
BACHELORARBEIT

Frau
Katja Mühle

**Implementierung von
Lautheitsmessung nach EBU-R128 in
das Landesfunkhaus Sachsen
des MDR**

10. Juli 2012

BACHELORARBEIT

Implementierung von Lautheitsmessung nach EBU-R128 in das Landesfunkhaus Sachsen des MDR

Autorin:

Katja Mühle

geb. am 21.11.1987 (Zwickau)

Matrikel 23227

Studiengang:

Medientechnik (Fernsehen)

Seminargruppe:

MT09wF-B

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Michael Hösel

Zweitprüfer:

M.Sc. Sven Joost

Einreichung:

Mittweida, 10. Juli 2012

BACHELOR THESIS

Implementation of loudness metering in accordance with EBU-R128 into the broadcasting centre Saxony of MDR

author:

Katja Mühle

born on the 21st of November, 1987 (Zwickau)

student number 23227

course of studies:

Media technology (television)

seminar group:

MT09wF-B

first examiner:

Prof. Dr.-Ing. Michael Hösel

second examiner:

M.Sc. Sven Joost

submission:

Mittweida, 10th of July, 2012

Bibliografische Angaben

Mühle, Katja:

Implementierung von Lautheitsmessung nach EBU-R128 in das Landesfunkhaus Sachsen des MDR

Implementation of loudness metering in accordance with EBU-R128 into the broadcasting centre Saxony of MDR

61 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2012

Zusammenfassung

Diese Bachelor-Arbeit aus dem Bereich der akustischen Messtechnik untersucht die Notwendigkeit und Technologie der Lautheitsmessung. Dabei wird auf aktuelle Probleme, die Auswertung verschiedener Messgeräte und die einzelnen Schritte zur Implementierung in das Landesfunkhaus Dresden des MDR bei der Firma MCS GmbH Sachsen eingegangen.

Abstract

This bachelor thesis of acoustic measurement engineering analyses the necessity and the algorithm of loudness metering in accordance with EBU-R128. The thesis responds to current problems, the evaluation of different measurement instruments and the implementation into the company MCS GmbH Sachsen – the broadcasting centre of Saxony.

INHALTSVERZEICHNIS

I	Abkürzungsverzeichnis	VI
II	Kurzzeichenverzeichnis	IX
III	Abbildungsverzeichnis	X
IV	Tabellenverzeichnis	XII
V	Formelverzeichnis	XIII
1.	Einleitung	1
2.	Aktuelle Relevanz	3
3.	Grundlagen	9
	3.1 Pegel.....	9
	3.2 Aussteuerung.....	12
	3.3 Dynamik.....	14
	3.4 Lautheit.....	15
	3.4.1 Allgemeines.....	15
	3.4.2 Kurven gleicher Lautstärke.....	16
	3.4.3 Bewerteter Schallpegel.....	17
4.	Die EBU-Richtlinie R128	21
	4.1 Historie.....	21
	4.2 Algorithmus der EBU-Richtlinie R128.....	23
	4.2.1 Programmlautheit (Programme Loudness).....	26
	4.2.2 Maximaler „echter“ Spitzenpegel (Maximum True Peak Level).....	27
	4.2.3 Lautheitsbereich (Loudness Range).....	28
	4.3 Anwendung der Empfehlung.....	30
5.	Probleme der R128	33
6.	Internationaler Stand	35
	6.1 Allgemeines.....	35
	6.2 Europa.....	35
	6.3 Amerika.....	37
7.	Implementierung der R128 bei der MCS Sachsen	38
	7.1 Die MCS GmbH Sachsen.....	38
	7.2 Audiomessungen.....	40
	7.3 Geräteaustausch.....	43

7.3.1 Vorbetrachtungen	43
7.3.2 Teststellung	47
7.3.3. Sendeausgang	53
7.3.4 Archivmaterial.....	54
7.4 Lautheitsmessungen	56
7.5 Einbau der Messgeräte	58
8. Aussichten	60
VI Literaturverzeichnis.....	XIV
VII Anlagenverzeichnis	XX
VIII Eigenständigkeitserklärung.....	XXI

I ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AC-3	Audio Codec No. 3, Audiodatenreduktionsformat von Dolby Lab.
AES	Audio Engineering Society (internationale Organisation für Normungen in der Tontechnik)
AGC	Automatic Gain Control, automatische Verstärkungsregelung
AIFF	Audio Interchange File Format, Containerformat zum Speichern von PCM-Audiodaten
ALT	Austauschleitung
ARD	Arbeitsgemeinschaft der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten der Bundesrepublik Deutschland
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses, japanische TV-Standardisierungsorganisation
ATSC	Advanced Television Systems Committee, US-amerikanische Organisation für Standards beim digitalen Fernsehen
AZK	Aufzeichnungskomplex
BNC	Bayonet Neill Concelman, koaxialer Stecker mit Bajonett-Verriegelung
BWF	Broadcast Wave Format, Containerformat zur Speicherung digitaler Audiosignale mit Metadaten
CALM	Commercial Advertisement Loudness Mitigation, amerikanisches Gesetz zur Lautheitsanpassung
CRTC	Canadian Radio-television and Telecommunications Commission
DRC	Dynamic Range Control, automatische Anpassung der Dynamik
D-Sub	D-Subminiature, D-förmiges Steckersystems für Datenverbindungen
DTCI	Digitaler Timecode-Insertter
DVB	Digital Video Broadcasting
DVV	Digitaler Videoverteiler
EBU	European Broadcasting Union, Europäische Rundfunkunion
GfK	Gesellschaft für Konsumforschung
GPI/O	General Purpose Input/Output, Schnittstelle zur Signalsteuerung
HE	Höheneinheit bei Elektronikgehäusen (44,45 mm)
I	Integrated Loudness (Programmlautheit)
IFA	Internationale Funkausstellung

IRT	Institut für Rundfunktechnik
ITU-R	International Telecommunication Union – Radiocommunication
KVM	Key-Video-Mouse (Verlängerung von Tastatur, Monitor und Maus)
Leq	Long-Term Equivalent continuous sound level, energieäquivalenter Dauerschallpegel (durchschnittlicher Lautstärkepegel)
LFE	Low Frequency Effects, Subwoofer der Surround-Verfahren
LKFS	= LUFS, absolute Einheit der Programmlautheit, K-bewertet, bezogen auf Vollaussteuerung (Digital Full-Scale)
LRA	Loudness Range (Lautheitsbereich)
LTC	Longitudinal Time Code
LU	Loudness Unit, relative Einheit der Programmlautheit
LUFS	Loudness Unit Full Scale, absolute Einheit der Programmlautheit
M	Momentary Loudness (Programmlautheit, 400 ms)
MAZ	Magnetaufzeichnung
MDR	Mitteldeutscher Rundfunk
MXF	Material Exchange Format, Containerformat für Video- und Audiodaten
NATAS	National Academy of Television Arts and Science
NDR	Norddeutscher Rundfunk
ORF	Österreichischer Rundfunk
PCM	Puls-Code-Modulation, Analog/Digital-Wandlung bei Audio und Video
PML	Permitted Maximum Level, erlaubter maximaler Signalpegel = -1 dBTP (True Peak, bezogen auf digitale Vollaussteuerung)
QPPM	Quasi Peak Programme Meter, Tonaussteuerungsinstrument mit einer Integrationszeit von 10 ms
RLB	Revised Low Frequency B-Curve, modifizierte B-Bewertungskurve
RMS	Root Mean Square (quadratischer Mittelwert)
S	Short-term Loudness (Programmlautheit, 3s)
SDI	Serial Digital Interface, Schnittstelle für Video- und Audiomaterial
SNG	Satellite News Gathering
SPL	Sound Pressure Level, Schalldruckpegel
TPPM	True Peak Programme Meter, Tonaussteuerungsinstrument ohne Integrationszeit
UKW	Ultrakurzwellen, elektromagnetische Wellen mit 30 bis 300 MHz zur terrestrischen Übertragung von Hörfunkprogrammen

VITC	Vertikal Interval Time Code
WAV	Waveform Audio File Format, Containerformat für nicht datenreduzierte digitale Audiosignale nach dem PCM-Verfahren
XLR	Screen Life Return, koaxialer Stecker für symmetrische Audiosignalübertragung
ZDF	Zweites Deutsches Fernsehen
ZGR	Zentraler Geräteraum

II KURZZEICHENVERZEICHNIS

L_{AS}	Einstellpegel	[dB]
L_{eq}	energieäquivalenter Dauerschallpegel	[dB]
L_i	Pegel während der Zeitdauer t_i	[dB]
L_K	Programmlautheit (K-gewichtet)	[LU]
L_{MPS}	Minimaler Programmpegel	[dB]
L_{MS}	Messpegel	[dB]
L_p	Schalldruckpegel	[dB]
L_{PMS}	zulässiger Maximalpegel	[dB]
L_r	relativer Spannungspegel	[dBr]
L_S	Lautstärkepegel	[Phon]
L_{SL}	Systemgrenzpegel	[dB]
L_U	absoluter Spannungspegel mit Bezugsspannung $U_0 = 0,775$ Volt	[dBu]
L_V	absoluter Spannungspegel mit Bezugsspannung $U_0 = 1$ Volt	[dBV]
p	Schalldruck	[Pa]
p_0	Bezugsschalldruck	[Pa]
S	Lautheit	[Sone]
T	Messdauer	[s]
t_i	Zeitdauer des Pegelwerts L_i	[s]
U_A	Ausgangsspannung	[V]
U_E	Eingangsspannung	[V]
U_X	anliegende Spannung	[V]

III ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Lautheitsmessung des MDR-Programms über 24 Stunden.....	4
Abbildung 2: Dynamikumfang „Schwanensee“ von Peter Tschaikowsky (1877)	5
Abbildung 3: Dynamikumfang „Video Killed The Radio Star“ von den Buggles (1979)	5
Abbildung 4: Dynamikumfang „Time to wander“ von Gypsy and the Cat (2010)	5
Abbildung 5: Stummschaltungen im Ersten (rot) am Sonntagabend, 26.02.2012 [SIEGFRIED, 2012]	6
Abbildung 6: Audio Level Limiter von Hama für die Begrenzung der Lautstärke [HAMA, 2012]	7
Abbildung 7: Paradigmenwechsel von der Peak- zur Lautheits-Normalisierung [DOC. 3343, 2011b].....	8
Abbildung 8: Hörschwelle als Funktion der Frequenz [SCHEUERMANN, 1999].....	9
Abbildung 9: Relation der analogen und digitalen Bezugspegel nach ITU-R BS.646 [IRT S.69, 2011]	12
Abbildung 10: Abhängigkeit der Dynamik von der Abhörumgebung [DOC. 3343, 2011b].....	14
Abbildung 11: Kurven gleicher Lautstärke [SCHMIDT, 2009]	17
Abbildung 12: Bewertungskurven A, B und C zur Messung des bewerteten Schalldruckpegels [DICKREITER, 2008b].....	18
Abbildung 13: Verschiedene Frequenzbewertungskurven.....	19
Abbildung 14: Bewertungskurve ISO R26 von 1991 [KAHSNITZ, 2009]	21
Abbildung 15: Subjektive Testmethodik durch Angleichen der Testfrequenz an eine Referenz [BS. 1770-2, 2011]	22
Abbildung 16: Lautheitsnormalisierung [DOC. 3344, 2011]	23
Abbildung 17: K-Bewertungskurve nach ITU-R BS. 1770 [DOC. 3343, 2011a].....	24
Abbildung 18: Kanal-Processing und Aufsummierung nach ITU-R BS. 1770.....	25
Abbildung 19: Vergleich Spitzenpegelaussteuerung (R 68) und Lautheits- aussteuerung (R 128).....	27
Abbildung 20: Verteilung der Lautheitspegel mit Gating und Lautheitsbereich [DOC. 3342, 2011].....	29

Abbildung 21: Schematische Abbildung der beiden Lautheits-Skalen in LU [DOC. 3343, 2011c].....	30
Abbildung 22: Europaweite Umsetzung (grün) bzw. Vorbereitung (gelb) der EBU-Norm 128 [SIEGFRIED, 2012].....	36
Abbildung 23: Datentransport vom Rohmaterial bis zum Sendematerial.....	39
Abbildung 24: Screenshot „Pinguin Audio Meter“ (Peakmeter, Goniometer, Spectrum Analyzer, Korrelator)	41
Abbildung 25: Korrelationsgradmesser.....	42
Abbildung 26: Eye Pattern auf einem WFM von Tektronix [TEKTRONIX, 2012a]..	43
Abbildung 27: Teststellung im Schaltraum des Landesfunkhauses Dresden	48
Abbildung 28: TM3 zur Audiomessung für die Easy Links [RTW, 2012a].....	50
Abbildung 29: WFM und WVR 5200 für die Schnittplätze sowie Messtechnik, AZK und Abnahme [TEKTRONIX, 2012e].....	51
Abbildung 30: WVR 7200 für den Schaltraum [TEKTRONIX, 2012c]	52
Abbildung 31: Touchmonitor TM9 von RTW für die Tonregie [RTW, 2012b].....	53
Abbildung 32: Screenshot des Audiomultimeters von Pinguin.....	55
Abbildung 33: Screenshots des „PPMulators“ von zplane	55
Abbildung 34: Vergleich der Lautheit von „Brisant“ (linke Hälfte) und „Sachsenspiegel“ (rechte Hälfte)	57

IV TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Gemessene Lautheitswerte von drei Musikstücken	6
Tabelle 2: Bereiche eines Audiosignals	12
Tabelle 3: Zusammenhang von Lautstärkepegel in Phon und Lautheit in Sone	15
Tabelle 4: Überblick der Richtwerte und Grenzen für die Anwendung der R128	31
Tabelle 5: Bisher genutzte Messgeräte.....	45
Tabelle 6: Anforderungen an die neuen Messgeräte	45
Tabelle 7: Wichtige Videomessfunktionen	47
Tabelle 8: Geräte für die Teststellung	47
Tabelle 9: Auswertung der Test-Messgeräte	49
Tabelle 10: Messung von Lautheitswert, True Peak und Lautheitsbereich des Sachsenspiegels	56

V FORMELVERZEICHNIS

Formel 1: Berechnung des Schalldruckpegels L_p	10
Formel 2: Berechnung des absoluten Spannungspegels mit einer Bezugsspannung von 1 V	10
Formel 3: Berechnung des absoluten Spannungspegels mit einer Bezugsspannung von 0,775 V	11
Formel 4: Berechnung des relativen Spannungspegels	11
Formel 5: Formel zur Umrechnung von Phon (Lautstärkepegel) in Sone (Lautheit)	15
Formel 6: Berechnung der durchschnittlichen Schallenergie L_{eq}	20
Formel 7: Zielpegel für die Lautheitsmessung nach EBU R128	26

1. Einleitung

Die extremen Lautheitssprünge im deutschen Fernsehen haben nun bald ein Ende. Wohl jeder hat die Erfahrung gemacht, dass Werbung oder Trailer meist viel lauter als das Programm sind und sich auch die Programminhalte verschiedener Sender untereinander in der empfundenen Lautstärke stark unterscheiden. Grund dafür ist die bisherige Aussteuerung nach Spitzenwerten. Vor allem Werbeproduzenten komprimieren so stark, dass die Pegelspitzen abgeschnitten werden und der Rest umso lauter erklingt, wenn bis zum Maximum ausgesteuert wird. Mittels einer neuen Aussteuerungsmethode, die nun den Lautstärkeindruck wiedergibt, soll der sogenannte Lautheitskrieg spätestens mit der IFA 2012 ein Ende haben.

Dieser Paradigmenwechsel ist den unzähligen Zuschauerbeschwerden geschuldet. Etwa 70% aller Beschwerden betreffen die Tonaussteuerung. Dabei werden vor allem schlechte Sprachverständlichkeit, zu laute Musikuntermalung und eben diese Lautheitssprünge kritisiert [SIEGFRIED, 2012]. Die großen Differenzen entstehen durch Audiomaterial, das in der Dynamik stark komprimiert ist und somit subjektiv sehr viel lauter empfunden wird. Besonders Werbeclips und Programmankündigungen sollen dadurch besondere Beachtung finden. Dieser Kampf um mehr Aufmerksamkeit wird als „Loudness War“ bezeichnet.

Seit vielen Jahren wird bereits eine Methode zur Messung der subjektiv wahrgenommenen Lautheit untersucht. Auch ist der Begriff der „gehörrichtigen Lautstärke“ seit langem bekannt. Die Arbeitsgruppe P/LOUD der European Broadcasting Union (EBU) hat nun aber ein weltweit anerkanntes Verfahren entwickelt, welches dem subjektiven Lautstärkeindruck entspricht. Ab der IFA 2012, also ab dem 31. August 2012, wollen sich sowohl die öffentlich-rechtlichen als auch die privaten Fernsehsender an die neue Richtlinie EBU R128 halten [STEREO, 2012].

Hinter der Norm, die international in der ITU-R BS. 1770 bzw. 1771 festgelegt ist, steht ein Verfahren, das einen gewichteten Effektivwert ermittelt. Während bisher nur die Spitzenwerte gemessen wurden, gibt nun der Effektivwert über die gesamte Dauer den subjektiven Lautstärkeindruck wieder.

Den Beteiligten an der Erarbeitung der neuen Richtlinie wurde im Januar dieses Jahres durch einen „Emmy“ der NATAS (National Academy of Television Arts and Science) internationale Anerkennung zuteil. Die renommierte Auszeichnung wurde von der amerikanischen Fernsehakademie in der Kategorie „Technology & Engineering“ für die Standardisierung der Lautheitsmessung im Rundfunk überreicht [PM ITU, 2012].

Diese Arbeit untersucht die aktuellen Probleme und klärt über die EBU-Empfehlung R128 auf. Dabei wird sowohl auf den Algorithmus als auch auf die praktische Anwendung der Norm sowie einige Probleme eingegangen. Ziel ist es, die MCS GmbH Sachsen auf die Umstellung zur Lautheitsmessung vorzubereiten. Dazu zählt neben der Analyse durch die Bachelorarbeit auch das Bestellen und Einbauen der neuen Messgeräte sowie eine Schulung der Mitarbeiter für die Anwendung der neuen Norm.

2. Aktuelle Relevanz

Seit Jahren erreichen Beschwerden über starke Lautheitssprünge die Funkhäuser. Zwar gab es immer wieder Bemühungen zur Messung der subjektiv empfundenen Lautstärke, doch bisher keine weltweit anerkannte Empfehlung für die Aussteuerung von Audiosignalen. Lautheitssprünge von 10 dB, was einer Verdopplung der Lautheit entspricht, sind bisher deshalb nicht selten [SPIKOFSKI, 2012]. Kein Wunder also, dass die Zuschauer – und damit auch die Finanziere der öffentlich-rechtlichen Programme – unzufrieden sind.

Neben dem bereits erwähnten „Loudness War“ gibt es weitere Gründe, die zu Differenzen der Lautheit führen. Zum einen kommt es vor, dass die Aussteuerungsrichtlinie nicht beachtet wird, zum anderen werden unterschiedliche, nicht standardisierte Aussteuerungsmesser und unterschiedlichste Kompressoren genutzt. Auch Archivmaterial bzw. Quellen unbekannter Herkunft, die nicht angepasst werden, können eine Ursache sein [SPIKOFSKI, 2012]. Aktuelle Relevanz hatte die Diskussion über Lautheit auf Grund der Einführung neuer digitaler Übertragungswege wieder erhalten. Die Ausstrahlung identischer Programminhalte über digitale (DVB) und analoge Übertragungswege erfolgte bis Ende April parallel und in der Regel nicht angepasst. Weiterhin wird die Distribution über das Internet, beispielsweise über Mediatheken oder YouTube, immer bedeutender [SPIKOFSKI, 2012].

Das Hauptproblem der Lautheitssprünge ist allerdings das absichtliche Anheben der Lautheit auf Grund des „Loudness Wars“. Viele Tontechniker setzen auf starke Kompression, um herauszustechen. Dadurch werden laute Passagen etwas leiser eingepgelt und leise Passagen verstärkt. Die Spitzenwerte liegen an der Aussteuerungsgrenze. Je öfter diese erreicht wird, umso lauter erscheint es dem Hörer. Zwar wird der Maximalwert von 0 dB bzw. –9 dBFS nach ITU-R BS. 646 eingehalten, die subjektiv empfundene Lautheit von komprimiertem Material ist jedoch wesentlich höher.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Pegelmessung über einen Tag beim MDR. Deutlich sind auch hier Lautheitssprünge von Sendung zu Sendung zu sehen.

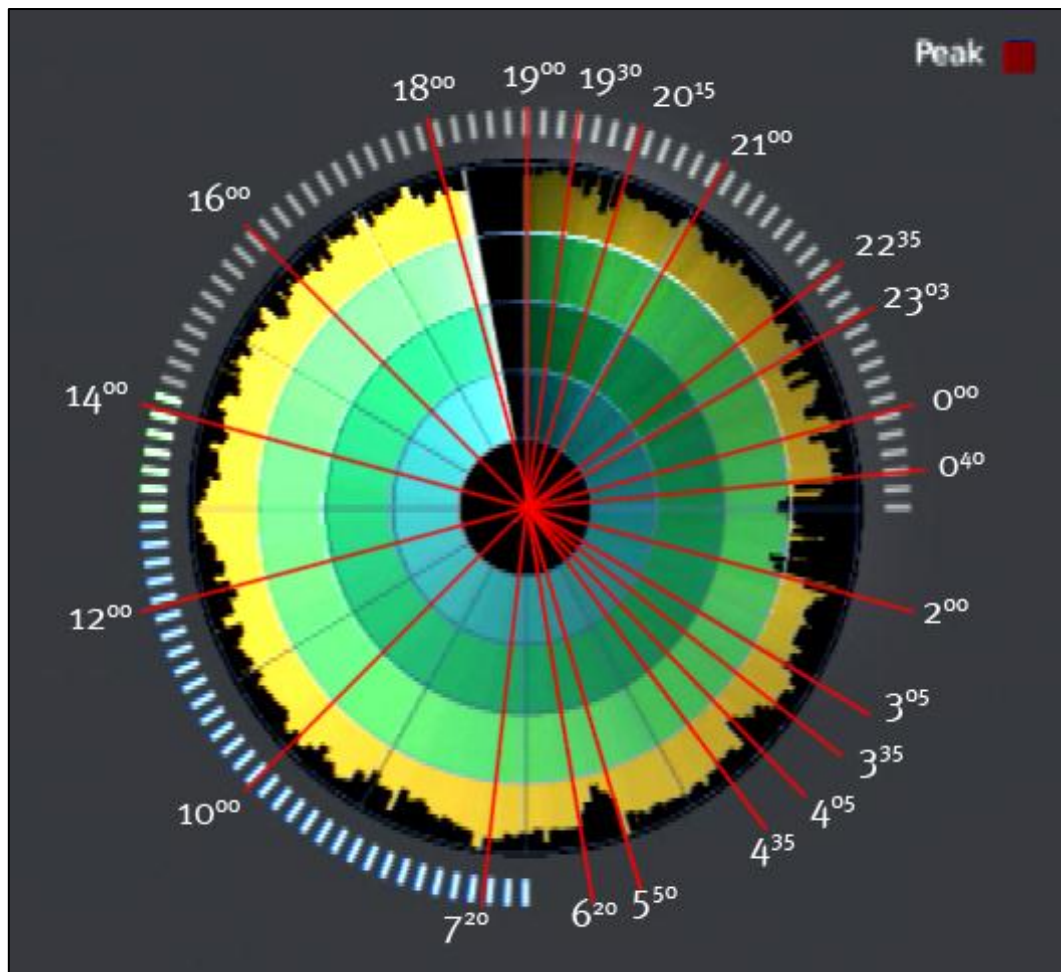


Abbildung 1: Lautheitsmessung des MDR-Programms über 24 Stunden

Die Lautheit des Programms wurde 24 Stunden lang über DVB-S vom 7. zum 8. Juni 2012 mit dem TM9 von RTW gemessen. Die Sendungen „Wir zeigen’s euch – Polen und die Ukraine ein Jahr vor der EM“ von 0⁴⁰ bis 2⁰⁰ Uhr sowie „nano – Das Wissenschaftsmagazin“ von 5⁵⁰ bis 6²⁰ Uhr liegen im grünen Bereich. Alle anderen Sendungen sind bis zu 4 dB zu laut (die Auflösung von Kreis zu Kreis beträgt 6 dB). Besonders laut ist der Sachsen Spiegel von 19⁰⁰ bis 19³⁰ Uhr. Eine Programmübersicht der 24 Stunden ist dem Anhang hinzugefügt.

Die zunehmende Komprimierung der Dynamik für mehr Aufmerksamkeit ist auch in der Musikindustrie stark verbreitet. Die nachfolgenden Bilder zeigen zum Vergleich den Dynamikumfang von einem klassischen Werk, einem Oldie aus den 70ern sowie einem aktuellen Lied.

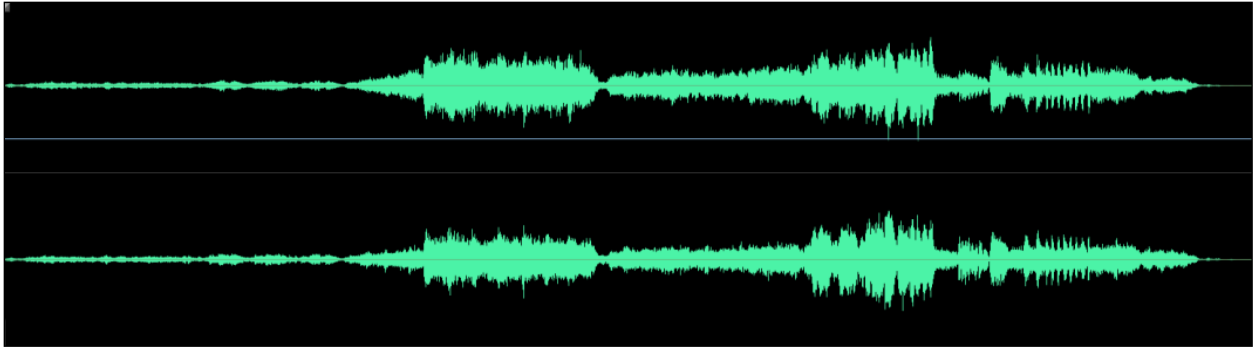


Abbildung 2: Dynamikumfang „Schwanensee“ von Peter Tschaikowsky (1877)

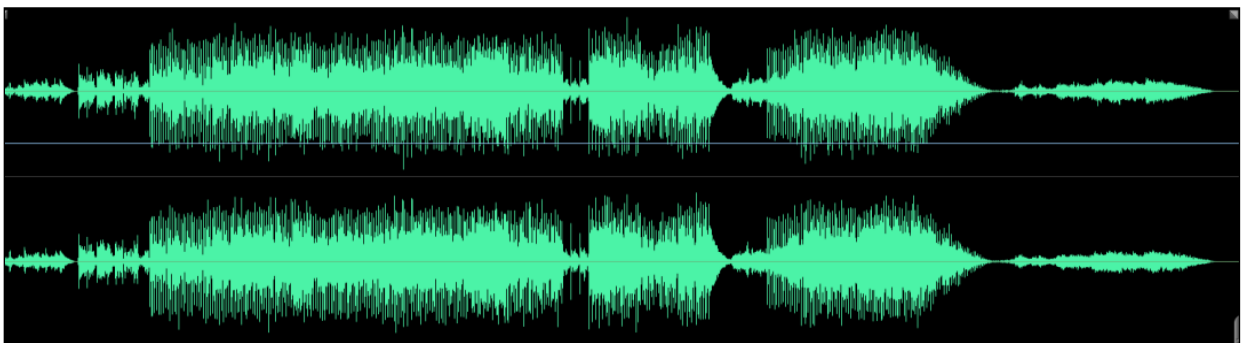


Abbildung 3: Dynamikumfang „Video Killed The Radio Star“ von den Buggles (1979)

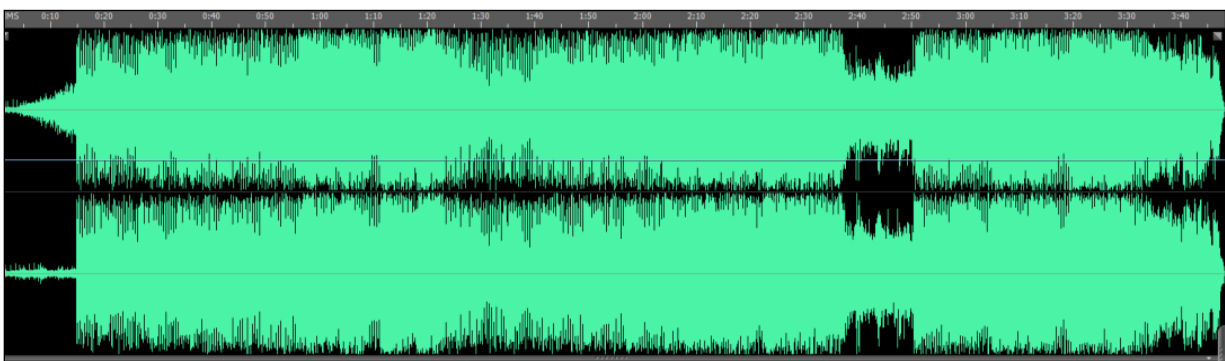


Abbildung 4: Dynamikumfang „Time to wander“ von Gypsy and the Cat (2010)

Mit der Software PPMulator von zplane wurden Lautheit, Dynamik und Spitzenwerte gemessen. Während das klassische Werk einen Dynamikumfang von fast 21 dB hat, liegt die heutige Musik wie im Beispiel von „Gypsy and the Cat“ bei einer durchschnittlichen Dynamik von lediglich 5 dB. In diesem Fall wird der maximal zulässige Spitzenwert nach EBU-R 128 von -1 dBFS sogar um 1,6 dB überschritten. In nachfolgender Tabelle ist eine Übersicht der Werte dargestellt.

	Lautheit L_K	Dynamik (Loudness Range)	Spitzenwert (True Peak)
Tschaikowsky	$L_K = -20,3$ dBFS	LRA = 20,9 dB	TP = $-4,4$ dBFS
Buggles	$L_K = -16,7$ dBFS	LRA = 15,9 dB	TP = $-0,6$ dBFS
Gypsy and the Cat	$L_K = -9,0$ dBFS	LRA = 5,1 dB	TP = $0,6$ dBFS

Tabelle 1: Gemessene Lautheitswerte von drei Musikstücken

Auf die Parameter zur Lautheitsmessung wird im Kapitel 4 eingegangen.

Die Folgen des Kampfes um mehr Aufmerksamkeit sind alles andere als zufriedenstellend. Die Gesellschaft für Konsumforschung (GfK) untersucht nicht nur die Einschaltquoten, sondern auch das Benutzen der Mute-Taste, also bei welchen Programminhalten die Zuschauer das Programm stumm schalten (in der Abbildung rot) [SIEGFRIED, 2012]. Die Auswertung zeigt das Programm im Ersten von 18⁰⁰ Uhr („Sportschau“) bis 23³⁰ Uhr („Das Wetter im Ersten“). Deutlich erkennbar ist der starke Anstieg der Stummschaltungen zwischen der „Lindenstraße“ und der „Tageschau“. In dieser Zeit laufen die meisten Trailer und Werbespots. Im Beispiel nehmen die Stummschaltungen erst mit Beginn des „Tatorts“ wieder ab.

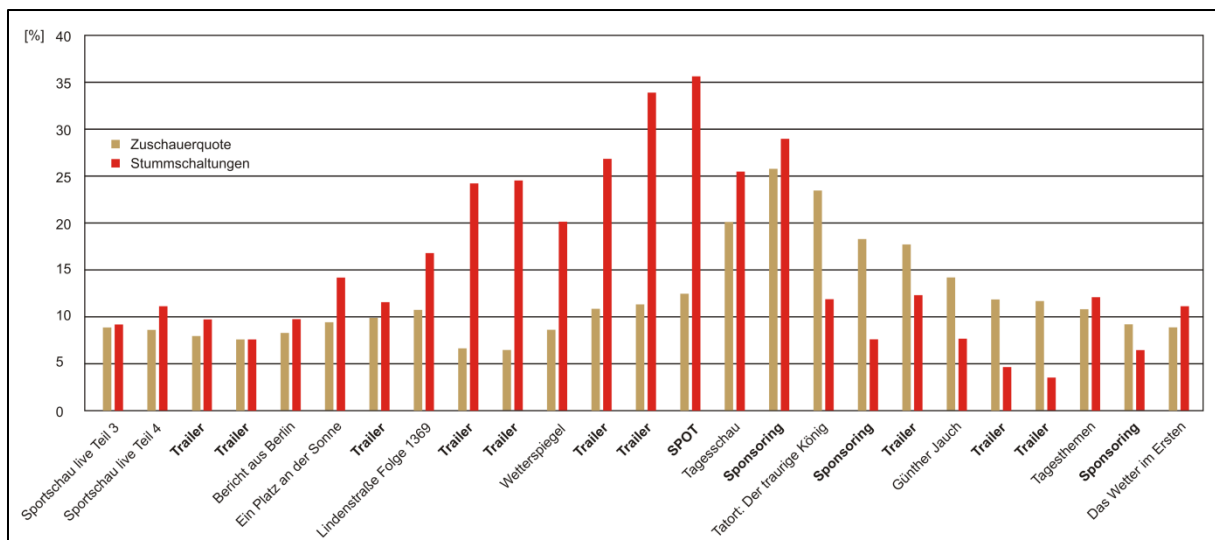


Abbildung 5: Stummschaltungen im Ersten (rot) am Sonntagabend, 26.02.2012 [SIEGFRIED, 2012]

Eine andere Folge findet sich auf dem Consumer-Markt. So gibt es für den Heimgebrauch Limiter zu kaufen, die die Lautstärke begrenzen. Die Abbildung zeigt ein Beispiel von Hama für 27,80 €.



Abbildung 6: Audio Level Limiter von Hama für die Begrenzung der Lautstärke [HAMA, 2012]

Eine weitaus schlimmere Folge für die Fernsehveranstalter ist das Wegschalten des Programmes und damit ein Einbruch der Quoten.

Um die Zuschauer wieder zufrieden zu stellen, ist es also höchste Zeit für eine Revolution in der Tontechnik. Die EBU-Norm schreibt eine Aussteuerung nach empfundener Lautstärke statt nach Spitzenwerten vor. Dieser Paradigmenwechsel wird in Abbildung 7 visualisiert. Mit der neuen Norm zur Tonaussteuerung wird nicht nur eine gleichmäßige Lautheit erreicht, sondern auch der Dynamikumfang einer Audioproduktion wird wieder steigen. Dies ist durch die großen Differenzen der Peaks ebenfalls deutlich in der Abbildung zu sehen.

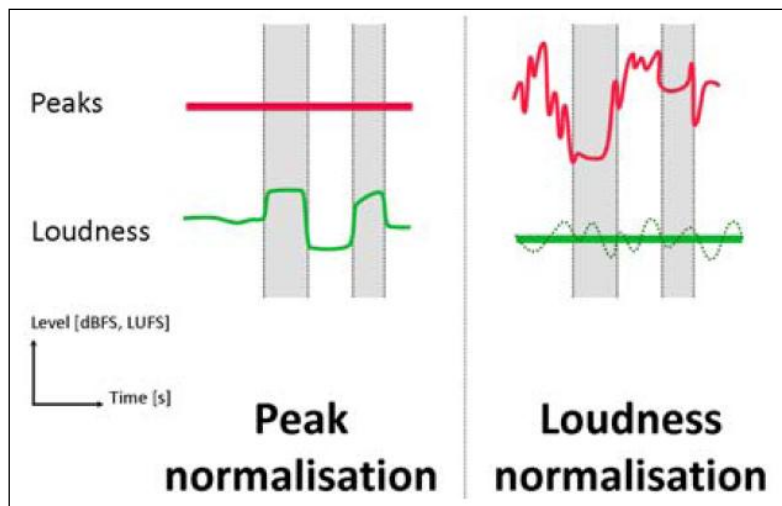


Abbildung 7: Paradigmenwechsel von der Peak- zur Lautheits-Normalisierung [DOC. 3343, 2011b]

Bisher gelten zur Tonaussteuerung die „Technischen Richtlinien zur Herstellung von Fernsehproduktionen für ARD, ZDF und ORF – HDTV“ vom Institut für Rundfunktechnik (IRT). Die Empfehlung zur Tonaussteuerung nach Spitzenwerten ist in der EBU R 68 festgehalten und international in der ITU-R BS. 646 definiert. Demnach dürfen die Maximalpegel -9 dBFS (Full Scale) nicht überschreiten. Das verwendete Aussteuerungsmesser ist das Quasi Peak Programme Meter (QPPM) mit einer Integrationszeit von 10 ms und einer Abfallzeit von 1,5 s [IRT, 2011]. Tatsächlich treten auch kurzzeitige Spitzenpegel größer -9 dB auf. Diese können nur von einem True Peak Programme Meter (TPPM) mit einer Integrationszeit von 0 ms gemessen werden [SPIKOFSKI, 2012].

Die neue Richtlinie R 128 schreibt ab 31.08.2012 einen durchschnittlichen Lautheitswert von -23 dBFS und einen maximalen Spitzenwert von -1 dBFS vor. Die Einheit wird dann allerdings in LU (Loudness Unit) angegeben. Die Peak Programme Meter werden dabei nicht ersetzt, sondern als True Peak Programme Meter unterstützend eingesetzt.

3. Grundlagen

3.1 Pegel

Damit ein Hörfeld entstehen kann, muss eine Schallwelle ausgelöst werden. Ein Mensch kann Frequenzen von etwa 16 Hertz bis maximal 20 Kilohertz hören. Die unterste noch wahrnehmbare Schallpegelgrenze ist die Hörschwelle, eine Begrenzung nach oben stellt die Schmerzschwelle dar [DICKREITER *et al.*, 2008a]. Die größte Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs liegt zwischen 2 und 4 kHz. Zu den tiefen Tönen hin nimmt sie stark ab. Auch oberhalb von 4 kHz ist das Gehör wieder etwas weniger empfindlich. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Hörschwelle für das menschliche Gehör [SCHEUERMANN, 1999].

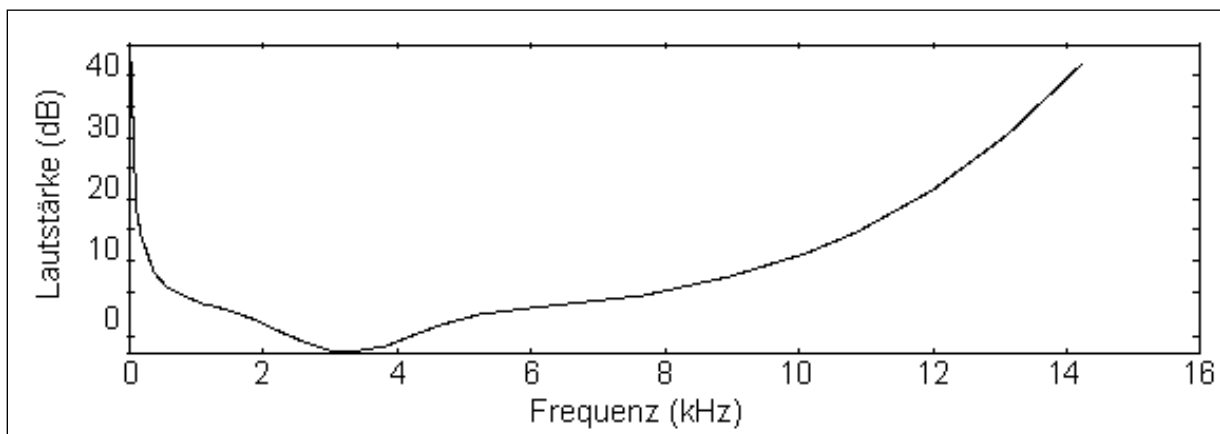


Abbildung 8: Hörschwelle als Funktion der Frequenz [SCHEUERMANN, 1999]

Die Stärke einer akustischen Schwingung in Dezibel ist der **Schalldruckpegel** L_p (Sound Pressure Level, SPL). Dieser berechnet sich aus dem logarithmierten Verhältnis von gemessenem Schalldruck zu Bezugsschalldruck. Als Bezugswert gilt $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Dies entspricht der Hörschwelle mit einem Pegel von 0 dB. Ein als mittellaut empfundener Schallpegel von 60 dB hat einen Schalldruck von $2 \cdot 10^{-2}$ Pa [SCHMIDT, 2009]. Der Schalldruckpegel berechnet sich wie folgt:

$$L_p \text{ [dB]} = 20 * \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

L_p = Schalldruckpegel [dB]

p = gemessener Schalldruck [Pa]

p_0 = Bezugsschalldruck = 2×10^{-5} Pa

Formel 1: Berechnung des Schalldruckpegels L_p

Der **Lautstärkepegel** L_s in Phon gibt an, wie laut ein Schall vom Menschen als Hörereignis empfunden wird. Er wird ermittelt, indem der als gleich laut beurteilte Sinuston mit 1 kHz gesucht wird. Der Lautstärkepegel ist dann zahlenmäßig identisch dem Schalldruckpegel [DICKREITER et al., 2008b].

Pegel geben das logarithmierte Verhältnis der elektrischen Spannung bzw. Leistung eines Signals an. In der Tontechnik kommt die Spannungsanpassung zum Einsatz. Es wird zwischen absoluten und relativen Spannungspegeln unterschieden.

Absolute Spannungspegel haben einen festen Bezugswert. Beträgt der Bezugswert $U_0 = 1$ Volt, wird die Einheit in dBV angegeben. Der Pegel errechnet sich aus dem logarithmierten Verhältnis aus Spannung zu Bezugsspannung [R&S, 2005]:

$$L_v \text{ [dBV]} = 20 * \log_{10} \left(\frac{U_x}{1V} \right)$$

L_v = absoluter Spannungspegel mit Bezugsspannung $U_0 = 1$ Volt [dBV]

U_x = anliegende Spannung [V]

Formel 2: Berechnung des absoluten Spannungspegels mit einer Bezugsspannung von 1 V

Die Bezugsspannung 1 V wird in der Consumertechnik angewandt. Die Vollaussteuerung liegt bei -10 dBV, was einer Spannung von $0,3162$ V entspricht. In der Nachrichtentechnik wird eine Bezugsspannung von $U_0 = 0,775$ Volt verwendet. Die Einheit wird dann in dBu angegeben („u“ weist auf den Bezug zur Spannung hin) [DICKREITER et al., 2008e]. Beim analogen Fernsehen liegt die Vollaussteuerung bei $+6$ dBu. Dies entspricht einer Spannung von $1,55$ V.

$$L_U [\text{dBu}] = 20 * \log_{10} \left(\frac{U_x}{0,775\text{V}} \right)$$

L_U = absoluter Spannungspegel mit Bezugsspannung $U_0 = 0,775$ Volt [dBu]

Formel 3: Berechnung des absoluten Spannungspegels mit einer Bezugsspannung von 0,775 V

Ein relativer Spannungspegel hingegen berechnet sich aus dem Verhältnis von Ausgangs- zu Eingangsspannung. Die Einheit wird in dBr, oft auch nur dB, angegeben.

$$L_r [\text{dBr}] = 20 * \log_{10} \left(\frac{U_A}{U_E} \right)$$

L_r = relativer Spannungspegel [dBr]

U_A = Ausgangsspannung [V]

U_E = Eingangsspannung [V]

Formel 4: Berechnung des relativen Spannungspegels

Der relative Spannungspegel ist der sogenannte Studiopegel. Dessen Einstellpegel, d.h. der Pegel eines 1-kHz-Signals zur Einstellung des Übertragungssystems, liegt bei -9 dB(r). Bei der analogen Aussteuerung entspricht dies -3 dBu, der digitale Bezugspegel liegt bei -18 dBFS (Full Scale). Die Bezugsgröße des Studiopegels ist die Vollaussteuerung (100%). Der Bezugspegel hat einen Wert von 0 dBr. Er wird auch Funkhauspegel, Nominal- oder Nennpegel genannt. Der Headroom zum Abfangen der Überpegel ist in den Funkhäusern 9 dB groß [DICKREITER et al., 2008c].

In nachfolgender Grafik ist die Relation der analogen und digitalen Bezugspegel dargestellt.

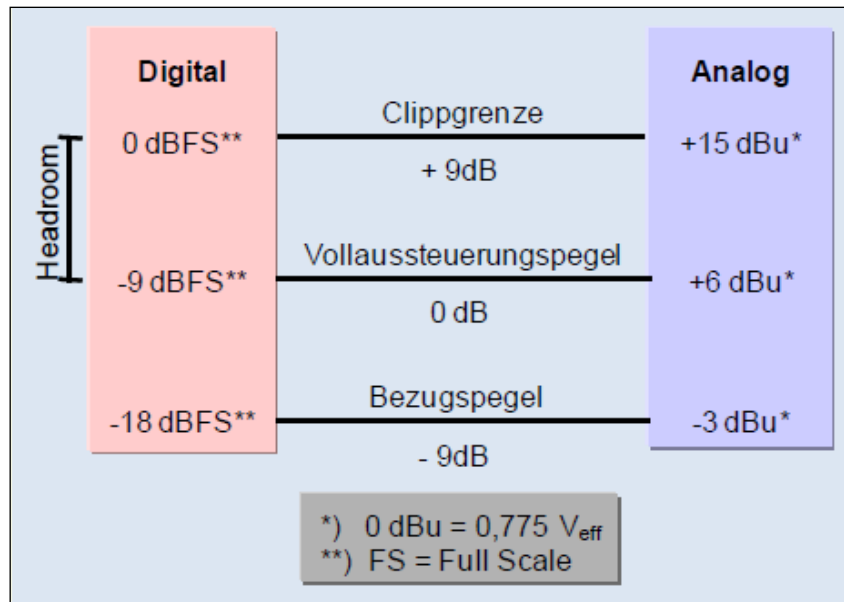


Abbildung 9: Relation der analogen und digitalen Bezugspiegel nach ITU-R BS.646 [IRT S.69, 2011]

3.2 Aussteuerung

Die Aussteuerung bedeutet in der Tontechnik das Regeln auf einen korrekten elektrischen Pegel. Laut den Technischen Richtlinien für ARD, ZDF und ORF dürfen nur digitale Tonsignale mit einer Abtastrate von 48 kHz verwendet werden [IRT, 2011]. Dabei besteht jedes Audiosignal aus folgenden, in der Tabelle angegebenen, Bereichen [SRT, 2003].

	Erklärung
Clippgrenze	Abschneiden der Überpegel (Overs)
Headroom	Übersteuerungsreserve
Aussteuerungsgrenze	100%-Pegelmärke
Aussteuerungsbereich	Bereich der Nutzpegel
Footroom	Pegelbereich zwischen Störpegel und kleinstem vorkommendem Nutzpegel
Störpegel	ungewollte Signale durch kapazitive, induktive oder galvanische Kopplung

Tabelle 2: Bereiche eines Audiosignals

Die Geräte in der Tonstudioteknik haben nur begrenzte Aussteuerungsreserven. Damit ein ausreichender Geräuschpegelabstand gewährleistet sowie Übersteuerungen vermieden werden können, müssen bestimmte Bedingungen eingehalten werden. Die folgenden Systempegel sind in der ITU-R BS. 645 definiert.

Der **Systemgrenzpegel** (L_{SL} , System Limit Level) ist der technisch maximal mögliche Pegel. Durch ihn wird die Aussteuerungsgrenze beschrieben. Danach setzt das Clipping, d.h. das Abschneiden der Überpegel, ein. Bei analogen Systemen beträgt der Pegel 15 dBu, der digitale Systemgrenzpegel liegt bei 0 dBFS.

Der zulässige **Maximalpegel** (L_{PMS} , Permitted Maximum Signal Level) liegt 9 dB unter dem Systemgrenzpegel. Für digitale Signale beträgt er demnach -9 dBFS. Er wird mit einem Quasi Peak Programme Meter kontrolliert und sollte nur in Ausnahmefällen kurzzeitig überschritten werden.

Zwischen Maximal- und Systemgrenzpegel befindet sich der Übersteuerungsbereich, der sogenannte **Headroom**.

Der **Einstellpegel** (L_{AS} , Alignment Signal Level) ist ein 1-kHz-Signal, welches 9 dB unterhalb des zulässigen Maximalpegels den Bezug zur Vollaussteuerung markiert.

Der **Minimale Programmpegel** (L_{MPS} , Minimum Programme Signal Level) ist der kleinstmögliche Programmsignalpegel und besitzt einen ausreichenden Abstand zum Störpegel. Der Abstand wird Footroom bezeichnet und beträgt ca. 10 bis 20 dB.

Weiterhin gibt es den **Messpegel** (L_{MS} , Measurement Signal Level), der 12 dB unter dem Einstellsignalpegel liegt [HOEG, 2010].

3.3 Dynamik

Neben der richtigen Aussteuerung ist auch die Dynamik wichtig für gute Tonqualität. Diese gibt das Verhältnis zwischen einem minimalen und maximalen Signalpegel an. Die Angabe erfolgt in Dezibel. Eine analoge Tonaufnahme kann eine Dynamik von etwa 1.000:1 bzw. 60 dB erreichen, digital sind sogar 100 dB (100.000:1) möglich. Eine zweite Bedeutung der Dynamik ist der Abstand eines Tonsignals vom hörbaren Tonrauschen. Digitale Audiosignale sind wesentlich rauschfreier als analoge Audiosignale [BET, 2012a].

Die Wiedergabedynamik ist von verschiedenen Hörbedingungen abhängig. Während bei stationärem Empfang im ruhigen Wohnzimmer die Dynamik hoch sein sollte, ist eine Kompression bei zum Beispiel mobilem Empfang im Auto sinnvoll. Dadurch kann der Signal-/Störabstand verbessert werden [DICKREITER et al., 2008d].

Die nachfolgende Grafik aus dem EBU-Dokument 3343 zeigt die Abhängigkeit der Dynamik von der jeweiligen Abspielumgebung.

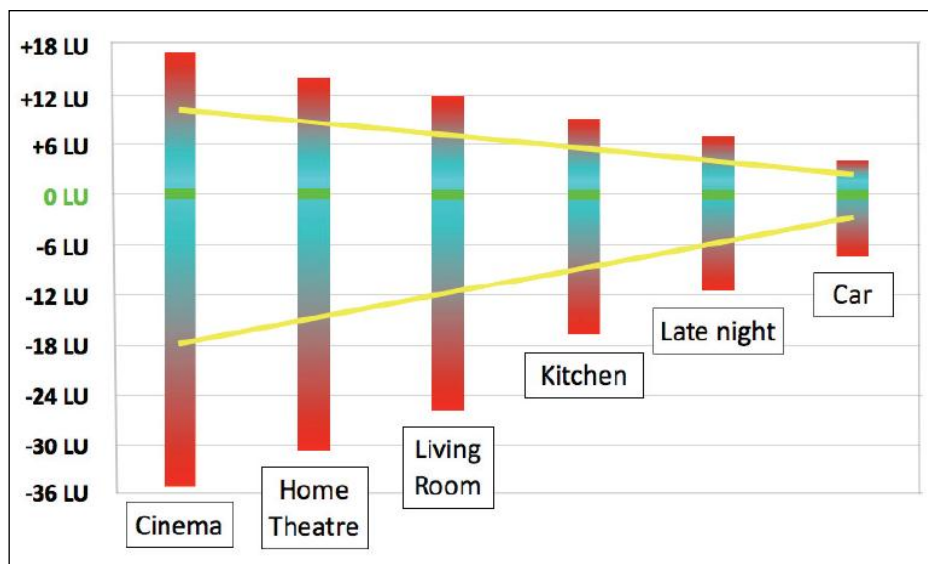


Abbildung 10: Abhängigkeit der Dynamik von der Abhörumgebung [DOC. 3343, 2011b]

Je unruhiger die Umgebung ist, umso geringer muss die Dynamik sein, d.h. das Signal muss stärker komprimiert werden.

Da es nicht sinnvoll ist, das Programm an eine bestimmte Situation anzupassen, gibt es bereits verschiedene Lösungen zur Anpassung der Dynamik auf der Empfängerseite, z.B. die Dynamic Range Control (DRC) [SPIKOFSKI, 2012]. Bei dieser Funktion wird der Dynamikumfang mittels beschreibender Metadaten an die jeweilige Wiedergabebedingung im Heimgerät angepasst.

3.4 Lautheit

3.4.1 Allgemeines

Der Begriff „Lautheit“ ist bereits eingeführt [IRT, 2011]. Die Lautheit S in Sone beschreibt die empfundene Lautstärke, berechnet aus dem Geräuschspektrum nach E. Zwicker (ISO R 532). Unterschiedlich laute Schalle können eine gleiche subjektive Lautheit haben. Die Einheit Sone bedeutet eine proportionale Abbildung des menschlichen Lautstärkeempfindens. Wird ein Schallereignis doppelt so laut empfunden, ist also auch der Sone-Wert doppelt so hoch. Ein Sone ist definiert als 40 Phon bei 1.000 Hz. Eine Verdopplung der Lautheit entspricht einer Lautstärkepegelzunahme von 10 dB [DICKREITER et al., 2008a]. Die Umrechnung von Phon in Sone erfolgt wie folgt:

$$\text{Lautheit} = 2^{\frac{[\text{phon}] - 40}{10}} [\text{Sone}]$$

Formel 5: Formel zur Umrechnung von Phon (Lautstärkepegel) in Sone (Lautheit)

In nachfolgender Tabelle ist der Zusammenhang von Lautstärkepegel in Phon und Lautheit in Sone dargestellt.

Phon	20	30	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100
Sone	0,25	0,50	1,00	1,41	2,00	2,83	4,00	5,66	8,00	16,00	32,00	64,00

Tabelle 3: Zusammenhang von Lautstärkepegel in Phon und Lautheit in Sone

Die Lautheit S in Sone sollte nicht mit der neu eingeführten Lautheit L_K (Loudness Level, K-bewertet) in „Loudness Units“ verwechselt werden, da ein anderes Verfahren zu Grunde liegt. Darauf wird in Kapitel 4 näher eingegangen. Eine Loudness Unit entspricht einem Dezibel.

Die Lautheit ist sowohl von Schalldruck und Frequenz abhängig als auch vom Inhalt und der Dauer des Audiosignals sowie den persönlichen Eigenschaften des Hörers wie Lebensalter und Geschlecht, persönliche Verfassung, Geschmack oder Interesse am Programminhalt [KAHSNITZ, 2012].

Für die Messung von Lautheit sind verschiedene Parameter relevant. Es müssen sowohl die Frequenz bewertet als auch die Leistung gemessen werden. Außerdem ist die Dauer eines Signals entscheidend. Ein sehr kurzes Signal mit hohem Pegel wird toleriert, derselbe Pegel von längerer Dauer ist jedoch inakzeptabel [KAHSNITZ, 2009]. Auf die Frequenzbewertung wird im Punkt 3.4.2 näher eingegangen.

3.4.2 Kurven gleicher Lautstärke

Ein konstanter Schalldruckpegel bedeutet nicht zwangsläufig, dass die Lautstärke gleich empfunden wird. Deshalb wurden die Kurven gleicher Lautstärke eingeführt. Der Schalldruckpegel L_p wird in Abhängigkeit von der Frequenz dargestellt. Den Werten einer Kurve wird die gleiche Lautstärkeempfindung mit einem bestimmten Lautstärkepegel in Phon zugeordnet. Für 1.000 Hz stimmen der Schalldruckpegel in dB sowie der Lautstärkepegel in Phon zahlenmäßig überein [DICKREITER et al., 2008b].

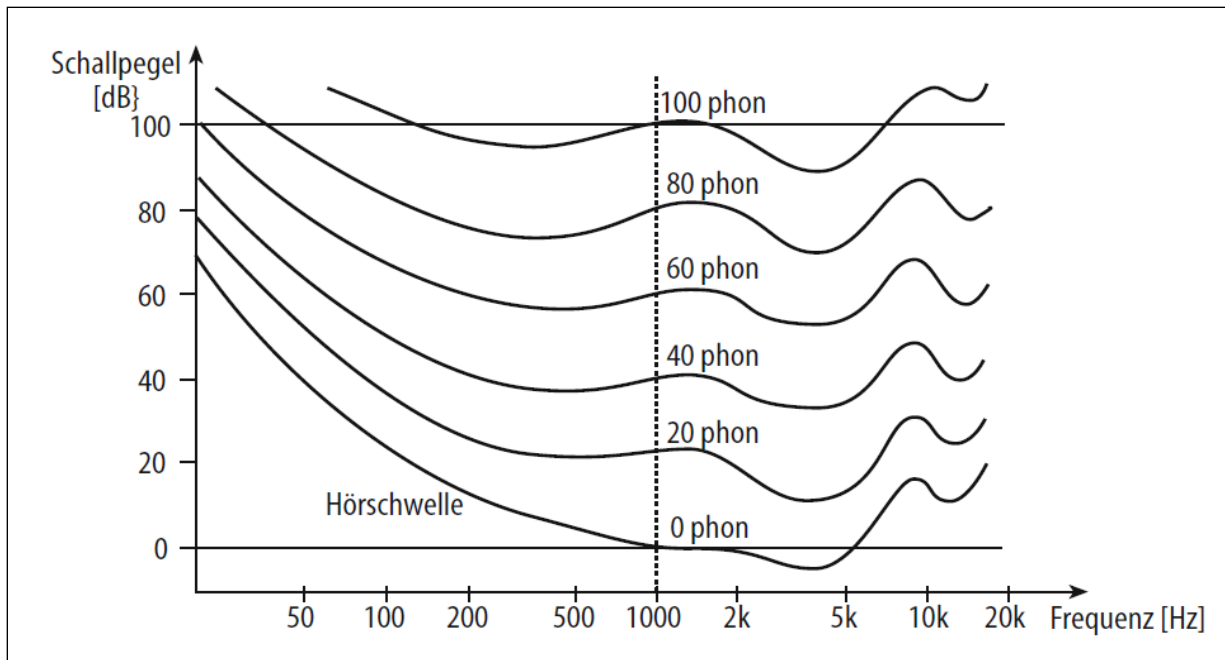


Abbildung 11: Kurven gleicher Lautstärke [SCHMIDT, 2009]

3.4.3 Bewerteter Schallpegel

Da sich das Phon-Maß allerdings nicht für Lautstärkepegel von komplizierteren Klängen und Geräuschen eignet, geben Messungen des bewerteten Schalldruckpegels nach DIN-IEC 651 eine Annäherung an den Lautstärkepegel [DICKREITER et al., 2008a].

Das menschliche Ohr hat für bestimmte Lautstärken eine frequenzabhängige Empfindlichkeit. Um das Frequenzverhalten nachzubilden, werden Bewertungsfilter auf das Schalldrucksignal angewendet [DICKREITER et al., 2008a]. Die entsprechenden Kurven sind in Abbildung 12 dargestellt.

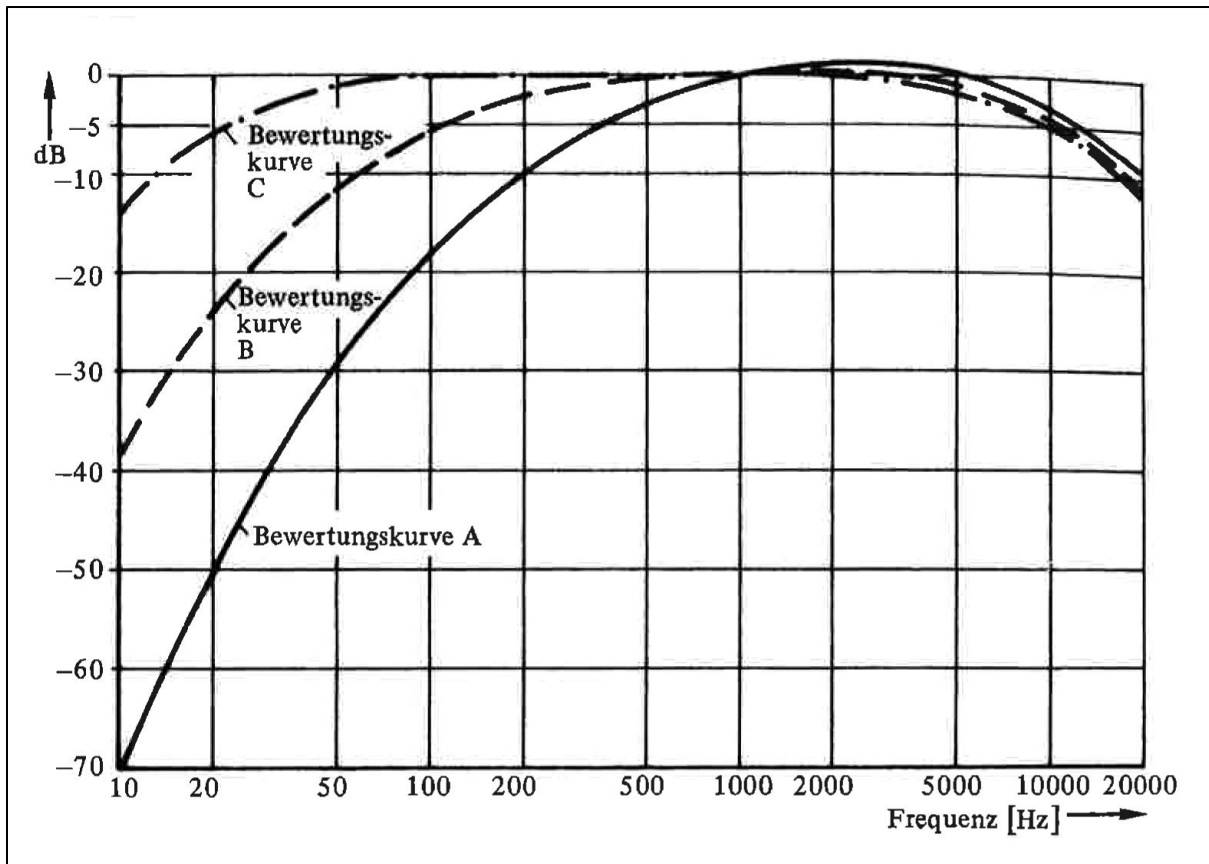


Abbildung 12: Bewertungskurven A, B und C zur Messung des bewerteten Schalldruckpegels [DICKREITER, 2008b]

Der Verlauf der A-Kurve entspricht etwa dem Frequenzgang des Gehörs bei niedrigen Schalldruckpegeln um etwa 30 dB. Die B-Bewertung dient zur Messung bei mittleren Schallpegeln, für hohe Schallpegel über 80 dB ist die Kurve C vorgesehen. Für Geräuschmessungen wird im Allgemeinen die A-Kurve verwendet [DICKREITER et al., 2008b].

Neben den genannten Bewertungskurven gibt es auch die von der Firma Dolby eingeführte M-Kurve, die für Lautheitsbestimmungen im Kinton genutzt wird (M für Movie, siehe Abbildung 13 hellgrün). Hinzu kommt als Ergebnis eines Hörversuchs die RLB-Kurve (Revised Low-frequency B-curve). Sie wirkt als reiner Hochpassfilter und ist bei tiefen Frequenzen ein Kompromiss zwischen der B- und C-Kurve (grün dargestellt) [WEINZIERL, 2007].

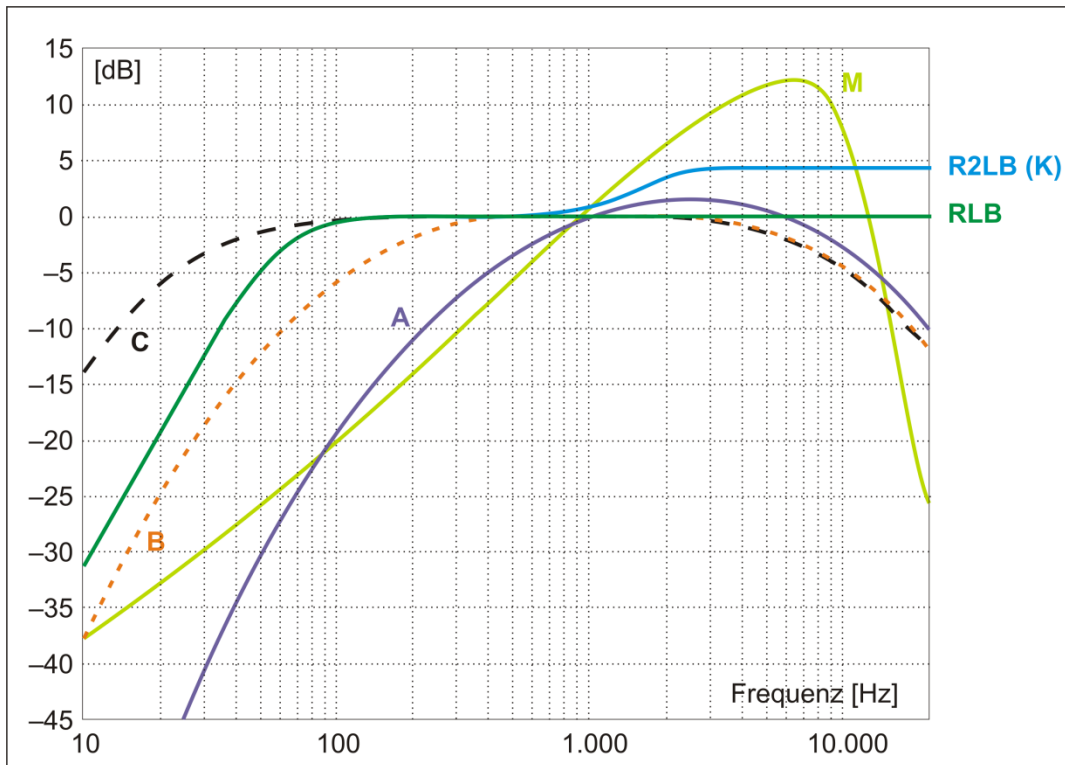


Abbildung 13: Verschiedene Frequenzbewertungskurven

Die Bewertungskurven werden zur Messung der subjektiv empfundenen Lautstärke angewendet. Der bewertete Schallpegel in Dezibel gibt ein genaueres Ergebnis als der Lautstärkepegel in Phon und die Lautheit in Sone.

Um die durchschnittliche Schallenergie zu bestimmen, muss der sogenannte Leq-Pegel berechnet werden. Dieser ist ein energieäquivalenter Dauerschallpegel (Long-Term Equivalent continuous sound level), d.h. ein konstanter Pegel. Mittels eines Schallpegelmessers werden die Pegel einer bestimmten Zeitspanne gemessen und anschließend daraus die Energie des Schalls berechnet. Die Energiewerte werden aufsummiert, über die Zeitspanne gemittelt und als Leq in dB, meist dB(A), ausgegeben [LAERMORAMA]. Der Messwert beschreibt somit einen quadratischen Mittelwert (root mean square, RMS). Die Integrationszeit kann entweder den Zeitraum einer Messung (infinite) oder nur einige Sekunden (short-term) betragen. Nachfolgend ist die Formel zur Berechnung aufgeführt.

$$L_{eq} [\text{dB}] = 10 * \log_{10} \left[\frac{1}{T} \left(\sum_i t_i * 10^{L_i/10} \right) \right]$$

L_{eq} = Mittelungspegel [dB]

T = Messdauer (Summe aller t_i) [s]

t_i = Zeitdauer des Pegelwerts L_i [s]

L_i = Pegel während der Zeitdauer t_i [dB]

Formel 6: Berechnung der durchschnittlichen Schallenergie L_{eq}

Für die Lautheitsmessung nach R128 wird zur Bewertung die RLB-Kurve mit einem Preemphasis-Filter gewählt. Eine Präemphasis ist die Anhebung der hohen Frequenzen. Die entstehende Kurve ist die K-Kurve, auch R2LB (in der Abbildung blau). Auf diese Kurve wird im nächsten Kapitel eingegangen.

4. Die EBU-Richtlinie R128

4.1 Historie

Bereits seit den 80er Jahren beschäftigt sich das Institut für Rundfunktechnik (IRT) mit Strategien zur Vermeidung der störenden Lautheitssprünge im Fernsehen und Hörfunk. Auf Grund der zunehmenden Zuschauerbeschwerden haben sich die Rundfunkanstalten von ARD und ZDF im Jahr 2000 mit dem IRT zusammengetan [SPIKOFSKI, 2012].

Auch das Audio-Unternehmen RTW untersuchte die Lautheit. Die Bewertungskurve R26 von 1991 wurde als Basis für die Lautheitsbewertung gewählt. In nachfolgender Abbildung ist die ISO-Kurve dargestellt [KAHSNITZ, 2009]. Sie ähnelt stark der Bewertungskurve D, die zur Messung von besonders hohen Lautstärken, z.B. von Fluglärm, genutzt wird.

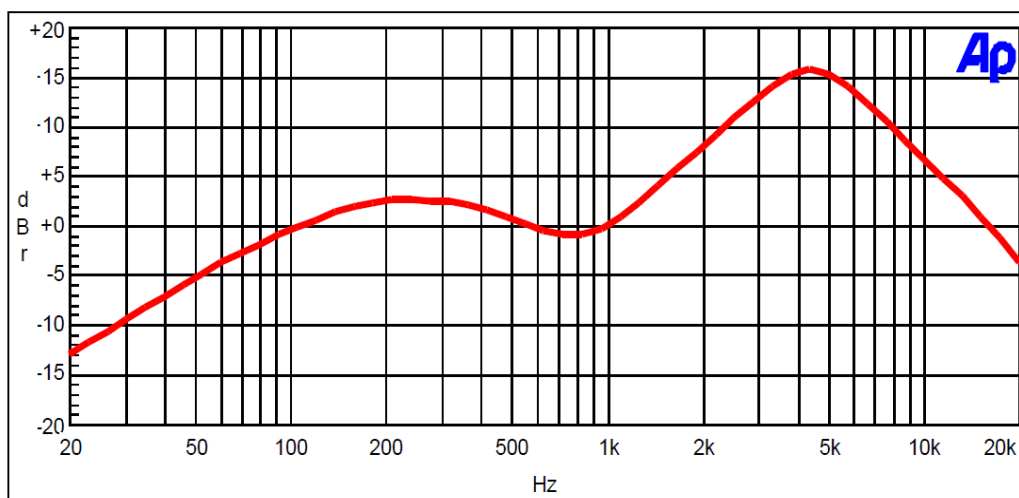


Abbildung 14: Bewertungskurve ISO R26 von 1991 [KAHSNITZ, 2009]

2002 wurden Spezifikationen für die Lautheit bei der International Telecommunication Union in den Empfehlungen ITU-R BS. 1770 und BS. 1771 standardisiert (Recommendation Broadcasting Service Sound). In der Empfehlung 1770 wurde als Bewertungskurve die RLB-Kurve festgehalten [KAHSNITZ, 2009]. Der Standardisierung gingen u.a. viele subjektive Experimente voraus. Dabei handelte es sich um einen individuellen Vergleich der Lautheit durch Anpegelung einer Testsequenz an

ein Referenzsprachbeispiel. Es nahmen insgesamt 97 Probanden teil [SPIKOFSKI, 2012].

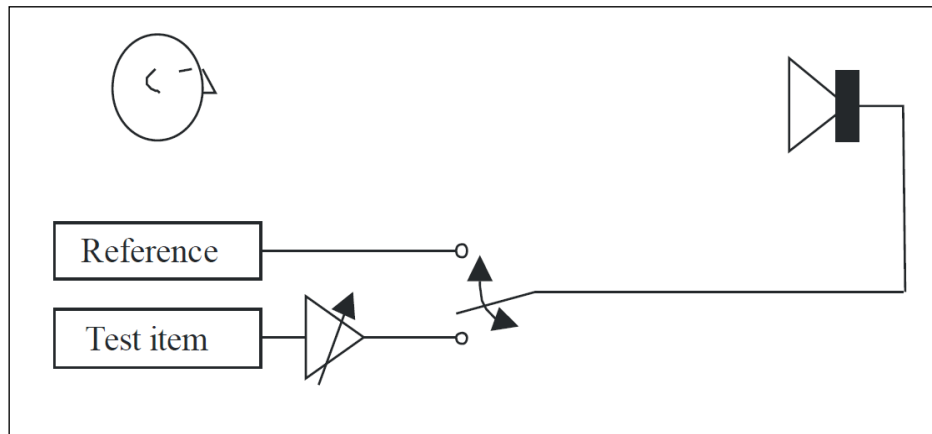


Abbildung 15: Subjektive Testmethodik durch Angleichen der Testfrequenz an eine Referenz
[BS. 1770-2, 2011]

Im Juli 2008 wurde die Arbeitsgruppe „P/Loud“ der European Broadcasting Union gegründet, die sich von nun an mit einem Verfahren der Lautheitsmessung befasste. Die Gruppe besteht aus 230 internationalen Experten unter der Leitung von Florian Camerer vom ORF. Im August 2010 wurde die neue EBU Technical Recommendation 128 "Loudness normalisation and permitted maximum level of audio signals" veröffentlicht. Im März 2011 kam eine Schwellwertmethode (Gating) hinzu, welche leise Passagen bei der Messung unbeachtet lässt, um keine Messverfälschungen zuzulassen. Die Aktualisierung wurde in der ITU-R BS. 1770-2 international festgehalten. Es folgte ein Update der EBU R128 [KAHSNITZ, 2009].

Die Arbeitsgruppe der EBU verfasste weiterhin die technischen Dokumente EBU Tech. Doc 3341 bis 3344. In diesen sind konkrete Empfehlungen zur Messung und Einhaltung der normalisierten Lautheit im Rundfunk definiert.

Die neue Aussteuerungsrichtlinie sollte für ARD, ZDF und ORF ursprünglich ab dem 1.1.2012 gelten. Auf Grund fehlender Vorbereitung und zur Einbindung der privaten Fernsehanstalten wurde der Termin nun auf den Start der Internationalen Funkausstellung (IFA) in Berlin, den 31.8.2012, verschoben. Alle Lautheitsmessgeräte müssen dann den Anforderungen des Technischen Dokuments 3341 der EBU entsprechen [IRT, 2011].

4.2 Algorithmus der EBU-Richtlinie R128

Die EBU-Arbeitsgruppe P/Loud entwickelte einen Algorithmus zur objektiven Lautheitsbestimmung für ein- bis mehrkanalige Audioprogrammsignale. Die bisherige Aussteuerung nach Spitzenwerten mit einem Quasi Peak Programme Meter wird mit der Ermittlung des subjektiv empfundenen Lautheitswertes, einem Effektivwert, abgelöst. Die nachstehende Abbildung zeigt die Spitzenwerte, sowohl mit einem Quasi Peak Programme Meter (gelb, 10 ms Integrationszeit) als auch mit einem True Peak Programme Meter (rot, 0 ms Integrationszeit) gemessen. Die Spitzen der blauen Balken geben die Lautheitswerte an. Im Beispiel wurden vier Programme über den ganzen Tag gemessen. Die linke Abbildung ist nach Peaks ausgesteuert, die rechte lautheitsnormalisiert. Vor der Normalisierung wurden die einzelnen Programme mit einer Differenz von 18 LU empfunden, was 18 dB und somit fast einer achtfachen Verstärkung entspricht.

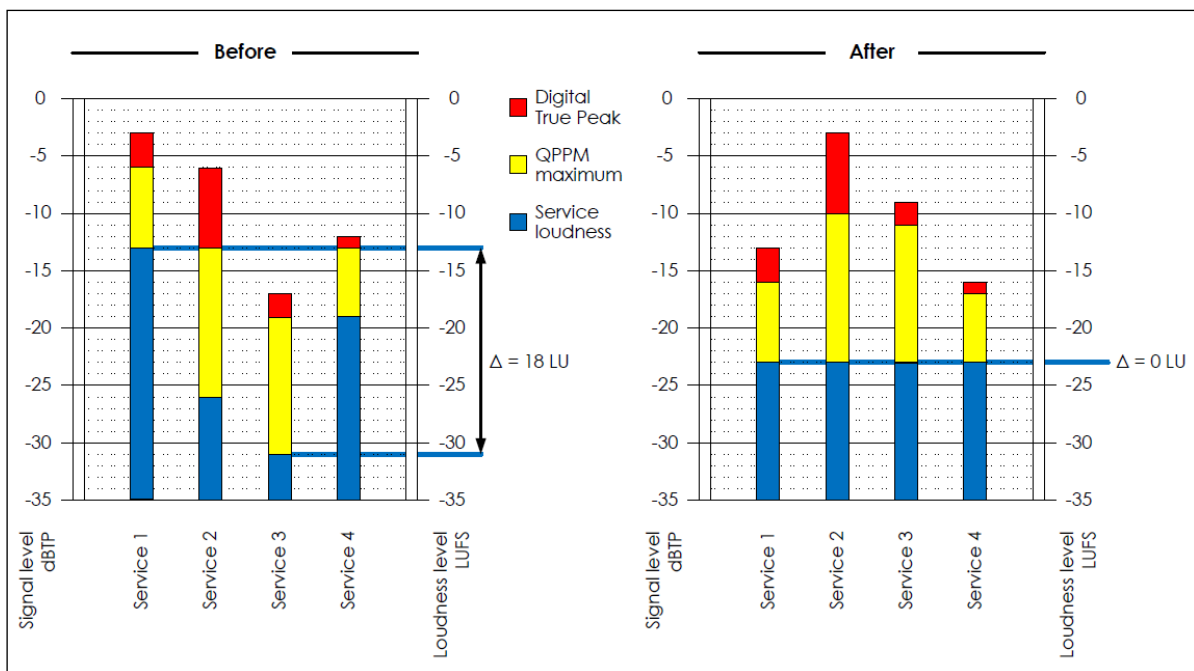


Abbildung 16: Lautheitsnormalisierung [DOC. 3344, 2011]

Zur Bestimmung des Lautheitswertes werden zunächst alle Kanäle mit Ausnahme des LFE-Signals (Low Frequency Effect) K-bewertet. Die K-Kurve ist ein Hochpassfilter, um tieffrequente Signalanteile zu dämpfen [TISCHMEYER, 2012]. Dies ist notwendig, da Bass-Anteile als unterschiedlich laut empfunden werden. Die Bewer-

tungskurve entspricht einer RLB-Kurve (Revised Low Frequency B-Curve), der ein Preemphasis-Filter hinzugefügt wurde. Die Kurve wird auch R2LB-Kurve bezeichnet. „K“ war lediglich der nächste freie Buchstabe im Alphabet. Präemphasis (Akzentuierung) bedeutet die Anhebung der hohen Frequenzen. Der zugefügte Filter ist also ein Kuhschwanz- bzw. Shelvingfilter, der die oberen Mitten und Höhen anhebt. Diese Frequenzen werden vom menschlichen Gehör stärker wahrgenommen als die Tiefen. Mittels des Filters werden die akustischen Auswirkungen der Kopfform, z.B. die gegenseitige Abschattung der Ohrmuscheln durch den Kopf, besonders bei Surround-Wiedergabe besser berücksichtigt. Das Ergebnis ist in der ITU-R BS.1770 festgehalten:

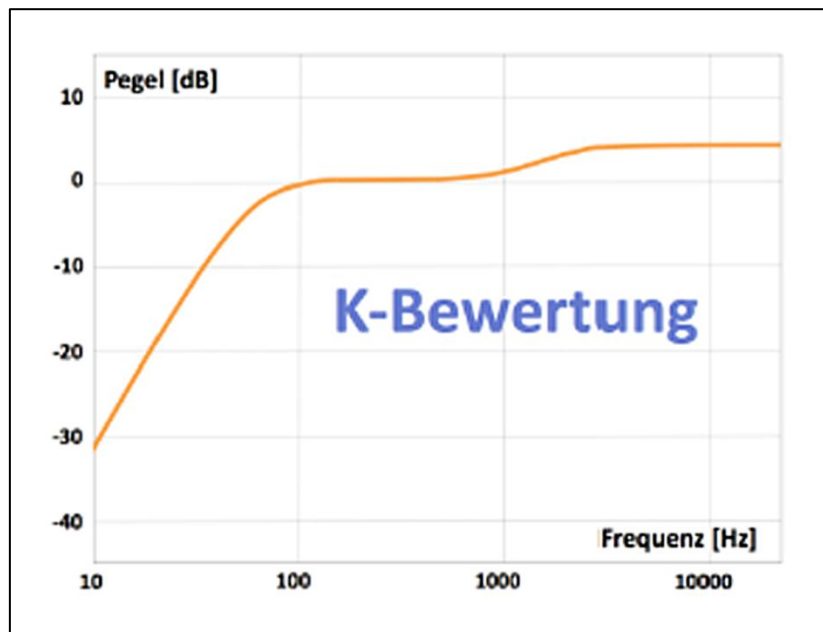


Abbildung 17: K-Bewertungskurve nach ITU-R BS. 1770 [DOC. 3343, 2011a]

Nach der K-Bewertung der Signale, wird der Effektivwert (RMS) ermittelt. Dies erfolgt wie bei der bereits beschriebenen Leq-Messung. Bei 5.1-Signalen gehen im Anschluss die beiden Surround-Kanäle mit einer Gewichtung von +1,5 dB in die Messung ein. Diese Verstärkung ist auf den sogenannten Tiger-Effekt zurückzuführen, d.h. dass der Mensch Signale von hinten als lauter empfindet. Die bewerteten Kanäle werden zu einem Gesamtpegel aufsummiert und über der Zeit integriert [DOC. 3343, 2011a]. Nachfolgende Abbildung zeigt schematisch die Berechnung der Programmlautheit.

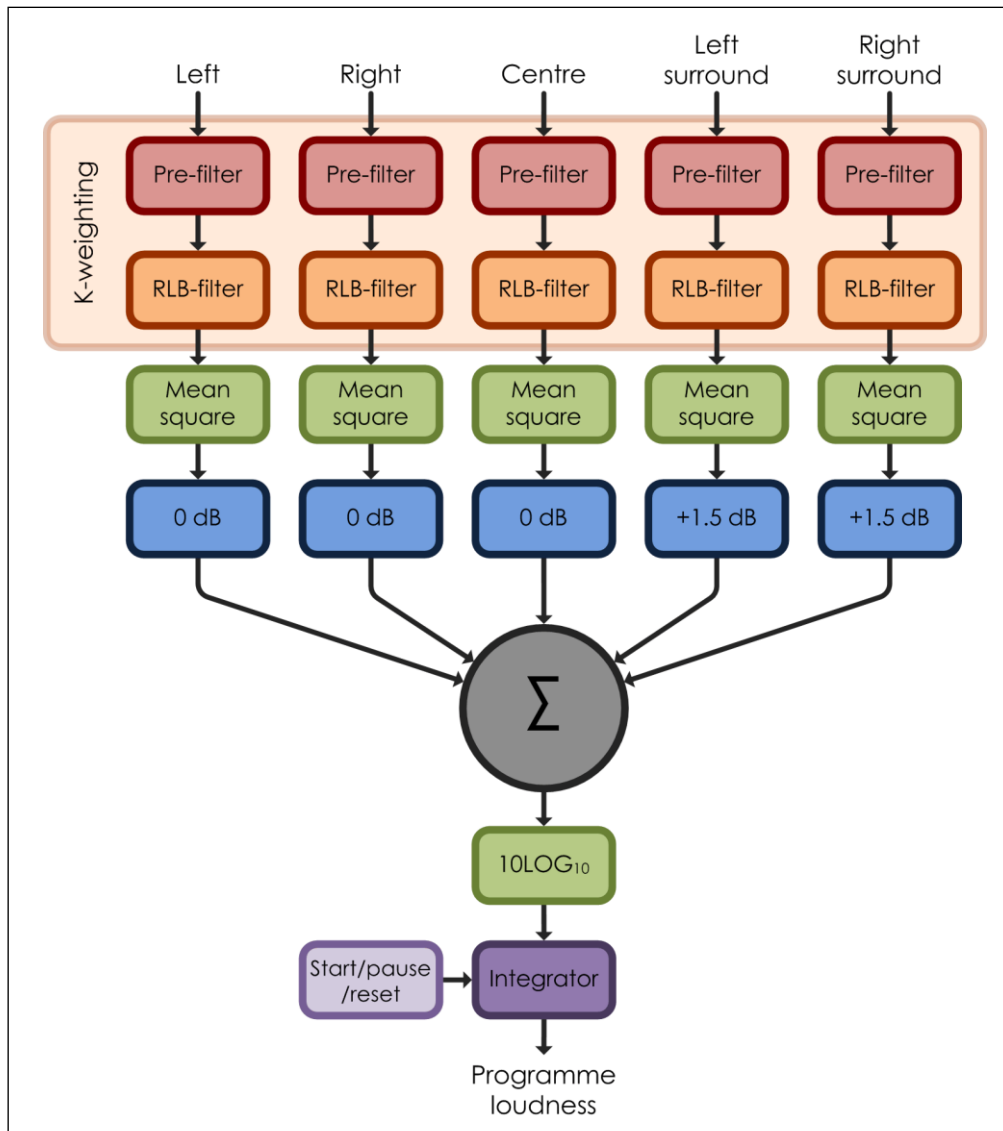


Abbildung 18: Kanal-Processing und Aufsummierung nach ITU-R BS. 1770

Die Programmlautheit wird relativ in LU (Loudness Unit), absolut in LUFS (bezogen auf die digitale Vollaussteuerung) angegeben. Ein LU entspricht einem Dezibel. Die Programm-Lautheit wird auf einen Zielwert von $-23,0$ LUFS = 0 LU normalisiert. Eine Abweichung vom Zielwert um $\pm 1,0$ LU ist für z.B. Live-Programme zulässig [R128, 2011].

Mit der neuen Norm wird ein Audiosignal beschrieben durch

1. Programmlautheit (Programme Loudness)
2. „exakten“ maximalen Spitzenpegel (Maximum True Peak Level)
3. Lautheitsbereich (Loudness Range)

4.2.1 Programmlautheit (Programme Loudness)

Für die Darstellung der Lautheit sind drei Zeitfenster vorgesehen. Die Momentary Loudness (M) hat eine Integrationszeit von 400 ms. Eine Short-Term-Messung beträgt drei Sekunden. M und S werden für die momentane Aussteuerung und Mischung benötigt. Die Integrated Loudness (I) hingegen ist der Durchschnittswert über die gesamte Messung, also von „Start“ bis „Stopp“ [DOC. 3343, 2011c]. Der Zielwert für die Integrated Loudness liegt bei

$$L_K = 0 \text{ LU } (-23,0 \text{ LUFS}) \pm 1,0 \text{ LU}$$

L_K = Lautheitspegel (K-gewichtet) in LU bzw. LUFS

Formel 7: Zielpegel für die Lautheitsmessung nach EBU R128

Bei der Integrated Loudness werden Messwerte unter -70 LUFS nicht berücksichtigt. Dieser Vorgang wird absolutes Gating bezeichnet. Ebenso für die Messung irrelevant sind Werte, die mehr als 10 LU unterhalb der absolute-gated integrated Loudness liegen. Dieses sogenannte relative Gating ist notwendig, da die Werte nach einem starken Pegelabfall lauter empfunden werden als bei konstanter Lautstärke. Die Gating-Funktion verhindert eine Verfälschung des Lautheitswertes durch überdurchschnittlich lange, sehr leise Passagen.

Ist das Audiomaterial kürzer als 30 Sekunden, so sind für die momentanen Lautheitspegel Obergrenzen vorgesehen. Die Momentary Loudness darf dann -15 LUFS = $+8$ LU nicht überschreiten, die 3-Sekunden-Messung (Short Term Loudness) darf in einem solchen Fall nicht lauter als -20 LUFS = $+3$ LU sein [DOC. 3343, 2011d]. Auf den allgemeinen Maximalwert wird im nächsten Kapitel eingegangen.

4.2.2 Maximaler „echter“ Spitzenpegel (Maximum True Peak Level)

Der erlaubte Maximalpegel (Permitted Maximum Level, PML) darf -1 dBTP (True Peak, bezogen auf digitale Vollaussteuerung) in der Produktion nicht überschreiten. In der relativen Einheit entspricht dies einem Wert von 22 LU. Der True Peak wird mittels vierfach Oversampling bestimmt. Durch die höhere Abtastfrequenz kann er genauer bestimmt werden und ist deshalb i.A. größer als der mit einem konventionellen Peakmeter gemessene Wert [TISCHMEYER, 2012]. Für die Messung wird ein True Peak Programme Meter, das keine Integrationszeit hat, verwendet. Die nachfolgende Abbildung zeigt den bisherigen Vollaussteuerungspegel bei -9 dBFS und im Gegensatz dazu die Aussteuerung nach der neuen Richtlinie. Das Erreichen der Clippinggrenze ist selbst mit sehr hoher Dynamik unmöglich, sodass es keine Probleme mehr mit dem Limiter geben wird.

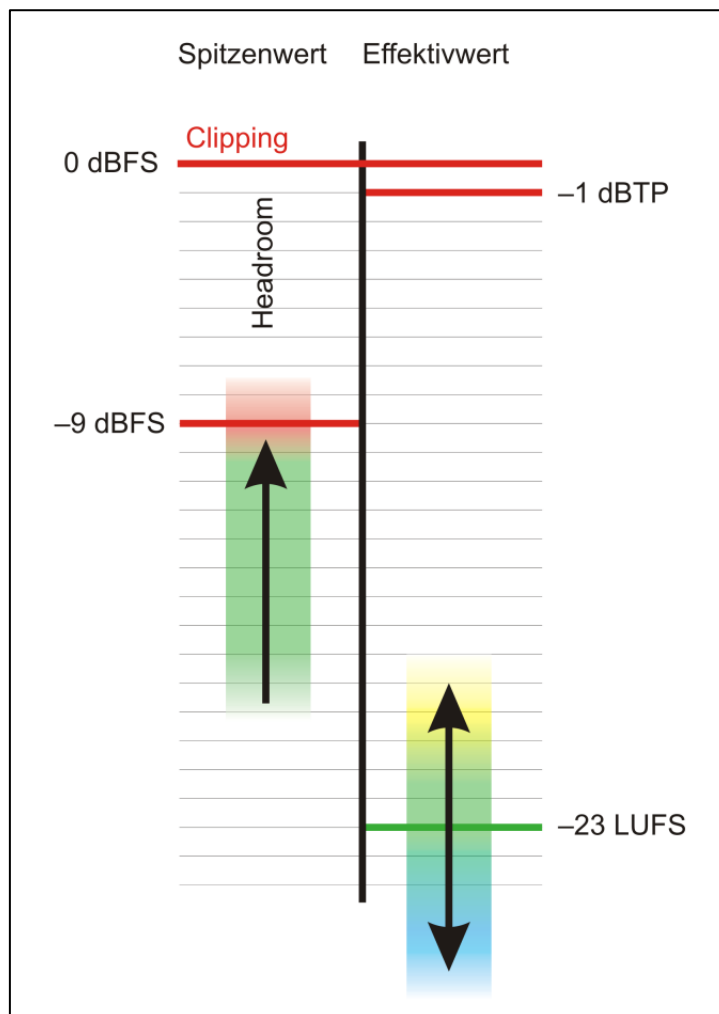


Abbildung 19: Vergleich Spitzenpegelaussteuerung (R 68) und Lautheitsaussteuerung (R 128)

4.2.3 Lautheitsbereich (Loudness Range)

Der Lautheitsbereich beschreibt die Spannweite der Lautheitspegel, also den Bereich zwischen sehr leisen und sehr lauten Passagen. Er ist damit mit der Programmdynamik gleichzusetzen. Im EBU Technical Document 3342 „Loudness Range: A measure to supplement loudness normalisation in accordance with EBU R 128“ wird der Lautheitsbereich spezifiziert.

Beträgt die Loudness Range (LRA) weniger als 5 LU, so hat das Programm eine geringe Dynamik. Ein mittlerer LRA-Wert liegt bei etwa 10 LU. Ein großer Lautheitsbereich umfasst mehr als 15 LU.

Berechnet wird der Lautheitsbereich nach EBU Tech Doc 3342 auf Grundlage der statistischen Verteilung der momentanen Lautheitspegel, d.h. nach der Häufigkeit der auftretenden Pegel. Die Integrationszeit der Pegelmessung beträgt drei Sekunden (Short-Term Loudness). Damit die Messung präzise erfolgt, müssen sich die Zeitfenster um mindestens 66%, also mindestens zwei Sekunden, überlappen. Extrempegel oberhalb 95% und unterhalb 10% werden nicht berücksichtigt, damit weder ein kurzer lauter Effekt wie ein Pistolenschuss noch die Abblende einer Musik die Messung beeinflussen. Die Ermittlung des Lautheitsbereiches wird ebenfalls der Schwellwertmethode unterzogen. Das bedeutet, dass Messwerte unterhalb -70 LUFS (absolutes Gating) sowie Werte unterhalb -10 LU des aktuellen Wertes (relatives Gating) nicht herangezogen werden [DOC. 3342, 2011].

Abbildung 20 zeigt die Ermittlung der Loudness Range. Dargestellt sind die Verteilung der momentanen Lautheitspegel und deren Häufigkeiten. Der Lautheitspegel über die gesamte Sequenz ist mit $-21,6$ LUFS bei der Bezeichnung „absolute-gated, integrated“ markiert. Mit dem relativen Gating liegt die untere Grenze bei $-41,6$ LUFS (Die Abbildung verwendet noch einen Schwellwert von -20 LU, dieser wurde später auf -10 LU korrigiert). Der Lautheitsbereich liegt oberhalb dieser $-41,6$ LUFS zwischen 10% und 95% der Verteilung und umfasst somit in diesem Beispiel 25,0 LU.

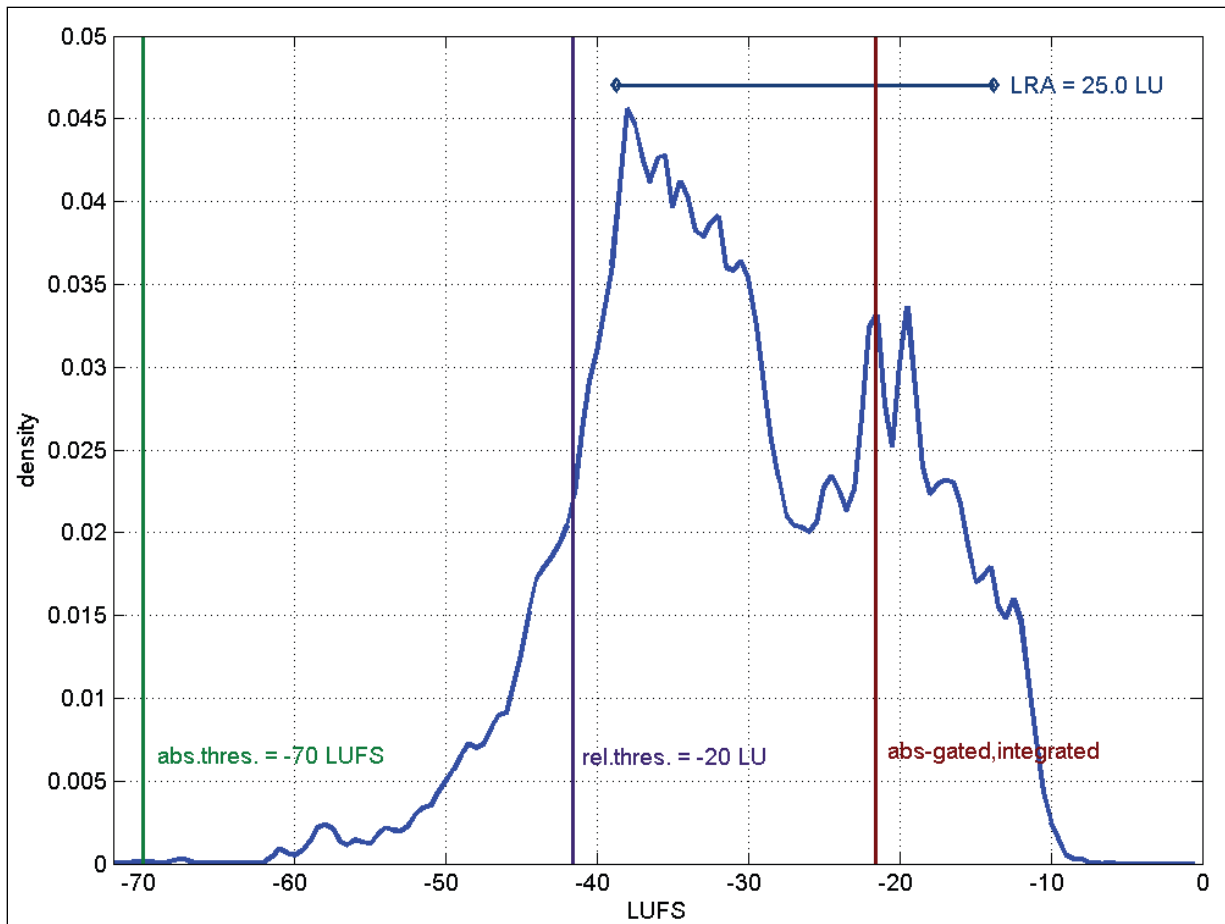


Abbildung 20: Verteilung der Lautheitspegel mit Gating und Lautheitsbereich [DOC. 3342, 2011]

Mit dem LRA-Wert lässt sich erkennen, ob eine Kompression nötig ist. Experimente der EBU haben ergeben, dass der Lautheitsbereich maximal etwa 20 LU umfassen sollte [DOC. 3343, 2011a].

Der Lautheitsbereich ist bei sehr kurzen Programmen von weniger als 30 Sekunden nicht sinnvoll, da zu wenige Messwerte vorliegen. Um auftretende extreme Lautheitspeaks zu begrenzen, wird empfohlen, den maximalen Wert der Momentary bzw. Short Term-Loudness zu begrenzen (maximal 8 LU bzw. 3 LU, siehe 4.2.1).

4.3 Anwendung der Empfehlung

Die Mischung, d.h. die Tonbearbeitung, erfolgt in erster Linie nach Gehör. Es gibt lediglich zwei Vorgaben: Ein Spitzenwert von -1 dBTP darf nicht überschritten werden und die Langzeitmessung des kompletten Programms muss 0 LU bzw. -23 LUFS ergeben. Laute Sequenzen dürfen wieder laut sein, da nach oben auf der Skala Platz ist und nicht mehr an der Aussteuerungsgrenze gearbeitet wird.

Für Lautheitsmessgeräte sind zwei relative Skalen vorgesehen. Die „EBU +9 Skala“ hat einen Umfang von $-18,0$ LU bis $+9,0$ LU. Die „EBU +18 Skala“ umfasst die Werte von $-36,0$ LU bis $+18,0$ LU. Erste wird als Standard angesehen. Die nachfolgende Abbildung zeigt die beiden Skalen.

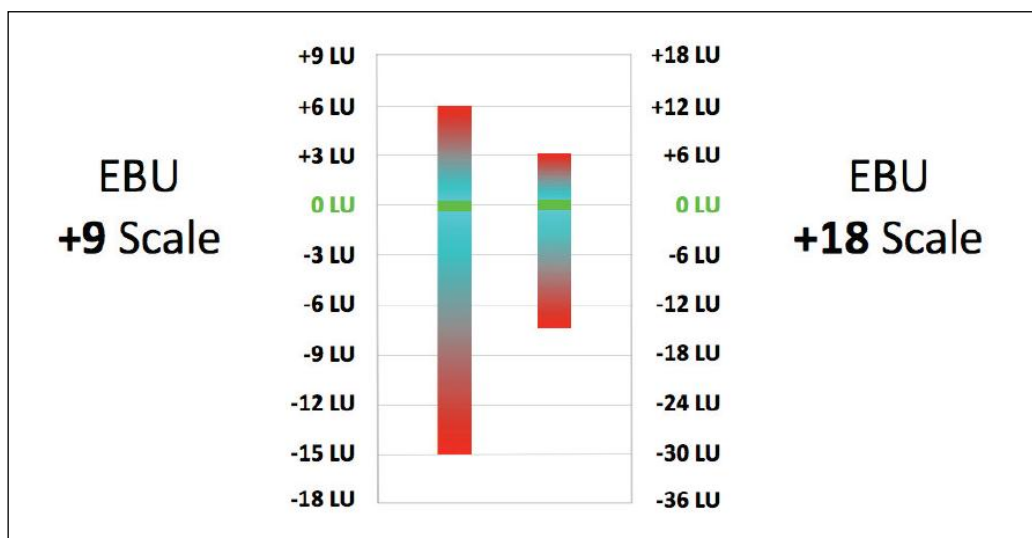


Abbildung 21: Schematische Abbildung der beiden Lautheits-Skalen in LU [DOC. 3343, 2011c]

Die Clippinggrenze eines digitalen Signals liegt bei 0 dBFS. Umgerechnet in die relative Einheit „Loudness Unit“ ergibt das 23 LU. Betrachtet man nun die Skala, wird deutlich, dass das Erreichen der Clippinggrenze unmöglich ist. Diese große Reserve wird wieder sehr dynamische Tonmischungen möglich machen.

Der Bezugspegel bzw. Nennpegel, für den ein Gerät ausgelegt ist, wird weiterhin bei -18 dBFS liegen. Dies entspricht 5 LU. Testtöne sind also nicht von einer Umstellung betroffen.

Für die Aussteuerung ist es sinnvoll, das Programm vorab zu hören, um einen Eindruck zu bekommen. Während der Mischung gibt die Short-Term Loudness eine Tendenz. Diese darf aber nicht allzu ernst genommen werden, da sonst die Dynamik nicht ausreichend groß ist. Bei Gesprächen muss eine Lautheit von 0 LU eingehalten werden. Ansonsten sind dem Toningenieur für eine kreative Mischung keine Grenzen gesetzt. Mit der Anzeige der Loudness Range gibt es einen zusätzlichen Parameter zur Tongestaltung.

Einen Gesamtüberblick über die einzuhaltenden Werte und Grenzen gibt die folgende Tabelle.

		Bemerkungen
Loudness		= subjektiv empfundene Lautstärke [LU] 1 LU (Loudness Unit) entspricht 1 dB
	Momentary (M)	Integrationszeit 400 ms Maximum, wenn <30s: -15 LUFS = +8 LU
	Short Term (S)	Integrationszeit 3 s Maximum, wenn <30s: -20 LUFS = +3 LU
	Integrated (I)	Start bis Stopp $L_K = -23,0 \text{ LUFS} = 0 \text{ LU}$, Toleranz $\pm 1,0 \text{ LU}$ absolutes und relatives Gating (-70 LUFS / -10 LU)
Maximum True Peak Level (PML)		-1 dBTP
Loudness Range (LRA)		LRA < 5 LU (gering) LRA \approx 10 LU (mittel) LRA > 15 LU (groß) $LRA_{\text{MAX}} \approx 20 \text{ LU}$

Tabelle 4: Überblick der Richtwerte und Grenzen für die Anwendung der R128

Um die Programmlautheit zu prüfen, muss ein Messgerät Logging- und Alarm-Funktionen besitzen, d.h. es werden zum einen Daten über die Lautheit gespeichert und zum anderen macht das Messgerät auf Fehler aufmerksam, die nicht konform der EBU R128 sind. Dazu zählen z.B.:

- das Überschreiten des True Peaks (−1 dBTP)
- das Unter- bzw. Überschreiten von frei wählbaren Werten, z.B. +6 LU und −14 LU
- das Fehlen von Metadaten

Software ermöglicht es, den Lautheitswert auch automatisch anzupassen. So verwendet beispielsweise die Schweizer tpc AG als erstes europäisches Rundfunkunternehmen vernetzte Audiometer zur automatischen Aussteuerung nach der Empfehlung 128. Diese wurden vom Hamburger Ingenieurbüro Pinguin entwickelt und verwenden die Lautheitsdaten von der Messung beim Einspielen zum Steuern der Audio-Leveler während der Sendung [*MEDIENBULLETIN, 2012*].

Für die MCS GmbH Sachsen empfiehlt sich dieser Workflow allerdings nicht. Ein Automatismus bedeutet zwangsläufig, dass das Ergebnis nicht immer optimal ist. Deshalb empfiehlt sich das Aussteuern nach Gehör.

5. Probleme der R128

Probleme der Lautheitsmessung treten vor allem bei zu kurzen Messintervallen auf. Ist ein Beitrag weniger als 30 Sekunden lang, reichen die Werte nicht aus, um einen realen Effektivwert bilden zu können. In einem solchen Fall müssen die Maximalwerte der Momentary und Short Term Loudness eingehalten werden (siehe Kapitel 4.2.1).

Ein anderes Problem ist, dass sich die R128 nicht auf Dialoge bezieht. Werden Filme mit lauten Effekten und Dokumentationen mit leisen atmosphärischen Tönen verglichen, so sind die Dialoge von Actionfilmen wesentlich leiser [SCHOLZ, 2012]. Eine Lösung ist Dialogue Normalization von Dolby Laboratories. Der DialNorm-Wert gibt die durchschnittliche Lautheit der Dialoge an und ist in den Metadaten des AC-3-Formats enthalten. Dieses ist ein hochqualitatives Audiodatenreduktionsformat von Dolby, das allerdings nur für die Distribution, nicht zum Bearbeiten geeignet ist [BET, 2012d]. Vor allem in den USA wird starker Fokus auf DialNorm gelegt.

Auch die Übergangszeit bis zur offiziellen Einführung der Lautheitsmessung am 31. August könnte problematisch sein. Einige Rundfunkanstalten wie beispielsweise der NDR sind in der Lautheit schon angepasst, während andere Programmschaffende noch an der Umsetzung arbeiten. Dies hat zum einen teilweise noch stärkere Lautheitsunterschiede zur Folge, zum anderen könnten Werbekunden Probleme bereiten, die nicht leiser als die Konkurrenz sein wollen. Es wird empfohlen, bis zum 31.8. auf -21 LUFS statt -23 LUFS zu normalisieren, um die Lautstärkedifferenzen im Rahmen zu halten [FSBL-K, 2012].

Ein weiteres Problem betrifft Archiv-Material. Alte Beiträge sind mit den lautheitsnormalisierten neuen Beiträgen nicht kompatibel und müssen in der Lautheit angepasst werden. Deshalb empfiehlt es sich, Archiv-Material vorher zu messen und den Lautheitswert zu vermerken, sodass bei einer erneuten Ausstrahlung nur um die jeweilige Differenz zu -23 LUFS bzw. 0 LU korrigiert werden muss. Sind Metadaten vorhanden, muss die jeweilige Programmlautheit immer korrekt angegeben werden [CAMERER, 2010].

Das Problem von Hörgeräte-Trägern ist, dass sie alle Töne gleich laut empfinden. Das gezielte Hören des menschlichen Gehörs, der sogenannte Cocktaileffekt, funktioniert nicht, sodass bei Musikunterhaltung die Sprachverständlichkeit stark leidet. Dies wird jedoch auch mit der R128 nicht verbessert werden können. Für solche Fälle gibt es zum Teil bereits eine zweite Mischung [*SIEGFRIED, 2012*].

Die Bestrebungen der Arbeitsgruppe P/LOUD sind eine weltweite Anerkennung der Norm zur lautheitsgerechten Tonaussteuerung. Die Empfehlung ist zwar international in der ITU-R BS. 1770-1 festgelegt, es obliegt aber jedem Land selbst, ob und wie die Empfehlung angewendet werden soll. Der internationale Datenaustausch von Fernsehmaterial stellt also nach wie vor das Problem ungleicher Lautheit dar. Auf den internationalen Stand wird in Kapitel 6 eingegangen.

6. Internationaler Stand

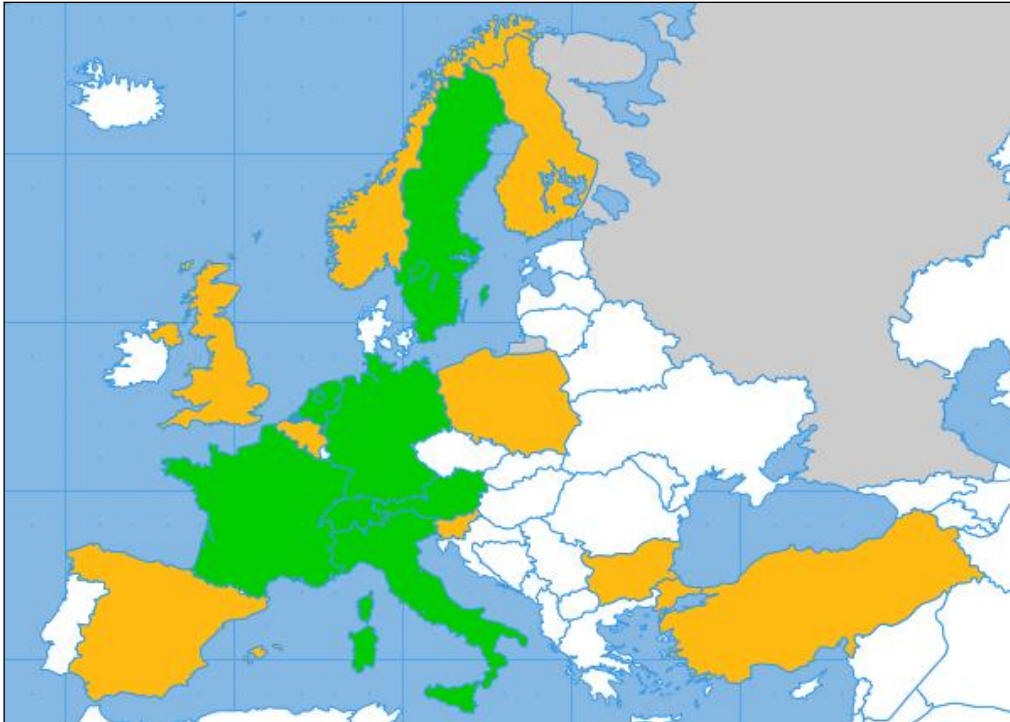
6.1 Allgemeines

Die Empfehlung zur Aussteuerung nach Lautheit hat sich international mit dem Standard ITU-R BS. 1770-1 durchgesetzt. Die Empfehlung dient als Grundlage für nationale Verordnungen. In Europa ist dafür die European Broadcasting Union (EBU) zuständig, in Nordamerika das Advanced Television Systems Committee (ATSC). In Japan sorgt die Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) für eine Anpassung der Lautheit. Die australischen Fernsehsender richten sich nach der Operational Practice OP-59 des Free TV Australia Engineering Committee.

Das relative Gating zum Ignorieren zu niedriger Pegel aus der EBU-Empfehlung 128 ist in der überarbeiteten ITU-Version BS. 1770-2 enthalten. Damit ist dieser Parameter (noch) nicht Bestandteil in beispielsweise der amerikanischen Verordnung.

6.2 Europa

Der European Broadcasting Union (EBU) gehören insgesamt 56 Staaten Europas, Nordafrikas und Vorderasiens an [EBU, 2012]. In Schweden, Deutschland, den Niederlanden, Frankreich, Italien sowie in Österreich und der Schweiz und in Israel wurde die neue Aussteuerungsrichtlinie bereits umgesetzt [KAHSNITZ, 2012]. Viele Länder sind noch in der Vorbereitung. Die nachfolgende Abbildung zeigt, in welchen Ländern die Norm umgesetzt ist (grün) und wo noch die Planungen laufen (gelb, Stand: 11.4.2012).



**Abbildung 22: Europaweite Umsetzung (grün) bzw. Vorbereitung (gelb) der EBU-Norm 128
[SIEGFRIED, 2012]**

In Deutschland ist der 31. August 2012 für die Lautheitsmessung vorgeschrieben. Der bisher geplante Termin am 1. Januar wurde verschoben, damit sich auch das private Fernsehen der neuen Norm anschließen kann. Der NDR hat als erster deutscher Sender bereits im Jahr 2010 auf Lautheitsnormalisierung umgestellt [SIEGFRIED, 2012]. Seit Herbst 2011 sind die Lautheitsvorgaben Bestandteil der Technischen Richtlinien für ARD, ZDF und ORF.

In Frankreich gilt die Empfehlung für Werbung seit dem 1. Januar 2012. Seit dem 1. Juni ist die Norm auch für das Programm relevant. Die durchschnittliche Programmlautheit (Integrated Loudness) liegt ebenso wie in Deutschland bei -23 LUFS. Die maximale Short Term Loudness darf -20 LUFS nicht überschreiten, der Maximalwert für die Momentary Loudness muss für ein Programm von weniger als zwei Minuten unter -16 LUFS liegen [KAHSNITZ, 2012].

Für Norwegen gilt die neue Richtlinie für den Hörfunk seit 2012. Der Lautheitswert liegt jedoch bei -15 LUFS. Mit der für 2017 geplanten UKW-Abschaltung soll der Wert dann auf -23 LUFS angepasst werden [KAHSNITZ, 2012].

In der Schweiz wird seit dem 29. Februar 2012 nach Lautheit ausgesteuert, in den Niederlanden bereits seit dem 1. September 2011 [KAHSNITZ, 2012].

In Italien wird der Zielwert nicht allgemein, sondern von jedem einzelnen Sender selbst vorgegeben. Voraussetzung ist nur, dass das Material innerhalb eines Kanals denselben Zielwert haben muss. Im Gegensatz zur R128 nutzen die italienischen Fernsehsender ein relatives Gate von -8 LU statt -10 LU [KAHSNITZ, 2012].

6.3 Amerika

Die USA setzen sich ebenfalls für eine einheitliche Lautheit ein. Dort gilt bereits seit Dezember 2010 der US CALM Act (Commercial Advertisement Loudness Mitigation). Dieser bezieht sich auf die nordamerikanische Empfehlung ATSC A/85 (Advanced Television Systems Committee), welche wiederum auf der ITU-R BS. 1770/1 basiert. Bis zum 13. Dezember 2012 muss jede Fernsehanstalt endgültig die Norm erfüllt haben, sonst drohen sogar Geldstrafen [FELDMAN, 2012]. Die Ziellautheit liegt in den USA ohne Schwellenwerte bei -24 LKFS (gleichbedeutend mit LUFS, K weist auf Art der Gewichtung hin). Werte, die 2 dB darunter liegen, sind ebenfalls in Ordnung. Der Spitzenwert darf -2 dBTP nicht überschreiten, um genügend Headroom zu garantieren [A/85, 2011]. Weiterhin arbeitet das amerikanische Fernsehen mit Dialogue Normalization (dialnorm). Dabei wird, wie bereits erwähnt, die Lautheit von Dialogen mittels Metadaten an den Wert 0 LU angepasst [A/85, 2011].

In Kanada liegt ebenfalls die Empfehlung ATSC A/85 zu Grunde. Mit der Canada Bill C-621 trat das Gesetz zur einheitlichen Lautheit im vergangenen Jahr in Kraft. Für die Umsetzung ist dort die Canadian Radio-television and Telecommunications Commission (CRTC) verantwortlich.

7. Implementierung der R128 bei der MCS Sachsen

7.1 Die MCS GmbH Sachsen

Die MCS GmbH Sachsen ist ein Tochterunternehmen der DREFA Media-Holding GmbH und der Bavaria-Film GmbH mit Hauptsitz in Dresden.

Das Unternehmen ist als technischer Dienstleister für Hörfunk und Fernsehen Partner für Werbefilm- und Audioproduktionen jeder Art. In eigenen Hörfunk- und Fernsehstudios werden täglich Programme für den MDR produziert [MCS, 2012]. Hier erstellte Fernsehproduktionen sind Sendungen wie der „Sachsenpiegel“, „Fakt ist“, „Kripo live“ sowie die sorbischen Magazine „Wuhladko“ und „Łužyca“.

Weiterhin vermietet das Unternehmen HD-Technik in Dresden und Leipzig und übernimmt Projekte für EB-Kamerateams, Tonaufnahmen, Fernseh-Grafiken und Animation sowie für DVD-Authoring. Zusätzlich werden Werbespots, Messefilme und Imagefilme für Unternehmen in Sachsen produziert [DREFA, 2012].

Das Landesfunkhaus verfügt für MDR-Produktionen über ein virtuelles Studio. Die Render Engines des virtuellen Sets erzeugen das Fill Signal aus dem grafischen Hintergrund und den von der Kamera gelieferten Trackingdaten. Das Kamerabild vor einem Green Screen wird gekeyt und mit dem Fillsignal zur virtuellen Kamera zusammengefügt. Das virtuelle Studio wird beispielsweise für das tägliche Regionalmagazin „Sachsenpiegel“ benötigt. An diesem Beispiel wird der Produktionsablauf einer Sendung beschrieben:

Nach einer Redaktionskonferenz erarbeiten die Tagesreporter mit einem klassischen EB-Team ihr jeweiliges Thema. Ein Wochenplaner kümmert sich um die langfristige Themenplanung. Bereits produzierte tagesunabhängige Beiträge landen im Stehsatz und dienen für kommende Produktionen.

Nach dem Dreh gelangt das Rohmaterial zum Aufzeichnungskomplex (AZK) auf einen K2-Server. Im AZK wird für die Weiterleitung der Daten gesorgt. Für den Daten-

austausch von und nach Leipzig gibt es jeweils zwei Austauschleitungen (ALT). Weiterhin können Daten als File per FTP transportiert werden (siehe Abbildung 23).

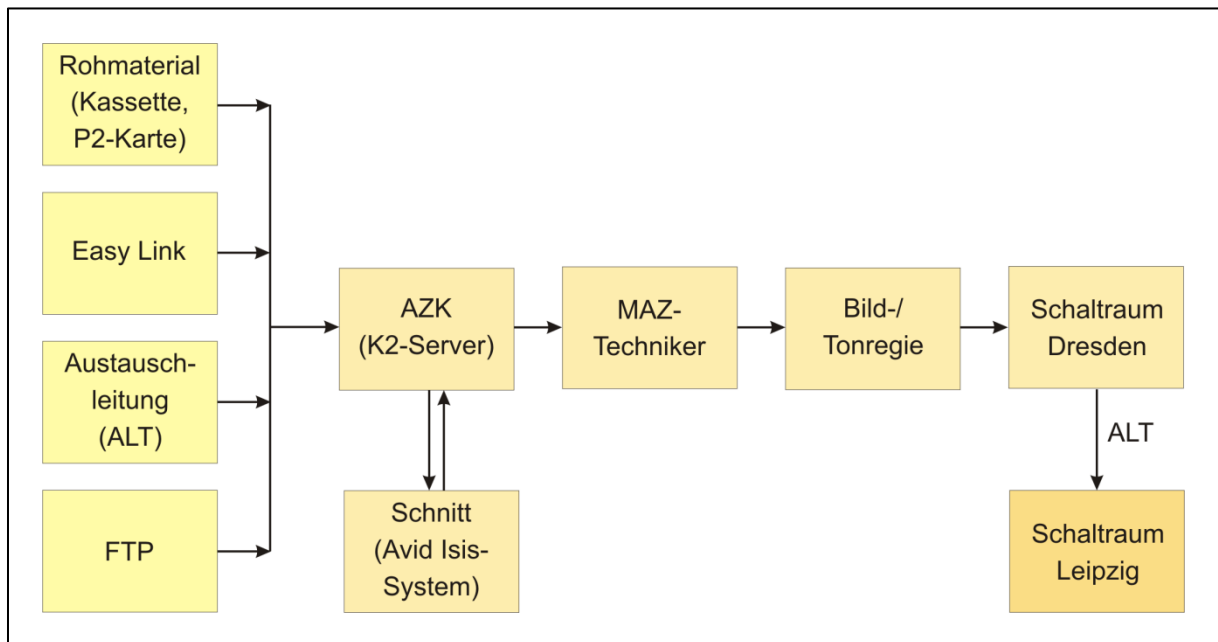


Abbildung 23: Datentransport vom Rohmaterial bis zum Sendematerial

Rohmaterial, das im Haus weiter bearbeitet wird, gelangt in ein weiteres System (AVID Isis), auf das die Schnittplätze zugreifen können. Nach dem Schnitt wird der Beitrag vertont und wieder auf den K2-Server transferiert, wovon aus der MAZ-Techniker auf die Beiträge für die Sendung zugreifen kann. Die technische Ausstattung ist in zwei zentralen Geräteräumen (ZGR) untergebracht.

Um Live-Schalten auch außerhalb von Dresden realisieren zu können, hat die MCS GmbH drei SNGs, die sogenannten Easy Links, im Einsatz. Jede Easy Link ist mit EB-Technik, einem Schnittplatz sowie einer Satellitenschüssel ausgestattet. Die digitale Satellitenübertragung wird vom Unternehmen SATCOM in Dreieck mit dem System easyLINK durchgeführt. EB-Kamera und Mikrofon werden über Glasfaser an das System angeschlossen, über den Satelliten wird das Material dann nach Leipzig gesendet.

Für den Sachsenspiegel muss um 19 Uhr im Schaltraum regionalisiert werden, d.h. anstatt des MDR-Rahmenprogramms wird nach der Umschaltung das jeweilige Regionalprogramm gesendet. Das Signal aus der Bildregie wird mit embedded Audio,

dem Tonsignal in der Austastlücke, über eine der Austauschleitungen nach Leipzig transferiert. Von dort aus gelangt es nach Potsdam, wo das Play-Out-Center den Datenstrom auf einen Uplink zu den Astra-Satelliten bringt.

In allen genannten Bereichen sind Messgeräte erforderlich. An den Schnittplätzen, für die EasyLinks und in der Tonregie werden sie für die Mischung benötigt. Der MAZ-Techniker braucht diese für Abnahmen. Weitere Messgeräte sind zur Kontrolle für die Messtechnik, den Aufzeichnungskomplex und den Schaltraum unabdingbar.

Bisher wurden für die Audiomessung Sichtgeräte von RTW eingesetzt. Diese messen als Peakmeter die Spitzenpegel, zeigen als Goniometer den Phasenversatz zwischen linkem und rechtem Kanal an und dienen als Korrelator zur Beurteilung der Mono-Kompatibilität.

Diese Funktionen sind auch Bedingungen für die neuen Messgeräte. Auf eine Beschreibung einiger Audiomessungen wird im Punkt 7.2 eingegangen.

7.2 Audiomessungen

Um den Anforderungen der ITU-Empfehlung BS.1770 sowie dem EBU-Dokument 3341 gerecht zu werden, müssen entsprechende Lautheitsmessgeräte in der kompletten Produktionskette des Landesfunkhauses Dresden verbaut werden. In diesem Kapitel werden wichtige Lautheitsmessungen beschrieben.

a) Peak Programme Meter

Bisher war das Peak Programme Meter das wichtigste Messgerät zur Aussteuerung. Es zeigt die momentanen Spitzenpegel über eine Bargraph-Anzeige (siehe Abbildung 24 oben). Unterschieden werden True Peak (TPPM) und Quasi Peak Programme Meter (QPPM). Der Unterschied liegt in der Integrationszeit, also der Zeit vom Ereignis zum Signalausgang. Ein True Peak Programme Meter hat eine sehr geringe Integrationszeit von weniger als einer Millisekunde. Es zeigt also alle Spitzenpegel, egal wie kurz das Signal ist. Ein Quasi Peak Programme Meter hat eine

Integrationszeit von 10 ms. Peaks von kürzerer Dauer zeigen deshalb einen geringeren Pegel an als er in Wirklichkeit ist. Beide Modelle haben eine lange Rücklaufzeit von etwa 10 dB/s, damit eine Ermüdung des Auges verhindert wird [DICKREITER et al., 2008f]. Eine Halte-Funktion (peak hold) zeigt den Maximalpegel über längeren Zeitraum.

Für die Lautheitsmessung wird laut EBU-Dokument 3343 ein True Peak Programme Meter mit 4-fach Oversampling benötigt. Dadurch können die Spitzenpegel genauer angezeigt werden.

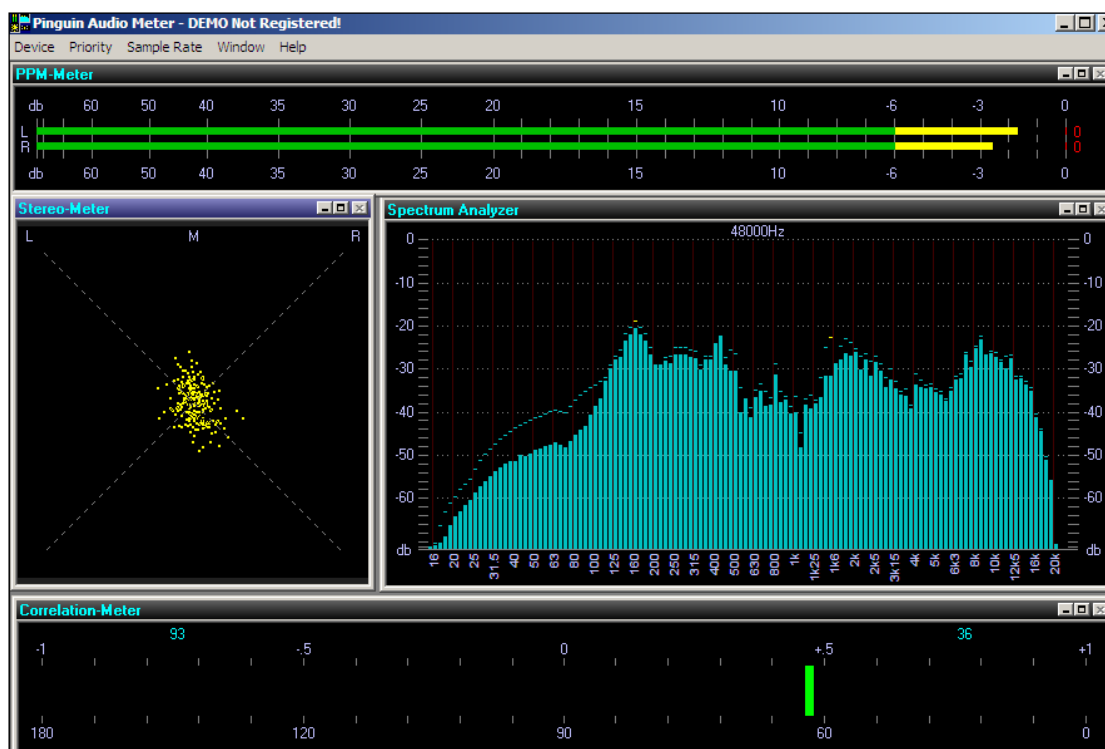


Abbildung 24: Screenshot „Pinguin Audio Meter“ (Peakmeter, Goniometer, Spectrum Analyzer, Korrelator)

b) Goniometer

Ein Goniometer bzw. Stereosichtgerät misst die Phasenlage bei Stereo-Signalen, d.h. den Phasenversatz zwischen linkem und rechtem Kanal [DICKREITER et al., 2008g]. Damit lassen sich unter anderem die Richtung der Audioquelle sowie Fehler wie der Ausfall eines Kanals oder phasenverkehrte Stereosignale erkennen. Die bei-

den Audiokanäle sind in einem Winkel von 90° gegeneinander dargestellt [BET, 2012b]. Eine Goniometer-Anzeige ist in Abbildung 24 in der Mitte links dargestellt.

c) Korrelationsgradmesser

Ein Korrelator zeigt an, ob ein Stereo-Signal monokompatibel ist. Die Skala reicht von -1 bis $+1$. Bei $+1$ sind beide Kanäle identisch. Es liegt ein monofones Programm vor. Befindet sich der Wert zwischen 0 und 1 , oder besser zwischen $0,2$ und $0,7$, handelt es sich um ein kompatibles Stereosignal. Wenn ein Kanal völlig fehlt oder die Signale komplett verschieden sind, ist die Anzeige 0 . Bei negativen Werten handelt es sich um ein phasenverkehrtes Stereosignal. Dieses ist nicht kompatibel [DICKREITER et al., 2008f].

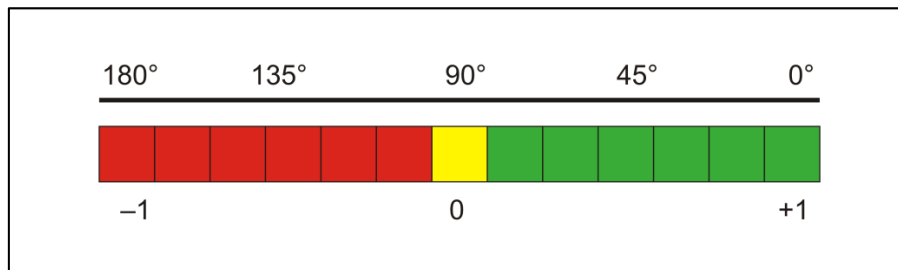


Abbildung 25: Korrelationsgradmesser

d) Augendiagramm

Ein Augendiagramm bzw. Eye Pattern zeigt die zeitliche Abweichung vom Nulldurchgang bei festgelegtem Signalpegel [DICKREITER et al., 2008g]. Dieser sogenannte Jitter ist eine zeitliche Signalschwankung und wirkt sich als Taktungenauigkeit der einzelnen Bits aus. Er ist umso größer, je kleiner die Augenöffnung ist, d.h. der Entscheidungsraum, ob es sich um eine logische Eins oder Null handelt [DICKREITER; 2008h].

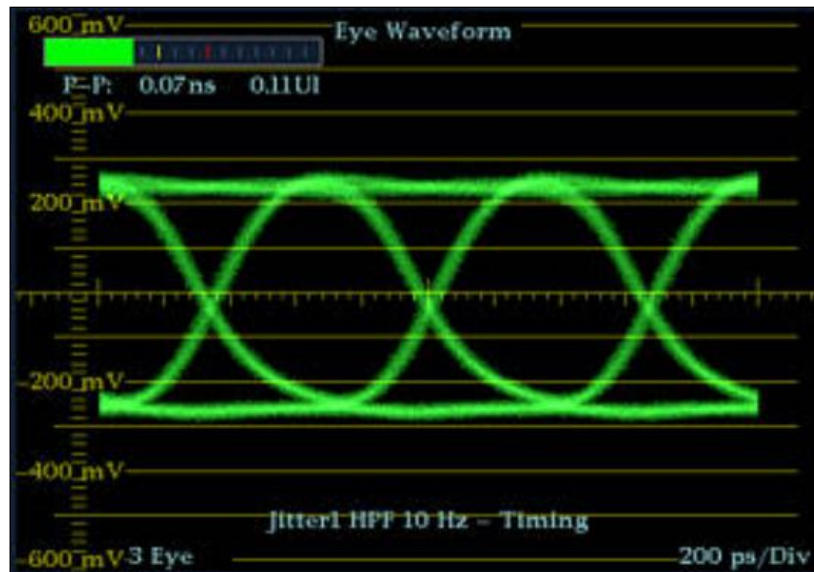


Abbildung 26: Eye Pattern auf einem WFM von Tektronix [TEKTRONIX, 2012a]

e) Frequenzanalyser

Ein Frequenzspektrum zeigt die Bestandteile eines Signals, abhängig von der Frequenz. Mittels dessen Darstellung können beispielsweise fehlende Frequenzen schnell ausgemacht werden. Eine Beispieldarstellung ist ebenfalls in Abbildung 24 (Mitte rechts) zu sehen.

7.3 Geräteaustausch

7.3.1 Vorbetrachtungen

Die erste zu klärende Frage war nach der Verwendung von Software oder Hardware. Software, z.B. von zplane oder Pinguin, ist wesentlich preisgünstiger zu erwerben und benötigt im Gegensatz zu Hardware keinen zusätzlichen Platz (mit Ausnahme eines möglicherweise zusätzlichen Monitors). Weiterhin entfallen damit der Einbau sowie die Kabelverlegung. Hardware hingegen hat den Status eines soliden und präzisen Messinstruments. Es wird nur das zugeführte Signal und nicht der Ausgang der Soundkarte gemessen. Außerdem ist ein Messgerät unabhängig von Problemen des Arbeitsrechners.

Gespräche mit Cuttern ergaben, dass sich größtenteils klassische Geräte gewünscht werden, bevorzugt getrennt für Audio und Video.

Die nächste Betrachtung galt der Verwendung. Die Lautheitsnormalisierung betrifft den kompletten Workflow, also vom Ingest über die Produktion bis zum Play Out mit anschließender Distribution. Folgende Bereiche der Produktion sind demnach von der Umstellung bei der MCS betroffen:

- Tonregie
- acht Edit Suites
- Abnahme
- Messtechnik
- Aufzeichnungskomplex (AZK)
- Schaltraum
- drei SNGs

Eine Sendeabwicklung gibt es nicht. Die Programmbeiträge gehen über eine Austauschleitung nach Leipzig und dort über die Sendeabwicklung nach Potsdam zum Satelliten. Dennoch soll es auch am Sendeausgang des Landesfunkhauses einen Leveler geben, der bei starken Abweichungen zur R128 das Sendematerial anpassen kann. Dieser würde den bisher genutzten Limiter b41 von Jünger ersetzen. Auf den Sendeausgang wird in Kapitel 7.3.3. eingegangen.

Die folgende Tabelle zeigt, welche Messgeräte momentan an den Arbeitsplätzen genutzt werden:

	Tonmessung	Videomessung
Tonregie	Mischpult Lawo mc ² 66 RTW Surround Monitor 10900	–
Edit Suites	RTW Porta Monitor bzw. RTW Multi Monitor	Tektronix WFM 601A, 700 oder 5000
Abnahme	RTW Porta Monitor (1061 Plus)	Tektronix WFM 5000
Messtechnik	RTW Peakmeter, Audio Analyzer von Rohde &	Tektronix Waveform und Vektor Monitor 1751 A

	Schwarz und Neutrik	Tektronix WFM 601 M
Aufzeichnungskomplex	RTW Porta Monitor	Tektronix WFM 601 M
Schaltraum	RTW Porta Monitor	Tektronix WFM 601 M
SNGs	RTW Peakmeter	mit der Schnittsoftware AVID

Tabelle 5: Bisher genutzte Messgeräte

Die Porta Monitore von RTW zeigen Peakmeter, Goniometer und Korrelator. Ebenso der Surround Monitor in der Tonregie. An diesem Gerät können zusätzlich Audiogruppen festgelegt werden.

Aus den bisher genutzten Geräten lassen sich die Anforderungen an die neuen Messgeräte ableiten. Diese sind in Tabelle 6 dargestellt.

	Peakmeter	Goniom.	Korrelator	Spektrum	Lautheit	Trend	Alarm	Error Log	Jitter	Video	Sonstiges
Tonregie	x	x	x	x	x	x					R128-Update für Mischpult
Edit Suites	x	x	x		x		x			x	gute Sicht auf Auswertung
Abnahme	x	x	x		x		x			x	
Messtechnik	x	x	x	x	x		x			x	portabel
AZK	x	x	x		x		x			x	
Schaltraum	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
SNGs	x		x		x						klein, handlich

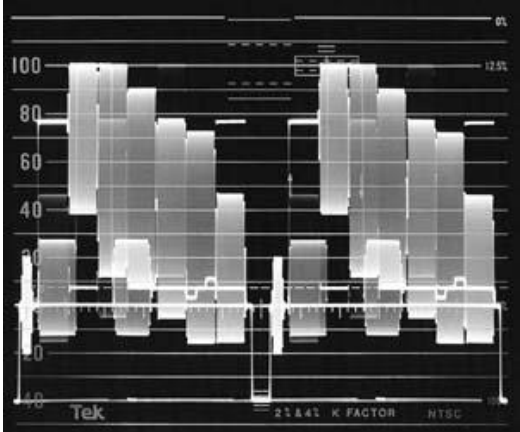
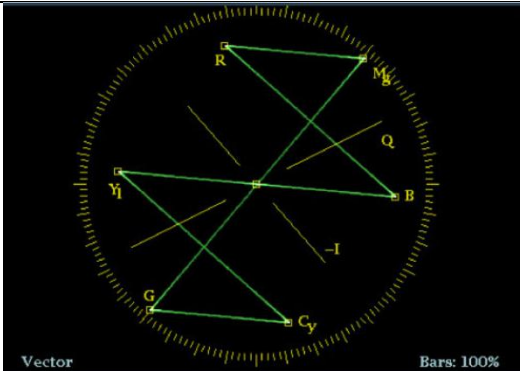
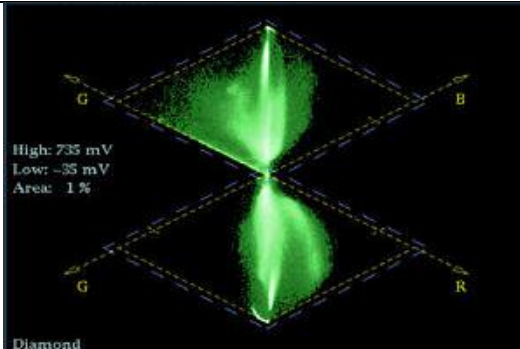
Tabelle 6: Anforderungen an die neuen Messgeräte

Bei den künftigen Messgeräten muss beachtet werden, dass sie Embedded Audio und HD-Material (1,5G) verarbeiten können. Die bevorzugte Schnittstelle ist SDI. Da im Haus nur Stereomaterial produziert wird und Dolby E in naher Zukunft nicht geplant ist, reichen Stereosichtgeräte aus.

Im Zusammenhang mit der geplanten Umstellung auf HD und der damit verbundenen Neuanschaffung von Videomessgeräten, werden Kombigeräte betrachtet, die neben der Audio- auch Videomessung ermöglichen. Um den Cuttern dennoch eine ange-

nehme Sicht auf die Messauswertungen zu bieten, werden für die Edit Suites Rasterizer geplant, an die ein Monitor angeschlossen werden kann. Die Videomessung ist neben den Schnittplätzen auch für die Abnahme, die Messtechnik, den Aufzeichnungskomplex sowie den Schaltraum wichtig.

Folgende Messfunktionen sind Bedingungen für eine ausreichende Videomessung:

	Beschreibung	Abbildung
Waveform	Mittels des Waveformmonitors wird die elektrische Spannung der Videopegel gemessen. Damit wird kontrolliert, dass diese nicht über- bzw. untersteuert, d.h. die Pegel müssen zwischen 0 und 700 mV liegen.	 <p>[TEKTRONIX, 2012b]</p>
Vektorskop	Ein Vektorskop stellt die Farbvektoren dar. Daran lässt sich erkennen, ob alle Farben legal sind. Diese liegen innerhalb des Kreises.	 <p>[TEKTRONIX, 2012c]</p>
Gamut-Fehler	Gamut ist die Menge der legalen Farben. Alles außerhalb dieses Farbraums sind Fehler, die mittels verschiedener Darstellungsformen (z.B. Diamond von Tektronix) angezeigt werden können.	 <p>[TEKTRONIX, 2012d]</p>
Picture	Mit dieser Funktion kann das	

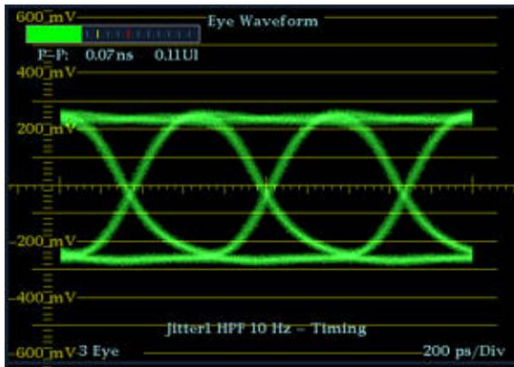
	eigentliche Programmbild betrachtet werden.	
Jitter	Die Jitter-Messung zeigt die zeitliche Abweichung des Signals, welche als Eye Pattern angezeigt wird.	 <p>[TEKTRONIX, 2012a]</p>

Tabelle 7: Wichtige Videomessfunktionen

7.3.2 Teststellung

Nach Betrachtung der technischen Anforderungen wurden Angebote von RTW, Tektronix, Harris, DK Technologies und Leader eingeholt. In Frage kommende Messgeräte wurden zur Teststellung ausgeliehen. Die Geräte aus folgender Tabelle waren für diesen Zweck zum Testen im Haus.

	Gerät	Verwendung
Harris	CMN-LA	umfangreiche Audiomessung
	VTM 4100	Audio- und Videomessung (Rasterizer)
Tektronix	WVR 5200	Audio- und Videomessung (Rasterizer)
	WFM 5200	Audio- und Videomessung
	WFM 7200	Audio- und Videomessung, Extras
DK Technologies	DK1	einfache Audiomessung
RTW	TM3	einfache Audiomessung
	TM9	umfangreiche Audiomessung

Tabelle 8: Geräte für die Teststellung



Abbildung 27: Teststellung im Schaltraum des Landesfunkhauses Dresden

Den Testgeräten wurde das durchgeschliffene SDI-Signal vom Waveformmonitor 601 von Tektronix bzw. über einen frei beschaltbaren Ausgang eines Steckfelds von der digitalen Videokreuzschiene gegeben. Für das DK 1 sowie für das TM3 und TM9 mussten die Audiosignale deembedded und von BNC auf zwei XLR-Stecker aufgetrennt werden, um dann auf einen D-Sub-Stecker gelötet werden zu können. Die Messgeräte von Harris und Tektronix verfügen über einen SDI-Input über einen BNC-Stecker. Das SDI-Signal wurde über einen Verteilverstärker auf die Messgeräte gegeben.

Während der Teststellung wurden alle Messgeräte mit Testtönen von der EBU geprüft. Diesen Test haben alle bestanden. Für eine Entscheidung wurden die Leistungen und der Preis aller Geräte miteinander verglichen. Eine Übersicht darüber zeigt Tabelle 9. Neben Video- und Audiomessfunktionen wurden auch folgende Funktionen berücksichtigt:

- Verarbeitung des Timecodes
- Netzwerkfähigkeit
- Möglichkeit des Durchschliffs (Loop-through)
- Steuerung von Signalen (General Purpose Input/Output, GPI/O)
- Möglichkeit, Alarm auszulösen und Fehler zu dokumentieren (Error Log)
- Möglichkeit der freien Belegung der Funktionen auf dem Monitor
- Erstellen von Presets

		DK 1	TM 3	TM 9	CMN- LA	VTM 4100	WFM 5200	WVR 5200	WVR 7200	
Ein- gänge	SDI 1,5G	(x)	–	(x)	x	x	x	x	x	
	SDI 3G	(x)	–	(x)	x	–	(x)	(x)	(x)	
	AES	emb.	(x)	–	(x)	x	(x)	x	x	x
		diskr.	x	x	x	(x)	x	–	–	x
Video	WFM	–	–	–	–	x	x	x	x	
	Vektor	–	–	–	–	x	x	x	x	
	Gamut	–	–	–	–	x	x	x	x	
	Picture	–	–	–	x	x	x	x	x	
	Jitter	–	–	–	–	x	–	–	x	
Audio	Peakmeter	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Lautheit	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Korrelator	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Goniometer	–	–	x	x	x	x	x	x	
	Spectrum	–	–	x	x	–	–	–	–	
	Trend	x	–	–	–	x	x	x	x	
	Radar	–	–	x	x	–	–	–	–	
	Surround	(x)	x	x	x	x	x	x	x	
Sonst.	Timecode	–	–	–	x	x	x	x	x	
	Ethernet	–	–	x	x	x	x	x	x	
	Loop-thr.	(x)	x	x	x	x	x	x	x	
	GPI/O	–	x	x	x	x	x	x	x	
	Alarm	–	–	–	x	x	x	x	x	
	Error Log	–	–	–	x	(x)	x	x	x	
	Freie Beleg.	–	x	x	–	x	x	x	x	
	Presets	x	x	x	x	x	x	x	x	
Listenpreis (€)		995	1.080	5.890	9.413	5.428	9.160	8.304	19.480	

(x) = gegen Aufpreis um die jeweilige Funktion erweiterbar

Tabelle 9: Auswertung der Test-Messgeräte

Alle Messgeräte erfüllen die EBU-Norm und die wesentlichen Messfunktionen.

Für die Easy Links standen das DK 1 von DK Technologies sowie der Touchmonitor TM3 von RTW zur Verfügung. Beide messen die Spitzenwerte (Peaks) und die Lautheitsparameter Momentary oder Short Term Loudness, Integrated Loudness, True Peak und den Lautheitsbereich. Die Anzeige erfolgt bei beiden als Bargraph und numerisch. Außerdem können beide Geräte Presets speichern und liegen auch preislich im selben Rahmen.

Vorteil des DK 1 ist ein Verlauf der vergangenen Lautheitswerte. Weiterhin ist es platzsparender als das TM3, da das Messgerät in den Monitor integriert ist und durch mitgelieferte Aufhängung einfach eingebaut werden kann. Allerdings ist die Menüführung sehr umständlich und unübersichtlich.

Beim TM3 ist sowohl die Menü-Führung als auch die Anzeige sehr übersichtlich und leicht verständlich. Die Anordnung der einzelnen Darstellungen kann individuell erfolgen. Das TM3 kann horizontal oder vertikal konfiguriert werden. Auf Grund dieser Vorzüge fiel die Entscheidung zu Gunsten von RTW aus.



Abbildung 28: TM3 zur Audiomessung für die Easy Links [RTW, 2012a]

Bei den Kombigeräten waren Harris und Tektronix in der näheren Auswahl. Der CMN-LA von Harris scheidet allerdings auf Grund zu weniger Videomessfunktionen aus. Der VTM sowie die 5200er von Tektronix erfüllen die Mindestanforderungen.

Der wesentliche Unterschied liegt bei der Gamutdarstellung. Da im Haus bereits Tektronix-Messgeräte verbaut sind, sind die Mitarbeiter mit den patentierten Diamond- und Arrowhead-Darstellungen von Tektronix vertraut. Die Gamut-Anzeige von Harris ist stark an das Vektorskop angelehnt. Ein weiterer Unterschied ist das relative Gating bei den Harris-Geräten. Diese nutzen ein Gating von -20 LU statt -10 LU unter dem aktuellen absolute-gated Lautheitswert. Die Teststellung fiel schließlich zu Gunsten von Tektronix aus. Diese Messgeräte sind übersichtlich in der Menüführung und bereits den meisten Mitarbeitern vertraut.

Die Anforderungen an die neuen Messgeräte sind vom Einsatz abhängig. Für die Schnittplätze, die Abnahme, in der Messtechnik sowie im Aufzeichnungskomplex soll es der WFM 5200 bzw. der Rasterizer WVR 5200 werden. Der Rasterizer ist für die Schnittplätze vorgesehen. Durch den Anschluss eines Monitors wird den Cuttern ein komfortabler Blick auf die Sichtgeräte gewährleistet. Zur Grundausstattung des Waveformmonitors kommen die Optionen „Audio“ und „Loudness“ hinzu. Damit sind Peak- und Lautheitsmessungen möglich sowie die Funktion, bei Nichteinhalten vorgegebener Bedingungen Alarm auszulösen und mittels Error Logging ein Fehlerprotokoll auszugeben.



Abbildung 29: WFM und WVR 5200 für die Schnittplätze sowie Messtechnik, AZK und Abnahme [TEKTRONIX, 2012e]

Der Schaltraum benötigt ein umfangreicheres Messgerät, um beispielsweise auch den Jitter messen zu können. Vor allem die Error-Logging-Funktion ist besonders sinnvoll. Für den dort Dienst habenden Betriebsingenieur ist der Rasterizer WVR 7200 geplant. Dieser kann im Gegensatz zum 5200er gleichzeitig vier Messun-

gen durchführen. Beim 5200er reicht die Kapazität nur für zwei gleichzeitige Messungen.



Abbildung 30: WVR 7200 für den Schaltraum [TEKTRONIX, 2012c]

Die Tonregie erhält für das Mischpult von Lawo ein Update, um lauteitsnormalisiert auszusteuern. Da die Anzeige auf dem Mischpult allerdings nicht viele Funktionen bietet, ist ein zusätzliches Sichtgerät zu empfehlen, das über eine Haltevorrichtung am Mischpult bzw. in einem Rack befestigt werden kann. Besonders gut eignet sich für diesen Zweck das TM9 von RTW. Der Touchmonitor erfüllt alle Voraussetzungen an eine gute Lautheitsmessung. Besonders vorteilhaft ist die Radarfunktion, die den Verlauf über eine beliebige Zeitspanne zeigt. In der vollen Ausstattung zeigt das Gerät neben den Lautheitsparametern True Peak, Loudness Range und den Kurzzeit- sowie Langzeitmesswerten der Programmlautheit die spektrale Verteilung des Signals, klassische Peakmeter sowie Goniometer und Korrelator. Die Messwerte können als Bargraph und numerisch angezeigt werden. Die Menüführung ist überschaubar und erfolgt entweder über das Touchdisplay oder über eine angeschlossene Maus. Besonders günstig ist die Möglichkeit der freien Anordnung der Messfunktionen.



Abbildung 31: Touchmonitor TM9 von RTW für die Tonregie [RTW, 2012b]

Ein Gespräch mit den Toningenieuren ergab, dass eine Befestigung am Mischpult ungeeignet ist und der Einbaurahmen unmittelbar neben dem Mischpult vorzuziehen ist. Das kleinere TM7 erfüllt dieselben Funktionen wie das TM9, passt aber in ein 3 HE-Einbaurahmen (drei Höheneinheiten). Der Surround Monitor 10900 von RTW bleibt bestehen, sodass das zusätzliche TM7 nur mit der Lautheitsoption und der Option „Radar Loudness“ ausgestattet werden muss.

7.3.3. Sendeausgang

Die Audiosignale aus der Tonregie werden in das Videosignal aus dem Bildmischer eingebettet und als SDI-Signal auf die zentrale Videokreuzschiene gegeben. Dort gibt es drei verschiedene Ausgänge für das Signal. Die erste Senke wird als Signal „Bildregie“ wieder als Quelle auf die Kreuzschiene geführt. Der zweiten Senke werden das MDR-Logo sowie Fernsehtextinformationen über einen Datenzeilenkombinierer inseriert. Anschließend führt das Signal als „Logo“ wieder auf einen Kreuzschienen-Eingang. Der dritte Ausgang, mit „Bildregie“ oder „Logo“ beschalten, führt zum Signalübergaberaum und geht von dort über eine Austauschleitung nach Leipzig.

Um an letzter Stelle eine Fehlaussteuerung des Tons verhindern zu können, empfiehlt sich für den Sendeausgang ein Leveler. Da insgesamt vier Audiokanäle das Landesfunkhaus verlassen, bietet sich der digitale Audioprozessor „D*AP LM4“ von Jünger Audio an. Mittels des Loudness-Managements LEVEL MAGIC™ wird eine Anpassung der Lautstärke an die Empfehlung 128 gewährleistet. Dabei wird das Signal über eine frei wählbare Zeitspanne gemessen und bei Über- oder Unterschreiten bestimmter Werte an einen Zielwert angepasst. Probleme gibt es lediglich im Mischbetrieb von Archivmaterial nach der alten Norm R 68 und neuen lautheitsnormierten Beiträgen, da es durch den Messvorgang zu Verzögerungen in der Anpassung kommt [JÜNGER, 2012]. Dieses Problem lässt sich aber vorab durch eine Bearbeitung von Archivmaterial beseitigen.

7.3.4 Archivmaterial

Ein Problem der neuen Richtlinie ist die Handhabung von peakausgesteuertem Archivmaterial und neuem, lautheitskonformen Material. Archivmaterial muss unbedingt mit der jeweiligen Lautheit gekennzeichnet werden bzw. muss diese in den Metadaten vorhanden sein. Weicht die Lautheit vom Zielwert -23 LUFS bzw. 0 LU ab, so muss sie vor erneuter Ausstrahlung um diesen Differenzwert korrigiert werden.

Zum Messen des Archivmaterials bietet sich zusätzliche Software an, um nicht den Beitrag in Echtzeit mit Hardware messen zu müssen. Dafür eignen sich zum Beispiel die Software-Audiomultimeter „PG-AMM“ von Pinguin oder „PPMulator“ von der Firma zplane (siehe Abbildung 32 und 33). Beide Programme bieten eine Logging-Funktion an, mit der verschiedene Parameter sekundenschnell ausgewertet werden können. Voraussetzung ist allerdings ein filebasiertes Arbeiten. Da die Programmbeiträge bei der MCS GmbH Sachsen in der Regel vom Server abgespielt werden, bietet sich eine solche Software an. Im besten Fall wird die Lautheit bei jedem Beitrag unmittelbar nach dem Schnitt gemessen und vermerkt. Für den Austauschkomplex, wo Daten verschickt und angenommen werden, bietet sich ebenfalls Messsoftware an, um Sendematerial gleich nach Dateneingang mit der jeweiligen Lautheit zu versehen.



Abbildung 32: Screenshot des Audiomultimeters von Pinguin



Abbildung 33: Screenshots des „PPMulators“ von zplane

Bei der MCS Sachsen wird auf DVCPPro 50-Kassetten archiviert. Ein Vermerk über Metadaten ist demnach nicht möglich. Es bietet sich nur an, die Programmlautheit auf der Bandbegleitkarte zu vermerken. Dies macht allerdings auch nur dann Sinn, wenn regelmäßig Archivmaterial erneut ausgestrahlt wird, ohne jedoch eine erneute technische Abnahme durchzuführen. Im Fall des Landesfunkhauses in Dresden wird jedoch kaum Archivmaterial in identischer Form ausgestrahlt und bedarf bei Ausstrahlung einer erneuten technischen Abnahme. Die Programmlautheit wird in die-

sem Fall sowieso ermittelt und anschließend angepasst werden. Die Zeitersparnis durch lediglich die Korrektur um den Differenzwert ist damit hinfällig.

Ein Vermerk ist nur bei einem digitalen Archiv einer großen Fernsehanstalt sinnvoll. In diesem Fall sind auch automatisierte Abläufe bei der Lautheitsnormalisierung mittels Metadaten möglich.

7.4 Lautheitsmessungen

Während der Teststellung wurde die Lautheit des Sachsenspiegels gemessen. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Lautheitsparameter Mitte April 2012.

		13.4.	16.4.	17.4.	18.4.	19.4.	20.4.	24.4.	25.4.
CMN- LA	L _K [LUFS]	-20,0	-19,8	-19,5	-19,1	-21,7	-21,3	-19,1	
	TP [dBTP]	-9,2	-9,2	-9,3	-0,2	-6,0	-9,3	-9,2	
	LRA [LU]	5,7	4,9	5,2	6,1	5,7	6,1	5,1	
VTM	L _K [LUFS]	-19,5	-19,9	-19,7	-19,2	-21,8	-20,8	-19,2	
	TP [dBTP]	-9,2	-9,2	-9,3	-0,2	-6,0	-9,3	-9,2	
	LRA [LU]	5,6	4,8	5,1	6,0	5,6	6,1	5,1	
WFM 5200	L _K [LUFS]			-18,1	-17,6	-22,0			
	TP [dBTP]			-9,3	-0,1	-6,0			
	LRA [LU]			5,1	6,0	5,7			
WVR 5200	L _K [LUFS]			-18,4	-17,7	-22,0			
	TP [dBTP]			-9,3	-0,1	-6,0			
	LRA [LU]			6,5	6,0	5,7			
DK1	L _K [LUFS]		-20,5	-20,0	-19,5	-22,0			
	TP [dBTP]		-9,2	-9,3	-0,2	-6,0			
	LRA [LU]		5,0	6,0	6,0	6,0			
TM3	L _K [LUFS]							-19,3	-19,4
	TP [dBTP]								
	LRA [LU]							4,9	5,2

Tabelle 10: Messung von Lautheitswert, True Peak und Lautheitsbereich des Sachsenspiegels

Alle Messgeräte zeigen in etwa dieselben Messwerte an. Geringe Abweichungen kommen, neben der Messungenauigkeit eines jeden Gerätes, u.a. dadurch zustande, dass Harris beispielsweise ein relatives Gating von -20 LU statt -10 LU nutzt. Außerdem wurden einige Geräte durchgeschliffen.

Die Abweichung der Lautheit von Sendung zu Sendung (in diesem Zeitraum eine Differenz von immerhin $1,6$ dB) rührt von der jeweiligen Besetzung des Toningenieurs. Nicht jeder pegelt gleich laut aus.

Der True Peak, i.d.R. $-9,2$ dBTP, ertönt im Opener. Insgesamt ist der Sachsenpiegel nach der neuen Norm etwa 3 dB zu laut. Abbildung 34 zeigt, dass der Sachsenpiegel (im rechten Halbkreis) lauter als die vorangehende Sendung „Brisant“ ist. Es wurde das digitale Satellitenfernsehen am 11. Juni 2012 mit dem TM9 von RTW gemessen.

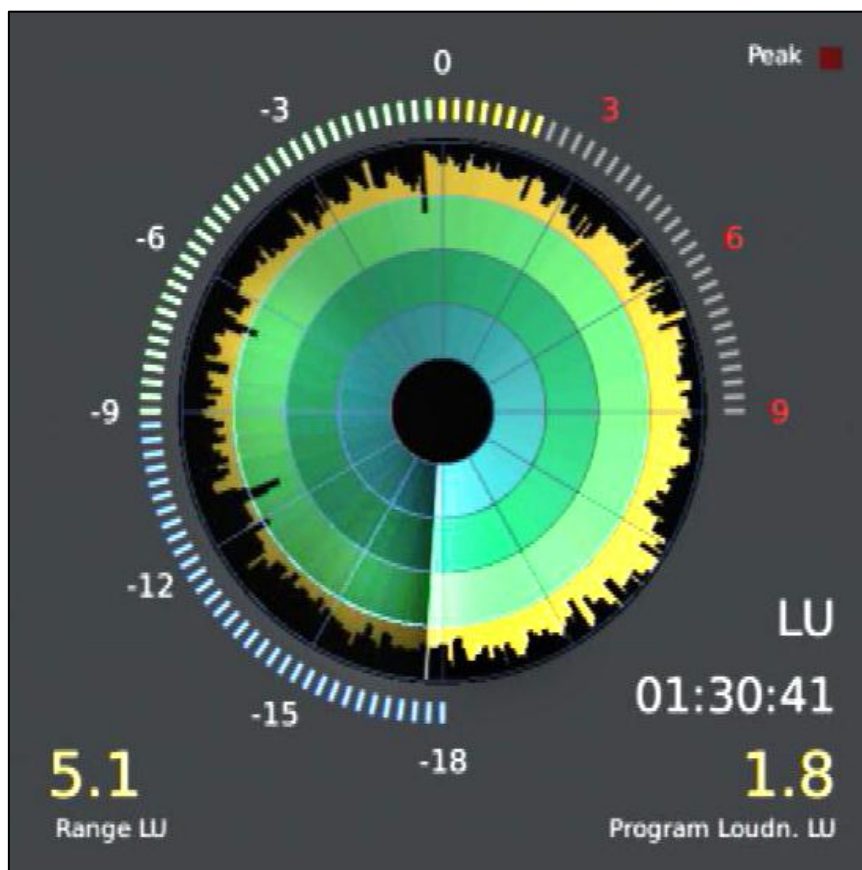


Abbildung 34: Vergleich der Lautheit von „Brisant“ (linke Hälfte) und „Sachsenspiegel“ (rechte Hälfte)

7.5 Einbau der Messgeräte

Für den Einbau der Messgeräte wird beispielhaft auf einen Schnittplatz eingegangen. Die MCS GmbH Sachsen hat für MDR-Produktionen acht Edit Suites zur Verfügung. Je Schnittplatz wird der Rasterizer WVR 5200 von Tektronix und ein 19“-Monitor eingebaut. Das Schnittsystem ist je nach Suite der „Avid NewsCutter“, der „Media Composer“ oder „Avid Symphony“.

Das Avid-System kann über ein Netzwerk auf den Server mit dem eingespielten Material (Avid Isis) zugreifen. Das Videosignal wird als SDI-Signal von der Breakout-Box (Nitris DX) über einen digitalen Timecode-Insertter zu einem digitalen Video-Verteiler ausgegeben. Dieser überträgt das SDI-Signal über zwei Wege auf die lokale Videokreuzschiene des Schnittplatzes. Das Signal geht zum einen direkt und zum anderen über einen erneuten Timecode-Insertter für eine Anzeige des Timecodes im Bild ein. Von der lokalen Kreuzschiene kann das SDI-Signal nun für die zentrale Kreuzschiene, zum Beschalten der Monitore und zum Beschalten des Messgerätes und der MAZen abgegriffen werden. Über die Kreuzschiene kann sich somit beispielsweise die Regie mit dem jeweiligen Schnittplatz für Live-Einspiele verbinden.

Das Messgerät erhält das Videosignal mit Embedded Audio über einen BNC-Eingang. Die MAZen liegen ebenso wie die Nitris-DX-Box mit Embedded Audio auf der lokalen Videokreuzschiene auf. Das Mischpult liegt über die lokale Audiokreuzschiene jedoch nur diskret vor, d.h. die Audiosignale werden separat mit AES/EBU-Ton geführt. Deshalb muss das Audiosignal über einen Embedder zum Messgerät geführt werden. Am Ausgang der lokalen Audiokreuzschiene befindet sich ein Audioverteiler. Dieser gibt das Signal sowohl auf den Embedder als auch auf eine Abhöreinheit. Das Signal aus der lokalen Videokreuzschiene wird ebenfalls auf den Embedder geführt, sodass an dessen Ausgang nur ein Signal mit Bild und eingebettetem Ton vom Messgerät abgegriffen werden kann.

Für Videomessungen können sich die Cutter das Messgerät über die lokale Videokreuzschiene mit der jeweiligen Quelle beschalten. Für Tonmessungen muss die Abhöreinheit über die lokale Audiokreuzschiene beschalten werden. Damit kann alles von den Cuttern zu hörende Material gemessen werden. Über die lokalen Kreuz-

schienen in der Edit Suite kann auch auf die zentrale Kreuzschiene im Geräteraum zugegriffen werden.

Ein Stromlaufplan der Video- und Audiowege ist als Anlage 2 der Arbeit beigefügt.

Mit Lieferung der neuen Messgeräte wird es für die Mitarbeiter eine Schulung zur neuen Aussteuerungsnorm und zur Anwendung der Messgeräte geben.

8. Aussichten

Diese Arbeit stellt die Lösung des Lautheits-Problems bei der MCS GmbH Sachsen dar und dient bei Aussteuerungsfragen als Nachschlagewerk. Mit den neuen Messgeräten ist die Lautheitsnormalisierung bei der MCS nun möglich. Der Programminhalt wird insgesamt etwa 3 dB leiser werden und keine starken Lautheitssprünge mehr von Sendung zu Sendung bzw. zu Trailern oder Werbespots aufweisen. Dies bringt zufriedeneren Zuschauer mit sich, sodass auch die Beschwerden abnehmen werden.

Mit der EBU R128 werden wieder sehr dynamische Tonmischungen ermöglicht, d.h. der Dynamikumfang und damit auch die Tonqualität werden steigen. Da nicht mehr an der Aussteuerungsgrenze gearbeitet wird, dürfen laute Passagen wieder laut sein. Eine Lautstärkeanhebung konnte bisher nur dadurch gelöst werden, dass die Dialoge rechtzeitig leiser gepegelt wurden [SIEGFRIED, 2012].

Für eine Anwendung im Hörfunk sind noch keine weiteren Informationen bekannt. Dort wird sich eine Umsetzung zur Aussteuerung nach Lautheit auf Grund der Abhängigkeit von der Musikindustrie jedoch schwieriger umsetzen lassen [SCHOLZ, 2012]. Sinnvoll ist aber eine empfängerseitige Anpassung der Dynamik wie mittels der Dynamic-Range-Lösung von Friedemann Tischmeyer. Tischmeyer will sogar die K-Filterung der Empfehlung 128 in seinen Algorithmus aufnehmen [SCHOLZ, 2012].

Nach dem Erfolg der Zusammenarbeit mit den privaten Fernsehanstalten ist nun von Seiten der EBU-Arbeitsgruppe eine Zusammenarbeit mit Apple geplant. Das Software-Unternehmen soll mit seinem Verwaltungsprogramm iTunes beim Abspielen von Multimedia-Dateien zu einer gleichmäßigen Lautheit beitragen [SIEGFRIED, 2012].

Auf lange Sicht wird der Sendeablauf mehr und mehr softwarebasiert die Lautheit normalisieren. Zwar gibt es momentan noch keine Metadaten-Standards für Lautheitsdaten, doch existieren bereits jetzt schon Lösungen zur Analyse und Anpassung der Lautheit. Das Ingenieur-Büro Pinguin beispielsweise hat im Schweizer Rundfunk eine Sonderentwicklung implementiert, bei der die Lautheitsdaten mit nicht datenre-

duzierten PCM-Tönen wie WAV oder AIFF transportiert werden und von Audio-Levelern zur Loudness-Anpassung angewendet werden [MEDIENBULLETIN, 2012]. Der Transport von Metadaten mit WAV-Files erfolgt mit dem Broadcast Wave Format (BWF), einem von der EBU eingeführtem Containerformat [BET, 2012c].

Das Bremer Unternehmen Cube-Tec International führt eine Audiosignalkorrektur mittels MXF-basierter Lautheitsanpassung durch. Zu diesem Zweck werden die Parameter wie der Lautheitswert einer MXF-Datei ermittelt und in einem neuen File korrigiert, ohne den Videodatenstrom zu ändern [FILM TV VIDEO, 2012].

Eine andere Variante zur automatischen Lautheitsanpassung ist die automatische Verstärkungsregelung AGC (automatic gain control). Dabei wird der Ausgangspegel konstant gehalten, unabhängig von der Amplitude des Eingangssignals. Neuere Entwicklungen erkennen den Dialog-Anteil und begrenzen diesen auf 0 LU. Entsprechende Limiter für den Sendeausgang gibt es beispielsweise von Jünger Audio (Level Magic), TC Electronic (DB 8) und Dolby (LM 100). Für die Begrenzung der Lautheit werden ebenfalls die gemessenen Lautheitswerte als Metadaten benötigt, aus denen die Differenz zur Ziellautheit gebildet werden kann. Alternativ muss das Material vorher gemessen und dann mit zeitlichem Verzug vom Leveler angepasst werden. Ein Sendeautomations-System erkennt mittels GPI/O-Impulsen den Beginn einer neuen Tonaussteuerung, sodass auch der Mischbetrieb von Archivmaterial und lautheitsnormalisiertem Material kein Problem mehr darstellt [JÜNGER, 2012].

VI LITERATURVERZEICHNIS

- [A/85, 2011] ATSC Recommended Practice: Techniques for Establishing and Maintaining Audio Loudness for Digital Television, Document A/85, Juli 2011
http://www.atsc.org/cms/standards/a_85-2011a.pdf
(aufgerufen am 21.5.2012)
- [BET, 2012] a – <http://bet.de/Lexikon/Begriffe/dynamik.htm>
(aufgerufen am 13.4.2012)
b – <http://bet.de/Lexikon/Begriffe/Stereosichtgeraet.htm>
(aufgerufen am 24.5.2012)
c – <http://bet.de/Lexikon/Begriffe/bwf.htm>
(aufgerufen am 18.6.2012)
d – <http://bet.de/Lexikon/Begriffe/DolbyAC3.htm>
(aufgerufen am 18.6.2012)
- [BS. 1770-2, 2011] ITU: Recommendation ITU-R BS.1770-2, Algorithms to measure audio programme loudness and true-peak audio level, S. 10
“Subjective test set-up”, März 2011
http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1770-2-201103-I!!PDF-E.pdf
(aufgerufen am 6.3.2012)
- [CAMERER, 2010] Florian Camerer: Auf dem Weg zum Lautheitsparadies, FKT 12/2010, Fachzeitschrift für Fernsehen, Film und elektronische Medien, S. 607–612
- [DICKREITER et al., 2008] Michael Dickreiter, Volker Dittel, Wolfgang Hoeg, Martin Wöhr: Handbuch der Tonstudioteknik, K. G. Saur Verlag, München, 2008
a – Band 1, S. 99–102 „Lautstärkepegel und Lautheit“
b – Band 1, S. 574–577 „Schalldruckpegel“

- c – Band 2, S. 1115–1118 „Pegelbedingungen“
d – Band 2, S. 1153–1154 „Dynamikkompression“
e – Band 1, S. 591–594 „Relativer und absoluter Spannungspiegel“
f – Band 2, S. 1133–1140 „Rundfunk-Aussteuerungsmesser“
g – Band 2, S. 1121–1125 „Zeitbedingungen“
h – Band 2, S. 769–770 „Speicherkanal“
- [DOC. 3341, 2011] EBU Technical Document 3341: Loudness Metering: ‘EBU Mode’ metering to supplement loudness normalisation in accordance with EBU R 128, August 2011
<http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3341.pdf>
(aufgerufen am 6.3.2012)
- [DOC. 3342, 2011] EBU Technical Document 3342: Loudness Range – A measure to supplement loudness normalisation in accordance with EBU R 128, August 2011
<http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3342.pdf>
(aufgerufen am 6.3.2012)
- [DOC. 3343, 2011] EBU Technical Document 3343: Practical guidelines for Production and Implementation in accordance with EBU R 128, August 2011
<http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3343.pdf>
(aufgerufen am 6.3.2012)
a – S. 9–14 “General Concept of Loudness Normalisation”
b – S. 15–20 “EBU R 128, ITU-R BS.1770”
c – S. 21–24 “Strategies for Loudness Normalisation”
d – S. 42 “Commercials (Advertisements) and Trailers”
- [DOC. 3344, 2011] EBU Technical Document 3344: Practical Guidelines for distribution systems in accordance with EBU R 128, S. 14–24, August 2011
<http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3344.pdf>

- (aufgerufen am 6.3.2012)
- [DREFA, 2012] <http://www.drefa.de/mcs-sachsen.html>
(aufgerufen am 15.05.2012)
- [EBU, 2012] Website der EBU, „Who are we?“
<http://www.ebu.ch/en/about/index.php>
(aufgerufen am 23.5.2012)
- [FELDMAN, 2012] Paul J. Feldman: December, 2011: All is CALM, 2012
<http://www.commlawblog.com/2012/01/articles/broadcast/december-2011-all-is-calm/>
(aufgerufen am 26.3.2012)
- [FILM TV VIDEO, 2012] <http://www.film-tv-video.de/newsdetail+M56a23559f02.html>
Online-Zeitschrift für Profis aus Produktion und Postproduktion
in Film, TV und Video
(aufgerufen am 12.6.2012)
- [FSBL-K, 2012] Beschluss der Fernsehbetriebsleiter-Konferenz, Leipzig,
31.1.2012
- [HAMA, 2012] <http://www.t-online-shop.de/hama-42542-audio-level-limiter-lautstaerkebegrenzer-fuer-tv--23207/>
(aufgerufen am 2.6.2012)
- [HOEG, 2010] Wolfgang Hoeg: Tonsignalkontrolle – Pegelprofil des Tonkanals,
2010
<http://www.audiotechnologie.eu/tonsignalkontrolle.html>
(aufgerufen am 9.5.2012)
- [IRT, 2011] IRT: Technische Richtlinien zur Herstellung von Fernsehproduktionen für ARD, ZDF und ORF – HDTV, Oktober 2011

- [JÜNGER, 2012] Jünger Audio GmbH, Telefonat mit Herrn Jochen Wainwright am 10.7.2012
- [KAHSNITZ, 2009] Michael Kahsnitz: Wachablösung – Lautheitsmessung in Broadcast und Produktion, Studio Magazin 06/09, S. 33-41
- [KAHSNITZ, 2012] Michael Kahsnitz (RTW): Gehörige oder gehörrichtige Lautstärke, Vortrag der FKTG beim MDR, Leipzig, 11.4.2012
- [LAERMORAMA] Thomas Gastberger: Der energieäquivalente Dauerschallpegel Leq
http://www.laermorama.ch/laermorama/modul_akustik/schallpegel_w.html#leq
(aufgerufen am 4.5.2012)
- [MCS, 2012] Firmenwebsite der MCS
<http://www.mcs-sachsen.de/unternehmen/>
(aufgerufen am 10.5.2012)
- [MEDIEN-BULLETTIN, 2012] Medien Bulletin: tpc setzt auf Pinguin Audio-Multimeter, S. 12, Juni 2012
- [PM ITU, 2012] Pressemitteilung der ITU vom 12.1.2012
http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2012/01.aspx
(aufgerufen am 8.5.2012)
- [R128, 2011] EBU – Recommendation R 128: Loudness normalisation and permitted maximum level of audio signals
<http://tech.ebu.ch/docs/r/r128.pdf>
(aufgerufen am 6.3.2012)
- [RTW, 2012] Firmenwebsite von RTW
a – <http://www.rtw.de/produkte/audio-monitore/touchmonitor-tm3.html>

(aufgerufen am 29.5.2012)

b – [http://www.rtw.de/produkte/audio-monitore/touchmonitor-
tm9.html](http://www.rtw.de/produkte/audio-monitore/touchmonitor-tm9.html)

(aufgerufen am 8.6.2012)

- [R&S, 2005] A. Winter: dB or not dB? – Was Sie schon immer zum Rechnen mit dB wissen wollten..., Rohde & Schwarz, 2005
http://www2.rohde-schwarz.com/file_6407/1MA98_4D.pdf
(aufgerufen am 5.3.2012)
- [SCHEUERMANN, 1999] Thorsten Scheuermann: MP3-Audiokompression / Psychoakustik, 1999
<http://goethe.ira.uka.de/seminare/redundanz/vortrag14>
(aufgerufen am 17.5.2012)
- [SCHMIDT, 2009] Prof. Dr. Ulrich Schmidt: Professionelle Videotechnik, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009, S. 201 „MPEG-Audio“
- [SCHOLZ, 2012] Florian Scholz: R128 – Die Revolution, 2012
<http://alumni.sae.edu/de/blog/2012/02/27/loudness-r128/>
(aufgerufen am 21.5.2012)
- [SIEGFRIED, 2012] Askan Siegfried (Tonmeister beim NDR): EBU-Lautheitsaussteuerung, Vortrag beim MDR, Leipzig, 1.6.2012
- [SPIKOFSKI, 2012] Dipl.-Ing. Gerhard Spikofski: Ausweg aus dem Broadcast-Lautheits-Tohuwabohu, FKT 5/2012, Fachzeitschrift für Fernsehen, Film und elektronische Medien, S. 250-255
- [SRT, 2003] srt (Hrsg.): Ausbildungshandbuch audiovisuelle Medienberufe Band II, VDE Verlag GmbH, Berlin, 2003, S. 333–339 „Aussteuerung bei digitalem Audio“
- [STEREO, 2012] STEREO | Magazin für HiFi, High End & Musik

- „Aus für die Brüll-Werbung ab IFA 2012“
[http://stereo.de/index.php?id=449&tx_ttnews\[tt_news\]=1265&cHash=376ecc8804](http://stereo.de/index.php?id=449&tx_ttnews[tt_news]=1265&cHash=376ecc8804)
(aufgerufen am 6.3.2012)
- [TEKTRONIX,
2012] Firmenwebsite von Tektronix, Datenblätter
- a – <http://www2.tek.com/cmswpt/psdetails.lotr?ct=PS&cs=psu&ci=13350&lc=JA>
(aufgerufen am 24.5.2012)
 - b – http://www1.tek.com/Measurement/App_Notes/NTSC_Video_Msmt/wfmmonitor.html
(aufgerufen am 25.5.2012)
 - c – Datenblatt WVR 7200
<http://www.tek.com/datasheet/multiformat-multistandard-compact-waveform-monitor>
(aufgerufen am 29.5.2012)
 - d – <http://www.tek.com/sites/tek.com/files/media/image/A0034273-L.jpg>
(aufgerufen am 25.5.2012)
 - e – Datenblatt WFM 5200
<http://www.tek.com/datasheet/multiformat-multistandard-compact-waveform-monitor>
(aufgerufen am 29.5.2012)
- [TISCHMEYER,
2012] Friedemann Tischmeyer: R128 – Die leise Revolution der Pegelmessung, Professional Audio, Das Magazin für Aufnahmetechnik, Januar 2012
- [WEINZIERL,
2007] Prof. Dr. Stefan Weinzierl: Audiosignale und Kontrollinstrumente, TU Berlin, 2007, S. 9, Leq-Messungen
<http://www.ak.tu-berlin.de/uploads/media/kwllskript.pdf>
(aufgerufen am 28.3.2012)

VII ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1: Programm des MDR vom 7.6. bis 8.6.2012

Anlage 2: Stromlaufplan einer Edit Suite nach Einbau des neuen Messgerätes

Anlage 1: Programm des MDR vom 7.6. bis 8.6.2012

Uhrzeit	Sendung
19:00	Sachsenspiegel
19:30	MDR aktuell
19:50	Ich pack das! (2/4) – Neue Wege in Klosterbuch
20:15	Escher – Der MDR-Ratgeber
21:00	Hauptsache gesund
21:45	MDR aktuell + Wetter
22:05	artour
22:35	Nah dran – Job im Gepäck
23:03	MDR aktuell Eins30
23:05	Lebensläufe – Eduard Geyer
23:35	Erlebnis Musik – ECHO Jazz 2012
0:35	Sachsenspiegel kompakt
0:37	Sachsen-Anhalt heute kompakt
0:38	Thüringen Journal kompakt
0:40	Wir zeigen's euch – Polen und die Ukraine ein Jahr vor der EM
2:00	Reisebilder Irland I
2:30	Reisebilder Irland II
3:00	Ballon Impressionen (EM 2007 Magdeburg)
3:05	Sachsenspiegel
3:35	Sachsen-Anhalt heute
4:05	Thüringen Journal
4:35	Panda, Gorilla & Co
5:25	Tierisch tierisch
5:50	nano – Das Zukunftsmagazin
6:20	LexiTV – Wissen für alle
7:20	Verbotene Liebe
7:55	Sturm der Liebe
8:45	Brisant
9:15	Escher – Der MDR-Ratgeber
10:00	Hauptsache gesund

10:45	MDR aktuell Eins30
10:48	artour
11:18	Regional Eins30
11:20	Ich pack das!
11:45	MDR um zwölf
12:30	In aller Freundschaft
13:15	Abenteuer Zoo – Boten von der Geisterinsel
14:00	Dabei ab Zwei
14:30	LexiTV – Wissen für alle
15:28	MDR aktuell Eins30
15:30	Eisenbahn-Romantik
16:00	Hier ab vier – Neues von hier
16:30	Hier ab vier – Gäste zum Kaffee
17:00	Hier ab vier – Leichter leben
17:40	Hier ab vier – Neues von hier
18:00	MDR aktuell
18:20	Brisant Classix
18:50	Wetter für 3
18:54	Unser Sandmännchen

VIII EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

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

Ort, Datum

Vorname Nachname