

# Masterarbeit

Hochschule der Medien Stuttgart

Fakultät Electronic Media

Studiengang Elektronische Medien

## Integration von Lautheitsmessung und -pegelung in digitale Live- und Produktionsmischpulte

---

*Untersuchung und Definition erforderlicher Anforderungen*



# Masterarbeit

Hochschule der Medien Stuttgart

Fakultät Electronic Media

Studiengang Elektronische Medien

## Integration von Lautheitsmessung und -pegelung in digitale Live- und Produktionsmischpulte

---

*Untersuchung und Definition erforderlicher Anforderungen*

vorgelegt von: Jeffrey Strößner (Matrikel-Nr. 21122)

am: 07.03.2011

Erstprüfer: Prof. Oliver Curdt (HdM Stuttgart)

Zweitprüfer: Felix Krückels (Lawo AG)

## Erklärung

Hiermit erkläre ich, Jeffrey Strößner, an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen meiner Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, habe ich in jedem Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht. Dasselbe gilt sinngemäß für Tabellen und Abbildungen. Diese Arbeit hat in dieser oder einer ähnlichen Form noch nicht im Rahmen einer anderen Prüfung vorgelegen.

Stuttgart, den 7. März 2011

---

Jeffrey Strößner

## Kurzfassung

Diese Arbeit untersucht, wie eine Lautheitsmessung und -pegelung in ein digitales Mischpult-System implementiert werden kann. Dabei steht die Problemstellung des Rundfunks im Vordergrund. Dort sind Lautheitssprünge immer wieder ein Grund für massive Zuschauerbeschwerden.

Mit der eingesetzten Messtechnik ist eine Bewertung des subjektiven Parameters Lautheit nicht möglich. Mit Erscheinen der ITU-R BS.1770 liegt nun zum ersten Mal ein internationaler Standard vor, der die Bestimmung des subjektiven Parameters Lautheit mit einer objektiven Messgröße festlegt. Dieser Algorithmus wurde von länderübergreifenden Organisationen wie der European Broadcasting Union aufgegriffen und es wurden Standards und Empfehlungen für einen Einsatz im Rundfunk geschaffen. Diese geben die grundlegenden Richtlinien für eine Umsetzung in einem Mischpult vor und werden in der Arbeit erläutert.

Um die Anforderungen für eine Mischpultintegration zu analysieren wird mit Hilfe einer Entwicklungsumgebung eine Integration simuliert. In einem Mischversuch werden mit Anwendern aus der Praxis Erfahrungen gesammelt und diese in einer Bedarfsanalyse zusammengestellt. Die Vorgaben aus den Standardisierungen und die Erkenntnisse der Bedarfsanalyse liefern erste Anforderungen und Empfehlungen, wie Lautheitsmessung und -pegelung in einem Live- und Produktionsmischpult umgesetzt werden kann. Ergebnis der Arbeit ist die Spezifikation für eine Umsetzung und Integration in das Mischpultsystem Lawo mc<sup>2</sup>.

Schlüsselworte: Lautheit, Lautstärke, Aussteuerung, Mischpult, Fernsehproduktion

## Abstract

This thesis explores how loudness metering and levelling can be integrated into a digital mixing console. The main focus is the loudness problem in broadcast applications. Consistently there are complaints about loudness jumps. With the commonly used metering instruments, the subjective parameters of loudness cannot be estimated.

With the publication of ITU-R BS.1770, there is a first international standard for a metering algorithm that provides an indication of perceived loudness. This algorithm was used by organisations such as the European Broadcasting Union to deliver standards and recommendations for use in broadcast environments. These documents are discussed in this thesis and can be considered as general guidelines for implementing loudness metering.

Since there is no experience with loudness metering in a mixing console, a compulsive first step is the creation of a proprietary workflow environment, which simulates integration. The feedback of experienced Sound Engineers mixing under these conditions was used for a needs assessment. With the given recommendations and based on the experience gained in the mixing test, relevant parameters and definitions for an implementation of loudness metering and loudness levelling could be found. The final result of this work is a specification for integrated solution in a Lawo mc<sup>2</sup> system.

Keywords: Loudness, levelling, metering, mixing console, tv production

## Inhaltsverzeichnis

Erklärung .....	3
Kurzfassung .....	4
Abstract .....	5
Inhaltsverzeichnis.....	6
Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis.....	10
Glossar.....	11
1. Einleitung.....	14
2. Grundlagen.....	16
2.1. Definition »Lautheit« und wie wir hören.....	16
2.2. Psychoakustische Grundlagen des Lautheitsempfindens .....	17
2.2.1. Lautheit als Intensität.....	17
2.2.2. Lautheit über die Frequenz .....	18
2.2.3. Lautheit und Zeit .....	19
2.2.4. Lautheit und Richtung der Schallquelle .....	20
2.3. Technische Grundlagen.....	21
2.3.1. Kennwerte von Audiosignalen .....	21
2.3.2. Pegel.....	21
3. Aussteuerung von Audiosignalen.....	23
3.1. Grundlagen der Aussteuerung .....	23
3.1.1. Definition .....	23
3.1.2. Systemgrenzpegel – Aussteuerungsgrenze.....	23
3.1.3. Aussteuerung und Dynamik .....	24
3.2. Aussteuerungskontrolle .....	27
3.2.1. Allgemeine Eigenschaften von Aussteuerungsmessern.....	27

---

3.2.2. Peak Programme Level Meter (PPM) .....	28
3.2.3. VU-Meter .....	31
3.2.4. Modelle zur Lautheitsmessung .....	32
3.2.5. Aussteuerungskontrolle in digitalen Produktionsmischpulten .....	36
<b>4. Aussteuerungssituation im Rundfunk .....</b>	<b>39</b>
4.1. Technische Richtlinien im Rundfunk .....	39
4.2. Lautheitsprobleme im Rundfunk .....	41
4.2.1. Lautheitsunterschiede in der Sendung .....	41
4.2.2. Lautheitssprünge beim Wechsel von Programminhalten .....	42
4.2.3. Lautheitsunterschiede zwischen TV-Stationen .....	43
4.2.4. Probleme bedingt durch digitale Übertragung und Formate .....	46
4.2.5. Zuschauerbeschwerden .....	47
4.3. Lösungsansatz standardisierte Lautheitsmessung .....	48
<b>5. ITU-R BS.1770 – Grundlage der neuen Lautheits-Bewegung .....</b>	<b>50</b>
5.1. Lautheitsalgorithmus .....	50
5.2. True Peak Meter .....	52
5.3. EBU R128 – Das europäische Regelwerk .....	53
5.3.1. EBU Arbeitsgruppe P/LOUD .....	53
5.3.2. Spezifikationen in EBU R128 .....	54
5.3.3. EBU R128 in der Praxis .....	58
5.4. ATSC A/85 – Das amerikanische Regelwerk .....	59
5.5. Automatische Lautheitspegelung .....	59
<b>6. Integration von Lautheitsmessung in Produktions-Mischpulte .....</b>	<b>61</b>
6.1. Vorüberlegungen zum Versuchsaufbau .....	61
6.2. Entwicklung der Simulationsumgebung .....	62
6.2.1. Grundlagen zu Max/MSP .....	62
6.2.2. Implementation des Lautheitsalgorithmus .....	63
6.2.3. Graphisches User Interface .....	63
6.2.4. Weitere Fenster .....	65
6.3. Versuchsaufbau .....	67
6.4. Gestaltung des Arbeitsblattes .....	69
6.5. Teilnehmerfeld .....	70
<b>7. Definition der Anforderungen für eine Mischpult Integration .....</b>	<b>72</b>
7.1. Lautheitsmessung .....	72
7.1.1. Vorbemerkung .....	72
7.1.2. Einsatz von Lautheitsmessung im Mischpult .....	72

---

7.1.3. Metering Instrumente.....	74
7.1.4. Zeitfenster .....	75
7.1.5. Skalen .....	76
7.1.6. Integrated Messungen .....	76
7.1.7. Loudness Difference.....	77
7.2. Lautheitspegelung.....	78
7.3. Integration für Radio und On-Air Mischpulte .....	80
<b>8. Spezifikation für die Umsetzung im System Lawo mc<sup>2</sup> .....</b>	<b>81</b>
8.1. Das System Lawo mc <sup>2</sup> .....	81
8.2. Kompatibilität und Zielgruppendefinition.....	82
8.3. Funktionsumfang .....	82
8.4. Integration von ITU-R BS.1770.....	83
8.4.1. Globale Optionen / System Settings .....	83
8.4.2. Aktivieren der Lautheitsmessung – DSP-Integration .....	87
8.4.3. Metering Instrumente.....	88
8.4.4. Langzeitmessung .....	91
8.4.5. Loudness History .....	93
8.4.6. Custom Functions.....	94
8.4.7. Verhalten beim Laden und Speichern von Produktionsdaten .....	95
8.4.8. Automation .....	96
<b>9. Zusammenfassung und Fazit .....</b>	<b>97</b>
<b>Standards und Normen .....</b>	<b>99</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>101</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>104</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Kurven gleicher Lautheit (Dickreiter, et al., 2008a).....	18
Abbildung 2.2: Hörfeld des Menschen (Dickreiter, et al., 2008a).....	19
Abbildung 2.3: Zusammenhang zwischen Lautheit und Zeit (Brixen, 2001).....	20
Abbildung 3.1: Übersteuerungsverhalten analoger und digitaler Systeme (Weinzierl, 2008).....	24
Abbildung 3.2: Dynamikbegriffe bei der Übertragung von Audiosignalen (nach Dickreiter, 1992).....	25
Abbildung 3.3: Tolerierte Wiedergabedynamik - Dynamic Range Tolerance (Lund, 2006a).....	26
Abbildung 3.4: Typischer dynamischer Verlauf einer Pegelanzeige (Brixen, 2001).....	28
Abbildung 3.5: Vergleich Sample-Peak Meter mit QPPM (Weinzierl, 2008).....	29
Abbildung 3.6: Verschiede Ausführungen vom Peak Programme Metern.....	30
Abbildung 3.7: VU-Meter als Zeigerinstrument.....	31
Abbildung 3.8: Gleicher Spitzenwert jedoch unterschiedlicher Mittelwert (Weinzierl, 2008, S. 560).....	32
Abbildung 3.9: Bewertungskurven berücksichtigen Frequenzabhängigkeit (Skovborg & Nielsen, 2004).....	35
Abbildung 3.10: Kanalzug am Lawo Pult (Beispiel $mc^256$ ).....	36
Abbildung 3.11: Mögliche Messpunkte im Kanal des Lawo-Systems.....	37
Abbildung 3.12: Einstellung von Referenzpunkt und Headroom nach EBU-Richtlinien.....	38
Abbildung 3.13: Pegelanzeige neben Kanalfader.....	38
Abbildung 4.1: Relation zwischen analogen und digitalen Pegeln im Rundfunk [ARD et al].....	40
Abbildung 4.2: Verwendung der Systemdynamik für TV-Produktionen nach Empfehlung von ARTE [ARTE].....	40
Abbildung 4.3: Aussteuerungshinweise zum Angleichen von Programminhalten [ARD et al].....	41
Abbildung 4.4: Pegelverhältnisse von Elementen einer typischen Talkshow (Moerman, 2005).....	42
Abbildung 4.5: Lautheitsunterschiede zwischen TV-Sendern (Grimm, van Everdingen, & Schöpping, 2010).....	44
Abbildung 4.6: Pegelverschiebung zum Lautheitsgewinn im Rundfunk (Camerer, 2010b).....	45
Abbildung 4.7: Gegenüberstellung der Aussteuerungsparadigmen (Camerer, 2010b).....	48
Abbildung 5.1: Vorfilter (links), RLB-Filter (rechts) [BS.1770].....	51
Abbildung 5.2: Flussdiagramm für den Lautheitsalgorithmus nach [BS.1770].....	51
Abbildung 5.3: Vergleich der verschiedenen Lautheits-Modelle (Lund, 2006a).....	52
Abbildung 5.4: Verschiedene Abtastwerte bei gleichem vollausgesteuertem Signal (Schubert, o. D.).....	53
Abbildung 5.5: Schematische Darstellung der Gating-Methode im EBU Mode.....	57
Abbildung 5.6: Bearbeitungsstufen des Jünger Level Magic™ (Jünger Audio, 2010).....	60
Abbildung 6.1: Freeware: Orban Loudness Meter - ungeeignet für den Versuchsaufbau.....	62
Abbildung 6.2: ITU-Algorithmus in Max/MSP für einen Stereo-Eingang.....	63

Abbildung 6.3: Metering-Ansichten (Loudness, Peak, Combi) und globale Einstellungen (rechts) .....	65
Abbildung 6.4: Routing Matrix der Simulationssoftware .....	66
Abbildung 6.5: Farbauswahl der Bargraphen (links) - Speicherverwaltung mit Snapshots (rechts).....	66
Abbildung 6.6: Fader User Buttons (links) Central User Buttons (rechts).....	67
Abbildung 6.7: Routing der Signale des Zuspielders in die Simulationssoftware.....	68
Abbildung 7.1: Loudness Difference-Anzeige zeigt Lautheitsunterschiede im Kanalzug.....	78
Abbildung 8.1: System Settings mit globaler Einstellung für den Lautheits-Modus .....	86
Abbildung 8.2: Visualisierung des Sidechainfilter-Moduls auf der Channel Config-Seite .....	87
Abbildung 8.3: Aktivieren und Deaktivieren des Lautheits-Moduls in der Channel Config-Seite.....	88
Abbildung 8.4: Neue Metering-Instrumente.....	90
Abbildung 8.5: Channel Config-Seite mit separaten Abgriffpunkten für Peak und Loudness.....	90
Abbildung 8.6: Anpassung der Extra Buttons-Seite .....	91
Abbildung 8.7: Main Display-Seite und Kopfzeile mit Lautheitswert.....	92
Abbildung 8.8: Dynamische Belegung der Soft-Keys mit Funktionen der Langzeitmessung .....	92
Abbildung 8.9: Metering-Seite; frei belegbar - Busse zeigen Langzeitwert.....	93
Abbildung 8.10: Integration der History-Darstellung auf der Main Display-Seite .....	94
Abbildung 8.11: Deaktivieren der automatischen Snap Iso-Funktion bei gestarteten Langzeitmessungen.....	96

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Eigenschaften von Spitzenspannungs-Aussteuerungsmessgeräten (nach Weinzierl, 2008).....	31
Tabelle 3.2: Betriebsarten der Lawo Aussteuerungsanzeigen .....	37
Tabelle 5.1: Skalenumfang im EBU-Mode .....	56
Tabelle 6.1: Zuordnung der Antworten in Kategorien .....	70
Tabelle 8.1: Werte der Presets für vorhandene Standards .....	85
Tabelle 8.2: Parameter der globalen Optionen .....	85

## Glossar

<b>AC3</b>	Mehrkanal-Tonsystem der Firma Dolby®. Mit AC3 (Adaptive Transform Coder 3) wird der Bitstream bezeichnet. Auch bekannt als Dolby® Digital.
<b>AF</b>	After Fader
<b>ALC</b>	Automatic Loudness Control
<b>Anchor Signal</b>	Hauptsignal in einem Rundfunkprogramm, z. B. Moderator.
<b>ATSC</b>	Advanced Television Systems Comitee. US-Amerikanische Standardisierungsorganisation für digitales Fernsehen.
<b>Bargraph</b>	Balkendarstellung eines Messinstrumentes.
<b>DALLIS</b>	Schnittstellensystem des mc <sup>2</sup> -Systems.
<b>DAW</b>	Digital Audio Workstation
<b>dB</b>	Dezibel. Logarithmische Verhältnisgröße zur Angabe von Pegeln und Pegeldifferenzen.
<b>dBFS</b>	Dezibel full scale
<b>dB<sub>SPL</sub></b>	absolute Pegelangabe für den Schalldruckpegel mit einem Bezugswert von $0 \text{ dB}_{\text{SPL}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ .
<b>dBTP</b>	Dezibel true peak

---

<b>dBu</b>	absolute Pegelangabe eines Spannungspegels mit einem Bezugswert von 0 dBu = 0,775 V.
<b>DTS-HD</b>	Digital Theater Systems High Definition. 7.1 Tonformat für den Einsatz bei Blue Rays und HDTV.
<b>DSP</b>	Digital Signal Processing Baugruppe zur Echtzeitverarbeitung von Audiosignalen.
<b>EBU</b>	European Broadcasting Union. Ein Zusammenschluss von 75 Rundfunkanstalten aus Europa, Nordafrika und Vorderasien.
<b>FM</b>	Frequenzmodulation
<b>Gain</b>	Verstärkung
<b>GPI</b>	General Purpose Interface elektrischer Kontakt zur Steuerung von Signalen (z. B. Rotlicht)
<b>HD-Core</b>	Kreuzschienen-System und Zentralrechner des Lawo mc <sup>2</sup> -Systems.
<b>ITU</b>	International Telecommunication Union. Eine Sondereinheit der vereinten Nationen, welche sich mit den technischen Aspekten der Telekommunikation beschäftigt.
<b>LFE</b>	Low frequency effects channel
<b>LKFS</b>	Loudness k-weighted related to full scale
<b>Loudness Normalisation</b>	Aussteuerungsprinzip orientiert an einem Lautheitswert.
<b>LU</b>	Loudness Units
<b>LUFS</b>	Loudness Units related to digital full scale
<b>MADI</b>	Multichannel Audio Digital Interface

---

<b>MIDI</b>	Musical Instrument Digital Interface
<b>P/LOUD</b>	Arbeitsgruppe der EBU
<b>PCM</b>	Pulse Code Modulation. Verfahren das eine Umsetzung eines analogen Signals in ein zeit- und wertediskretes digitales Signal beschreibt. Oft verwendet um zu beschreiben, dass es sich um ein nicht komprimiertes Audiosignal handelt.
<b>Peak Normalisation</b>	Aussteuerungsprinzip orientiert an Spitzenpegeln.
<b>Peak-Meter</b>	Spitzenpegelmesser
<b>PF</b>	Pre Fader
<b>PhantomSchallquelle</b>	Virtuelle Schallquelle, die zwischen zwei Lautsprechern wahrgenommen wird.
<b>PML</b>	Permitted Maximum Level
<b>PPM</b>	Programme Peak Meter. Wird oft gleichbedeutend mit QPPM verwendet.
<b>QPPM</b>	Quasi Programme Peak Meter. Spitzenwertmesser mit einer Integrationszeit von 10 ms. Wird oft nur als PPM bezeichnet.
<b>RS-422</b>	Datenschnittstelle mit serieller Übertragung.
<b>SDDS®</b>	Sony Dynamic Digital Sound. 7.1 Tonformat für den Kinofilm.
<b>Target Level</b>	Zu erreichender Lautheitswert über den gesamten Zeitraum eines Programmes.
<b>Transienten</b>	schneller, impulsartiger, akustischer Einschwingvorgang
<b>XML</b>	Extensible Markup Language

## 1. Einleitung

Der Griff zur Fernbedienung und das Nachregeln der Lautstärke ist beim »Zappen« zwischen Fernsehsendern, oder auch beim Einsetzen der Werbung schon zu einem traurigen Standard geworden. Immer wieder gibt es Beschwerden von Zuschauern über die großen Lautstärke-sprünge in Fernsehprogrammen.

Die Ursachen dafür sind vielfältig. Hintergrund aller ist aber, dass es für den komplexen, subjektiven Parameter des Lautstärkeempfindens bisher keine eindeutige und objektive Messgröße gibt. Mit den aktuell in der Produktion eingesetzten Messgeräten ist eine Messung von Lautheit nicht möglich. Die verwendeten Messgeräte sind dafür ausgelegt, Spitzenspannungen eines Audiosignals anzuzeigen. Es kann aber keine Aussage über die subjektive Lautstärke getroffen werden. Im Laufe der letzten Jahrzehnte haben sich verschiedene Verfahren entwickelt, den subjektiven Parameter Lautheit zu messen. Jedoch konnte sich keines dieser Verfahren international durchsetzen. Im Jahr 2006 wurde von der International Telecommunication Union (ITU) erstmals ein internationaler Standard zur Lautheitsmessung verabschiedet. Seit dem wird das Thema Lautheitsmessung in der Audiobranche intensiver diskutiert denn je. Dieser Fakt wurde u. a. auch im Tagungsprogramm der Tonmeistertagung 2010 in Leipzig deutlich (Verband Deutscher Tonmeister, 2010). Um die Lautheitsprobleme in den Griff zu bekommen, benötigt es eine fundamentale Änderung der Betrachtungsweise von Audiopegeln – von der jetzt praktizierten Spitzenwertbewertung hin zu einem einheitlichen Lautheitsmaß. Florian Camerer, Vorsitzender der EBU Arbeitsgruppe P/LOUD, beschreibt den Übergang von Peak Normalisation, also einer Aussteuerung nach Spitzenpegel, zur Loudness Normalisation als eine fundamentale Änderung in der Audiowelt:

*»Loudness normalization is a true audio-levelling revolution!« (Camerer, 2010b)*

Die European Broadcasting Union (EBU), ein Zusammenschluss von 75 Rundfunkanstalten, hat den ITU-Standard aufgegriffen und die Richtlinien für eine einheitliche Verwendung im Rundfunk erarbeitet. Die Arbeitsweise der Lautheitsnormalisation nach EBU-Empfehlung soll voraussichtlich bis Ende des Jahres 2011 in den Sendeanstalten der ARD und im ZDF umgesetzt werden (Eberhard, 2011). Bei der Fußball-Weltmeisterschaft 2010 in Südafrika wurde für den internationalen Ton zum ersten Mal mit dem ITU-Standard gearbeitet und nach Lautheit ausgeregt (Krückels, 2010). Inzwischen haben zudem viele Hersteller von Audiohardware und

Messgeräten den ITU-Standard und die Empfehlungen der EBU bereits implementiert. So konnten zur IBC 2010 in Amsterdam<sup>1</sup> bereits 20 Hersteller ihre Produkte mit integrierter Lautheitsmessung präsentieren (EBU, 2010).

Eine Integration in ein digitales Produktionsmischpult ist noch nicht auf dem Markt. Diese Arbeit untersucht, wie eine Lautheitsmessung konsequent in einem digitalen Mischpult-System umgesetzt werden kann. Es gilt dabei zu ergründen, wo in einem Mischpult überall Lautheitsmessung vorhanden sein muss, wie die Ergebnisse dargestellt werden und welche Parameter notwendig sind. Die vorhandenen Standardisierungen geben die Rahmenbedingungen für eine Implementation von Lautheitsmessung vor. Jedoch gibt es noch keine Erfahrungen für den Einsatz in Mischpulten. Aus diesem Grund wurde eine Bedarfsanalyse – in Form von Mischversuchen – mit Anwendern durchgeführt. Dafür wurde eine Simulationsumgebung entwickelt, die es den Versuchspersonen erstmals ermöglichte mit Lautheitsmessung zu arbeiten, als wäre diese bereits in das Mischpult integriert. Neben der reinen Lautheitsmessung soll auch erörtert werden, wie eine automatische Lautheitspegelung in einem Mischpult eingesetzt werden könnte.

Im ersten Teil dieser Arbeit wird auf das Lautheitsempfinden und technische Grundlagen eingegangen. Im Folgenden werden die bisher eingesetzte Messtechnik und gängige Arbeitsweisen genauer beschrieben sowie die Problemstellung im Rundfunk erläutert. Der ITU-Standard und die bereits erfolgten Standardisierungen durch die EBU werden ausführlich behandelt, bevor der Aufbau und die Auswertung der Mischversuche beschrieben werden. Aus den vorhandenen Standardisierungen und den Ergebnissen aus den Versuchen werden die Anforderungen für eine Integration der Lautheitsmessung und -pegelung in ein Mischpult-System definiert. Abschließend wird beispielhaft für das System Lawo mc<sup>2</sup> eine Spezifikation abgeleitet und ein Integrationskonzept vorgestellt. Das betrifft sowohl die technisch erforderlichen Funktionen als auch Vorschläge zur optischen Umsetzung.

Das »Lautheitsproblem« ist nicht nur im Fernsehen präsent sondern betrifft auch die Bereiche Radio- und Musikproduktion. Da aber im Bereich Fernsehen die erste einheitliche Umsetzung des Standards auf Grund der EBU-Empfehlung zu erwarten ist bezieht sich die Arbeit weitgehend auf die Problemstellung und Arbeitsweisen im Fernsehen.

Für das Verständnis der Arbeit sind grundlegende Kenntnisse der Audiotechnik hilfreich (u. a. Dickreiter, et al., 2008 und Weinzierl, 2008).

---

<sup>1</sup> Die International Broadcast Conference (IBC) gehört zu einer der wichtigsten Fachmessen für Film-, Fernseh- und Rundfunkproduktion und findet jährlich im September in Amsterdam statt.

## 2. Grundlagen

### 2.1. Definition »Lautheit« und wie wir hören

Unter dem Kunstwort »Lautheit« versteht man im allgemeinen Sprachgebrauch die empfundene Lautstärke. Dabei handelt es sich um eine sehr komplexe Eigenschaft des Gehörs, die auf dem Zusammenspiel mehrerer Faktoren basiert. Im Folgenden sollen Zusammenhänge, die das Lautheitsempfinden bedingen kurz erläutert werden.

Lautheit kann auf mehreren Ebenen beschrieben werden (Paugh, 2010, S. 2):

- Subjektiv – persönliche Vorlieben
- Emotional – wie uns das Material gefällt
- Objektiv – z. B. Messung des Schallpegels
- Wahrnehmung – im allg. durch die Psychoakustik beschrieben

Vor allem die subjektive und emotionale Ebene lässt sich nicht allgemeingültig beschreiben. Es handelt sich dabei um ein individuelles Empfinden jedes Menschen und ist von vielen Umgebungsfaktoren abhängig. Zu diesen kontextuellen Einflussfaktoren, die unser Lautheitsempfinden maßgeblich beeinflussen gehören neben Alter, Geschlecht und Gemütszustand auch persönliche Vorlieben. Gefällt uns das was wir hören, tolerieren wir Lautstärke anders als bei Material, das wir (akustisch) ablehnen. Hier steigt die Lästigkeitsschwelle schnell an und wir bewerten Material, das uns nicht gefällt als lauter und in dem Fall als »lästiger«. Dieses Phänomen wurde von Kurt Tucholsky treffend mit den Worten beschrieben: »Lärm ist das Geräusch der anderen« und »Der eigene Hund macht keinen Lärm, er bellt nur«<sup>2</sup>. Selbst das persönliche Lautheitsempfinden ist nicht zur jeder Zeit homogen. Auch unsere körperliche Verfassung (Stress, Krankheit,...) kann sich auf das Lautheitsempfinden auswirken.

Eine objektive Betrachtung von Lautheit und Eigenschaften der Wahrnehmung werden in der Psychoakustik behandelt. Psychoakustisch betrachtet ist Lautstärke ebenfalls beeinflusst von mehreren Parametern. Zu den entscheidenden Faktoren gehören der objektive Pegel in Form der Intensität des Schallereignisses, die Frequenzzusammensetzung und der zeitliche Verlauf des Schallereignisses. Diese gut erforschten Zusammenhänge lassen sich für alle Menschen

---

<sup>2</sup> Quelle: Tucholsky Kurt, Gesammelte Werke, Band 3, Seite 459 (Verlag Rowohlt), 1960.

verallgemeinern und dienen als Grundlage für ein objektives Messverfahren der komplexen subjektiven Empfindung von Lautstärke. Im Folgenden sollen die psychoakustischen Zusammenhänge für das Empfinden von Lautheit kurz erläutert werden.

## 2.2. Psychoakustische Grundlagen des Lautheitsempfindens

### 2.2.1. Lautheit als Intensität

Die Wahrnehmung von Lautstärke bezieht sich zunächst darauf, wie wir ein Schallereignis bei verschiedenen Intensitäten wahrnehmen. Die Übertragungsfunktion physikalischer Größen verhält sich nicht linear mit dem wahrgenommenen Empfinden. Eine Annäherung an diese Übertragungsfunktion bietet die »Stevenssche Potenzfunktion« des amerikanischen Psychologen Stanley S. Stevens. Mit dieser Potenzfunktion lässt sich die Relation von Reizgrößen und wahrgenommenen Empfindungen aller Sinne vereinfacht darstellen.

$$E = k \cdot R^n$$

Formel 2.1: Stevenssche Potenzfunktion

In Formel 2.1 steht E für die Empfindungsgröße, die Reizgröße wird durch R beschrieben. Die Konstante k dient der Skalierung des Ergebnisses. Der Exponent  $n$  ist rezeptorspezifisch und wurde aus empirischen Versuchen gewonnen. Für Lautheit liegt dieser Wert bei 0,3. Für andere Sinne und Empfindungen gelten abweichende Werte. Die Formel kann mit Logarithmen umgestellt werden.

$$\log E = n \log R + \log K$$

Formel 2.2: Logarithmierung der Stevensschen Potenzfunktion

Diese logarithmische Beziehung ist einer der Gründe für die Verwendung der Dezibel-Skala im Zusammenhang mit Audiosignalen. Betrachtet man zwei Schallpegeln von denen einer um das 10-fache größer ist, beträgt das Verhältnis auf der Wahrnehmungsebene  $10^{0.3} \cong 2.0$ . Das bedeutet, eine Vergrößerung der physikalischen Größe (in diesem Fall Pegel) um den Faktor 10 hat eine Verdopplung der wahrgenommenen Lautstärke zur Folge.

(Skovenborg & Nielsen, 2004, S. 2 ff.)

### 2.2.2. Lautheit über die Frequenz

Das Empfinden von Lautheit ist zudem frequenzabhängig. Der Zusammenhang zwischen Lautheit und Frequenz wurde zum ersten mal 1936 von Fletcher und Munson in den »Kurven gleicher Lautstärkepegel« (Isophone) ausgedrückt (Abbildung 2.1). Diese wurden durch mehrere Testpersonen ermittelt immer wieder überarbeitet und später, um einen einheitlichen Bezug herstellen zu können, international standardisiert. Sie geben das Verhältnis zwischen Frequenz und Schalldruckpegel (Sound Pressure Level) wieder, welcher den gleichen Lautstärkeindruck bewirkt. Durch diese Kurven wird auch die Hörfläche oder der Hörbereich des Menschen beschrieben. Die Hörfläche ist bei niedrigen Schallpegeln begrenzt durch die Grenze der Hörbarkeit und wird als Hörschwelle bezeichnet. Bei zu großen Schallpegeln wird sie begrenzt durch die Schmerzschwelle. Abbildung 2.2 stellt diese beiden Schwellen dar und zeigt auch den Bereich auf, in dem Sprache und Musik für gewöhnlich liegen.

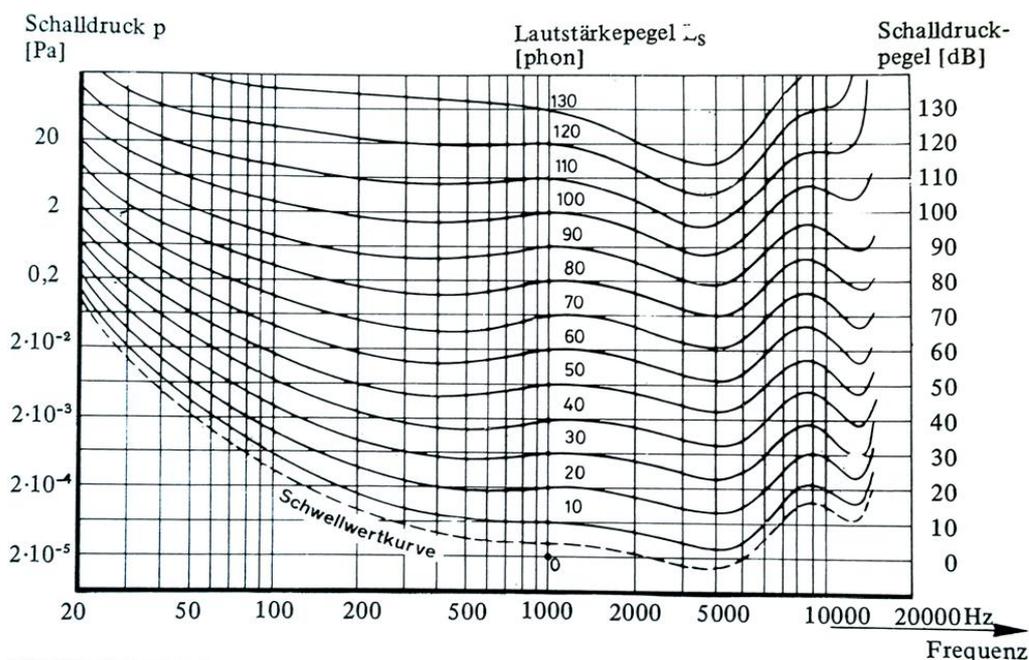


Abbildung 2.1: Kurven gleicher Lautheit (Dickreiter, et al., 2008a)

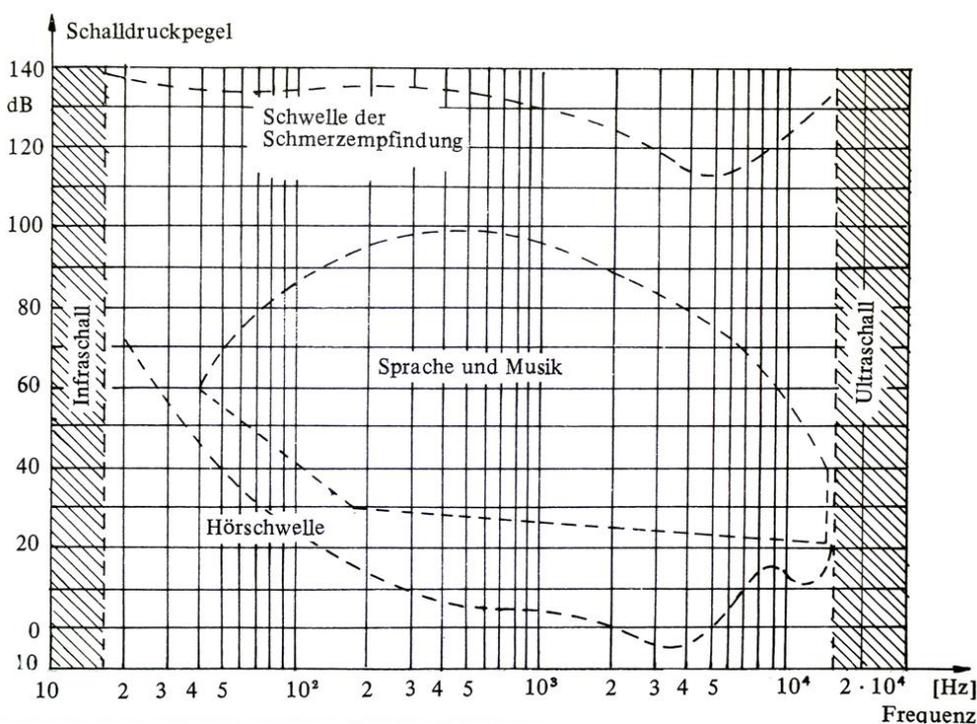


Abbildung 2.2: Hörfeld des Menschen (Dickreiter, et al., 2008a)

Dem Lautstärkepegel wird die Einheit *Phon* zugewiesen. Der Wert der Einheit Phon ist bei einem 1 kHz Sinuston identisch mit dem Schalldruckpegel. Weißt ein Schall einen Lautstärkepegel von beispielsweise 70 phon auf, ist dieser genauso laut, wie ein 1 kHz Sinus bei einem Schalldruckpegel von 70 dB<sub>SPL</sub>. Der Lautstärkepegel ist für reine Sinussignale einfach zu bestimmen. Bei stochastischen Signalen, wie Klänge und Geräusche ist das Phon nicht mehr sinnvoll anwendbar. (Dickreiter, et al., 2008a, S. 101)

Eine Annäherung an den Lautstärkepegel erbringt die Messung des bewerteten Schalldruckpegels. Um die Frequenzabhängigkeit des Gehörs messtechnisch zu beachten werden in der Praxis sog. Bewertungsfilter eingesetzt. Diese Filterkurven wurden standardisiert und entsprechen in stark vereinfachter Form den inversen Kurvenverläufen einzelner Isophone (siehe 3.2.4).

### 2.2.3. Lautheit und Zeit

Neben der Frequenzabhängigkeit, ist das Empfinden von Lautheit auch von der Dauer des Signals abhängig. Das Lautheitsempfinden entsteht nicht direkt mit dem Einsetzen des Schallereignisses. Studien haben gezeigt, dass Signale mit einer Dauer von 200 ms mit der gleichen Lautstärke empfunden werden wie stetige Signale. Ist die Dauer des Schallereignisses geringer als 200 ms reduziert sich die empfundene Lautstärke (Brixen, 2001, S. 59).

Abbildung 2.3 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Pegel und der Dauer eines Signals. Der Pegel muss wie dargestellt angehoben werden um einen gleichen Lautheitseindruck hervorzurufen. Die unterbrochene Linie gilt für Einzeltöne (Sinus), die durchgezogene Linie für Breitbandgeräusche.

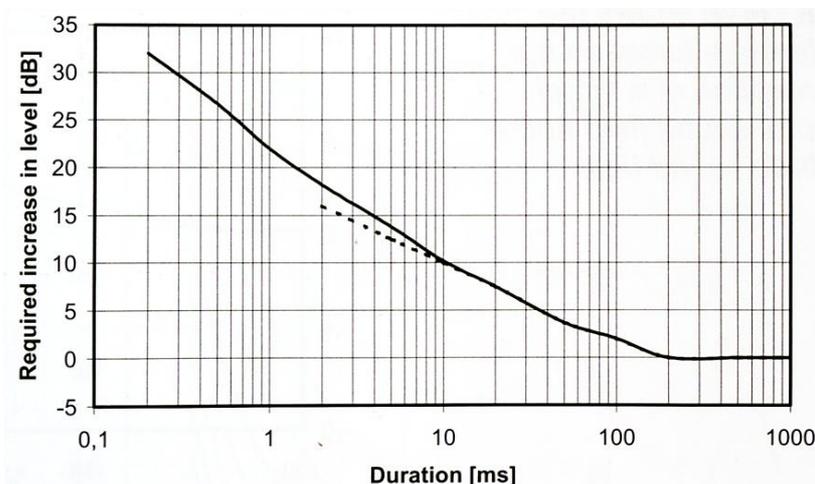


Abbildung 2.3: Zusammenhang zwischen Lautheit und Zeit (Brixen, 2001)

Das Lautheitsempfinden nimmt auch nicht direkt nach dem Schallereignis ab. Dieser Effekt wird Nachverdeckung genannt. Hinzu kommt, dass bei längerer Beanspruchung des Gehörs durch Ermüdung der Lautstärkeindruck abnimmt (z. B. Rockkonzert). Dieser Zustand sollte sich jedoch im besten Fall nach einigen Stunden wieder normalisieren.

#### 2.2.4. Lautheit und Richtung der Schallquelle

Die Richtung der Schallquelle hat ebenso Einfluss auf die wahrgenommene Lautstärke. Dabei kommt es zu einer Kombination von zwei Prozessen. Der erste ist rein physikalisch begründet und betrifft die Transformation des akustischen Signals. Dazu gehört der Druckaufbau am Ohr, welches der Schallquelle zugewandt ist und der Effekt des Kopfschattens an dem von der Schallquelle abgewandten Ohr. Dies wird durch die kopfbezogenen Übertragungsfunktionen beschrieben (HRTF, head related transfer function) und betrifft die Frequenzabhängigkeit des Gehörs. Der zweite Effekt ist die binaurale Summation. Diese besagt, dass beide Ohren zum Lautheitseindruck beitragen. Die richtungsabhängig anliegenden Pegel am Ohr werden zu einem einzigen Lautheitseindruck kombiniert. (Ellermeier & Hellbrück, 2008, S. 61 ff.)

Diese Abhängigkeit des Lautheitsempfindens spielt vor allem eine Rolle bei Mehrkanal-Beschallung (Surround) und erklärt, warum eine Phantomschallquelle nicht gleich laut empfunden werden kann wie ein diskreter Mittenlautsprecher (Center). (Brixen, 2001, S. 57)

In einem Modell zur Lautheitsmessung für Mehrkanalsignale muss diese Eigenschaft ebenfalls abgebildet werden.

## 2.3. Technische Grundlagen

### 2.3.1. Kennwerte von Audiosignalen

Eine Signalamplitude kann durch ihren Spitzenwert oder den Mittelwert beschrieben werden. Dabei ist vor allem der Effektivwert als quadratisches Mittel des Signals von Bedeutung. Berechnet wird dieser Wert wie in Formel 2.3 dargestellt. Es wird zunächst die Signalfunktion quadriert, über eine Zeit T integriert und schließlich die Wurzel gezogen. Hieraus ergibt sich auch die englische Bezeichnung RMS (root mean square) für den Effektivwert.

$$U_{eff} = U_s \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T U_{(t)}^2 dt}$$

Formel 2.3: Berechnung des Effektivwertes eines Signals

Das menschliche Ohr empfindet Lautheit über eine längere Mittelungszeit und nicht an Pegelspitzen. Aus diesem Grund ist der Effektivwert eines Signals mit einer gehörangepassten Mittelungszeit als ein Teil der Lautheitsbestimmung relevant. (Friesecke, 2003, S. 21)

Bei dem sog. Gleichrichtwert handelt es sich um eine vereinfachte Variante der Effektivwertberechnung. Es wird dabei das arithmetische Mittel über den Betrag der Wechselgröße berechnet. Eine Berechnung des Gleichrichtwerts ist auf Grund des Fehlens der Wurzel und des Quadrates in Schaltungen und digitalen Berechnungen einfacher zu realisieren. (Friesecke, 2003, S. 22)

$$U_M = U_S \cdot \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |U_{(t)}| dt$$

Formel 2.4: Berechnung des Gleichrichtwertes eines Signals

### 2.3.2. Pegel

Für die Darstellung von physikalischen Größen wird in der Audiotechnik das logarithmische Verhältnismaß Dezibel (dB) eingesetzt. Die Berechnung eines Pegels erfolgt mit Formel 2.5. Diese ist für Leistungen definiert. Sollen Spannungen oder Schalldrücke verglichen werden, wird mit Formel 2.6 gerechnet.

$$L = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2}$$

**Formel 2.5: Leistungspegel**

$$L = 20 \cdot \log \frac{U_1}{U_2}$$

**Formel 2.6: Spannungspegel**

Bei Pegelangaben muss zwischen relativen und absoluten Pegeln unterschieden werden. Mit relativen Pegelangaben kann das Verhältnis zweier Größen ausgedrückt werden. Hierfür wird nur die Einheit dB eingesetzt. Absolute Pegel hingegen haben einen festen Bezugswert. Dass es sich um einen absoluten Pegel handelt wird durch einen Index nach der Einheit dB kenntlich gemacht, so hat z. B. 0 dBu einen Bezugswert von 0,775 V. Der sog. Funkhauspegel von +6 dBu entspricht dann einer Spannung von 1,55 V.

Der Pegel von digitalen Signalen wird bestimmt durch Formel 2.7. Dabei steht M für die Anzahl der aktuell verwendeten Spannungsstufen in Bit, sowie N für die Wortbreite des Systems.

$$L_{FS} = 20 \cdot \log \frac{M}{2^N - 1}$$

**Formel 2.7: Berechnung des Pegels digitaler Signale**

Ein Wert von 0 dBFS (Dezibel Fullscale) beschreibt das Maximum des darstellbaren Zahlenbereichs (vgl. Beispielrechnung Formel 2.8). Werte größer als 0 dBFS können also nicht auftreten. Um Übersteuerungen im digitalen zu vermeiden, wird ein Übersteuerungsbereich (Headroom) festgelegt. Wird ein Headroom von 10 dB festgelegt, liegt der maximal erlaubte Pegel um 10 dB unter 0 dBFS.

$$L_{FS} = 20 \cdot \log \frac{65.536}{2^{16} - 1} = 0,00 \text{ dBFS}$$

**Formel 2.8: Beispielrechnung Vollaussteuerung digitaler Signale (16 Bit System)**

## 3. Aussteuerung von Audiosignalen

### 3.1. Grundlagen der Aussteuerung

#### 3.1.1. Definition

Unter Aussteuerung versteht man:

*»...den Pegel einer Produktion oder Sendung bei der Übertragung, Bearbeitung und Speicherung in seinem Wert so einzustellen, dass das Tonsignal technisch möglichst störungsfrei bleibt und ein natürlich wirkender, der Abhörsituation angemessener Lautstärkeablauf der einzelnen Abschnitte einer Sendung oder Produktion entsteht.« (Dickreiter, 1992, S. 3)*

Angestrebt wird hierbei also eine optimale Ausnutzung der Systemdynamik, sowie die Anpassung der Lautheit eines Programminhalts und der Balance zwischen den Programminhalten (Weinzierl, 2008, S. 552). Die optimale Ausnutzung der Systemdynamik wird durch die sog. Vollaussteuerung erreicht, d. h. dass Pegelspitzen die Aussteuerungsgrenze erreichen aber nicht überschreiten. Bei Bedarf muss ebenfalls die Dynamik des Signals angepasst werden. Zum einen auf die technisch mögliche Dynamik bei der Speicherung des Materials (Systemdynamik), sowohl als auch auf die Abhörsituation des Hörers (Wiedergabedynamik) (Dickreiter, 1992, S. 3).

Umfassende Ausführungen zum Thema Aussteuerung finden sich bei Dickreiter, 1992.

#### 3.1.2. Systemgrenzpegel – Aussteuerungsgrenze

Der maximal mögliche Pegel in einem System wird durch den Systemgrenzpegel bestimmt. Dieser wird auch als Vollaussteuerung eines Signals bezeichnet. In digitalen Systemen ist die Vollaussteuerung bei einer Signalamplitude von 0 dBFS erreicht. Werden größere Werte als das Maximum des darstellbaren Zahlenbereiches verwendet, wird der Signalverlauf abgeschnitten. Die Auswirkungen werden mit einem steilen Anstieg an nichtlinearen Verzerrungen (Abbildung 3.1) sofort unangenehm hörbar. Dieser Effekt wird als Clipping bezeichnet

Die Vollaussteuerung analoger Systeme hingegen ist weniger eindeutig definiert. Oberhalb eines bestimmten Signalpegels weisen diese Systeme einen langsamen Anstieg an nichtlinearen

Verzerrungen auf. Die Aussteuerungsgrenze wird dann durch die zugelassenen nichtlinearen Verzerrungen definiert. Dieser Wert wird mit dem Klirrfaktor eines Signals beschrieben.

Beim Übergang von der analogen in die digitale Welt muss ein analoger Übernahmepegel definiert werden. Hier besteht bei Rundfunkanstalten vor allem für den Programmaustausch die Notwendigkeit von einheitlichen Richtlinien. Eine Einheitlichkeit ist hier jedoch nicht gegeben, so gilt in Europa für den Übernahmepegel eine Empfehlung von +18 dBu in USA hingegen +24 dBu. Da in Deutschland der analoge Vollaussteuerungspegel im Rundfunk bei 1,55 V (+6 dBu) liegt, entspricht der Übernahmepegel in Deutschland +15 dBu für 0 dBFS (siehe 4.1).

(Weinzierl, 2008, S. 553)

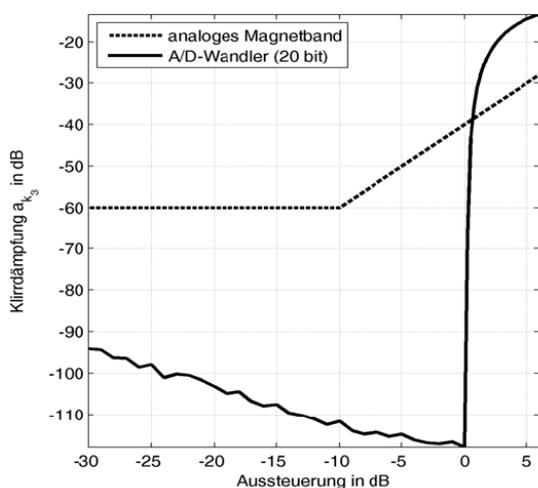


Abbildung 3.1: Übersteuerungsverhalten analoger und digitaler Systeme (Weinzierl, 2008)

### 3.1.3. Aussteuerung und Dynamik

Nach Dickreiter, et al., 2008b, S. 1153 kann die Anpassung der Dynamik durch die Aussteuerung in drei Bereiche unterteilt werden:

- Anpassung an den Übertragungsweg
- Anpassung an den Programmcharakter
- Anpassung an die Wiedergabesituation

Die im Folgenden beschriebenen Dynamikbegriffe sind in Abbildung 3.2 visualisiert.

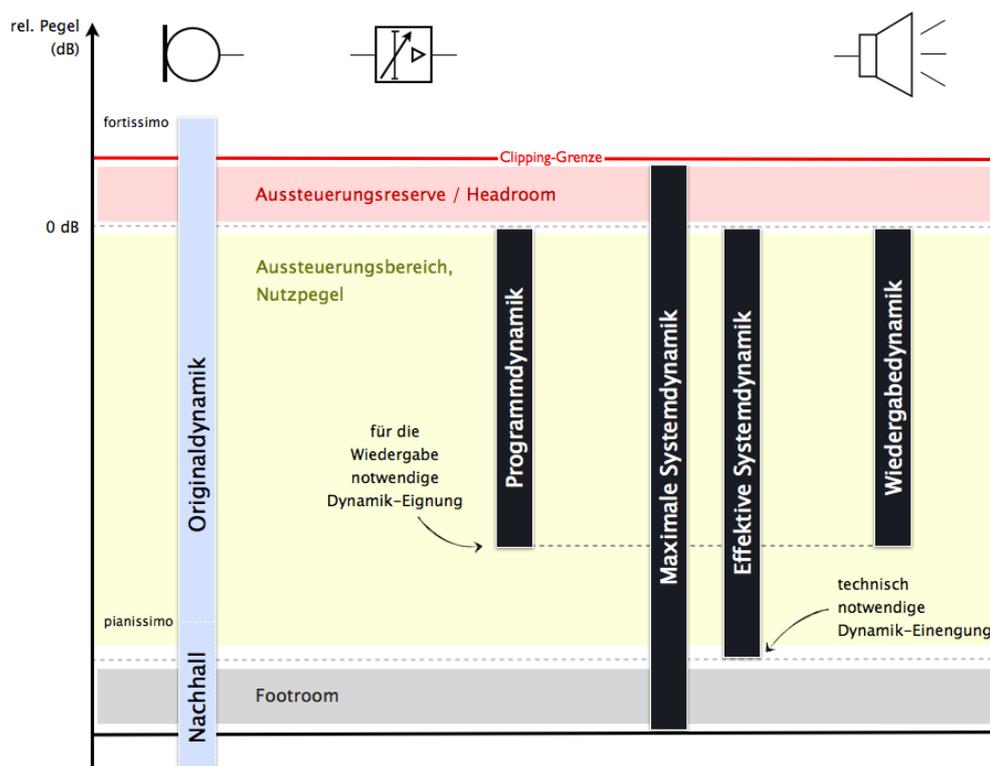


Abbildung 3.2: Dynamikbegriffe bei der Übertragung von Audiosignalen (nach Dickreiter, 1992)

Die von dem Signal vorhandene Originaldynamik muss durch die Aussteuerung in ein Audiosystem eingepasst werden. Die notwendige Anpassung an den Übertragungsweg wird durch den maximalen Umfang eines Audiosignals in einem System bestimmt, und ist durch die effektive Systemdynamik vorgegeben. Die maximale Systemdynamik oder auch Signal/Rauschabstand wird nach oben durch den Systemgrenzpegel und nach unten durch das Quantisierungsrauschen bei digitalen Systemen oder Grundrauschen des Gerätes in analogen Systemen begrenzt. In digitalen Systemen ist die Systemdynamik abgänglich von der Werte-Quantisierung des Signals. In 16 Bit Systemen entspricht die Systemdynamik etwa 96 dB. In analogen Systemen wird die Systemdynamik durch die Qualität des Systems und Faktoren der Übertragungstrecke beeinflusst. Mit dem sog. Footroom wird der nicht nutzbare Bereich über dem Quantisierungs- bzw. Grundrauschens beschrieben. Der Bereich zwischen Footroom und Headroom wird als effektive Systemdynamik definiert.

Die Anpassung an den Programmcharakter ist auch als kreative Maßnahme zu bewerten. Hier ist zu beobachten, dass z. B. aktuelle Pop-Musik-Produktionen einen sehr begrenzten Dynamikumfang aufweisen. Jedoch gibt es z. B. im Rundfunk Richtlinien und Empfehlungen, die den Umgang mit dem Programmcharakter und dessen Dynamik beschreiben (siehe 4.1). Die Programmdynamik wird oft angepasst an die angenommene Wiedergabesituation des Konsumenten, so wird z. B. bei vielen Radiosendern auf eine hohe Dynamik verzichtet, da dieses Medium überwiegend im Auto konsumiert wird.

Die resultierende Wiedergabedynamik ist für jeden Hörer und seine spezifische Abhörsituation verschiedenen. Abbildung 3.3 stellt verschiedenen Abhörsituationen und deren angenommene tolerierte Wiedergabedynamik (Dynamic Range Tolerance) gegenüber. Ein Beispiel aus dem Rundfunkbereich kann diese Situation verdeutlichen. Die Wiedergabedynamik in einem Wohnraum wird nach unten durch Störgeräusche der Umwelt (z. B. Straßenlärm) begrenzt. Die obere Grenze ist ebenfalls von den Wohngegebenheiten begrenzt. In Mehrfamilienhäusern ist zu beachten, dass bei Nachbarwohnungen der nach Absorption verbleibende »Störpegel« nicht mehr als 35 dB betragen darf. Unter ungünstigen Bedingungen kann dann die maximale Wiedergabedynamik nur 45 dB betragen (Dickreiter, 1992, S. 35). Die maximal mögliche Wiedergabedynamik für das Medium Fernsehen kann also je nach Umgebungsbedingungen sehr unterschiedlich ausfallen. Karl Slavik beschrieb die unterschiedlichen Voraussetzungen der Wiedergabedynamik in einem Vortrag treffend mit den Begriffen *DINK* für double income no kids (oder auch Villa am See) und *NIFK* für no income four kids (respektive für den Plattenbau). (Slavik, 2010)

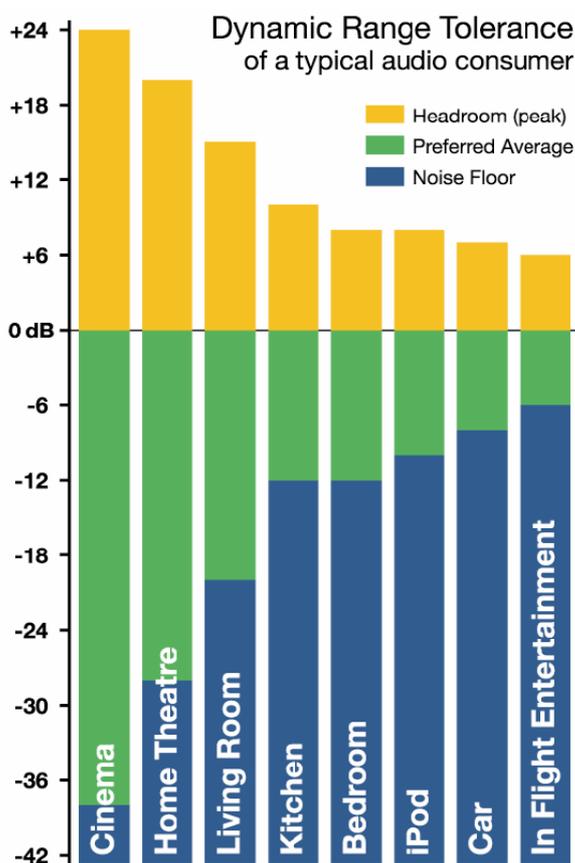


Abbildung 3.3: Tolerierte Wiedergabedynamik - Dynamic Range Tolerance (Lund, 2006a)

Das Einpassen eines Audiosignals in den Aussteuerungsbereich erfolgt entweder durch verschieben oder einengen des Signals (Dickreiter, 1992, S. 3). Eine Verschiebung erfolgt durch eine Veränderung des Pegels. Das Einengen eines Audiosignals erfolgt mit Hilfe von Dynamikprozessoren wie z. B. eines Kompressors oder Expanders. Um den Anforderungen an eine ordnungsgemäße Aussteuerung gerecht zu werden, stehen eine Vielzahl von Kontrollinstrumenten zur

Verfügung. Diese helfen bei der Überwachung und Beurteilung von Audiosignalen. Einen umfangreichen Überblick über diese Kontrollinstrumente geben Friesecke, 2003 und Brixen, 2001.

Im Folgenden sollen die Instrumente beschrieben werden, die im Zusammenhang mit Aussteuerung von Audiosignalen zum Einsatz kommen. Zum Ende des Abschnitts wird der Einsatz dieser Instrumente in Mischpulten genauer erläutert.

## **3.2. Aussteuerungskontrolle**

### **3.2.1. Allgemeine Eigenschaften von Aussteuerungsmessern**

Die genannten Kriterien für eine richtige und somit gute Aussteuerung erfordern unterschiedliche Eigenschaften der Kontrollinstrumente und deren Verhalten.

#### *Statische Eigenschaften*

Der Anzeigebereich eines Aussteuerungsmessers gehört zu den statischen Parametern. Dieser Pegelbereich sollte im Rundfunk mindestens 40 dB umfassen. Der Amplitudenfrequenzgang sollte im gesamten Übertragungsbereich (40 Hz – 15 kHz) linear verlaufen. Die Anzeigegenauigkeit sollte bei etwa 1 dB liegen. (Dickreiter, et al., 2008b, S. 1135)

#### *Dynamische Eigenschaften*

Um den Signalpegel optimal (d. h. gute Nutzung der Systemdynamik) einzustellen und sicher hörbare Verzerrungen (Clipping) zu vermeiden ist eine relativ kurze Ansprechzeit notwendig. Die optimale Einstellung der Lautheit erfordert jedoch eine größere Trägheit, da kurzzeitige Signalspitzen für den Lautheitseindruck nicht relevant sind (vgl. 2.2.3). Eine separate Verwendung von Spitzenpegel- und Lautheitsanzeigen hat sich bis jetzt noch nicht durchgesetzt. So kommt es bei den gängigen Geräten zu Kompromissen bezüglich der Ansprechzeit (Weinzierl, 2008, S. 555). Ebenso muss gewährleistet sein, dass die Anzeigen gut ablesbar sind. Um lange ermüdungsfrei mit den Anzeigen arbeiten zu können, werden längere Rücklaufzeiten eingesetzt.

Die Parameter Integrationszeit (engl. attack time) und Rücklaufzeit (engl. release time) werden als dynamische oder ballistische Eigenschaften der Kontrollinstrumente bezeichnet. Die Definition dieser Eigenschaften ist in einigen Standards auch genauer festgelegt worden. In DIN IEC 60268-10 und DIN IEC 60268-17 werden die ballistischen Eigenschaften wie folgt definiert:

»Integrationszeit: Dauer eines Tonimpulses eines 5 kHz-Sinussignal bei Bezugspegel, der eine Anzeige von 2 dB unter Bezugsanzeige gibt.

Rücklaufzeit: Zeit, in der die Anzeige nach dem Abschalten des Eingangssignals von der Bezugsanzeige auf einen definierten Punkt der Skala abfällt.« (Weinzierl, 2008, S. 555)

Abbildung 3.4 zeigt den typischen dynamischen Verlauf einer Pegelanzeige bei einem Signalimpuls (Tone Burst).

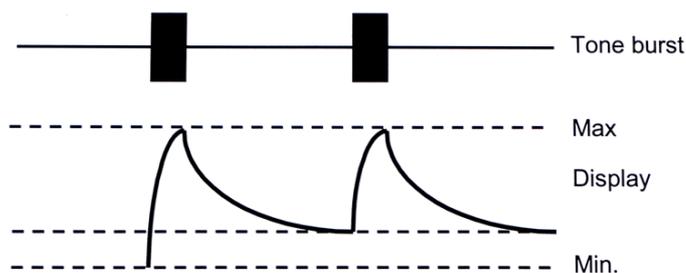


Abbildung 3.4: Typischer dynamischer Verlauf einer Pegelanzeige (Brixen, 2001)

#### Bezugsanzeige / Referenzpunkt

Die Anzeigeinstrumente müssen zudem über einen Referenzpunkt bzw. eine Bezugsanzeige verfügen. Die bei Erreichen des Referenzpunktes anliegende Spannung eines stationären Sinussignals mit 1000 Hz wird als Bezugsspannung bezeichnet. Diese ist oft nicht festgelegt, sondern kann an den Geräten umgeschaltet werden. Im Rundfunk spricht man auch von Funkhauspegel oder Nennpegel. Der oft ebenfalls verwendete Begriff »Vollaussteuerung« führt in diesem Zusammenhang oft zu Verwirrungen, da der Bezugspegel nicht in direktem Zusammenhang mit dem Systemgrenzpegel stehen muss. (Dickreiter, et al., 2008b, S. 1133)

#### Skala

Der maximal darstellbare Pegelbereich bestimmt den Umfang der Skala. Hier haben sich unterschiedlich Layouts entwickelt. Die Skala verläuft meist zwischen den Endmarken logarithmisch-linear. Mit einer S-förmigen Charakteristik kann die Ablesegenauigkeit in der Nähe des Referenzpunktes erhöht werden. (Dickreiter, et al., 2008b, S. 1136)

### 3.2.2. Peak Programme Level Meter (PPM)

Unter dem Begriff *Peak Programme Level Meter* (kurz Peak-Meter) versteht man alle Kontrollinstrumente, die den Spitzenspannungspegel von Audiosignalen messen. Die Eigenschaften dieser Geräte wurden mit der Zeit in verschiedenen internationalen und nationalen Standards definiert. Zu den wichtigsten internationalen Standards gehören IEC 60268-10 und IEC 60268-18. Für den deutschen Rundfunk gilt das ARD-Pflichtenheft 3/6 [Pf3/6]. (Brixen, 2001, S. 89)

Bei den am häufigsten im Rundfunk verwendeten Kontrollinstrumenten handelt es sich um sogenannte Quasi Peak Programme Meter – kurz QPPM. Im deutschen Rundfunk werden diese Geräte seit etwa 1935 eingesetzt (Dickreiter, et al., 2008b, S. 1134). Diese Geräte arbeiten mit einer Integrationszeit von 10 ms. Es wird der Spitzenpegel gemessen, aber nur der 0,71-fache Wert angezeigt. Bei reinen Sinussignalen entspricht das dem Effektivwert. Nicht aber bei stochastischen Signalen wie es bei Programmmaterial (Sprache & Musik) üblich ist. Das bedeutet, dass Signalspitzen die kürzer als die Integrationszeit sind mit einem geringeren Wert (< 80%) angezeigt werden (Dickreiter, et al., 2008b, S. 1135). Dabei kann es zu Differenzen von mehreren dB kommen, im Vergleich zu einer Anzeige ohne Integrationszeit. Vor allem bei digitalen Signalen kann das zu Problemen führen. In der analogen Welt stellt die lange Integrationszeit keine größeren Probleme dar, da die Übersteuerungsgrenze nicht so klar definiert ist und kurze Übersteuerungen nicht hörbar sind. Bei digitalen Signalen hingegen entspricht eine Integrationszeit von 10 ms bei einer Abtastrate von 48 kHz bereits 480 Samples, die nicht auf dem Aussteuerungsmesser angezeigt werden. Bereits die Übersteuerung von nur wenigen dieser 480 Samples genügt um sich unangenehm bemerkbar zu machen. Auch wenn dem Hörer die genaue Ursache nicht bekannt ist kann es störend wirken (Schubert, o. D.). Um diese Probleme zu vermeiden kommt hier der bereits beschriebene Übersteuerungsbereich (Headroom) zum Einsatz (vgl. 4.1). Für die Kontrolle von digitalen Audiosignalen ist also eine kürzere Integrationszeit notwendig. Dazu bieten digitale Ausführungen von PPMs meist eine samplegenaue Anzeige. Die schnellere und dadurch unruhigere Anzeige eines samplegenauen Peak-Meters führte im Rundfunk aber auch dazu, dass aus Gewohnheit wieder QPPMs eingesetzt wurden (Schubert, o. D.). Abbildung 3.5 zeigt im Vergleich welche Pegeldifferenzen zwischen der samplegenauen Spitzenwertmessung und der mit einer Integrationszeit von 10ms entstehen können. Leider wird die Abkürzung »PPM« oft auch gleichbedeutend mit »QPPM« verwendet, so dass man sich sicherheitshalber über die genaue Integrationszeit vergewissern sollte.

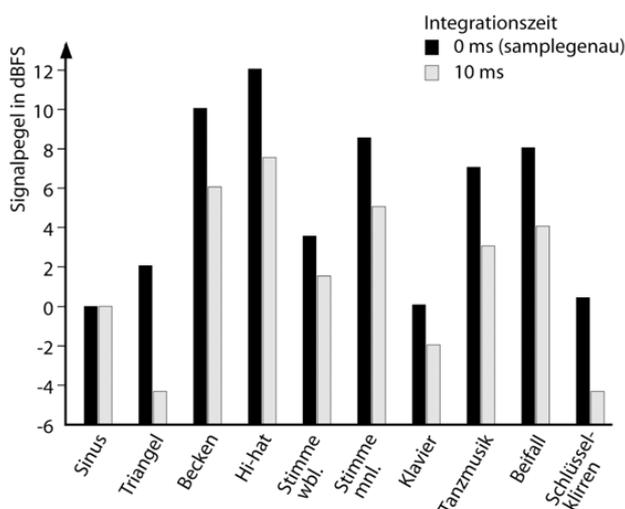


Abbildung 3.5: Vergleich Sample-Peak Meter mit QPPM (Weinzierl, 2008)

Im Laufe der Zeit haben sich in den verschiedenen Rundfunkorganisationen neben dem dynamischen Verhalten auch unterschiedliche Standards an Skalen etabliert (Abbildung 3.6). Diese wurden u. a. in DIN IEC 60268-10 genormt (Weinzierl, 2008, S. 556). Die Typ I »DIN Skala« entspricht dem in deutschen Rundfunkanstalten genutztem Aussteuerungsmesser. Der Bezugspunkt ist mit 0 dB markiert und entspricht einer Eingangsspannung von 1,55 V (+6 dBu). Diese Skala ist international auch unter »DIN PPM« bekannt. Die in den skandinavischen Ländern eingesetzte »Nordic-Skala« entspricht weitgehend der DIN Skala. Die Bezugsspannung liegt hier aber bei 0,775 V (0 dBu) und die Skala reicht bis +12 dB. Eine optische Besonderheit stellt der Standard in Großbritannien dar. Die sog. BBC oder British-Skala reicht von »1« bis »7«. Jeder Schritt stellt eine Pegelveränderung von 4 dB dar. Der Bezugswert ist mit »6« definiert und entspricht einer Eingangsspannung von 1,94 V (+8 dBu).

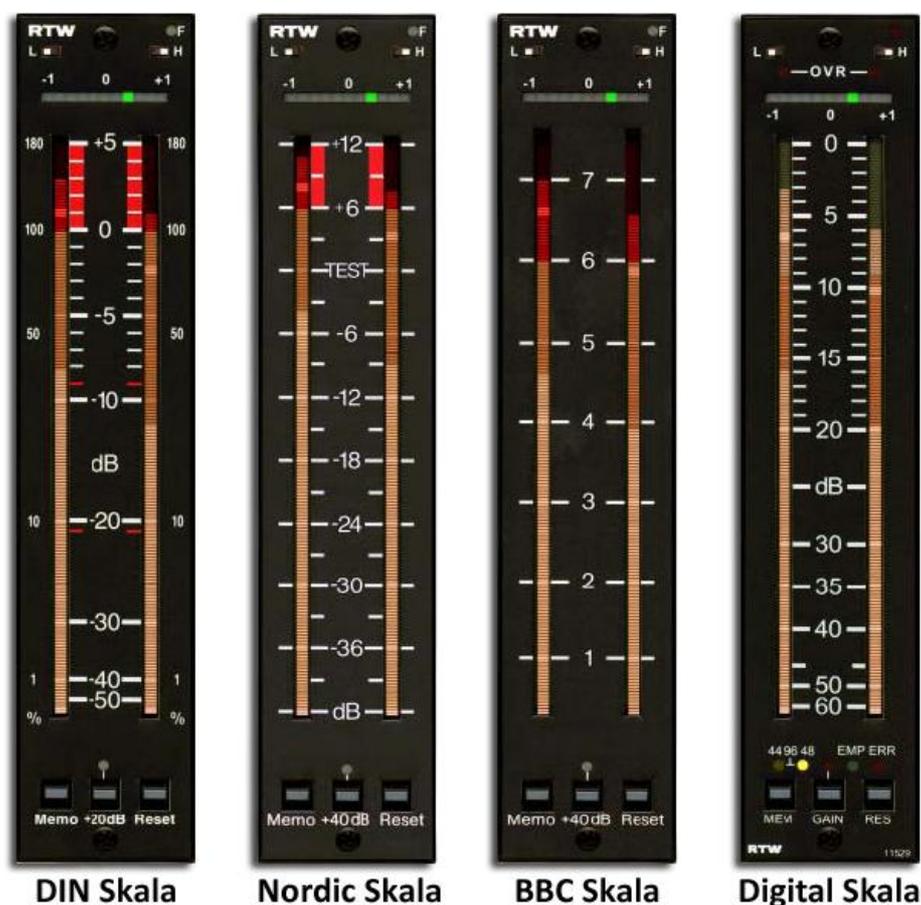


Abbildung 3.6: Verschiede Ausführungen vom Peak Programme Metern

Für den Einsatz in der Digitaltechnik werden eigene Skalen verwendet. Zum einen auf 0 dBFS bezogen, d. h. der Referenzpunkt von 0 dB entspricht der digitalen Vollaussteuerung. Ebenso sind speziell auf den Rundfunk zugeschnittene Versionen erhältlich. Diese zeigen am Ende der Skala +9 dB entsprechend 0 dBFS an. So stellt die 0 dB-Markierung wie in der analogen Aussteuerungspraxis den im Rundfunk definierten Maximalpegel dar (siehe 4.1). In Tabelle 3.1 sind alle Eigenschaften der typischen Ausführungen von PPMs zusammengefasst.

Tabelle 3.1: Eigenschaften von Spitzenspannungs-Aussteuerungsmessgeräten (nach Weinzierl, 2008)

	DIN Skala	NORDIC Skala	British Skala	EBU Skala	Digital Peakmeter
Standard	DIN IEC 60268-10 Typ I		DIN IEC 60268-10 Typ IIa	DIN IEC 60268-10 Typ IIb	DIN IEC 60268-18
Bezugsanzeige	»0 dB«	»0 dB«	»6«	»+9 dB«	»0dB«
Bezugsspannung	1,55 V	0,775 V	1,94 V	2,18 V	0 dBFS (Vari- anten s. Text)
Integrationszeit	5 ms	5 ms	10 ms	10 ms	0 ms / 10 ms (umschaltbar)
Rücklaufzeit	1,7 s (0 dB bis -20dB)	1,7 s (0 dB bis -20dB)	2,8 s (»7« bis »1«)	2,8 s (»+12 dB« bis »-12 dB«)	1,7 s (0 dB bis -20dB)

### 3.2.3. VU-Meter

Vor allem auf dem amerikanischen Markt sind die sog. Volume Unit Meter, kurz VU-Meter sehr verbreitet. Diese Instrumente messen nicht den Spitzenpegel sondern je nach Ausführung den Gleichrichtwert oder den Effektivwert des Signals. Mit einer Integrationszeit von meist 300 ms sind diese Instrumente sehr träge und für eine Spitzenwertbeurteilung ungeeignet. Im Umfeld digitaler Studioteknik verlieren sie zunehmend an Bedeutung. Die Skala hat einen relativ kleinen Anzeigebereich und reicht von -20 bis +3 VU wobei 0 VU einer Eingangsspannung von 1,228 V (+4 dBu) entsprechen. Bekannt ist meistens die Ausführung als Zeigerinstrument, wie in Abbildung 3.7 dargestellt. VU-Meter können aber auch wie Peak-Meter in Form einer Balkenanzeige (Bargraph) ausgeführt sein. Auf Grund der langen Integrationszeit kommt die Anzeige eines VU-Meters dem wahrgenommenen Lautstärkepegel näher als ein Peak-Meter. Eine Lautheitsbewertung kann mit einem VU-Meter besser als mit einem QPPM vorgenommen werden. Es erfolgt jedoch keine Frequenzbewertung, somit ist ein VU-Meter kein Ersatz für ein echtes Lautheitsmessgerät (Kootz, 2010, S. 67).



Abbildung 3.7: VU-Meter als Zeigerinstrument

### 3.2.4. Modelle zur Lautheitsmessung

Die bisher vorgestellten, sehr populären Geräte zur Aussteuerungskontrolle lassen keine echte Beurteilung der Lautheit zu. Mit einer Spitzenpegelmessung ist eine Beurteilung der Wahrnehmung (Lautheit) nicht möglich, denn Audiomaterial mit gleichem Spitzenpegel kann einen sehr unterschiedlichen Lautheitseindruck hervorrufen (Weinzierl, 2008, S. 559). Das lässt sich an den verschiedenen Wellenformen in Abbildung 3.8 erkennen. Der maximale Spitzenpegel ist jeweils identisch, die Lautheit gemessen mit dem energieäquivalentem Mittelwert  $L_{eq}$  (s. u.) variiert.

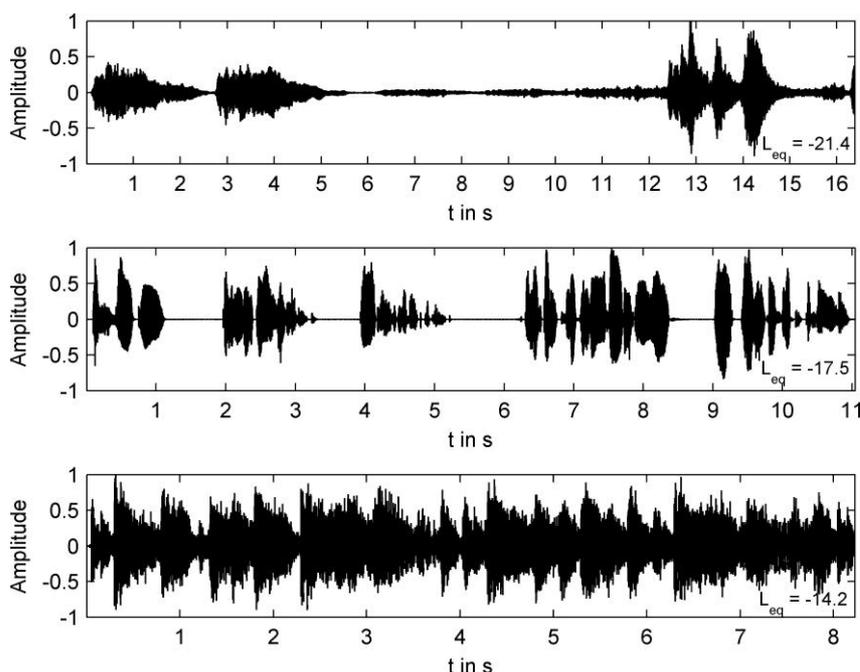


Abbildung 3.8: Gleicher Spitzenwert jedoch unterschiedlicher Mittelwert (Weinzierl, 2008, S. 560)

So haben sich in den letzten Jahrzehnten verschiedene Modelle zur Lautheitsmessung entwickelt. Bis heute konnte sich keines dieser Verfahren für eine Verwendung im Rundfunk international durchsetzen. Generell stellt sich bei der Entwicklung von Modellen die Frage, wie genau die Wirklichkeit abgebildet werden soll. Betrachtet man das am Beispiel eines Modells zur Lautheitsmessung, das nur auf bestimmte Typen von Eingangssignalen angewendet wird, kann ein solches Modell entsprechend vereinfacht werden und muss nicht genau die innere Struktur des Gehörs nachbilden. Obwohl bekannt ist, dass das Ohr eine Frequenzbewertung vornimmt, gibt es z. B. auch Modelle die keine Frequenzbewertung vornehmen. Modelle zur Lautheitsmessung können grundlegend in die Kategorien Single-Band und Multi-Band-Modelle eingeordnet werden. Bei Multi-Band-Modellen wird das Signal in mehrere Frequenzbänder aufgeteilt, bei Single-Band-Methoden erfolgt keine frequenzbezogene Aufteilung des Signals. (Skovenborg & Nielsen, 2004, S. 5)

Im Folgenden werden einige der populären Methoden kurz vorgestellt:

### **Zwicker-Methode**

Bei der von dem deutschen Psychoakustiker Eberhardt Zwicker entwickelten Methode handelt es sich um ein Multi-Band-Modell. Diese Methode wurde in DIN 45631 und ISO 532-B international standardisiert. Bei der Zwicker-Methode erfolgt eine Unterteilung des Frequenzspektrums in sog. kritische Bänder. Anschließend werden die Teillautheiten in einzelnen Frequenzgruppen summiert. Hier werden zudem die Maskierungseffekte zwischen den Frequenzbändern berücksichtigt. Es handelt sich um ein Modell das versucht, die psychoakustischen Eigenschaften des Gehörs möglichst genau zu berücksichtigen. Ursprünglich war das Modell für stationäre Signale vorgesehen, jedoch wurde es stetig weiterentwickelt. Das Zwicker-Modell gehört zu den komplexesten und rechenintensivsten Modellen. Echtzeit-Implementationen dieser Methode sind im Rundfunkbetrieb nicht zu finden. (Brixen, 2001, S. 83) & (Weinzierl, 2008, S. 562)

### **CBS Loudness**

Die von der Forschungs- und Entwicklungsabteilung des kanadischen Senders CBS entwickelte Methode gehört ebenfalls zu den Multi-Band-Modellen. Bei diesem Verfahren wird das Signal in acht kritische Frequenzbänder mit einer Bandbreite von einer Oktave aufgeteilt. Die Teillautheiten in diesen Frequenzbändern werden dann anhand der Kurven gleicher Lautheitspegel gewichtet. Bei dem CBS-Modell handelt es sich um eine Kurzzeit-Messung die dem menschlichen Empfinden möglichst nahe kommen soll, bei technisch machbarer Implementation. Eingesetzt wurde das CBS Loudness-Modell u. a. in den Optimod-Prozessoren der Firma Orban, die zumeist bei Radiosendern zu finden sind. Damit gehört das CBS-Modell vermutlich zu dem Verfahren, das den größten praktischen Einsatz im Rundfunk erfahren hat. In dem Software-Tool für Lautheitsmessung von Orban ist die CBS Loudness ebenfalls implementiert.

(Orban, o. D.) & (Orban, 2010, S. 1-2)

### **IRT – Lautheit**

Die sog. IRT-Lautheit wurde vom Institut für Rundfunktechnik entwickelt. Sie basiert auf der Feststellung, dass sich der 50%-Wert der kumulativen Pegel-Häufigkeitsverteilung eines QPPM-Wertes als relevant für die empfundene Lautstärke betrachten lässt (Dickreiter, et al., 2008b, S. 1143). Der Lautstärkepegel ergibt sich dann aus der Berechnung des Medianwertes der QPPM-Pegel über ein Zeitintervall von drei Sekunden (Spikofski & Klar, 2004, S. 16). Eine Frequenzbewertung des Signals wird bei diesem Modell nicht vorgenommen. Eingesetzt wird dieses Verfahren u. a. in einer Software zur Messung von Audiosignalen der Firma Pinguin. Diese Software wird z. B. bei der ARD zum Aufzeichnen des Lautheitsverlaufs von Sendungen eingesetzt und stellt eine deutsche Übergangslösung bis zur Einführung der EBU-Empfehlung [R128] dar (siehe 5.3). (mebucom, 2010)

### RTW – Lautheit

Bei der RTW-Lautheit handelt es sich um ein Verfahren, das vom deutschen Messgeräte-Hersteller RTW in dessen Geräten verfügbar ist. Dabei wurde die übliche Integrationszeit der PPM-Messgeräte von 10 ms verlängert. Zusätzlich wird ein eigenes Bewertungsfilter eingesetzt, das von der 80 dB-Isophone ausgeht. (Weinzierl, 2008, S. 561)

Dieses Modell wird in der Praxis oft von Toningenieuren als Kontrollinstrument angewendet, da die Geräte des Herstellers eine große Verbreitung auf dem deutschen Markt haben. Es handelt sich hierbei jedoch um eine proprietäre Lösung, die sich international nicht durchsetzen konnte.

### $L_{eq}$ – Messung und Bewertungskurven

Die  $L_{eq}$ -Messung ist eine häufig verwendete Berechnung für die Lautheit von Audiosignalen in Single-Band-Modellen. Dabei wird der über eine Zeitspanne  $T$  gemittelte energieäquivalente Mittelwert des Pegels  $L_{eq}$  für ein Audiosignal  $x(t)$  berechnet (Formel 3.1).  $L_{eq}$  steht dabei für »equivalent continuous sound level«. (Weinzierl, 2008, S. 560)

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{x^2(t)}{x_{ref}^2(t)} dt$$

Formel 3.1: Berechnung des energieäquivalenten Mittelwertes

Um die frequenzabhängige Empfindlichkeit des Gehörs zu berücksichtigen werden zusätzlich zur zeitlichen Mittelung Frequenzbewertungsfilter eingesetzt. Diese orientieren sich an den Kurven gleicher Lautheit. Da sich diese aber mit dem Pegel verändern, gibt es Kompromisse bei der Auswahl des Bewertungsfilters. Die Bewertungskurven wurden als A-, B-, C-, D-Kurven standardisiert. Jede Kurve steht für den Einsatz bei bestimmten Lautstärkepegeln (Abbildung 3.9). Die A-Kurve findet ihren Einsatz demnach bei niedrigen Schallpegeln, wohingegen die B-Kurve bei mittleren und die C-Kurve bei höheren Schallpegeln eingesetzt werden.

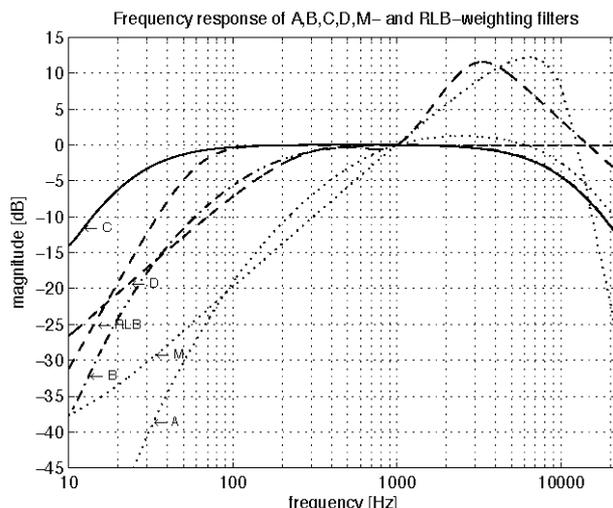


Abbildung 3.9: Bewertungskurven berücksichtigen Frequenzabhängigkeit (Skovenborg & Nielsen, 2004)

Bei Langzeitmessungen wie  $L_{eq}$  kann die Messung durch eine automatische Erkennung von Stille verbessert werden. Die Lautheit sollte nur ermittelt werden, wenn wirklich ein Signal anliegt. Sonst könnten z. B. leise Dialogstellen die Messung verfälschen (Skovenborg & Nielsen, 2004, S. 5f.). Die Firma Dolby® hat für diesen Fall die sog. »Dialog Intelligence« entwickelt und in die eigenen Geräte implementiert. Dabei handelt es sich um einen Prozess, der automatisch die Sprachanteile im Programm erkennt und nur diese in die Messung übernimmt (Dolby, 2011).

In der Praxis wird eine  $L_{eq}$ -Berechnung u. a. mit folgenden Bewertungsfiltren eingesetzt:

#### $L_{eq}(A)$ – Dialog Level

Der Dialog ist ein Element, das fast in jedem TV-Programm zu finden ist. Aus diesem Grund schlägt das Advanced Television Systems Comitee (ATSC) in dem Dokument Recommended Practice [A/54] vor, den Dialog einheitlich auszusteuern. Auf Grund des höheren Dynamikumfangs in einem digitalen System muss dieser nicht wie bei der analogen Übertragung üblich knapp unter der Vollaussteuerung liegen. Um Lautstärkesprünge zu vermeiden soll ein einheitlicher Pegel für normalen Dialog (kein flüstern oder schreien) festgelegt werden. Dieser sog. »Dialog Level« soll bisher nach Empfehlung des ATSC mit einer  $L_{eq}(A)$ -Messung bestimmt werden. Implementiert ist die  $L_{eq}(A)$  – Messung in vielen Geräten der Firma Dolby® (u. a. LM100, Media Meter).

#### $L_{eq}(M)$ – Movie Loudness

Zur Lautheitsbestimmung von Soundtrack-Elementen wie z. B. Werbung oder Kino-Trailer verwendet Dolby® eine modifizierte Filterkurve (CCIR) mit der Bezeichnung »M« für Movie. (Brixen, 2001, S. 88)

ITU-R BS.1770

Eine Berechnung nach  $L_{eq}$  mit speziellem Bewertungsfilter wird auch bei dem von der International Telecommunication Union erarbeiteten Standard [BS.1770] eingesetzt. Dieses Verfahren wird in Abschnitt 5 dargestellt.

### 3.2.5. Aussteuerungskontrolle in digitalen Produktionsmischpulten

Bei analogen Mischpulten kamen meist nur einfache Aussteuerungsanzeigen in Form von LED-Lichterketten zum Einsatz. Vor diesem Hintergrund wurden vor allem im Rundfunk auch immer externe Geräte zur Aussteuerungskontrolle eingesetzt. Digitale Produktionsmischpulte hingegen bieten eine Vielzahl an unterschiedlichen Möglichkeiten der Aussteuerungskontrolle. Am Beispiel des Lawo mc<sup>2</sup>-Systems werden im Folgenden die grundlegenden Möglichkeiten erläutert, die ein digitales Mischpult zur Aussteuerungskontrolle bietet. Für folgende Ausführungen vgl. Lawo AG, 2010, S. 256ff.

Über jeder Faderbank mit acht (Modelle mc<sup>2</sup>66 und mc<sup>2</sup>90) bzw. 16 Fadern (Modell mc<sup>2</sup>56) wird ein LCD-Display verwendet um relevante Kanalinformationen anzuzeigen (Channel Display). Dazu gehören Summen- bzw. Gruppenaufschaltungen, VCA-Zuordnungen sowie Kanalnamen. Einen großen Teil nimmt die Aussteuerungsanzeige ein. Des Weiteren sind immer die Gain Reduction der Dynamikmodule zu sehen (Abbildung 3.10).

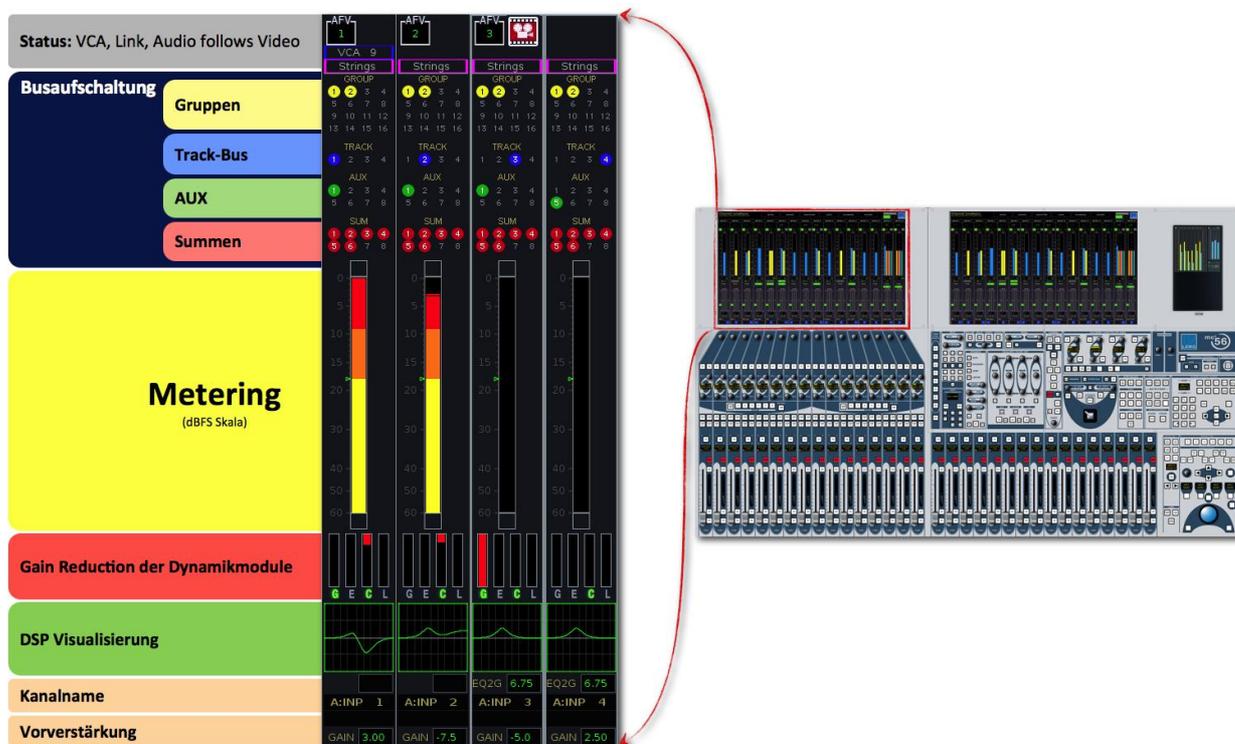


Abbildung 3.10: Kanalzug am Lawo Pult (Beispiel mc<sup>2</sup>56)

Für die Aussteuerungsanzeigen können in jedem Kanal verschiedene Messpunkte gewählt werden. Abbildung 3.11 zeigt die Möglichkeiten im Lawo-System. Zur Auswahl stehen Input, Pre Fader (vor Regler) und After Fader (nach Regler). Darüber hinaus können noch die Auspielwege Track Bus und Direct-Out als Messpunkt angewählt werden.

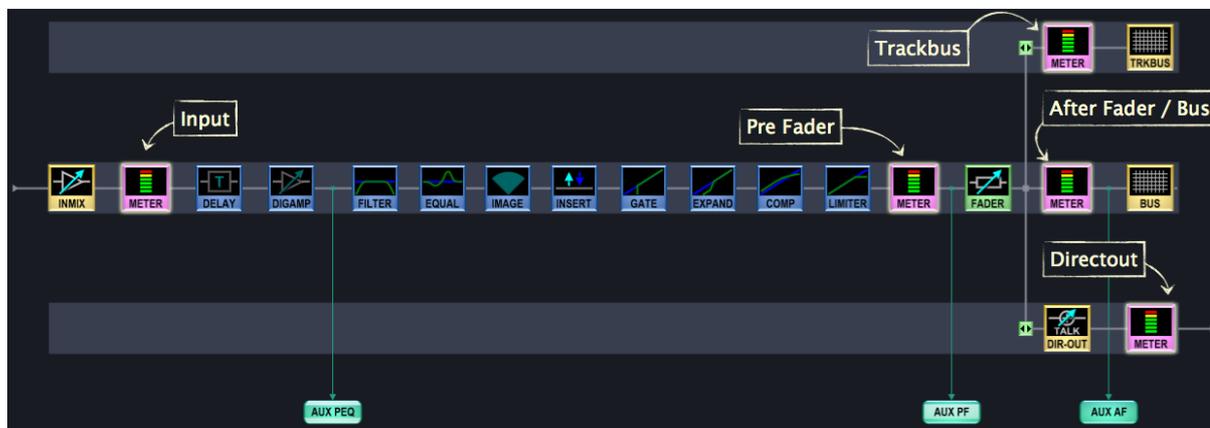


Abbildung 3.11: Mögliche Messpunkte im Kanal des Lawo-Systems

Wie in Tabelle 3.2 dargestellt können die Aussteuerungsanzeigen in verschiedenen Modi mit unterschiedlichen Eigenschaften betrieben werden. Diese Einstellungen werden global festgelegt.

Tabelle 3.2: Betriebsarten der Lawo Aussteuerungsanzeigen

	PPM	Sample	Fast	VU
Integrationszeit	10 ms	0 ms	1 ms	300 ms
Rücklaufzeit	1,5 s	1,5 s	1,5 s	300 ms

Es kann zwischen verschiedenen Skalen gewählt werden, dazu gehören:

- DIN PPM
- UK PPM (BBC Skala)
- Nordic
- dBFS (digitale Skala mit 0 dBFS am Skalenende)

Die Bezugsanzeige bzw. der Referenzpunkt der Skalen kann ebenfalls frei definiert werden. Für eine TV-Produktion nach ARD bzw. EBU-Richtlinien (siehe 4.1) sind die Werte in Abbildung 3.12 beispielhaft eingetragen.

Reference Level	6.00dBu	▲
Headroom	9.00dB	▲
Overload Threshold	-1.00dB	▲

Abbildung 3.12: Einstellung von Referenzpunkt und Headroom nach EBU-Richtlinien

Zusätzlich zu den Anzeigen auf den LCD-Displays zeigt eine grüne LED-Kette auf der Mischpultoberfläche neben dem Fader den Pegel vor Regler (PF) an. Diese Funktion ist allerdings nicht als präzises Messgerät gedacht, sondern kann z. B. Auskunft geben ob noch ein Signal vorhanden ist, ebenso können schnell Signalstörungen erkannt werden.

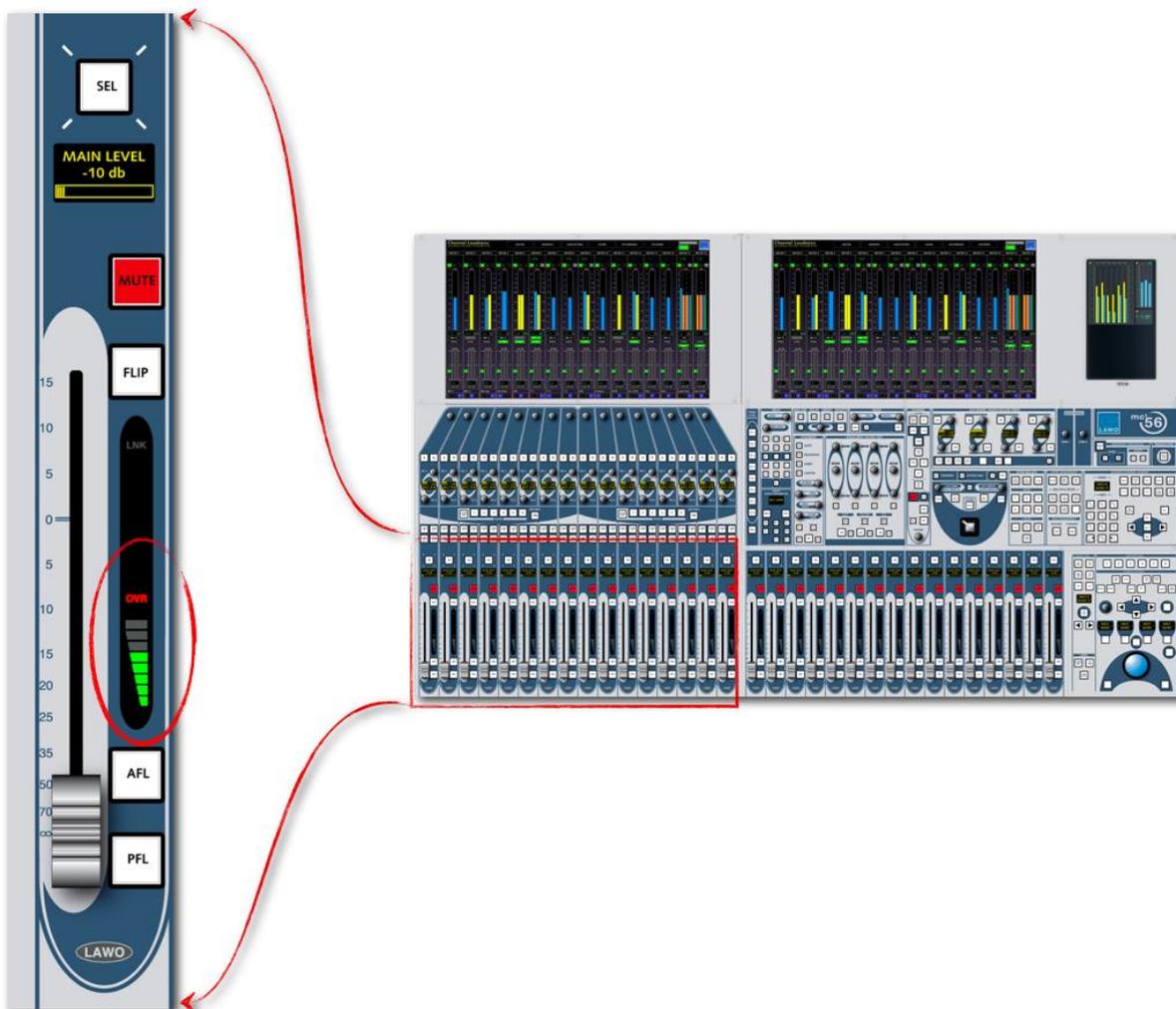


Abbildung 3.13: Pegelanzeige neben Kanalfader

## 4. Aussteuerungssituation im Rundfunk

### 4.1. Technische Richtlinien im Rundfunk

In den »Technische Richtlinien zur Herstellung von Fernsehproduktionen« sind u. a. auch die Rahmenbedingungen für den Umgang mit Audiopegeln bei Fernsehproduktionen festgelegt [ARD et al]. Diese stützen sich oft auf internationale Empfehlungen von ITU und EBU, so dass die Richtlinien auch über die Grenzen Deutschlands hinaus vergleichbar eingesetzt werden.

Es wird ein zugelassener Maximalpegel (Permitted Maximum Level, PML) definiert. Dieser liegt in analogen Systemen bei +6 dBu. In digitalen Systemen beträgt der PML in Anlehnung an EBU [R68] -9 dBFS. Diese Werte müssen mit einem QPPM-Aussteuerungsmesser gemessen werden, der dem ARD-Pflichtenheft 3/6 [Pf3/6] entspricht. Der Bereich von -9 dBFS bis 0 dBFS wird als Headroom bezeichnet. Das bedeutet jedoch nicht, dass kein Signal über -9 dBFS auftreten darf. Da die Messung mit einer Integrationszeit von 10 ms erfolgt können durchaus kurze Signalspitzen auftreten, die -9 dBFS überschreiten. Durch den großzügigen Headroom kann allerdings ein Clipping weitgehend ausgeschlossen werden. Aus dem Headroom von 9 dB ergibt sich im analogen Betrieb der Systemgrenzpegel von +15 dBu.

Für den internationalen Programmaustausch bzw. zur Pegeleinstellung von Übertragungsstrecken wird mit einem Einstellsignal (Alignment Signal Level, AL) gearbeitet. Dabei handelt es sich um einen Sinuston mit einer Frequenz von 1000 Hz, dessen Pegel um 9 dB unter dem zugelassenen Maximalpegel (PML) liegen soll. Das entspricht in analogen Systemen einem Pegel von -3 dBu. In digitalen Systemen liegt der Einstellpegel nach EBU [R68] bei -18 dBFS.

Der Zusammenhang zwischen analogen und digitalen Pegeln im deutschen Rundfunk ist aus Abbildung 4.1 ersichtlich.

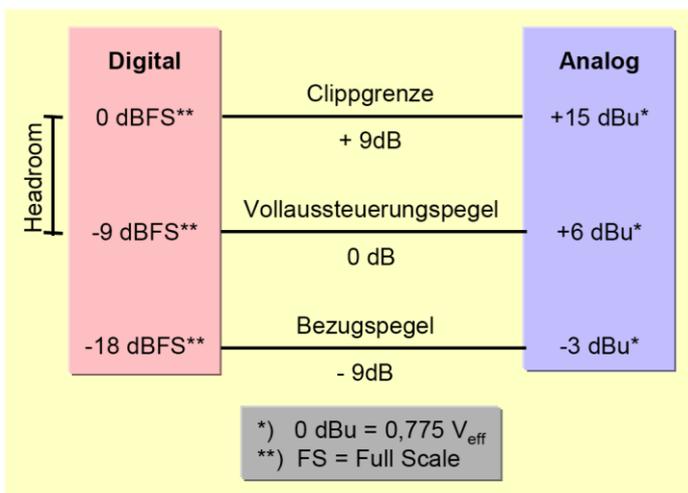


Abbildung 4.1: Relation zwischen analogen und digitalen Pegeln im Rundfunk [ARD et al]

In den technischen Richtlinien zur Fernsehproduktion wird auch festgelegt wie die Gestaltung des Programmcharakters und die Programmdynamik zu handhaben ist. Das Mischungsverhältnis in Fernsehproduktionen muss danach immer Sprachverständlichkeit gewährleisten. Ebenso soll eine Signaldynamik von 40 dB nicht überschritten werden. Abbildung 4.2 zeigt dazu eine Empfehlung von ARTE, wie die Programmdynamik bei TV-Produktionen zu verwenden ist.

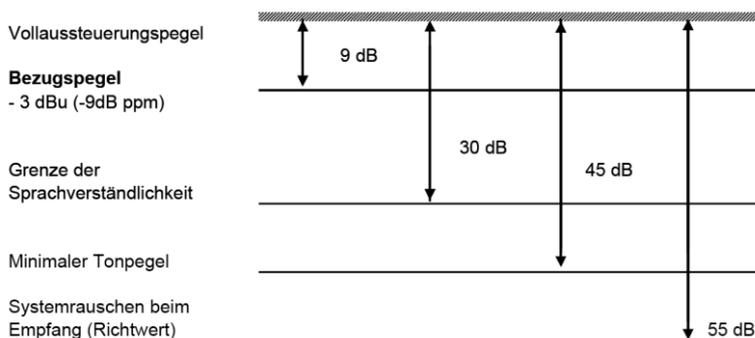


Abbildung 4.2: Verwendung der Systemdynamik für TV-Produktionen nach Empfehlung von ARTE [ARTE]

Das unter Abschnitt 3 vorgegebene Ziel der Aussteuerung, dass ein *angemessener Lautstärkeablauf der einzelnen Abschnitte einer Sendung oder Produktion* entstehen soll, erfüllen Toningenieure im Rundfunk bisweilen mit ihrem wichtigsten Werkzeug – den Ohren. Dennoch kommt es zu Problemen, wenn unterschiedliche Programminhalte kombiniert werden. Die zur Verfügung stehende und standardmäßig eingesetzte Messtechnik kann die Toningenieure bei diesem Problem nur bedingt unterstützen. Mit den im Rundfunk eingesetzten QPPMs ist keine echte Lautheitsbewertung möglich. Um Lautheitssprüngen beim Wechsel von Programminhalten entgegenzuwirken wurden für den Einsatz im Rundfunk Richtwerte zur Aussteuerung herausgegeben. Die in Abbildung 4.3 dargestellten Pegelwerte dienen als Orientierung für eine ausgewogene Lautheitsbalance. Danach sollen z. B. stark komprimierte Werbebeiträge und Trailer mit -6 dB ausgesteuert werden.

Durch Einhalten dieser Empfehlung könnten sich viele große Lautheitssprünge schon vermeiden lassen. Leider zeigt sich in der Praxis, dass diese Aussteuerungsempfehlungen kaum angewendet werden (Siegfried, 2011).

	Richtwerte * (Bezug QPPM -9 dB dBFS)	QPPM Pegel digital	QPPM Pegel analog
	[dB]	[dBFS]	[dBu]
Wortbeiträge ohne künstlerischen Charakter	0	-9	+6
Off-Sprecher	0	-9	+6
Musik mit geringer Dynamik	-3...-6	-12...-15	+3... 0
Musik mit großer Dynamik	0	-9	+6
Werbung (stark komprimiert)	-6	-15	0
Bei Musikproduktionen sind Ansagen oder Zwischendialoge mit reduziertem Pegel <u>entsprechend</u> der Dynamik des Klangkörpers auszusteuern:			
bei Kammermusik und sinfonischer Musik	-3... -6	-12... -15	+3... 0

\* *Hinweis:* In Spalte 1 sind die empfohlenen Richtwerte als maximale QPPM Pegel in Bezug auf -9 dBFS (Vollaussteuerungspegel) angegeben. Um Fehlinterpretationen zu vermeiden sind zusätzlich die entsprechenden QPPM Pegel für digitale [dBFS] und analoge [dBu] Pegel angegeben. Die Relation der analogen und digitalen Bezugspegel ist in Punkt 2.3.4 detailliert erläutert.

Abbildung 4.3: Aussteuerungshinweise zum Angleichen von Programminhalten [ARD et al]

## 4.2. Lautheitsprobleme im Rundfunk

### 4.2.1. Lautheitsunterschiede in der Sendung

Betrachtet man eine typische Fernsehsendung, besteht diese aus unterschiedlichen Tönelementen. Abbildung 4.4 zeigt die Pegel typischer Elemente einer Talkshow. Die dunklen Bereiche stellen die wahrgenommene Lautheit dar. Es handelt es sich dabei um eine VU-Messung (Mittelwert). Dennoch wird gut deutlich, dass vor allem die vorproduzierten Inhalte, wie *opening score*<sup>3</sup>, *bumper*<sup>4</sup> oder *end score*<sup>5</sup> die größte Lautheit enthalten. Während einer laufenden Sendung ist es die Aufgabe des Toningenieurs durch eine gute Mischung diese Elemente in ein ausgewogenes Verhältnis zu bringen. Wird das Programm allerdings unterbrochen, z. B. durch Werbung, sind keine vielfältigen Möglichkeiten mehr geboten. In Zeiten einer automatisierten Sendeabwicklung ist nicht mehr an jeder Stelle ein »Ohr« verfügbar, das eingreifen kann. Wird nur ein digitaler Peak-Meter eingesetzt ist vor allem ungeschultes Personal dazu verleitet, »alles auf Null« auszusteuern, was in diesem Beispiel eben nicht für einen ausgewogenen Lautstärkeverlauf sorgen würde.

<sup>3</sup> Titelmusik

<sup>4</sup> kurze Einspielung, vergleichbar mit einem Jingle

<sup>5</sup> Abspann

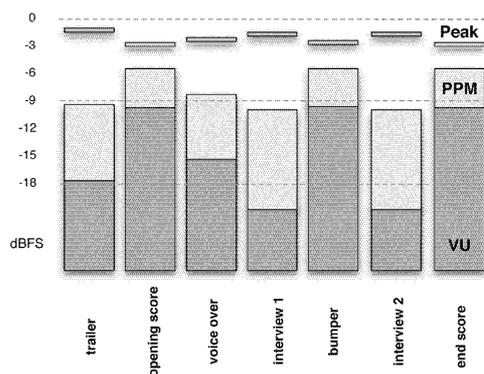


Abbildung 4.4: Pegelverhältnisse von Elementen einer typischen Talkshow (Moerman, 2005)

#### 4.2.2. Lautheitssprünge beim Wechsel von Programminhalten

Lautheitssprünge zwischen Programminhalten, insbesondere beim Einsetzen von Werbung sind ein großes Problem bei den Rundfunkanstalten. Im Folgenden soll am Beispiel der ARD diese Problematik dargestellt, und der aktuelle Stand der Problemlösung erläutert werden.

Im Jahr 2006 wurde von der Fernsehbetriebsleiter-Konferenz (FSBL-K) die 5.1 AdHoc-AG gebildet. Eine Arbeitsgruppe, die sich neben den Themen Mikrofonierung, Spurbelegung und 5.1 Mischung auch mit Lautheit und Aussteuerung beschäftigte. Auslöser waren die unterschiedlichen Mischungen und Lautstärkeprobleme bei ARD und ZDF während der Fußball Weltmeisterschaft 2006. Bei der abwechselnden Sendung von ARD und ZDF gab es immer wieder Lautstärke-sprünge zwischen den beiden Sendern. Mehrere Untersuchungen u. a. am Institut für Rundfunktechnik (IRT) haben ergeben, dass die Aussteuerungsrichtlinien nicht eingehalten werden. Hier ist ein wesentlicher Grund für die großen Lautstärkesprünge zu finden. Bei den Untersuchungen des IRT ergaben sich nicht tolerierbare Lautstärkesprünge von 6 – 9 dB (Spikofski & Klar, 2004, S. 20). Daraufhin wurde beschlossen, die Programme von ARD und ZDF 24 Stunden in Lautheit und Spitzenwert (QPPM) zu messen. Eingesetzt wurde dafür eine Software der Fa. Pinguin mit dem IRT-Lautheitsalgorithmus. Dabei kamen die Aussteuerungsprobleme messtechnisch zu Tage. Anhang G zeigt jeweils einen Auszug aus den Messungen des ARD-Programmes. Hierbei wird deutlich, wie unterschiedlich die Lautheitswerte der einzelnen Programme sind. Es wird auch deutlich, dass Lautheitsunterschiede nicht nur durch zu hohe Aussteuerung, sondern auch durch zu geringe Aussteuerung bedingt sind (Beispiel 2).

Aktueller Stand zur Problemlösung ist, dass noch im Jahr 2011 alle ARD-Rundfunkanstalten mit Lautheitsmessgeräten ausgestattet werden sollen. Da sich die Standardisierungen durch die EBU im Zusammenhang mit Lautheitsmessung parallel entwickelt haben soll nun auch bis Ende 2011 die EBU Recommendation [R128] in den Rundfunkanstalten umgesetzt werden.

(Eberhard, 2011)

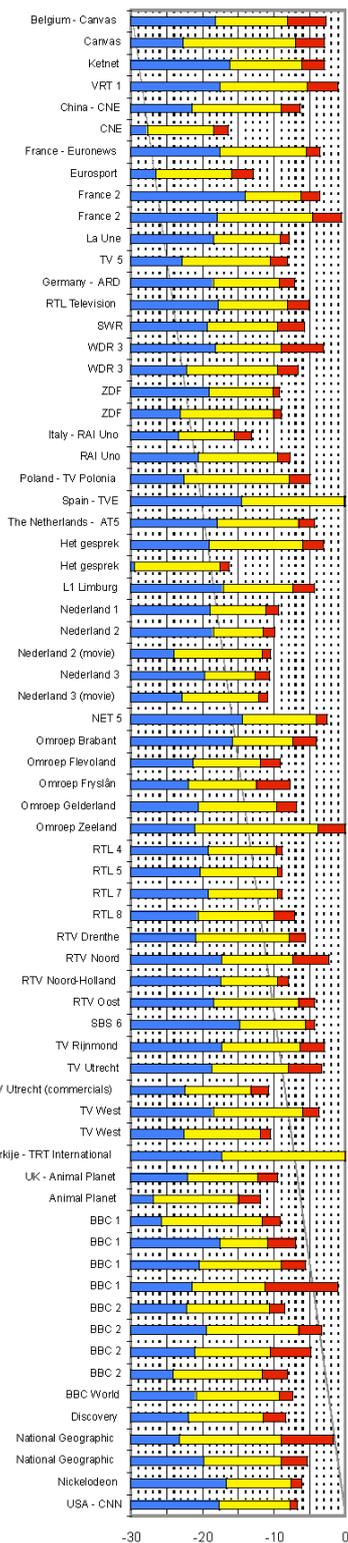
### 4.2.3. Lautheitsunterschiede zwischen TV-Stationen

Ebenso kommt es zu Problemen beim »Zappen« zwischen den Stationen. Da nur der maximal erlaubte Spitzenpegel (Permitted Maximum Level) festgelegt ist, sind die Programme unterschiedlich laut. Pegelmessungen von mehreren Fernsehsendern in Europa haben ergeben, dass selbst innerhalb der ARD-Rundfunkanstalten die Aussteuerungsrichtlinien und der damit verbundene Headroom von -9 dB oft falsch interpretiert werden. Abbildung 4.5 zeigt die Auswertung einer Messung von 50 Rundfunkanstalten. (Grimm, van Everdingen, & Schöpping, 2010)

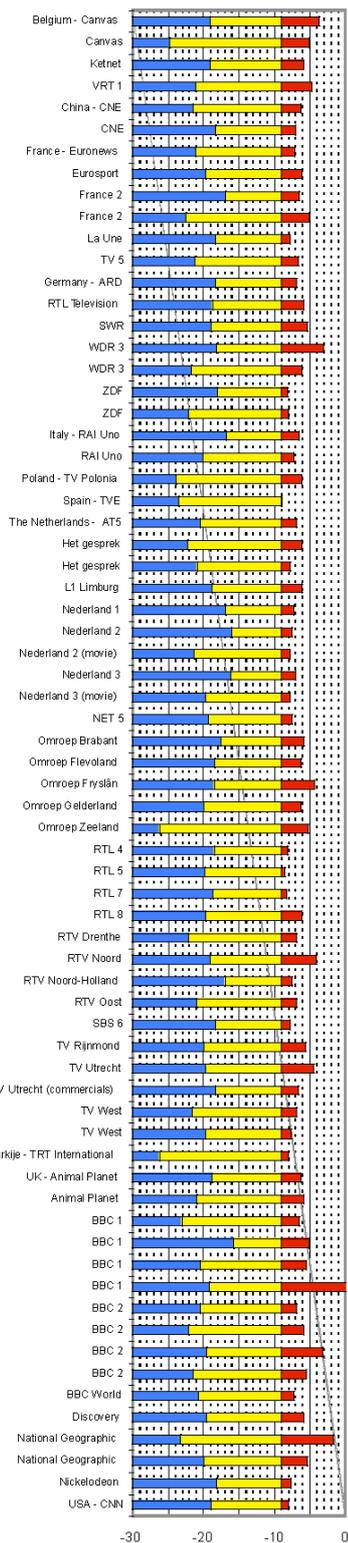
In diesem Zusammenhang kann man auch von einem »Broadcast Loudness War« sprechen. Der sog. Loudness War (Lautheitskrieg) ist vor allem im Umfeld von Musikproduktionen in den Bereichen Rock und Pop zu finden, wo er seit einigen Jahren die Audioqualität aktueller Tonträger bestimmt. Es handelt sich hierbei um das Erreichen einer maximalen Lautheit der Produktion mit dem Ziel, lauter zu sein als die Konkurrenz. Dieses Vorgehen hat seinen Ursprung schon in Zeiten als Aufnahmen noch in Jukeboxen gespielt wurden, die keinen Lautstärke-Regler besaßen. Hier versuchte man mit einer möglichst lauten Aufnahme Aufmerksamkeit zu erregen. Der Ursprung ist psychoakustisch begründet und auf die Frequenzabhängigkeit des Gehörs zurückzuführen. Bei größeren Pegeln ist unser Ohr für hohe und tiefe Frequenzen empfindlicher. Der Frequenzgang des Gehörs wird mit zunehmender Lautstärke linearer. Werden zwei identische Programme mit unterschiedlichem Pegel abgespielt, wird das Lautere meist als besser empfunden. Dieser Effekt ist allerdings von kurzer Dauer. (Katz, 2007, S. 168)

Inzwischen wird bei Musikproduktionen schon die Grenze des technisch machbaren überschritten und eine schlechtere Audioqualität in Kauf genommen. Dieser Zustand hat inzwischen schon zu Beschwerden bei Konsumenten über die Qualität von CD-Produktionen geführt. Traurigstes Beispiel dieser Entwicklungen ist vermutlich die Produktion »Death Magnetic« von Metallica (Smith, 2008). Bei dieser Produktion erreichen einzelne Titel einen Lautheitswert von -3.8 LKFS (gemessen nach [BS.1770]). Zum Vergleich sei erwähnt, dass rosa Rauschen bei Vollpegel (0 dBFS) hingegen nur -6.0 LKFS erreicht.

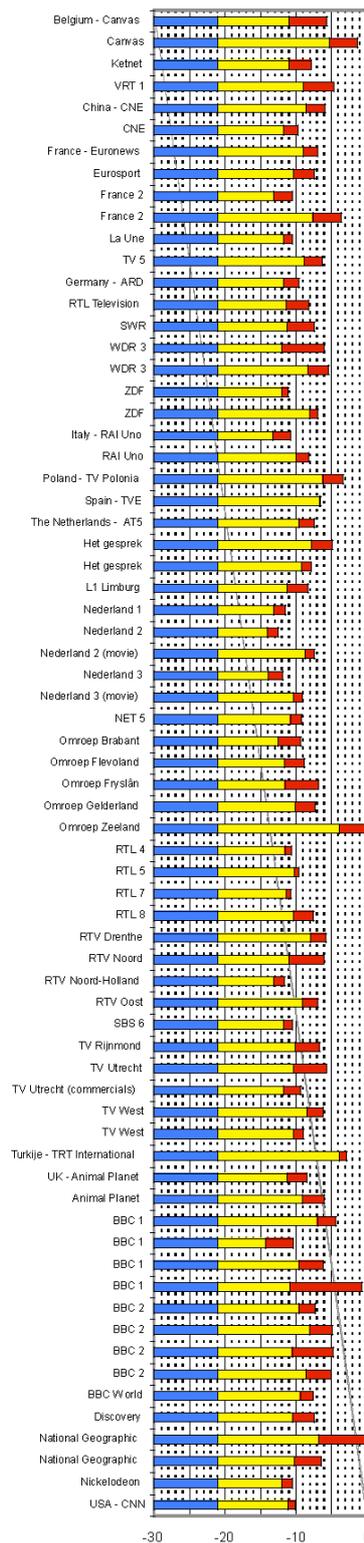
Auch im Rundfunkbereich ist ein vergleichbarer Effekt zu beobachten, der bedingt durch kommerziellen Druck dazu geführt hat, dass TV-Sender lauter als die Konkurrenz sein wollen. Dieser »Broadcast Loudness War« soll kurz erläutert werden.



Graph 1.  
Measurements of 50  
stations: LKFS loudness,  
PPM peak and digital peak.



Graph 2.  
The same measurements,  
normalized to all ppm max  
levels equal -9 dBFS.



Graph 3.  
The same measurements,  
normalized to all LKFS levels  
equal -21 dBFS.

Abbildung 4.5: Lautheitsunterschiede zwischen TV-Sendern (Grimm, van Everdingen, & Schöpping, 2010)

Der in den Aussteuerungsrichtlinien festgelegte Maximalpegel von -9 dBFS entspricht bei einer analogen FM-Übertragung im Fernsehen einem Nominalhub von 30 kHz. Der Maximalhub wurde in vielen europäischen Staaten bei 50 kHz standardisiert. Die Hubreserve von 20 kHz entspricht einem Headroom von 4.4 dB. Dieser konnte für kurze Transienten genutzt werden, wie sie bei der Aussteuerung auf -9 dBFS mit QPPM noch auftreten. Bei voller Ausnutzung des Frequenzhubs von 50kHz liegt der Spitzenpegel bei 4.6 dBFS. Wird der Nominalpegel von -9 dBFS in Richtung des Maximalhubs von 50 kHz verschoben, kommt es zu einem Gewinn an Lautheit (Abbildung 4.6). Allerdings dürfen dann keine Signalspitzen größer als -9 dBFS mehr auftreten. Dies ließ sich durch moderne Digitaltechnik (Multiband-Limiter, etc.) immer besser erreichen. Diese Entwicklung führt unweigerlich zur Reduktion von Dynamik und zum Verlust von Qualität und einem gleichmäßigem Lautheitspegel, was für den Lautheitsgewinn auch hier in Kauf genommen wurde. (Camerer, 2010a, S. 608)

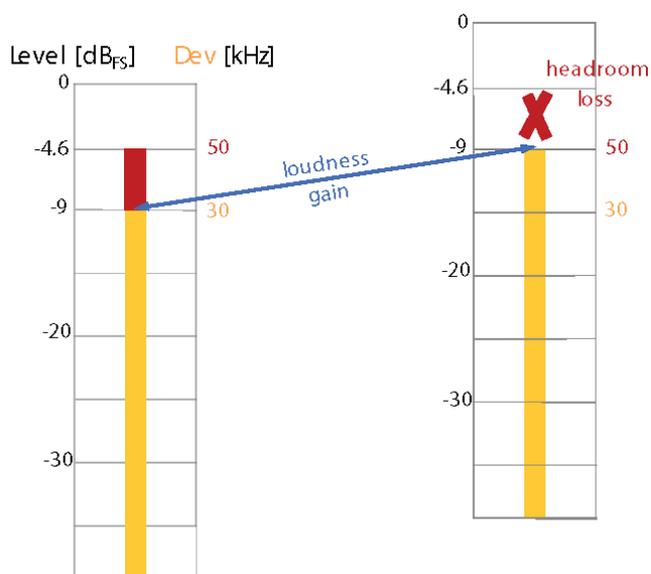


Abbildung 4.6: Pegelverschiebung zum Lautheitsgewinn im Rundfunk (Camerer, 2010b)

#### 4.2.4. Probleme bedingt durch digitale Übertragung und Formate

##### 4.2.4.1. Übergang von Analog- zu Digitalübertragung

Ein weiterer Punkt, der Lautheitssprünge mitverantwortet, ist die Umstellung des Übertragungsverfahrens von analog nach digital. Digitale Systeme bieten einen viel höheren Dynamikumfang als analoge Übertragungsverfahren. Mit einem 24 Bit-System ist eine Systemdynamik von bis zu 144 dB<sup>6</sup> zu erreichen. Berücksichtigt man eine Ausstrahlung mit AC3-Codierung (16 Bit) und einem Arbeitspegel<sup>7</sup> von -20 dBFS bleibt immer noch eine Systemdynamik von 76 dB (Mahler, Coppa, & Seidel, 2008, S. 5). Für den analogen Rundfunk gilt die Empfehlung einen Dynamikumfang von 40 dB nicht zu überschreiten (Dickreiter, et al., 2008a, S. 1152).

Bei der Umstellung auf digitale TV-Ausstrahlung wurden jedoch die Audiokonzepte meist aus der analogen Zeit übernommen [A/85]. Durch den höheren Dynamikumfang in digitalen Systemen können jetzt Lautstärkesprünge noch größer ausfallen als bei einer analogen Übertragung.

##### 4.2.4.2. Probleme bei gemischten Formaten

Auch wenn der Anteil an Surround-Produktionen stetig zunimmt, wird immer noch mit Stereo-Material gearbeitet. Bisher kann keine Aussage getroffen werden über die Lautheit von Audio-Material in verschiedenen Formaten. Es gibt keinen Wert, der die Lautheit unterschiedlicher Audioformate bestimmt und vor allem vergleichbar macht. Dieser Mangel fällt vor allem dann ins Gewicht, wenn im laufenden Programm eine Umschaltung von Surround nach Stereo erfolgt. Dies kann zwischen zwei Sendungen erfolgen, häufig tritt dieser Fall aber bei Werbeblöcken ein, die grundsätzlich eine größere Lautheit enthalten als das übliche Programm. Dieser Umstand führt immer wieder zu einem »Lautstärkeschock« und somit verständlicherweise zu Beschwerden von Zuschauern.

Diese Problematik der digitalen Übertragung und gemischten Formaten steht u. a. auch im Zusammenhang mit falsch gesetzten Metadaten. Bei der Übertragung von digitalem Audio haben sich im Broadcastbereich die Codierungsverfahren der Firmen Dolby® und DTS durchgesetzt. Audiodaten werden codiert übertragen und beim Konsumenten decodiert. Um das Wiedergabeverhalten nicht ganz dem Zufall zu überlassen werden mit dem Audiostream Metadaten übertragen, die das Programm beschreiben und Einstellungen am Encoder (Receiver) des

---

<sup>6</sup> Die maximale Systemdynamik in digitalen Systemen lässt sich überschlägig mit  $S/N[\text{dB}] = 6n+2$  ( $n$  = Anzahl der Bits) berechnen. Um Wandlerfehler zu berücksichtigen werden in der Praxis 2 dB abgezogen. (Dickreiter, et al., 2008b, S. 1150)

<sup>7</sup> Der Arbeitspegel entspricht hier einem Durchschnittswert des Programmes. Werden -20 dBFS angenommen gilt:  $96 - 20 = 76$  dB.

Konsumenten vornehmen. Diese Metadaten können nicht abgeschaltet oder umgangen werden. Sie können entweder richtig oder falsch verwendet werden (Slavik, 2010). Werden mit dem Programm keine Metadaten gesendet, greift der Decoder auf ein Preset zurück und verwendet diese Metadaten. Für den Lautstärkeindruck sind vor allem die Metadaten »Dialog Level« und »Dynamic Range Control« maßgeblich. Mit dem Dialog Level wird die Wiedergabelautstärke vom Empfangsgerät auf einen standardisierten Wert (-31 dBFS) normalisiert. Wird in einem Datenstrom der Dialog Level auf -24 dBFS gesetzt wird das Signal im Empfänger um 7 dB abgesenkt. Damit soll eine einheitliche Wiedergabelautstärke bei verschiedenen Programmen gewährleistet werden. Dazu müssen die Metadaten aber richtig gesetzt werden. Bestimmt wird der richtige Dialog Level durch eine  $L_{eq}(A)$ -Messung einer repräsentativen Dialog oder Kommentar-Passage (Slavik, 2010). Die Dynamic Range Control beeinflusst die Wiedergabedynamik des Materials. Als Schwellwert (Threshold) wird der Dialog Level verwendet. Wurde dieser schon falsch editiert, kann ein falsches Arbeiten der Dynamic Range Control die Wiedergabe negativ beeinflussen. Weiteres zum Thema Dolby® Metadaten findet sich bei (Dolby, 2005). Echte Stereoprogramme werden als uncodierter PCM-Datenstrom übertragen und enthalten keine beschreibenden Metadaten. Wurden nun im Surround-Audiosignal Metadaten falsch oder gar nicht gesetzt, kommt es unweigerlich zu einem Lautstärkeunterschied zwischen den beiden Programmen.

#### 4.2.5. Zuschauerbeschwerden

Die oben dargestellten Probleme haben vermehrt zu Beschwerden der Zuschauer geführt. In Belgien betreffen 75% der eingehenden Beschwerden den Fernsehton (Moerman, 2005, S. 2). Beim Norddeutschen Rundfunk sind es etwa 70%. Zu den häufigsten Beschwerdegünden gehören dort mangelnde Sprachverständlichkeit, störende Musikuntermalung und Lautheitssprünge (Siegfried, 2011). Dass sich Zuschauerbeschwerden in erster Linie auf den Ton beziehen hat auch die Fußball WM 2010 in Südafrika gezeigt. Die massiven Beschwerden über den Vuvuzela-Lärm waren Teil vieler Medienberichte und führten final dazu, dass spezielle Filter eingesetzt wurden um das Geräusch der Plastiktröten zu verringern (jar/dpa, 2010).

Ein Hauptärgernis bleiben jedoch die großen Lautstärkesprünge. Viele Zuschauer greifen vor allem beim Einsetzen von Werbung oder Trailern schon reflexartig zur Fernbedienung. Vor allem die Werbeblöcke fallen so einem Stummschalten durch den Zuschauer zum Opfer. Die ursprüngliche Annahme »Lauter = Besser« wird so zum Negativen umgekehrt. Vor diesem Hintergrund herrschte in allen Rundfunkanstalten Handlungsbedarf, und es wurden verschiedene Untersuchungen gestartet und Arbeitsgruppen gebildet (Eberhard, 2011). Eine Vorreiterrolle

nimmt hier der Norddeutsche Rundfunk ein, der noch bevor es übergreifende Empfehlungen zu diesem Thema gab, 2009 ein Konzept der Lautheitsnormalisierung einführte (Siegfried, 2011).

### 4.3. Lösungsansatz standardisierte Lautheitsmessung

Eine Lösung des Problems lässt sich nur erreichen, wenn es eine Methode gibt, die herstellerunabhängig, einfach zu handhaben und standardisiert ist. Im Bereich Fernsehen muss diese Methode für alle Bereiche (Produktion, Distribution und Ausstrahlung) anwendbar sein. Dieser Zustand lässt sich mit der konsequenten Umstellung der Aussteuerungsrichtlinien erreichen. Einem Übergang von der jetzt praktizierten Aussteuerung nach Spitzenpegeln (Peak Normalisation) hin zur Aussteuerung nach einem Lautheitswert (Loudness Normalisation), unter Verwendung eines international standardisierten Messverfahrens. (Camerer, 2011)

Abbildung 4.7 stellt die beiden Paradigmen der Aussteuerung grafisch gegenüber. Betrachtet man die Peak Normalisation wird deutlich, dass bei einheitlichen Spitzenpegeln die Lautheit variieren kann. Nimmt man eine Aussteuerung nach Lautheit vor können die Spitzenpegel variieren, die Lautheit soll gemessen über das ganze Programm jedoch konstant sein.

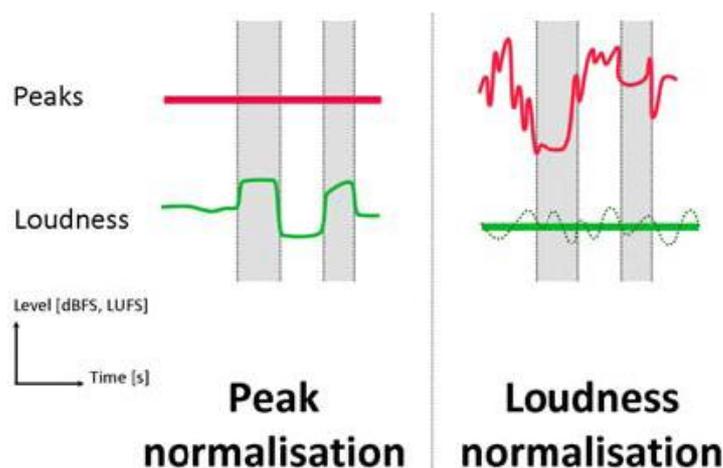


Abbildung 4.7: Gegenüberstellung der Aussteuerungsparadigmen (Camerer, 2010b)

Der konsequente Einsatz von Lautheitsmessung kann aber nicht nur helfen die Lautheitsprobleme in den Griff zu bekommen. Eine Lautheitsmessung kann den Toningenieur auch bei seiner täglichen Arbeit unterstützen. Im Folgenden werden einige Situation beispielhaft dargestellt, in denen eine Lautheitsmessung hilfreich kann:

- im Übertragungswagen oder Studio mit hohem Kommunikationsaufkommen im Hintergrund.
- bei laufender Live-Sendung finden im Hintergrund oft zusätzliche audiorelevante Aktivitäten statt, wie z. B. abgesteckte Interviews, Überholspur<sup>8</sup>, etc.
- bei natürlicher Ermüdung des Gehörs nach langer Arbeit.

Beispiel Fußballproduktion: Vorlauf, Spiel, Nachlauf, alle Spiele - alle Tore

→ Gesamtarbeitszeit am Pult bis zu 7 Std.

Die oben genannten Punkte zeigen, warum eine Einführung der Lautheitsmessung und ein lautheitsgerechtes Aussteuern vor allem im Fernsehbereich sinnvoll und notwendig sind. Das entscheidende Hindernis für die Verbreitung eines Konzeptes der Lautheits-Aussteuerung war das Fehlen eines internationalen Standards für die Messung von Lautheit (Camerer, 2010a, S. 608). Diese Situation hat sich inzwischen geändert, denn seit dem Jahr 2006 gibt es ein international gültiges Messfahren. Die International Telecommunication Union (ITU) hatte das Problem eines fehlenden Standards erkannt und im Jahr 2002 eine Arbeitsgruppe eingesetzt. Untersucht werden sollten notwendige Eigenschaften von Messverfahren für den Einsatz in digitalen Produktionen (Skovenborg & Nielsen, 2004, S. 4). Dabei sollte auch ein Verfahren entstehen, mit dem sich ein zuverlässiger Indikator der subjektiven Lautheit von Programmen bestimmen lässt. Bei diesem Verfahren handelt es sich nicht um ein proprietäres System sondern einen offenen Standard. Im Folgenden sollen die Kernpunkte dieser Empfehlung dargestellt werden.

---

<sup>8</sup> Ausdruck im deutschen Rundfunk für eine Produktionssituation, bei der gleichzeitig aufgezeichnet und zeitversetzt gesendet wird.

## 5. ITU-R BS.1770 – Grundlage der neuen Lautheits-Bewegung

### 5.1. Lautheitsalgorithmus

Von der Arbeitsgruppe der ITU wurden in Zusammenarbeit mit verschiedenen Institutionen mehrere Hörversuche durchgeführt. Es wurden verschiedene Modelle zur Lautheitsmessung untersucht und miteinander verglichen. Ziel bei der Entwicklung des Lautheitsalgorithmus war es, dass dieser vor allem robust und einfach zu implementieren sein muss. Dabei wurde darauf Wert gelegt, dass er weitgehend bei rundfunktypischem Material funktioniert. Als Teststimulus wurde typisches Rundfunkmaterial verwendet, wie z. B. ganze Rundfunkprogramme, Musik sowie Sprache (Skovenborg & Nielsen, 2004, S. 4). Im Jahr 2006 wurde schließlich auf Basis der Untersuchungen eine Empfehlung herausgegeben, die einen Algorithmus zur Lautheitsmessung von mehrkanaligen Audiosignalen spezifiziert.

Bei dem Algorithmus zur Lautheitsmessung handelt es sich um eine  $L_{eq}$ -Messung mit zwei speziellen Bewertungsfiltren. Dabei kommt als Frequenzbewertung das sog. RLB-Filter (revised low frequency B-curve) zum Einsatz. Dieses entspricht einem Kompromiss aus der B- und C-Kurve. Vor allem im tieffrequenten Bereich unterscheidet es sich von der B-Kurve. Zusätzlich wird das Signal durch ein Vorfilter geführt, das die akustische Wirkung des Kopfes als schallharte Kugel im Frequenzgang nachbilden soll (Abbildung 5.1). Die Kombination der beiden Filterkurven wird als »K-Weighting« bezeichnet. Die Bezeichnung mit dem Buchstaben »K« steht in keinem Zusammenhang mit dem von dem amerikanischen Mastering-Ingenieur Bob Katz eingeführtem K-System, welches sich mit einer ähnlichen Thematik beschäftigt (Katz, 2007).

Über das bewertete Signal wird mit Formel 5.1 ein quadratisches Mittel gebildet.

$$z_i = \frac{1}{T} \int_0^T y_i^2 dt$$

Formel 5.1: quadratisches Mittel über das bewertete Signal

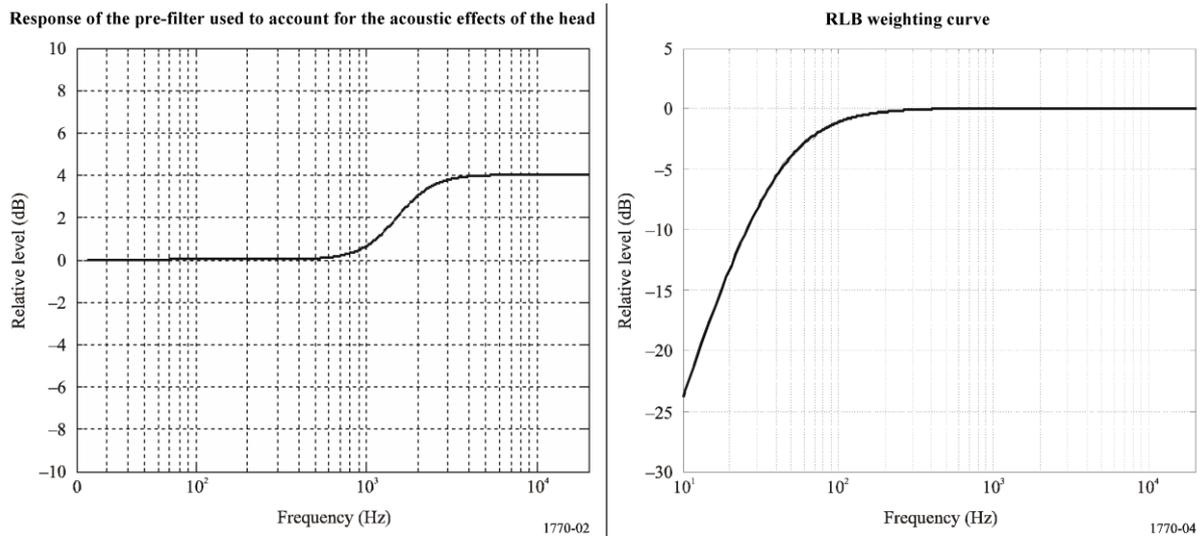


Abbildung 5.1: Vorfilter (links), RLB-Filter (rechts) [BS.1770]

Die Gesamtlautheit wird dann durch die Leistungssumme der Einzelkanäle gebildet. Hierbei werden die Surround-Kanäle mit dem Faktor 1,41 ( $\approx +1,5$  dB) höher bewertet. Dies hat evolutionäre Gründe, da wir Schall der von hinten kommt lauter wahrnehmen als von vorne einfallender Schall. Die sogenannte Programme Loudness ergibt sich dann aus Formel 5.2.

$$Loudness = -0,691 + 10 \log_{10} \sum_{i=1}^N G_i \cdot z_i$$

Formel 5.2: Berechnung der Programme Loudness

Die Konstante von -0,691 wurde so gewählt, dass ein 1 kHz Sinussignal mit 0 dBFS zu einem Lauheitswert von -3 LKFS führt. Für die Lautheitswerte wird in [BS.1770] die Einheit LKFS vorgeschlagen (Loudness k-weighted related to full scale). Abbildung 5.2 zeigt den Aufbau des Algorithmus bei einem Mehrkanalsignal. Bei 5.1 Signalen wird der LFE-Kanal nicht berücksichtigt.

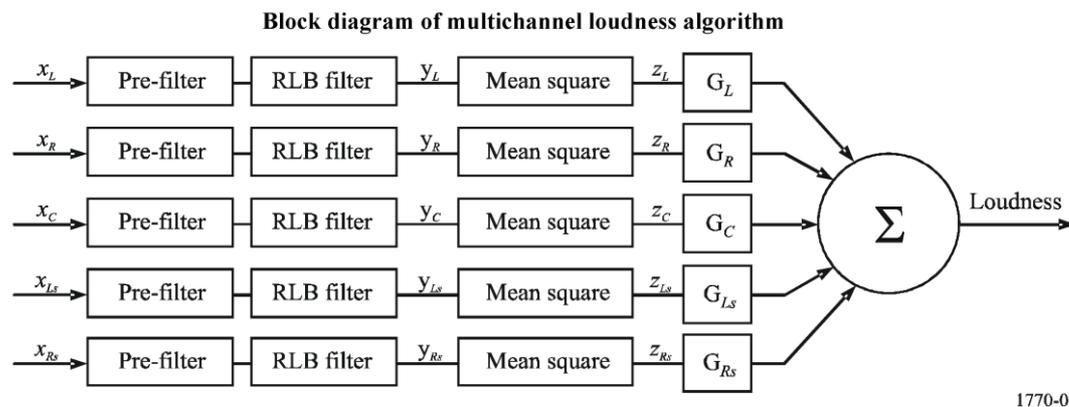


Abbildung 5.2: Flussdiagramm für den Lautheitsalgorithmus nach [BS.1770]

Bei dem ITU-Algorithmus können immer noch Abweichungen von mehreren dB zwischen der subjektiv empfundenen Lautheit und der objektiven Messung auftreten. Dennoch zeigte dieser

Algorithmus im Vergleich zu anderen Verfahren die besten Ergebnisse. So schnitt z. B. die komplexe Zwicker-Methode mit am schlechtesten ab. Abbildung 5.3 zeigt die Ergebnisse aus dem Hörtest mit den anderen getesteten Lautheits-Messverfahren (ITU-Algorithmus hier als  $L_{eq}(RLB)$  gekennzeichnet). Die Modelle auf der linken Seite zeigten die höchste Korrelation zwischen dem subjektiven Empfinden und der objektiven Messung.

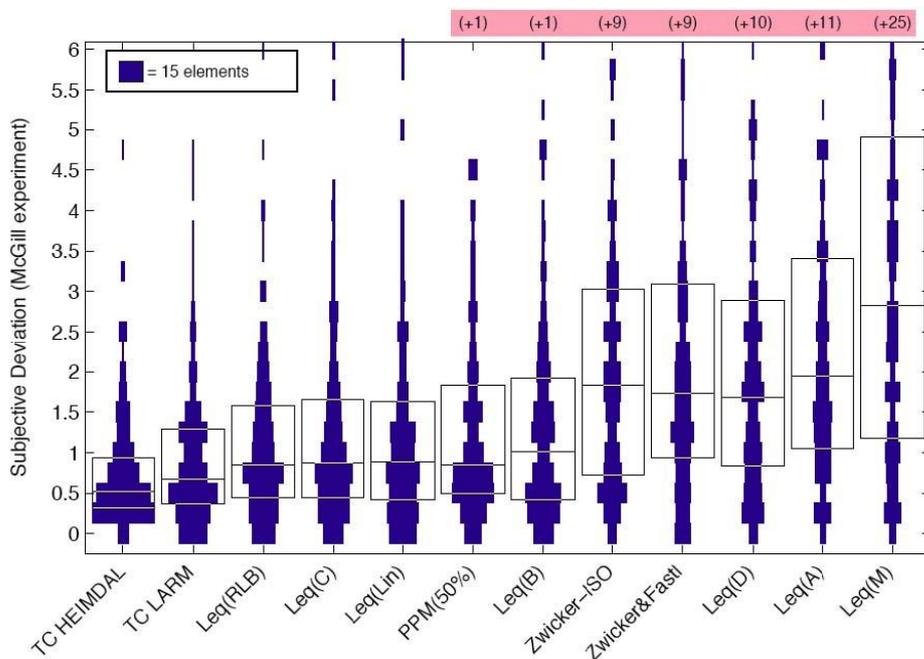


Abbildung 5.3: Vergleich der verschiedenen Lautheits-Modelle (Lund, 2006a)

## 5.2. True Peak Meter

Neben dem Verfahren zur Lautheitsmessung wird in [BS.1770] auch eine Empfehlung zum Messen von Spitzenpegeln bei digitalen Audiosignalen beschrieben. Die in Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Peak-Meter können keine »echten« Spitzenwerte anzeigen. Die Genauigkeit von Sample-Peak-Metern ist auf die abgetasteten Samples beschränkt. Was zwischen den Abtastpunkten passiert bleibt auf den Aussteuerungsanzeigen verborgen. Enthält ein Signal sog. Inter-Sample-Peaks, also Spitzenwerte zwischen Abtastwerten können bei späteren Bearbeitungen Verzerrungen auftreten.

Nimmt man als einfaches Beispiel ein Sinussignal mit  $\frac{1}{4}$  der Abtastfrequenz (11.025 Hz bei 44,1 kHz) ergeben sich vier Abtastpunkte. Wird das gleiche Signal mit einer Phasenverschiebung von  $45^\circ$  abgetastet entstehen die vier Abtastwerte an der gleichen Stelle jedoch mit anderen Werten, wie in Abbildung 5.4 ersichtlich. In diesem Fall können Messfehler von bis zu 3 dB auftreten.

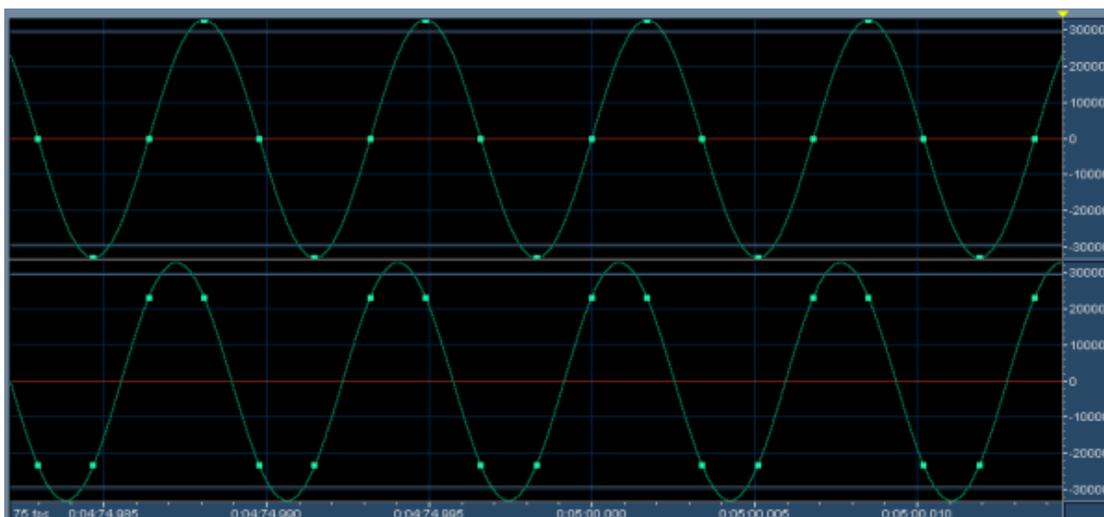


Abbildung 5.4: Verschiedene Abtastwerte bei gleichem vollausgesteuertem Signal (Schubert, o. D.)

Wird dieses eigentlich vollausgesteuerte Signal nun mit der Normalisierungsfunktion eines Audioeditors bearbeitet, sucht sich diese die höchsten Samples und würde in diesem Beispiel das Signal um 3 dB verstärken. Dabei entstehen Verzerrungsprodukte, da ein bereits vollausgesteuertes Signal auf Grund einer fehlerhaften Spitzenwerterkennung nicht richtig interpretiert wird. (Schubert, o. D.)

Der hier vorgestellte Fall ist pathologisch und soll die Problematik einfach verdeutlichen. Realistisch betrachtet tritt dieses Problem u. a. bei einer verlustbehafteten Codierung (z. B. mp3), digitaler Filterung oder Abtastratenwandlung auf. Durch eine Überabtastung in der Spitzenwertmessung kann der analoge Kurvenverlauf genauer nachgebildet werden und dieser Anzeigefehler verringert werden. Ein True Peak Meter nach ITU-R [BS.1770] arbeitet dafür mit einer vierfachen Überabtastung des Signals. Die angezeigten Werte sind so auf bis zu 0.5 dB genau. Weiteres zum Thema Inter-Sample-Peaks findet sich bei Schubert, o. D. und Lund, 2006b.

## 5.3. EBU R128 – Das europäische Regelwerk

### 5.3.1. EBU Arbeitsgruppe P/LOUD

Im Jahr 2008 hat sich bei der EBU eine Arbeitsgruppe unter dem Namen P/LOUD gebildet. Mitglieder dieser Gruppe sind sowohl Toningenieure, Mitarbeiter von Rundfunkanstalten, sowie Hersteller von Audiohardware. Die Mitglieder waren nicht nur im europäischen Raum zu finden, so hat die Arbeitsgruppe auch aktive Mitglieder z. B. aus Japan und Kanada. Vorsitzender der P/LOUD ist Florian Camerer vom Österreichischem Rundfunk (ORF). Ziel dieser Arbeitsgruppe war es, die ITU-Methode für den Rundfunkeinsatz zu untersuchen und Spezifikationen zu schaffen, die einen genormten Einsatz in den Rundfunkanstalten möglich machen. Die Aufgabe der

P/LOUD war es Dokumente zu entwerfen, die den Rundfunkanstalten als Richtlinien für die Umsetzung dienen. Während der IBC 2010 in Amsterdam hat die P/LOUD das Thema Lautheitsmessung durch erstmalige Veröffentlichung der entstandenen Dokumente weiter in den Vordergrund gerückt. Dabei bildet die EBU Recommendation [R128] die Basis. Die weiteren Dokumente gehen vor allem auf Details der Umsetzung dieser neuen Arbeitsweise ein.

Folgende Dokumente sind in der P/LOUD entstanden:

**EBU Recommendation [R128]**

Stellt das Grundlagenpapier dar und beschreibt den Übergang von der Aussteuerung nach Spitzenpegeln zur Lautheitsnormalisation unter Verwendung von ITU-R [BS.1770].

**EBU [Tech3341]:**

Beschreibt den sog. EBU-Mode mit dem eine einheitliche Spezifikation der Messgeräte erfolgen soll.

**EBU [Tech3342]:**

Beschreibt den Algorithmus zur Messung des Parameters Loudness Range.

**EBU [Tech3343]:**

Practical Guidelines – Beschreibt die Arbeitsweisen und gibt praktische Hinweise.

**EBU [Tech3344] (noch nicht veröffentlicht):**

Distribution Guidelines – Beschreibt die Besonderheiten in der Distribution.

### 5.3.2. Spezifikationen in EBU R128

#### 5.3.2.1. Neue Audio-Deskriptoren

In [R128] werden drei neue Parameter definiert, die in Zukunft ein Audiosignal beschreiben sollen:

##### *Programme Loudness*

Der Parameter »Programme Loudness« ist das Ergebnis aus einer Messung des Signals nach [BS.1770]. Hierbei handelt es sich um eine Langzeitmessung über die Dauer des ganzen Programmes. Es wurde von der EBU bzw. P/LOUD ein spezifischer Target Level definiert. Dieser soll bei -23 LUFS liegen. Das bedeutet, dass in Zukunft Programme auf den Target Level von -23 LUFS angesteuert werden sollen.

### *Maximum True Peak Level*

Der Max. True Peak Level beschreibt die neue technische Obergrenze eines Signals. Mit vierfacher Überabtastung wie in [BS.1770] vorgeschlagen ist eine Genauigkeit der Peak-Darstellung von bis zu 0.5 dB möglich. Daher wurde der Max. True Peak Level von der EBU auf -1 dBTP (dezibel true peak) festgelegt. Dieser Wert gilt allerdings nur für PCM-Audioprogramme. Soll das Signal auch noch analog übertragen oder codiert werden muss ein niedrigerer Max. True Peak Level verwendet werden. Dieser liegt z. B. bei einer AC3-Codierung bei -3 dBTP oder für analoge Distribution bei -6.7 dBTP. Genaue Angaben zu den verschiedenen Max. True Peak Levels finden sich in den Distribution Guidelines [Tech3344].

### *Loudness Range*

Loudness Range ist ein statistischer Parameter, der die Verteilung von Lautheitswerten in einem Programm beschreibt. Darüber kann der Dynamikumfang eines Programms beschrieben werden. Die Loudness Range kann je nach Programm variieren und wird vom Programminhalt bestimmt. Aus diesem Grund wurde kein Wert von der EBU vorgegeben. Mit entsprechender Dynamikbearbeitung kann ein Signal in der Loudness Range auf verschiedene Wiedergabesituationen angepasst werden. Dieser Algorithmus ist in dem Dokument [Tech3342] beschrieben.

#### **5.3.2.2. EBU Mode**

In [Tech3341] wird der sogenannte »EBU Mode« festgelegt. Er dient vor allem dazu Parameter vorzugeben, um Messungen vergleichbar zu machen. Diese Norm stellt die erste und vermutlich verbindlichste Standardisierung von [BS.1770] dar. Aus diesem Grund soll der EBU Mode hier weiter erläutert werden. Alle folgenden Ausführungen nach [Tech3341].

Für die Messung der Lautheit im EBU-Mode wurden drei Modi mit verschiedenen Zeitfenstern festgelegt:

- **Momentary-Loudness** – Zeitfenster von 400 ms
- **Short Term-Loudness** – Zeitfenster von 3 s
- **Integrated** – Start/Pause/Reset und Gating-Methode

Der Momentary- und Short Term-Modus eignet sich um die aktuelle Lautheit des Signals zu beobachten und kann u. a. beim Einpegeln von Signalen nach Lautheit verwendet werden. Die Integrated-Messung gibt Auskunft über die Lautheit des ganzen Programmes. Auf Basis dieses Ergebnisses können bei der Abweichung von dem Target Level entsprechende Korrekturen am Pegel vorgenommen werden. Die Abkürzungen für die jeweiligen Modi wurden nicht verbindlich festgelegt. Jedoch kann die Verwendung von »M« für Momentary bzw. »S« für Short Term im

Audiobereich zur Verwirrung führen, da diese Abkürzungen auch für andere tontechnische Begriffe verwendet werden (z. B. Mitte/Seite oder Mono/Stereo). Hier ist evtl. ein zusätzlicher Index sinnvoll, der einen Bezug zur Lautheitsmessung herstellt (z. B.  $M_L$  oder  $M_{L,k}$ , etc.). Der Integrated-Modus beschreibt eine Langzeitmessung und hat die Funktionen Start, Pause und zurücksetzen.

Die Einheiten für Lautheit werden mit einer Dezimalstelle angegeben und wurden wie folgt festgelegt:

absolut:  $L_k = xx.x$  LUFS

relativ:  $L_k = xx.x$  LU

Ein relativer Wert von 0 LU entspricht im EBU-Mode dem Target Level von -23 LUFS. Bei den Einheiten gibt es eine Unterscheidung zu [BS.1770]. Dort wird der absolute Wert mit der Einheit LKFS festgelegt. In Anlehnung an internationale Namenskonventionen wurde von der EBU die Einheit LUFS für den absoluten Wert festgelegt.

Die Ergebnisse einer Lautheitsmessung können z. B. nur mit dem Zahlenwert dargestellt werden. Werden die Ergebnisse der Lautheitsmessung jedoch mit einem Bargraph angezeigt, wurde von der EBU der Umfang der Skala festgelegt. Ein Messgerät, das im EBU-Mode betrieben wird soll wie in Tabelle 5.1 dargestellt, zwei umschaltbare Skalen bieten.

**Tabelle 5.1: Skalenumfang im EBU-Mode**

	relativ	absolut
<b>EBU +9 scale</b>	-18 LU bis +9 LU	-41.0 LUFS bis -14.0 LUFS
<b>EBU +18 scale</b>	-36 LU bis +18 LU	-59.0 LUFS bis -5.0 LUFS

In ITU-R [BS.1771] wird ebenfalls eine Skala vorgeschlagenen, diese reicht von -21 bis +9 LUFS. Von der EBU wird kein User Interface oder eine grafische Oberfläche definiert, sondern es werden nur Parameter standardisiert. Die optische Gestaltung und Umsetzung soll den Herstellern überlassen werden. Bei der Darstellung von Zahlenwerten soll beachtet werden, dass immer eine Einheit (LU oder LUFS) anzugeben ist. Die dynamischen Eigenschaften der Bargraf-Anzeigen sollen nicht durch zusätzliche Attack- und Release-Zeiten verändert werden. Es wird darauf hingewiesen, dass sich ein Momentary Loudness-Meter dynamischer verhalten soll als der bekannte Quasi Peak Meter.

Die Aktualisierungsrate bei Verwendung eines Bargraphs soll bei Short Term mindestens bei 10 Hz liegen. Bei Langzeitmessungen (Integrated) wird eine Aktualisierungsfrequenz von mindestens 1 Hz vorgegeben.

### 5.3.2.3. Gated Measurement

In EBU [R128] ist für die Langzeitmessung eine Gating-Methode vorgesehen. Dabei ist zu unterscheiden, zwischen dem absoluten und dem relativen Gate. Das absolute Gate liegt bei -70 LUFS und soll verhindern das eigentlich unhörbare Signale Einfluss auf die Messung nehmen.

Das sog. relative Gate liegt bei -8 LU unter einer Messung ohne Gate. Damit soll verhindert werden, dass lange stille Ereignisse die Messung verfälschen. Durch das relative Gate werden Pegel (gemessen über ein Zeitfenster von 400 ms), die -8 LU unter einer Langzeitmessung ohne Gate liegen, aus der Berechnung ausgeschlossen (Abbildung 5.5).

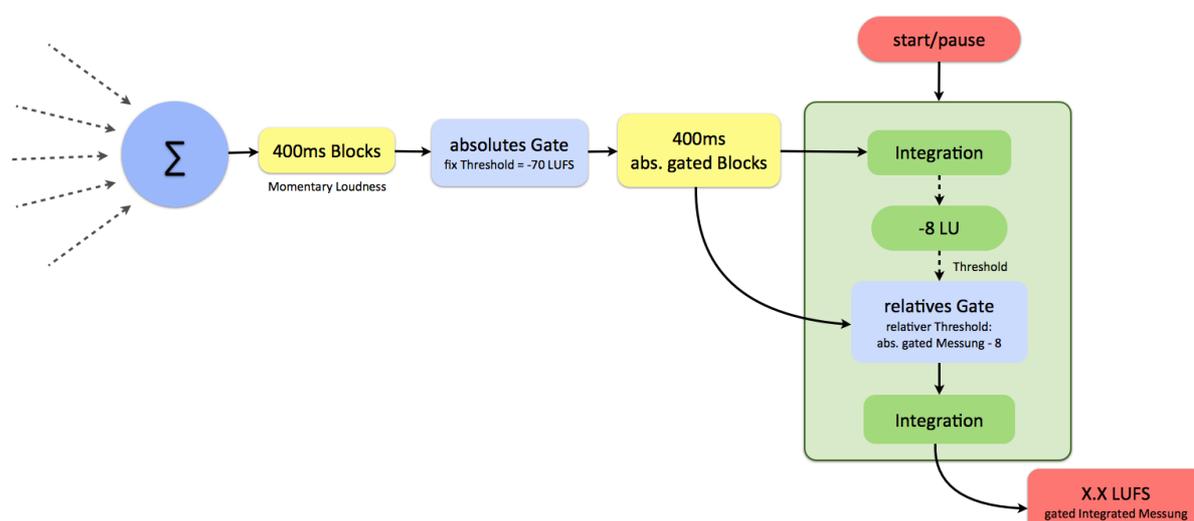


Abbildung 5.5: Schematische Darstellung der Gating-Methode im EBU Mode

Der genaue Algorithmus der Gating-Methode ist im Anhang von [Tech3341] zu finden. Inzwischen wird ein relativer Gating-Wert von -10 LU diskutiert. Dieser soll in die neue Revision der ITU-R [BS.1770] aufgenommen und dann auch in EBU [R128] übernommen werden (Camerer, 2011).

### 5.3.2.4. True Peak Measurement

Die True Peak Messung aus ITU-R [BS.1770] ist auch Teil der EBU-Empfehlung [R128]. Dabei werden keine Änderungen oder ergänzende Hinweise gemacht.

### 5.3.2.5. Testsignale

Der Algorithmus der ITU ist so angelegt, dass ein Testsignal mit einem 1 kHz Sinuston in Stereo und einem Pegel von -18 dBFS auch -18 LUFS ergibt. Darüber hinaus wurde von der EBU ein

Paket an Testsignalen zum Download zur Verfügung gestellt (EBU, 2010). Damit kann überprüft werden, ob die Messgeräte die Anforderungen des EBU Mode erfüllen.

### 5.3.3. EBU R128 in der Praxis

Auf den praktischen Einsatz von [R128] wird in dem Dokument [Tech3343] näher eingegangen. Im Folgenden sollen einige Kernpunkte aus diesem Dokument aufgegriffen und erläutert werden. Es lassen sich zwei grundsätzliche Arbeitsweisen unterscheiden:

1. Arbeiten wie bisher mit nachträglicher bzw. automatischer Anpassung der Lautheit
2. Aussteuern und Pegeln nach Lautheit

Bei der ersten Variante können gewohnte Arbeitsweisen beibehalten werden. Am Ende wird dann der erreichte Lautheitswert durch eine Pegelveränderung auf den Target-Level korrigiert. In einer Live-Anwendung kann dies nur mit einer automatischen Lautheitspegelung erfolgen (siehe 5.5). Die zweite Vorgehensweise wird jedoch ausdrücklich empfohlen. Dabei wird konsequent nach dem Lautheitsparadigma angesteuert, so dass der Target-Level durch eine lautheitsgerechte Aussteuerung erreicht wird. In dieser Variante ist der erste Ansatz zu erkennen, der für eine direkte Implementation von Lautheitsmessung in ein Mischpult spricht.

In den Practical Guidelines wird beschrieben, wie bei der Mischung mit einem Lautheitsmesser gearbeitet werden kann. Die Vorgehensweise ist hierbei, ein sog. Anchor Signal im Programm zu suchen. Darunter versteht man ein Signal, das für die Gesamtlautheit des ganzen Programmes relevantes ist. Bei TV-Produktionen wäre der Moderator ein typisches Beispiel für ein Anchor-Signal. Dieses Signal wird mit einem Momentary oder Short Term-Meter auf einen Wert um -23 LUFS eingepegelt. Danach kann man übergehen zu »mixing by ear«. In der Übergangszeit wird empfohlen alte Produktionen zu messen um festzustellen, »wie laut« man mischt. Hat man Probleme einen Target-Level von -23 LUFS zu erreichen, kann dem relativ einfach durch das Anpassen der Abhörlautstärke entgegengewirkt werden.

Vergleicht man die bekannte Arbeitsweise bei der nach Spitzenwerten eingepegelt wird um die Systemdynamik möglichst effektiv zu nutzen mit der »neuen« Arbeitsweise nach Lautheit einzupegeln stellt sich heraus, dass die Ergebnisse weitestgehend vergleichbar sind. Gerade in einem 24 Bit System ist das Einpegeln nach Lautheit keine Gefahr für einen technischen Qualitätsverlust.

In [Tech3343] werden noch zwei weitere Parameter eingeführt. Es wurde festgestellt, dass der Parameter Loudness Range vor allem bei kurzen Sequenzen nicht aussagekräftig ist. Um einen Missbrauch z. B. durch die Werbung zu vermeiden können zusätzlich noch die Parameter

»Maximum Momentary Loudness Level (Max ML)« und »Maximum Short Term Loudness Level S (Max SL)« verwendet werden. Diese beschreiben einen Maximalwert nach Momentary- bzw. Short Term-Messung. Dadurch sollen kurze Lautstärkespitzen vermieden werden. Diese Parameter sind aber nicht verpflichtend, sondern können freiwillig eingesetzt und in den Werten spezifiziert werden.

#### **5.4. ATSC A/85 – Das amerikanische Regelwerk**

Die vom Advanced Television Systems Comitee (ATSC) herausgegebene Empfehlung [A/85] ist ein umfangreicher Leitfaden zum Thema Lautheit im Rundfunk mit vielen weiterführenden Informationen, wie z. B. richtiger Einsatz von Metadaten und optimalen Abhörbedingungen.

Grundsätzlich empfiehlt [A/85] auch den Einsatz des ITU-Algorithmus, allerdings ohne jegliche Modifikationen. Im Gegensatz zur EBU [R128] sind die Definitionen in [A/85] nicht immer so eindeutig. So werden z. B. keine weiteren Zeitfenster definiert. Es wird lediglich empfohlen mit [BS.1770] kompatiblen Geräten zu arbeiten. Als Target Level wird -24 LKFS festgelegt, mit einer erlaubten Toleranz mit  $\pm 2$ . Bei Langzeitmessungen wird ohne Gating-Funktion gearbeitet, da diese in [BS.1770] (noch) nicht spezifiziert ist. Der max. True Peak Level wird mit -2 dBTP angegeben. Abweichend zur EBU [R128], in der sich eine Lautheitsmessung auf das ganze Programm bezieht, soll die Lautheitsmessung laut ATCS auf ein sog. Anchor-Signal bezogen werden. Dieses Anchor-Signal soll dann nach Lautheit im Falle von [A/85] auf -24 LKFS angesteuert werden.

Im Dezember 2010 ist der sog. Calm-Act (Commercial Advertisement Loudness Migration Act) in Kraft getreten. Mit diesem Gesetz sollen die Lautheitssprünge im Fernsehen nun mit einer gesetzlichen Regelung verboten werden. Die technische Grundlage hierfür ist die ATSC [A/85]. (CBS Interactive Staff, 2010)

#### **5.5. Automatische Lautheitspegelung**

Neben den Entwicklungen in der Standardisierung einer Lautheitsmessung haben sich Geräte im Bereich der automatischen Lautheitspegelung kurz ALC (automatic loudness control) entwickelt. Ziel dieser Entwicklung ist es den Target Level zu halten und zu kontrollieren und die Lautheit von Archiv-Material anzupassen.

Zunehmend werden diese Prozessoren auch im Sendeweg des Senders eingesetzt um die Lautheit des ganzen Programms zu kontrollieren. Als Beispiel für automatische Lautheitspegelung

wurde ein Gerät der Firma »Jünger« aus Berlin ausgewählt. Der sog. Level Magic™ Prozessor ist eines der wenigen Geräte auf diesem Gebiet und wird u. a. beim Norddeutschen Rundfunk schon permanent eingesetzt<sup>9</sup> (Siegfried, 2011). Ebenfalls müssen hier die AERO Prozessoren der amerikanischen Firma Linear Acoustic erwähnt werden, dessen Aufgabe ebenfalls Loudness Management ist. Vor allem in Amerika sind Produkte von Linear Acoustic sehr beliebt für Loudness Management und Upmixing. Die dänische Firma TC Electronic ist ebenfalls sehr aktiv auf dem Gebiet der Lautheitsmessung und -pegelung. Mit dem DB2 hat TC Electronic® ebenfalls einen Prozessor für automatische Lautheitsbearbeitung im Portfolio.

Der Jünger Level Magic™ Prozessor besteht aus drei Bearbeitungsstufen (Jünger Audio, 2010):

- adaptive Automatic Gain Control (AGC)
- Transienten Prozessor
- Brickwall Limiter

Mit der AGC erfolgt eine langsame (dadurch nicht sofort wahrnehmbare) Pegelveränderung, wenn das Eingangssignal nicht den gewünschten Lautheitswert (Target Level) aufweist. Der Transienten Prozessor soll hingegen auf schnelle Lautstärkesprünge reagieren, wie sie z. B. beim Einsetzen von Werbung der Fall sind. Der Brickwall Limiter stellt den letzten Bearbeitungsschritt dar und soll vor Übersteuerungen schützen. Der grundlegende Bearbeitungsprozess des Jünger Level Magic™ ist in Abbildung 5.6 dargestellt.

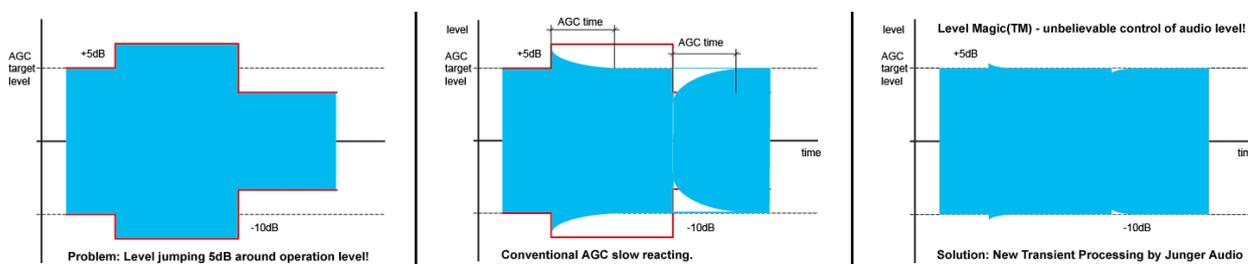


Abbildung 5.6: Bearbeitungsstufen des Jünger Level Magic™ (Jünger Audio, 2010)

<sup>9</sup> Der Prozessor wird dabei nur zum Absenken von zu hohen Lautheitspegeln verwendet (Null Band).

## 6. Integration von Lautheitsmessung in Produktions-Mischpulte

### 6.1. Vorüberlegungen zum Versuchsaufbau

Die Empfehlungen der EBU wurden von vielen Herstellern von Audiohardware bereits implementiert. Dabei handelt es sich vor allem um Hersteller aus dem Bereich Messtechnik wie RTW, DK-Technologies ebenso wie TC Electronic®. Zum jetzigen Zeitpunkt ist noch keine Implementation in einem Mischpultsystem auf dem Markt. Diese Arbeit soll die Möglichkeiten erörtern, wie eine Lautheitsmessung nach ITU-R [BS.1770] möglichst umfassend und konsequent direkt in digitalen Produktions-Mischpulten umgesetzt werden kann. Dabei ist die grundsätzliche Annahme, dass jedes Signal einer Mischung einen Teil zur »Gesamtlautheit« des ganzen Programms beiträgt. Vor diesem Hintergrund wurde angenommen, dass eine Lautheitsmessung nicht nur der Endsumme vorbehalten sein sollte, sondern evtl. in jedem Kanal benötigt werden könnte. Die Qualität des ITU-Algorithmus wurde vor allem an typischem Rundfunkmaterial gemessen. Dazu gehörten neben ganzen Rundfunksendungen auch Musik und Sprache. Dies sind alles Komponenten, die in einem Mischpult z. B. beim Erstellen einer Sendung auch als Einzelsignale auftreten. Somit spricht nichts dagegen diesen Algorithmus auch in Einzelkanälen bei der Aussteuerung einzusetzen.

Da es zum Thema der direkten Integration von Lautheitsmessung in ein Mischpult noch keine Untersuchungen gibt, musste eine Bedarfsanalyse durchgeführt werden. Um die Anforderungen zu definieren, wurde mit Fachleuten aus allen Bereichen der Tonproduktion ein Mischversuch durchgeführt. Die Ergebnisse aus dem Versuch sollten es ermöglichen, die Notwendigkeiten für eine Implementierung einzuschränken und genauer definieren zu können.

Um alle Aspekte der Integration einer Lautheitsmessung in digitale Mischpulte erörtern zu können, musste eine Simulationsumgebung geschaffen werden, die es dem Teilnehmer ermöglichte mit Lautheitsmessung im Mischpult zu arbeiten. Um nahe an der praktischen Anwendung zu sein, sollte ein möglichst realistischer Versuchsaufbau geschaffen werden. Es sollte der Eindruck einer bereits bestehenden Implementation entstehen, um ohne große Eingewöhnungszeit arbeiten zu können. Vor diesem Hintergrund schied ein Versuchsaufbau mit mehreren externen Messgeräten schon im Vorfeld aus. Zum Zeitpunkt der Versuchsplanung war auf Softwarebasis nur das Freeware-Tool »Orban Loudness Meter« verfügbar, welches eine Lautheitsmessung

nach ITU-R [BS.1770] ermöglichte. Allerdings fehlen dieser Software alle Modifikationen und Erweiterungen aus EBU [R128]. Auch das User Interface war für den geplanten Versuchsaufbau ungeeignet (Abbildung 6.1).

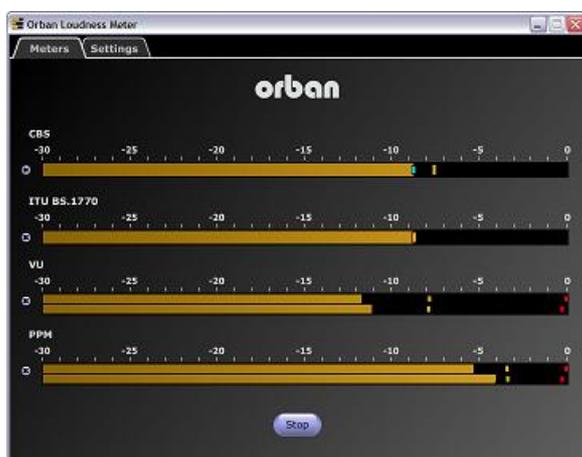


Abbildung 6.1: Freeware: Orban Loudness Meter - ungeeignet für den Versuchsaufbau

Ein Plugin für eine Digital Audio Workstation (DAW), das diese Anforderungen erfüllte war ebenfalls noch nicht verfügbar<sup>10</sup>. Um den Anforderungen des Versuchsaufbaus gerecht zu werden, musste eine angepasste Simulationsumgebung entwickelt werden. Ebenso sollte in dem Versuch das Thema automatische Lautheitspegelung behandelt werden. Dafür wurde als Testgerät ein Jünger Level Magic™-Prozessor zur Verfügung gestellt.

## 6.2. Entwicklung der Simulationsumgebung

### 6.2.1. Grundlagen zu Max/MSP

Die Simulationsumgebung wurde mit der Software Max/MSP von Cycling '74 realisiert. Dabei handelt es sich um eine graphische Entwicklungsumgebung, die auf Echtzeitanwendungen spezialisiert ist. Max/MSP ist eine objektorientierte Programmiersprache, die modular aufgebaut ist. Dabei setzt Max/MSP auf eine visuelle Programmierung durch ein grafisches Zusammen-schalten der Module. Es muss kein Quellcode geschrieben werden. Das erleichtert den Einstieg auch für einen ungeübten Programmierer.

<sup>10</sup> Zu einem späteren Zeitpunkt war das Plugin »VisLM« von Nugen Audio verfügbar. Dieses wurde später als Referenz verwendet um die eigene Simulationsumgebung zu testen.

### 6.2.2. Implementation des Lautheitsalgorithmus

Der Algorithmus zur Lautheitsmessung nach ITU-Empfehlung ist in dem Dokument [BS.1770] umfassend definiert, so konnte mit den vorhandenen Angaben im ersten Schritt der grundlegende Algorithmus in Max/MSP umgesetzt werden. Mit den von der EBU angebotenen Testsignalen sowie vorhandener Messtechnik in Form von Hard- und Software konnte der programmierte Algorithmus auf seine Funktion und Genauigkeit überprüft werden. Abbildung 6.2 zeigt den Aufbau des ITU-Algorithmus in Max/MSP beispielhaft für ein Stereosignal. Für die Peak-Meter konnte ein vorhandenes Modul in Max/MSP verwendet werden, welches nur noch in den dynamischen Eigenschaften an die benötigten Standards angepasst werden musste.



Abbildung 6.2: ITU-Algorithmus in Max/MSP für einen Stereo-Eingang

### 6.2.3. Grafisches User Interface

Nach der Integration des grundlegenden Algorithmus musste eine grafische Oberfläche gestaltet werden. Dies erfolgte ebenfalls mit Max/MSP. Die grafische Oberfläche sollte so gestaltet sein, dass alle Aspekte der Lautheitsmessung nach ITU-R [BS.1770] und EBU [R128] enthalten sind. Dabei wurde vor allem darauf Wert gelegt, so viele Einstellungen wie möglich variabel zu gestalten, um sie bei dem Mischversuch noch ändern zu können. Ebenso sollten alle Funktionen die mit den aktuellen Aussteuerungsanzeigen möglich sind übernommen werden (z. B. freie Wahl des Messpunktes). Die Gestaltung wurde an die Optik des Lawo-Systems angepasst. Der Screenshot in Anhang A gibt einen Überblick über das vollständige User Interface der Simulation.

Für die Simulation wurden drei verschiedene Metering-Instrumente realisiert (Abbildung 6.3):

- **Loudness**                    nur Lautheitsmessung
- **Peak**                        klassische Peak-Anzeige
- **Combi**                      kombinierte Anzeige aus Lautheit und Peak

Diese konnten in jedem Kanal frei gewählt werden. Bei der Anzeige der Peak-Meter konnte zwischen Sample-Peak und Quasi-Peak (Integrationszeit = 10ms) gewählt werden. So konnte das Verhalten der Lautheitsanzeige direkt mit der gewohnten Peak-Anzeige verglichen werden.

In jedem Kanal wurden die Zeitfenster nach EBU-Vorgaben realisiert und als Bargraph dargestellt. Diese konnten individuell zwischen Momentary und Short Term umgeschaltet werden. Zusätzlich war in jedem Kanal eine Langzeitmessung (Integrated) möglich. Das Ergebnis wurde als Zahl über dem jeweiligen Bargraph dargestellt. Die Skala der Lautheitsanzeigen konnte ebenso in jedem Kanal zwischen EBU +9 und EBU +18 gewählt werden. Alle Einstellungen konnten auch global umgeschaltet werden (Abbildung 6.3, rechts). Die numerische Anzeige des Lautheitswertes konnte zwischen dem absoluten (LUFS) und relativen Wert (LU bezogen auf -23 LUFS) umgeschaltet werden.

Sowohl für die Peak- als auch die Lautheitsanzeige ließ sich der Messpunkt frei definieren. Möglich waren:

- **INP**                        Messung direkt am Eingang
- **PFL**                        Pre-Fader Messung, nach allen Bearbeitungen
- **AFL**                        After-Fader Messung, vor Busaufschaltung

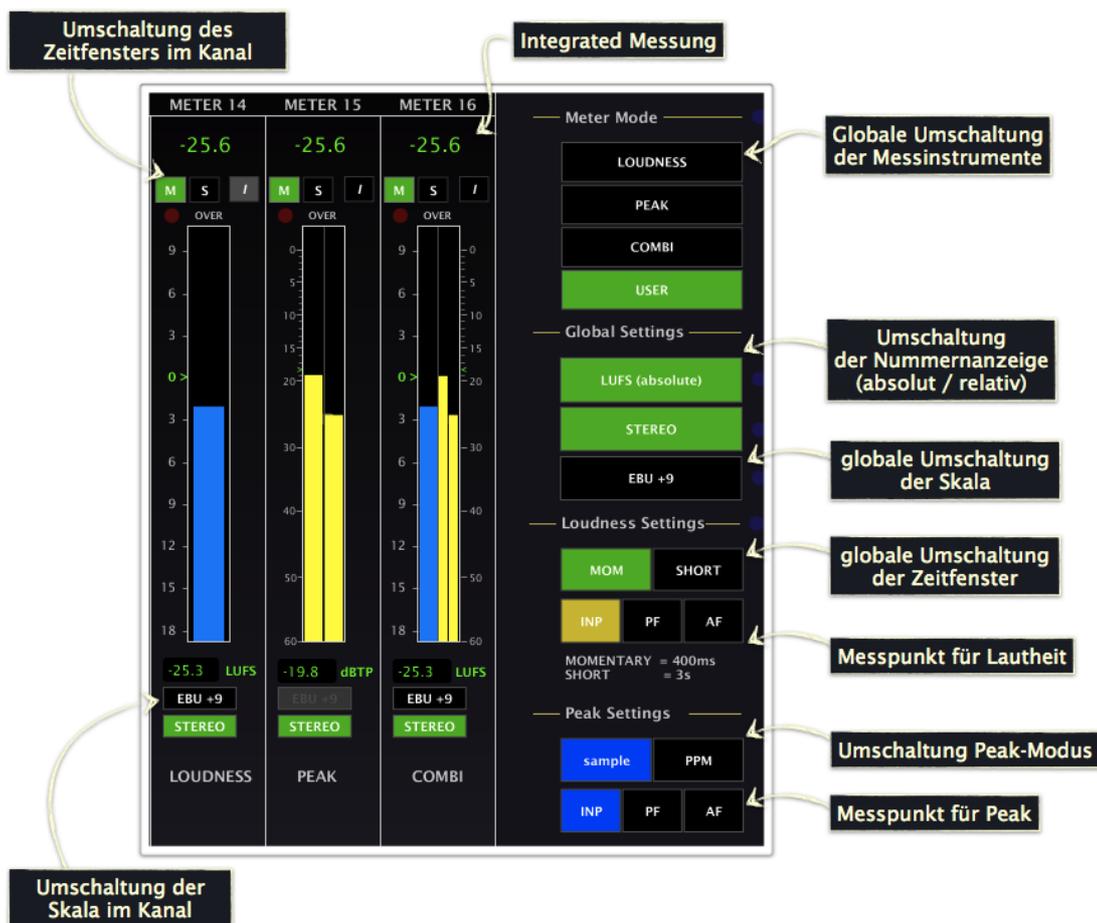


Abbildung 6.3: Metering-Ansichten (Loudness, Peak, Combi) und globale Einstellungen (rechts)

#### 6.2.4. Weitere Fenster

Zu dem User Interface wurden noch weitere Fenster realisiert, die für spezifische Einstellungen nötig waren. Über die Routing-Matrix der Simulationssoftware (Abbildung 6.4) konnten die entsprechenden Audiosignale aus dem Mischpult den jeweiligen Messinstrumenten zugewiesen werden. Mit dem Colors-Fenster konnten die Farben der Bargraphen für Lautheit und Peak frei definiert werden. Im Snapshot-Fenster konnten alle Einstellungen des User Interfaces gesichert und als XML-Datei abgelegt werden (Abbildung 6.5).

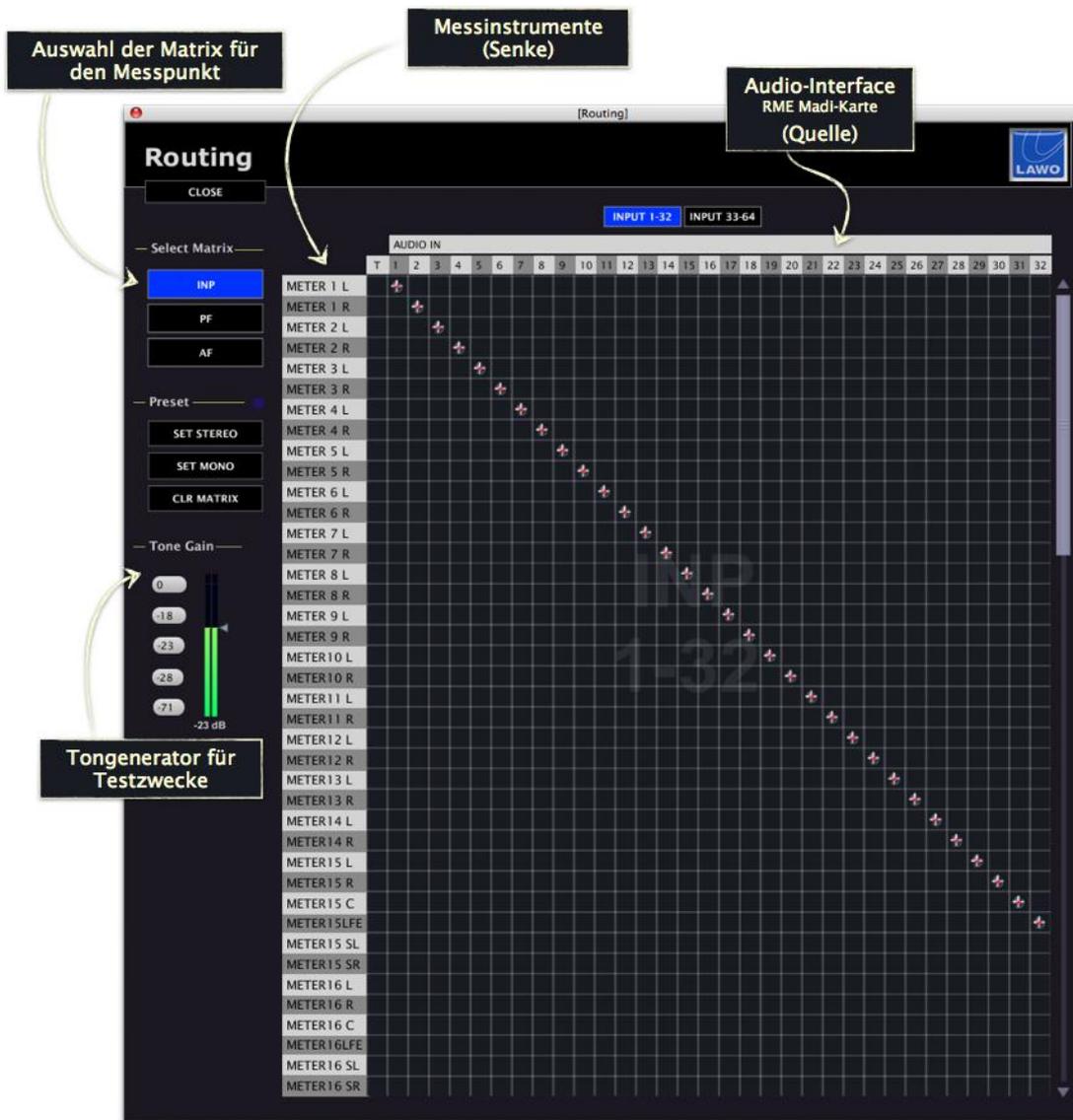


Abbildung 6.4: Routing Matrix der Simulationssoftware

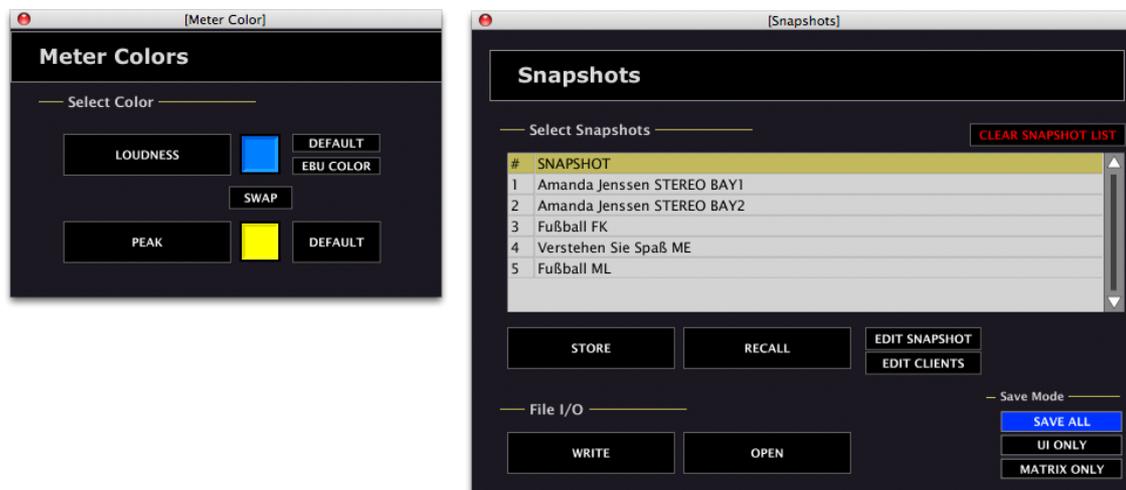


Abbildung 6.5: Farbauswahl der Bargraphen (links) - Speicherverwaltung mit Snapshots (rechts)

### 6.3. Versuchsaufbau

Der grundlegende Versuchsaufbau ist aus dem Blockschaltbild in Anhang C ersichtlich. Die erste Idee war es die Metering-Simulation auf einem großen LCD-Bildschirm darzustellen. Mit der neuen Software des Lawo-Systems (Release 4.12) war es über eine neue Funktion möglich die Displays der Mischpultoberfläche mit Hilfe des Remote Desktop Protocol zur Darstellung zu verwenden. Daraufhin wurde die Oberfläche der Simulationssoftware an das Layout des Mischpultes angepasst. Als Mischpult wurde eine mc<sup>2</sup>56 Bedienoberfläche mit 32 Fadern verwendet. Diese hat den Vorteil, dass auf jedem Display 16 Kanäle angezeigt werden können. Die Touchscreens ermöglichen zudem eine ergonomische Bedienung fast aller Funktionen. Diese Möglichkeit der Darstellung ließ die Simulation für den Teilnehmer noch realistischer erscheinen.

Mit Hilfe von Midi-Befehlen konnten einige Funktionen direkt mit Tasten auf dem Mischpult umgeschaltet werden (Abbildung 6.6). Die User Buttons im zentralen Bedienfeld wurden verwendet um die Ansichten der Metering-Instrumente global umzuschalten. Mit den User Buttons im Kanal war es möglich das Instrument für jeden Kanal einzeln umzuschalten. So konnte festgestellt werden, welches Metering-Instrument für welche Art von Signal bevorzugt verwendet wird. Auch das verstärkte den Eindruck einer vorhandenen Integration nochmals.

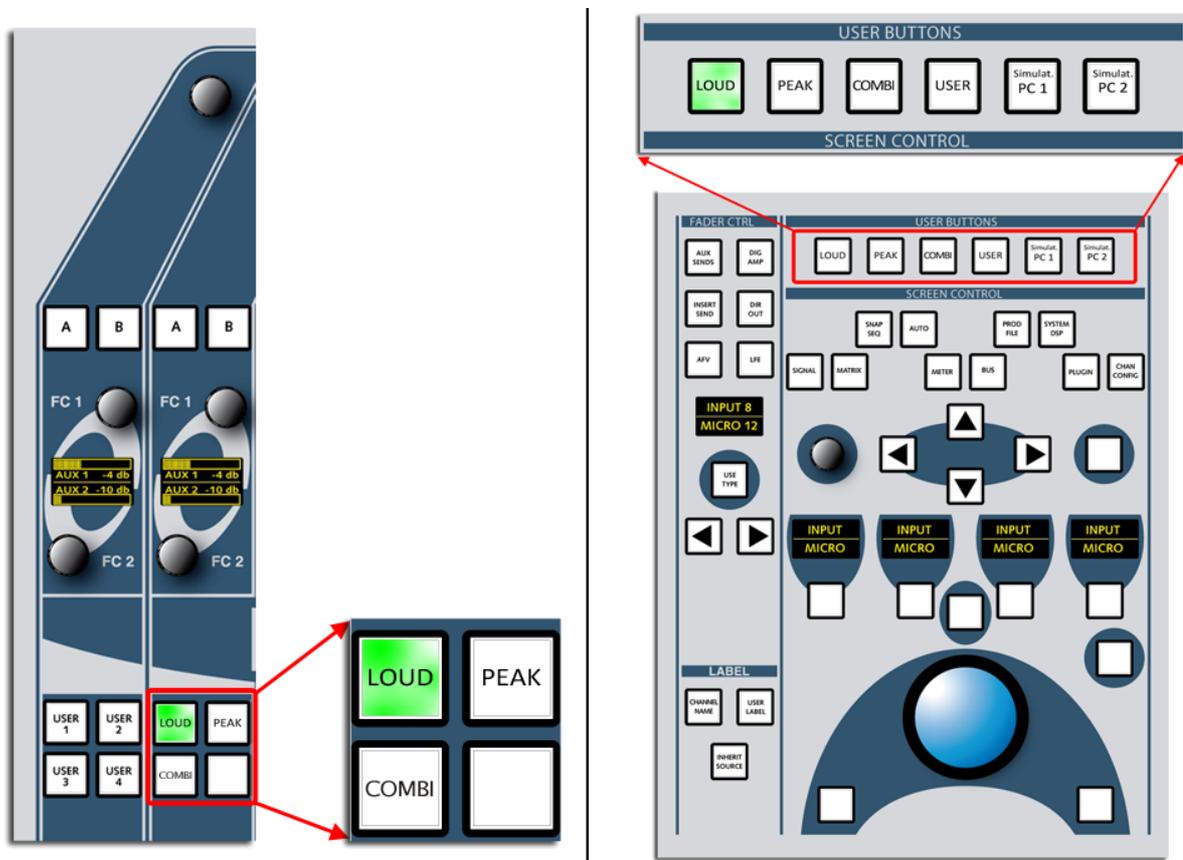


Abbildung 6.6: Fader User Buttons (links) Central User Buttons (rechts)

Um die Simulation für alle 32 Fader auf den beiden Displays zu ermöglichen wurden zwei PCs mit der Simulationsumgebung und einer MADI-Verbindung zum Lawo-System eingesetzt. Als Zuspeler wurde ein weiterer PC mit der DAW-Software Sequoia verwendet. Der Proband konnte zwischen drei verschiedenen Mehrspur-Aufnahmen wählen:

- Fußball Bundesliga
- Verstehen Sie Spaß
- Konzertmitschnitt New Pop Festival

Mit drei Produktionen aus den Bereichen Sport, Show und Musik konnten die meisten Sparten, bei denen digitale Produktions-Mischpulte zum Einsatz kommen, abgedeckt werden.

Die benötigten Signale wurden wie in Abbildung 6.7 dargestellt an drei Punkten im Signalfluss aus dem Mischpult-System abgegriffen. So konnte sowohl das Eingangssignal (Input), das Signal vor dem Fader (Pre Fader – nach allen Bearbeitungsmodulen) sowie das Signal nach dem Fader (After Fader – vor der Busaufschaltung) für die Messung verwendet werden. Das ankommende Signal des Zuspilers wurde gesplittet und sowohl in den Simulations-PC als auch in den Input des Mischpults geführt. Das Pre Fader-Signal wurde aus dem Insert Send-Weg abgegriffen. Das After Fader-Signal lieferte der Direct Out-Weg.

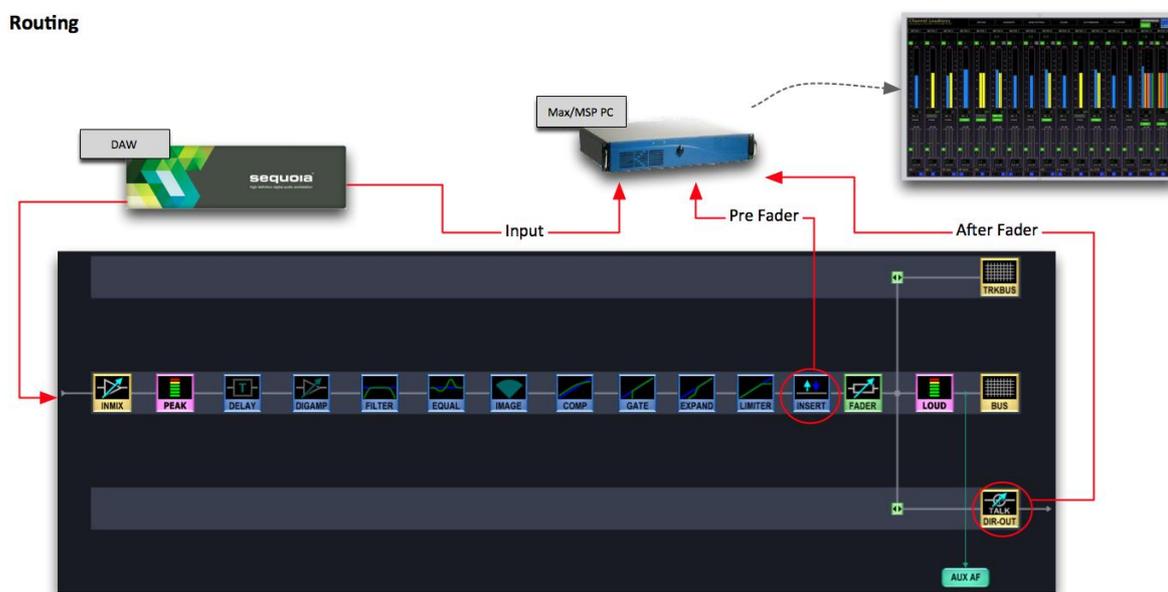


Abbildung 6.7: Routing der Signale des Zuspilers in die Simulationssoftware

## 6.4. Gestaltung des Arbeitsblattes

Die Teilnehmer erhielten ein Arbeitsblatt, welches sie im Laufe des Versuches bearbeiten und kommentieren sollten (Anhang E). Damit sollten vor allem die Eindrücke und die Hinweise aus der Praxis festgehalten werden. Bei der Konzeption und der Durchführung des Mischversuchs war das vorrangige Ziel keine statistisch korrekte Erhebung von Daten. Vielmehr sollten subjektive Eindrücke im Zusammenhang mit einer praktischen Anwendung abgefragt und gesammelt werden.

Dabei sollten mit Hilfe des Arbeitsblattes vor allem die gewonnenen Eindrücke in der praktischen Anwendung festgehalten und dazu angeregt werden bestimmte Situationen genauer zu überdenken. Es sollten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- in welchen Kanaltypen ist Lautheitsmessung erforderlich/erwünscht?
- welche Zeitfenster erweisen sich bei welcher Anwendung als praktikabel?
- mit welchen Skalen kann am Besten gearbeitet werden?
- wie sollen die Metering-Instrumente dargestellt werden?
- welche Parameter müssen vorhanden sein?
- wie müssen Standardwerte gesetzt sein?

Die Auswertung des Versuchs sollte Aussagen in folgenden Bereichen ermöglichen:

### **Metering-Instruments:**

Welche Metering-Instrumente wurden bevorzugt eingesetzt?

### **Measurement Modes:**

Welche Zeitfenster wurden bevorzugt verwendet?

### **Skalen:**

Mit welchen Skalen wurde bevorzugt gearbeitet?

### **Integrated Measurements:**

Wie müssen Langzeitmessungen integriert werden?

### **Loudness Difference**

Wie wurde die neue Anzeige angenommen und gibt es einen Mehrwert?

### **Automatische Lautheitspegelung**

Wie kann eine Lautheitspegelung in ein Mischpult integriert werden?

Um die Vorlieben auch situationsabhängig bewerten zu können, wurde in dem Fragebogen mit vielen offenen Fragen gearbeitet. Das gab dem Teilnehmer die Möglichkeit seine Eindrücke und seinen speziellen Anwendungsfall sehr frei zu formulieren. Bei der Auswertung dieser offenen Fragen wurden die Antworten in Gruppen zugeordnet. Dies soll an einem Beispiel verdeutlicht werden. Unter dem Punkt 1.4 Channel Measurement im Arbeitsblatt war die zentrale Fragestellung wie Lautheitsmessung in einem Kanal aussehen muss. Dabei wurde die offene Frage gestellt:

*1.4.1 Bei welchem Signaltyp bevorzugen sie welches Metering Instrument?*

Die Antworten konnten in zwei Kategorien unterteilt werden – Einzelsignale und vorgemischte Signale. Tabelle 6.1 zeigt einige Antworten und die Zuordnung in die jeweilige Gruppe. Die vollständige Auswertung des Mischversuches ist aus Anhang F zu entnehmen.

**Tabelle 6.1: Zuordnung der Antworten in Kategorien**

<i>1.4.1 Bei welchem Signaltyp bevorzugen sie welches Metering Instrument?</i>	
<b>Einzelsignale</b>	<b>Vorgemischte Signale</b>
Sprache	MAZ
Singstimme	CD
Atmo	Konserve
Kommentator	Außenstellen
externe Leitungen	Externe Leitungen
Zuspieler	Zuspieler
Alle	Alle

## 6.5. Teilnehmerfeld

Die Probanden wurden per E-Mail, persönlich sowie telefonisch zu einem Besuch bei der Firma Lawo eingeladen. Als Datenstamm diente die Datenbank der mc<sup>2</sup>-Anwender sowie persönliche Kontakte von Lawo-Vertriebsmitarbeitern. Vorab erhielten alle Teilnehmer die Informationen aus Anhang D. Die Versuchstermine wurden so angelegt, dass immer einzeln bzw. in kleinen Gruppen (max. 4 Personen) gearbeitet werden konnte. In einer kurzen Präsentation erhielt jeder Teilnehmer eine kurze Einführung in das Thema Lautheitsmessung nach ITU-R [BS.1770] und in die Inhalte von EBU [R128]. So konnten erste Fragen geklärt werden und es war gewährleistet, dass jeder Teilnehmer über den gleichen Wissensstand verfügt.

Danach wurde die Simulationssoftware erläutert und das Ziel des Versuchs definiert. Anschließend hatten die Teilnehmer Zeit sich mit der Mischung des gewünschten Materials zu beschäftigen und dabei die »neuen« Metering-Möglichkeiten eingehend zu testen. Es gab keine feste Zeitvorgabe, jedoch nahmen sich die meisten Teilnehmer einen ganzen Tag Zeit um sich mit dem Versuchsaufbau zu beschäftigen. Durch die verschiedenen Tätigkeitsbereiche der Probanden konnte ein großer Erfahrungsschatz abgerufen werden und in die Untersuchungen einfließen.

Insgesamt haben 16 Personen an dem Versuch teilgenommen. Dabei bestand der größte Teil (11) aus aktiven Toningenieurern darüber hinaus haben auch Planungsingenieure, Rundfunkbetriebsverantwortliche und Mitarbeiter der Audioindustrie teilgenommen (5).

#### *Tätigkeitsbereich*

Die Teilnehmer kamen zum größten Teil aus dem TV-Bereich (10). Davon waren die meisten Teilnehmer bei öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten tätig (10). Das zeigt auch wie aktuell vor allem in den öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten das Thema Lautheitsmessung und lautheitsgerechtes Aussteuern diskutiert wird. Ebenso haben einige freiberuflich tätige Toningenieure teilgenommen. Mit fünf zu neun waren Teilnehmer deren Tätigkeitsschwerpunkt in der Außenübertragung liegt in der Mehrzahl gegenüber den Kollegen aus der Studioproduktion. Teilnehmer die im Hörfunk (1) oder in der Musikproduktion (2) tätig sind waren in der Minderheit. Die Verteilung der Tätigkeitsbereiche aller Teilnehmer spiegelt den sehr gut den aktuellen Schwerpunkt der Lautheitsdiskussion wieder – dieser liegt eindeutig im Fernsehen.

#### *Vorkenntnisse Erfahrungen*

Die Erfahrungen mit dem Thema beschränkten sich bei den meisten Teilnehmern auf theoretische Wissen sowie Informationen aus privatem Interesse an dem Thema (6). Vier Teilnehmer hatten bereits Seminare bzw. Workshops zu diesem Thema besucht. Dies war ausschließlich bei Teilnehmern aus dem öffentlich-rechtlichen Bereich der Fall. Vor allem für Teilnehmer aus der privaten Wirtschaft und freiberuflich tätige Toningenieure war das Thema komplett neu (4). Hier wurde auch angegeben, dass momentan schon rudimentär mit der RTW-Lautheit in den Messgeräten gearbeitet wird. Lediglich ein Teilnehmer konnte angeben, dass er bereits mit Lautheitsmessung gearbeitet hat.

## **7. Definition der Anforderungen für eine Mischpult Integration**

### **7.1. Lautheitsmessung**

#### **7.1.1. Vorbemerkung**

Eine Integration von Lautheitsmessung in einem digitalen Produktionsmischpult ist auf Grund der fortschreitenden Standardisierung und deren anstehender Umsetzung sehr naheliegend. So bietet die Verwendung von Lautheitsmessung nach ITU-R [BS.1770] in einzelnen Kanälen dem Toningenieur erstmalig die bisher fehlende Zusatzinformation des eigentlich subjektiven Parameters Lautheit. Die Vorzüge dieser Möglichkeiten wurden während der praktischen Arbeit in den Versuchen zum Beispiel beim Vergleichen von einzelnen Signalen (z. B. Chorstimmen) bestätigt. Im folgenden Abschnitt erfolgt eine zusammenfassende Auswertung der Mischversuche und eine Beschreibung der Konsequenzen für die Integration von Lautheitsmessung nach [BS.1770] in ein Mischpult. Dabei wird in die Bereiche Lautheitsmessung und Lautheitspegelung unterteilt. Am Ende jedes Abschnitts steht eine Handlungsempfehlung für eine Integration in ein digitales Mischpult-System.

#### **7.1.2. Einsatz von Lautheitsmessung im Mischpult**

Zu Beginn soll der Einsatz von Lautheitsmessung in Mischpulten grundsätzlich betrachtet werden. In einem Mischpult kann grundlegend zwischen zwei Kanaltypen unterschieden werden, die für unterschiedliche Anwendungen stehen. Zum einen Eingangskanäle und alle Arten von summierenden Kanälen. Durch die Mischversuche und die Gespräche mit den Anwendern konnten verschiedene Szenarien ermittelt werden, wie Lautheitsmessung im Mischpult eingesetzt werden kann. Dabei stellte sich heraus, dass die Anforderungen für jeden dieser Kanaltypen unterschiedlich sein können. Aus diesem Grund werden sie hier getrennt erläutert.

##### **Eingangskanäle**

Auf den ersten Blick erschien eine Lautheitsmessung im Eingangskanal für viele Teilnehmer als unnötig. Viele sahen eine Anwendung nur in der Summe oder allgemein in Bussen. Nach längerem Arbeiten mit der Simulationsumgebung hat sich diese Einstellung bei den meisten

Probanden geändert. Es haben sich in den Versuchen mehrere Szenarien herausgestellt bei denen eine Lautheitsmessung im Eingangskanal wünschenswert ist. Dazu gehören:

- Im Allgemeinen vorproduzierte oder fertig gemischte Signale (z. B. Zuspeler, Playbacks, Außenstellen). Diese haben oft großen Einfluss auf die Gesamtlautheit oder bestimmen diese ganz.
- Mehrere gleichzeitig auftretende Signale z. B. bei mehrstimmigem Chor. Durch die Lautheitsmessung in jedem Eingangskanal können die Stimmen sehr schnell identifiziert und angeglichen werden ohne die Signale einzeln vorhören zu müssen.
- Eingangskanäle werden oft verwendet um Gruppen oder Summen zurück ins Pult zu routen, hier kommt die Funktion der Lautheitsmessung der in Bussen gleich.

### **Summierende Kanäle (Busse)**

Unter den Oberbegriff Bus fallen alle Summen, Gruppen, Aux- und sonstige Ausspielwege. Auch hier hat sich herausgestellt, dass eine Lautheitsmessung nicht nur der Endsumme vorbehalten sein sollte. Anwendungsgebiete für Lautheitsmessung in Bussen werden im Folgenden dargestellt:

- Bei TV-Anwendungen werden meist mehrere Mischungen gleichzeitig produziert z. B. bei mehrsprachigen Produktionen – es gibt selten nur eine Summe.
- Gruppen werden oft wie Summen behandelt, um Vormischungen bzw. einzelne Bestandteile des Programms an Zweitverwerter abzugeben (z. B. Atmo-Mischung bei Sportproduktionen).
- Aux-Wege werden verwendet um das Signal eines Moderators für abgesteckte Interviews<sup>11</sup> auszuspielen. Da diese meist während der Live-Sendung im Hintergrund erfolgen, ist ein direktes Abhören nicht möglich. Eine Lautheitsmessung kann einen Anhaltspunkt geben was im Hintergrund passiert, und was zu erwarten ist, wenn das Material wieder zugespielt wird.

### **Empfehlung**

Aus den oben erwähnten Gründen sollte in einem digitalen Produktionsmischpult eine Lautheitsmessung in jedem Kanaltyp möglich sein.

---

<sup>11</sup> abgestecktes Interview: Aufzeichnung eines Interviews während laufender Sendung für eine spätere Zuspelung in das Programm, z. B. Interviews nach dem Wettkampf.

### 7.1.3. Metering Instrumente

Den Teilnehmern wurden die verschiedenen Mess-Instrumente (Peak, Loudness, Combi) vorgestellt. Dabei sollte festgestellt werden, welches bevorzugt eingesetzt wird. In ITU-R [BS.1771] wird vorgeschlagen, nur mit reinen Lautheitsanzeigen zu arbeiten. Digitale Übersteuerungen könnten mit einer Übersteuerungsanzeige in Form einer Over-LED visualisiert werden. Einige Probanden äußerten, dass sie nach einer Eingewöhnungszeit so arbeiten könnten. Insgesamt hat sich aber herausgestellt, dass der klassische Peak-Meter (unabhängig von der Integrationszeit) nicht ersetzbar ist. Ein Peak-Meter gibt die technischen Signalinformationen, die ein Loudness-Meter nicht zeigt, z. B. ob das Signal noch anliegt und ob die Übersteuerungsgrenze erreicht bzw. schon überschritten wird. Peak-Meter geben auch Aufschluss über die Pegelverteilung bei mehrkanaligen Signalen. Des Weiteren wird ein Peak-Meter auch weiterhin gebraucht um den Einstellpegel zu messen. Dies ist theoretisch auch mit einem Lautheitsmessgerät möglich, da ein Stereo-Sinus den gleichen Wert anzeigt den auch ein Peak-Meter zeigen würde. Allerdings sollten Lautheitsmessgeräte dafür nicht verwendet werden, da es auf Grund der Gewichtung in den Surround-Kanälen durch Fehler in der Anwendung schnell zu Messfehlern kommen kann (Camerer, 2011).

Der Peak-Meter wurde vor allem bei Einzelsignalen bzw. bei Eingangskanälen bevorzugt eingesetzt. Der reine Lautheits-Bargraph wurde zumeist in Bussen bzw. bei vorgemischten Signalen gerne eingesetzt. An diesen Stellen verliert der Peak-Meter für viele Teilnehmer an Relevanz. Der Combi Meter war am Ende des Versuchs bei allen Probanden sehr beliebt. Durch diese beiden Instrumente bekommt der Toningenieur zum ersten Mal Informationen über das Audiosignal die nur mit einem Peak-Meter nicht möglich waren. Die Lautheitsanzeige gibt eine Information über die subjektive Größe Lautheit und der Peak-Meter wird zu einem rein technischen Werkzeug und zeigt echte Signalspitzen an um Übersteuerungen zu vermeiden. Die Kombination aus beiden Anzeigen stellt also die optimale Möglichkeit dar, Audiosignale in ihrem Pegelverhalten zu kontrollieren und zu visualisieren. Der Combi-Meter bietet vor allem auch in der bevorstehenden Übergangsphase eine gute Möglichkeit, sich an die Lautheitsanzeigen zu gewöhnen.

Sollen die Messinstrumente umschaltbar bzw. frei zuweisbar sein gibt es bei der Integration in ein digitales Mischpultsystem zwei Prinzipien. Die Anzeigen können auf den jeweiligen Kanalzug (Strip) bezogen sein, oder mit dem jeweiligen DSP-Kanal verlinkt sein. Letzteres ist vor allem praktisch, wenn für ein bestimmtes Signal ein entsprechendes Anzeigeelement ausgewählt werden soll. Dieses würde dann auch bei einer Umbelegung des Kanals auf einen anderen Fader »mitwandern«. Dies war bei einer Vielzahl der Teilnehmer das erwünschte Verhalten.

Die bevorzugte Farbe für den Loudness-Bargraph ist hellblau. Obwohl es keinen Standard gibt hat sich diese Farbe offensichtlich für die Darstellung von Lautheit etabliert. Dies ist auch bei

anderen Herstellern zu beobachten (z. B. RTW). Für den Peak-Bargraph war die beliebteste Farbe gelb, was aber auf die bestehende Farbgebung im Lawo-System zurückzuführen ist.

Bei den Abgriffpunkten für das Metering wurde auch zwischen Eingangskanälen und Bussen unterschieden. Dabei zeigte sich, dass Lautheit tendenziell in beiden Fällen lieber nach dem Fader gemessen wird. Die Peak-Messung wurde jedoch an Eingangskanälen lieber vor dem Fader (Input oder Pre-Fader) abgegriffen, bei Bussen eher nach dem Fader. Daraus ergibt sich die Anforderung an unterschiedliche Abgriffpunkte für die beiden Messverfahren.

### **Empfehlung**

In jedem Kanal sollte die Lautheitsmessung mit vollständigem Umfang zur Verfügung stehen. Es muss zudem die Möglichkeit bestehen Lautheit und Peak gleichzeitig zu betrachten (Combi Mode). Bei der kombinierten Anzeige aus Lautheit und Peak sollte der Peak-Meter auf jeden Fall im True Peak Modus nach ITU-R [BS.1770] arbeiten. Eine Umschaltung der Metering-Instrumente bietet sich an, allerdings ist auch ein reiner Betrieb mit Combi-Metern möglich. Die Anzeigen sollten zudem an den DSP-Kanal gebunden sein. Dies ist allerdings auch abhängig von der generellen Bedienphilosophie eines Mischpult-Systems. Die Abgriffpunkte für Loudness und Peak müssen variabel sein und müssen in einem Kanal auch voneinander abweichen können.

#### **7.1.4. Zeitfenster**

Bei der Anwendung von Lautheitsmessung für den Echtzeitbetrieb im Kanal kamen die beiden von der EBU definierten Zeitfenster Momentary- und Short Term zur Anwendung. Auch hier kann für die verschiedenen Anwendungsfälle eine Unterscheidung in Kanaltypen vorgenommen werden.

Die Ergebnisse aus dem Mischversuch zeigen, dass für Eingangskanäle zum Beobachten der Signale oder dem Einpegeln nach Lautheit der Momentary-Modus bevorzugt angewendet wird. Dagegen zeigte sich bei der Anwendung in Bussen ein anderes Bild. Hier wurde gerne der Short Term-Modus verwendet. Durch das Zeitfenster mit einer Länge von drei Sekunden verhält sich der Bargraph sehr ruhig was das Ablesen vereinfacht. Das ermöglicht bei einem Blick auf die Ausspielwege, wie z. B. in Summen eine schnelle Information, wie sich das Programm gerade in seiner Lautheit verhält.

### **Empfehlung**

Die Notwendigkeit die beiden Modi Momentary und Short Term zu integrieren ergibt sich aus EBU [R128]. Die Verwendung des Momentary-Modus in Eingangskanälen sowie des Short Term-Modus in Bussen könnte eine Standardeinstellung werden. Wenn die Zeitfenster global umgeschaltet werden können, muss zwischen Eingangskanälen und Bussen unterschieden werden.

#### **7.1.5. Skalen**

In der Versuchsumgebung hat sich die EBU +9 Skala vor allem bei Eingangssignalen nicht immer bewährt und es wurde oft die EBU +18 Skala bevorzugt. Vielen Teilnehmern war vor allem der negative Bereich (Skalenende bei -18 LU) der Skala nicht umfangreich genug. Möglich wäre es auch die Skala hier variabel zu gestalten, was von einigen Teilnehmern angemerkt wurde. Diese Skala würde dann meist gerne nach unten erweitert werden. Der Gedanke, dass ein Signal nicht mehr anliegt nur weil das Instrument keinen Pegel mehr anzeigt ist für viele zu präsent. Diese Denkweise hat sich in der langjährigen Arbeit mit Spitzenpegelmessern gefestigt, ist allerdings für die Arbeit mit Lautheitsmesser nicht mehr relevant. Zeigt der Lautheits-Bargraph keinen Pegel mehr an, kann das auch so interpretiert werden, dass keine relevante Lautheit in diesem Kanal vorliegt. In Bussen kamen die Teilnehmer gut mit der EBU +9 Skala zurecht. Dort liegen meist fertig gemischte Signale an, die einen Lautheitspegel aufweisen, der sich gut in die Skala einpasst.

### **Empfehlung**

Die Notwendigkeit die beiden Skalen EBU +9 und EBU +18 zu integrieren ergibt sich ebenfalls aus dem EBU Mode. Zwar hat der Versuch ergeben, dass die Vorlieben bei Eingangskanälen und Bussen differieren. Allerdings ist von einer einzelnen Umschaltung in den Kanälen oder einer globalen Umschaltung zwischen Eingängen und Bussen abzuraten. Liegen die Kanäle mit unterschiedlichen Skalen nebeneinander auf dem Mischpult kann es sehr schnell zu Ablesefehlern kommen.

#### **7.1.6. Integrated Messungen**

Ein externes Aussteuerungs-Messgerät (z. B. RTW) gehört bei vielen Broadcast-Audio-Installationen zum Standard. Die meisten dieser Geräte unterstützen bereits eine Lautheitsmessung nach ITU-R [BS.1770] bzw. den EBU-Mode. Allerdings kann meist nur eine Summe in Stereo oder Surround gemessen werden. Bei TV-Produktion müssen allerdings oft mehrere Summen abgegeben werden. Während des Mischversuchs haben sich auch noch weitere Anwendungsfälle für mehrere Langzeitmessungen ergeben. Oft können zu produzierende Signale nicht

unmittelbar abgehört werden, z. B. werden bei laufender Live-Sendung oft noch Interviews im Hintergrund aufgezeichnet. Diese Signale können meistens nur bedingt akustisch kontrolliert werden. Eine Integrated Messung kann in diesem Fall Aufschluss geben, welche Lautheit zu erwarten ist, wenn das aufgezeichnete Material wieder zugespielt wird.

**Empfehlung:**

Bei einer konsequenten Integration von Lautheitsmessung in ein Produktionsmischpult müssen mehrere Integrated Messungen möglich sein. Diese Funktion betrifft vorrangig Busse. Darüber hinaus müssen für Integrated Messungen mehrere Zeitbasen zur Verfügung stehen, d. h. mehrere Messungen können individuell gestartet werden. Auf einen eigenen Bargraph kann verzichtet werden. Die Darstellung einer Zahl mit einer Dezimalstelle ist vollkommen ausreichend.

**7.1.7. Loudness Difference**

In der Simulation wurde neben den bereits beschriebenen Funktionen der Lautheitsmessung noch eine weitere Anzeige realisiert. Die Idee zu dieser Anzeige basiert auf der Überlegung, dass bei einem Einsatz von Lautheitsmessung im Mischpult auch die Pegelanzeigen von Dynamik-Modulen überdacht werden sollten. Die sog. Loudness Difference zeigt die Lautheitsveränderung im Kanalzug an (Abbildung 7.1). Dazu wird der Lautheitspegel des Eingangssignals mit dem Lautheitswert der vor dem Fader anliegt verglichen. An der Skala lässt sich nun die Lautheitsveränderung bedingt durch Equalizer und/oder Kompressor in LU ablesen. Die Loudness Difference-Anzeige kann z. B. dazu verwendet werden die »richtige« Pegelanhebung (make up gain) zu ermitteln, um nach der Kompression zu einem subjektiv gleichen Lautstärke-Eindruck zu erreichen.

Um ein gewohntes Arbeiten beizubehalten und auch um die neue Anzeige in Anfangszeiten besser interpretieren zu können, wurde die bekannte Gain Reduction-Anzeige parallel dazu dargestellt. Die Skala hatte einen Umfang von  $\pm 10$ . Das Zeitfenster konnte zwischen Momentary und Short Term gewählt werden.



Abbildung 7.1: Loudness Difference-Anzeige zeigt Lautheitsunterschiede im Kanalzug

### Empfehlung

Die Resonanz auf das neue Tool war grundsätzlich gut. Vielen war die Anzeige erst fremd und ein direkter praktischer Nutzen war nicht für jeden erkennbar. Die Reaktionen waren positiv aber eher Verhalten. Für viele stellte die Loudness Difference ein »nettes Feature« dar. Eine Implementation der Loudness Difference-Funktion ist von daher nicht zwingend erforderlich. Bei den Versuchen hat sich herausgestellt, dass eine Skala von  $\pm 10$  ausreichend ist und das mit dem Zeitfenster Short Term am Besten gearbeitet werden konnte.

## 7.2. Lautheitspegelung

In dem Mischversuch hatten die Teilnehmer auch die Möglichkeit mit dem Jünger Level Magic™ zu arbeiten. Ziel war es herauszufinden, wie sich dieser Prozessor auf Mischungen auswirkt. Welche Effekte sind beim Einsatz zu erwarten und wie verhält sich der Prozessor unter dem Gesichtspunkt, dass durch die Möglichkeit des Lautheits-Meterings schon ein Signal mit richtigem Target Level vorliegt. In diesem Zusammenhang sollte untersucht werden ob eine direkte Integration von automatischer Lautheitspegelung in ein Produktionsmischpult wünschenswert ist, und an welcher Stelle der Einsatz sinnvoll wäre.

Bei der Lautheitspegelung handelt es sich um einen automatischen Prozess, der wenig Möglichkeiten bietet einzugreifen. Die Teilnehmer des Versuchs haben sich instinktiv mehr mit den neuen Möglichkeiten der Aussteuerungskontrolle auseinandergesetzt und diesen automatischen Prozess eher distanziert bis ablehnend betrachtet. Da das Thema Lautheitsmessung für viele

Teilnehmer Neuland war, blieb den meisten auch wenig Zeit sich noch ausgiebig mit diesem Thema zu befassen.

Bei den Versuchen mit dem Gerät hat sich gezeigt, dass das Signal auch bearbeitet wird, wenn der richtige Target Level vorliegt. Bei dynamischem Material greift der Transienten-Prozessor in die Dynamik des Gesamtsignals ein. Es gibt keine Einstellmöglichkeiten um diese Bearbeitung einzugrenzen. Lediglich das Ansprechverhalten kann zwischen soft, medium und hard gewählt werden. Ein Schwellwert für die Bearbeitung kann nicht vergeben werden.

Durch den konsequenten Einsatz von Lautheitsmessung im Mischpult ist damit zu rechnen, dass der Target Level schon in der Mischung erreicht wird und nicht mehr automatisch korrigiert werden muss. Hier haben die Versuche gezeigt, dass das Vorhandensein von Lautheitsmessung schon vor dem Summenkanal intuitiv hilft den richtigen Target Level zu erreichen. Keiner der Probanden hatte größere Probleme den Target Level zu erreichen. Teilweise wurde dieser sogar bei reiner Peak-Aussteuerung erreicht. Nach Eberhard, 2011 sollte das Ziel einer Produktion sein, immer direkt an der Quelle zu normalisieren.

### **Empfehlung**

Der Einsatz einer Automatic Loudness Control (ALC) kann bei einer direkten Implementation in ein Mischpult vor allem in Eingangskanälen Anwendung finden. Gerade in der Übergangsphase wird man als Toningenieur immer wieder mit Sendematerial (Zuspieler, Playbacks, etc.) konfrontiert sein, dass kritische Lautheitswerte aufweist. Eine ALC im Eingangskanal könnte so unerwünschte starke Lautheitssprünge bei unbekanntem Signalen verhindern. Technisch werden beim Einsatz in Eingangskanälen keine anderen Anforderungen an die ALC gestellt als beim Einsatz für Summen. Der Prozessor muss auf schnelle Pegelspitzen reagieren (Transienten-Prozessor) und den Gesamtpegel langsam auf den Target Level anheben oder absenken (AGC). Da die ALC nur auf ausgewählte Signale angewendet wird, können leichte Klangveränderungen toleriert werden, die evtl. durch einen Transientenprozessor auftreten.

Die Integration einer ALC in ein Mischpult-System ist also sinnvoll, vor allem bei der Anwendung in Eingangskanälen. Liegt eine solche Funktion als DSP-Modul vor, steht natürlich einem Einsatz in den Summen auch nichts im Weg. Generell sollte aber davon abgesehen werden. Der von Jünger entwickelte Prozess stellt eine gute Lösung für eine ALC dar. Jedoch sollte die Möglichkeit bestehen präziser auf die Arbeitsweise des Transienten-Prozessors eingreifen zu können um die entstehenden Artefakte bei kritischem Material noch zu verringern.

### 7.3. Integration für Radio und On-Air Mischpulte

Das Produkt-Portfolio der Firma Lawo umfasst neben den bereits erwähnten Produktions-Mischpulten auch Produkte für spezielle Radio-Anwendungen. Zwar wurden im Rahmen dieser Arbeit keine Versuche mit Radio-Equipment oder in einer Radioumgebung simuliert, betrachtet man jedoch die Einsatzgebiete dieses Equipments genauer zeigt sich, dass sich für die Lautheitsmessung vergleichbare Produktionssituationen ergeben. Durch eine kanalbasierte Lautheitsmessung können auch technisch meist »unbedarfte« Selbstfahrer bei der Aussteuerung unterstützt werden. Ebenso kann eine Lautheitsmessung in typischen Talksituationen helfen einen einheitlichen Lautheitseindruck zwischen den verschiedenen Quellen (Studiogäste, Telefonschaltungen, etc.) herzustellen. Durch das Aussteuern auf einen Lautheitswert, nach dem Motto »alles auf Null« ist dies auch für den tontechnisch meist nicht ausgebildeten Journalisten einfach zu bewerkstelligen. Eine kanalbasierte Lautheitsmessung in Radiopulten kann eine Hilfestellung sein und zur Verbesserung der Produktionsqualität beitragen. Somit können die Empfehlungen aus diesem Abschnitt weitgehend auch für Radio-Produkte angewendet werden.

Im Radio steht der Gewinn von Dynamikumfang durch lautheitsnormalisiertes Material nicht im Vordergrund. Dennoch würde sich der Einsatz von EBU [R128] dort auch lohnen. Versuche beim Norddeutschen Rundfunk haben gezeigt, dass die Klangqualität im Radio durch den Einsatz vom lautheitsnormalisierten Material verbessert werden kann. Die Intensität des Optimod-Prozessors<sup>12</sup> kann dann bei gleicher Klangwirkung auf 20% reduziert werden (Siegfried, 2011). Auch wenn es für den Radio-Sektor aktuell keine verbindliche Empfehlung gibt haben Gespräche und Rückfragen aus dem Vertriebsbereich gezeigt, dass eine Nachfrage nach Lautheitsmessung auch im Radiobereich vorhanden ist.

Die folgenden Ausführungen stellen erste Vorschläge dar, wie die in dieser Arbeit vorgestellten Standardisierungen und die Ergebnisse aus den Mischversuchen in dem Mischpult-System Lawo mc<sup>2</sup> umgesetzt werden können. Dabei wird neben dem grundlegenden Funktionsumfang auch die visuelle Gestaltung eines User Interfaces definiert.

---

<sup>12</sup> Die Optimod-Prozessoren der Firma Orban werden im Radio häufig als Multiplexlimiter eingesetzt um die maximale Sendeleistung zu limitieren. Ebenso arbeiten diese Geräte als Soundprozessor und werden eingesetzt um eine möglichst hohe Lautstärke zu erzielen und können Klangveränderungen hervorrufen.

## 8. Spezifikation für die Umsetzung im System Lawo mc<sup>2</sup>

### 8.1. Das System Lawo mc<sup>2</sup>

Eine Einführung über die Komponenten und den Aufbau eines Lawo mc<sup>2</sup>-Systems findet sich in Anhang A. Die vorhandenen Möglichkeiten der Aussteuerungskontrolle wurden bereits in Abschnitt 3.2.5 behandelt. Die grundsätzliche Bedienung erfolgt über das »GUI Display« im zentralen Bedienfeld. Die Steuersoftware besteht aus verschiedene Menü-Seiten, die im Folgenden kurz erläutert werden:

<b>Signals</b>	<i>List Settings</i>	Zugriff auf die Signale in Listendarstellung Systemüberblick
<b>Matrix</b>	<i>mxRouting mxDSP</i>	Routing in Matrixansicht Verwaltet Settings des Kreuzschienen DSP
<b>Busses</b>	<i>Bus Assign Busses Reverse</i>	Busaufschaltung Ansicht der aufgeschalteten Busse
<b>Plugin</b>	<i>Setup</i>	Verwaltet Plugin-Server für die Integration von VST-Plugins
<b>Channel</b>	<i>Main Display Config</i>	Gesamtübersicht des Kanals Konfiguration des Kanalzugs
<b>Metering</b>	<i>1...4</i>	Frei zuweisbare Metering-Ansichten
<b>System</b>	<i>System Settings DSP Configuration Custom Functions</i>	Globale Systemeinstellung Konfiguration des DSP-Setups Verwaltung der Custom Functions
<b>Snapshots</b>	<i>Snapshot List Sequence Snapshot Trim Sets</i>	Verwaltung der Snapshots Weitere Snapshotfunktionen
<b>Automation</b>	<i>Mixes Pass Tree</i>	Automationsfunktionen
<b>Production</b>	<i>Production List File Transfer</i>	Verwaltung der Produktionsdaten Im- und Export von Produktionsdaten
<b>Extra Buttons</b>		Weitere Funktionen und Buttons

## 8.2. Kompatibilität und Zielgruppendefinition

Die Lautheitsmessung in Lawo mc<sup>2</sup>-Systemen soll jedem bestehenden Anwender zur Verfügung stehen. Dafür soll eine Implementation nicht über eine zusätzliche Hardware-Option erfolgen sondern über ein Software-Update im normalen Release-Zyklus<sup>13</sup>. Dabei ist die Kompatibilität zu allen Modellen zu beachten. Vor allem die erste Version des mc<sup>2</sup>66 ist auf dem Rundfunkmarkt sehr verbreitet und verfügt beispielsweise noch nicht über Touchscreens.

Um die Implementation auf ein Software-Update zu beschränken dürfen keine Hardwaretasten für essentielle Funktionen belegt werden, da diese nicht auf allen Mischpultoberflächen identisch sind. Über die Custom Functions<sup>14</sup> ist es möglich Hardwaretasten (User Buttons) zu belegen um die Ergonomie zu verbessern oder schneller auf bestimmte Funktionen zugreifen zu können. Dies muss aber eine Option bleiben. Generell müssen die Elemente auf eine Bedienung mit der Maus ausgelegt sein. Die Ergonomie muss aber eine Touchscreen-Bedienung ermöglichen. Die Lautheitsmessung stellt eine Erweiterung des vorhandenen Meterings dar und muss die Kompatibilität zu alten Productions und Snapshots gewährleisten. Diese Daten dürfen durch eine aktivierte Lautheitsfunktion nicht verändert werden.

## 8.3. Funktionsumfang

Die aktuellen Entwicklungen um das Thema Lautheitsmessung und die angestrebte Umsetzung von [R128] in den Rundfunkanstalten haben gezeigt, dass vor allem die entsprechende Messtechnik sehr schnell vorhanden sein muss, um den Übergang zur Lautheitsaussteuerung und -normalisierung zu vollziehen. So soll in allen Rundfunkanstalten der ARD noch bis Ende des Jahres 2011 entsprechende Messtechnik vorhanden sein (Eberhard, 2011). Vor diesem Hintergrund wird bei der Integration in das Lawo-System eine konsequente Umsetzung von Lautheitsmessung primär behandelt. Die in dem Versuch ebenfalls vorgestellte Methode der Loudness Difference-Messung wird nicht implementiert. Der Aufwand an notwendigen Ressourcen (doppelte Filterbewertung) steht nach Auswertung der Rückmeldungen aus den Versuchen nicht im Verhältnis zum wirklichen Nutzen dieser Anzeige.

---

<sup>13</sup> Halbjährig wird von Lawo ein Software-Update veröffentlicht, dass allen Anwendern der mc<sup>2</sup>-Serie kostenlos zur Verfügung steht. Hierbei wird die bestehende Software verbessert oder um neue Funktionen erweitert.

<sup>14</sup> Custom Functions ermöglichen dem Anwender sog. User Buttons mit oft benötigten Funktionen selbst zu belegen. Diese User Buttons können sowohl auf Hardwaretasten auf der Mischpultoberfläche, auf Touchscreens oder auf dem iPhone Remote App belegt werden.

Eine automatische Lautheitspegelung wie in Abschnitt 5.5 beschrieben wird zum jetzigen Zeitpunkt ebenfalls nicht implementiert.

Die Implementation von Lautheitsmessung in ein Produktions-Mischpult muss auf dem ITU-Standard basieren. Die durch die vorhandenen Standardisierungen hervorgegangenen Vorgaben bzw. Erweiterungen des Algorithmus müssen ebenfalls verfügbar sein. Bei der Integration in das Lawo-System ist es das Ziel, dass eine Lautheitsmessung in jedem Kanal möglich sein soll. Ausgenommen davon sind Tiny-Kanäle<sup>15</sup>. Das Lawo-System kann mehrere mehrkanalige Audioformate verarbeiten. Dazu gehören neben 5.1 auch 4.0 (entspricht Dolby® ProLogic), 6.1 und die beiden 7.1 Standards Sony SDDS® und DTS-HD. Zum jetzigen Zeitpunkt ist der ITU-Algorithmus nur für 5.1 Signale definiert. Diese Problematik wurde in Rahmen dieser Arbeit auch bei der P/LOUD-Arbeitsgruppe angemerkt. Größere Formate können aus diesem Grund bei der Integration momentan nur mit einer proprietären Lösung berücksichtigt werden, die zum jetzigen Zeitpunkt nicht durch Hörversuche nachgewiesen ist. Ein vorübergehender Lösungsansatz wäre die Seitenkanäle im 7.1 DTS-HD Format nur mit einem Gain-Factor von +0.75 dB (statt +1.5dB für die hinteren Kanäle) zu bewerten. Die zusätzlichen Center-Lautsprecher im SDDS®-Format gehen ohne einen Gain-Factor in die Berechnung ein. Die Berechnung der Lautheit erfolgt hier wie in ITU-R [BS.1770] nur mit fünf Frontkanälen anstelle von drei aus dem 5.1 Format.

Im Folgenden werden die notwendigen Funktionen im Einzelnen näher definiert.

## **8.4. Integration von ITU-R BS.1770**

### **8.4.1. Globale Optionen / System Settings**

Alle globalen Optionen sind über die System Settings-Seite des Lawo-Systems zugänglich. Die vorhandenen Metering-Modi werden um den Lautheitsmodus erweitert. Dieser sollte sich im Namen auf die Messmethode beziehen. Mögliche Bezeichnungen sind z. B. ITU Mode, ITU 1770 oder ITU-R BS.1770. Diese globalen Optionen betreffen das Verhalten der Lautheitsmessung im ganzen Mischpultsystem.

Für den Target Level gibt es zwei relevante Werte (-23 LUFS aus EBU [R128] und -24 LUFS aus ATSC [A/85]). Dennoch muss der Target Level variabel einstellbar sein. Noch ist nicht geklärt wie die Umstellung in den Rundfunkanstalten ablaufen wird (Eberhard, 2011). Denkbar ist hier eine schrittweise Annäherung an den Target Level von -23 LUFS. Im Norddeutschen Rundfunk wird z. B. derzeit mit einem Target Level von -21 LUFS gearbeitet (Siegfried, 2011).

---

<sup>15</sup> Tiny Kanal: Bezeichnung für Kanäle ohne Signalprocessing (kein EQ, Dynamics, etc.).

Nach ITU-R [BS.1770] wird der LFE-Kanal nicht in die Messung einbezogen. Nach Empfehlung EBU soll der LFE, wenn er doch in die Messung eingehen soll, mit +10 dB bewertet werden [Tech3341]. Eventuell wird diese Empfehlung in eine neue Revision von [BS.1770] eingehen. Vor diesem Hintergrund muss der LFE global zuschaltbar sein.

Ähnlich verhält es sich mit der Gating-Funktion für Langzeitmessungen. Diese ist auch noch kein Bestandteil von [BS.1770] und muss deshalb schaltbar bleiben. Ebenso werden derzeit zwei Gating-Werte diskutiert (-8 LU aus EBU [R128] und -10 LU als Revision für [BS.1770]), die vor endgültiger Festschreibung in den Empfehlungen variabel bleiben müssen.

Die von der EBU vorgeschlagenen Zeitfenster Momentary und Short Term werden global definiert. Dabei wird unterschieden zwischen Eingangskanälen und allen Bussen, da sich in den Versuchen gezeigt hat, dass für summierte Signale gerne das Zeitfenster Short Term mit drei Sekunden verwendet wurde.

Die vorgeschlagenen Skalenlayouts können global definiert werden. Die EBU +9 Skala wird als Standardwert gesetzt. Auch wenn die Versuche gezeigt haben, dass es für Eingangskanäle andere Vorlieben als für Busse gibt, kann eine einzelne Umschaltung in Kanälen zu Ablesefehlern führen, werden diese direkt nebeneinander angezeigt. Die in ITU-R [BS.1771] vorgeschlagene Skala mit einem Umfang von -21 LUFS bis +9 LUFS soll ebenfalls vorhanden sein. Um sich an die Arbeitsweisen der Anwender anzupassen sollen auch die Ergebnisse der Langzeitmessung zwischen einer absoluten und relativen Anzeige umgeschaltet werden können. So können gewohnte Arbeitsweisen, wie das Aussteuern »auf Null« beibehalten werden.

Die Spezifikationen der EBU und ATSC stellen momentan die verbindlichsten Hinweise zum Einsatz von Lautheitsmessung nach ITU-R [BS.1770] dar. Die Vorgaben dieser Empfehlungen sollten für den Anwender als nicht modifizierbare Voreinstellung (Preset) abrufbar sein. Tabelle 8.1 zeigt, wie die Werte der globalen Optionen bei den jeweiligen Presets gesetzt werden sollen. Der Target Level bei ATSC [A/85] liegt bei -24 LKFS. Da sich die [A/85] in technischen Definitionen auf ITU-R [BS.1770] stützt muss die Gating-Funktion für Langzeit-Messungen deaktiviert sein. Genaue Zeitfenster wurden in [A/85] nicht spezifiziert. Allerdings haben sich die Zeitfenster Momentary und Short Term aus der EBU-Empfehlung als sehr praktikabel erwiesen, so dass diese beim ATSC-Preset ebenfalls verwendet werden können. Um kompatibel zu Empfehlungen aus anderen Ländern zu sein, ist es in einem Custom-Preset möglich alle Einstellungen frei zu definieren.

Tabelle 8.1 stellt alle notwendigen Optionen dar und gibt weiterführende Erläuterungen. Abbildung 8.1 zeigt die neu eingeführten Parameter auf der System Settings-Seite der Lawo mc<sup>2</sup>-Software. Diese Parameter und alle im Folgenden beschriebenen Funktionen und Ansichten sind

nur verfügbar, wenn auf der System Settings-Seite der ITU-R BS.1770-Modus angewählt ist. Dieser Modus soll in Zukunft standardmäßig aktiviert sein.

**Tabelle 8.1: Werte der Presets für vorhandene Standards**

	<b>EBU MODE</b>	<b>ATSC A/85</b>
<b>Target Level</b>	-23	-24
<b>Gate</b>	ON	OFF
	-8	---
<b>Scale Mode</b>	EBU +9	ITU-R BS.1771
	EBU +18	

**Tabelle 8.2: Parameter der globalen Optionen**

<b>ITU 1770 Modus</b>		
<b>Parameter</b>	<b>Funktionen</b>	<b>Anmerkungen</b>
<b>Preset</b>	EBU Mode A/85 Custom	Listenfeld zur Auswahl des Presets
<b>Target Level</b>	variabel	Target Level frei einstellbar, wenn Custom Preset gewählt
<b>Integrated Display</b>	absolut relativ	Darstellung der Zahlenwerte von Integrated-Messungen
<b>Gate</b>	ON/OFF	
	-8	laut EBU R128
	-10	voraussichtlich Revision der ITU-R BS.1770
<b>Include LFE +10dB</b>	ON/OFF	Standard deaktiviert
<b>Measurement Mode</b>		festlegen der Zeitfenster für Eingangskanäle und Busse
Inputs	Momentary Short	Standard Momentary
Busses	Momentary Short	Standard Short
<b>Scale Mode</b>	EBU +9 EBU +18 ITU-R BS.1771	Skala aus ITU-R BS.1771

<b>Scale Display</b>	absolut relativ	Darstellung der Skala Standardwert relativ
<b>Prepare all Channels</b>	On/Off	Alle Kanäle werden mit der Lautheits-Messung ausgestattet (siehe 8.4.2)
<b>Default Bargraph</b>		Festlegen des Metering-Instrumentes bei Verwendung der „Prepare all Channels“ Funktion (siehe 8.4.3)
Inputs	Loudness Peak Combi	Standard: Combi
Busses	Loudness Peak Combi	Standard: Combi



Abbildung 8.1: System Settings mit globalen Einstellung für den Lautheits-Modus

### 8.4.2. Aktivieren der Lautheitsmessung – DSP-Integration

Die momentan verfügbare DSP-Struktur erlaubt die benötigte Filterberechnung für eine Lautheitsmessung nicht zusätzlich zu den vorhandenen Modulen. Um eine Lautheitsmessung zu ermöglichen muss also auf andere Module verzichtet werden. Das Deaktivieren von DSP-Modulen zur Nutzung neuer Funktionen wurde bereits bei dem Upmix-Modul »AMBIT« realisiert. Verfügt ein Kanal über das AMBIT-Modul sind bestimmte Module deaktiviert (Gate, Expander, Filter, Image Control). Für die Berechnung der Lautheitsmessung muss nur ein Modul »geopfert« werden. Mögliche Module dafür sind das Sidechainfilter, Filter und Equalizer sowie die Dynamikmodule Compressor, Expander, Gate und Limiter. Derzeit wird das Sidechainfilter auf der Channel Config-Seite nicht visualisiert. Um dieses auch für eine Lautheitsmessung zu deaktivieren wird das Sidechainfilter wie in Abbildung 8.2 dargestellt auf der Channel Config-Seite integriert.

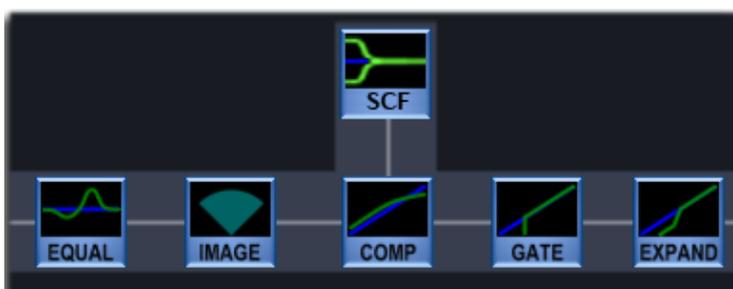


Abbildung 8.2: Visualisierung des Sidechainfilter-Moduls auf der Channel Config-Seite

Für das Aktivieren der Lautheitsmessung hat der Anwender grundsätzlich zwei Optionen. Es ist davon auszugehen, dass nicht in jedem Kanal immer alle Module aktiviert sind. Der Anwender soll deshalb die Möglichkeit haben in jedem Kanal selbst festzulegen, auf welches Modul er verzichten möchte. Diese Konfiguration wird auf der Channel Config-Seite vorgenommen. Das Aktivieren der Lautheitsmessung erfolgt dort durch einen Rechtsklick auf das zu deaktivierende Modul. Danach wird in der Signalfluss-Ansicht für die Lautheitsmessung ein weiteres Modul dargestellt. Der Baustein, der auch den Abgriffpunkt der Lautheitsmessung darstellt, wird mit »LOUD« beschriftet. Das Lautheits-Modul wird dann standardmäßig an die Position After-Fader/Bus gesetzt. Das deaktivierte Modul wird auf der Channel Config-Seite ausgeblendet. Nachdem das Lautheits-Modul aktiviert wurde, wird standardmäßig das Instrument dargestellt, welches in der System Settings-Seite dem Kanaltyp als Standard zugewiesen ist. Abbildung 8.3 zeigt den Ablauf zum Aktivieren und Deaktivieren der Lautheitsmessung in einem Kanal.

Wird auf der System Settings-Seite die Funktion *Prepare all Channels* angewählt, werden alle Kanäle mit der Lautheitsmessung ausgestattet. Dafür wird das Sidechainfilter-Modul global deaktiviert. Wird bei einem Kanal das Sidechainfilter dennoch benötigt, kann über den oben

dargestellten Weg auf der Channel Config-Seite ein anderes Modul für die Lautheitsmessung deaktiviert werden.

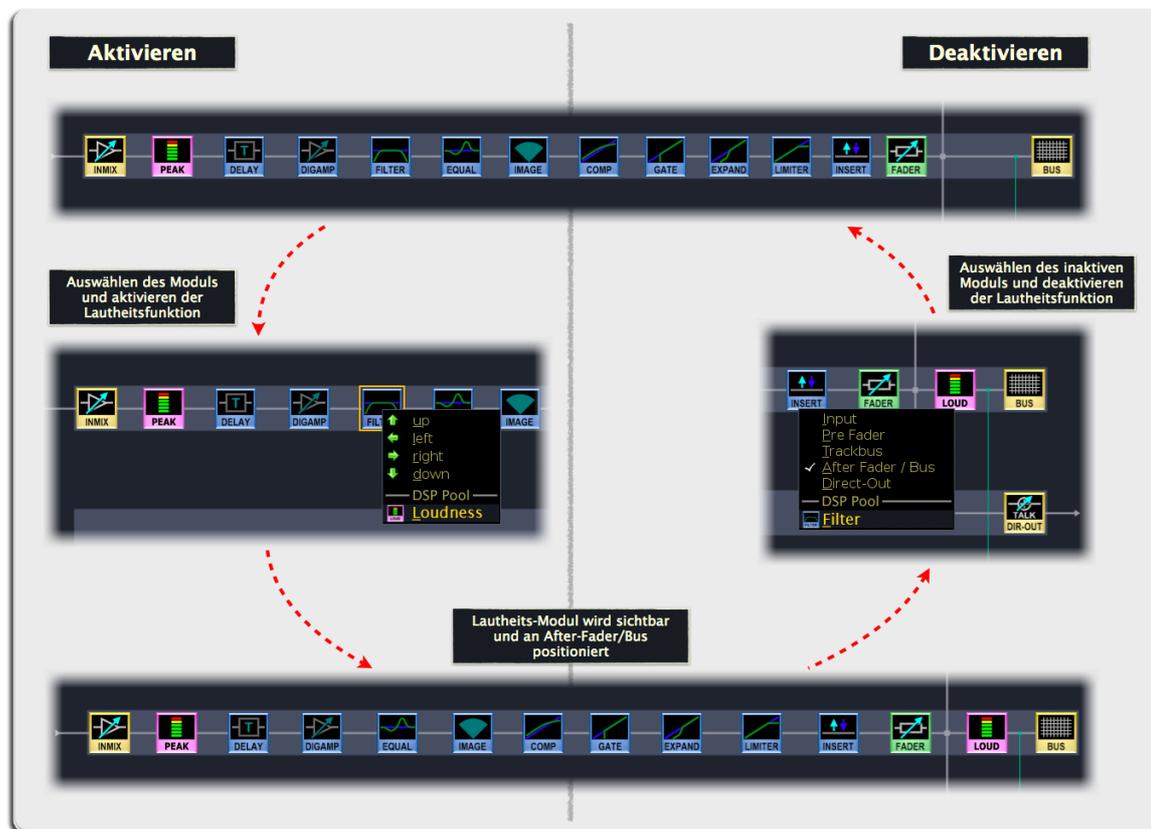


Abbildung 8.3: Aktivieren und Deaktivieren des Lautheits-Moduls in der Channel Config-Seite

### 8.4.3. Metering-Instrumente

Der Modus zur Lautheitsmessung bietet mehrere Metering-Instrumente. Diese werden wie in dem Versuchsaufbau umgesetzt. Die visuelle Gestaltung ist aus Abbildung 8.4 ersichtlich.

Bei dem Peak-Meter handelt es sich um einen True-Peak-Meter mit einer dBFS-Skala. Hierbei kommt der schon vorhandene Peak-Meter im Lawo-System zum Einsatz. Dieser arbeitet bereits mit einer zweifachen Überabtastung des Signals. Dadurch ist eine Anzeigegenauigkeit von bis zu 0.9 dB gegeben (Schick, 2005). Dies entspricht zwar nicht der Empfehlung in ITU-R [BS.1770], welche eine vierfache Überabtastung vorsieht, allerdings liegt der Anzeigefehler im Bereich der EBU-Vorgabe eines Max. True Peak Levels von -1 dBTP bei PCM-Audiosignalen.

Der Loudness-Meter besteht nur aus einem Bargraph für die Lautheitsanzeige. Um eventuell auftretende Signalspitzen nicht zu übersehen wird zusätzlich eine Übersteuerungsanzeige (Over LED) dargestellt. Diese wird beim Überschreiten eines True-Peak-Pegels von -2dBTP aktiv. Dies ist konform mit der Empfehlung aus ITU-R [BS.1771]. Der Messwert für diese Übersteuerungsanzeige kommt aus der True-Peak-Messung.

Der Combi-Meter ergänzt den Peak-Meter um den Loudness-Meter. Somit ergeben sich für Mono-Signale zwei Bargraphs, drei für Stereo sowie sieben für Surround-Kanäle. Der Bargraph für die Lautheit befindet sich bei dem Combi-Meter rechts vom Peak-Meter.

Die Skalen sollten so angebracht werden, dass sie auch wenn die Instrumente einzelnen verwendet werden immer auf der gleichen Seite zu finden sind. Im Falle von Lautheit rechts des Peak-Meters ist die Skala immer rechts vom Bargraph angebracht, die Skala für Peak-Meter immer links, auch wenn der Peak-Meter alleine dargestellt wird. So können Ablesefehler vermieden werden.

Die Instrumente sollen in jedem Kanal umschaltbar sein. Die Umschaltung erfolgt auf der Main Display-Seite (Abbildung 8.7). Ist der Lautheits-Modus in den System-Settings aktiviert, das Lautheits-Modul im Kanal jedoch deaktiviert, kann auf der Main Display-Seite nur die Peak-Darstellung angewählt werden. Die Buttons »LOUD« und »COMBI« haben keine Funktion und werden ausgegraut dargestellt. Auf der System Settings-Seite kann jeweils für die Kanaltypen Input und Bus das Instrument definiert werden, welches beim Aktivieren einer Lautheitsmessung als Standard angezeigt wird.

Wird ein Surround-Kanal über die Reveal-Funktion<sup>16</sup> »aufgeblättert« werden die Lautheitswerte der Einzelkomponenten angezeigt. Für Programme mit einem großen Dynamikumfang wird in [Tech3343] das Messen eines Anchor-Signals empfohlen. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um Sprache bzw. Dialog. Bei einem Surroundbündel ist dieses Signal eigentlich immer dem Center-Kanal zugewiesen. Durch das Aufblättern der Einzelkomponenten über die Reveal-Funktion ist somit ein schnelles Messen von Anchor-Signalen in einem Surroundkanal möglich. Das verwendete Metering-Instrument für die Einzelkomponenten ist identisch mit dem im Surround-Kanal verwendeten Instrument.

Das in den globalen Optionen gewählte Zeitfenster muss an dem jeweiligen Bargraph indiziert werden. Ebenso ist ein Indikator in Surround-Kanälen nötig, der auf eine aktivierte LFE Messung hinweist. Die Farbe des Loudness-Bargraphs wird hellblau (z. B. R = 0, G = 145, B = 244). Beim Überschreiten des 0 LU Wertes soll ein dunkleres Blau (z. B. R = 0, G = 90, B = 244) verwendet werden.

---

<sup>16</sup> Im Lawo-System wird ein Bündel an Surround-Kanälen bestehend aus FL, FR, C, LFE, SL, SR über einen sog. Surround-Master gesteuert. Mit der Reveal-Funktion können die in dem Surround-Master enthaltenen Kanäle zur einzelnen Bearbeitung auf echte Fader aufgelegt werden.

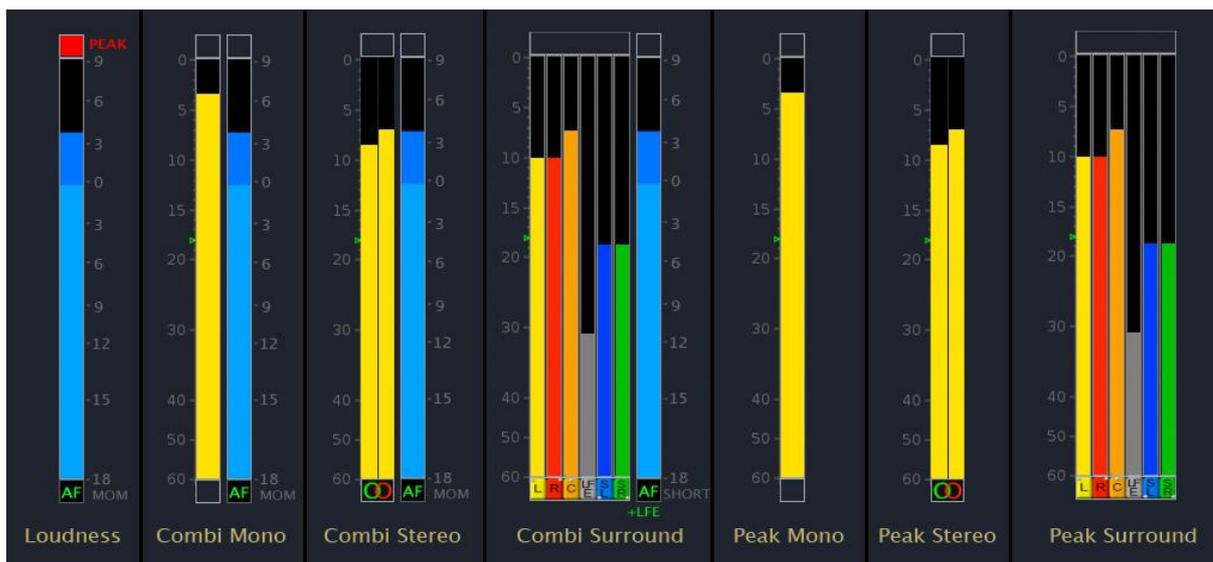


Abbildung 8.4: Neue Metering-Instrumente

Die Signalabgriffpunkte der Messung müssen für Peak und Lautheit variabel sein. Es sollen auch abweichende Abgriffpunkte für Peak und Lautheit möglich sein. Das Metering-Modul wird derzeit auf der Channel Config-Seite unabhängig vom Modus mit »METER« bezeichnet. Diese Bezeichnung soll sich zukünftig mit der Funktion des Moduls dynamisch verändern. So wird der Baustein in allen Zeitpresets für die Peak-Messung (sample, PPM, fast, ITU-R BS.1770) mit »PEAK« bezeichnet, im VU-Modus mit »VU« (Abbildung 8.5). In Bussen ist der Abgriffpunkt für die Lautheitsmessung immer nach dem Regler und nach dem Kreuzschienenausgang (Direct-Out). Nur so können zuverlässige Langzeitmessungen gewährleistet werden. Da die Abgriffpunkte von Peak und Loudness voneinander abweichen können, müssen diese jeweils am Bargraph indiziert werden. Die Abgriffpunkte können auch auf der Extra Buttons-Seite verändert werden. Dazu wird die Extra Buttons-Seite um diese Funktion erweitert (Abbildung 8.6).

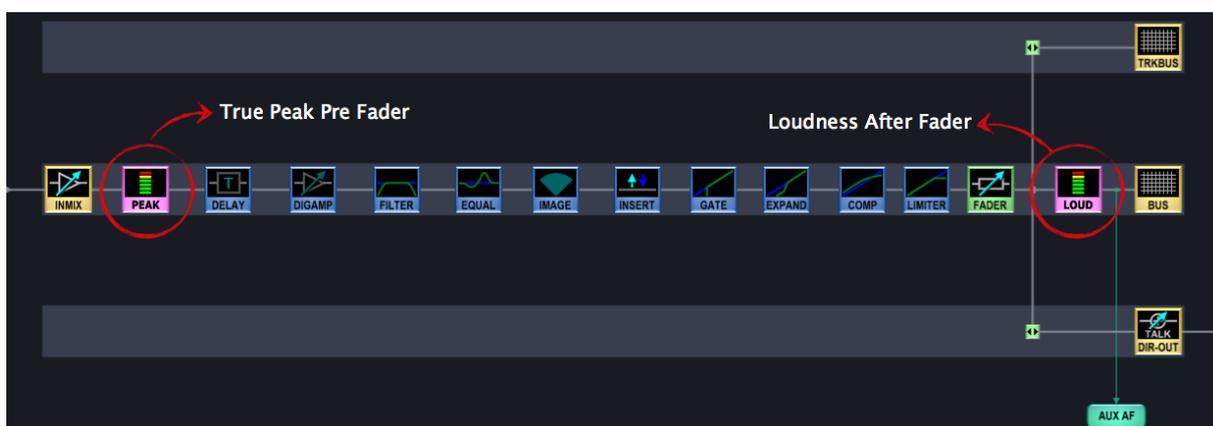


Abbildung 8.5: Channel Config-Seite mit separaten Abgriffpunkten für Peak und Loudness

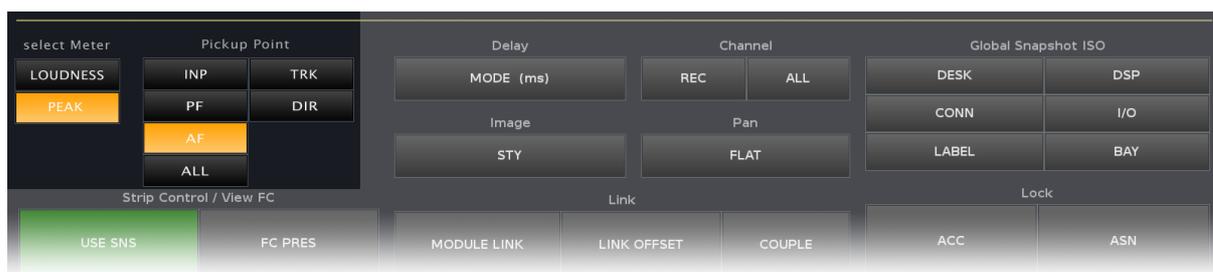


Abbildung 8.6: Anpassung der Extra Buttons-Seite

#### 8.4.4. Langzeitmessung

Eine Langzeit-Lautheitsmessung soll in allen Bussen möglich sein. Dazu gehören Summen, Gruppen und Aux-Wege. In Eingangskanälen wird keine Langzeitmessung realisiert. Das Ergebnis der Langzeitmessung wird auf der Main Display-Seite über dem Bargraph in Form einer Zahl mit einer Dezimalstelle angezeigt (Abbildung 8.7). Mit einem Klick auf diese Zahl öffnet sich das Kontextmenü was alle weiteren Funktionen enthält. Dort finden sich u. a. die Funktionen zur Steuerung der Langzeitmessung (*START/PAUSE/RESET*).

Damit die Ergebnisse einer Langzeitmessung immer sichtbar sind, können ausgewählte Kanäle mit der zugehörigen Kanalbezeichnung (Label) in der Kopfzeile der GUI angezeigt werden (Abbildung 8.7, oben). Das Hinzufügen zur Kopfzeile erfolgt mit dem Eintrag *TITLE* in dem Kontextmenü. Mit dem Eintrag *ACCESS* kann der betreffende Kanal in Access<sup>17</sup> genommen werden. So ist ein schneller Zugriff auf den betreffenden Kanal gewährleistet. Alle Funktionen aus dem Kontextmenü können auch mit den Soft-Keys über dem Trackball bedient werden. Die Anordnung der Werte in der Kopfzeile wird mit den Tasten *LEFT/RIGHT* gesteuert (Abbildung 8.8).

In der Mitte der Kopfzeile wird immer die Uhrzeit bzw. der Timecode dargestellt. Auf der rechten Seite wird die aktuell geladene Production und Snapshot angezeigt, links der derzeit ausgewählte Kanal. Hier könnten zu viele Informationen vor allem zu viele Zahlen (Timecode und Langzeitwerte) verwirrend wirken. Eine Lösung wäre an dieser Stelle ein Floating-Window<sup>18</sup> für die Lautheitswerte einzusetzen. Dadurch kann der User selbst bestimmen welche Informationen in der Kopfzeile für seine Anwendung weniger relevant sind und verdeckt werden können.

<sup>17</sup> Kanal in Access: Der Kanal wird ausgewählt und kann im zentralen Bedienfeld bearbeitet werden.

<sup>18</sup> Floating Window: Verschiebares Fenster, welches immer im Vordergrund angezeigt wird.



Abbildung 8.7: Main Display-Seite und Kopfzeile mit Lautheitswert

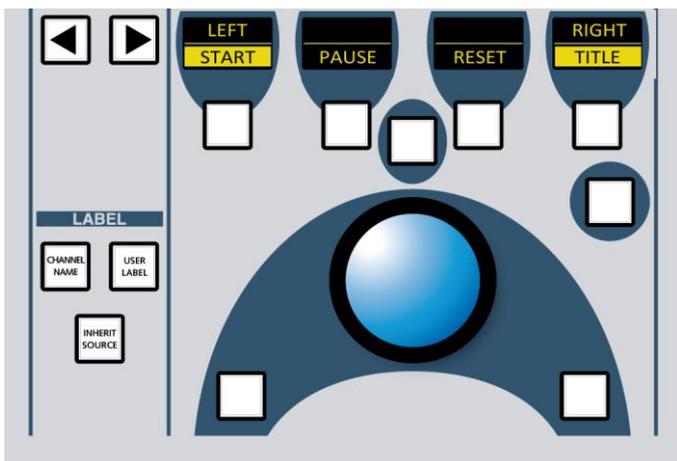


Abbildung 8.8: Dynamische Belegung der Soft-Keys mit Funktionen der Langzeitmessung

Wird ein Bus der Metering-Seite zugeordnet oder als Strip auf dem dezentralen Bedienfeld aufgelegt, erfolgt die Darstellung der Langzeitmessung wie auch auf der Main Display-Seite als Zahl über dem Bargraph (Abbildung 8.9). Auch hier wird das oben beschriebene Kontextmenü, das Zugriff auf die Parameter der Langzeitmessung erlaubt eingesetzt. Diese Funktionalität bleibt auch erhalten wenn ein Bus auf das dezentrale Bedienfeld aufgelegt wird. So können z. B. beim Modell mc<sup>2</sup>56 Messungen auch über das dezentrale Display (Channel Display) via Touchscreen-Bedienung gesteuert werden. Eine laufende Messung wird mit einem farbigen Rahmen um die Zahl dargestellt.



Abbildung 8.9: Metering-Seite; frei belegbar - Busse zeigen Langzeitwert

#### 8.4.5. Loudness History

Für die Integration einer History-Darstellung bietet sich im Lawo-System die Main Display-Seite an. Hier finden sich zwei frei belegbare Fenster, die zum Editieren der DSP-Module verwendet werden. Diese werden um das Auswahlfeld »Loudness« erweitert. In diesem Fenster ist der Lautheitsverlauf in einer X/Y – Darstellung ersichtlich. Die y-Achse beschreibt die Lautheitswerte. Der Mittelpunkt der Achse entspricht 0 LU. Die x-Achse beschreibt den Zeitbereich, dieser Wert kann frei gewählt werden. Das auszuwertende Zeitfenster kann ebenso in dem Fenster festgelegt werden. Standardeinstellung hierbei ist die Short Term-Messung. Die History-Funktion wird nur in Bussen realisiert. Die Darstellung ist mit den Steuerungs-Befehlen der Langzeitmessung verknüpft. Abbildung 8.10 zeigt die visuelle Gestaltung der History-Darstellung auf der Main Display-Seite. Die Farbgebung erfolgt wie auch bei dem Loudness-Bargraph. Werte über 0 LU werden mit einem dunkleren Blau dargestellt.



Abbildung 8.10: Integration der History-Darstellung auf der Main Display-Seite

#### 8.4.6. Custom Functions

Mit den Custom Functions soll ein schneller Zugriff auf bestimmte Parameter möglich sein. Dabei wird unterschieden zwischen »Central User Buttons« und »Fader User Buttons«. Central User Buttons übernehmen globale Funktionen, während Fader User Buttons exklusiv auf den Kanal wirken. Im Falle der Lautheitsmessung bieten sich hierfür folgende Optionen an:

##### *Central User Buttons*

- Globale Umschaltung der Skala von EBU +9 auf EBU +18
- Umschaltung der Zeitfenster von Momentary auf Short Term
- Mehrere Langzeitmessungen starten (Start all Integrated)
- Zurücksetzen aller Langzeitmessungen (Reset all Integrated)

### *Fader User Buttons*

- Temporäre Umschaltung der Skala zwischen EBU +9 und EBU +18
- Start/Pause einzelner Langzeitmessungen
- Umschaltung des Metering-Instruments

#### **8.4.7. Verhalten beim Laden und Speichern von Produktionsdaten**

Das spezielle Verhalten von Langzeitmessungen beim Laden und Speichern von Produktionsdaten wird im Folgenden genauer erläutert. Dabei ist zu unterscheiden zwischen »Productions« und »Snapshots«. Productions stellen die höchste hierarchische Ebene dar. Die Beziehung zwischen Productions und Snapshot definiert sich wie folgt:

Eine Production enthält mehrere Snapshots – ein Snapshot ist immer Teil einer Production.

#### *Productions*

Grundsätzlich gilt, dass gestartete Langzeitmessungen so lange aktiv bleiben, bis sie durch den Anwender beendet werden. Dazu wird der Status einer Langzeitmessung (Start/Pause, letzter Wert) in der jeweiligen Production gespeichert und verwaltet. Wird eine Production gespeichert, werden die zu diesem Zeitpunkt noch aktiven Messungen beim erneuten Laden der Produktion mit dem letzten Wert direkt wieder gestartet.

#### *Snapshot*

Viele Produktionen bestehen aus einer Abfolge verschiedener Snapshots (z. B. Theater, Musical, Shows,...). Die Langzeitmessung muss in diesen Fällen aber durchgehend erfolgen, da es sich um ein Programm handelt. Dazu erhält ein Kanal beim erstmaligen Starten einer Langzeitmessung automatisch den »Snap Iso« Status. Dieser Modus schützt den Kanal vor einem Überschreiben durch Daten aus dem zu ladenden Snapshot. Aktive Langzeitmessungen werden so durch das Laden eines Snapshots nicht angetastet. Durch Eingriff des Anwenders kann der Snap Iso-Status auch wieder deaktiviert werden. Diese automatische Snap Iso-Zuweisung kann auf der System Settings-Seite unter dem Punkt *Global* mit dem Befehl *Loudness Isolate* deaktiviert werden (Abbildung 8.11).



Abbildung 8.11: Deaktivieren der automatischen Snap Iso-Funktion bei gestarteten Langzeitmessungen

#### 8.4.8. Automation

In der statischen Automation werden die Einstellungen der Channel Config-Seite gespeichert. Daraus folgt, dass der Status einer Lautheitsmessung (Modul aktiv oder nicht aktiv) in der statischen Automation verfügbar ist. Jedoch nicht die Zeit-Parameter einer Langzeitmessung. Die Parameter der Lautheitsmessung sind in der dynamischen Automation nicht verfügbar. Lediglich eine Änderung des Messpunktes lässt sich in eine dynamische Automation aufnehmen.

## 9. Zusammenfassung und Fazit

In dieser Arbeit wurde analysiert, wie eine Lautheitsmessung und -pegelung nach dem neuen ITU-Standard [BS.1770] in einem digitalen Mischpult-System umgesetzt werden kann.

Zu Beginn der Arbeit wurden dazu die psychoakustischen Grundlagen und Zusammenhänge, die zu einem Lautstärkeindruck führen erläutert. Die Grundlagen der Aussteuerung wurden behandelt und Geräte zur Aussteuerungskontrolle beschrieben. Mit diversen Modellen und Ansätzen haben sich verschiedene Verfahren zu Lautheitsmessung entwickelt. Keine dieser Methoden konnte sich jedoch international durchsetzen. Die Aussteuerung von Audiosignalen basiert seit mehreren Jahrzehnten auf einer Spitzenpegelmessung. Dies führte gerade im Rundfunk zu Problemen.

In Abschnitt 4 wurde auf die Aussteuerungssituation im Rundfunk eingegangen und die Ursachen und Probleme der Lautheitssprünge ausführlich erläutert. Dabei wurde festgestellt, dass ein möglicher Lösungsansatz die Änderung der Aussteuerungsstandards von der Spitzenwertnormalisation hin zu einer Lautheitsnormalisation ist. Dazu ist jedoch ein einheitlicher Standard notwendig. Dieser ist mit ITU-R [BS.1770] nun erstmals verfügbar und wurde in Abschnitt 5 detailliert erläutert.

In der Arbeitsgruppe P/LOUD der EBU wurden die Grundlagen einer Standardisierung für den Rundfunkeinsatz von [BS.1770] definiert. Diese geben die Rahmenbedingungen für eine Implementation in ein Mischpultsystem vor. Die in Abschnitt 5.3 beschriebenen Entwicklungen sind so aktuell, dass sich während der Ausarbeitung dieser Arbeit immer wieder Veränderungen ergeben haben. Eines der wichtigsten Dokumente [Tech3343] wurde erst kurz vor der Fertigstellung der Arbeit veröffentlicht und [Tech3344] stand nur als Entwurf zur Verfügung. Ebenso wurden die Standardisierungen vom ATSC dargestellt, die für den amerikanischen Markt gelten. Diese weichen nur in geringen Teilen von der europäischen Empfehlung ab.

Die Integration von Lautheitsmessung in Audio-Hardware beschränkt sich bisher auf Messgeräte. Da noch keine Erfahrungen bezüglich der Umsetzung in einem Mischpult vorhanden sind, wurde eine Bedarfsanalyse in Form eines Mischversuches durchgeführt. Dabei wurde eine Integration von Lautheitsmessung simuliert und so konnten mit den Eindrücken aus der Praxis weitere Grundlagen für eine Spezifikation geschaffen werden.

In Abschnitt 7 wurde der Versuch ausgewertet und allgemeine Empfehlungen zur Integration in einem Mischpult ausgesprochen. Die Versuche haben gezeigt, dass eine Lautheitsmessung den klassischen Peak-Meter nicht ersetzen kann – vielmehr ergänzen sich die beiden Werkzeuge. Die Möglichkeiten einer automatischen Lautheitspegelung waren für viele Teilnehmer nicht direkt mit einem Einsatz in einem Mischpult in Verbindung zu bringen. Für die Integration eines Lautheitskonzeptes in ein Mischpult liegt der Schwerpunkt ganz klar auf dem Gebiet der Lautheitsmessung und den damit verbundenen neuen Aussteuerungsanzeigen.

Die Erkenntnisse und Empfehlungen aus Abschnitt 7 wurden im Folgenden beispielhaft für das Mischpultsystem Lawo mc<sup>2</sup> umgesetzt. Diese Ausführungen stellen die Grundlage für eine tatsächliche Integration in das Produkt dar. Noch während dieser Arbeit wurde an einer Umsetzung im System gearbeitet. Die erste auf dem Markt erhältliche Integration von Lautheitsmessung in einem digitalen Live- und Produktionsmischpult wird bereits im April 2011 auf der NAB Show in Las Vegas<sup>19</sup> dem weltweiten Publikum vorgestellt werden (Lawo AG, 2011).

Für eine umfassende Umstellung auf den neuen Aussteuerungsstandard wird viel personelles Training erforderlich sein. Mit einer direkten Integration in Mischpultsystem wird ein Beitrag geleistet, diese umfassende Veränderung in der Audiowelt zu unterstützen und durchzusetzen. Die große positive Resonanz auf das Thema Lautheitsmessung von Seiten der Rundfunkanstalten hat gezeigt, dass dieses Thema zum richtigen Zeitpunkt bearbeitet wurde.

Schließlich hat diese Arbeit gezeigt, dass eine Lautheitsmessung nicht auf die reine Endmischung begrenzt sein, sondern zu einem durchgängig verfügbaren Werkzeug werden sollte. Auf Grundlage dieser Erkenntnis wurde eine Lautheitsmessung in jedem Kanal eines Mischpultes vorgeschlagen. Dieser Ansatz geht über das reine Aussteuern auf einen Lautheitswert hinaus und stellt dem Toningenieur bei seiner täglichen Arbeit ein hilfreiches Werkzeug zur Verfügung, das seine Ohren in jeder Situation unterstützen kann. Mit einem kanalbasiertem Loudness Metering bzw. in der Kombination mit einem True-Peak-Meter kann demnach ein neuer Aussteuerungsstandard für digitale Mischpulte entstehen.

---

<sup>19</sup> Die NAB Show ist die größte Fachmesse für elektronische Medien und findet jährlich in Las Vegas statt.

## Standards und Normen

- [A/54] Advanced Television Systems Committee, Inc: Recommended Practice: Guide to the Use of the ATSC Digital Television Standard, including Corrigendum No. 1. Document A54/A. Washington D.C., 2006.
- [A/85] Advanced Television Systems Committee, Inc: Recommended Practice: Techniques for Establishing and Maintaining Audio Loudness for Digital Television. Document A85:2009. Washington D.C., 2009.
- [ARD et al] ARD/ZDF/ORF/SDTV: Technische Richtlinien zur Herstellung von Fernsehproduktionen. München, 2003.
- [ARTE] ARTE: Anforderungen für die Bereitstellung von Sendematerial im HD-Format. 2011.
- [BS.1770] ITU-R: Recommendation BS.1770. Algorithms to measure audio programme loudness and true-peak audio level. Geneva, 2006.
- [BS.1771] ITU-R: Recommendation BS.1770. Requirements for loudness and true-peak indicating meters. Geneva, 2006.
- [Pf3/6] ARD/ZDF: Technische Richtlinie 3/6. Aussteuerungsmesser. München, 1998.
- [R128] EBU: Recommendation R128. Loudness normalisation and permitted maximum level of audio levels. Geneva, 2010.

- 
- [R68] EBU: Recommendation R68-2000. Alignment level in digital audio production equipment. Geneva, 2000.
- [Tech3341] EBU: Doc. Tech. 3341: Loudness Metering: 'EBU Mode' metering to supplement loudness normalisation in accordance with EBU R 128. Geneva, 2010.
- [Tech3342] EBU: Doc. Tech. 3342: Loudness Range: A descriptor to supplement loudness normalisation in accordance with EBU R 128. Geneva, 2010.
- [Tech3343] EBU: Doc. Tech. 3343: Practical Guidelines for Production and Implementation in accordance with EBU R128. Geneva, 2011
- [Tech3344] EBU: Doc. Tech. 3344: Loudness normalisation in distribution. Geneva, bisher unveröffentlicht.

## Literaturverzeichnis

- Brixen, E. B. (2001). *Audio Metering*. Denmark: Broadcast Publishing & DK Audio A/S.
- Camerer, F. (Dezember 2010a). Auf dem Weg ins Lautheitsparadies. *FKT* (12/2010), S. 607-612.
- Camerer, F. (6. September 2010b). *On the way to Loudness nirvana - audio levelling with EBU R 128*. Abgerufen am 9. Dezember 2010 von [http://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev\\_2010-Q3\\_loudness\\_Camerer.pdf](http://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_2010-Q3_loudness_Camerer.pdf)
- Camerer, F. (26. Januar 2011). Entwicklungsgeschichte Aussteuerung und PLOUD. *Vortrag beim FSBL-K Workshop: Loudness - der neue EBU-Standard*. München.
- CBS Interactive Staff. (15. Dezember 2010). *Obama Signs CALM Act on Volume of TV Commercials*. Abgerufen am 15. Februar 2011 von [http://www.cbsnews.com/8301-503544\\_162-20025823-503544.html](http://www.cbsnews.com/8301-503544_162-20025823-503544.html)
- Dickreiter, M. (1992). *Aussteuerung bei Produktion und Sendung*. Nürnberg: Schule für Rundfunktechnik.
- Dickreiter, M., Dittl, V., Hoeg, W. & Wöhr, M. (2008a). *Handbuch der Tonstudioteknik* (7. Ausg., Bd. 1). München: K. G. Saur.
- Dickreiter, M., Dittl, V., Hoeg, W. & Wöhr, M. (2008b). *Handbuch der Tonstudioteknik* (7. Ausg., Bd. 2). München: K. G. Saur.
- Dolby. (2005). *Dolby Metadata Guide*. Abgerufen am 21. Februar 2010 von [http://www.dolby.com/uploadedFiles/zz-\\_Shared\\_Assets/English\\_PDFs/Professional/18\\_Metadata.Guide.pdf](http://www.dolby.com/uploadedFiles/zz-_Shared_Assets/English_PDFs/Professional/18_Metadata.Guide.pdf)
- Dolby. (2011). *LM 100 Broadcast Loudness Meter*. Abgerufen am 25. Januar 2011 von <http://www.dolby.com/professional/products/broadcast/test-and-measurement/lm100.html>
- Eberhard, M. (26. Januar 2011). Bericht über aktuellen Stand der 5.1 Ad-hoc-AG. *Vortrag beim FSBL-K Workshop "Loudness der neue EBU-Standard"*. München.
- EBU. (2010). *Loudness*. Abgerufen am 8. Dezember 2010 von <http://tech.ebu.ch/loudness>

Ellermeier, W. & Hellbrück, J. (2008). Hören – Psychoakustik – Audiologie. In S. Weinzierl, *Handbuch der Audiotechnik*. Berlin: Springer Verlag.

Friesecke, A. (2003). *Metering*. Bergkirchen: PPVMEDIEN.

Grimm, E., van Everdingen, R. & Schöpping, M. (April 2010). Toward a Recommendation for a European Standard of Peak and LKFS Loudness Levels. *SMTPE Motion Imaging Journal*, 28-34.

jar/dpa. (15. Juni 2010). *Nervende Fantrumpete: WM-Produktionsfirma verstärkt Anti-Vuvuzela-Filter*. Abgerufen am 13. Februar 2011 von <http://www.spiegel.de/sport/fussball/0,1518,700931,00.html>

Jünger Audio. (9. Dezember 2010). *Junger Audio's Unique Audio Levelling Processor*. Abgerufen am 9. Dezember 2010 von <http://www.junger-audio.com/technology/level-magic/>

Katz, B. (2007). *Mastering Audio* (2. Ausg.). Burlington: Focal Press.

Kootz, F. (Dezember 2010). Revolution 128 Hintergrundbetrachtung zur Loudness-Normalisierung - einer Audiorevolution. *Studio Magazin* (12/10), S. 58-67.

Krückels, F. (28. November 2010). Roundtable: Mikofonierung bei Sportproduktionen. *Audiokonzept WM 2010*. Leipzig.

Lawo AG. (10. Juli 2010). *mc<sup>2</sup>66 MKII Operator's Manual. V4.10/3*. Rastatt.

Lawo AG. (18. Februar 2011). *mc<sup>2</sup> Pulte mit Loudness Metering in Las Vegas zu sehen*. Abgerufen am 22. Februar 2011 von <http://www.lawo.de/de/lawo-ag/unternehmen/aktuell/news/nab-2011.html>

Lund, T. (2006a). *Control of Loudness in Digital TV*. Abgerufen am 16. Februar 2011 von [http://www.tcelectronic.com/media/lund\\_2006\\_loudness\\_nab2006.pdf](http://www.tcelectronic.com/media/lund_2006_loudness_nab2006.pdf)

Lund, T. (2006b). Stop Counting Samples. *Audio Engineering Society 121th Convention*. San Francisco.

Mahler, H., Coppa, G. M. & Seidel, R. P. (2008). *Audio Loudness: Measurement, Analysis and Control on the CBS and CW Networks*. CBS Engineering & Advanced Technology.

mebucom. (September 2010). *Pinguin Lautheitsmessung mit EBU R 128*. Abgerufen am 8. Dezember 2010 von <http://www.mebucom.de/news/technik/PINGUIN-Lautheitsmessung-mit-EBU-R-128-1585>

Moerman, J. P. (2005). Program Loudness: Nuts & Bolts. *Audio Engineering Society 118th Convention*. Barcelona.

- Orban. (o. D.). *Orban Loudness Meter Public Beta*. Abgerufen am 25. Januar 2011 von <http://orban.com/meter/Technology.html>
- Orban, R. (10. Februar 2010). *White Paper: Using the ITU BS.1770 and CBS Loudness Meters To Measure Loudness Controller Performance*. Abgerufen am 25. Januar 2011 von <http://www.thebdr.net/articles/audio/proc/Orban-Loudness.pdf>
- Paugh, S. (28. März 2010). *Dialnorm Tutorial*. Abgerufen am 8. Dezember 2010 von [http://www.sbe24.org/techdocs/dialnorm/Dialnorm\\_Tutorial.pdf](http://www.sbe24.org/techdocs/dialnorm/Dialnorm_Tutorial.pdf)
- Schubert, C. (o. D.). *Headroom und Aussteuerung*. Abgerufen am 8. Dezember 2010 von <http://www.sengpielaudio.com/HeadroomUndAussteuerung.htm>
- Schick, M. (2005). *Interne Entwicklungsdokumentation der Fa. Lawo*. Rastatt: Lawo AG.
- Siegfried, A. (11. Januar 2011). Lautheitsaussteuerung, Wege der Einführung. *Vortrag beim FSBL-K Workshop "Loudness der neue EBU-Standard"*. München.
- Skovenborg, E. & Nielsen, S. H. (2004). Evaluation of Different Loudness Models with Music and Speech Material. *Audio Engineering Society 117th Convention*. San Francisco.
- Slavik, K. (25. November 2010). Audio-Metadaten (Dolby, DTS) verstehen und richtig anwenden. *Vortrag im Rahmen der 26. Tonmeistertagung 2010*. Leipzig.
- Smith, E. (25. September 2008). *Even Heavy-Metal Fans Complain That Today's Music Is Too Loud!!!* Abgerufen am 13. Februar 2011 von <http://online.wsj.com/article/SB122228767729272339.html>
- Spikofski, G. & Klar, S. (2004). Lautstärkeunterschiede bei digitalen Fernsehprogrammen über Satellit. *VDT magazin* (3/2004), S. 16-23.
- Verband Deutscher Tonmeister. (2010). 26. Tonmeistertagung VDT International Convention. *Programm*. Leipzig.
- Weinzierl, S. (2008). Aufnahmeverfahren. In S. Weinzierl, *Handbuch der Audiotechnik*. Berlin: Springer Verlag.

## Anhang

### A. Das Mischpult-System Lawo mc<sup>2</sup> – Systemüberblick

Ein Lawo mc<sup>2</sup>-System besteht grundsätzlich aus drei Komponenten und ist voll modular aufgebaut. Der Aufbau eines Lawo mc<sup>2</sup>-Systems ist in Abbildung A-1 dargestellt. Die einzelnen Komponenten werden im Folgenden kurz erläutert.

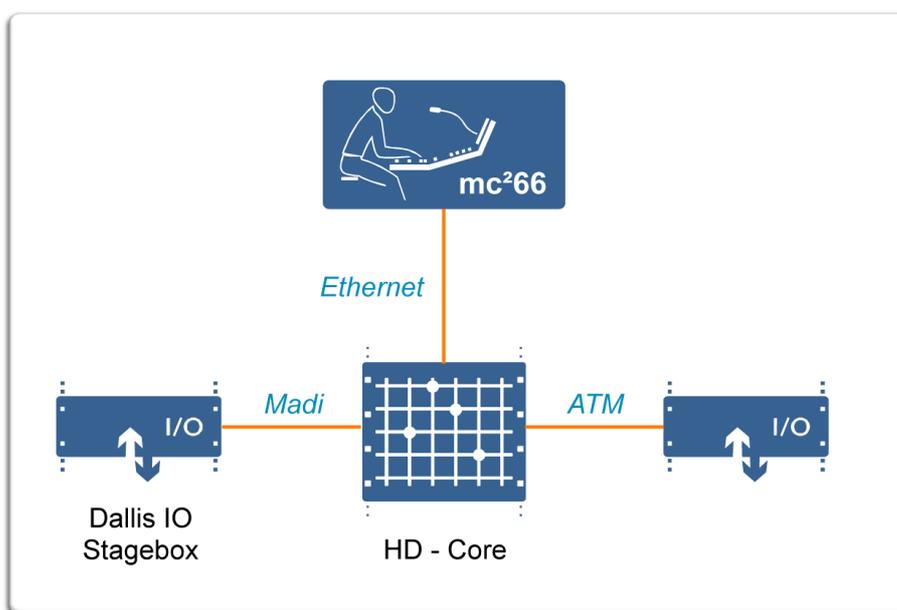


Abbildung A-1: Prinzipieller Aufbau eines Lawo mc<sup>2</sup>-Systems

#### DSP/Router-Einheit (HD Core)

Das HD-Core bildet das Herzstück des Systems (Abbildung A-2). Diese Einheit beinhaltet den Router (Kreuzschiene), bis zu 8 DSP-Karten und 16 Schnittstellenkarten für die Formate MADI, AES und ATM. Die integrierte Kreuzschiene hat eine Kapazität von 8192 x 8192 Koppelpunkten und kann voll redundant aufgebaut sein.

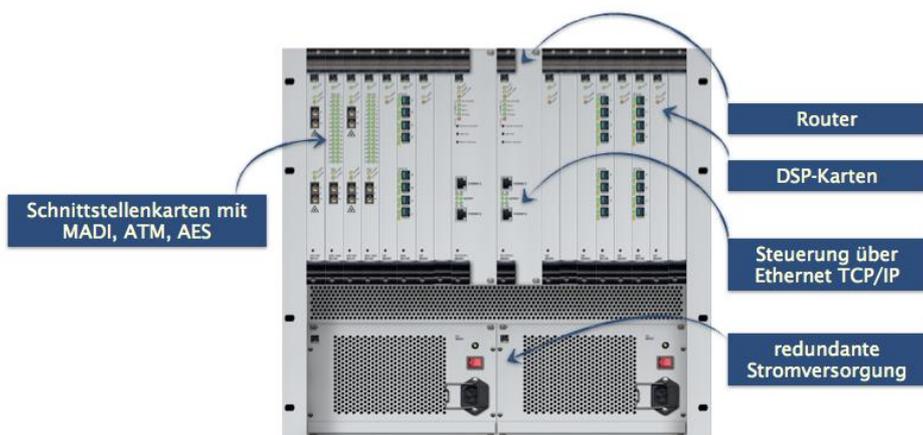


Abbildung A-2: HD-Core

### Schnittstellen

An ein HD-Core können MADI, AES und ATM-Signale direkt angebunden werden. Eine Erweiterung um zusätzliche Schnittstellenformate erfolgt mit dem DALLIS-Interface. Die DALLIS-Einheiten können mit verschiedenen Schnittstellenkarten bestückt werden und sind über eine MADI oder ATM-Verbindung mit dem HD-Core verbunden. Ein DALLIS-Frame kann zur Erweiterung der Schnittstellenformate oder als abgesetzte Schnittstellen-Einheit (Stagebox) eingesetzt werden. Ein DALLIS-Frame kann bei einer Anbindung über MADI bis zu 60 Kanäle, bei ATM-Anbindung 80 Kanäle übertragen. Für die DALLIS-Frames sind Steckkarten für analoge und digitale Anschlüsse in fast allen Formaten verfügbar. Darüber hinaus gibt es noch Module für Steuerschnittstellen, wie RS-422 oder GPI-Kontakte.



Abbildung A-3: DALLIS Schnittstellenerweiterung

### Bedienoberflächen

An dem System können verschiedene Mischpult-Oberflächen betrieben werden. Diese stellen prinzipiell eine Bedienoberfläche dar, die über keine Audiofunktionen verfügt. Die Anbindung an den HD-Core erfolgt über eine Ethernet-Verbindung. Die Bedienphilosophie der Lawo-Systeme folgt dabei einem zentralen Bedienkonzept. Alle Einstellungen können vom zentralen Bedienfeld aus vorgenommen werden. Zusätzlich können an jedem Kanalzug je nach Modell mehrere Drehgeber (Free Controls) frei belegt werden. Die verschiedenen Modelle sind auch in unterschiedlichen Rahmengrößen erhältlich. Die folgenden Abbildungen stellen beispielhafte Konfigurationen dar.



Abbildung A-4: mc<sup>2</sup>56

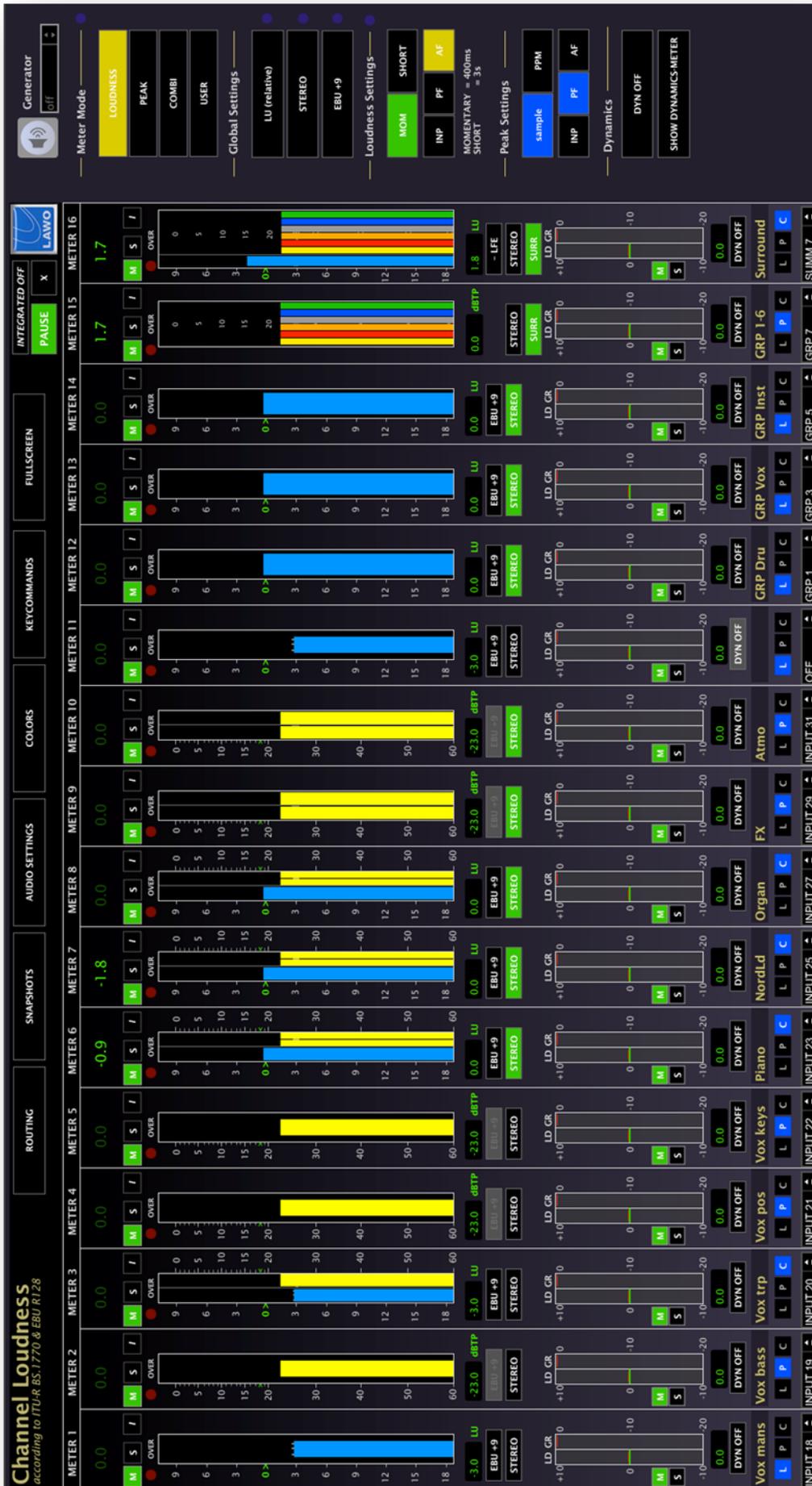


Abbildung A-5: mc<sup>2</sup>66



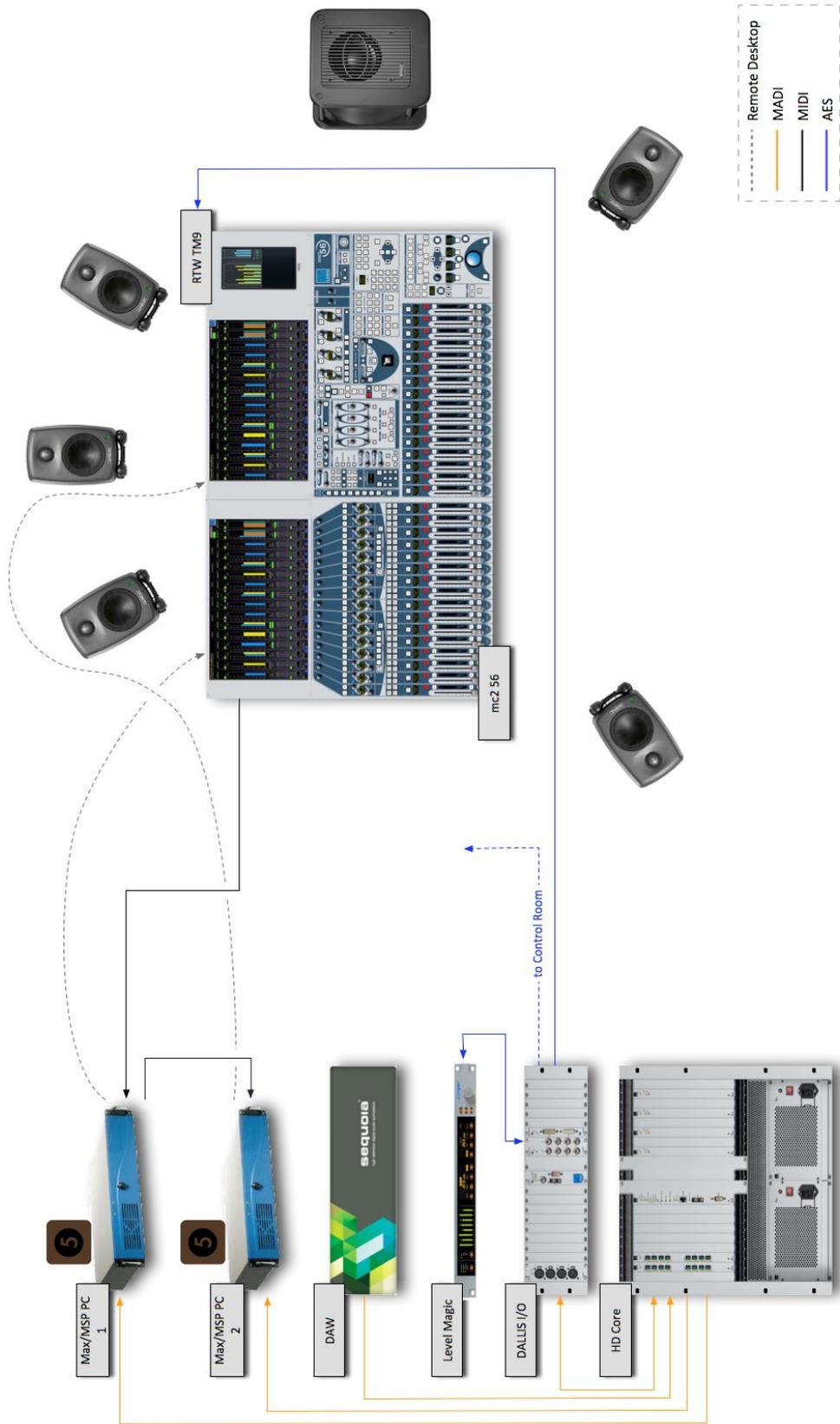
Abbildung A-6: mc<sup>2</sup>90

## B. Screenshot der Simulations-Software



### C. Aufbau Mischversuch

Prinzipaufbau Mischversuch Loudness Metering



## D. Einladungsschreiben Mischversuch

### Einladung zum Mischversuch: Loudness

Sehr geehrter mc<sup>2</sup> User,

der Griff zur Fernbedienung und das Nachregeln der Lautstärke durch den Zuschauer ist beim »Zap-  
pen« zwischen TV-Stationen, beim Einsetzen der Werbung oder auch innerhalb eines Programmes  
schon zu einem traurigen Standard geworden. Immer wieder gibt es Beschwerden von Zuschauern  
über Lautstärkeschwankungen.

Im Rahmen meiner Master-Thesis an der Hochschule der Medien untersuche ich zusammen mit der  
Lawo AG den Einsatz von Lautheitsmessung und Lautheitspegelung nach ITU-R BS.1770/EBU R128 in  
Produktions-Mischpulten.

Gerne möchte ich Sie als Experte zu einem Mischversuch nach Rastatt einladen. Bei diesem Versuch  
steht im Vordergrund, wie das Vorhandensein von Lautheitsmessung und Lautheitspegelung die Ar-  
beitsweise eines Toningenieurs beeinflusst und verändert. Es sollen u. a. folgende Fragen untersucht  
werden:

- Wo muss Lautheit gemessen werden, nur in der Endsumme oder in jedem Kanal?
- Wie kann die Darstellung optisch umgesetzt und integriert werden?
- Welche Parameter müssen vorhanden sein?
- Wie verändert sich die Bewertung des technischen Pegels und der reinen Peak-Pegel-  
Messung?
- Wie ändert sich das Mischverhalten?
- Kann ein Leveler kreativ eingesetzt werden oder stört er nur?

Auf Basis dieser Erkenntnisse können mit Ihrer Unterstützung erste Definitionen und Vorschläge für  
eine Implementierung der Lautheitsmessung und -pegelung in das Mischpultsystem Lawo mc<sup>2</sup> erar-  
beitet werden.

Die Versuche finden im Zeitraum vom 18. November 2010 bis 16. Dezember 2010 statt. Sollten Sie  
Interesse an der Teilnahme haben bitte ich Sie um eine Zusage mit Terminvorschlag bis zum 17. No-  
vember 2010.

Anbei erhalten Sie eine kurze Einführung in das Thema Lautheit.

Für weitere Fragen stehe ich Ihnen gerne per Mail oder telefonisch zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

Jeffrey Strößner

## Invitation to a mixing test about loudness at Lawo AG

Dear mc<sup>2</sup> user,

readjusting the volume while switching channels, during commercial breaks or even within a programme unfortunately seems to be sad reality to the TV audience. Consistently there are complaints about loudness jumps.

Within the scope of my Master thesis at the Stuttgart Media University and in cooperation with Lawo AG, I am researching the use of loudness measurement and loudness leveling according to ITU-R BS.1770 and the new recommendation EBU R128 for the use in production consoles.

Therefore I would like to invite you as an expert to a mixing test at the Lawo AG headquarters in Rastatt, Germany. The test will focus on how the existence of loudness measurement and loudness leveling affects the principles of operation of an audio engineer.

In this context the central questions will be:

- Where does loudness need to be measured – only in sums or every channel?
- What about the visual design and integration?
- Which parameters have to be present?
- How is loudness measurement changing the role of -9dBFS?
- How is loudness measurement changing the manner of mixing?
- Can a leveler be used in a creative way or is it only disturbing?

With your support and based on the results of the tests, first definitions for the implementation of loudness measurement and loudness leveling into the Lawo mc<sup>2</sup> system can be worked out.

The tests will take place from November 18<sup>th</sup> until December 16<sup>th</sup>. If you are interested in participating please make a commitment with a proposed day and time until November 17<sup>th</sup>.

Enclosed you can find a short introduction about loudness in broadcast.

If you have further questions please do not hesitate to contact me via e-mail or phone.

Best regards,

Jeffrey Strößner

## E. Arbeitsblatt Mischversuch

### Loudness-Metering Integration for Broadcast Production Consoles

#### Worksheet

NAME

---

#### Tätigkeitsbereich

- öffentlich-rechtlich
- privat
- Freelancer
- Außenübertragung
- Studio
- Hörfunk
- Fernsehen
- Musikproduktion

#### Ihre Erfahrungen mit dem Thema Lautheitsmessung (ITU-R BS.1770 / EBU R128)

- Ist für mich komplett neu.
- Habe mich bereits privat damit beschäftigt.
- Habe schon Seminare / Workshops besucht.
- arbeite bereits damit / wird bei Sendeanstalt / Arbeitgeber etc. bereits eingesetzt.
- \_\_\_\_\_

## Mixing Test

Bitte versuchen Sie die genannten Punkte während des Versuchs durchzugehen und bei Bedarf entsprechend mit Ihren Eindrücken und Hinweisen zu kommentieren.

### 1 Channel Loudness

#### 1.1 bevorzugte Anzeige bei welchem Kanaltyp

	INPUT	GROUP	AUX	VCA	SUM
LOUDNESS					
PEAK					
COMBI					
USER					

#### 1.2 Bevorzugte Messzeit

- Momentary (400ms)
- Short (3s)
- per Kanal schaltbar
- global definiert

#### 1.3 Bevorzugte Farbe

Loudness: \_\_\_\_\_

Peak: \_\_\_\_\_

**1.4 Channel Measurements**

**1.4.1 Bei welchem Signaltyp (Kommentator, MAZ,...) bevorzugen sie welches Metering-Instrument?**

Loudness: \_\_\_\_\_

Peak: \_\_\_\_\_

Combi: \_\_\_\_\_

**1.4.2 Bei welchem Signaltypen würden sie folgende Messzeit bevorzugen:**

Momentary: \_\_\_\_\_

Short: \_\_\_\_\_

**1.4.3 Kann eine Lautheitsmessung im einzelnen Kanal helfen das Arbeiten mit mehreren Zuspielern zu vereinfachen?**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**1.4.4 Welche Metering-Abgriffpunkte bevorzugen Sie?**

	Input		Pre-Fader		After-Fader	
	Input	$\Sigma$	Input	$\Sigma$	Input	$\Sigma$
<b>LOUDNESS</b>						
<b>PEAK</b>						

**1.4.5 Welche Loudness-Skala wird von Ihnen bevorzugt?**

	Input	$\Sigma$
<b>EBU +9</b>		
<b>EBU +18</b>		
<b>variabel</b>		

**1.4.6 Wenn die Möglichkeit besteht die verschiedene Metering-Instrumente umzuschalten, welche Variante würden Sie bevorzugen:**

- schaltbar in jedem Strip – unabhängig vom DSP-Kanal
- im DSP-Kanal definiert – unabhängig vom Strip

**1.5 Integrated Measurements**

**1.5.1 Wie sollen Messergebnisse aus Integrated Messungen dargestellt werden?**

- Bargraph
- Zahl
- History-Darstellung

**1.5.2 Ist eine Zeitbasis ausreichend oder müssen mehrere zur Verfügung stehen?**

---

---

---

**1.5.3 In welchem Kanaltyp sollten Integrated Messungen möglich sein?**

---

---

---

## 2 Loudness Difference

### 2.1 Bevorzugte Messzeit

- Momentary (400ms)
- Short (3s)
- mit Messzeit im Kanal verlinkt

### 2.2 Skalierung

- 5 / +5
- 10 / +10
- 15 / +15
- variabel

### 2.3 Ihre Eindrücke in der praktischen Anwendung

---

---

---

---

---

---

### 3 Loudness Levelling

3.1 Wie beeinflusst das Vorhandensein einer automatischen Lautheits-Pegelung die Gestaltung Ihrer Mischung?

---

---

---

3.2 Stört das Eingreifen der Lautheitspegelung oder hilft es den Target Level besser zu halten?

---

---

---

3.3 Sehen Sie kreative Einsatzmöglichkeiten des Prozessors?

---

---

---

## F. Auswertung Mischversuche

### Loudness-Metering Integration for Broadcast Production Consoles

#### Worksheet

## AUSWERTUNG

nach 16 Teilnehmern

Diese Auswertung fasst die Anmerkungen auf den Arbeitsblättern der Teilnehmer zusammen. Multiple Choice Fragen werden ausgezählt. Offene Fragen oder Notizen von Teilnehmern werden durch eine abweichende *Schriftart* gekennzeichnet. Bei offenen Fragen erfolgt eine Kategorisierung der Antworten in sinnvolle Gruppen.

#### Tätigkeitsbereich

öffentlich-rechtlich	10
privat (Freie Wirtschaft)	2
Freelancer	4
Außenübertragung	9
Studio	5
Hörfunk	1
Fernsehen	10
Musikproduktion	2

#### Ihre Erfahrungen mit dem Thema Lautheitsmessung (ITU-R BS.1770 / EBU R128)

Ist für mich komplett neu	4
Habe mich bereits privat damit beschäftigt	6
Habe schon Seminare / Workshops besucht	4
arbeite bereits damit / wird bei Sendeanstalt / Arbeitgeber etc. bereits eingesetzt	1
Sonstiges	theoretische Informationen no real world experience RTW Anzeige

## 1 Channel Loudness

### 1.1 bevorzugte Anzeige bei welchem Kanaltyp

	INPUT	GROUP	AUX	VCA	SUM
LOUDNESS	1	5	2	2	6
PEAK	3	-	4	2	-
<b>COMBI</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>10</b>
USER	4	1	-	-	1

**Folgerung:**

Combi Darstellung muss in allen Kanaltypen möglich sein.

Metering Instrumente können umschaltbar sein (vgl. 1.4.1).

### 1.2 Bevorzugte Messzeit

Momentary (400ms)	6
Short (3s)	4
per Kanal schaltbar	8
global definiert/schaltbar	5

**Folgerung:**

Momentary und Short Term müssen möglich sein (EBU R128).

Kann per Kanal schaltbar oder global definiert sein (vgl. 1.4.2).

### 1.3 Bevorzugte Farbe

Loudness: lila, 3x blau, 6x cyan, 2x variabel, magenta, 2x plakativ, orange

Peak: 11x gelb, 2x variabel, grün

**Folgerung:**

Loudness Farbe sollte cyan / hellblau sein.

Peak Farbe muss gelb sein.

**1.4 Channel Measurements**

**1.4.1 Bei welchem Signaltyp (Kommentator, MAZ,...) bevorzugen sie welches Metering-Instrument?**

Antworten werden in die Gruppen Einzelsignale und vorgemischte Signale sortiert.

Loudness:

Einzelnsignale	vorgemischte Signale
3x Atmo 3x Kommentator Sprache Singstimme Gesprächsrunden alle	4x MAZ, CD Konserve Außenstellen externe Leitungen Zuspieler Musik Summe alle
<b>10</b>	<b>12</b>

Peak:

Einzelnsignale	vorgemischte Signale
4x Mikro 2x Atmo 2x Instrumente 2x Kommentator Solo Instr (Voc, Drums) Ch. bei denen ich Fehler erkennen muss (Knacksen) Percussion	
<b>12</b>	<b>0</b>

Combi:

Einzelnsignale	vorgemischte Signale
3x Kommentator 3x Atmo 2x für alles Instrumente Synth Mic 5.1 Signale schaltbar Moderator Voice	5x MAZ 3x Zuspieler 2x für alles Wort Summe Außenstellen Sound Effects Groups 5.1 Signale schaltbar
<b>15</b>	<b>15</b>

**1.4.2 Bei welchem Signaltypen würden sie folgende Messzeit bevorzugen:**

Momentary:

Einzel Signale	vorgemischte Signale
6x Inputs alle Lead Vocals Mic alles außer $\Sigma$	Musik alle
<b>10</b>	<b>2</b>

Sonstiges: impulsive Signale, fast nie

Short:

Einzel Signale	vorgemischte Signale
Backing Vocals Voice Percussion	4x Summen, 2x Gruppen, 2x Busses nur im Programmton (extern) Zuspieler Summierstufen
<b>3</b>	<b>11</b>

Sonstiges: weniger impulsreiche Signale, für die meisten Signale

**1.4.3 Kann eine Lautheitsmessung im einzelnen Kanal helfen das Arbeiten mit mehreren Zuspielern zu vereinfachen?**

4x Ja

Ja, die Zuspieler können angeglichen werden

PFL – Lautheitsmessung

Ja, bei gemischten Zuspelungen

Mal ja, mal nein

Ja, es können zu erwartende Signale opt. erkannt werden

Ja, wenn Pegel und Signal nicht bekannt ist

absolut

**Folgerung:**

Lautheitsmessung muss in jedem Kanal möglich sein.

1.4.4 Welche Metering-Abgriffpunkte bevorzugen Sie?

	Input		Pre-Fader		After-Fader	
	Inputs	Σ	Inputs	Σ	Inputs	Σ
<b>LOUDNESS</b>	2	2	4	6	9	12
<b>PEAK</b>	10	3	8	3	3	5

**Folgerung:**

Peak wird bei Eingangskanälen tendenziell am Input oder Pre Fader genutzt, bei Summen bevorzugt After Fader.  
 Loudness wird bei Eingangskanälen und Summen bevorzugt After Fader abgegriffen.  
 → Es müssen unterschiedliche Abgriffpunkte möglich sein.

1.4.5 Welche Loudness-Skala wird von Ihnen bevorzugt?

	Input	Σ
<b>EBU +9</b>	2	5
<b>EBU +18</b>	7	2
<b>variabel</b>	4	6

Sonstiges:

Would prefer absolute scale display, no need for numeric reading

**Folgerung:**

Bei Inputs muss EBU +18 möglich sein.  
 Skalen können variabel sein.  
 Skalen müssen zwischen relativ und absolut umschaltbar sein (EBU R128).

1.4.6 Wenn die Möglichkeit besteht die verschiedene Metering-Instrumente umzuschalten, welche Variante würden Sie bevorzugen:

schaltbar in jedem Strip – unabhängig vom DSP-Kanal	3
im DSP-Kanal definiert – unabhängig vom Strip	7

**Folgerung:**

Metering Instrument muss im DSP definiert werden – unabhängig vom Strip.

1.5 Integrated Measurements

1.5.1 Wie sollen Messergebnisse aus Integrated Messungen dargestellt werden?

Bargraph	2
Zahl	14
History-Darstellung	3

**Folgerung:**

Darstellung von Integrated-Messungen kann nur mit einer Zahl erfolgen.

**1.5.2 Ist eine Zeitbasis ausreichend oder müssen mehrere zur Verfügung stehen?**

Eine	Mehrere
3x eine ist ausreichend 2x eine Zeitbasis ist ausreichend ausreichend eine Zeitbasis sollte reichen, mehrere könnten verwirrend sein (in Streßsituationen)	3x Mehrere Should be more than one - maybe up to five, not necessary for every channel Mehrere sind - je nach Anwendung - sinnvoll Mehrere auf verschiedene Summen zugeordnet Mehrere ist Pflicht Bei Summen sollten einzelne Bewertungen möglich sein (verschiedene Programme) Ist von Prod. Abhängig → 2 Mann Betrieb - Überholspur (Aufzeichnung / Sendung parallel)
<b>7</b>	<b>9</b>

**Folgerung:**

Mehrere Zeitbasen sind notwendig.

**1.5.3 In welchem Kanaltyp sollten Integrated Messungen möglich sein?**

Eingangskanäle	Busse
Überall in jedem 2x alle Inputs	9x Summen 6x Gruppen 3x alle Busse 2x Aux 2x alle Überall in jedem Pultausgänge Aux ganz wichtig (abg. Interview oft unhörbar)
<b>5</b>	<b>26</b>

**Folgerung:**

Integrated-Messung sind vorwiegend in allen Bussen erforderlich.

## 2 Loudness Difference

### 2.1 Bevorzugte Messzeit

Momentary (400ms)	6
Short (3s)	8
Mit Messzeit im Kanal verlinkt	3

**Folgerung:**

Eine Loudness Difference-Anzeige muss im Short Term-Modus arbeiten.

### 2.2 Skalierung

-5 / +5	-
-10 / +10	8
-15 / +15	2
variabel	4

**Folgerung:**

Die Skalierung einer Loudness Difference-Anzeige sollte zwischen  $\pm 10$  LU liegen.

### 2.3 Ihre Eindrücke in der praktischen Anwendung

Very useful to see how dynamic range compression affects loudness  
 Not necessary to be always displayed - could use extra space for higher resolution metering  
 Gibt einen guten Überblick über die Lautheitsveränderung im Kanal  
 Positiv, schnelles erkennen und korrigieren der Lautheitsunterschiede zwischen mit/ohne Effekt  
 Erste Eindrücke gut. Mal schauen, wie es sich im praktischen Betrieb verhält  
 Nice to have  
 Für mich nicht notwendig, sonst bitte mit autom. Lautstärkekompensation  
 Ich glaube, dass diese Anzeige / Darstellung nicht unbedingt notwendig ist, hier ist die übliche Darstellung von Gain Reduction ausreichend  
 Sehr gute Grundidee, zu viel Anzeigen in den Monitoren vermeiden  
 Neu! Muss mit der Anzeige lernen zu arbeiten  
 Sehr hilfreich  
 gewöhnungsbedürftig

**Zusammenfassung:**

Positiv: 5  
 Neutral: 2  
 Negativ: 2

**Folgerung:**

Generell positive Einstellung zu der Anzeigeform, jedoch kein zwingender Bedarf.

### 3 Loudness Levelling

#### 3.1 Wie beeinflusst das Vorhandensein einer automatischen Lautheits-Pegelung die Gestaltung Ihrer Mischung?

2x Gar nicht

Ich würde eher „defensiver“ Mischen (weniger als -23 LUFS)

Die Sounddramaturgie kann durch eine automatische Lautheitspegelung negativ beeinflusst werden.

Ich würde versuchen die Produktion in der korrekten Lautheit herzustellen.

Wenn am Ende eingesetzt kaum.

Bisher nicht

Would always mix to transparency - i.e so the device has no effect

Im Idealfall gar nicht

#### 3.2 Stört das Eingreifen der Lautheits-Pegelung oder hilft es den Target Level besser zu halten?

2x Hilft

Für die Übergangszeit der Umstellung auf Aussteuerung nach Lautheit gibt es Sicherheit.

In der Signalverteilung hilft die Lautheitspegelung

2x Stört

Not disturbing - quite useful on broadcast material. Can even help to brighten a mix (Transient Processor)

Letzteres

#### 3.3 Sehen Sie kreative Einsatzmöglichkeiten des Prozessors?

2x Nein

Sehe ich (momentan) nicht. Sollte auch nur „Notbremse“ sein.

Der Prozessor sollte auf jeden Fall mit Genreabhängigen Presets betrieben werden.

Kreative leider nicht! Reduzierung von Pegelspitzen ist gut möglich.

Ja, z. B. Einhalten des Dialoglevel für Dolby.

Could be a useful tool to create a more pleasing FX vs. Commentator mix. I.e. Deliberately make Comm. too loud (e.g. -20 LUFS) let the AGC bring loudness down to target. When commentator speaks, then in pauses, FX will sit better in the mix.

Nein

#### Folgerung:

Die Meinungen zur automatischen Lautheitspegelung sind sehr diffizil und nicht eindeutig. Dies ist zum einen auf die wenigen praktischen Erfahrungen mit diesen Geräten zurückzuführen. Zum anderen gab es bei einer Vielzahl der Teilnehmer eine Skepsis gegenüber automatischer Prozesse. Die Teilnehmer haben sich instinktiv intensiver mit den neuen Möglichkeiten der Lautheitsmessung beschäftigt.

## G. Messprotokoll ARD



Abbildung G-1: Auszug aus dem Messprotokoll der ARD - Beispiel 1 (Eberhard, 2011)



Abbildung G-2: Auszug aus dem Messprotokoll der ARD - Beispiel 2 (Eberhard, 2011)