allmählich ändern und für dynamischere Produktionen sensibilisieren. Dies lässt sich jedoch als langjähriger Prozess einschätzen.

Würde kein Umdenken stattfinden, wäre eine weiter andauernde Aussteuerung der Durchschnitts- und Maximalpegel von Musikproduktionen in Richtung Maximum nicht auszuschließen. Somit wären bei einer ähnlichen Trendentwicklung, wie sie in der Abbildung 14 in Anhang 19 auf Seite XLII angedeutet ist, spätestens im Jahr 2030 extrem niedrige Dynamic Ranges von DR1 oder DR2 Normalität. Damit wäre ein angenehmes Erreichen des Musikkonsumenten durch eine Produktion nicht mehr länger gegeben und somit die Zielstellung, die an eine Audioproduktion gebunden ist, komplett verfehlt.

Literaturverzeichnis

Fachliteratur

DICKREITER, Michael et al. (Hrsg.): Handbuch der Tontechnik Band 2, (8. Auflage) Grundlagen der digitalen Tontechnik. 2013.

FELDMANN, Joachim: Raumakustik und baulicher Schallschutz. Berlin 2003.

LEVITIN, Daniel Joseph: This Is Your Brain On Music – Understanding A Human Obsession. Montreal 2006.

ORTNER, Rudolph Matthias: Je lauter desto bumm! - The Evolution of Loud Untersuchung zur Evolution der Lautheit Klangcharakteristik in 60 Jahren Populärmusik. Krems 2012.

Veröffentlichungen, Berichte und Protokolle

DERUTY, Emmanuel (2011): 'Dynamic Range' & The Loudness War in: Sound on Sound vom 01.09.2011 URL: <<https://www.soundonsound.com/sound-advice/dynamic-range-loudness-war>> (zuletzt abgerufen am 18.10.2017).

EUROPEAN BROADCASTING UNION (2011) EBU - Empfehlung R 128: URL: <https://tech.ebu.ch/docs/r/r128_2011_DE.pdf> (zuletzt abgerufen am 14.12.2017).

EUROPEAN BROADCASTING UNION (2011) EBU Tech 3341: URL: <https://tech.ebu.ch/docs/r/r128_2011_DE.pdf> (zuletzt abgerufen am 14.12.2017).

KETTERER, Nicolay: Loudness War – Wie Laut geht es noch? in: Sound & Recording vom 03.06.2016.

LEVINE, Robert: The Death of High Fidelity, in: Rolling Stone Magazine vom 26.12.2007, URL: <<http://bit.ly/2ERFMCn>>, (zuletzt abgerufen am 20.11.2017).

MARILLION: Misplaced Childhood, CD-Booklet, EMI Records Ltd. Middlesex 1985.

MOCK, Christopher; DOETSCH, Simon: Das Knistern: Ein Podcast im Dunstkreis der Musik – Im weitesten Sinne: Episode 17 Mastering. Herausgegeben von DASKNISTERN.DE 2013. URL: <http://dasknisten.de/dk0017_mastering> (zuletzt abgerufen am 13.11.2017).

PAULI, Marko: SWR2 Wissen extra: Die Macht der Musik – Popmusik im Lautheitswahn. Herausgegeben von SWR.DE 2008. URL: <<http://bit.ly/2lqJg7H>> (zuletzt abgerufen am 12.11.2017).

Internetquellen

DELAMAR: Frequently Asked Questions: Was ist Clipping? URL: <<https://www.delamar.de/faq/clipping-31684>> (zuletzt abgerufen am 01.12.2017).

HIFI-REGLER ONLINE SHOP: URL: <<http://www.hifi-regler.de/lexikon/v/vollaussteuerung.php>> (zuletzt abgerufen am 30.11.2017)

KATZ, Bob: Loudness War and Peace. Video veröffentlicht bei YouTube am 18.04.2017, <<https://www.youtube.com/watch?v=xuEi1vLP1SA>> (zuletzt abgerufen am 12.11.2017).

PLEASURE MUSIC FOUNDATION: Unser Ziel URL: <<http://dynamicrange.de/de/de/unsere-ziel>>, (zuletzt abgerufen am 14.11.2017).

PLEASURE MUSIC FOUNDATION: Was macht stark komprimierte Titel scheinbar attraktiv? (Fletcher-Munson-Kurve) URL: <<http://www.dynamicrange.de/de/de/was-macht-stark-komprimierte-titel-scheinbar-attraktiv-fletcher-munson-kurve>> (zuletzt abgerufen am 14.11.2017).

PLEASURE MUSIC FOUNDATION: Wie ist der Loudness War entstanden?: URL: <<http://dynamicrange.de/de/de/wie-ist-der-loudness-war-entstanden>> (zuletzt abgerufen am 14.11.2017).

PLEASURE MUSIC FOUNDATION, TISCHMEYER PUBLISHING AMERICA INC. (2009): Gebrauchsanweisung TT DR Offline Meter Software Version 1.3, URL: <http://dynamicrange.de/sites/default/files/DR-Gebrauchsanweisung-V1_3-Deutsch.pdf> (zuletzt abgerufen am 02.12.2017).

SENGPIEL, Eberhard: Sengpiel-Audio – Rechner Sone/Phon in: Sengpiel-Audio Forum für Mikrofonaufnahmetechnik und Studioteknik, Herausgegeben von: SENPIELAUDIO.DE. URL: <<http://www.sengpielaudio.com/RechnerSonePhon.htm>>, (zuletzt abgerufen am 11.12.2017).

STEINGKE SHOWTECHNIK: Regelverstärker – Überblick über Funktionen und Begriffe, URL: <<http://www.steingke.de/out/pictures/wysiwigpro/cmscontent/support/whitepaper/de/ton/Regelverst%C3%A4rker.pdf>> (zuletzt abgerufen am 15.11.2017).

Anlagen

Anlage 1:	Lauheitsmessungen von 1951-2011	Seite XIV
Anlage 2:	Fletcher-Munson-Kurve der gleichen Lautheit	Seite XIV
Anlage 3:	Wellenform und Messwerte von „Hello“ von Adele	Seite XV
Anlage 4:	Bewertungsmaßstab der Dynamic Range	Seite XV
Anlage 5:	Wellenform und Messwerte von „So Far Away“ von Dire Straits	Seite XVI
Anlage 6:	Wellenform und Messwerte von „The Day That Never Comes“ von Metallica	Seite XVI
Anlage 7:	Liste der untersuchten Alben sortiert nach Erscheinungsjahr	Seite XVII
Anlage 8:	Anzahl der untersuchten Musiktitel sortiert nach Erscheinungsjahr	Seite XXI
Anlage 9:	Dynamic Range Messprotokolle der Band Red Hot Chili Peppers	Seite XXII
Anlage 10:	Dynamic Range Messprotokolle der Band Metallica	Seite XXVI
Anlage 11:	Dynamic Range Messprotokolle der Sängerin Madonna	Seite XXXI
Anlage 12:	Dynamic Range Messprotokolle der Band Bon Jovi	Seite XXXV
Anlage 13:	Rückgang der Dynamic Range am Beispiel von Red Hot Chili Peppers	Seite XXXIX
Anlage 14:	Rückgang der Dynamic Range am Beispiel von Metallica	Seite XXXIX
Anlage 15:	Rückgang der Dynamic Range am Beispiel von Madonna	Seite XL
Anlage 16:	Rückgang der Dynamic Range am Beispiel von Bon Jovi	Seite XL
Anlage 17:	Rückgang der Dynamik Range anhand der aufgeführten Beispiele	Seite XLI

Anlage 18: Durchschnittspegel aller untersuchten Musiktitel	Seite XLI
Anlage 19: Durchschnittliche Dynamic Range aller untersuchten Musiktitel	Seite XLII

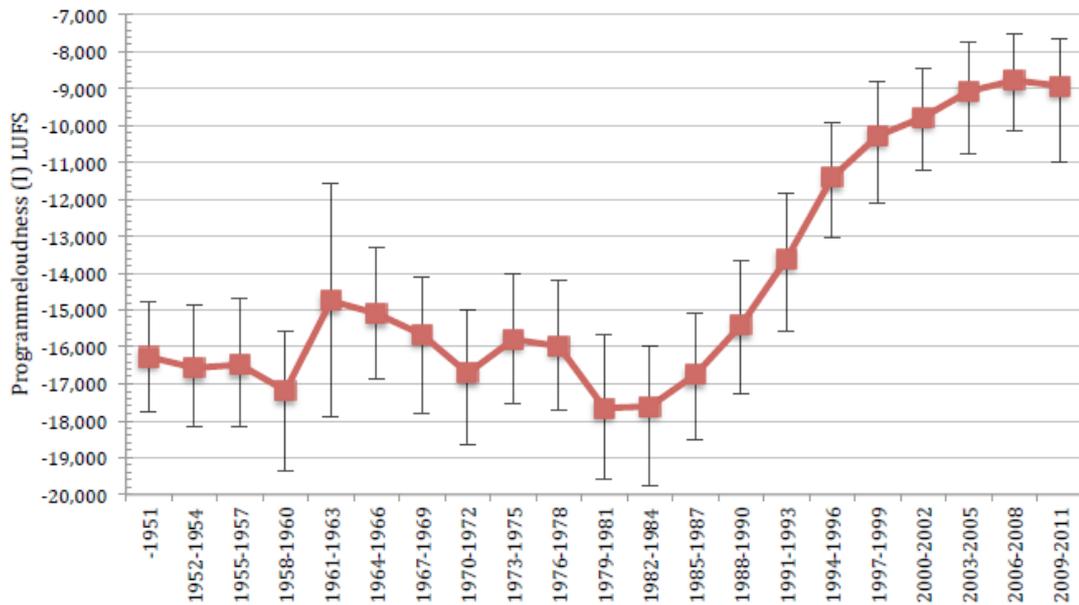
Anlage 1: Lauheitsmessungen von 1951-2011

Abbildung 1: Lautheitsmessungen von 1951-2011 (Ortner, 2011, S.51)

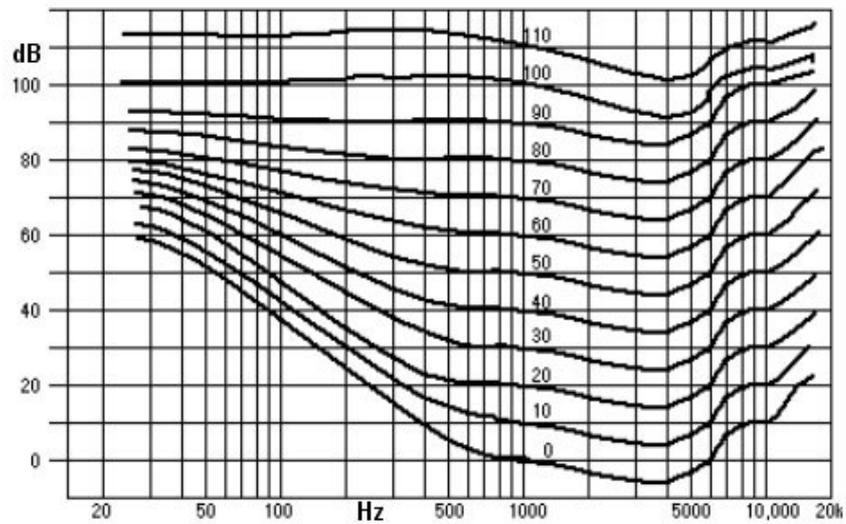
Anlage 2: Fletcher-Munson-Kurve der gleichen Lautheit

Abbildung 2: Fletcher-Munson-Kurve der gleichen Lautheit (Vgl. Pleasure Music Foundation)

Anlage 3: Wellenform und Messwerte von „Hello“ von Adele

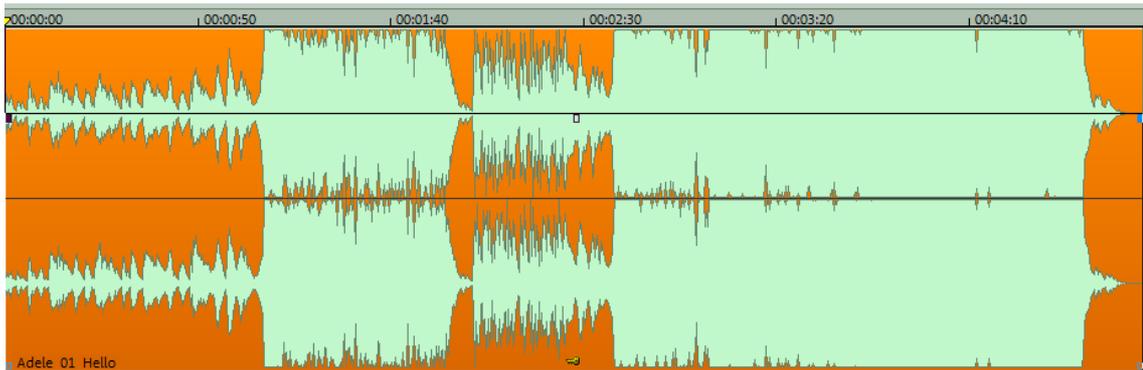


Abbildung 3: eigene Darstellung, Wellenform des Musiktitels "Hello" von Adele

Statistics for: Adele_01_Hello.wav

Number of Samples: 13031256

	left		right
Peak value:	-0.01 dB	---	-0.01 dB
Avg RMS:	-8.18 dB	---	-7.89 dB
DR channel:	4.79 dB	---	4.46 dB

Official DR value: DR5

Anlage 4: Bewertungsmaßstab der Dynamic Range

rot: überkomprimiert = ungenießbar gelb = Übergangsbereich grün=dynamisch und genießbar	samplebasierte Musik, elektronische Musik mit vorwiegend synthetisch erzeugten Klängen	Pop, Rock, Mainstream "Radiomusik" mit akustischen Klängen	vorwiegend akustische Musik: Jazz, Folk, Country, Klassik Musik, die relaxen soll
DR4			
DR5			
DR6			
DR7			
DR8			
DR9			
DR10			
DR11			
DR12			
DR13			
DR14 &<			
	Techno	Pop	Jazz
	House	Rock	Folk
	Disco	R'n B	Country
	Trance	HipHop	Klassik
	Electro	Blues	Chillout
	Goa	Hardrock	Relax

Abbildung 4: Bewertungsmaßstab der Dynamic Range nach Musikgenres (Tischmeyer, 2011)

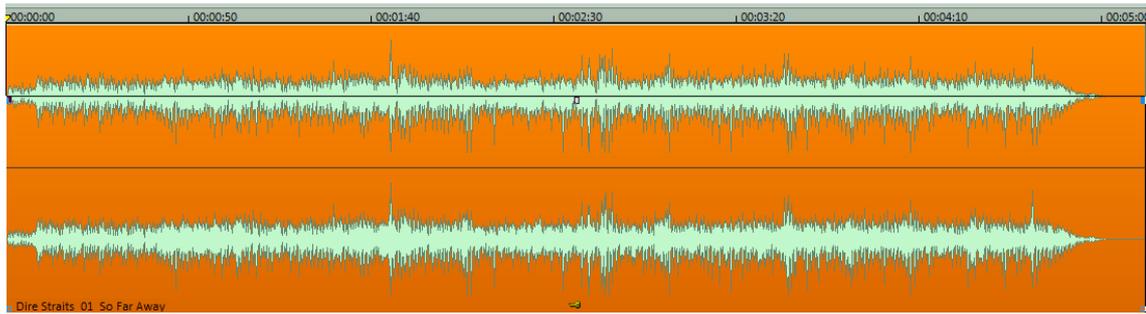
Anlage 5: Wellenform und Messwerte von „So Far Away“ von Dire Straits

Abbildung 5: eigene Darstellung, Wellenform des Musiktitels "So Far Away" von Dire Straits

Statistics for: Dire Straits_01_So Far Away.wav

Number of Samples: 13766844

	left		right
Peak value:	-2.00 dB	---	-2.00 dB
Avg RMS:	-23.77 dB	---	-23.96 dB
DR channel:	20.29 dB	---	20.24 dB

Official DR value: DR20

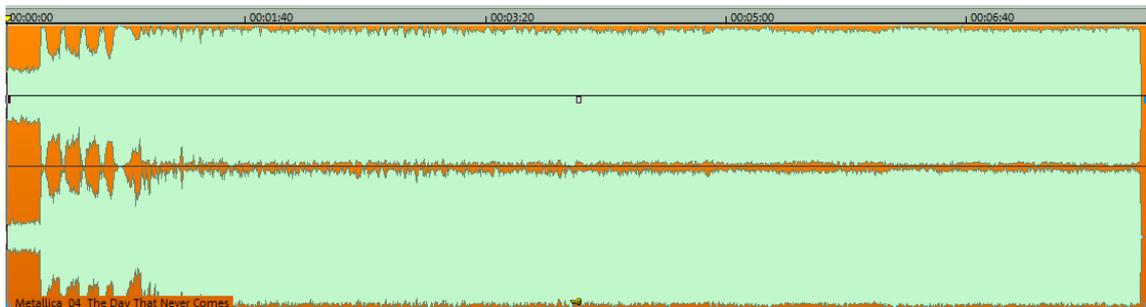
Anlage 6: Wellenform und Messwerte von „The Day That Never Comes“ von Metallica

Abbildung 6: eigene Darstellung, Wellenform des Musiktitels "The Day That Never Comes" von Metallica

Statistics for: Metallica_04_The Day That Never Comes.wav

Number of Samples: 21003360

	left		right
Peak value:	over	---	over
Avg RMS:	-3.85 dB	---	-3.77 dB
DR channel:	2.45 dB	---	2.27 dB

Official DR value: DR2

Anlage 7: Liste der untersuchten Alben sortiert nach Erscheinungsjahr

Veröffentlichung des Tonträgers	Interpret	Album
1982	Dire Straits	Love over Gold
1982	Iron Maiden	Number of the Beast
1982	Spliff	Herzlichen Glückwunsch!
1982	Spliff	85555
1983	Al Di Meola/John McLaughlin/Paco de Lucia	Friday Night in San Francisco (1981)
1983	Vangelis	Chariots of Fire (1981)
1984	Adams, Bryan	Reckless
1984	Ballard, Russ	Russ Ballard
1984	Def Leppard	High 'n' Dry (1981)
1984	Dio	The Last in Line
1984	Dire Straits	Making Movies (1980)
1984	Grönemeyer, Herbert	4630 Bochum
1984	Madonna	Like a Virgin
1984	U2	The Unforgettable Fire
1985	Bush, Kate	Hounds of Love
1985	Collins, Phil	No Jacket Required
1985	Dio	Sacred Heart
1985	Dire Straits	Brothers in Arms
1985	Marillion	Misplaces Childhood
1985	Nina Hagen Band	Nina Hagen Band (1979)
1985	Spliff	The Spliff Radio Show (1980)
1985	Sting	The Dream of the Blue Turtles
1985	Vega, Suzanne	Suzanne Vega
1986	Bon Jovi	Slippery When Wet
1986	Grönemeyer, Herbert	Sprünge
1986	Lindenberg, Udo	Gänsehaut
1986	Madonna	True Blue
1986	Reiser, Rio	Rio I.
1986	Status Quo	In the Army
1987	Ärzte, Die	Ist das Alles? (13 Höhepunkte mit den Ärzten)
1987	Beatles, The	With the Beatles (1963)
1987	Beatles, The	A Hard Day's Night (1964)
1987	Dio	Dream Evil
1987	Fleetwood Mac	Tango in the Night
1987	Guns N' Roses	Appetite for Destruction
1987	Joplin, Janis	Janis Joplin's Greatest Hits (1973)
1987	Midnight Oil	Diesel & Dust
1987	Reiser, Rio	Blinder Passagier
1987	Sting	...Nothing Like the Sun
1987	Vega, Suzanne	Solitude Standing
1987	Young, Neil	After the Gold Rush (1970)
1988	Adams, Bryan	Live! Live! Live!
1988	Ärzte, Die	Nach uns die Sintflut [Doppelalbum]
1988	Ärzte, Die	Das ist nicht die ganze Wahrheit...
1988	Bush, Kate	Lionheart (1978)
1988	Chapman, Tracy	Tracy Chapman
1988	Grönemeyer, Herbert	Ö
1988	Guns N' Roses	G N' R Lies
1988	Pink Floyd	Delicate Sound of Thunder [Doppelalbum]
1988	Simon & Garfunkel	Sounds of Silence (1968)
1988	Simon & Garfunkel	Bridge Over Troubled Water (1970)
1988	Toten Hosen, Die	Ein kleines bisschen Horrorshow
1989	Ärzte, Die	Die Ärzte früher!
1989	Cooper, Alice	School's Out (1972)
1989	Cooper, Alice	Trash
1989	Madonna	Like a Prayer
1989	Metallica	Master of Puppets (1986)
1989	Nirvana	Bleach
1989	Soundgarden	Louder Than Love
1990	Alice in Chains	Facelift
1990	Black Crowes, The	Shake Your Money Maker
1990	Collins, Phil	Face Value (1981)
1990	Cooper, Alice	Billion Dollar Babys (1973)
1990	Fleetwood Mac	Behind the Mask
1990	Gabriel, Peter	Shaking the Tree
1990	Mazzy Star	She Hangs Brightly
1990	O'Connor, Sinéad	I Do Not Want What I Haven't Got
1990	Prefab Sprout	Steve McQueen
1990	Reiser, Rio	Rio
1990	Sonic Youth	Goo
1991	Cooper, Alice	Love it to Death (1971)
1991	Cooper, Alice	Hey Stoopid
1991	Dylan, Bob	Blood on the Tracks (1975)
1991	Guns N' Roses	Use Your Illusion I
1991	Guns N' Roses	Use Your Illusion II
1991	Lynyrd Skynyrd	Pronounced Leh-Nerd Skin-Nerd (1973)
1991	Lynyrd Skynyrd	Second Helping (1974)
1991	Metallica	Metallica
1991	Nirvana	Nevermind
1991	Prinzen, Die	Das Leben ist grausam
1991	Queen	Greatest Hits (1981)
1991	Red Hot Chili Peppers	Blood Sugar Sex Magik
1991	Soundgarden	Badmotorfinger
1991	Temple of the Dog	Temple of the Dog
1991	Wishbone Ash	Pilgrimage (1971)
1991	Wishbone Ash	Wishbone Four (1973)
1992	4 Non Blondes	Bigger, Better, Faster, More!
1992	Alice in Chains	Dirt
1992	Black Crowes, The	The Southern Harmony and Musical Companion
1992	Bon Jovi	Keep the Faith
1992	Joy Division	Unknown Pleasures (1979)
1992	Joy Division	Closer (1980)
1992	Pearl Jam	Ten

Veröffentlichung des Tonträgers	Interpret	Album
1992	Prinzen, Die	Küssen verboten
1992	R.E.M.	Automatic for the People
1992	Rage Against the Machine	Rage Against the Machine
1992	Taste	Live at the Isle of Wight (1971)
1992	Vangelis	1492
1992	Wishbone Ash	Wishbone Ash (1970)
1993	Ärzte, Die	Die Bestie in Menschengestalt
1993	Fantastischen Vier, Die	Die vierte Dimension
1993	Guns N' Roses	The Spaghetti Incident?
1993	Mazzy Star	So Tonight That I Might See
1993	Meat Loaf	Bat Out of Hell II: Back into Hell
1993	Nirvana	In Utero
1993	Queen	A Day at the Races (1976)
1993	Radiohead	Pablo Honey
1993	Toten Hosen, Die	Kauf mich!
1993	Toten Hosen, Die	Reich und Sexy
1993	Us3	Hand on the Torch
1994	Aerosmith	Big Ones
1994	Ärzte, Die	Das Beste von Kurz nach Früher bis Jetzt [Doppelalbum]
1994	Ärzte, Die	Die Ärzte (1986)
1994	Black Crowes, The	America
1994	Bon Jovi	Cross Road
1994	Buckley, Jeff	Grace
1994	Green Day	Dookie
1994	Korn	Korn
1994	Led Zeppelin	Led Zeppelin I (1969)
1994	Led Zeppelin	Led Zeppelin II (1969)
1994	Led Zeppelin	Led Zeppelin IV (1971)
1994	Melvins	Houdini
1994	Nine Inch Nails	The Downward Spiral
1994	Nirvana	MTV Unplugged Live in New York
1994	Portishead	Dummy
1994	Queen	Hot Space (1982)
1994	Rea, Chris	The Best of Chris Rea
1994	Rolling Stones, The	Voodoo Lounge
1994	Taste	On the Boards (1970)
1995	Alice in Chains	Alice in Chains
1995	Ärzte, Die	Planet Punk
1995	Dylan, Bob	Greatest Hits (1967)
1995	Fantastischen Vier, Die	Lauschgift
1995	Foo Fighters	Foo Fighters
1995	Fool's Garden	Dish of the Day
1995	Pink Floyd	Relics (1971)
1995	Prinzen, Die	Schweine
1995	Queen	Made in Heaven
1995	Rammstein	Herzeleid
1995	Springsteen, Bruce	Greatest Hits
1995	Springsteen, Bruce	The Ghost of Tom Joad
1996	10cc	The Original Soundtrack (1975)
1996	Adams, Bryan	18 til I Die
1996	Alice in Chains	MTV Unplugged
1996	Ärzte, Die	Le Frisur
1996	Fugees	The Score
1996	Korn	Life is Peachy
1996	Mazzy Star	Among My Swan
1996	Metallica	Load
1996	Nirvana	From the Muddy Banks of the Wishkah
1996	Rage Against the Machine	Evil Empire
1996	Toten Hosen, Die	Opium fürs Volk
1996	Velvet Underground, The	White Light/White Heat (1968)
1997	10cc	Bloody Tourists (1978)
1997	Allman Brothers Band, The	The Allman Brothers Band (1969)
1997	Allman Brothers Band, The	Idlewild South (1970)
1997	Allman Brothers Band, The	At Fillmore East (1971)
1997	Foo Fighters	The Colour and the Shape
1997	Metallica	Reload
1997	Portishead	Portishead
1997	Radiohead	OK Computer
1997	Ramazzotti, Eros	Eros
1997	Rammstein	Sehnsucht
1997	Rolling Stones, The	Bridges to Babylon
1997	Rush	Rush (1974)
1997	Rush	Fly By Night (1975)
1997	Rush	Caress of Steel (1975)
1997	Rush	2112 (1976)
1997	Rush	A Farewell to Kings (1977)
1997	Rush	Hemispheres (1978)
1997	Rush	Permanent Waves (1980)
1997	Rush	Moving Picture (1981)
1998	Adams, Bryan	On a Day Like Today
1998	Air	Moon Safari
1998	Allman Brothers Band, The	Eat a Peach (1972)
1998	Grönemeyer, Herbert	Bleibt alles anders
1998	Korn	Follow the Leader
1998	Madonna	Ray of Light
1998	Mahavishnu Orchestra, The	The Inner Mounting Flame (1971)
1998	Metallica	Garage Inc. [Doppelalbum]
1998	Portishead	Roseland NYC Live
1998	Steely Dan	Can't Buy A Thrill (1972)
1998	System of a Down	System of a Down
1998	U2	The Best of 1980-1990
1999	Bowie, David	Hunky Dory (1971)
1999	Bowie, David	Low (1977)

Veröffentlichung des Tonträgers	Interpret	Album
1999	Bowie, David	Heroes (1977)
1999	Bowie, David	Lodger (1978)
1999	Bowie, David	Let's Dance (1983)
1999	Clash, The	Give 'em Enough Rope (1978)
1999	Clash, The	London Calling (1979)
1999	Clash, The	Combat Rock (1982)
1999	Fantastischen Vier, Die	4:99
1999	In Extremo	Verehrt und Angespion
1999	Korn	Issues
1999	Lynyrd Skynyrd	Nuthin' Fancy (1975)
1999	Lynyrd Skynyrd	Gimme Back my Bullets (1976)
1999	Rage Against the Machine	The Battle of Los Angeles
1999	Red Hot Chili Peppers	Californication
1999	Satriani, Joe	Surfing with the Alien (1987)
1999	Steely Dan	Pretzel Logic (1974)
2000	Ärzte, Die	Runter mit den Spenderhosen, Unsichtbarer!
2000	Beatles, The	1
2000	Bon Jovi	Crush
2000	Cash, Johnny	At San Quentin (1969)
2000	Coldplay	Paracutes
2000	Fantastischen Vier, Die	Unplugged
2000	Linkin Park	Hybrid Theory
2000	Madonna	Music
2000	Presley, Elvis	Most Famous Hits [Doppelalbum]
2000	Queens of the Stone Age	Rated R
2000	Rage Against the Machine	Rengades
2000	U2	All That You Can't Leave Behind
2001	Free	Tons of Sobs (1968)
2001	Free	Fire & Water (1970)
2001	Green Day	International Superhits
2001	Muse	Origin of Symmetry
2001	Nickelback	Silver Side Up
2001	Pink Floyd	Echoes: The Best of Pink Floyd [Doppelalbum]
2001	Rammstein	Mutter
2001	Slayer	God Hates Us All
2001	Strokes, The	Is This It
2001	System of a Down	Toxicity
2001	Tenacious D	Tenacious D
2001	Urlaub, Farin	Endlich Urlaub!
2002	Audioslave	Audioslave
2002	Bon Jovi	Bounce
2002	Cranberries, The	No Need to Argue (1994)
2002	Eminem	The Eminem Show
2002	Grand Funk Railroad	Grand Funk (1969)
2002	Grand Funk Railroad	On Time (1969)
2002	Grand Funk Railroad	Closer to Home (1970)
2002	Grand Funk Railroad	Survival (1971)
2002	Grand Funk Railroad	E Pluribus Funk (1971)
2002	Grand Funk Railroad	Phoenix (1972)
2002	Korn	Untouchables
2002	Osbourne, Ozzy	Bark at the Moon (1983)
2002	Osbourne, Ozzy	Tribute (1987)
2002	Queens of the Stone Age	Songs for the Deaf
2002	Red Hot Chili Peppers	By the Way
2002	Reed, Lou	Transformer (1972)
2002	Slayer	Season in the Abyss (1990)
2002	Springsteen, Bruce	The Rising
2002	Supertramp	Crime of the Century (1974)
2002	System of a Down	Steal This Album!
2002	Wishbone Ash	Argus (1972)
2003	Ärzte, Die	Geräusch [Doppelalbum]
2003	Billy Talent	Billy Talent
2003	Jackson, Michael	Number Ones
2003	Korn	Take a Look in the Mirror
2003	Linkin Park	Meteora
2003	Mars Volta, The	De-Loused In The Comatorium
2003	Metallica	St. Anger
2003	Moore, Gary	Still Got the Blues (1990)
2003	Nickelback	The Long Road
2003	Prinzen, Die	Monarchie in Germany
2003	Rasmus, The	Dead Letters
2003	Red Hot Chili Peppers	The Red Hot Chili Peppers (1984)
2003	Red Hot Chili Peppers	Freaky Styley (1985)
2003	Red Hot Chili Peppers	The Uplift Mofa Party Plan (1987)
2003	Red Hot Chili Peppers	Mother's Milk (1989)
2003	Winehouse, Amy	Frank
2004	Adams, Bryan	Room Service
2004	Collins, Phil	Love Songs [Doppelalbum]
2004	Eminem	Encore
2004	Fantastischen Vier, Die	Viel
2004	Green Day	American Idiot
2004	Prinzen, Die	Hardchor
2004	Rammstein	Reise, Reise
2004	Seal	The Best 1991-2004
2004	Ton Steine Scherben	18 Songs aus 15 Jahren
2005	Ärzte, Die	Devil
2005	Bon Jovi	Have a Nice Day
2005	Bullet for my Valentine	The Poison
2005	Dio	Holy Diver (1982)
2005	Madonna	Confessions on a Dance Floor
2005	Madsen	Madsen
2005	Mars Volta, The	Frances the Mute
2005	Nickelback	All the Right Reasons
2005	Queens of the Stone Age	Lullabies to Paralyze

Veröffentlichung des Tonträgers	Interpret	Album
2005	Rasmus, The	Hide from the Sun
2005	Rolling Stones, The	A Bigger Bang
2005	Scala & Kolacny Brothers	Grenzenlos
2005	System of a Down	Hypnotize
2005	System of a Down	Mezmerize
2005	Toten Hosen, Die	Nur zu Besuch: Unplugged im Wiener Burgtheater
2005	Urlaub, Farin	Am Ende der Sonne
2006	Ärzte, Die	Bäst of [Doppelalbum]
2006	Billy Talent	Billy Talent II
2006	Buggles, The	The Age of Plastic (1979)
2006	Eagles	Hotel California (1976)
2006	Farin Urlaub Racing Team	Livealbum of Death
2006	Madsen	Goodbye Logik
2006	Mars Volta, The	Amputechture
2006	Queensryche	Operation: Mindcrime [Doppelalbum] (1988)
2006	Tenacious D	The Pick of Destiny
2006	Winehouse, Amy	Back to Black
2006	Wolfmother	Wolfmother
2007	Ärzte, Die	Jazz ist anders
2007	Bon Jovi	Lost Highway
2007	Fantastischen Vier, Die	Fornika
2007	Grönemeyer, Herbert	12
2007	Linkin Park	Minutes to Midnight
2007	MacDonald, Amy	This is the Life
2007	Mars Volta, The	The Bedlam in Goliath
2007	Police, The	The Police [Doppelalbum]
2007	Queens of the Stone Age	Era Vulgaris
2007	Roten Rosen, Die	Wir warten auf's Christkind (1998)
2007	Santana	Ultimate Santana
2007	Vedder, Eddie	Into the Wild
2008	AC/DC	Black Ice
2008	All American Rejects, The	When the World Comes Down
2008	Coldplay	Viva la Vida
2008	Farin Urlaub Racing Team	Die Wahrheit übers Lügen
2008	Guns N' Roses	Chinese Democracy
2008	Lady Gaga	The Fame
2008	Lindenberg, Udo	Stark wie Zwei
2008	Madsen	Frieden im Krieg
2008	Mann, Manfred	The Very Best of Manfred Mann
2008	Metallica	Death Magnetic
2008	Nickelback	Dark Horse
2008	R.E.M.	Accelerate
2008	Torrini, Emiliana	Me & Armini
2009	Billy Talent	Billy Talent III
2009	Emil Bulls	Phoenix
2009	Green Day	21 st Century Breakdown
2009	Lady Gaga	The Fame Monster
2009	Mando Diao	Give me Fire
2009	Mars Volta, The	Octahedron
2009	Muse	The Resistance
2009	Rammstein	Liebe ist für alle da
2009	Them Crooked Vultures	Them Crooked Vultures
2009	U2	No Line on the Horizon
2009	Wolfmother	Cosmic Egg
2010	Eminem	Recovery
2010	Gossip	Music for Men [Extended Version]
2010	Lena	My Cassette Player
2010	MacDonald, Amy	A Curious Thing
2010	Madsen	Labyrinth
2010	Mando Diao	MTV Unplugged: Above and Beyond [Doppelalbum]
2010	Mars, Bruno	Doo-Wops & Hooligans
2010	Scorpions	Sting in the Tail
2010	Unheilig	Große Freiheit
2010	Zaz	Zaz
2011	Adele	21
2011	Blondie	Panic of Girls
2011	Emerson, Lake and Palmer	Tarkus (1971)
2011	Emerson, Lake and Palmer	Pictures at an Exhibition (1971)
2011	Emerson, Lake and Palmer	Trilogy (1972)
2011	Emerson, Lake and Palmer	Brain Salad Surgery (1973)
2011	Foo Fighters	Wasting Light
2011	Lady Gaga	Born This Way
2011	Lena	Good News
2011	Lindenberg, Udo	MTV Unplugged: Live aus dem Hotel Atlantic
2011	Nickelback	Here and Now
2011	Osbourne, Ozzy	Blizzard of Ozz (1980)
2011	Osbourne, Ozzy	Diary of a Madman (1981)
2011	Pink Floyd	More (1969)
2011	Pink Floyd	Meddle (1971)
2011	Pink Floyd	The Dark Side of the Moon (1973)
2011	Pink Floyd	Animals (1977)
2011	R.E.M.	Collapse into Now
2011	Rammstein	Made in Germany
2011	Red Hot Chili Peppers	I'm With You
2011	Scorpions	Comeblack
2012	Ärzte, Die	Auch
2012	Gallagher, Rory	Rory Gallagher (1971)
2012	Gallagher, Rory	Tattoo (1973)
2012	Gallagher, Rory	Against the Grain (1975)
2012	Gallagher, Rory	Calling Card (1976)
2012	Gallagher, Rory	Photo Finish (1978)
2012	Gallagher, Rory	Top Priority (1979)
2012	Madsen	Wo es beginnt
2012	Quinoo, Ivy	Ivy

Veröffentlichung des Tonträgers	Interpret	Album
2012	Rodríguez	Searching for Sugar Man
2012	Tenacious D	Rize of the Fenix
2012	Toten Hosen, Die	Ballast der Republik [Doppelalbum]
2012	Unheilig	Lichter der Stadt
2012	Velvet Underground, The	The Velvet Underground & Nico (1967)
2013	Allman Brothers Band, The	Brothers and Sisters (1973)
2013	Daft Punk	Random Access Memories
2013	Mammüt	Komdu til m in svarta systir
2013	Moore, Gary	Back on the Streets (1977)
2013	Passanger	All the Little Lights
2013	Queens of the Stone Age	...Like Clockwork
2013	Slayer	Reign in Blood (1986)
2013	Slayer	South of Heaven (1988)
2014	AC/DC	Rock or Bust
2014	Blues Pills	Blues Pills
2014	Foo Fighters	Sonic Highways
2014	Pink Floyd	The Endless River
2014	Soundgarden	Superunknown (1994)
2014	Unheilig	Gipfelstürmer
2014	Velvet Underground, The	The Velvet Underground (1969)
2015	Adele	25
2015	Alabama Shakes	Sound & Colour
2015	Coldplay	A Head Full of Dreams
2015	Madonna	Rebel Heart
2016	Bon Jovi	This House is Not for Sale
2016	Bowie, David	Blackstar
2016	Green Day	Revolution Radio
2016	Lady Gaga	Joanne
2016	Metallica	Hardwired... to Self-Destruct [Doppelalbum]
2016	Pink Floyd	Obscured By Clouds (1972)
2016	Pink Floyd	Wish You Were Here (1975)
2016	Red Hot Chili Peppers	The Getaway
2016	Reiser, Rio	Alles und noch viel mehr
2016	Sting	57 th & 9 th
2017	Andersen, Mike	Devil is Back
2017	Prophets of Rage	Prophets of Rage
2017	Queens of the Stone Age	Villians
2017	Rammstein	Paris [Doppelalbum]
2017	Toten Hosen, Die	Laune der Natur

Tabelle 3: eigene Darstellung, untersuchte Alben sortiert nach Erscheinungsjahr des Tonträgers

Anlage 8: Anzahl der untersuchten Musiktitel sortiert nach Erscheinungsjahr

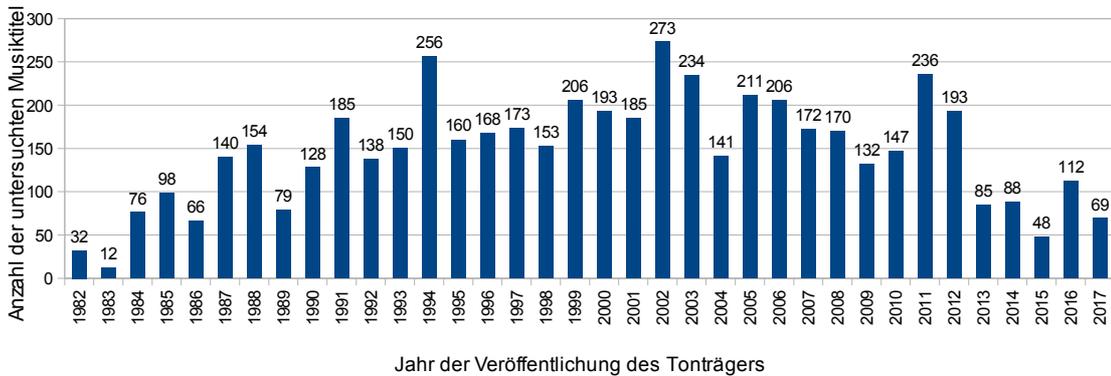


Abbildung 7: eigene Darstellung, Anzahl der untersuchten Musiktitel

Anlage 9: Dynamic Range Messprotokolle der Band Red Hot Chili Peppers

Analyzed: Red Hot Chili Peppers / Blood Sugar Sex Magik (1991)

DR	Peak	RMS	Duration	Track
DR15	-0.20 dB	-16.34 dB	4:04	01-The Power of Equality
DR14	-0.20 dB	-16.10 dB	3:37	02-If You Have to Ask
DR12	-1.71 dB	-15.89 dB	4:55	03-Breaking the Girl
DR14	-0.20 dB	-15.40 dB	5:23	04-Funky Monks
DR13	-0.20 dB	-13.85 dB	3:37	05-Suck My Kiss
DR15	-0.20 dB	-17.54 dB	4:04	06-I Could Have Lied
DR14	-0.64 dB	-15.36 dB	4:00	07-Mellowship Slinky in B Major
DR13	-0.20 dB	-14.69 dB	4:08	08-The Righteous & the Wicked
DR14	-0.20 dB	-14.44 dB	4:43	09-Give It Away
DR14	-0.20 dB	-15.74 dB	4:31	10-Blood Sugar Sex Magik
DR14	-0.51 dB	-18.28 dB	4:24	11-Under the Bridge
DR14	-0.20 dB	-15.02 dB	4:26	12-Naked in the Rain
DR14	-1.19 dB	-15.79 dB	4:42	13-Apache Rose Peacock
DR13	-0.20 dB	-14.38 dB	3:13	14-The Greeting Song
DR14	-0.20 dB	-15.67 dB	4:39	15-My Lovely Man
DR14	-0.20 dB	-15.63 dB	8:17	16-Sir Psycho Sexy
DR14	-0.20 dB	-16.29 dB	1:12	17-They're Red Hot

Number of tracks: 17

Official DR value: DR14

Analyzed: Red Hot Chili Peppers / Californication (1999)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR4	0.00 dB	-5.87 dB	3:59 01-Around the World
DR4	-0.10 dB	-5.28 dB	4:30 02-Parallel Universe
DR4	0.00 dB	-5.66 dB	3:38 03-Scar Tissue
DR4	-0.10 dB	-5.09 dB	4:16 04-Otherside
DR4	-0.09 dB	-5.08 dB	3:18 05-Get on Top
DR4	-0.10 dB	-5.69 dB	5:22 06-Californication
DR3	0.00 dB	-5.02 dB	3:51 07-Easily
DR6	-0.30 dB	-7.59 dB	2:44 08-Porcelain
DR4	0.00 dB	-5.97 dB	4:00 09-Emit Remmus
DR5	-0.10 dB	-6.25 dB	2:38 10-I Like Dirt
DR4	0.00 dB	-6.86 dB	3:45 11-This Velvet Glove
DR4	0.00 dB	-6.14 dB	4:53 12-Savior
DR4	-0.10 dB	-5.99 dB	4:13 13-Purple Stain
DR5	-0.10 dB	-5.90 dB	1:53 14-Right on Time
DR6	-0.30 dB	-7.16 dB	3:26 15-Road Trippin'

Number of tracks: 15

Official DR value: DR4

Analyzed: Red Hot Chili Peppers / By the Way (2002)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR7	-0.10 dB	-9.12 dB	3:38 01-By the Way
DR7	-0.10 dB	-8.04 dB	4:19 02-Universally Speaking
DR6	-0.10 dB	-7.65 dB	4:18 03-This Is the Place
DR7	-0.10 dB	-8.28 dB	5:12 04-Dosed
DR7	0.00 dB	-9.04 dB	4:38 05-Don't Forget Me
DR7	-0.10 dB	-8.04 dB	3:53 06-The Zephyr Song
DR7	-0.10 dB	-8.12 dB	4:29 07-Can't Stop
DR7	-0.10 dB	-9.01 dB	3:14 08-I Could Die for You
DR5	-0.10 dB	-7.71 dB	4:56 09-Midnight
DR7	-0.10 dB	-8.24 dB	3:45 10-Throw Away Your Television
DR6	-0.10 dB	-7.51 dB	3:38 11-Cabron
DR6	-0.10 dB	-8.63 dB	5:17 12-Tear
DR6	-0.10 dB	-7.57 dB	3:28 13-On Mercury
DR7	-0.10 dB	-7.80 dB	3:38 14-Minor Thing
DR6	-0.10 dB	-7.79 dB	4:17 15-Warm Tape
DR6	-0.10 dB	-8.33 dB	6:07 16-Venice Queen

Number of tracks: 16

Official DR value: DR6

Analyzed: Red Hot Chili Peppers / I'm with You (2011)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR3	0.00 dB	-4.36 dB	4:12 01-Monarchy of Roses
DR4	0.00 dB	-5.67 dB	4:22 02-Factory of Faith
DR3	0.00 dB	-5.19 dB	5:40 03-Brendan's Death Song
DR4	0.00 dB	-5.58 dB	3:51 04-Ethiopia
DR4	0.00 dB	-4.99 dB	3:41 05-Annie Wants a Baby
DR4	0.00 dB	-5.03 dB	3:28 06-Look Around
DR4	0.00 dB	-6.10 dB	4:43 07-The Adventures of Rain Dance Maggie
DR4	0.00 dB	-4.64 dB	4:22 08-Did I Let You Know
DR3	0.00 dB	-3.85 dB	3:53 09-Goodbye Hooray
DR4	0.00 dB	-4.99 dB	3:33 10-Happiness Loves Company
DR3	0.00 dB	-5.39 dB	5:36 11-Police Station
DR4	0.00 dB	-5.40 dB	4:01 12-Even You Brutus?
DR4	0.00 dB	-6.29 dB	4:22 13-Meet Me at the Corner
DR4	0.00 dB	-5.69 dB	3:46 14-Dance, Dance, Dance

Number of tracks: 14

Official DR value: DR4

Analyzed: Red Hot Chili Peppers / The Getaway (2016)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR6	-0.39 dB	-7.11 dB	4:10 01-The Getaway
DR5	-0.38 dB	-7.45 dB	5:02 02-Dark Necessities
DR5	-0.35 dB	-5.86 dB	3:20 03-We Turn Red
DR5	-0.36 dB	-7.12 dB	3:32 04-The Longest Wave
DR4	-0.32 dB	-6.93 dB	4:29 05-Goodbye Angels
DR7	-0.37 dB	-7.70 dB	3:41 06-Sick Love
DR7	-0.38 dB	-8.07 dB	4:24 07-Go Robot
DR6	-0.85 dB	-7.56 dB	3:23 08-Feasting on the Flowers
DR5	-0.36 dB	-6.09 dB	3:47 09-Detroit
DR5	-0.39 dB	-7.23 dB	3:35 10-This Ticonderoga
DR5	-0.40 dB	-7.42 dB	4:15 11-Encore
DR5	-0.40 dB	-7.05 dB	4:00 12-The Hunter
DR5	-0.39 dB	-8.03 dB	6:09 13-Dreams of a Samurai

Number of tracks: 13

Official DR value: DR5

Anlage 10: Dynamic Range Messprotokolle der Band Metallica

Analyzed: Metallica / Master of Puppets (1989)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR12	0.00 dB	-13.59 dB	5:13 01-Battery
DR13	0.00 dB	-15.49 dB	8:35 02-Master of Puppets
DR12	-0.22 dB	-14.02 dB	6:36 03-The Thing That Should Not Be
DR12	0.00 dB	-13.90 dB	6:27 04-Welcome Home (Sanitarium)
DR12	-0.23 dB	-12.69 dB	8:17 05-Disposable Heroes
DR12	0.00 dB	-14.34 dB	5:40 06-Leper Messiah
DR12	0.00 dB	-14.98 dB	8:27 07-Orion
DR12	0.00 dB	-14.29 dB	5:32 08-Damage, Inc.

Number of tracks: 8

Official DR value: DR12

Analyzed: Metallica / Metallica (1991)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR11	0.00 dB	-12.31 dB	5:32 01-Enter Sandman
DR11	0.00 dB	-12.18 dB	5:25 02-Sad But True
DR10	0.00 dB	-11.32 dB	3:48 03-Holier Than Thou
DR11	0.00 dB	-13.29 dB	6:27 04-The Unforgiven
DR10	0.00 dB	-12.06 dB	6:44 05-Wherever I May Roam
DR11	0.00 dB	-11.95 dB	4:00 06-Don't Tread on Me
DR10	0.00 dB	-10.79 dB	4:04 07-Through the Never
DR12	0.00 dB	-15.01 dB	6:29 08-Nothing Else Matters
DR11	0.00 dB	-12.27 dB	4:17 09-Of Wolf and Man
DR10	0.00 dB	-11.09 dB	5:09 10-The God That Failed
DR10	0.00 dB	-12.31 dB	6:50 11-My Friend of Misery
DR11	0.00 dB	-12.13 dB	3:54 12-The Struggle Within

Number of tracks: 12

Official DR value: DR11

 Analyzed: Metallica / Load (1996)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR6	0.00 dB	-7.87 dB	5:04 01-Ain't My Bitch
DR6	0.00 dB	-7.31 dB	5:28 02-2 X 4
DR6	0.00 dB	-8.02 dB	6:39 03-The House Jack Built
DR5	0.00 dB	-7.24 dB	4:28 04-Until It Sleeps
DR6	0.00 dB	-8.12 dB	5:30 05-King Nothing
DR7	0.00 dB	-9.08 dB	4:22 06-Hero of the Day
DR6	0.00 dB	-9.21 dB	8:18 07-Bleeding Me
DR7	0.00 dB	-8.25 dB	4:54 08-Cure
DR7	0.00 dB	-8.82 dB	4:00 09-Poor Twisted Me
DR7	0.00 dB	-8.83 dB	3:57 10-Wasting My Hate
DR7	0.00 dB	-10.55 dB	5:20 11-Mama Said
DR7	0.00 dB	-8.31 dB	5:52 12-Thorn Within
DR8	0.00 dB	-9.70 dB	5:17 13-Ronnie
DR8	0.00 dB	-9.60 dB	9:49 14-The Outlaw Torn

Number of tracks: 14

Official DR value: DR7

 Analyzed: Metallica / Reload (1997)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR6	0.00 dB	-6.95 dB	4:30 01-Fuel
DR6	0.00 dB	-7.47 dB	4:39 02-The Memory Remains
DR7	0.00 dB	-8.24 dB	5:19 03-Devil's Dance
DR6	0.00 dB	-8.28 dB	6:36 04-The Unforgiven II
DR6	0.00 dB	-7.91 dB	5:22 05-Better Than You
DR6	0.00 dB	-7.36 dB	5:13 06-Slither
DR6	0.00 dB	-7.05 dB	6:12 07-Carpe Diem Baby
DR6	0.00 dB	-7.72 dB	4:05 08-Bad Seed
DR5	0.00 dB	-7.20 dB	6:54 09-Where the Wild Things Are
DR6	0.00 dB	-7.22 dB	6:05 10-Prince Charming
DR7	0.00 dB	-9.62 dB	7:37 11-Low Man's Lyric
DR7	0.00 dB	-7.74 dB	5:17 12-Attitude
DR6	0.00 dB	-8.12 dB	8:15 13-Fixxxer

Number of tracks: 13

Official DR value: DR6

 Analyzed: Metallica / Garage, Inc. Disc 1 (1998)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR7	0.00 dB	-7.77 dB	2:35 01-Free Speech for the Dumb
DR5	0.00 dB	-6.74 dB	3:34 02-It's Electric
DR7	0.00 dB	-7.78 dB	6:20 03-Sabbara Cadabra
DR6	0.00 dB	-7.62 dB	6:06 04-Turn the Page
DR5	0.00 dB	-6.32 dB	2:29 05-Die, Die My Darling
DR6	0.00 dB	-9.52 dB	7:53 06-Loverman
DR6	0.00 dB	-7.16 dB	11:11 07-Mercyful Fate
DR6	0.00 dB	-9.31 dB	6:38 08-Astronomy
DR7	0.00 dB	-7.41 dB	5:05 09-Whiskey in the Jar
DR7	0.00 dB	-9.27 dB	9:06 10-Tuesday's Gone
DR7	0.00 dB	-8.36 dB	4:49 11-The More I See

Number of tracks: 11

Official DR value: DR6

 Analyzed: Metallica / Garage, Inc. Disc 2 (1998)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR7	0.00 dB	-8.21 dB	6:38 01-Helpless
DR6	0.00 dB	-7.99 dB	6:43 02-The Small Hours
DR6	0.00 dB	-7.64 dB	4:55 03-The Wait
DR6	0.00 dB	-7.90 dB	3:10 04-Crash Course in Brain Surgery
DR7	0.00 dB	-7.96 dB	3:30 05-Last Caress/Green Hell
DR7	0.00 dB	-8.19 dB	7:50 06-Am I Evil?
DR7	0.00 dB	-8.40 dB	3:37 07-Blitzkrieg
DR7	0.00 dB	-9.08 dB	5:41 08-Breadfan
DR7	0.00 dB	-8.08 dB	4:26 09-The Prince
DR6	0.00 dB	-7.38 dB	2:18 10-Stone Cold Crazy
DR6	0.00 dB	-6.85 dB	3:09 11-So What
DR7	0.00 dB	-8.13 dB	3:04 12-Killing Time
DR6	0.00 dB	-6.85 dB	4:05 13-Overkill
DR7	0.00 dB	-7.59 dB	3:40 14-Damage Case
DR6	0.00 dB	-7.54 dB	4:52 15-Stone Dead Forever
DR7	0.00 dB	-7.55 dB	3:12 16-Too Late Too Late

Number of tracks: 16

Official DR value: DR7

Analyzed: Metallica / St. Anger (2003)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR5	0.00 dB	-6.71 dB	5:50 01-Frantic
DR5	-0.10 dB	-6.22 dB	7:21 02-St. Anger
DR6	0.00 dB	-7.17 dB	8:26 03-Some Kind of Monster
DR5	-0.10 dB	-6.83 dB	5:25 04-Dirty Window
DR7	-0.10 dB	-7.84 dB	8:30 05-Invisible Kid
DR5	-0.10 dB	-6.78 dB	5:46 06-My World
DR6	-0.10 dB	-7.23 dB	7:10 07-Shoot Me Again
DR5	-0.10 dB	-7.19 dB	5:27 08-Sweet Amber
DR6	-0.10 dB	-7.39 dB	7:09 09-Unnamed Feeling
DR5	0.00 dB	-6.09 dB	5:14 10-Purify
DR5	0.00 dB	-6.61 dB	8:50 11-All Within My Hands

Number of tracks: 11

Official DR value: DR5

Analyzed: Metallica / Death Magnetic (2008)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR4	0.00 dB	-5.39 dB	7:08 01-That Was Just Your Life
DR4	0.00 dB	-5.18 dB	7:52 02-The End of the Line
DR3	0.00 dB	-4.17 dB	6:25 03-Broken, Beat & Scarred
DR2	0.00 dB	-3.81 dB	7:56 04-The Day That Never Comes
DR3	0.00 dB	-3.99 dB	7:58 05-All Nightmare Long
DR3	0.00 dB	-3.92 dB	6:40 06-Cyanide
DR4	0.00 dB	-6.25 dB	7:47 07-The Unforgiven III
DR3	0.00 dB	-3.82 dB	8:01 08-The Judas Kiss
DR4	0.00 dB	-5.02 dB	9:58 09-Suicide & Redemption
DR3	0.00 dB	-3.59 dB	5:01 10-My Apocalypse

Number of tracks: 10

Official DR value: DR3

Analyzed: Metallica / Hardwired...To Self-Destruct Disc 1 (2016)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR5	-0.10 dB	-6.30 dB	3:09 01-Hardwired
DR6	-0.10 dB	-6.61 dB	6:29 02-Atlas, Rise!
DR5	-0.10 dB	-6.33 dB	6:59 03-Now That We're Dead
DR5	-0.10 dB	-6.37 dB	5:51 04-Moth into Flame
DR5	-0.10 dB	-6.45 dB	6:30 05-Dream No More
DR5	-0.10 dB	-6.83 dB	8:15 06-Halo on Fire

Number of tracks: 6

Official DR value: DR5

Analyzed: Metallica / Hardwired...To Self-Destruct Disc 2 (2016)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR6	-0.10 dB	-6.67 dB	6:41 01-Confusion
DR6	-0.10 dB	-6.99 dB	6:56 02-Man UNkind
DR6	-0.10 dB	-6.83 dB	7:18 03-Here Comes Revenge
DR5	-0.10 dB	-6.59 dB	6:30 04-Am I Savage?
DR6	-0.10 dB	-6.89 dB	5:45 05-Murder One
DR6	-0.10 dB	-6.96 dB	7:09 06-Spit Out the Bone

Number of tracks: 6

Official DR value: DR6

Anlage 11: Dynamic Range Messprotokolle der Sängerin Madonna

Analyzed: Madonna / Like a Virgin (1984)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR14	-2.33 dB	-19.08 dB	4:03 01-Material Girl
DR13	-2.67 dB	-17.84 dB	3:56 02-Angel
DR16	0.00 dB	-18.46 dB	3:39 03-Like a Virgin
DR14	-1.65 dB	-17.50 dB	4:12 04-Over and Over
DR15	-0.56 dB	-19.80 dB	4:51 05-Love Don't Live Here Anymore
DR14	-1.47 dB	-17.96 dB	4:44 06-Into the Groove
DR15	-0.51 dB	-17.23 dB	4:01 07-Dress You Up
DR15	0.00 dB	-17.42 dB	5:17 08-Shoo-Bee-Doo
DR14	-1.64 dB	-17.32 dB	4:30 09-Pretender
DR14	0.00 dB	-16.33 dB	4:08 10-Stay

Number of tracks: 10

Official DR value: DR14

Analyzed: Madonna / True Blue (1986)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR12	0.00 dB	-13.77 dB	4:29 01-Papa Don't Preach
DR12	0.00 dB	-13.71 dB	4:13 02-Open Your Heart
DR12	0.00 dB	-13.43 dB	4:40 03-White Heat
DR12	0.00 dB	-14.61 dB	5:52 04-Live to Tell
DR12	0.00 dB	-12.90 dB	4:21 05-Where's the Party
DR13	0.00 dB	-13.99 dB	4:18 06-True Blue
DR13	0.00 dB	-15.19 dB	4:03 07-La Isla Bonita
DR13	0.00 dB	-14.28 dB	3:56 08-Jimmy, Jimmy
DR13	0.00 dB	-14.26 dB	4:32 09-Love Makes the World Go Round

Number of tracks: 9

Official DR value: DR12

 Analyzed: Madonna / Like a Prayer (1989)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR15	0.00 dB	-17.64 dB	5:42 01-Like a Prayer
DR15	-0.14 dB	-16.43 dB	4:39 02-Express Yourself
DR16	0.00 dB	-18.43 dB	4:53 03-Love Song
DR15	0.00 dB	-16.63 dB	5:18 04-Promise to Try
DR12	-7.60 dB	-22.88 dB	3:38 05-Till Death Do Us Part
DR15	0.00 dB	-16.65 dB	5:04 06-Cherish
DR12	-4.68 dB	-20.26 dB	4:21 07-Dear Jessie
DR12	-0.65 dB	-17.33 dB	4:59 08-Oh Father
DR15	0.00 dB	-16.60 dB	5:03 09-Keep It Together
DR15	-0.09 dB	-17.43 dB	5:18 10-Spanish Eyes
DR15	-0.05 dB	-17.75 dB	2:20 11-Act of Contrition

Number of tracks: 11

Official DR value: DR14

 Analyzed: Madonna / Ray of Light (1998)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR7	-0.01 dB	-9.57 dB	5:09 01-Drowned World/Substitute for Love
DR8	-0.01 dB	-9.95 dB	5:01 02-Swim
DR7	-0.01 dB	-8.80 dB	5:21 03-Ray of Light
DR7	-0.01 dB	-9.52 dB	4:37 04-Candy Perfume Girl
DR7	-0.01 dB	-9.36 dB	6:22 05-Skin
DR7	-0.01 dB	-9.02 dB	4:27 06-Nothing Really Matters
DR7	-0.01 dB	-8.14 dB	4:48 07-Sky Fits Heaven
DR6	-0.01 dB	-8.56 dB	4:29 08-Shanti/Ashtangi
DR8	-0.01 dB	-12.10 dB	6:13 09-Frozen
DR8	-0.01 dB	-9.85 dB	4:12 10-The Power of Good-Bye
DR8	-0.01 dB	-9.66 dB	5:23 11-To Have and Not to Hold
DR8	-0.01 dB	-10.01 dB	5:18 12-Little Star
DR11	-0.02 dB	-16.06 dB	5:32 13-Mer Girl

Number of tracks: 13

Official DR value: DR8

 Analyzed: Madonna / Music (2000)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR8	0.00 dB	-9.65 dB	3:45 01-Music
DR7	-0.01 dB	-9.48 dB	3:38 02-Impressive Instant
DR8	0.00 dB	-9.43 dB	4:47 03-Runaway Lover
DR9	-0.24 dB	-10.99 dB	4:24 04-I Deserve It
DR7	0.00 dB	-8.99 dB	3:43 05-Amazing
DR9	0.00 dB	-11.10 dB	4:59 06-Nobody's Perfect
DR9	0.00 dB	-10.74 dB	4:40 07-Don't Tell Me
DR7	-0.43 dB	-9.29 dB	4:44 08-What It Feels Like for a Girl
DR8	0.00 dB	-10.35 dB	6:34 09-Paradise (Not for Me)
DR9	0.00 dB	-11.41 dB	3:29 10-Gone
DR7	0.00 dB	-9.90 dB	4:36 11-American Pie

Number of tracks: 11

Official DR value: DR8

 Analyzed: Madonna / Confessions on a Dance Floor (2005)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR7	-0.06 dB	-8.08 dB	5:36 01-Hung Up
DR6	-0.29 dB	-7.36 dB	5:31 02-Get Together
DR5	-0.36 dB	-7.34 dB	4:43 03-Sorry
DR5	-0.01 dB	-8.21 dB	4:51 04-Future Lovers
DR6	-0.10 dB	-7.68 dB	4:12 05-I Love New York
DR6	-0.10 dB	-8.66 dB	4:19 06-Let It Will Be
DR7	-0.10 dB	-9.40 dB	4:22 07-Forbidden Love
DR6	-0.10 dB	-7.87 dB	3:46 08-Jump
DR6	-0.01 dB	-8.86 dB	4:40 09-How High
DR6	0.00 dB	-8.28 dB	6:04 10-Isaac
DR7	0.00 dB	-8.21 dB	3:57 11-Push
DR6	0.00 dB	-7.17 dB	4:32 12-Like It or Not

Number of tracks: 12

Official DR value: DR6

Analyzed: Madonna / Rebel Heart (2015)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR3	-0.01 dB	-5.76 dB	3:39 01-Living For Love
DR5	-0.01 dB	-7.70 dB	4:06 02-Devil Pray
DR5	-0.01 dB	-6.81 dB	4:10 03-Ghosttown
DR4	-0.01 dB	-4.99 dB	3:51 04-Unapologetic Bitch
DR4	-0.01 dB	-5.46 dB	3:45 05-Illuminati
DR3	-0.01 dB	-5.27 dB	3:47 06-Bitch I'm Madonna
DR5	-0.01 dB	-7.25 dB	3:37 07-Hold Tight
DR7	-0.01 dB	-9.89 dB	4:02 08-Joan of Arc
DR4	-0.01 dB	-6.13 dB	4:33 09-Iconic
DR6	-0.01 dB	-8.93 dB	3:34 10-HeartBreakCity
DR7	-0.01 dB	-9.45 dB	3:39 11-Body Shop
DR5	-0.01 dB	-8.11 dB	4:09 12-Holy Water
DR6	-0.01 dB	-7.87 dB	4:24 13-Inside Out
DR7	-0.01 dB	-10.15 dB	4:01 14-Wash All Over Me

Number of tracks: 14

Official DR value: DR5

Anlage 12: Dynamic Range Messprotokolle der Band Bon Jovi

 Analyzed: Bon Jovi / Slippery When Wet (1986)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR12	-1.80 dB	-15.74 dB	5:24 01-Let It Rock
DR13	-0.40 dB	-15.65 dB	3:44 02-You Give Love a Bad Name
DR13	-0.40 dB	-15.78 dB	4:10 03-Livin' on a Prayer
DR13	-0.40 dB	-15.22 dB	4:19 04-Social Disease
DR13	-0.40 dB	-16.76 dB	5:10 05-Wanted Dead or Alive
DR13	-0.40 dB	-15.07 dB	4:18 06-Raise Your Hands
DR13	-0.82 dB	-15.38 dB	3:41 07-Without Love
DR12	-0.40 dB	-14.51 dB	4:32 08-I'd Die for You
DR13	-1.06 dB	-16.50 dB	4:50 09-Never Say Goodbye
DR13	-0.52 dB	-16.23 dB	3:55 10-Wild in the Streets

Number of tracks: 10

Official DR value: DR13

 Analyzed: Bon Jovi / Keep The Faith (1992)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR9	0.00 dB	-10.81 dB	5:49 01-I Believe
DR9	0.00 dB	-10.80 dB	5:46 02-Keep The Faith
DR9	0.00 dB	-11.20 dB	4:43 03-I'll Sleep When I'm Dead
DR9	0.00 dB	-10.92 dB	5:19 04-In These Arms
DR9	0.00 dB	-12.23 dB	6:34 05-Bed Of Roses
DR9	0.00 dB	-11.37 dB	4:27 06-If I Was Your Mother
DR10	0.00 dB	-13.18 dB	9:52 07-Dry County
DR9	0.00 dB	-9.99 dB	3:49 08-Woman In Love
DR10	0.00 dB	-10.79 dB	3:06 09-Fear
DR10	0.00 dB	-11.54 dB	5:36 10-I Want You
DR10	0.00 dB	-11.52 dB	4:25 11-Blame It On The Love Of Rock & Roll
DR10	0.00 dB	-12.15 dB	5:45 12-Little Bit Of Soul
DR10	0.00 dB	-11.83 dB	5:57 13-Save A Prayer

Number of tracks: 13

Official DR value: DR9

 Analyzed: Bon Jovi / Cross Road (1994)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR9	0.00 dB	-10.36 dB	4:11 01-Livin' on a Prayer
DR8	0.00 dB	-9.62 dB	5:45 02-Keep the Faith
DR7	0.00 dB	-9.65 dB	4:40 03-Someday I'll Be Saturday Night
DR7	-0.01 dB	-9.57 dB	5:53 04-Always
DR8	0.00 dB	-11.26 dB	5:08 05-Wanted Dead or Alive
DR8	0.00 dB	-10.35 dB	5:59 06-Lay Your Hands on Me
DR8	0.00 dB	-9.44 dB	3:44 07-You Give Love a Bad Name
DR8	0.00 dB	-10.90 dB	6:35 08-Bed of Roses
DR9	0.00 dB	-11.54 dB	5:40 09-Blaze of Glory
DR8	0.00 dB	-9.97 dB	5:19 10-In these Arms
DR9	0.00 dB	-9.96 dB	5:17 11-Bad Medicine
DR9	0.00 dB	-10.64 dB	5:42 12-I'll Be There for You
DR9	0.00 dB	-10.33 dB	4:27 13-In and Out of Love
DR8	0.00 dB	-9.01 dB	3:53 14-Runaway
DR9	0.00 dB	-10.50 dB	4:51 15-Never say Goodbye

Number of tracks: 15

Official DR value: DR8

 Analyzed: Bon Jovi / Crush (2000)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR6	-0.50 dB	-7.76 dB	3:44 01-It's My Life
DR7	0.00 dB	-8.49 dB	3:33 02-Say It Isn't So
DR7	0.00 dB	-10.69 dB	5:09 03-Thank You for Loving Me
DR7	0.00 dB	-9.13 dB	5:10 04-Two Story Town
DR7	0.00 dB	-8.51 dB	6:19 05-Next 100 Years
DR7	0.00 dB	-8.62 dB	4:29 06-Just Older
DR7	0.00 dB	-8.73 dB	5:15 07-Mystery Train
DR7	-0.01 dB	-9.02 dB	5:32 08-Save the World
DR7	0.00 dB	-8.71 dB	4:31 09-Captain Crash & The Beauty Queen from Mars
DR9	-0.50 dB	-10.86 dB	5:18 10-She's a Mystery
DR7	-0.01 dB	-8.87 dB	4:37 11-I Got the Girl
DR6	0.00 dB	-8.04 dB	4:18 12-One Wild Night
DR7	0.00 dB	-9.37 dB	4:39 13-I Could Make a Living Out of Lovin' You

Number of tracks: 13

Official DR value: DR7

Analyzed: Bon Jovi / Bounce (2002)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR7	0.00 dB	-7.50 dB	3:53 01-Undivided
DR7	0.00 dB	-7.68 dB	3:00 02-Everyday
DR7	0.00 dB	-8.15 dB	4:48 03-The Distance
DR6	0.00 dB	-7.81 dB	4:54 04-Joey
DR7	0.00 dB	-7.80 dB	3:30 05-Misunderstood
DR7	0.00 dB	-9.03 dB	3:46 06-All About Lovin' You
DR7	0.00 dB	-8.44 dB	3:54 07-Hook Me Up
DR7	0.00 dB	-9.42 dB	5:50 08-Right Side of Wrong
DR7	0.00 dB	-8.67 dB	4:09 09-Love Me Back to Life
DR8	0.00 dB	-10.35 dB	3:50 10-You Had Me From Hello
DR7	0.00 dB	-8.19 dB	3:12 11-Bounce
DR7	0.00 dB	-9.49 dB	4:22 12-Open All Night

Number of tracks: 12

Official DR value: DR7

Analyzed: Bon Jovi / Have a Nice Day (2005)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR7	0.00 dB	-7.83 dB	3:49 01-Have a Nice Day
DR7	0.00 dB	-8.83 dB	3:49 02-I Want to Be Loved
DR7	0.00 dB	-9.12 dB	3:47 03-Welcome to Wherever You Are
DR7	0.00 dB	-8.30 dB	4:41 04-Who Says You Can't Go Home
DR7	0.00 dB	-8.48 dB	4:37 05-Last Man Standing
DR7	0.00 dB	-8.46 dB	4:56 06-Bells of Freedom
DR7	0.00 dB	-8.74 dB	4:14 07-Wildflower
DR7	0.00 dB	-9.04 dB	3:38 08-Last Cigarette
DR7	0.00 dB	-8.44 dB	3:54 09-I Am
DR7	0.00 dB	-8.07 dB	3:37 10-Complicated
DR7	0.00 dB	-9.18 dB	4:49 11-Novocaine
DR7	0.00 dB	-8.95 dB	4:09 12-Story of My Life
DR7	0.00 dB	-8.13 dB	3:33 13-Dirty Little Secret

Number of tracks: 13

Official DR value: DR7

 Analyzed: Bon Jovi / Lost Highway (2007)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR6	-0.01 dB	-7.90 dB	4:14 01-Lost Highway
DR6	-0.01 dB	-7.71 dB	3:19 02-Summertime
DR7	-0.01 dB	-8.87 dB	4:38 03-(You Want To) Make a Memory
DR7	-0.01 dB	-8.84 dB	4:18 04-Whole Lot of Leavin'
DR7	-0.01 dB	-7.95 dB	4:13 05-We Got It Going On
DR6	-0.01 dB	-8.12 dB	4:04 06-Any Other Day
DR7	-0.01 dB	-9.64 dB	4:23 07-Seat Next to You
DR6	-0.01 dB	-7.90 dB	4:13 08-Everybody's Broken
DR6	-0.01 dB	-8.55 dB	4:45 09-Till We Ain't Strangers Anymore
DR6	-0.01 dB	-7.60 dB	3:33 10-The Last Night
DR7	-0.01 dB	-8.75 dB	3:38 11-One Step Closer
DR6	-0.01 dB	-7.35 dB	4:38 12-I Love This Town

Number of tracks: 12

Official DR value: DR6

 Analyzed: Bon Jovi / This House Is Not for Sale (2016)

DR	Peak	RMS	Duration Track
DR4	0.00 dB	-5.56 dB	3:37 01-This House Is Not for Sale
DR4	0.00 dB	-5.73 dB	4:45 02-Living With the Ghost
DR4	-0.01 dB	-5.66 dB	3:31 03-Knockout
DR5	0.00 dB	-6.82 dB	5:04 04-Labor of Love
DR5	0.00 dB	-6.42 dB	3:33 05-Born Again Tomorrow
DR4	0.00 dB	-6.63 dB	3:40 06-Roller Coaster
DR5	0.00 dB	-6.06 dB	4:27 07-New Year's Day
DR5	0.00 dB	-6.52 dB	3:19 08-The Devil's in the Temple
DR6	0.00 dB	-8.47 dB	5:06 09-Scars on This Guitar
DR5	0.00 dB	-6.02 dB	3:23 10-God Bless This Mess
DR4	0.00 dB	-6.05 dB	4:14 11-Reunion
DR5	0.00 dB	-6.39 dB	4:34 12-Come On up to Our House

Number of tracks: 12

Official DR value: DR5

Anlage 13: Rückgang der Dynamic Range am Beispiel von Red Hot Chili Peppers

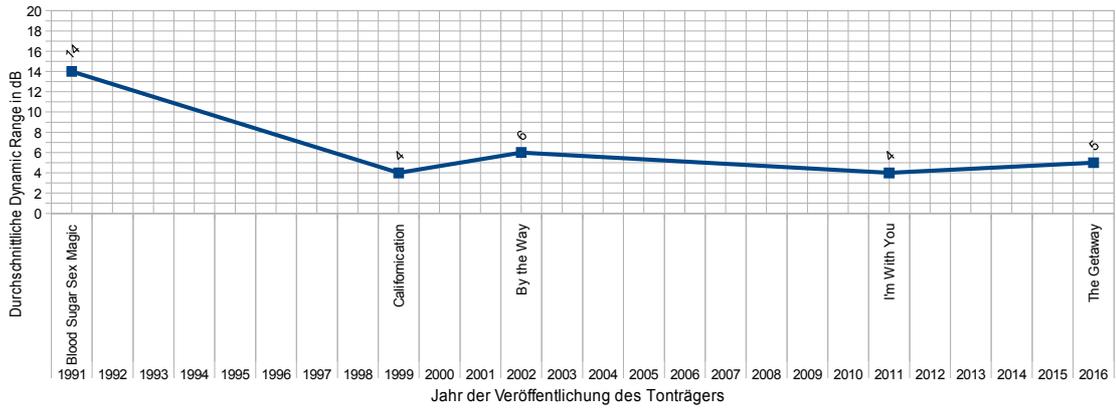


Abbildung 8: eigene Darstellung, Durchschnittliche Dynamic Range von Veröffentlichungen der Band Red Hot Chili Peppers

Anlage 14: Rückgang der Dynamic Range am Beispiel von Metallica

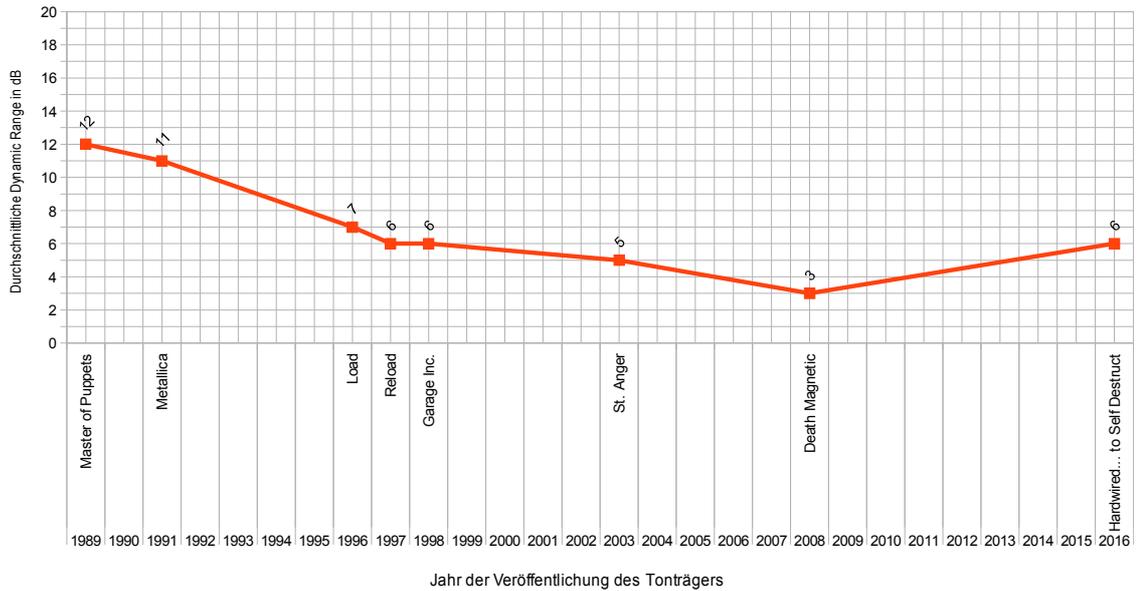


Abbildung 9: eigene Darstellung, Durchschnittliche Dynamic Range von Veröffentlichungen der Band Metallica

Anlage 15: Rückgang der Dynamic Range am Beispiel von Madonna

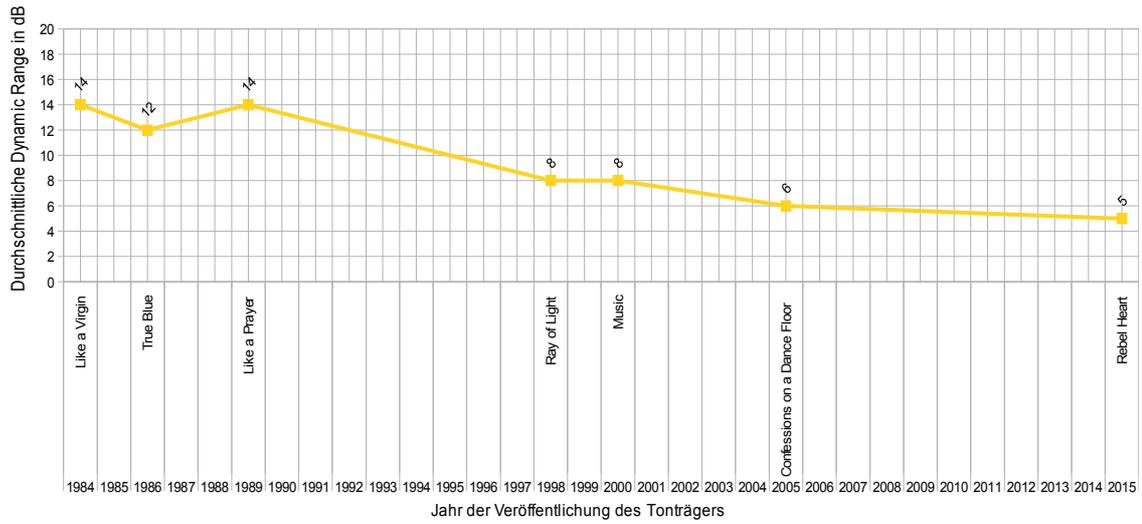


Abbildung 10: eigene Darstellung, Durchschnittliche Dynamic Range von Veröffentlichungen von Madonna

Anlage 16: Rückgang der Dynamic Range am Beispiel von Bon Jovi

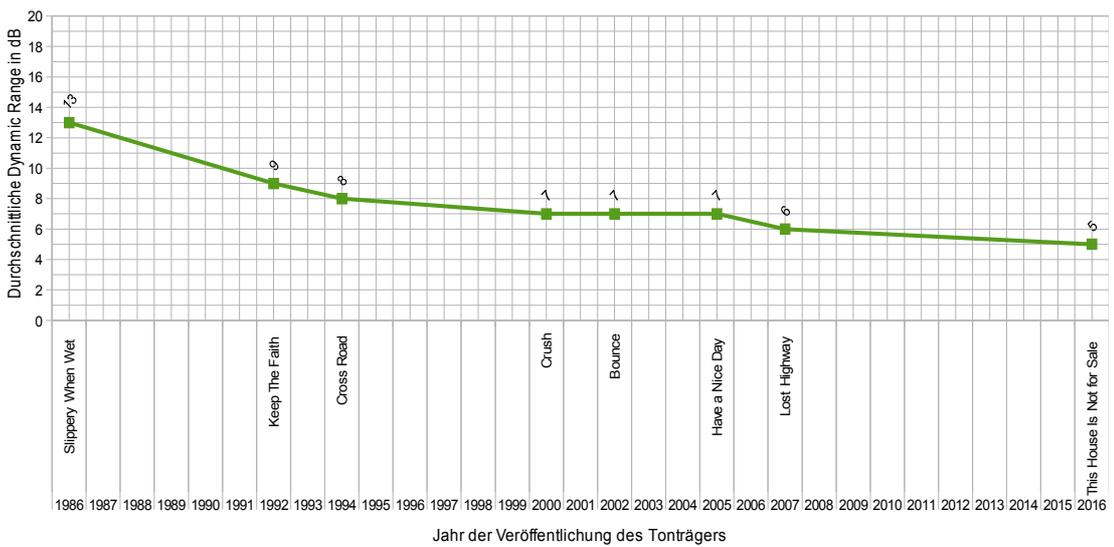


Abbildung 11: eigene Darstellung, Durchschnittliche Dynamic Range von Veröffentlichungen der Band Bon Jovi

Anlage 17: Rückgang der Dynamic Range anhand der aufgeführten Beispiele

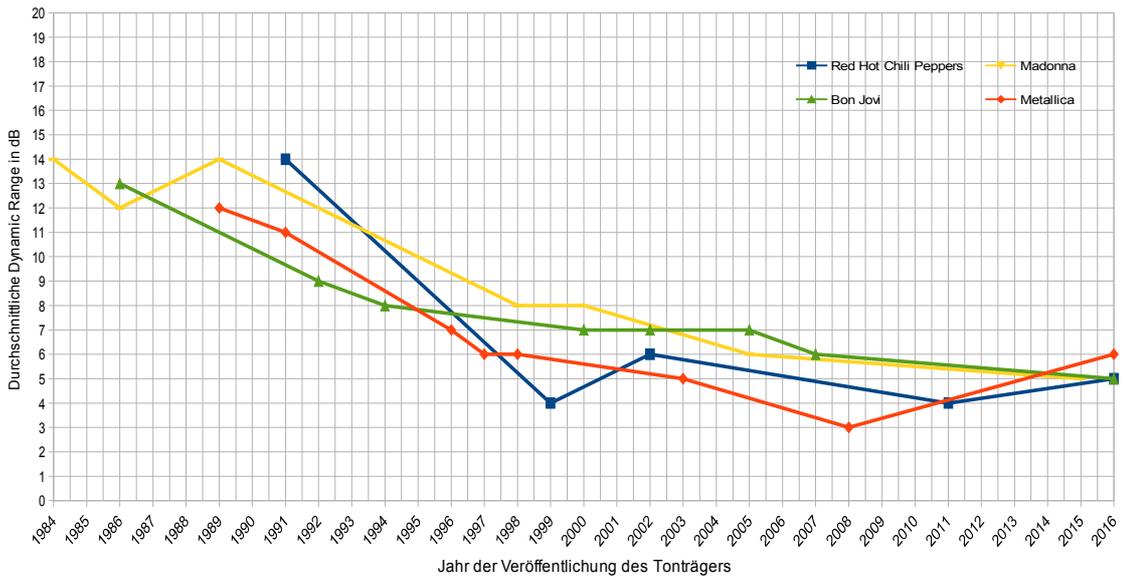


Abbildung 12: eigene Darstellung, Rückgang der Dynamic Range am Beispiel der vier betrachteten Interpreten

Anlage 18: Durchschnittspegel aller untersuchten Musiktitel

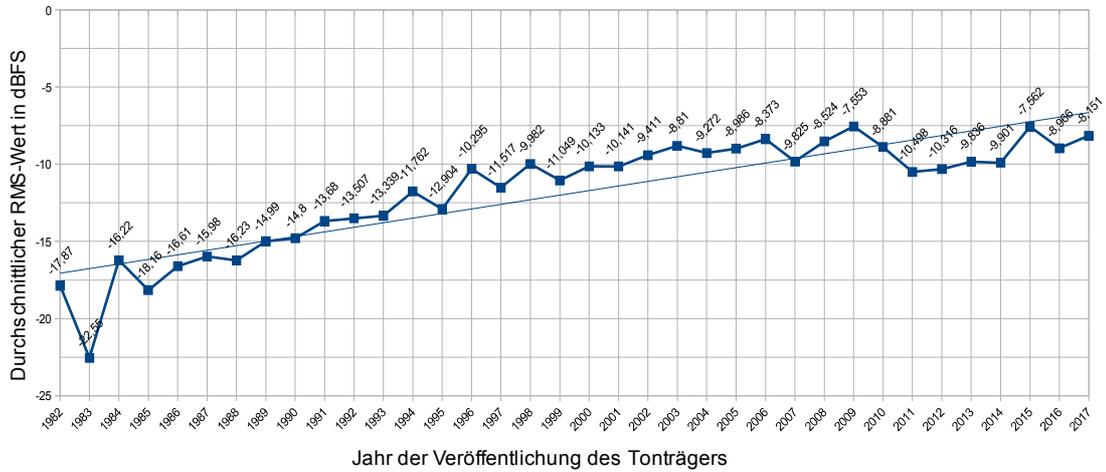


Abbildung 13: eigene Darstellung, Durchschnittlicher RMS-Wert der untersuchten Musiktitel

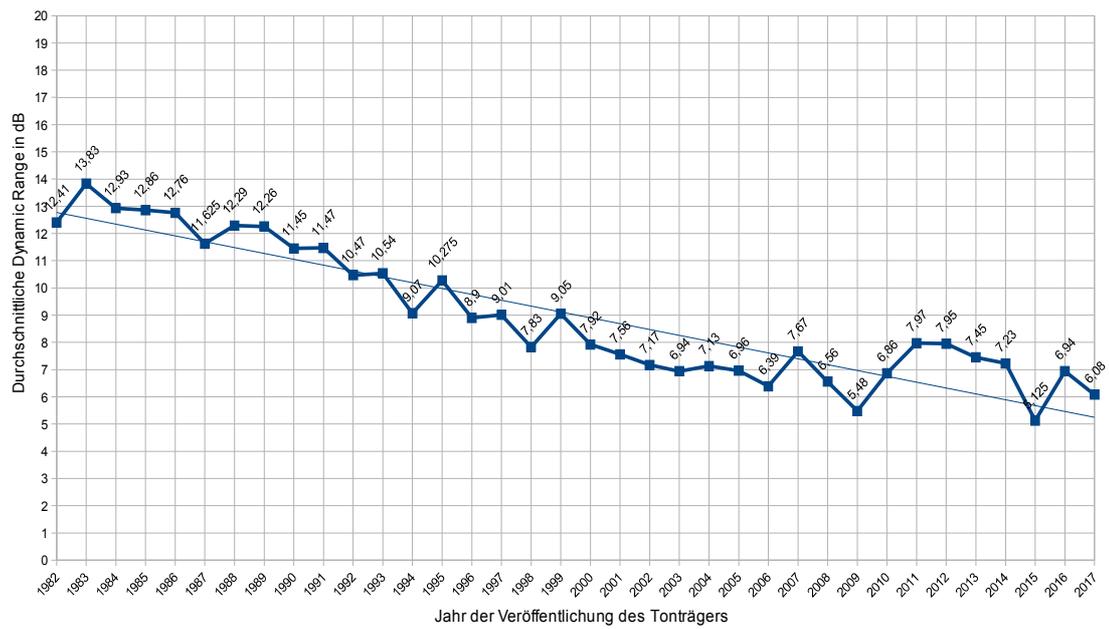
Anlage 19: Durchschnittliche Dynamic Range aller untersuchten Musiktitel

Abbildung 14: eigene Darstellung, Durchschnittliche Dynamic Range der untersuchten Musiktitel

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, den TT. Monat JJJJ

Unterschrift