

---

Masterarbeit im Studiengang Audiovisuelle Medien

**Entwicklung der analogen Tonaufzeichnung, messtechnischer Vergleich einer Studer B67 Bandmaschine mit einem Tape-Plugin, sowie die Untersuchung des Mehrwerts in einer digitalen Produktionsumgebung**

vorgelegt von

Benjamin Mütsch

Matrikelnummer: 39263

am 14.07.2022

an der Hochschule der Medien

Erstprüfer: Prof. Oliver Curdt

Zweitprüfer: Rawand Baziany, M.A.

---

## Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit versichere ich, Benjamin Mütsch, ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Masterarbeit mit dem Titel *„Entwicklung der analogen Tonaufzeichnung, messtechnischer Vergleich einer Studer B67 Bandmaschine mit einem Tape-Plugin, sowie die Untersuchung des Mehrwerts in einer digitalen Produktionsumgebung“* selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.

Ich habe die Bedeutung der ehrenwörtlichen Versicherung und die prüfungsrechtlichen Folgen (§ 26 Abs. 2 Bachelor-SPO (6 Semester), § 24 Abs. 2 Bachelor-SPO (7 Semester), § 23 Abs. 2 Master-SPO (3 Semester) bzw. § 19 Abs. 2 Master-SPO (4 Semester und berufsbegleitend) der HdM) einer unrichtigen oder unvollständigen ehrenwörtlichen Versicherung zur Kenntnis genommen.“

Stuttgart, 14.07.2022

Benjamin Mütsch

---

## **Kurzfassung**

Digitale Emulationen analoger Studiogeräte sind seit geraumer Zeit ein Thema in der Audiowelt, mehr und mehr Hersteller versuchen, authentische Nachbildungen in Form von virtuellen Plugins anzubieten, wobei verschiedene klassische Gerätearten imitiert werden. Der Vorteil liegt auf der Hand: günstige Anschaffung, mehrere Instanzen, kein physikalischer Platzbedarf. Die vorliegende Arbeit untersucht die Unterschiede zwischen einer analogen Studer Bandmaschine und einer digitalen Nachbildung am Beispiel des Studer A800 Plugins von Universal Audio. Mit Hilfe PC-gestützter Messtechnik sollen Unterschiede und Gemeinsamkeiten herausgearbeitet, mittels Hörvergleich ein praktischer Nutzen für „In The Box“ Produktionen ermittelt werden. Da die Magnetbandtechnik die moderne Audio- und Musikproduktion erst ermöglicht und damit auch begründet hat, wird die geschichtliche Entwicklung der analogen Tonaufzeichnung, sowie technisch-physikalische Details derer genauer betrachtet.

## **Abstract**

Digital emulations of analog studio gear have been a topic in the audio world for several years, with more and more manufacturers attempting to provide authentic recreations in the form of virtual plugins, mimicking various types of different classic-gear. The advantage is obvious: relatively low cost of purchase, several instances, no physical space requirements. This thesis examines the differences between an analog Studer tape machine and a digital replica using the example of the Studer A800 plugin from Universal Audio. With the help of computer-based measurement technology, differences and similarities are to be worked out, and a practical benefit for „in the box“ productions will be determined by utilizing a listening comparison. Since magnetic tape technology made modern audio and music production possible in the first place and thus also founded it, the historical development of analogue sound recording and its technical and physical details are examined more closely.

---

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VIII
1. Einleitung.....	1
2. Wissenschaftliche Fragestellung.....	3
3. Aufbau der Arbeit .....	4
4. Entstehung der Tonaufzeichnung.....	6
4.1 Chronologie der Entwicklung früher Aufnahmeverfahren.....	7
4.2 Entwicklung des Grammophon.....	9
4.3 Der Weg zur elektrischen Tonaufzeichnung.....	10
4.4 Entwicklung des Mikrofons.....	12
4.5 Das Kondensatormikrofon.....	13
4.6 Die magnetische Tonaufzeichnung.....	15
4.7 Entwicklung des Magnetophons.....	16
5. Magnetband: Rundfunk und Studio .....	23
5.1 Einzug des Magnetbandes in Produktionsumgebungen.....	23
5.2 Mehrkanalige Tonaufnahmen: Stereophonie.....	24
5.3 Entstehung des Multitrackrecordings.....	27
5.4 Semiprofessionelle Formate.....	32
5.5 Zwischenfazit.....	36
6. Technische Grundlagen der magnetischen Tonaufzeichnung.....	38
6.1 Magnetisches Feld und Induktion.....	38
6.2 Magnetisierungskurve.....	41
6.3 Magnetisierungsformen und Schriftarten.....	45
6.4 Löschverfahren und Entmagnetisierung.....	50
6.5 Aufnahmevorgang und Vormagnetisierung.....	53
6.6 Verluste bei Aufnahme und Wiedergabe.....	57
6.7 Aufzeichnungsverluste kleiner Wellenlängen.....	59

---

6.8	Wiedergabeverluste.....	60
6.9	Entzerrung.....	62
6.10	Azimut und Spaltlage.....	66
6.11	Lagerungsverluste von Bandmaterialien.....	69
7.	Eigenschaften von Bandmaterialien.....	71
8.	Einmessung analoger Bandmaschinen.....	77
8.1	Bezugsbänder.....	77
8.2	Bezugspegel.....	79
8.3	Bandfluss und Spurlage.....	81
8.4	Pegelverhältnisse und Metering.....	82
8.5	Metering analog und digital.....	87
8.6	Einmessung Wiedergabefrequenzgang.....	89
8.7	Einmessung Aufnahmefrequenzgang.....	90
9.	Vorstellung der Testprobanden.....	92
9.1	Studer B67.....	92
9.2	Universal Audio DSP Plugins – Studer A800.....	96
10.	Gedanken zur Vergleichbarkeit: Studer B67 und Studer A800.....	98
11.	Analog Modeling.....	99
12.	Testparameter und Setup.....	101
12.1	Testsetup Hardware.....	102
12.2	Testsetup Software.....	102
12.3	Beschreibung Messaufbau.....	103
12.4	Testparameter.....	104
13.	Messergebnisse.....	105
13.1	Loopback Universal Audio Apollo.....	105
13.1.1	Frequenzgang.....	105
13.1.2	THD und Noise.....	107

---

13.2 Messungen Studer B67.....	109
13.2.1 Wiedergabe ab Bezugsband.....	109
13.2.2 Azimutverhalten ab Bezugsband.....	110
13.2.3 Interne Kalibrierung, Einfluss von Bias und Record-EQ.....	110
13.2.4 Studer B67 Sinus-Sweep Messungen ohne Glättung.....	114
13.2.5 Weitere Messungen B67: IMD, W+F, Geräuschabstand, Rauschspektrum.....	118
13.3 Messungen UAD Studer Plugin.....	121
13.3.1 Metering.....	121
13.3.2 Azimutverhalten.....	122
13.3.3 Interne Kalibrierung.....	122
13.3.4 Spektrum Brumm und Rauschen.....	124
13.3.5 UAD Studer A800 Sinus-Sweep Messungen ohne Glättung.....	126
13.3.6 UAD A800: weitere Messungen, IMD, Gleichlaufschwankungen.....	128
13.4 Vergleich der Sättigungseigenschaften.....	130
13.5 Analyse der Klirrkomponenten.....	131
13.6 Rechteckübertragungsverhalten.....	140
13.7 Fazit der Messergebnisse.....	143
14. Abschliessender Hörvergleich.....	144
14.1 Beschreibung des Vergleichs .....	144
14.2 Testhörer 1: Jan Bieletzki.....	146
14.3 Testhörer 2: Nikolas Herz .....	147
14.4 Testhörer 3: Paul Linke.....	148
14.4.1 Auflösung und Testfazit.....	149
15. Gesamtfazit und Schlusswort zur Arbeit .....	150
Nachtrag 1: UAD Metering.....	153
Nachtrag 2: Dolbysysteme und damit verbundene Aufnahmetricks.....	153
Danksagung.....	156

---

Literaturverzeichnis .....	157
Quellen der Abbildungen.....	161
Abkürzungsverzeichnis.....	163

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Seitenschnitt auf Walze.....	9
Abbildung 2: Seitenschnitt auf Scheibe (Grammophon).....	9
Abbildung 3: Frequenzgang zweier Grammophonaufnahmen.....	11
Abbildung 4: Mikrofontwurf A.G. Bell, 1876.....	13
Abbildung 5: Neumann CMV-3 „Flasche“ .....	14
Abbildung 6: Schema Kondensatormikrofon.....	14
Abbildung 7: Schema Kohlemikrofon.....	14
Abbildung 8: Fritz Pfleumer und das Magnetbandgerät.....	17
Abbildung 9: frühe Magnetbänder im mikroskopischen Vergleich.....	18
Abbildung 10: Beschreibung der HF-Vormagnetisierung.....	20
Abbildung 11: Experimenteller Schaltkreis negatives Feedback nach Weber.....	20
Abbildung 12: Technische Daten der AEG Magnetophone.....	21
Abbildung 13: Aufbauschema Tonkopf Stereo nach Schüller .....	22
Abbildung 14: Ampex Recorder Modell 200A, Capitol Recordings.....	23
Abbildung 15: Schema Stereoaufnahme auf Tonband.....	25
Abbildung 16: Studer J37, Katalogbild.....	28
Abbildung 17: Zitat aus "Studio Icons" von Mike Willox.....	28
Abbildung 18: Studer J37, Abbey Roads Studios.....	29
Abbildung 19: Studer A80 24-CH.....	31
Abbildung 20: Studer A80 2-CH und 8-CH.....	31
Abbildung 21: 1973: Teac 2340 / 3340.....	33
Abbildung 22: 1979: Teac 144.....	34
Abbildung 23: Tascam Portastudio 488 MKII.....	35
Abbildung 24: Darstellung magnetischer Feldlinien verschiedener Leiter.....	38
Abbildung 25: Formeln der Induktion nach Dickreiter, Dittel, Hoeg, Wöhr.....	39

Abbildungsverzeichnis	IX
Abbildung 26: Darstellung Tonkopf als Ringkern an Magnetband.....	40
Abbildung 27: Magnetischer Fluss nach Webers.....	41
Abbildung 28: Permeabilität Eisenkern und Luftspule.....	42
Abbildung 29: Hysteresekurve.....	43
Abbildung 30: Magnetisierungskurven zweier Materialien.....	45
Abbildung 31: Magnetisierungsarten.....	46
Abbildung 32: Schema Magnetisierung des Bandes .....	46
Abbildung 33: 3M Magnetic Tape Viewer.....	48
Abbildung 34: Spurformate verschiedener Tonköpfe .....	49
Abbildung 35: HF-Oszillatorschaltung Studer A80.....	50
Abbildung 36: Prinzip Löschwechselfeld.....	52
Abbildung 37: Verzerrungen in der Aufnahme ohne HF-Bias.....	54
Abbildung 38: Sinussignal mit und ohne HF-Bias.....	54
Abbildung 39: Schema Signalaufzeichnung NF und HF.....	55
Abbildung 40: Remanenzkurve und Arbeitskennlinie.....	57
Abbildung 41 Darstellung Wellenlänge und Frequenz in Abhängigkeit von der Bandgeschwindigkeit.....	60
Abbildung 42: Spaltfunktion.....	61
Abbildung 43: Frequenzabhängige Verluste Hörkopf in Abhängigkeit der Bandgeschwindigkeit.....	61
Abbildung 44: Entzerrungen CCIR und NAB.....	62
Abbildung 45: Tabelle: Entzerrungen nach DIN/IEC für 1/4" Band.....	63
Abbildung 46: Tabelle: Bezugswerte nach DIN 45513.....	63
Abbildung 47: Tabelle: Entwicklung Wiedergabeentzerrungen.....	64
Abbildung 48: Frequenzgänge verschiedener DIN Bezugsbänder.....	65
Abbildung 49: Kopffehlstellung.....	67
Abbildung 50: Messung zu Spaltfehllstellung.....	68
Abbildung 51: Kopierdämpfung, Vor- und Nachecho.....	69

Abbildungsverzeichnis	X
Abbildung 52: Kopiereffekt auf benachbarte Wicklungen.....	70
Abbildung 53: Kurvenschar SM468.....	74
Abbildung 54: Beschichtungsstruktur Eisenoxid Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ggü. Fe - Reineisen (Metallband)....	76
Abbildung 55: Hystereseschleifen verschiedener Bandmaterialien, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - CrO <sub>2</sub> - Fe.....	76
Abbildung 56: Erzielbarer Wiedergabepegel in Abhängigkeit von Frequenz, Beschichtung, Bandgeschwindigkeit.....	77
Abbildung 57: BASF Bezugsband .....	78
Abbildung 58: Schmetterlingstonkopf von Studer.....	81
Abbildung 59: RTW PPM 1206D Pegelmessgerät.....	84
Abbildung 60: RTW 1206 technische Daten Ausschnitt.....	84
Abbildung 61: API VU-Meter einer Konsole.....	86
Abbildung 62: VU-Meter Ballistik .....	86
Abbildung 63: Bandfluss gegenüber Verzerrungen.....	87
Abbildung 64: Wiedergabefrequenzgang ab Bezugsband 19S DIN.....	90
Abbildung 65: Varianten der Studer B67.....	92
Abbildung 66: Ausschnitt des B67 Service Manuals, Technische Daten .....	95
Abbildung 67: Frequenzgang Loopback -18dBFS.....	105
Abbildung 68: Frequenzgang Loopback -12dBFS.....	106
Abbildung 69: UA Apollo Harmonic Distortion -18dBFS.....	107
Abbildung 70: UA Apollo Harmonic Distortion -12dBFS.....	108
Abbildung 71: UA Apollo THD+N relativ dBFS.....	108
Abbildung 72: Frequenzgang Wiedergabe detailliert.....	109
Abbildung 73: Studer B67 maximale Azimutabweichung.....	110
Abbildung 74: B67 BIAS lowest.....	111
Abbildung 75: B67 BIAS peak.....	111
Abbildung 76: B67 BIAS drop 5dB bei 10kHz.....	112
Abbildung 77: B67 Record Treble minimum.....	112
Abbildung 78: B67 Record Treble maximum.....	113

---

Abbildung 79: B67 beide Kanäle optimal eingestellt.....	113
Abbildung 80: B67: Sweep bei -38dBFS entspricht -20dB unterhalb Bezugspegel.....	115
Abbildung 81: B67: Sinus Sweep bei -18dBFS entspricht 250nWb/m, leichte Sättigungsercheinungen ab 16kHz.....	115
Abbildung 82: B67: Sinus Sweep bei -12dBFS, entspricht NAB Peak Level und 500nWb/m, deutlich erkennbare Hochtonsättigung.....	116
Abbildung 83: B67: Sinus Sweep bei -9dBFS, entspricht +3dB über NAB Peak Level.....	116
Abbildung 84: Berechnung magnetischer Fluss nach Sengpiel.....	117
Abbildung 85: B67: Sweeps als Kurvenschar übereinander dargestellt.....	118
Abbildung 86: B67: Intermodulationsverzerrungen nach DIN.....	118
Abbildung 87: B67: Spektrum Bandrauschen.....	119
Abbildung 88: B67: Geräuschspannungsabstand über Band.....	119
Abbildung 89: B67: Geräuschspannungsabstand bei Stop.....	120
Abbildung 90: B67: Gleichlaufstest.....	120
Abbildung 91: Studer A800: Metering.....	121
Abbildung 92: Studer A800: maximale Varianz Azimut.....	122
Abbildung 93: UAD A800: Bias lowest.....	123
Abbildung 94: UAD A800: BIAS optimal, Treble Minimum.....	123
Abbildung 95: UAD A800: Bias optimal, Treble Maximum.....	124
Abbildung 96: UAD A800: Hum + Hiss 7.5ips CCIR.....	125
Abbildung 97: UAD A800: Hum + Hiss 15ips CCIR.....	125
Abbildung 98: UAD A800 Hum + Hiss 30ips AES.....	126
Abbildung 99: UAD A800 Sweep -38dBFS.....	127
Abbildung 100: UAD A800 Sweep -18dBFS.....	127
Abbildung 101: UAD A800 Sweep -12dBFS.....	128
Abbildung 102: UAD A800: Intermodulationsverzerrungen nach DIN.....	129
Abbildung 103: UAD A800: W+F nach DIN.....	129
Abbildung 104: Alle Sweeps Studer B67 und UAD A800.....	130

---

Abbildung 105: Klirranalyse: B67, Emtec SM468, -38dBFS.....	132
Abbildung 106: Klirranalyse: UAD A800, Ampex 456, -38dBFS.....	132
Abbildung 107: Klirranalyse: UAD A800, Scotch 250, -38dBFS.....	133
Abbildung 108: Klirranalyse: B67, Emtec SM468, -18dBFS.....	134
Abbildung 109: Klirranalyse: UAD A800, Ampex 456, -18dBFS.....	135
Abbildung 110: Klirranalyse: UAD A800, Scotch 250, -18dBFS.....	135
Abbildung 111: Klirranalyse: B67, Emtec SM468, -12dBFS.....	136
Abbildung 112: Klirranalyse: UAD A800, Ampex 456, -12dBFS.....	137
Abbildung 113: Klirranalyse: UAD A800, Scotch 250, -12dBFS.....	137
Abbildung 114: Klirranalyse: B67, Emtec SM468, -9dBFS.....	138
Abbildung 115: Klirranalyse: UAD A800, Ampex 456, -9dBFS.....	139
Abbildung 116: Klirranalyse: UAD A800, Scotch 250, -9dBFS.....	139
Abbildung 117: Square Wave Response UA Apollo Loopback.....	141
Abbildung 118: Square Wave Response B67.....	142
Abbildung 119: Square Wave Response UAD A800.....	142
Abbildung 120: Dolby-B Verfahren .....	155

## 1. Einleitung

In der heutigen Welt der Audiotechniker, der Tonschaffenden, der Programmierer und Elektronikingenieuren wird in den unterschiedlichsten Zusammenhängen immer wieder der Vergleich zwischen analoger und digitaler Technik vollzogen. Dies ist eine in unserer Geschichte verhältnismässig neue Entwicklung, da Digitaltechnik gerade im Audibereich erst in den letzten 20 Jahren, faktisch parallel zu der Entwicklung der Computer- und IT-Technik, so weitreichend an Einfluss gewinnen konnte und für jedermann bezahlbar wurde. Während in der Elektrotechnik analoge und digitale Schaltungen heute eher unterschiedlichen Aufgaben nachkommen oder gar zusammen eine Schaltung bilden, also eine Art der Symbiose eingehen, steht in der Audio-technik oft die Idee im Vordergrund, eine analoge Schaltung komplett digital nachzubilden, zu emulierten oder zu „modellieren“, um damit eine gegebene Funktionalität einer Hardware virtuell darstellen zu können. Dabei ist der Einsatz von Digitaltechnik in analogen Audiogeräten bereits seit den frühen 1970er Jahren üblich, betraf dabei häufig jedoch eher Steuerungs- und Logikelemente, weniger den eigentlichen Signalfluss.

Hierbei wären allerdings auch verschiedene Ausnahmen zu nennen. Während der PC als „Personal Computer“ erst verhältnismässig spät einen wirklichen Nutzen im eigentlichen Signalfluss für Tonstudios und Musiker darstellen konnte, entstand bereits in den späten 1970er Jahren digitale Audiotechnik, die Funktionen boten, welche mit Analogtechnik nicht realisierbar waren und es auch teilweise heute nicht sind. Zwei wegweisende Beispiele wären an dieser Stelle zu nennen:

Zum einen das von Sony entwickelte PCM-Aufnahmeverfahren, welches in frühen VHS-Recordern und später in sämtlichen DAT- und Festplattenrekordern zum Einsatz kommt,<sup>1</sup> zum anderen erste kommerzielle Hallgeräte auf Basis von Digitaltechnik und Algorithmen, namentlich EMT 250 (1976) und Lexicon 224 (1978).<sup>23</sup>

---

1 Digital Recording History - Invention of Digital Storage Mediums (PDF)

2 1978 Lexicon 224 Digital Reverb 24-11-21 (PDF)

3 1976 EMT Model 250 Digital Reverb (PDF)

Digitale Signalverarbeitung hat die Welt des Recordings verändert, vereinfacht und einer deutlich breiteren Masse zugänglich gemacht, als dies früher hätte der Fall sein können. Dabei spielt vor allem auch die digitale Speicherung von Schall als Hörereignis eine maßgebliche Rolle.<sup>4</sup> Die Hürden sind geschrumpft, eine digitale Audio-workstation (DAW) kann heute mit einem Laptop nicht nur ein ganzes Tonstudio fast vollständig ersetzen und virtualisieren, auch viele Naturinstrumente liegen in Form von gut spielbaren digitalen Sampleinstrumenten vor.

Es ist also nur noch wenig an zusätzlicher Peripherie von Nöten, um eine mehrspurige Aufnahme zu realisieren, zu mischen und zu einem radiotauglichen Song zu verarbeiten. Dies beeinflusst nicht nur die Musikindustrie, sondern auch die Musik maßgeblich.<sup>5</sup> Viele Produktionen finden mittlerweile nicht mehr in einem klassischen Tonstudio mit großem Aufnahmeraum und vollausgestatteter Infrastruktur statt, sondern eher in kleinen Projektstudios, die überwiegend digital und „in the Box“, also rein am Computer arbeiten, was zweifelsfrei auch einige Vorteile bietet. Wie kommt es also, dass dieser kontinuierliche Vergleich von analoger zu digitaler Technik Bestand hat, wenn die Digitalisierung einen solchen positiven Einfluss auf Musik- /-produktion, Kreativität und Zugänglichkeit der Materie haben konnte? Wieso wird versucht, alte, seltene und teure Geräte aus längst vergangenen Zeiten digital so exakt wie möglich nachzubilden? Die Antwort muss also im Klangverhalten begründet sein, in den elektronischen Nicht-Linearitäten, also dem Charakter, der in der digitalen, mathematisch perfekten Umgebung ohne weiteres Zutun nicht existiert.

---

4 Bremm, Das digitale Tonstudio, PPV 2004, S. 9

5 Burow, Musik Medien Technik, Laaber 1998, S.9

## 2. Wissenschaftliche Fragestellung

Die vorliegende Arbeit widmet sich den Thematiken Magnetband, analoge Studio-bandmaschinen und deren virtuelle Emulationen in Form von VST- bzw. AU-Plugins. Zunächst müssen Geschichte und vor allem Grundlagen der analogen Aufnahmeverfahren betrachtet werden, die als Basis zum weiteren Verständnis der Materie dienen. Der Prozess der magnetischen Aufzeichnung soll beleuchtet werden, ebenso wie die Entwicklungsgeschichte der Bandmaschine im Studiobetrieb. Im Kontext eines Vergleichs von Hardware gegen Software werden ebenso die Wartung, Nutzung und Erhaltung des analogen Vorbildes beschrieben werden, wie auch eine aktuelle Marktanalyse.

Die Arbeit soll also nicht nur einen klassischer Analog-/Digitalvergleich darstellen, sondern auch die Nebenschauplätze des Vergleichs objektiv aufzeigen.

Der Kern der Arbeit jedoch ist die Frage, wie genau gewisse zentrale Eigenschaften einer analogen Bandmaschine in virtuellen Emulationen nachgestellt wurden und inwiefern diese sich klanglich auswirken. Weiter stellt sich die Frage, ob ein Hörer in einem Hörversuch subjektive Klangunterschiede wahrnehmen kann und wenn ja, ab welchem Einsatzgrad. Somit kann herausgearbeitet werden, inwiefern sich heute ein Einsatz einer analogen Bandmaschine als Klangveredelung für einen Mix oder ein Mastering in einem überwiegend digital ausgestatteten Studio als lohnenswert gestaltet. Ebenfalls soll an Ende der Arbeit eine Aussage über die Genauigkeit und Detailtreue der Emulation von gewissen Parametern des analogen Vorbilds durch Plugins möglich sein.

### 3. Aufbau der Arbeit

Wie bereits in vorhergehenden Abschnitt angedeutet, gliedert sich die Arbeit in verschiedene Abschnitte, die sich disziplinar unterscheiden, einander jedoch ergänzen sollen.

Der erste Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der Geschichte und Entwicklung des analogen Magnetbandverfahrens. Es wird beschrieben, wie die Geräte Einsatz und Verwendung in Studios und auch zu Hause fanden, welche Typen und Anwendungsbereiche es gab, wie sich gewisse Techniken und Normen international unterschieden. Hierbei wird auch auf einige technische Details eingegangen, die im späteren Vergleich geprüft werden. Im ersten Teil der Arbeit wird auch der Bezug von analogen Bandgeräten auf die heutige Zeit hergestellt, welche Rolle diese Technik heute spielt. Gewisse Thesen, die in Fachkreisen und Foren kursieren, werden festgehalten und zur späteren Überprüfung aufbereitet.

Der zweite Abschnitt stellt konkret die Versuchskandidaten des Vergleichs vor, die Studer B67 Bandmaschine des Autors, sowie die verwendeten virtuellen Plugins. Ein kurzer Bericht der Restauration inklusive Beschreibung der typischen Probleme, die analoge Geräte heute und nach gegebenenfalls langer Standzeit heute aufweisen können, ist in diesem Abschnitt enthalten. Ebenso wird auf Seite der Digitaltechnik allgemein auf die VST/AU-Schnittstelle eingegangen, sowie ein Ansatz zur Darstellung der allgemeinen Vorgehensweisen bei der digitalen Emulation analoger Schaltungen.

Der dritte Teil beinhaltet den praktischen A-Teil der Arbeit, in dem die Versuchskandidaten messtechnisch gegenübergestellt werden. Es werden diverse Parameter verglichen, die allgemein als Qualitätskriterien für analoge Bandgeräte gelten und quantitativ gut mit diverser vor allem PC-gestützter Messtechnik erfassbar sind. Hierbei soll sich zeigen, inwiefern Plugins überhaupt dem analogen Vorbild entsprechen und welche Eigenschaften modelliert wurden. Hierbei werden vor allem klangbeeinflussende Eigenschaften wie frequenzabhängige Verzerrungen, Pegelschwankungen und Azimutverhalten überprüft werden.

Der vierte Abschnitt der Arbeit wird die mit der Technik verbundene Subjektivität beleuchten, indem durch einen Hörversuch herausgearbeitet werden soll, inwiefern bei verschiedenen Testprobanden ein klangfärbender Effekt durch analoges Band

und/oder Tape-Plugins in einem Blindtest wahrnehmbar ist und wenn ja, ab welcher Intensität des Einsatzes (optimaler Arbeitspunkt gegenüber gezielter Färbung durch Übersteuerung). Ebenso werden Unterschiede zwischen analoger Hardware und digitaler Emulation untersucht und diskutiert werden.

Schlussendlich soll eine Antwort auf die initiale wissenschaftliche Fragestellung formuliert werden. Ziel ist es, nicht nur die Gleichheit oder Ungleichheit zwischen analogem Gerät und digitaler Nachbildung bewerten zu können, sondern auch eine Antwort auf die Frage zu finden, inwiefern sich das analoge Magnetband bei korrekter Einmessung und Anwendung überhaupt klanglich bemerkbar macht. Es ist also auch ein Anspruch dieser Arbeit, diverse Mythen rund um das Thema genauer zu untersuchen und gegebenenfalls mit der Realität abzugleichen. Ebenfalls werden abschließend die Aspekte der laufenden Kosten einem möglichen Qualitätsgewinn gegenübergestellt und weitere praktische Probleme diskutiert, wie beispielsweise Reproduzierbarkeit in der analogen Domäne bei Kundenwünschen oder der möglichen Problematik der korrekten Lagerung von Magnetband.

## 4. Entstehung der Tonaufzeichnung

„In der Geschichte der Menschheit war die Speicherung von Sinneseindrücken schon immer Gegenstand des Erfindergeistes.“<sup>6</sup>

So beschreibt es der Autor Peter Bremm in seiner Publikation von 2004 „Das digitale Tonstudio“ sehr treffend.

Während Historiker die ersten Malereien als „künstlerische Aufnahmen“ zeitlich sogar noch deutlich vor der Epoche der Steinzeit und den entsprechenden Höhlenmalereien einordnen,<sup>7</sup> ist die Möglichkeit der Audioaufzeichnung, also der Speicherung von Sprache, Gesang, instrumentaler Musik und allen anderen Hörereignissen erst Ende des 19. Jahrhunderts entstanden. Zwar existierten theoretische Ansätze verschiedener Forscher und Erfinder, Schallwellen mittels Trichtern als Empfängermedium grafisch aufzuzeichnen, jedoch stellte letztlich das erste funktionsfähige Mikrofon die Grundlage der modernen Audioaufnahme dar, welches von Alexander Graham Bell, späterer Gründer von Bell Laboratories, im Jahr 1876 patentiert wurde.<sup>8</sup> Es entstand zunächst zur Nutzung im Kontext des Telefons. Es ist dabei nicht vollständig geklärt, ob Bell wirklich Erfinder des Telefons war, oder ob schon zuvor ein funktionsfähiges Gerät von einem deutschen Lehrer namens Philipp Reis konstruiert wurde.<sup>9</sup> Da musikalische Tonaufnahmen zuvor nur eine theoretische Überlegung waren und praktisch als schwer realisierbar galten, musste jede musikalische Aufführung als eine unwiederbringliche künstlerische Darstellung betrachtet werden, die den Anwesenden vorbehalten und nicht weiter haltbar oder reproduzierbar war.<sup>10</sup> Nicht nur aus diesem Grund war der Anreiz groß, Töne aufzeichnen zu können. Auch die Idee eines Diktiergerätes bestand bereits zuvor, es konnte durch ein mechanisches Aufzeichnungsverfahren realisiert werden.

---

6 Bremm, Das digitale Tonstudio, PPV 2004, S. 8

7 The World's Oldest Stone Artefacts from Gona, Ethiopia Their Implications for Understanding Stone Technology and Patterns of Human Evolution, PDF

8 Early History of the Microphone · Steele Vintage Broadcast Microphone Collection · UGA Special Collections Library Online Exhibitions, PDF

9 Alexander Graham Bell - Erfinder des ersten funktionsfähigen Telefons, PDF

10 Eine kurze Geschichte der Tonaufzeichnung - Digital Audio Systems, PDF, S.1

Diese Motivation spiegelte sich in intensiven Forschungen wieder, die zu dieser Zeit getätigt wurden und verschiedene interessante Ansätze zu Tage brachten, welche teils jedoch auch schnell wieder verworfen wurden. Das folgende Kapitel gibt eine kurze chronologische Übersicht über die Entwicklung der frühen Aufnahmetechniken, welche letztendlich mit dem Umweg über mechanische Aufzeichnungsverfahren hin zum Themenbereich der vorliegenden Arbeit führten: die magnetische Tonaufzeichnung auf speziell dafür entwickelte Magnetbänder.

#### 4.1 Chronologie der Entwicklung früher Aufnahmeverfahren

Der Weg von der Möglichkeit zur Aufzeichnung einzelner Schallereignisse wie z.B. Sprache, Diktat bis hin zu einer Konzertaufnahme in passabler Qualität war von diversen Entwicklungen geprägt, die mehr oder weniger praktischen Nutzen hatten. Generell wurde zunächst mit mechanischen Tonaufzeichnungsverfahren experimentiert, bevor magnetische Aufzeichnungsverfahren entwickelt wurden. Ziel war es dabei, die Veränderungen im Luftdruck, die durch Schallereignisse hervorgerufen werden zu nutzen, um damit eine Nadel oder einen Dorn auszulenken, der diese Schwingung auf ein Medium schreibt.

- 1807, „Kymograph“: Theoretische Beschreibung eines Apparates zur mechanischen Aufzeichnung der Schwingung einer Stimmgabel durch den englischen Arzt Thomas Young. Als Aufnahmemedium war eine Rotationswalze gedacht, die mit Ruß geschwärzt war. Ein an der Stimmgabel befestigter Stift sollte die Schwingung auf dieser Rotationswalze aufzeichnen.<sup>11</sup>
- 1857, „Phonautograph“: erstes real existentes, mechanisches Aufzeichnungsgerät, das einen Trichter zum Empfang von Schallwellen verwendet. Mittels einer angeschlossenen, schwingungsfähigen Membran und einem Dorn konnten die über die Luft übertragenen Wellen auf eine sich drehende Walze geschrieben werden. Die Erfindung wurde von dem Franzosen Édouard-Léon Scott de Martinville getätigt. Das Gerät war lediglich in der Lage, Schall aufzuzeichnen, nicht jedoch, eine Aufnahme wiederzugeben, weshalb die Erfindung kein wirtschaftlicher Erfolg war, jedoch als gedanklicher Grundstein der me-

---

<sup>11</sup> Eine kurze Geschichte der Tonaufzeichnung - Digital Audio Systems, PDF, S.2

chanischen Aufzeichnungsverfahren definiert wurde, also auch für das Grammophon.<sup>12</sup>

- 1877, „Phonograph“: erstes Aufnahmegerät, das auch eine Wiedergabe ermöglichte, erfunden von Thomas A. Edison, der auch die Glühbirne patentieren ließ. Das Funktionsprinzip ist dem zuvor genannten Phonautographen sehr ähnlich, als Empfänger fungiert ein Trichter, der mittels einer Nadel Schwingungen auf eine Walze mit Zinn-/Wachsfolie schreibt, wobei es dabei verschiedene Entwicklungsstufen und damit Materialvarianten gab. Die Wiedergabe funktioniert in umgekehrter Richtung über das selbe System. Ende 1877 wurde damit die erste Sprachaufnahme getätigt und anschließend wiedergegeben, was als „technische Sensation“ galt. Durch das mechanisch wenig ausgereifte Abtastprinzip (Nadel in Wachs) galten die Aufnahmen jedoch nicht als besonders haltbar, eine Walze war nach wenigen Abspielvorgängen bereits verschlissen, ebenso waren die Aufnahmen nicht kopierbar, die Tonqualität sehr beschränkt.<sup>13</sup>

Obwohl Aufnahmegeräte auf Basis von Walzen gerade in den USA bis in die 1950er Jahre als Diktiergeräte verwendet wurden, war für die Tonaufzeichnung der Wechsel von Tiefen- auf Seitenschnitt eine bedeutende Entwicklung, gerade auch hinsichtlich der Vervielfältigungsmöglichkeit von Tonträgern. Hierbei ist die Entwicklung der Schallplatte ein Meilenstein, wobei auch hier Edison beteiligt war, grundlegende Entwicklungsarbeit leistete hier jedoch der deutsch-amerikaner Emil Berliner, der das Seitenschriftverfahren erfand und auch zunächst im Kontext mit Walzen verwendete.<sup>14</sup>

---

12 Soundrecordinghistory - Invention of the Phonautograph, PDF

13 Geschichte der Tonaufzeichnung | diwilek.de, PDF, S.1

14 Geschichte des Grammophon - Grammophon und Schellackplatten Portal 78rpm, PDF, S.11

## 4.2 Entwicklung des Grammophon

Die Entwicklung der Schallplatte und des Grammophons war insofern wegweisend, dass es erstmals einen Tonträger gab, der aufgezeichnet und dann effektiv kopiert oder vervielfältigt werden konnte. Die Schallplatte war auch das erste Medium, welches einige Abspielvorgänge verkraftete, ohne dass die Aufnahmequalität sofort drastisch an Qualität verlor, wie es bei den Wachswalzen der Fall war.

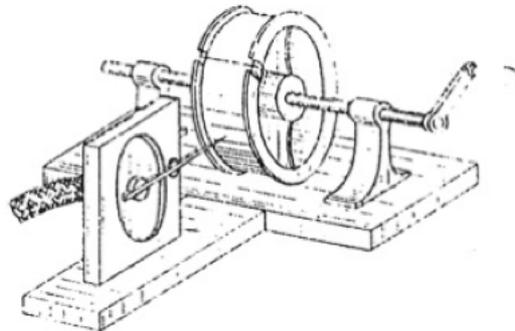


Abbildung 1: Seitenschnitt auf Walze

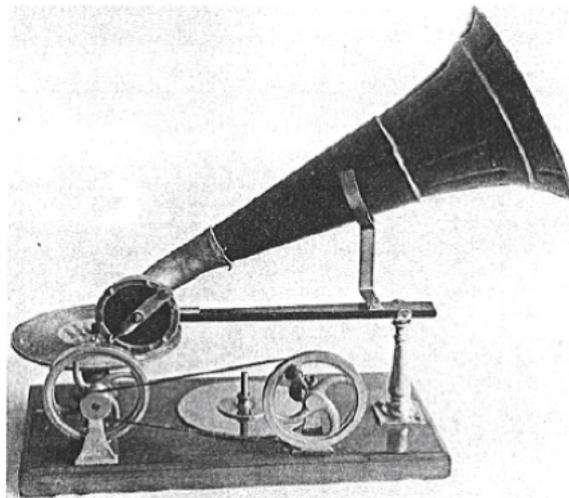


Abbildung 2: Seitenschnitt auf Scheibe (Grammophon)

Doch bevor eine kommerzielle Nutzung der Schallplatte möglich war, mussten auch hier einige Probleme gelöst werden. Wie die beiden Abbildungen 1 und 2 zeigen, ähnelt das zugrundeliegende mechanische Schallwandlungsverfahren dem Phonographen.

Schalltrichter wurde jedoch um eine seitliche Membran erweitert, welche die mechanisch aufgezeichnete Schwingung über eine Nadel aufnimmt und im Seitenschnittverfahren auf eine Walze oder eine Wachsplatte schneidet. Mit der Schallplatte wurde dann erstmals mit dem Konzept des spiralförmigen Schnitts gearbeitet, Emil Berliner meldete dafür im Mai 1887 Patent an.<sup>15</sup> Das Wiedergabesystem dazu nannte er „Grammophon“. Die frühen ersten Grammophone waren in der Lage, sowohl aufzunehmen, als auch abzuspielen, was zunächst ähnliche Probleme mit sich brachte, die auch die walzenbasierten Aufnahmegeräte auswiesen, nämlich schlechte Tonqualität und kurze Haltbarkeit der Aufnahme durch Aufnahmematerialien wie Wachs.

Interessanterweise versuchte Berliner, Investoren und Partnerfirmen zur Optimierung seiner Technik zu finden, was sich jedoch als schwierig herausstellte, da bis dato niemand das Potential der Schallplatte erkannte. In Frankfurt am Main fand er letztlich einen Betrieb zur Firmenbeteiligung, der im Bereich der Metallätzung tätig war.

Es entstanden erste Plattenmatrizen, mit der Hilfe erstmals eine Vervielfältigung eines Tonträgers möglich war, zuerst auf Hartgummischeiben, wenig später auf Schellackplatten.<sup>16</sup> Es folgten weitere Verbesserungen der Technik, wie z.B. ein Elektroantrieb ab ca. 1920 und damit auch eine Standardisierung der Drehgeschwindigkeit auf 78 Umdrehungen pro Minute, auch die Wiedergabequalität konnte stetig verbessert werden. Zu dieser Zeit war Musik auf Schallplatte bereits sehr verbreitet.

### 4.3 Der Weg zur elektrischen Tonaufzeichnung

In der Zeit der mechanischen Tonaufzeichnungsverfahren kam die Aufnahme und Wiedergabe von Musik lange ohne Elektrizität aus.<sup>17</sup> Die Verfahren waren also „akustisch-mechanisch“<sup>18</sup>, was Schwierigkeiten bei der Aufnahme von Tonträgern mit sich brachte. Wie bei der Wiedergabe wurden auch die Aufnahmen mittels Schalltrichter realisiert, eine Gruppe von Musikern musste sich so dicht wie möglich um diesen Aufnahmetrichter anordnen.

---

15 Eine kurze Geschichte der Tonaufzeichnung - Digital Audio Systems, PDF, S.13

16 Eine kurze Geschichte der Tonaufzeichnung - Digital Audio Systems, PDF, S.15

17 Geschichte der Tonaufzeichnung | diwilek.de, PDF, S.3

18 Eine kurze Geschichte der Tonaufzeichnung - Digital Audio Systems, PDF, S.21

Misslungene Einspielversuche mussten stets von vorn begonnen werden, Korrekturmöglichkeiten gab es keine.

Aufgrund der Tatsache, dass beim mechanischen Aufzeichnungsverfahren der Schall in einer hohen Intensität vom Trichter aufgenommen werden muss, um überhaupt ein Signal in den Tonträger schneiden zu können, waren Aufnahmen eher leiser Instrumente wie Streicher oder leisen Klavierpassagen schwierig, die natürliche Balance der Klänge ging oft verloren.

Eine wesentliche Verbesserung der Aufnahmequalität wurde Mitte der 1920er Jahre durch das elektrische Mikrofon erreicht. Das Signal, ein Strom, wurde zunächst mittels einem Verstärker in eine mechanische Schwingung gewandelt, womit direkt eine Platte geschnitten wurde. Die erzielbare Verbesserung hinsichtlich des Frequenzumfangs ist beachtlich, wie Abbildung 3 zeigt. Die ausgeprägte Eigenresonanz des Aufnahme-trichters entfällt, es konnte ein Frequenzband mit deutlich größerer Homogenität erreicht werden (ca. 100 – 5000Hz, +/- 5dB).

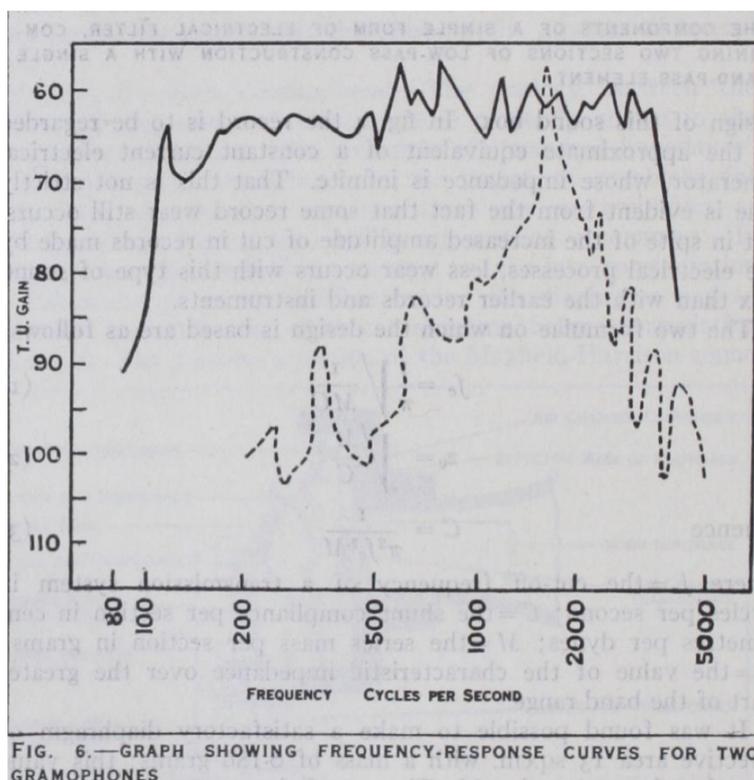


FIG. 6.—GRAPH SHOWING FREQUENCY-RESPONSE CURVES FOR TWO GRAMOPHONES

Abbildung 3: Frequenzgang zweier Grammophonaufnahmen

## 4.4 Entwicklung des Mikrofons

Das Mikrophon als Schallwandler war die wohl bedeutendste Entwicklung, die Musikaufnahmen im großen Stile ermöglichte und durch die damit erzielbare, stark verbesserte Klangqualität attraktiv machte. Eine derartige Entwicklung der Recordingindustrie wäre ohne Mikrofone undenkbar gewesen, weshalb auch dieses Thema in der vorliegenden Arbeit einer grundlegenden Betrachtung unterzogen wird.

Die praktischen Probleme der mechanischen Aufzeichnungsverfahren wurden in den vorhergehenden Abschnitten beleuchtet, es wurde aber auch die These aufgestellt, dass das Problem der schlechter Audioqualität eher in den rein mechanischen Aufzeichnungsverfahren begründet lagen, weniger in den verwendeten Abspielverfahren, die durchaus das Potential eines erweiterten und relativ resonanzfreien Wiedergabefrequenzgangs versprachen (siehe Abb. 3).

Die Entwicklung des Mikrofons weißt Parallelen zur Entwicklung der Aufzeichnungsverfahren auf. Auch hier ist es eine Definitionsfrage, wer das Mikrophon erfunden hat, da es mehr oder minder zeitgleich verschiedene erste Ansätze gab, Schall in elektrische Schwingung zu wandeln. Die ersten mikrofonartigen Konstruktionen wurden „sound Transmitter“ genannt und wurden Mitte bis Ende des 19. Jahrhunderts entwickelt. (Johann Philipp Reis, Elisha Gray, Alexander Graham Bell, Emil Berliner entwickelten hierbei verschiedene Ansätze, die sich im Grundprinzip jedoch ähnelten.)<sup>19</sup>

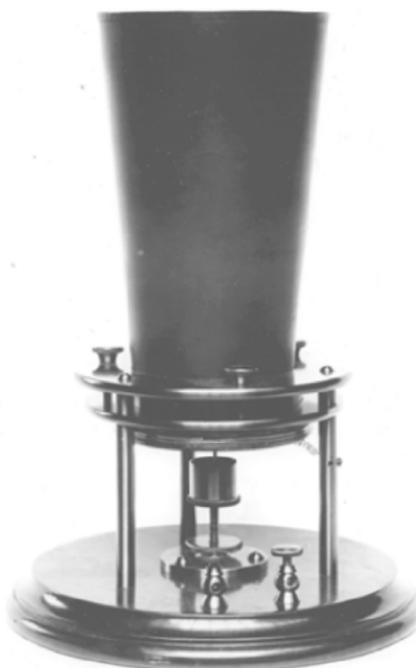
Diese frühen Mikrofontwürfe waren zur reinen Stimmübertragung gedacht, zunächst im Kontext der Telekommunikation. Allerdings konnten sie dieser Aufgabe nicht gerecht werden, da die Qualität unzureichend war. Dies änderte sich erst mit der Erfindung des Kohlemikrofons, eine Entwicklung, die auf David Edward Hughes zurückgeht, später erfolgreich von T. Edison weiterentwickelt.

Das Funktionsprinzip, welches dem heutigen Kondensatormikrophon ähnelt, bot erstmals eine Aufnahmequalität die für eine Anwendung in der Telekommunikation als ausreichend empfunden wurde. Das Interesse daran war so groß, dass auch Weiterentwicklungen schnell von statten gingen, sodass bereits Mitte der 1920er Jahre elektrische Aufnahmen getätigt werden konnten.<sup>20</sup>

---

19 Hugh Robjohns - A brief history of microphones, PDF, S.1

20 Eine kurze Geschichte der Tonaufzeichnung - Digital Audio Systems, PDF, S.27



Bell's original liquid transmitter microphone

Abbildung 4: Mikrofonentwurf A.G. Bell, 1876

#### 4.5 Das Kondensatormikrofon

Das Funktionsprinzip des Kondensatormikrofon basiert auf den Überlegungen und Theorien des Kohlemikrofons. Zwei Metallplatten als Ladungsträger werden einer elektrischen Versorgungsspannung ausgesetzt, der variable Abstand dieser Metallplatten bewirkt, dass eine kontinuierliche Spannungsänderung über dem daraus entstehenden Kondensator abgegriffen werden kann, da sich die Kapazität bei Schalleinwirkung ändert. Effektiv wird das Signal über einem parallelgeschalteten Widerstand abgegriffen. Im Falle des Mikrofon besteht der Kondensator aus Gegenelektrode und einer Membran, die die zweite elektrische Platte darstellt. Diese Membran ist im Falle eines Mikrofon zumeist eine dünne Metallfolie, die einfallendem Schall in ihrer Bewegung exakt folgen kann. Am Ausgang liegt somit ein elektrisches Audiosignal in Wechselspannung an, welches Schallereignisse sehr gut approximiert.

Auch hier gab es verschiedene Zwischenschritte in der Entwicklung, letztlich war es unter anderem jedoch ein deutscher Hersteller, der die wichtigen Weiterentwicklungen des Kohlemikrofons tätigte, und somit zu der Popularisierung von Kondensator-

mikrofonen maßgeblich beigetragen konnte: die Kommanditgesellschaft Georg Neumann und Co. brachte mit dem CMV3A das erste kommerzielle Kondensatormikrofon auf den Markt, welches das menschliche Hörspektrum vollumfänglich abbilden konnte.<sup>21</sup>



Abbildung 5: Neumann CMV-3 „Flasche“

Die folgenden Abbildungen zeigen schematisch die Funktionsweise der beiden technisch verwandten Mikrofontypen:

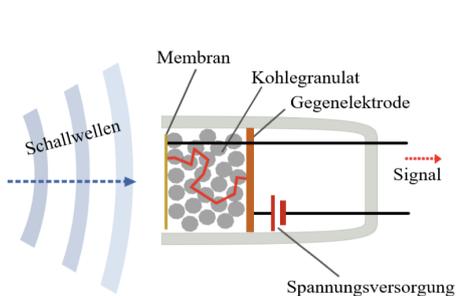


Abbildung 7: Schema Kohlemikrofon

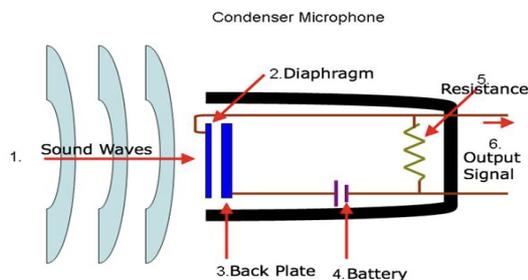


Abbildung 6: Schema Kondensatormikrofon

<sup>21</sup> The history of the microphone lossenderosstudios.com, PDF, S.5

## 4.6 Die magnetische Tonaufzeichnung

Parallel zu der Entwicklung des mechanischen Tonschriebs auf Walzen entstand im späten 19. Jahrhundert die Idee, Tonaufzeichnungen durch die Magnetisierung eines metallischen, leitfähigen Materials zu realisieren. Obwohl von Seiten verschiedener Forscher und Naturwissenschaftler Theorien dazu entstanden, hätte wohl niemand das spätere Potential dieser Technik vorausgeahnt. Ein erstes funktionsfähiges Gerät, das „Telegraphon“, wurde von einem dänischen Physiker namens Valdemar Poulsen entworfen (ca. 1890), es wurde zur Aufzeichnung von Telefongesprächen genutzt.<sup>22</sup>

Der Aufbau des Apparats war insofern zeitgemäß, ein Teil des Tonträgers war auch hier eine Walze, die jedoch helixförmig mit einem dünnen Stahldraht umwickelt war. Statt einer mechanischen Abtastung kam eine Magnetwandler zum Einsatz, der mittels einer Induktion den Draht bei einer Aufnahme magnetisieren konnte. Der Induktionsstrom wurde von dem an das System angeschlossene frühe Mikrofon geliefert. Beim Abspielvorgang wurde der Draht am Magnetkopf vorbeigeführt, die vorhandene Magnetisierung induzierte wiederum einen Strom in den Magnetkopf, welcher das Audiosignal repräsentierte. Das Gerät wurde auf der Pariser Weltausstellung 1900 vorgestellt und stieß zwar auf großes Interesse, jedoch konnte es die mechanische Schallaufzeichnung trotz einiger Vorteile nicht direkt verdrängen.<sup>23</sup>

Ein Problemfaktor war auch hier die zunächst begrenzte Audioqualität, sodass die Annahme bestand, die Technik wäre lediglich für Sprachaufzeichnung geeignet.

Zwar konnte die Aufnahmekapazität bereits früh soweit gesteigert werden, dass 30 bis 40 Minuten an kontinuierlicher Spieldauer möglich waren, jedoch mussten zunächst weitere Entwicklungsschritte getätigt werden, um eine Aufnahme- und Wiedergabequalität zu erzielen, die hinsichtlich erzielbarer Dynamik und Frequenzumfang für Musikaufnahmen geeignet war.

Nicht zuletzt war auch die Entwicklung der Elektronenröhre und damit verbunden die des Audioverstärkers maßgeblich, sodass Tonaufnahmen zunehmend elektrifiziert wurden, auch was die Wiedergabe angeht. Der dynamische Lautsprecher in Kombination mit einem Verstärker für Audiosignale löste mehr und mehr die bis da-

---

22 Eine kurze Geschichte der Tonaufzeichnung - Digital Audio Systems, PDF, S.39

23 Eine kurze Geschichte der Tonaufzeichnung - Digital Audio Systems, PDF, S.40

hin gängigen Wiedergabe über Schalltrichter ab. Es war also letztlich nur eine Frage der Zeit, bis sich die technischen Innovationen auch im klanglichen Verhalten von Aufnahme- und Wiedergabe bemerkbar machten. Zudem war diese Entwicklung für den Durchbruch der magnetischen Aufzeichnungsverfahren notwendig, da diese - im Gegensatz zu den mechanischen Wiedergabeverfahren mittels Tonabnehmer und Schalltrichter - auf eine Verstärkung in der Wiedergabe angewiesen sind. So wurden die offensichtlichen Vorteile des Systems von der breiten Masse an Konsumenten ebensowenig erkannt, wie von Firmen und Unternehmern als Investoren. Dies änderte sich erst mit der Entwicklung der Wiedergabeverstärker für Audioanwendungen.

#### **4.7 Entwicklung des Magnetophons**

1928 wurde von dem deutsch-österreichischen Ingenieur Fritz Pfelemer im Zuge verschiedener Beschichtungsexperimente das eigentliche Magnetband erfunden. Es bestand aus einem mit Eisenoxidpulver beschichteten Papierband und war den bisherigen Draht- und Stahlbandtonträgern deutlich überlegen. Interessanterweise war das Magnetband ein Nebenprodukt der Entwicklung vergoldeter Mundstücke für Zigaretten, ein Auftrag, mit der Pfelemer zu der Zeit betruet war. Er versucht damit zunächst ein Medium zu entwerfen, welches die Kosten der bis dato gebräuchlichen, aufwendig herzustellenden Stahlbänder für Magnettongeräte reduzieren sollte und gleichzeitig eine bessere Funktionalität bietet, was Pfelemer im ersten Anlauf gelang.<sup>24</sup> Zugleich entwickelte er ein Gerät zur Aufnahme und Wiedergabe für das damals als „tönendes Papier“ bezeichnete Medium. Allein die Tatsache, dass dieses beschichtete Papier problemlos mehrfach neu aufgenommen werden konnte, war zum damaligen Zeitpunkt eine Sensation, man verglich es zunächst mit dem Tintenband einer Schreibmaschine, allerdings für „Tonbilder“. Die folgende Abbildung Nummer 8 zeigt einen Artikel von 1931:

---

24 Zeitschichten Magnetbandtechnik als Kulturtraeger, Polzer eBook, 2020, S.47



Abbildung 8: Fritz Pfeumer und das Magnetbandgerät

Das zuvor eher tendenziell skeptisch betrachtete Magnettonverfahren konnte durch diese Entwicklungen derart an praktischem Nutzen gewinnen, sodass die Firmen AEG („Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft“, früher „Deutsche Edison-Gesellschaft für angewandte Elektrizität“) und BASF („Badische Anilin- und Soda-Fabrik“) die Rechte an den von Pfeumer entwickelten Techniken erwarben und diese weiter entwickelten.<sup>25</sup>

AEG übernahm dabei die Entwicklung eines ersten serienreifen Magnetophons, BASF entwickelte die entsprechenden Medien, zunächst ebenfalls mittels Tonbändern auf Basis von Papierträgern, bald jedoch auch mit Kunststoff als Basismaterial, welches deutlich reißfester war.<sup>26</sup> Auch die Feinheit der Beschichtung nahm in diesem Prozess zu, was der Klangqualität zu gute kam. Die folgende Abbildung zeigt mikroskopische Aufnahmen der frühen Papierbänder:

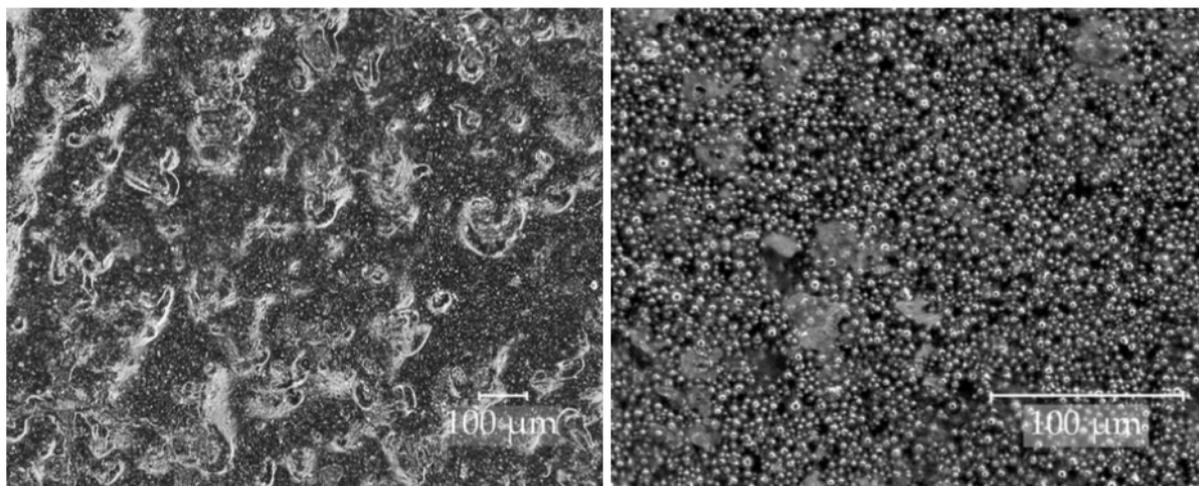


Abbildung 9: frühe Magnetbänder im mikroskopischen Vergleich

Links das von Pfeumer entwickelte beschichtete Papierband, welches ein eher flockenartiges Pigment verwendete, das noch relativ ungleichmässig aufgebracht war (ca. 1933), rechts das von der I.G. Farben entwickelte Magnetband, bei dem bereits ein deutlich feineres, kugelförmiges Magnetpigment zum Einsatz kam (1935).<sup>27</sup>

Die Wichtigkeit der gleichmässigen, möglichst feinen Beschichtung wurde im Zuge der Entwicklung also früh deutlich. Mit steigender Klangqualität des Magnetophons stieg auch das Interesse des Rundfunks, vor allem als mobiles Aufzeichnungsgerät. Zunächst lag der Vorteil gegenüber Nadeltonverfahren hauptsächlich in der Aufnahmedauer, doch mit AEGs Entwicklungen war auch schon bald die Tonqualität deutlich überlegen.

<sup>26</sup> Eine kurze Geschichte der Tonaufzeichnung - Digital Audio Systems, PDF, S.45

<sup>27</sup> Zeitschichten Magnetbandtechnik als Kulturtraeger, Polzer eBook, 2020, S.59

Nachdem im Jahre 1935 erste Probeaufnahmen mit dem AEG Magnetophon K1 (K steht für „Koffer“) in Mannheim durchgeführt wurden, entstand 1936 eine der ersten bedeutsamen Aufnahmen mit der neuartigen Magnetbandtechnik: die Aufzeichnung des „London Philharmonic Orchestra“ (Leitung: Sir Thomas Beecham), das im ‚Feierabendhaus Ludwigshafen‘ zu Gast war.<sup>28</sup>

Trotz aller frühen (Teil-)Erfolge der Magnetbandtechnik befanden sich die Ingenieure der AEG und IG. Farben vor dem Problem der noch immer eingeschränkten Aufnahmequalität der frühen Laborprototypen, namentlich einem hohen Rauschanteil auf den Aufnahmen, zudem auch ein für damalige Verhältnisse hoher Klirrfaktor von bis zu 10%, trotz zu Beginn hoher Bandgeschwindigkeit von  $1\text{m/s} = 100\text{cm/s}$ .<sup>29</sup>

Dies änderte sich erst wesentlich, als unter Experimentalbedingungen zufällig eine neue Technik entdeckt wurde, die Hochfrequenz-Vormagnetisierung, oder auch englisch „Bias“ genannt. Ein Begriff, der sowohl in der Röhrentechnik, wie auch in der Magnetbandtechnik existiert. Ein deutscher Ingenieur der RRG (Reichs-Rundfunk-Gesellschaft) namens Walter Weber experimentierte mit einer Feedbackschaltung des Aufnahmeverstärkers zur Reduzierung des bis dahin unzureichenden Rauschverhaltens des Magnetophons, was lediglich eine Dynamik von 30dB zuließ (bei zuvor genannten Verzerrungen von 10%). Diese Schaltung konnte das Rauschen um lediglich 3dB reduzieren, was an sich keine so großartige Verbesserung darstellte und damit der Dynamikumfang, ebenso wie das Klirrverhalten noch nicht als aussergewöhnlich bezeichnet werden konnte.<sup>30</sup>

Als die gegebene Versuchsschaltung jedoch aufgrund eines Schaltungsfehlers zu oszillieren begann, konnte unerwartet eine deutliche Verringerung des Rauschens festgestellt werden, ebenso wie ein deutlich verbessertes Aufsprechverhalten hoher Frequenzen.

---

28 Tonbandmuseum - Frühe Magnetbandaufnahmen, PDF, S.2

29 Eine kurze Geschichte der Tonaufzeichnung - Digital Audio Systems, PDF, S.46

30 Walter Webers Technical Innovation at the Reichs-Rundfunk-Gesellschaft, Friedrich Engel 2006, PDF, S.3

"While experimenting with negative feedback, the test circuit began to oscillate under high degrees of feedback. When oscillation began, a dramatic decrease in background noise was observed. ... The first experiment ... [noise reduction using high frequencies] was conducted merely combining high and low frequencies together at the recording head. It was expected that the low frequencies would be missing from the recording, but this was not the case. On the contrary, the lower frequencies were very clean and recorded with a much lower noise level. Tests showed a noise reduction of 10 dB with a nonlinear harmonic distortion coefficient reduction from 10 % to 3 % with the same voltage on the playback head as reference. This phenomenon was further developed and resulted ... in an entirely new recording technique. ... Expanding the frequency curve to 10 kHz, a dynamic range of 60 dB was reached with a distortion factor of 1.5% at 1,000 Hz".<sup>17</sup>

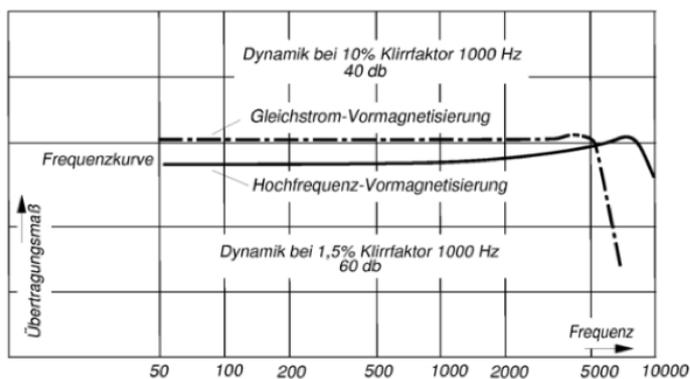


Fig. 3: Frequency response and dynamic with DC bias ("Gleichstrom-Vormagnetisierung") und AC bias ("Hochfrequenz-Vormagnetisierung"), showing also a significant reduction of distortions from 10 % to 1.5 %<sup>18</sup>

Abbildung 10: Beschreibung der HF-Vormagnetisierung

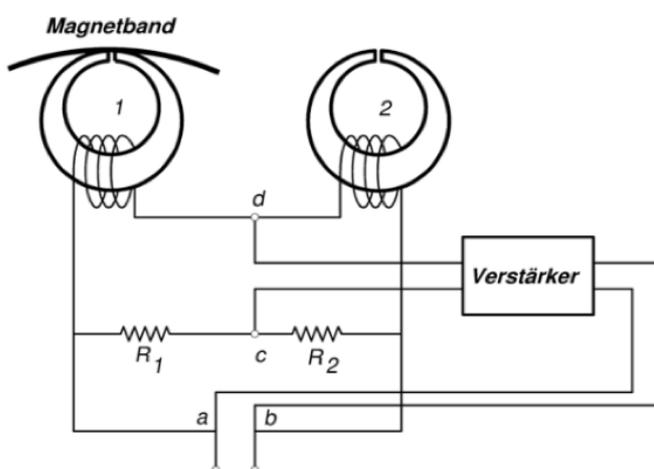


Fig. 2: Weber's experimental circuit for noise reduction via negative feedback: 1 active magnetic recording head, 2 "dummy" head; Magnetband = magnetic tape; Verstärker = amplifier. The bridging voltage occurring at d and c – the difference in voltage between heads 1 and 2 – would be amplified and act as a negative feedback, thus decreasing the tape-induced noise in the recording process

Abbildung 11: Experimenteller Schaltkreis negatives Feedback nach Weber

Auf die technischen Eigenheiten der HF-Vormagnetisierung wird in der vorliegenden Arbeit zum späteren Zeitpunkt eingegangen werden. An dieser Stelle soll jedoch betont werden, welche Wichtigkeit diese Entwicklung aus geschichtlicher Sicht hatte, denn sie war es, die das Magnetophon fortan zum konkurrenzlos besten Aufnahme-gerät machte.

Ab der Entwicklung und Implementierung des HF-Bias konnte die Aufnahmequalität sämtliche bis dahin verfügbaren Nadeltonverfahren deutlich übertreffen. Die folgende Abbildung vergleicht die technischen Daten der frühen AEG Magnetophone, K2 bis K4 mit Gleichstromvormagnetisierung, ab K4 mit Hochfrequenz-Vormagnetisierung:

Magnetophontyp	AEG K2 bis K4	AEG K4 bis K7
Bandgeschwindigkeit	77 cm/sek	77 cm/sek
Art der Löschung und Vormagnetisierung	Gleichstrom	Hochfrequenz 44:1 Off kHz
Vorgang der Löschung	Magnetisierung bis zur Sättigung	Völlige Entmagnetisierung
Aufsprechvorgang	Niederfrequenz vergrößert bzw. verkleinert (ihrer Amplitude entsprechend) das magnetische Feld, ausgehend von einem durch die Vormagnetisierung bestimmten Arbeitspunkt. Die Magnetisierungsänderung bewegt sich in der Mitte des geradlinien Teiles der Grenzhystereseurve.	Niederfrequenz bestimmt lediglich den Arbeitspunkt der HF-Magnetisierung und damit die Größe der verbleibenden Remanenz. Es ergibt sich ein zur Nullachse unsymmetrisch verlaufendes an- und abklingendes Wechselfeld. In den Sprechpausen verschwindet die Magnetisierung völlig.
Dynamik	30db (später bis 38db)	bis 58db
Frequenzgang $\pm 2$ db	50 ... 5 500 Hz	30 ... 10000 Hz
Klirrfaktor (bei der Betriebsdynamik und $f = 1000$ Hz)	5 - 10%	unter 2 - 3%

Abbildung 12: Technische Daten der AEG Magnetophone

Das AEG Magnetophon K4 wurde 1941 noch als Monogerät vorgestellt, 1944 erschien das K7 als erstes Stereogerät. Der Frequenzumfang betrug nun laut Datenblatt bei einer Toleranz von  $\pm 2$ dB 30Hz bis 10000Hz, eine Dynamik von knapp 60dB bei einem vertretbaren Klirrfaktor unter 3%. Somit war bei damaligen Rundfunkstandards der qualitative Flaschenhals die Übertragungstechnik, nicht mehr das Wiedergabemedium. Die Magnetophone mit HF-Bias Technik waren Aufnahmetechniken auf Wachs- oder Acetatplatten also ab Anfang der 40er Jahre überlegen.<sup>31</sup> Mit dem Gerät K7 konnten beim Berliner Reichs-Rundfunk erste Stereoaufnahmen mittels zweier Neumann-Mikrofone realisiert werden.

31 Eine kurze Geschichte der Tonaufzeichnung - Digital Audio Systems, PDF, S.46

Das Gerät bestand aus Laufwerk und zwei externen Schränken mit Aufnahme- und Wiedergabeverstärkern auf Basis von Röhrentechnik. Somit noch nicht unbedingt besonders kompakt und mobil, jedoch war es aufgrund der guten Aufnahme- und Wiedergabequalität der Hörerschaft im Radio nicht möglich, Magnetbandaufnahmen von Live-Übertragungen zu unterscheiden, ein Novum im Rundfunk.<sup>32</sup>

Aufgrund des Krieges sind von diesen ersten Stereoaufnahmen nur noch sehr wenige Kopien erhalten geblieben. Die folgende Abbildung zeigt den ersten Stereotonkopf in 2-Spur-Technik, entwickelt von AEG für die Reichs-Rundfunk-Gesellschaft:

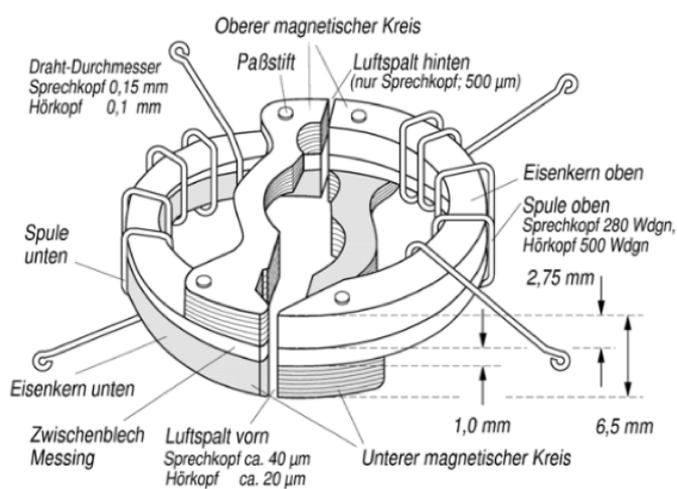


Fig. 7: Schematical representation of stereo magnetic head as used by RRG (developed by Eduard Schüller, AEG)

Abbildung 13: Aufbauschema Tonkopf Stereo nach Schüller

## 5. Magnetband: Rundfunk und Studio

### 5.1 Einzug des Magnetbandes in Produktionsumgebungen

Die praktischen Aspekte der Magnetbandtechnik riefen in den Rundfunkstudios zügig Begeisterung hervor. Nicht nur die gesteigerte Klangqualität, auch die Möglichkeit, Bandmaterial neu zu bespielen, teilweise zu löschen, zu schneiden, ermöglichte die Vorproduktion von ganzen Sendungen, was bislang mit mechanischen Nadeltonverfahren nicht möglich war. Dies eröffnete neue Möglichkeiten, die auch den Tonstudios nicht entging. In Amerika wurde die damals kleine Firma Ampex mit der Entwicklung eines Magnetbandrekorders auf der Ideenbasis des AEG Magnetophons beauftragt, es erschien 1948 die Tonbandmaschine „Ampex 200A“, welche fortan in der Unterhaltungsindustrie zum Einsatz kam.<sup>33</sup> Es war der damals Bing Crosby - zu der Zeit Amerikas bekanntester Radiomoderator, der das Potential der Technik erkannte.<sup>34</sup>



AMPEX 200A at Capitol Records.

Abbildung 14: Ampex Recorder Modell 200A, Capitol Recordings

<sup>33</sup> AMPEX Model 200\_200A Tape Machine History and Information, PDF, S.1 ff.

<sup>34</sup> Eine kurze Geschichte der Tonaufzeichnung - Digital Audio Systems, PDF, S.49

Abbildung 14 zeigt eine Ampex 200A Maschine in den Capitol Records Ende der 1940er Jahre. Auch im Tonstudiobetrieb konnte man die praktischen Eigenschaften des neuen Mediums gut nutzen, vor allem die Schnittmöglichkeit erleichterte die Aufnahmearbeit immens. Erstmals bestand die Möglichkeit, ein einzelnes Teilstück einer Aufnahme nochmals zu spielen und in eine bestehenden musikalischen Kontext oder in eine andere Darbietung zu integrieren.

## 5.2 Mehrkanalige Tonaufnahmen: Stereophonie

Basierend auf den Erkenntnissen und Entwicklungen der Magnetbandtechnik wurde die mehrkanalige Programmproduktion praktikabel, ebenso wie die Multitrackaufnahme. Dieser Gedanke beinhaltete zunächst jedoch nur zwei bis maximal drei Kanäle. Überlegungen zur Stereophonie existierten zwar schon seit Ende des 19. Jahrhunderts, jedoch war es der britische Ingenieur Alan Dower Blumlein, der in den 1930er Jahren erste Stereoaufnahmen realisierte und die zugehörigen Mikrofonierungstechniken begründete.<sup>35</sup> Der damals bei EMI (Electrical & Musical Industries Ltd.) angestellte Entwickler realisierte, dass zu einer realistischen Wiedergabe, bei der Schallereignisse für das menschliche Ohr ortbar und räumlich dargestellt werden können, mindestens zwei Lautsprecher von Nöten seien. Jedoch war es bis dato schwierig und unüblich, Stereoaufnahmen mittels Nadeltonverfahren zu realisieren. Blumlein selbst erfand zwar eine Schnitttechnik, die bis heute Relevanz zeigt und das Seitenschnitt mit dem Tiefenschnittverfahren kombiniert („Zwei-Komponenten-Schnitt“). Es konnte also eine zweikanalige Schallplatte realisiert werden, die erste kommerzielle Stereoschallplatte erschien jedoch erst 1958, somit blieb dem Heimkonsumenten diese Technik noch eine Weile verwehrt. Wie im Kapitel zuvor bereits erwähnt, wurde auch in Deutschland mit Stereophonie experimentiert, die Aufnahmen fielen jedoch grösstenteils den Krieg zum Opfer. Obwohl kein stereophonies Wiedergabemedium existierte, wurden für Archivzwecke 2-kanalige Aufnahmen getätigt.<sup>36</sup>

---

35 The Story of Stereo, John Sunier, Gernsback Library, 1960, S.32

36 Eine kleine Geschichte der Stereophonie, FIDELITY online, PDF, S.1 ff.

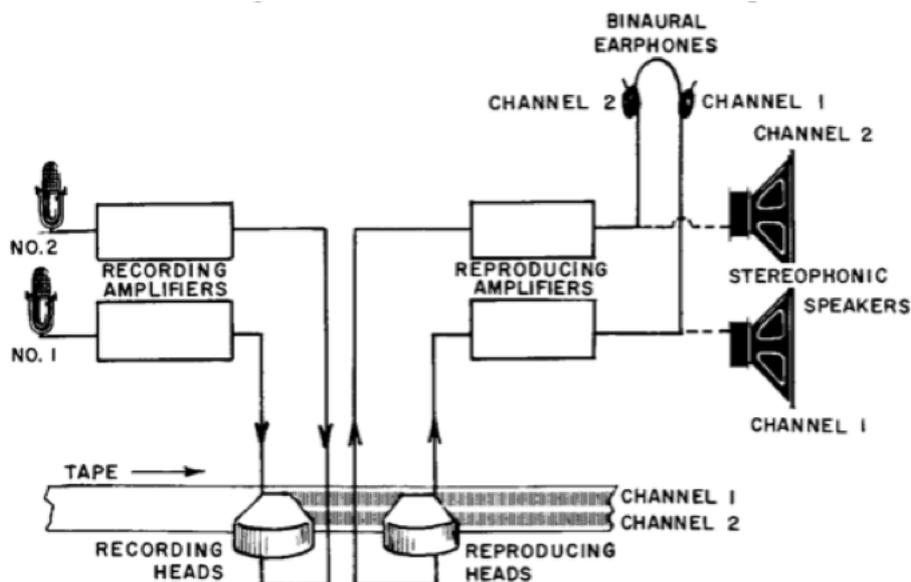


Fig. 402. A two-track stereo tape recorder using stacked recording and pickup heads. The stacked heads are shown as single units in this simplified diagram.

Abbildung 15: Schema Stereoaufnahme auf Tonband

In dem zeitgenössischen Buch „The Story of Stereo 1881-“, von John Sunier, beschreibt der Autor den Stand der Technik wie folgt: „The second program medium we shall consider is magnetic tape. Of all media of recording, it is by far the simplest for multichannel work. It is possible to put as many tracks as we wanted on the tape. All that is necessary is to record the individual channels in adjacent and parallel tracks across the tape, with pickup heads to match.“<sup>37</sup>

Damit dürfte klar sein, welches Aufnahmemedium für die ersten im Handel erschienenen Stereo-Schallplatten Ende der 1950er Jahre zur Produktion diente.

Der Zweispurtonkopf für das Magnetophon existierte bereits. Zwar ging dieses Prinzip auf die Reichs-Rundfunk-Gesellschaft und die Idee der Spurseparation in zwei getrennte Frequenzbänder zurück, Stichwort Rauschreduktion, diese war seit der Einführung der HF-Hochfrequenzvormagnetisierung jedoch obsolet. So war es offensichtlich, das Magnetband in zwei oder mehrere Spuren aufzuteilen und auch mehrere parallele Aufnahmen mit vollem Frequenzspektrum zu realisieren.

<sup>37</sup> The Story of Stereo, John Sunier, Gernsback Library, 1960, S.74

Sowohl im europäischen Raum, als auch in den USA war die Industrie Anfang der 1960er Jahre bemüht, die Stereophonie dem Konsumenten zugänglich zu machen. Die Optionen beinhalteten die zum Massenphänomen gewordene Vinylschallplatte (PVC - Polyvinylchlorid), die den Seiten- und Tiefenschnitt nach Blumlein nutzt, um ein Stereosignal abzubilden. Man nennt diesen im Kontext der Vinyl auch Mikroschnitt, der in Kombination mit der RIAAA-Entzerrung sehr schmale Spurbreiten und damit eine lange Spieldauer ermöglicht.<sup>38</sup> Die schlicht „Vinyl“ genannte Platte ließ sich im Gegensatz zur Schellackplatte einfacher, günstiger und somit in deutlich größeren Stückzahlen herstellen, wodurch sie für jedermann erschwinglich und zum absoluten Massenphänomen wurde. Eine weitere, zunächst eher nischenhafte Option waren die ersten Heimtonbandgeräte in Stereo, welche sich aufgrund ihrer eher komplexen Handhabung und dem vergleichsweise hohen Preis nicht recht durchsetzen konnten. Das Vorbespielen von Tonbändern war vergleichsweise aufwendig und die Wiedergabequalität von diversen anderen Parametern abhängig, die in dieser Arbeit noch erläutert werden. Schnell wurde klar, dass das Magnetband im Bereich der Spulentonbandgeräte nicht das ideale Medium für vorproduzierte Tonträger ist, dagegen aber individuelle Aufnahmemöglichkeiten mit sehr guter Qualität bieten kann.

Somit konnte sich in den folgenden Jahren im professionellen Bereich das Magnetband als Aufnahmemedium voll und ganz durchsetzen, wobei AEG / Telefunken als deutsche Firma, ebenso wie die Firma „Studer“ aus der Schweiz (später mit Produktion in Deutschland) weltweite eine maßgebliche Rolle spielten. Viele Aufnahmeverfahren wie z.B. das Overdubbing wurden durch die Technik begründet. In den USA war die Firma Ampex stark vertreten, die durch die dortige Rundfunk- und Plattenindustrie stark unterstützt wurde. Es wurden nicht nur Geräte, sondern auch eigenes Bandmaterial gefertigt. Auch in Japan wurden schon bald erfolgreich Bandmaschinen entwickelt, das Angebot für den Heimsektor war vor allem aus dieser Region immens, sodass sich enthusiastische Hobbyisten wie Toningenieur zu Hause fühlen konnten. Japanische Bandgeräte waren aber auch in Studios vertreten, dabei vorwiegend von den Firmen Tascam/Teac, Otari, Sony, jedoch entwickelten auch die anderen Firmen für „Konsumerelektronik“ Bandmaschinen mit professionellem Anspruch, z.B. Pioneer und Technics.

---

<sup>38</sup> Eine kleine Geschichte der Stereophonie, FIDELITY online, PDF, S.5

### 5.3 Entstehung des Multitrackrecordings

Während heute Multitrackrecording, also das parallele und zeitgleiche Aufzeichnen mehrerer Audiospuren keine Frage des Equipments mehr ist, war die Technik in den 1940er und frühen 1950er Jahre noch unbekannt. Während heute diese Aufgabe quasi jeder handelsübliche Computer mit einem geeigneten Audiointerface übernehmen kann, brauchte es in der Geschichte der mehrkanaligen Tonaufzeichnungen zunächst entsprechendes Gerät. Zwei Firmen waren Pioniere in diesem Gebiet: Studer und Ampex. In der Broadcast-Industrie waren zunächst 3-Kanalige Bandmaschinen im Einsatz, welche zu einer Mono-Musikaufnahme die Möglichkeit boten, Sprache oder andere Signale parallel aufzunehmen. Es dauerte bis in die 1960er Jahre, bis die Entwicklung Fahrt aufnahm.

Die Idee des Overdubbing auf frühen mehrkanaligen Maschinen entstand in den USA durch Künstler wie Bill Evans oder Les Paul, die sich selbst mehrfach aufnahmen. Zu diesem Zweck baute die Firma Ampex einen 8-Spur Rekorder auf Basis von Magnetband, der exklusiv vom Gitarrist und Erfinder Les Paul genutzt wurde, um experimentelle Overdubaufnahmen zu machen („Sel-Sync“ und „Sound on Sound“ waren frühe Begriffe für diese Technik).<sup>39</sup>

Neben diesen Techniken experimentierte Les Paul auch mit weiteren Bandeffekten wie Tape Delay, Phasing, Flanging und das nachträgliche Ändern der Abspielgeschwindigkeit zu Effektzwecken. Er begründete damit eine ganz neue Kreativität im Umgang mit Aufnahmemedien, Ideen, die bis heute wegweisend sind.

Im Jahre 1961 brachte die Firma Studer die Stereobandmaschine C37 auf den Markt, gefolgt von der 4-Spur Bandmaschine J37 in 1964, welche auch in den Abbey Roads Studios zum Einsatz kam.<sup>40</sup> Aufgebaut in bis heute beispielhafter Modulbauweise, damals noch in Röhrentechnik, definierte die 150kg schwere 1“ Bandmaschine den Workflow der Produktion von Popmusik der folgenden Jahre. Die Begriffe „Reduction Mix“, „Bounce“ wurden geprägt, indem die 4 aufgenommenen Spuren gemischt und auf eine weitere Spur einer anderen Maschine gespielt wurden. Komplizierten Arrangements mit häufigen Overdubs stand nichts mehr im Wege. Die C37 kam als 2-Track Mastermaschine zum Einsatz.

---

39 History Of Recording - Les Paul - Tape Multitracking, PDF, S.5

40 Studio Icons - Studer J37, PDF



Abbildung 16: Studer J37, Katalogbild

Mike Willox, Autor bei MusicTech / NME Networks, beschreibt im Rahmen der Serie „Studio Icons“ die frühen Studiotekniken und -werkzeuge, die Popmusik geprägt haben. Aus dem in der Fußnote genannten Artikel stammt folgendes Zitat:

/// **The importance** of the J37  
cannot be underestimated in the  
history of **recording technology** ///

Abbildung 17: Zitat aus "Studio Icons" von Mike Willox

Ebenso beschreibt der Artikel, dass die Schweizer Firma „Studer“ die „weltbesten Maschinen“<sup>41</sup> baute, die in den Bereichen Servicefreundlichkeit, Modularität, Zuverlässigkeit und Klang Maßstäbe setzten und der Konkurrenz damit im Handling voraus waren.

---

41 Studio Icons - Studer J37, PDF

Nur so konnten sich die neuen, bis dato experimentellen Workflows durchsetzen.

Bekannte Künstler, die auf J37 Maschinen aufgenommen haben, waren unter anderem die Beatles, Manfred Mann, George Harrison, Pink Floyd, Mike Oldfield, die Beach Boys und die Rolling Stones. Die Studer J37 ist eine der ikonischen Studio-bandmaschinen, die von der Firma Waves digital emuliert wurde.



Abbildung 18: Studer J37, Abbey Roads Studios

Der Einfluss auf die Popmusik war der mehrkanaligen Aufzeichnungstechnik nun nichtmehr abzuspochen, was auch der Hörschaft auffiel. Die Komplexität der Aufnahmen stieg merklich und die Arrangements wurden immer dichter, zusätzliche Effektspuren oder rückwärts laufendes Material stellten kein schwer lösbares Problem mehr dar.

Der technische Stand Mitte der 1960er Jahre war also definiert, Grenzen wurden jedoch weiter verschoben und Praktiken des „reduction mixings“ ließen Wünsche nach mehr Aufnahmespuren aufkommen, um Workflows weiter zu vereinfachen und die Qualität zu verbessern. Ende der 1960er Jahre baute Ampex eine 16-Kanal

Bandmaschine für die Mirasound Studios in New York, es war die erste großformatige Bandmaschine ihrer Art, sie nutzte 2" Band und eröffnete den Audio Engineers größere Flexibilität in der Aufnahme und der Postproduktion.<sup>42</sup> Robert Goldman, Präsident der Mirasound, sprach über die neue Technik wie folgt:

„With our 16-track recorder," Goldman said, "individual instrument sounds can be recorded on separate tracks, separately equalized, deleted or combined with other sounds on the tape at a later mix-down session." Having many tracks available means that a sound of doubtful quality can be temporarily saved and evaluated later. For example, a drum take can be compared with later takes with only the best one being saved for master recording. "With 8-track recording, tracks sometimes had to be cleared for this type of sound saving," Goldman continued. "Tracks one and two might have had to be combined and recorded on track three so that the second drum take could be recorded on track one. In doing this, track three became second generation, possibly of lesser quality than the original tracks. Tracks often had to be dubbed any number of times with the resultant music diminished in quality from the original." The final master tapes at Mirasound are mixed to two-track stereo for album release and single channel mono for singles on AG-350 recorders.<sup>43</sup>

Der Gedanke dieses Workflows entspricht also schon weitestgehend dem des modernen Multitrackrecordings. Der Generationenverlust des häufigen Reduzierens der Spuren konnte verringert werden, wodurch die originale Dynamik der Mehrspuraufnahmen besser konserviert werden konnte. Das grundlegende Problem bestand darin, dass sich bei jeder analogen Kopie auch das Rauschen, Frequenzgangfehler, sowie der Klirrfaktor addierten, sich also jeder reduzierende Bearbeitungsschritt durch Verringerung der Tonqualität bemerkbar machte.<sup>44</sup> Somit stelle es aus tontechnischer Sicht einen deutlichen Vorteil dar, 16 Spuren direkt bespielen zu können, und nicht 16 Spuren durch 4-faches Downmixing von 4-Spuren auf andere 4-Spur Maschinen zu generieren, ganz zu schweigen von der Tatsache, dass mit 16 parallel nutzbaren Kanälen mehr Möglichkeiten bestanden, Einzelsignale zu im Panorama platzieren.

---

42 Mirasound Recordings Studios NY – historyofrecording.com, PDF

43 Mirasound Recordings Studios NY – historyofrecording.com, PDF

44 Bremm, Das digitale Tonstudio, PPV 2004, S.13

Auch in Europa sprang die Firma Studer bald auf den Zug der großformatigen Bandmaschinen auf, um Recorder anbieten zu können, die mehr als 4 Spuren gleichzeitig aufzeichnen können. Qualitativ und klanglich hatte man bereits mit den Maschinen C37 und J37 Maßstäbe gesetzt, die Maschinen waren in den besten Studios der Welt im Einsatz. Ein gedankliches Bindeglied in die internationale Musikwelt bildete der britische Musiker und Tontechniker Alan Parson, der in den später 1960er und 70er Jahren in den Abbey Road Studios arbeitete, wo die Maschinen der Schweizer Firma im Einsatz waren. Studer brachte 1970 die Maschine „A80“ heraus, die vom Hersteller als „Meilenstein in der Geschichte der magnetischen Tonaufzeichnung“ beworben wurde.<sup>45</sup> Die Maschine existierte in zahlreichen Versionen: von einfachen Mono-Vollspurmaschinen bzw. Stereomaschinen ohne Aussteuerungsinstrumente für den Rundfunk bis hin zu 24-Kanalmaschinen mit großen Meterbridges und 24 VU-Metern. Folgende Abbildungen zeigen verschiedene Ausführungen der A80:



Abbildung 20: Studer A80 2-CH und 8-CH

Von links nach rechts:

- Studer A80, 2-CH Stereo, 1/4“ Band
- Studer A80, 8-CH, 1“ Band
- Studer A80, 24-CH, 2“ Band

Abbildung 19: Studer A80 24-CH

45 STUDER A80 - STUDER und ReVox Infoportal, PDF, S.1

Wie man an dem Verhältnis Spuranzahl zu Bandbreite erkennen kann, wurde die Spurbreite nicht immer gleich ausgeführt. Stereo- bzw. 2-CH Maschinen schrieben mit 2 bzw. 2,75mm Spurbreite, die 8-Kanal Maschine auf 1“ Band nutzt 1,75mm breite Spuren, die 24-Kanal Maschine kommt noch auf 1mm Spurbreite.<sup>46</sup> Auf dieses Thema wird jedoch in den folgenden Kapiteln noch genauer eingegangen.

## 5.4 Semiprofessionelle Formate

Während sich im Laufe der 1960er Jahre das 4-Track Recording etabliert hat und wenig später in kommerziellen Studios bereits zum Mindeststandard zählte, entwickelten die Hersteller professioneller Studioteknik bereits an den zuvor genannten großformatigen Maschinen mit breiteren Magnetbandmedien und breiteren Tonköpfen mit höherer Spuranzahl. Auch an der Elektronik wurde geforscht und entwickelt: Der Wechsel von Röhren- zu Transistortechnik für Versärkungszwecke wurde Ende der 1960er Jahre vollzogen, die meisten Geräte Anfang der 1970er Jahre waren bereits mit „solid-state“ Technologie ausgestattet.<sup>47</sup> Dieser Schwung an Innovationen sorgte dafür, dass Multitracking im kleineren Stil auch bald für Heimanwendung, Musiker und Hobbystudios erschwinglich wurde. Zudem hatte sich für Konsumenten das Heimtonbandgerät als eine kompetente und flexible Aufnahmemöglichkeit etabliert. Anfang der 1970er Jahre sprang die Firma TEAC/TASCAM auf den Zug der Quadrophonie auf und entwickelte auf Basis dieser Idee erste 4-Track Geräte für den semiprofessionellen Anwender oder den Heimgebrauch. Somit entstanden 1973 die Modelle Teac 2340 bzw 3340 (Abbildung 21). Die Maschine bot prinzipiell die selben Funktionen, wie die großen Vorbilder aus den Studios. Es konnten einzelne Kanäle unabhängig voneinander abgehört, gemischt, überspielt oder gelöscht werden. Als Medium wurde handelsübliches 1/4“ Band auf 7“ Spulen verwendet, die Teac 3340 baute größer und konnte auch 10,5“ Spulen nutzen für längere Spieldauer.

---

46 STUDER\_TI\_xx-xx\_D\_A80\_HeadTables, PDF

47 Solid-State Elektronik: Der Begriff beschreibt die Verwendung von Halbleiterelektronik statt Vakuumröhren zu Schaltungs- und Verstärkungszwecken



Abbildung 21: 1973: Teac 2340 / 3340

Ein weiterer Faktor war das Erscheinen und die Weiterentwicklung der Kompaktkassette. Erschienen bereits 1963 (Entwickelt durch die Firma Philips) mit den Anspruch, brauchbare Sprachqualität für portable Aufnahmegeräte zu bieten, mauserte sie sich durch technische Innovationen und verbesserte Bandmaterialien zu dem bei weitem populärsten magnetbandbasierten Medium, welches die Art und Weise, wie Musik gehört und gelebt wurde, revolutioniert hat. Die CC (Compact Cassette) wurde zum Kultobjekt durch ihre Flexibilität und Erschwinglichkeit. Mixtapes, das Aufnahmen vor dem Radio, mobiles Musikhören durch den Walkman begeisterte vor allem Jugendliche und junge Erwachsene, ebenso hatte quasi jedes Auto ein Radioteil mit Cassettenabspielgerät. Somit ist die CC auch der gedankliche Prototyp und praktischer Vorläufer späterer Techniken wie MD oder tragbaren Medien-/ MP3-Playern.

Durch das sehr dünne und gerade 1/8" schmale Band, auf dem üblicherweise 4 Spuren zu je 0,6mm Spurbreite untergebracht sind, ist auf Aufnahme und Wiedergabe etwas fragil und empfindlich, obwohl umgekehrt die CC immer als ein sehr ro-

bustes Medium galt. Die Bandgeschwindigkeit wurde für Standardanwendung auf 4,75cm/s normiert, einige Geräte machten hier jedoch ausnahmen. Der Compact-cassette hängt heute der Ruf nach, keine gute Klangqualität besessen zu haben, was jedoch nicht uneingeschränkt der Wahrheit entspricht.

Wieder war es die Firma TEAC/TASCAM, die das beliebte Medium nutzte, um damit eine neue Gerätegattung auf den Markt zu bringen: die Portastudio-Serie.



Abbildung 22: 1979: Teac 144

Das Modell 144 erschien 1979 und wurde seitens des Herstellers offensiv mit den „Funktionen eines professionellen Studios“ beworben. Tascam nutzte dazu sogar BBC als Werbepartner, Michael Rodd demonstrierte 1980 die Funktionen des Portastudios und erklärte, Musik bestünde zunehmend aus mehreren Parts und Ebenen, die nicht alle gleichzeitig eingespielt werden könnten, deshalb bräuhete moderne Musik die Möglichkeiten des Multitrackings, um konkurrenzfähig zu sein.<sup>48</sup>Tatsächlich wurden die Geräte ein großer Erfolg und gelten heute als wichtige Innovation in der Geschichte der Musikproduktion. Unzählige Demos und ganze Songs wurden auf Portastudios aufgenommen, wobei der Begriff „Portastudio“ ein Markenname von TEAC/TASCAM ist, der eigentlich erst mit dem Nachfolger, dem Tascam 244, eingeführt wurde.

<sup>48</sup> TEAC Tascam 144 4-Track Cassette Recorder 1980 Demonstration Video

Andere Hersteller wie z.B. Fostex und Yamaha produzierten später ähnliche Geräte.<sup>49</sup> TEAC bewarb die Technik auch, indem Geräte (teils Vorserie) an Künstler verteilt wurden. Die Technik schlug auch hier Wellen, bekannte Künstler nahmen Demos, Songs und sogar ganze Alben zu Hause auf. Interpreten wie Bruce Springsteen, Seal, Oasis oder Sting nutzen Portastudios zur Produktion ihrer Musik. Diese Tatsache lag im kreativen Freiraum begründet, den die Geräte boten. Zwar sind und waren kommerzielle Studios von der Ausstattung deutlichste überlegen, der technisch beste Raum ist allerdings nicht immer der, in dem sich ein Künstler besonders kreativ fühlt.

Spätere Geräte wurden technisch verbessert: es wurden parametrische EQs mit mehr Funktionen integriert, DBX Rauschunterdrückung, doppelte Bandgeschwindigkeit und sogar 6 statt 4 Aufnahmekanäle konnten realisiert werden, wobei technisch weiterhin nur 4 Kanäle auf das Band geschrieben wurden, man konnte jedoch parallel zwei Kanäle einem Aufnahmekanal zuweisen. Die Cassette konnte sich also nicht nur zur generellen Musikikone hochstilisieren, sie wurde auch zur Heldin des Home-recording. Im Laufe der 1980er und 1990er Jahre erschienen weitere Geräte auf Basis dieser Technik, mit immer mehr professionellen Funktionen, es wurde versucht, sich an die professionellen Mixing-Consolen dieser Zeit heranzutasten.



Abbildung 23: Tascam Portastudio 488 MKII

## 5.5 Zwischenfazit

Im ersten großen Kapitel der Arbeit wurden nun verschiedene historische Aspekte der Tonaufzeichnung betrachtet, der mechanischen, sowohl auch der magnetischen. Es sollte ein Überblick geschaffen werden, wie Funktionsprinzipien gedanklich und auch entwicklungstechnisch aufeinander aufbauten, aber auch miteinander in Konkurrenz standen. Ein Trend zeichnete sich klar ab: die Koexistenz der mechanisch arbeitenden Schallplatte und den magnetischen Aufzeichnungsverfahren Tonband war über einen langen Zeitraum ein Erfolg für alle Bereiche. Für den Endkunden und Konsumenten war das analoge Format Vinyl klar zu bevorzugen, da insgesamt einfacher in der Handhabung, günstiger und qualitativ ansprechend, auch im Hinblick auf künstlerischen Aspekte wie Artwork, Covergestaltung und so weiter. Studios und Rundfunkeinrichtungen konnten von den Entwicklungen der magnetischen Aufzeichnungsverfahren profitieren, ebenso wie ambitionierte Heimanwender, Musiker und Hobbyisten. Der Begriff des „recording artists“ wurde geprägt, Techniken des Multitrackings, Overdubbings begründet. Erst die Weiterentwicklung und massenhafte Verbreitung der Compact-Cassette warf dieses Gefüge etwas durcheinander. Es bildete sich durch die Erweiterung der Zielgruppe ein ganz neuer Markt, eine neue Kultur um die Art und Weise, wie Musik verbreitet und gehört wird. Magnetband erleichterte im Allgemeinen die Arbeit in Tonstudios und beim Rundfunk, die allgemeine Programmgestaltung und -produktion wäre über Jahrzehnte ohne dieses Medium nicht denkbar gewesen. Was bleibt heute davon, stellt sich nun die Frage.

Letztendlich vieles und nichts, wie die Arbeit noch zeigen wird. Analogband wird heute nichtmehr benötigt, da zu reinen Aufnahmезwecken andere Mittel zur Verfügung stehen, und doch entstanden im letzten Jahrzehnt zwei Phänomene, zum einen ein gewaltiger Anstieg bei Gebrauchtpreisen ikonischer Bandmaschinen, zum anderen das Aufkommen der digitalen Emulationen von Bandmaschinen. Hier sollte natürlich zwischen den zugrundeliegenden Ideen unterschieden werden, da generell zwei Ansätze existieren.

Einmal die möglichst originalgetreue digitale Emulation einer real existierenden Maschine (z.B. Waves Studer J37, UAD Studer A800), oder eben die eher vorbildlosen „Lo-Fi Plugins“<sup>50</sup> wie z.B. RC-20 von XLN Audio, die eben Gleichlaufschwankungen und Dropouts von nicht mehr ganz perfekt funktionierendem Equipment wie Tonbandmaschinen, Cassettendecks oder Plattenspielern emulieren wollen. Ziel ist es dabei, Signalen einen deutlichen Charakter zu geben, der sich von der digital-perfekten Umgebung deutlich abhebt.

---

50 „Lo-Fi“ für Low-Fidelity steht eigentlich im Gegensatz zu dem vor allem in den 1970er - 1990er Jahren populären Begriff „Hi-Fi“ (High Fidelity). Es gab dazu verschiedene Normen und Hersteller versuchten, ihre Geräte konsequent weiterzuentwickeln, sodass bessere technische Eigenschaften resultierten. Lo-Fi steht heute für einen gewissen Klangcharakter und ist ein häufig verwendeter Begriff, sowohl um diesen Eigenschaft zu beschreiben, als auch für verschiedene Musikstile, z.B. LoFi-HipHop.

## 6. Technische Grundlagen der magnetischen Tonaufzeichnung

Folgende Kapitel beschäftigen sich mit den technischen Gegebenheiten des Magnettonverfahrens.

Um die Schallenergie, die gewandelt als elektrisches, kontinuierliches Signal vorliegt, speichern zu können, braucht es jeweils gewisse Zwischenschritte. Im ersten Abschnitt der Arbeit wurde illustriert, wie diese in mechanische Energie umgewandelt wurde zum Zwecke früher Aufnahmeverfahren auf Basis von Walzen und Platten. Dies ist gut vorstellbar, da sich die mechanischen Signale analog zu uns bekannten Wellenformen verhalten. Die magnetische Tonaufzeichnung kann sich ebenso verschiedener „Schriftarten“ bedienen.<sup>51</sup> Bevor diese technischen Details jedoch beleuchtet werden, soll im folgenden Kapitel ein grundlegender Überblick über die Eigenheiten des Magnetismus gegeben werden.

### 6.1 Magnetisches Feld und Induktion

Ein elektrischer Leiter, der von Strom durchflossen wird, baut ein in sich geschlossenes Magnetfeld um sich selbst herum auf. Die Geometrie dieses Feldes ist von der Geometrie des Leiters abhängig.<sup>52</sup>

Das Magnetfeld wird in technisch-wissenschaftlichen Zeichnungen üblicherweise mit magnetischen Feldlinien symbolisiert. Die folgenden Abbildungen zeigen das Auftreten verschiedener Magnetfelder bei unterschiedlicher Bauweise des Leiters:

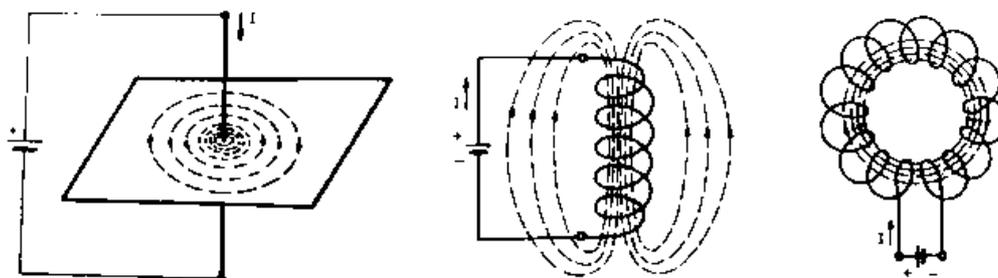


Abbildung 24: Darstellung magnetischer Feldlinien verschiedener Leiter

51 Webers, Tonstudioteknik, Franzis 1985, S.396

52 Dickereiter, Dittel, Hoeg, Wöhr, Handbuch der Tonstudioteknik, KG Saur Verlag 2008, S.372

Die Ausprägung der Feldlinien und somit des Magnetfelds unterscheiden sich. Im Falle des Einzelleiters ergeben sich senkrechte Feldlinien, die sich kreisförmig um den Leiter ausprägen. Im spulenförmig angeordneten Leiter homogenisiert sich das Magnetfeld im Inneren und im Äußeren, die Feldlinien verlaufen somit eher parallel zueinander. In der Ringspule homogenisiert sich das Magnetfeld noch weiter, die Feldlinien befinden sich als geschlossene Kreise vollständig innerhalb des Rings.<sup>53</sup> Die jeweilige Ausprägung ähnelt dabei den Permanentmagneten, allerdings variiert hier die Feldstärke mit der Stromstärke  $I$ , die den Leiter durchfließt. Die Abbildung 24 soll dies illustrieren.

Die zugrundeliegende Berechnung ist die magnetische Erregung, gemessen in Ampere/Meter [A/m]:

$$H = (N \cdot I) / L$$

mit:

- H = magnetische Feldstärke [A/m]
- N = Windungszahl
- I = Stromstärke [A]
- L = Länge der Spule [m]

Da sich die Feldstärke proportional zur Stromstärke verhält, kann die Flussdichte letztlich nur durch Platzierung eines ferromagnetischen Materials innerhalb der Spule teils deutlich erhöht werden. Ferromagnetische Stoffe, z.B. Eisen, Nickel, Kobalt, verschiedene andere Legierungen weisen eine hohe magnetische Permeabilität auf werden zur Herstellung von Spulenkernen genutzt.<sup>54</sup> Sie haben die Eigenschaft, die Flussdichte zu erhöhen, wobei der Zusammenhang zwischen Flussdichte und Feldstärke wie folgt berechnet werden kann:

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$$

$$B = \mu \cdot H$$

mit  $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$

- B = magnetische Flussdichte oder magnetische Induktion [T], [Vs/m<sup>2</sup>]
- $\mu_r$  = relative Permeabilität oder Permeabilitätszahl [dimensionslos]
- $\mu_0$  = magnetische Feldkonstante [Vs/Am]
- $\mu$  = Permeabilität [Vs/Am]
- H = magnetische Feldstärke [A/m]

Abbildung 25: Formeln der Induktion nach Dickreiter, Dittel, Hoeg, Wöhr

<sup>53</sup> Dickreiter, Dittel, Hoeg, Wöhr, Handbuch der Tonstudioteknik, KG Saur Verlag 2008, S.373

<sup>54</sup> Bemerkungen zu Magnetismus und Magneten, HS Regensburg, PDF, S.3

Diese Materialien weisen also eine hohe magnetische Leitfähigkeit auf.<sup>55</sup>

Um dieses Prinzip auf das Thema der vorliegenden Arbeit zu übertragen muss man sich vorstellen, dass ein Tonkopf aus einem solchen Ringkern besteht, der von einer Spule umgeben ist. Dies wurde bereits im Kapitel 4.7 „Entwicklung des Magneto- phons,“ dargestellt. Der Unterschied ist jedoch, dass der Tonkopf einen schmalen Spalt im Ringkern aufweist. In und über diesem Spalt herrscht eine starke Ausprä- gung der Feldlinien. Somit ist es möglich, das vorbeilaufende Medium zu magneti- sieren, da Magnetismus über diesem nicht leitfähigen Luftspalt hervortritt.

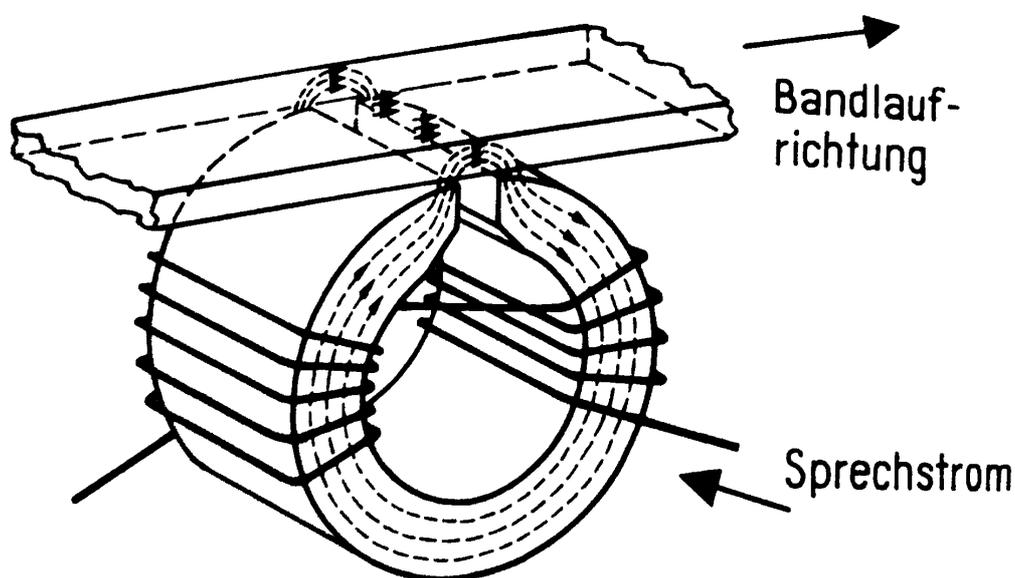


Abbildung 26: Darstellung Tonkopf als Ringkern an Magnetband

Abbildung 26 zeigt den schematischen Aufbau des Tonkopfes, also einer leiterbe- stückten Ringkernspule mit Spalt. Sie ähnelt also prinzipiell der Toroidspule, welche jedoch normalerweise keinen Luftspalt aufweist und andere Einsatzzwecke hat. Der Luftspalt ist in der Regel jedoch nur ein theoretischer Luftspalt, praktisch ist er in der Regel mit einem nichtleitenden Material ausgefüllt, um Verschmutzungen zu verhin- dern.<sup>56</sup> Das Magnetisieren des Mediums basiert also auf magnetischer Induktion, in diesem Kontext auch Flussdichte.

<sup>55</sup> Dickereiter, Dittel, Hoeg, Wöhr, Handbuch der Tonstudioteknik, KG Saur Verlag 2008, S.374

<sup>56</sup> Webers, Tonstudioteknik, Franzis 1985, S.396

## 6.2 Magnetisierungskurve

Die Hysteresisschleife oder auch Magnetisierungskurve beschreibt Nichtlinearitäten zwischen Induktion und Feldstärke in einer Spule mit Kernmaterial. Die magnetische Durchlässigkeit (Permeabilität) ist bei ferromagnetischen Werkstoffen von der Feldstärke abhängig, entwickelt sich aber je nach magnetisch „hartem“ oder „weichem“ Material mehr oder auch weniger nichtlinear. Die Hystereseschleife beschreibt diese magnetischen Eigenschaften ähnlich einer Kennlinie eines Transistors.

Magnetischer Fluß	$\Phi$	Weber	$= \text{Wb} = \text{V s} = \text{Voltsekunden}$
Magnetische Flußdichte	$\mathfrak{B}$	Tesla	$= \text{T} = \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = \frac{\text{V s}}{\text{m}^2}$
Magnetische Feldstärke	$\mathfrak{H}$	$\frac{\text{Ampère}}{\text{Meter}}$	$= \frac{\text{A}}{\text{m}} = \frac{\text{N}}{\text{Wb}} = \frac{\text{N}}{\text{V s}}$
Magnetische Feldkonstante	$\mu_0$	$\frac{\text{Henry}}{\text{Meter}}$	$= \frac{\text{H}}{\text{m}} = \frac{\text{V s}}{\text{A m}} = \frac{\text{Wb}}{\text{A m}} = \frac{\Omega \text{ s}}{\text{m}}$

Abbildung 27: Magnetischer Fluss nach Webers

Während die Luftspule (Spule ohne Kernmaterial) wie zuvor beschrieben ein lineares Verhalten an den Tag legt und die Dichte der Intensität bzw. der Ausprägung der Feldlinien vom Strom abhängt (deren Dichte proportional zur Feldstärke), verhalten sich Spulen mit ferromagnetischem Kern anders.<sup>57</sup> Es ist die Permeabilität des Stoffes im inneren der Spule, die den Feldlinienverlauf und deren Intensivierung beeinflusst. Luft ist ein schlechter magnetischer Leiter, weshalb die Ausprägung der Flussdichte in einer kernlosen Spule gering ist. Folgende Abbildung verdeutlicht den Einfluss der Permeabilität eines Eisenkernes:

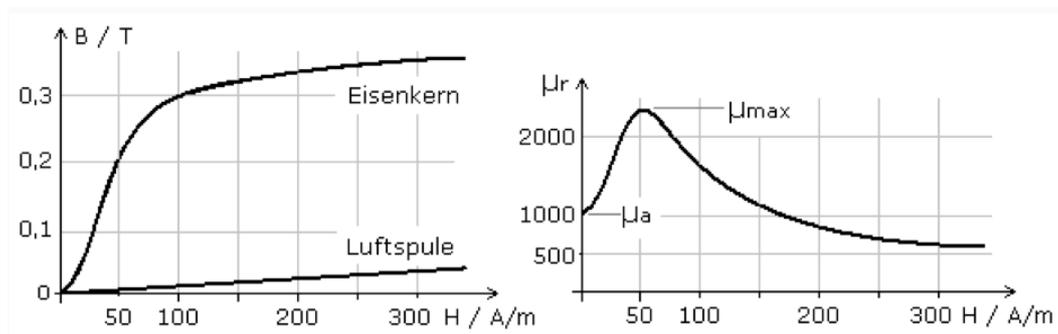


Abbildung 28: Permeabilität Eisenkern und Luftspule

Wie die Abbildung verdeutlicht, nimmt das Produkt aus Feldliniendichte und Strom deutlich zu, wurde ein Eisenkern in die Spule eingebracht. Feldlinien bilden sich konzentriert innerhalb des Kernpakets aus, allerdings läuft der Prozess nicht linear, sondern logarithmisch ab, was im Sättigungsverhalten des Kerns begründet ist.

Detlef Mietke von dem Portal ElektronikTutor beschreibt hierzu folgende Regeln:<sup>58</sup>

- „Ein ferromagnetischer Kern (Eisenkern) erhöht die Flussdichte einer Magnet-spule.“
- „Die Permeabilität ferromagnetischer Werkstoffe ist vom Material abhängig.“
- „In Bezug zur magnetischen Feldstärke besteht fast immer ein nicht linearer Zusammenhang“
- „Die Permeabilität ist abhängig von der magnetischen Vorverhandlung des Materials“

Ebenso ist das Kurvenverhalten davon abhängig, ob das ferromagnetische Material entmagnetisiert ist (siehe Abbildung, „Neukurve“), oder bereits magnetisiert wurde.

Wird der Stromfluss im Leiter reduziert, ergibt sich die Rücklaufkurve, in der Abbildung als obere grüne Kurve dargestellt. Ebenso verläuft eine erneute Magnetisierung durch Erhöhung des Stromes nicht entsprechend der Neukurve. Dieser nicht-lineare Zusammenhang wird allgemein als Hystereseschleife oder Magnetisierungskurve bezeichnet.

<sup>58</sup> Mietke, Magnetisierungskurve und Hystereseschleife, PDF

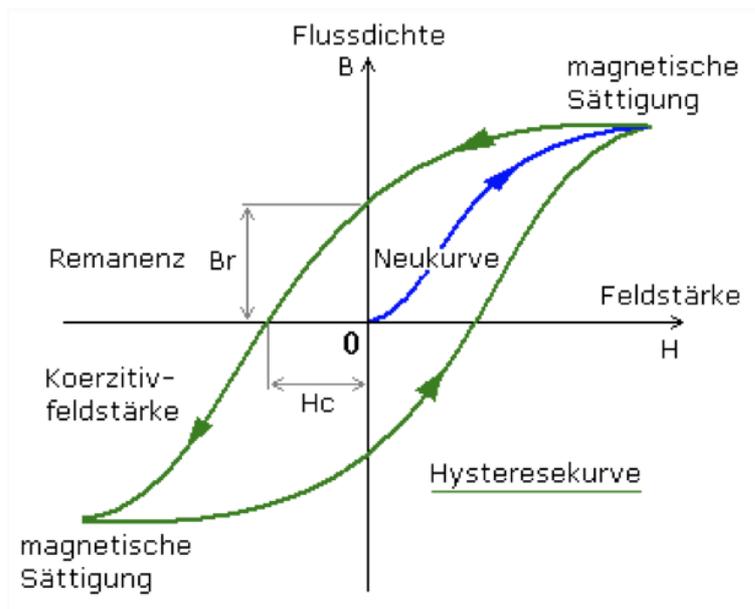


Abbildung 29: Hysteresekurve

Bezeichnend vor allem ist, dass bei Rücknahme des Stromes eine Restmagnetisierung im ferromagnetischen Kern verbleibt, die Remanenz, die lediglich durch ein entgegengesetztes Magnetfeld eliminiert werden kann.

An dieser Stelle soll nochmals Detlef Mietke zitiert werden, der die Zusammenhänge in zwei verständliche Regeln formuliert hat:<sup>59</sup>

- „Die Remanenz ist die bei stromloser Spule im Eisenkern bleibende magnetische Flussdichte“
- „Die Koerzitivfeldstärke ist die Feldstärke, die zur Aufhebung der Remanenz erforderlich ist“

Die Ausprägung bzw. Spreizung der Hysteresekurve hängt von den Eigenschaften des eingebrachten Materials ab. Man kann hier sogar von charakteristischen Kurven sprechen. Magnetisch „harte“ Stoffe, welche eine hohe Koerzitivität aufweisen, spiegeln sich in einer breiten Kurve wieder, während magnetisch „weiche“ Materialien eine schlankere, schmale Kurve aufweisen. Man spricht von der Koerzitivfeldstärke.<sup>60</sup> Materialien mit einer schlanken Hysteresekurve kommen in übertragenden Bauteilen zum Einsatz, also beispielsweise Übertragern und Tonköpfen, magnetisch

<sup>59</sup> Mietke, Magnetisierungskurve und Hystereseschleife, PDF

<sup>60</sup> Dickereiter, Dittel, Hoeg, Wöhr, Handbuch der Tonstudioteknik, KG Saur Verlag 2008, S.375

„harte“ Materialien in Permanentmagneten für Lautsprecher oder auch in der Beschichtung von Tonbändern.

Beide haben also eine Relevanz für das hier betrachtete Thema. Permanentmagnetische Materialien sind besser geschützt gegen Entmagnetisierung, da die Arbeit, die Nötig ist, den remanenten, im Material verweilenden Magnetismus zu löschen, deutlich größer ist, als bei magnetisch weichen Materialien. Bewältigt werden kann dies durch ein magnetisches Wechselfeld, wie beispielsweise einem Löschkopf beim Magnetbandverfahren.<sup>61</sup>

Beispiele für verschiedene ferromagnetische Materialien wären:

- Legierungen: Mischstoffe aus Nickel/Eisen mit Anteilen von Kupfer, Chrom, Kobalt und anderen Metallen. Diese werden in verschiedenen Verfahren hergestellt und sind in der Regel magnetisch weich. Es sind die Materialien, die auch für Tonköpfe verwendet werden, wobei verschiedene Material- und Markennamen zum Einsatz kamen: Sendust, Permalloy, Cristalloy, amorphous Metal. Die deutsche Bezeichnung ist Mu-Metall. Kerne bestehen in der Regel aus Einzellamellen, die wiederum aus dünnen Blechen bestehen.
- Kerne auf Metallpulverbasis: Variante aus gesinterem und gebackenem Metallpulver ferromagnetischen Ursprungs versetzt mit isolierendem Bindemittel. Die resultierenden Lufteinschlüsse hemmen die magnetische Permeabilität, es resultiert ein magnetisch härteres Material. Zudem zeichnen sich diese Materialien durch eine relativ geringe elektrische Leitfähigkeit aus.

Abbildung 30 zeigt die aus den unterschiedlichen Permeabilitäten beruhenden Unterschiede in der Magnetisierungskurve. Remanenz und Koerzitivfeldstärke sind beim magnetisch weichen Material deutlich geringer, sodass die Kurve insgesamt wesentlich schlanker ausfällt. Die erforderliche Arbeit zur Ummagnetisierung ist geringer, die Gefahr einer versehentlichen Entmagnetisierung oder einer Selbstentmagnetisierung hingegen erhöht.

---

<sup>61</sup> Dickereiter, Dittel, Hoeg, Wöhr, Handbuch der Tonstudioteknik, KG Saur Verlag 2008, S.375

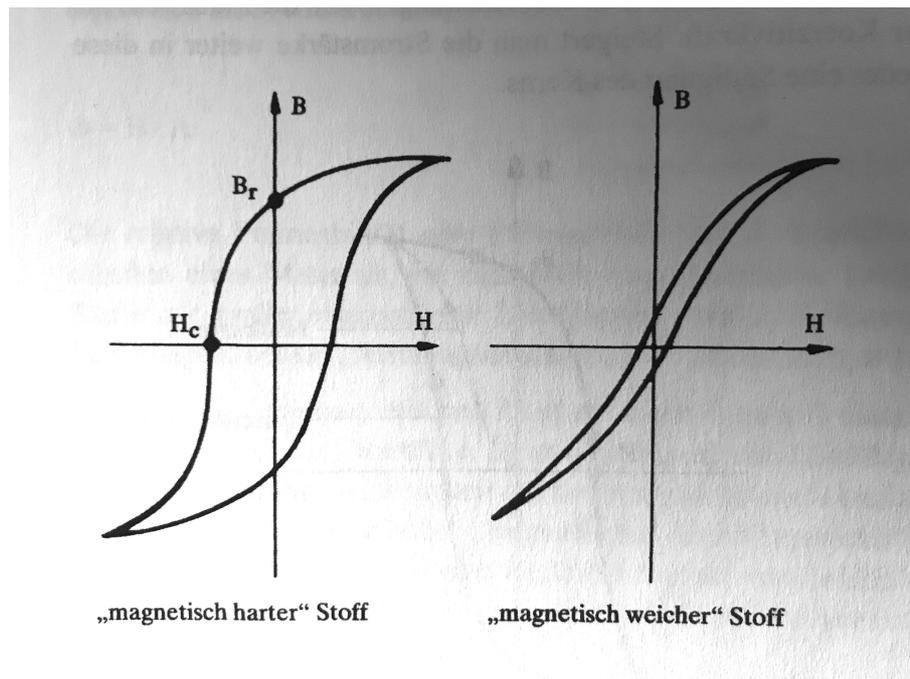
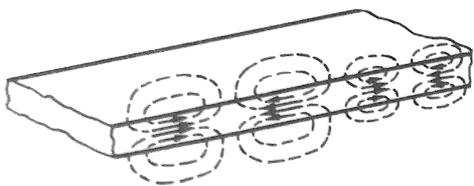


Abbildung 30: Magnetisierungskurven zweier Materialien

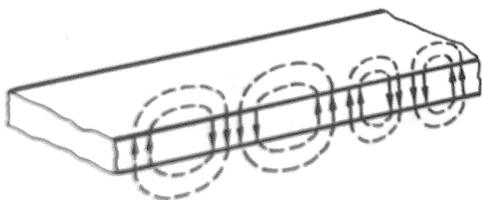
### 6.3 Magnetisierungsformen und Schriftarten

Ähnlich wie bei den mechanischen Aufzeichnungsverfahren können auch magnetische Ton- und Datenträger auf unterschiedliche Arten und Weisen mit einem Informationsgehalt „beschrieben“ werden. Eine Tiefschrift findet hier immer statt, da egal ob längs oder quer zum Band ausgezeichnet wird auch immer eine Magnetisierung in die Tiefe stattfindet, welche abhängig von der aufzuzeichnenden Wellenlänge ist. Lange Wellenlängen, also tiefe Frequenzen, dringen im tiefer in das Material ein, während hohe Frequenzanteile (=kürzere Wellenlängen) eher in der direkten Oberfläche angesiedelt werden.

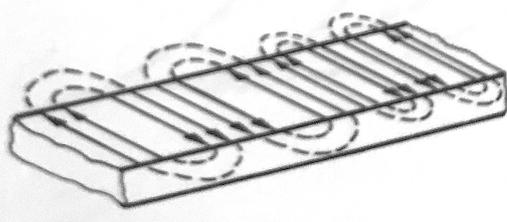
Längsmagnetisierung



Quermagnetisierung T (Tiefe)



Quermagnetisierung B (Breite)



„Der Informationsgehalt kann dann nun dadurch auf den Tonträger übertragen werden, daß ihm entweder eine in ihrer Stärke signalabhängige Längsmagnetisierung oder aber Zonen konstanter Magnetisierung, aber verschieden großer räumlicher Ausdehnung zugeordnet werden. Die entstandenen Schriftarten können dann analog zum Lichttonverfahren als Intensitätsschrift oder Zackschrift bezeichnet werden.“<sup>62</sup>

Das Signal des aufzuzeichnenden Schallergebnisses fließt also als Strom durch den Aufsprech- oder Aufnahmekopf beziehungsweise dessen Spule.

Abbildung 31: Magnetisierungsarten

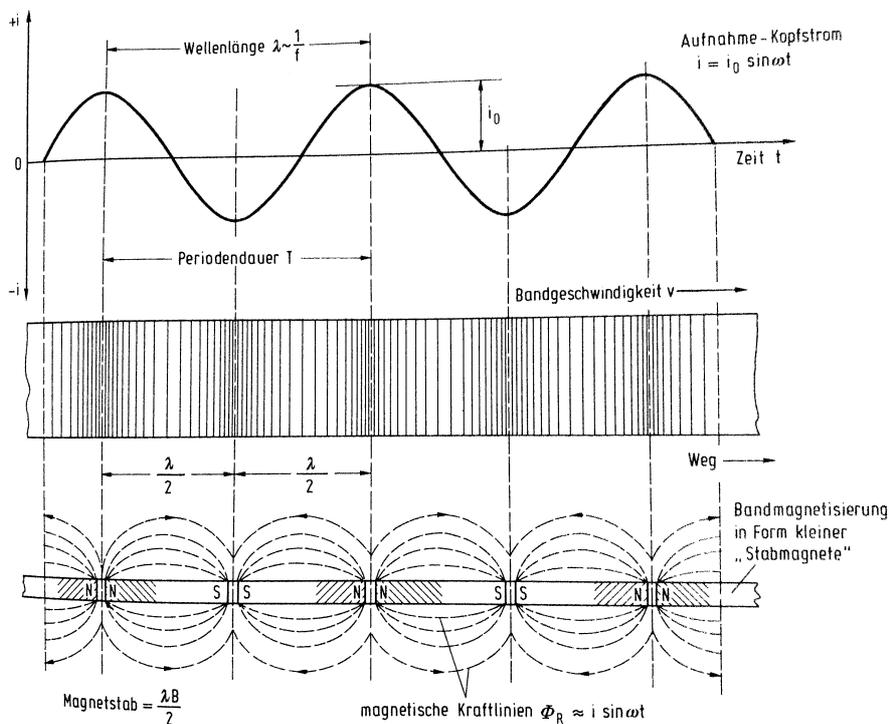


Abbildung 32: Schema Magnetisierung des Bandes

Der ferromagnetische Ringkern, der im vorliegenden Fall mit einem Spalt versehen ist und eine hohe Permeabilität aufweist, konzentriert die Feldlinien. Am Spalt treten diese aus dem Ringkern heraus und magnetisieren das in kontrollierter Geschwindigkeit vorbeilaufende Band wie Abbildung 32 zeigt.

Die auf dem Magnetband entstandene Orientierung entspricht der Schwingung des Sinussignals. Die aufgezeichnete Wellenlänge ist dabei von der Bandgeschwindigkeit abhängig, womit quasi direkt die Logik begründet wird, dass höhere Bandgeschwindigkeiten dem erzielbaren Klang dienlich sind, da die aufgezeichneten Wellenlängen relativ zum Eingangssignal größer sind.

Der über dem Kopfspalt entstehende Magnetfluss richtet die in der Beschichtung des Bandes enthaltenen Partikel mittels des entsprechenden Signalstromes aus.

Johannes Webers, Gründungsmitglied des VDT, beschrieb es folgendermaßen: „es entstehen für jede Wellenlänge zwei magnetische Orientierungen mit je einem magnetischen Nord- und Südpol, die sich laufend aneinanderreihen.“<sup>63</sup> Am Scheitelpunkt der Sinuskurve ergeben sich also jeweils zwei Süd- und zwei Nordpole nebeneinander.

Für den Anwender ist dies alles nicht sichtbar, weshalb es Ansätze gab, die Aufnahme auf Magnetbändern zu visualisieren. Die Firma 3M, Magnetbandpionier aus den Vereinigten Staaten, brachten zu dem Zweck eine spezielle Lupe auf den Markt. Diese Methode stützt die hier vorgelegte Theorie.

Diese erschien bereits in den 1960er Jahren unter dem Namen „Magnetic Tape Viewer“, eine Art Lupe, die mit einer Flüssigkeit gefüllt war, welche feine magnetische Pigmente enthält. Die auf einem Magnetband gespeicherte Information konnte damit sichtbar gemacht werden durch das durch die Aufnahme entstandene Magnetfeld auf dem Tonträger.

---

<sup>63</sup> Webers, Tonstudioteknik, Franzis 1985, S.398



Abbildung 33: 3M Magnetic Tape Viewer

Abbildung 33 zeigt das Sichtfeld des Magnetic Tape Viewer, der über einem bespielten 1/4“ Band positioniert wurde. Das Band ist eine 4-Spur Aufnahme bei 9,5cm/s (3.75ips), man betrachtet hierbei circa 300ms Audiosignal. Schon durch die optische Betrachtung ist die Korrelation der Signale auf Spur 1 und 3, sowie den Spuren 2 und 4 zu erkennen. Man könnte es als eine Spielerei abtun, diese Signale mittels einer solchen Lupe anzusehen, da man keine akustische Information daraus gewinnen kann. Liegt ein unbekanntes Band vor, kann man jedoch zumindest Rückschlüsse auf das verwendete Format ziehen. Abbildung 34 unten zeigt einige der etablierten Tonkopf- und Spurformate.

Zwischen den Audiospuren existiert zudem bei jedem Mehrspurverfahren ein Leerbereich, eine unbeschriebene Spur, um die Kanaltrennung zu erhalten.

Die Dimensionen dieser so genannten Trennspur können je nach Format unterschiedlich ausfallen. Schmale Trennsuren führen zu höherem Übersprechen vor allem bei höheren Bandgeschwindigkeiten, ein Problem, was bei dem Formaten I und K laut Abbildung zu Problemen führen konnte (1/4“ 8-Track bzw 1/2“ 16-Track). Maschinen, die dieses „engspurige“ Aufnahmeprinzip verwendeten, kamen häufig nur auf einen Wert der Kanalseparation von 35 - 40dB, wobei die in der vorliegenden Arbeit zu untersuchende Bandmaschine Studer B67 MKII in der Stereovariante es auf

„mind. 45dB“ bringt, was eine sehr konservative und vorsichtige Werksangabe ist, die selbst unter ungünstigsten Bedingungen erreicht wird.<sup>64 65</sup>

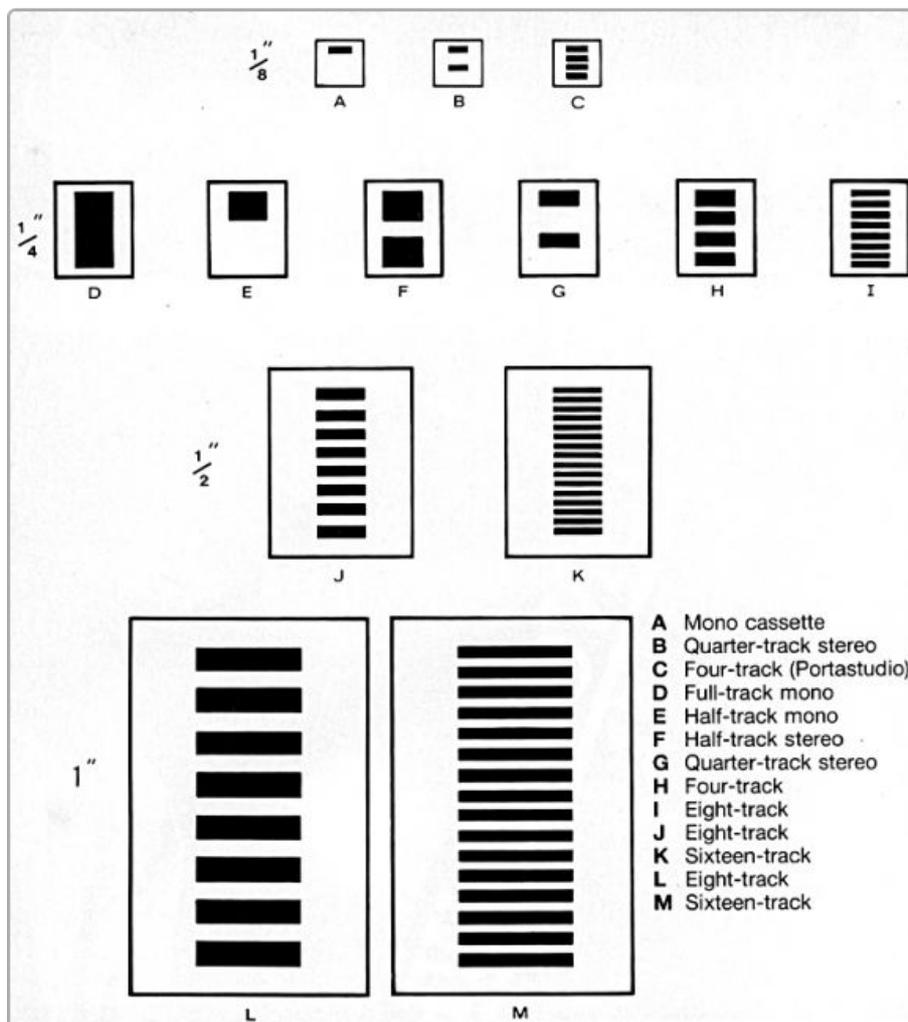


Abbildung 34: Spurformate verschiedener Tonköpfe

Untersuchungen hierzu werden in einem späteren Kapitel diskutiert. In der Praxis hat sich jedenfalls diese Art der Schrift durchgesetzt, die sich auch Intensitäts- oder Längsmagnetisierung nennt. Die Schriftbreite bleibt konstant, wodurch das Konzept mehrerer paralleler Spuren besser realisiert werden konnte. Demgegenüber steht ein weiteres Verfahren, das im Zusammenhang mit dem Magnettonverfahren keinen praktischen Durchbruch erlangen konnte: die Grenzmagnetisierung, die eher dem mechanischen Schnittverfahren ähnelt. Da sie im Bereich der professionellen Audio-technik keine Verwendung findet, sollte sie hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden und nicht genauer betrachtet werden.

64 Tape Track Formats (HSR Jul 84), Paul Gilby, PDF, S.3

65 Studer B67 MKII Service Manual PDF

### 6.4 Lösungsverfahren und Entmagnetisierung

Wie bereits erwähnt ist es für das Magnettonverfahren systemrelevant, residualen, also im Material verbliebenen (remanenten) Magnetismus entfernen zu können, um in den Bereich einer Neukurve zu kommen, eine kontrollierte Aufmagnetisierung.

Wie im vorigen Kapitel beschrieben ist es materialabhängig, wieviel Arbeit hierzu von Nöten ist. Zur Entfernung der Remanenz wird ein magnetisches Wechselfeld angelegt, welches zunächst auf das Material einwirkt und dann langsam entfernt wird (oder langsam abgeschwächt wird, bis es allmählich keine Auswirkung auf das Material mehr ausübt).<sup>66</sup> Die Magnetisierungskurve wird somit mehrfach durchfahren und wird zunehmend schmaler, bis verweilender Magnetismus vollständig abgebaut ist.

Dies ist das Arbeitsprinzip des Löschkopfes im Magnettonverfahren. Hierbei wurde bei sehr günstigen Geräten zwar auch aufgrund geringerer Kosten ein oftmals nur ein Permanentmagnet verwendet, allerdings ist das Verfahren mittels eines hochfrequenten Löschstromes weitaus effizienter, zumal dieser - bereitgestellt durch einen Oszillator - für die HF-Vormagnetisierung sowieso von Nöten ist. Folgende Abbildung zeigt die Schaltung des Oszillator einer Studer A80R Bandmaschine:

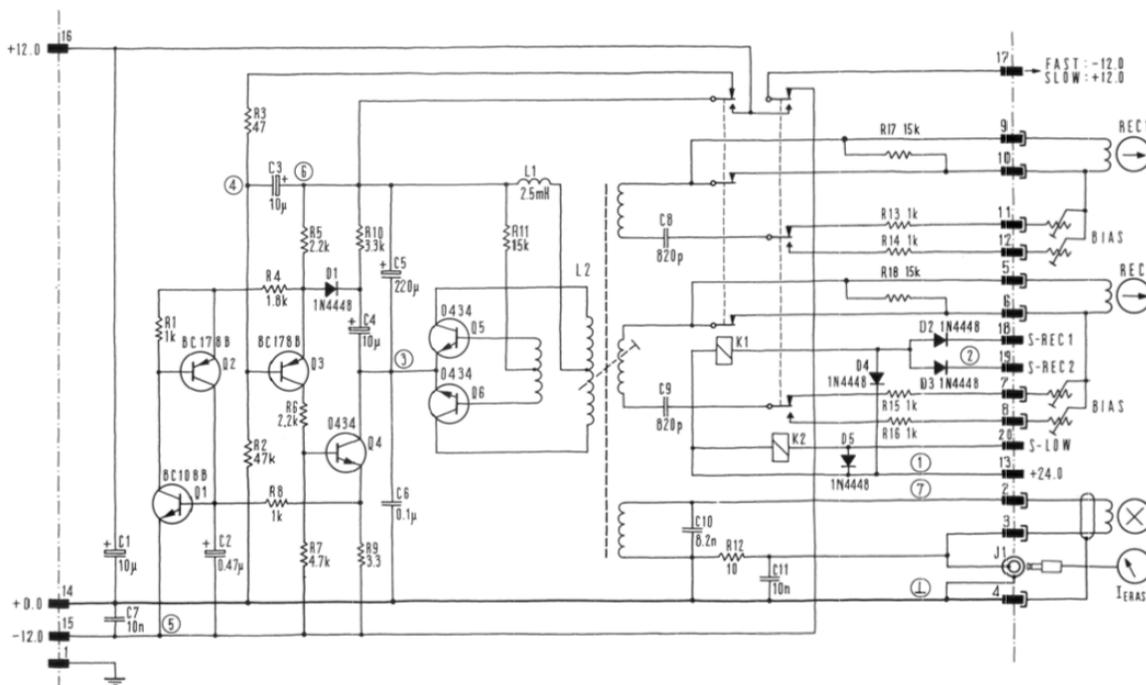


Abbildung 35: HF-Oszillatorschaltung Studer A80

66 Dickereiter, Dittel, Hoeg, Wöhr, Handbuch der Tonstudiotechnik, KG Saur Verlag 2008, S.375

Ein Sinusoszillator generiert eine Schwingung, die in einem kleinen Bereich in ihrer Frequenz regelbar ist. Das Signal des Oszillators wird sowohl in den Löschkopf eingespeist (unten rechts „Cx“ schematisch für Löschkopf), als auch in beide Kanäle des Aufnahmekopfes als Hochfrequenz-Vormagnetisierungssignal (REC1 und REC2).<sup>67</sup> Durch spezielle Gestaltung des Löschkopfes ist es möglich, mit diesem sehr hochfrequenten Wechselfeld zu arbeiten, was die effektive Löschdämpfung stark verbessert. Die Löschdämpfung ist ähnlich der Klirrdämpfung im negativen Dezibelbetrag angegeben und gibt an, welcher Anteil eines ursprünglichen Signals nach einem Löschvorgang auf dem Medium verbleibt.

$$\text{Löschdämpfung [dB]} = 20 * \lg\left(\frac{U_0}{U_R}\right)$$

mit  $U_0$  = Pegel des vollausgesteuerten Bands / Pegel nach Löschung

Dieser Wert ist jedoch als eher unkritisch zu betrachten, da genannte Techniken in der Lage sind, das Signal vollständig zu entfernen, denn es gilt das Ziel, den betreffenden Tonträger in einen magnetisch vollständig neutralen Zustand zu versetzen, was mit einem HF-Löschwechselfeld gelingt. Die Entmagnetisierung mittels des zuvor genannten Permanentmagneten (oder einem mit Gleichstrom gespeisten Löschkopf) ist demnach keine vollständige Entmagnetisierung, da die magnetischen Partikel zwar neu ausgerichtet werden, allerdings verbleiben sie in einem Sättigungszustand im Bereich der Grenzremanenz, eine magnetische Neutralität ist nicht gegeben.<sup>68</sup> Das Prinzip des Mehrfachdurchlaufens einer Hystereseschleife mittels Löschwechselfeld kann folgendermaßen dargestellt werden:

---

67 A80R\_Op\_Serv, Studer A80 Service Manual

68 Webers, Tonstudioteknik, Franzis 1985, S.400



## 6.5 Aufnahmevorgang und Vormagnetisierung

Das Magnetband, welches am Sprechkopf in Spur und Geschwindigkeit kontrolliert vorbeigeführt wird, wird durch das magnetische Wechselfeld magnetisiert, es entsteht also das magnetische Abbild dieses Feldes auf dem Tonträger, ein remanenter Fluss. Die Wellenlänge der Aufzeichnung entspricht der Wellenlänge des Signals in Relation zur Bandgeschwindigkeit.<sup>69</sup>

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \text{mit } \lambda = \text{Wellenlänge [cm]}, v = \text{Bandgeschwindigkeit [cm/s]} \\ \text{und } f = \text{Frequenz [Hz]}$$

Somit entstehen bei kleinen Bandgeschwindigkeiten und hohen Frequenzen sehr feine Modulationen der Magnetpigmente, was für diese Technik stets eine Herausforderung darstellt. Während bei Bandgeschwindigkeit  $v = 38,1 \text{ cm/s}$  eine 16k-Hz-Schwingung einer Wellenlänge von  $23,8 \mu\text{m}$  entspricht, sind es bei  $4,76 \text{ cm/s}$  lediglich noch  $2,975 \mu\text{m}$ .

Somit wird deutlich, dass sowohl die Tonköpfe (Aufnahme- und Wiedergabe), als auch die verwendeten Bandmaterialien auf einen gewissen Anwendungsbereich hin optimiert werden müssen.

Dies ist jedoch nicht die einzige Problemstellung im Magnettonverfahren und der Aufzeichnung des Signals auf magnetisches Material: weiters sind es die Nichtlinearitäten, die die Hystereseschleife mit sich bringt. Diese gilt nicht nur für Kernspulen, sondern auch für das Magnetband selbst (Remanenzkurve).

Wird das magnetisch neutrale Band von einem sinusförmigen Aufsprechstrom magnetisiert, treten um den Nullpunkt der Remanenzkurve konstant Nichtlinearitäten auf, die zu starken Verzerrungen des eigentlichen Signals führen. Diese verhalten sich ähnlich zu einer Magnetisierung in oder über den Sättigungsbereich hinaus. Der Aufsprechstrom  $H_{\text{NF}}$  des Nutzsignals muss also aus dem Nullbereich heraus moduliert werden, um diesen Bereich der Nichtlinearitäten zu umgehen. Erfolgt die Aufzeichnung ohne dieses Zusatzsignal, würde das Nutzsignal gekrümmt aufgezeichnet werden und in der Wiedergabe Reich an Oberwellen dritter Ordnung sein. Folgende

<sup>69</sup> Dickereiter, Dittel, Hoeg, Wöhr, Handbuch der Tonstudioteknik, KG Saur Verlag 2008, S.381

Abbildungen zeigt die Verzerrung eines Sinussignals durch Aufzeichnung ohne Vormagnetisierung:

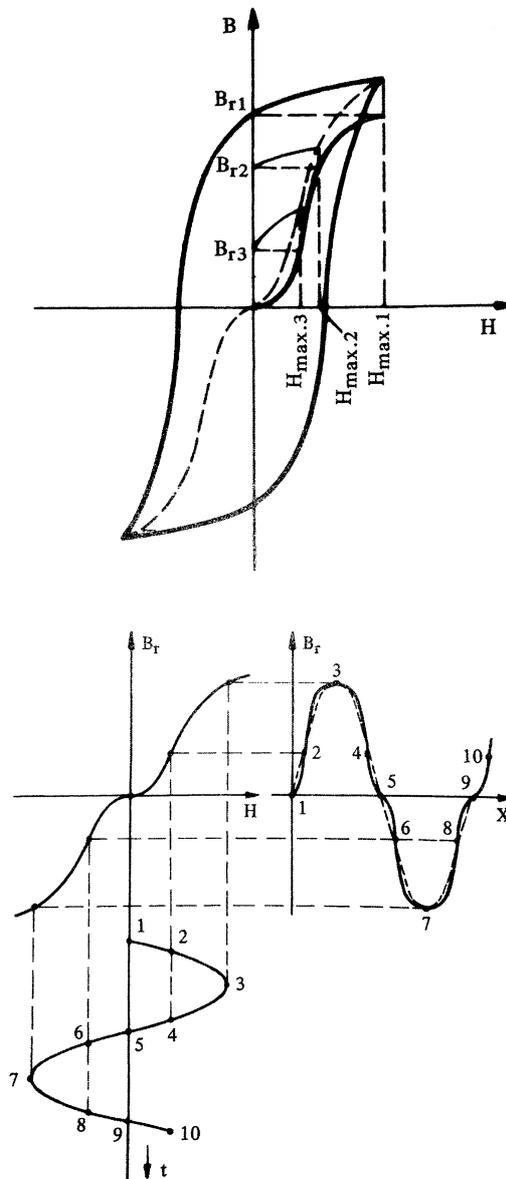


Abbildung 37: Verzerrungen in der Aufnahme ohne HF-Bias

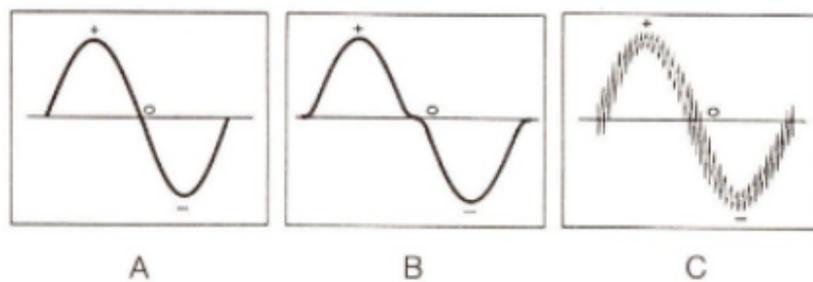


Abbildung 38: Sinussignal mit und ohne HF-Bias

Zur Umgehung dieses Phänomens gibt es zwei Lösungen:

Zum einen kann eine Gleichstromvormagnetisierung eingesetzt werden, welche den Arbeitspunkt in den linear-positiven Bereich der Remanenzkurve verschiebt. Dies funktioniert zwar, die erreichbare Nutzamplitude auf Band wird jedoch drastisch reduziert, worunter das Rauschverhalten und damit die erzielbare Systemdynamik leiden.

Die zweite Variante ist der Einsatz der HF-Vormagnetisierung ( $H_{HF}$ ). Stark vereinfacht gesagt transformiert sie das aufzuzeichnende Signal in einen anderen Amplitudenbereich, sodass die Remanenzkurve deutlich linearisiert wird, aber trotzdem voll nutzbar bleibt. Laut den Autoren Dickreiter, Dittel, Hong und Woehr ist die exakte theoretische Beschreibung des HF-Vormagnetisierungsverfahrens schwierig, es gäbe zwar verschiedene Modellvorstellungen (eine davon wird hier besprochen), in der Praxis sei die Technik aber trotzdem gut beherrsch- und anwendbar.<sup>70</sup>

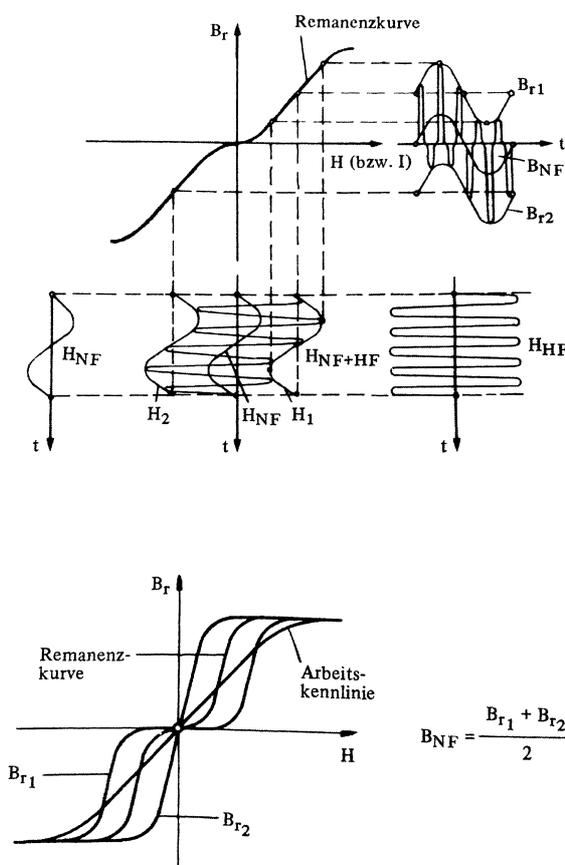


Abbildung 39: Schema Signalaufzeichnung NF und HF

70 Dickereiter, Dittel, Hoeg, Wöhr, Handbuch der Tonstudioteknik, KG Saur Verlag 2008, S.381

Die Idee dahinter ist, dass sowohl der Magnetkopf, als auch das Band in stets in einem Arbeitsbereich betrieben werden, der den Nullpunkt vermeidet. Das hochfrequente Sinussignal der HF-Vormagnetisierung wird jedem Eingangssignal überlagert und aufaddiert (es findet eine Addition, keine Modulation statt). Es liegt weit ausserhalb des hörbaren Bereichs und ebenso deutlich ausserhalb des eigentlichen Übertragungsbereichs des Systems, findet also bei Wiedergabe nicht statt. Dass auch das Band je nach verwendeter Bandgeschwindigkeit kaum in der Lage ist, dieses Signal tatsächlich aufzuzeichnen, spielt dabei also keine Rolle. Auch der Faktor Selbstmagnetisierung des Mediums spielt hierbei eine Rolle, da die praktisch aufgezeichnete Wellenlänge des Vormagnetisierungssignals extrem klein ist.<sup>71</sup> Eine derart dichte Partikelorientierung funktioniert nur bedingt und kann später vom Sprechkopf nicht effektiv erfasst werden.

Die Intensität des Signals ist allerdings absolut ausschlaggebend für die erzielbare Gesamtleistung des zusammenspielenden Systems aus Magnetband und Aufnahmegerät, ist also auch ein wichtiger Parameter bei der Einmessung. Leistungsdaten wie (Intermodulations-)Verzerrungen, maximaler Ausgangspegel, Rauschverhalten, erzielbarer Frequenzgang, Modulationsrauschen werden hiervon stark beeinflusst. Ein gutes Resultat ist dann zu erwarten, wenn der praktische Arbeitsbereich in allen Punkten im Bereich des linearen Zusammenhangs liegt. Die Amplitude des  $H_{HF}$ -Signals ist dabei in der Regel deutlich größer, als die Amplitude des eigentlichen  $H_{NF}$ -Nutzsymbols.

Zuvor genannte Verzerrungen finden letztlich also trotzdem statt, betreffen aber lediglich das  $H_{HF}$ -Signal.

---

71 Webers, Tonstudioteknik, Franzis 1985, S.409



Beschichtung, Staub, Schmutz wie Fingerabdrücke, mechanische Beschädigungen im Material wie Knicke)

- Fehlwinkel zwischen Band und Tonkopf -> Azimutfehler
- Kopierechos

Der erste Punkt ist auf die erste Aussage des Kapitels zurückzuführen, welche besagt, dass Gerät und Medium immer als Ganzes betrachtet werden müssen. Frequenzgangfehler, lineare und nichtlineare Verzerrungen sind zu einem großen Teil eine Frage der korrekten Einmessung - natürlich unter der Voraussetzung, dass das verwendete Aufnahmegerät gewisse Mindeststandards erfüllt. Da in vorliegender Arbeit von Studiogeräten ausgegangen wird, entfällt dieser Punkt. Im Rahmen der mechanischen und elektronischen Gegebenheiten bestimmt die Einmessung also, in welchem Umfang diese Fehler auftreten. Natürlich ist im Falle des Magnettonverfahrens keine digitale Exaktheit zu erwarten, allerdings kann und sollte die Übertragungsqualität so gut sein, dass für das menschliche Ohr keine sofort auffälligen Verzerrungen oder Veränderungen des Signals eintreten dürfen.

Dropouts und Pegelschwankungen sind hingegen ein systemimmanentes Problem, welche je nach Gegebenheit mehr oder weniger zu Tage treten. Das Magnetband besitzt immer eine Reistrahigkeit der Oberfläche, auch wenn es dagegen behandelt (Kalandrierung) wird, was dazu führt, dass der Abstand der magnetischen Partikel zum Sprech-/Hörkopf stets leicht variiert. Hinzu kommen mechanische Einwirkungen wie Schwingung/Oszillation durch Reibung. Eine Varianz im Pegel kommt dann dadurch zustande, dass die auf oder vom Tonträger wirkende Feldstärke mit variierendem Abstand schwankt. Es reicht an einer Stelle also etwas Staub auf dem Magnetband, um eine hörbare Pegelschwankung hervorzurufen, ebenso wie ein Fingerabdruck. Erschwerend hinzu kommt, dass die Oberfläche mit mehreren Aufnahme- und Wiedergabevorgängen beginnt, sich leicht abzunutzen oder einzulaufen, was zu zusätzlichen Pegelschwankungen führen kann, besonders im Hochtonbereich. Kurze Wellenlängen sind anfälliger für diese Störungen, da ihre Präsenz hauptsächlich im obersten Teil der Magnetschicht liegt.

## 6.7 Aufzeichnungsverluste kleiner Wellenlängen

Die auf oder vom Tonträger Magnetband wirkende Feldstärke durch Aufnahme- und/oder Wiedergabekopf ist zum einen vom Abstand, also vom Bandkontakt abhängig, zum anderen jedoch auch von der Wellenlänge. In der Literatur wird hierbei von der „Spaltfeldausdehnung“ oder auch Spaltverlusten gesprochen. Es ergeben sich also abstandsbedingte Empfindlichkeitskurven für höhere Frequenzen.<sup>72</sup> Generell ist zu sagen, dass der Aufzeichnungsvorgang bei kurzen Wellenlängen zunehmend ineffizienter wird, da das Wechselfeld im relativ großen Kopfspalt weniger ausgeprägt ist und auch die im Verhältnis dicke Beschichtung des Bandes ungünstig zur Aufnahme kleiner Wellenlängen ist. Abhängig von der Bandgeschwindigkeit bzw. dem Optimierungsbereich des Sprechkopfes ist es nicht möglich, den Spalt so klein zu gestalten, dass hohe Frequenzen von diesem Effekt verschont blieben, da sonst keine effektive Möglichkeit bestünde, große Wellenlängen effektiv aufzuzeichnen.

Ein weiterer Faktor für Aufzeichnungsverluste bei kleinen Wellenlängen ist die natürliche Entmagnetisierung der Magnetpartikel, die quasi direkt beim Aufzeichnungsvorgang auftritt. Dieser Effekt wird Bandflussdämpfung genannt. Die Ausprägung dieser Dämpfung ist von den Eigenschaften des Magnetbandes und natürlich der verwendeten Bandgeschwindigkeit abhängig. Beschichtungsmaterialien, die eine höhere Koerzitivkraft aufweisen, sind unempfindlicher gegen dieses Phänomen und haben bei kurzen Wellenlängen demnach einen Vorteil, gerade bei geringen Bandgeschwindigkeiten (beispielsweise „High Bias“-Cassettenbänder, die eine deutlich bessere Höhenaussteuerbarkeit aufweisen, als normale Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Bänder). Folgende Abbildung stellt die Bandflussdämpfung (Amplitudenabfall) in Abhängigkeit der Wellenlänge dar:

---

<sup>72</sup> Über die Berechnung des Magnetband-Aufzeichnungsverfahrens mit HF-Vormagnetisierung, Gillmann, TH Hannover, PDF, S.13

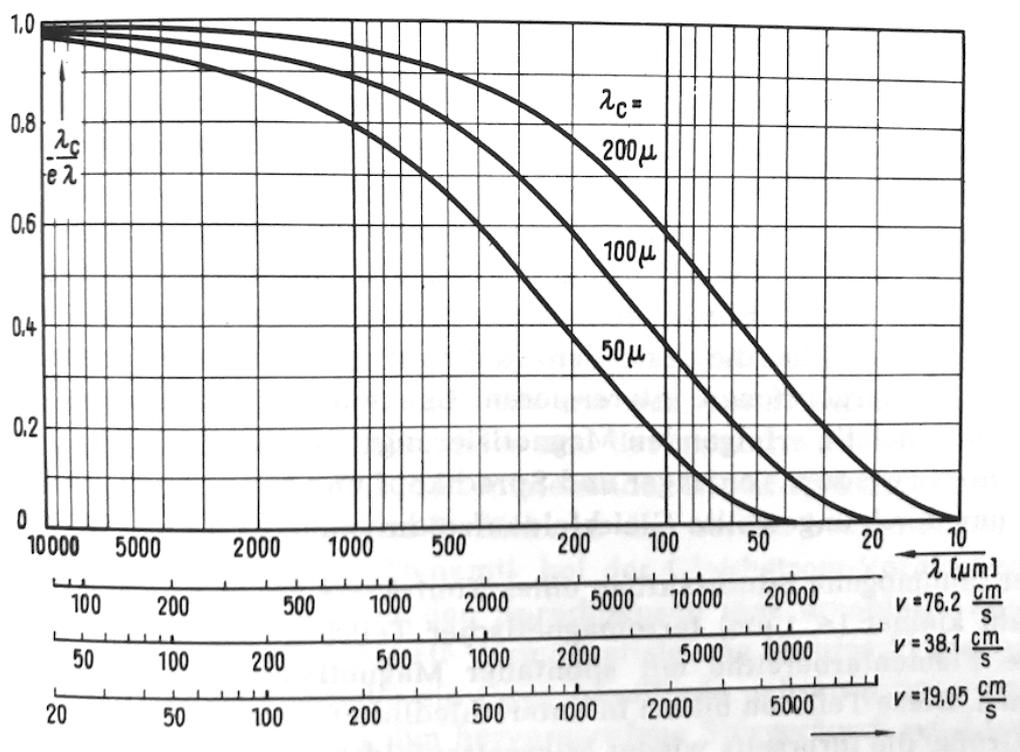


Abbildung 41 Darstellung Wellenlänge und Frequenz in Abhängigkeit von der Bandgeschwindigkeit

## 6.8 Wiedergabeverluste

Auch im Bereich der Wiedergabe treten die genannten Abstandsverluste und Spaltverluste auf. Der sich ändernde Abstand des Bandes zum Wiedergabekopf sorgt für Verluste im Bereich der kürzeren Wellenlängen, im Extremfall sogar führt eine Abstandsstörung sogar zu nahezu vollständigen kurzen Tonaussetzern oder zumindest für hörbare Pegelschwankungen.

Der Spaltverlust hingegen entsteht aufgrund der Tatsache, dass wenn die abzutastende Wellenlänge hin zum Bereich der effektiven Kopfspaltbreite tendiert, die Induktion an Effizienz verliert, da die Mittelwertbildung des Magnetfelds nicht mehr funktioniert. In der Theorie entsteht dann eine komplette Auslöschung, wenn die Wellenlänge der Spaltbreite entspricht, oder ein Vielfaches darstellt. Allerdings ist sich die Literatur in dem Punkt einig, dass durch moderne Kopfkonstruktionen das Problem der Spaltverluste gering bleibt und eine geringere Relevanz aufweist, als z.B. die natürliche Bandflusdämpfung.<sup>73</sup> Allerdings setzt dieser Effekt der Abtastung

<sup>73</sup> Dickereiter, Dittel, Hoeg, Wöhr, Handbuch der Tonstudioteknik, KG Saur Verlag 2008, S.394

sehr hoher Frequenzen eine natürliche Grenze, die normalerweise jedoch ausserhalb des menschlichen Hörbereichs liegt. Trotzdem wird klar, dass ein Tonkopf, der für höhere Bandgeschwindigkeiten optimiert ist (z.B. 38,1cm/s und 19,05cm/s), nicht ideal bei sehr niedrigen Bandlaufgeschwindigkeiten funktionieren kann.

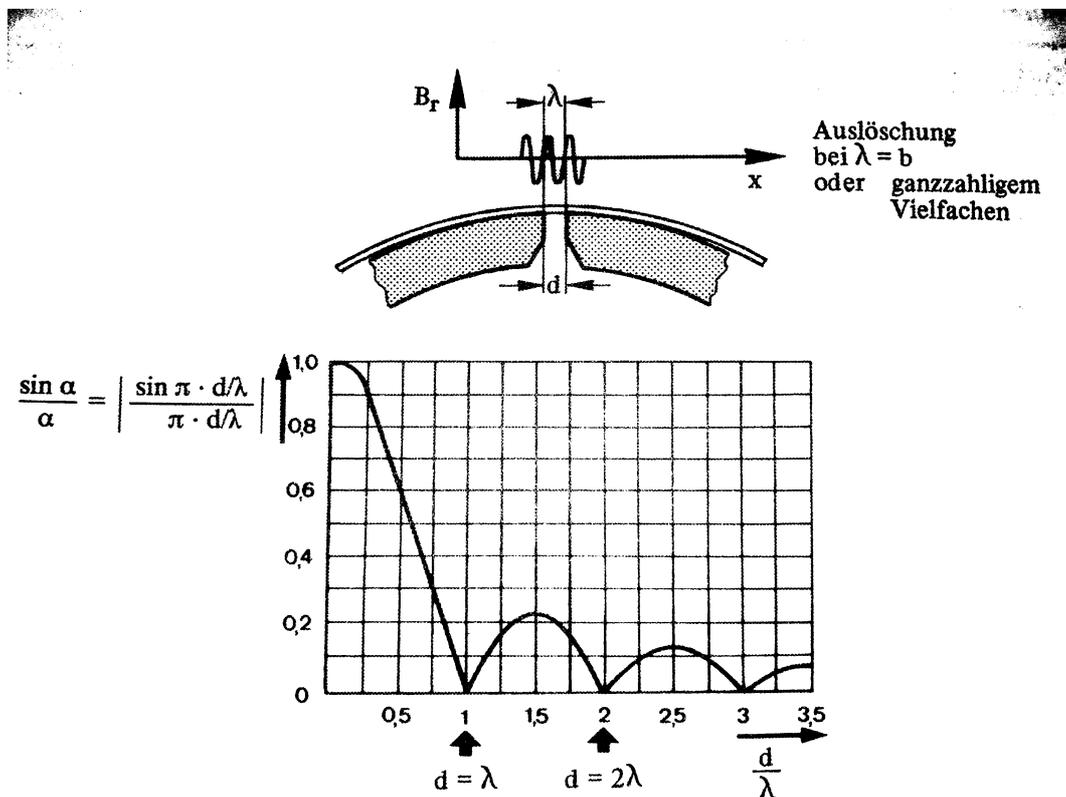


Abbildung 42: Spaltfunktion

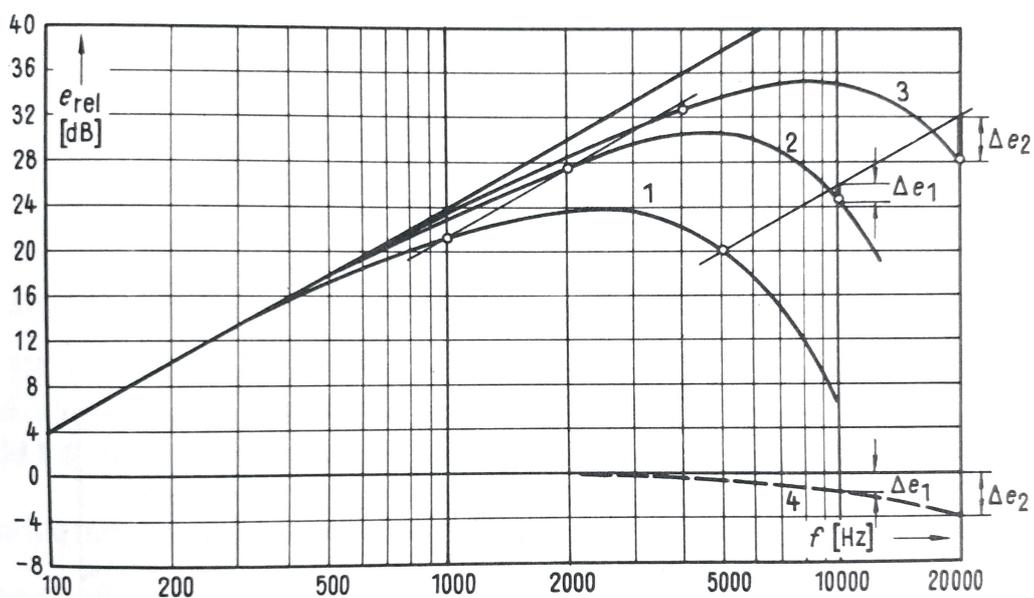


Abbildung 43: Frequenzabhängige Verluste Hörkopf in Abhängigkeit der Bandgeschwindigkeit

## 6.9 Entzerrung

Durch die zuvor beschriebenen Schwierigkeiten bei der Aufzeichnung und Abtastung kleiner Wellenlängen werden im System der magnetischen Tonaufzeichnung Entzerrungskonstanten verwendet. Diese finden sowohl bei der Aufnahme, als auch bei der Wiedergabe Anwendung. Die zugrundeliegenden Filterfunktionen sind genormt für verschiedene Bandgeschwindigkeiten. Allerdings konkurrieren hier verschiedene Ansätze, die sich in den USA und Europe jeweils durchgesetzt haben. Man entscheidet hierbei also die Entzerrung nach DIN (Deutsches Institut für Normung) / IEC (International Electrotechnical Commission) / CCIR (Comité Consultatif International des Radiocommunications) und NAB (National Association of Broadcasters). Es wurden also nicht nur im Laufe der Zeit Normen angepasst, auch auf internationaler Ebene wurde unterschiedlich entzerrt, was die Austauschbarkeit von Magnetbandaufnahmen erschwert, da die Aufnahmen in ihrem Frequenzgang nicht oder nur eingeschränkt kompatibel sind.

Eine Entzerrung im audiotechnischen Sinne der Signalübertragung bedeutet, dass das Nutzsignal entweder bei Aufnahme- und oder auch Wiedergabe mittels Filter in eine für das Format günstigere Form gebracht wird. Ein weiteres Beispiel hierfür wäre die RIAA-Entzerrung beim Vinylschnitt. Es handelt sich also nicht um eine Verzerrung, dem Signal werden bei einer Entzerrung mittels EQ / Filter keine neuen Anteile hinzugefügt, das ursprüngliche Signal ist vollständig wieder herstellbar.

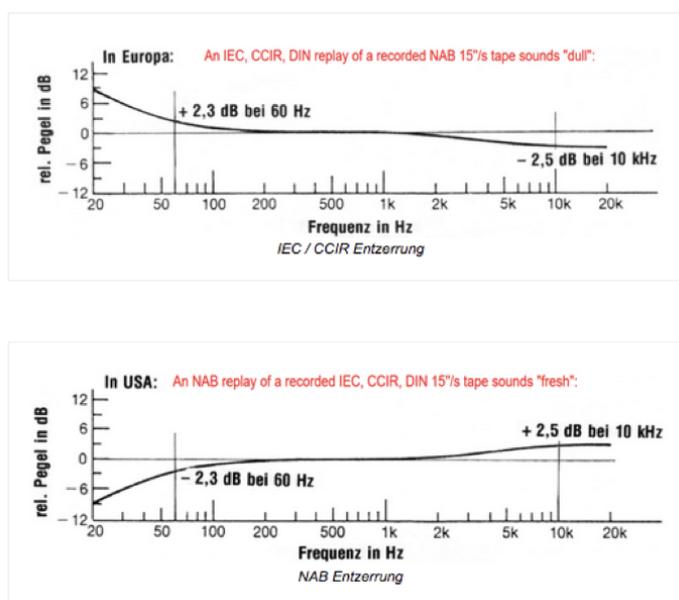


Abbildung 44: Entzerrungen CCIR und NAB

Die über die Jahre entstandenen Normen sind in folgenden Tabellen dargestellt. Es wurden für verschiedene Bandformate, Bandgeschwindigkeiten und Anwendungszwecke Normen festgelegt.

Tabelle: Entzerrungen DIN / IEC und NAB für Aufnahmen auf 1/4" Band<sup>74</sup>

Bandtyp	Entzerrung DIN / IEC	Entzerrung NAB
<b>38</b>	<b>35µs</b>	<b>3180/50µs</b>
<b>19 s</b>	<b>70µs</b>	<b>3180/50µs</b>
<b>19 h</b>	<b>3180/50µs</b>	<b>3180/50µs</b>

Abbildung 45: Tabelle: Entzerrungen nach DIN/IEC für 1/4" Band

Tabelle: Bezugswerte und Entzerrungen/Zeitkonstanten für Magnetbänder nach DIN 45513:<sup>75</sup>

Bandtyp	Bandfluss pro mm Spurbreite	Wiedergabeentzerrung LF	Wiedergabeentzerrung HF
<b>76cm/s 6,3mm</b>	<b>320 pWb</b>	<b>-</b>	<b>17,5µs</b>
<b>76cm/s 6,3mm</b>	<b>320 pWb</b>	<b>-</b>	<b>35µs</b>
<b>19cm/s 6,3mm (studio)</b>	<b>320 pWb</b>	<b>-</b>	<b>70µs</b>
<b>19cm/s 6,3mm (heim)</b>	<b>320 pWb</b>	<b>3180µs</b>	<b>50µs</b>
<b>9,5cm/s 6,3mm</b>	<b>250 pWb</b>	<b>3180µs</b>	<b>90µs</b>
<b>4,76cm/s 6,3mm</b>	<b>250 pWb</b>	<b>3180µs</b>	<b>120µs</b>
<b>4,76cm/s / 3,81mm Cr</b>	<b>250 pWb</b>	<b>3180µs</b>	<b>70µs</b>
<b>4,76cm/s / 3,81mm Fe</b>	<b>250 pWb</b>	<b>3180µs</b>	<b>120µs</b>

Abbildung 46: Tabelle: Bezugswerte nach DIN 45513

<sup>74</sup> Dickereiter, Dittel, Hoeg, Wöhr, Handbuch der Tonstudioteknik, KG Saur Verlag 2008, S.397

<sup>75</sup> Dickereiter, Dittel, Hoeg, Wöhr, Handbuch der Tonstudioteknik, KG Saur Verlag 2008, S.397

Tabelle: Entwicklung der Wiedergabeentzerrungen nach DIN 45513 seit 1955:<sup>76</sup>

Bandtyp	Zeitkonstante [μs]	DIN Norm	Jahr	Bemerkungen
4,76 / 3,81	1590 / 120	DIN 45 513, Blatt 5	1966	Fe2O3
	3180 / 120		1974	CrO2 / Metall
	3180 / 70		1970	
4,76 / 6,3	3180 / 2x 70	DIN 45 513, Blatt 5	1962	Vornorm
	1590 / 120		1966	Normentwurf
	3180 / 120		1970	
9,53 / 6,3	200	DIN 45 513, Blatt 4 DIN 45 513, Blatt 4	1955	Vornorm
	3180 / 120		1962	
	3180 / 90		1968	
19,05 / 6,3	100	DIN 45 513, Blatt 3	1955	19 N (Normal)
	100	DIN 45 513, Blatt 3	1962	19 R (Rundfunk)
	3180 / 50	DIN 45 513, Blatt 3	1966	19 H (Heimgeräte)
	70	DIN 45 513, Blatt 3	1966	19 S (Studio)

Abbildung 47: Tabelle: Entwicklung Wiedergabeentzerrungen

Es ist zu erkennen, dass sich hinreichend Gedanken um die Kompatibilität und Austauschbarkeit von Aufnahmen gemacht wurden, ein Faktor, der besonders für Rundfunk- und Studioaufnahmen von größter Wichtigkeit ist. Die systemimmanenten Probleme der Aufzeichnungs- und Wiedergabeverluste konnten durch Entzerrung gut gelöst werden, auch wenn hier Kompromisse gemacht wurden. Auch wurde dem Sättigungsverhalten von Magnetbändern entgegengewirkt, indem Anteile hoher Frequenzen sowohl bei Aufnahme-, als auch bei der Wiedergabe angehoben wurden.<sup>77</sup> Zwar wäre es für den Rauschabstand besser, den Hochtonbereich nur bei der Aufnahme entsprechend anzuheben, dies würde allerdings das Medium vor große Herausforderungen stellen, weshalb die Entzerrungen auf Wiedergabeseite eingeführt und genormt wurden. Ein weiterer Vorteil der Normung auf Wiedergabeseite ist, dass mit der Einführung modernerer und besserer Bandmaterialien aufnahmeseitig auf die verbesserten elektroakustischen Eigenschaften eingegangen werden konnte, was den erzielbaren Dynamikbereich im oberen Frequenzspektrum mit der Zeit verbesserte. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Definition des Zielbandflusses, der einen bestimmten Arbeitsbereich vorgibt, was die Aussteuerung angeht. Dieser bezieht sich in der Regel auf ein Sinussignal, welches je nach Einmessroutine 400Hz oder 1kHz beträgt. Einem gewissen Eingangsspannungswert wird dieser Bandfluss

<sup>76</sup> Dickereiter, Dittel, Hoeg, Wöhr, Handbuch der Tonstudioteknik, KG Saur Verlag 2008, S.398

<sup>77</sup> Dickereiter, Dittel, Hoeg, Wöhr, Handbuch der Tonstudioteknik, KG Saur Verlag 2008, S.394

zugeordnet, sodass ein aufgenommenes Programm sich in diesem Arbeitsbereich bewegt. Auch hier gibt es jedoch abweichende Normen für DIN / IEC und NAB, dies soll jedoch später beleuchtet werden.

Ein Begriff, der für Verwirrung sorgen kann, ist die „Zeitkonstante“ im Kontext eines Filters bzw. einer Entzerrung. Der Gedanke ist, dass die Zielfunktion der Wiedergabeentzerrung einem RC-Glied gleichgesetzt wird, dessen Übertragungsfunktion mit einer Zeitkonstanten in  $\mu\text{s}$  angegeben wird.<sup>78</sup> Der mathematische Zusammenhang hierbei lautet:

$$\text{Zeitkonstante: Produkt } R * C = \tau \text{ (tau)}$$

Folgende Abbildung 48 stellt den Frequenzverlauf verschiedener sogenannter Bezugsbänder dar, die dazu gedacht sind, den Wiedergabeverstärker eines Geräts in seinem Gesamtübertragungsverhalten auf einen der genannten Standards einzustellen:

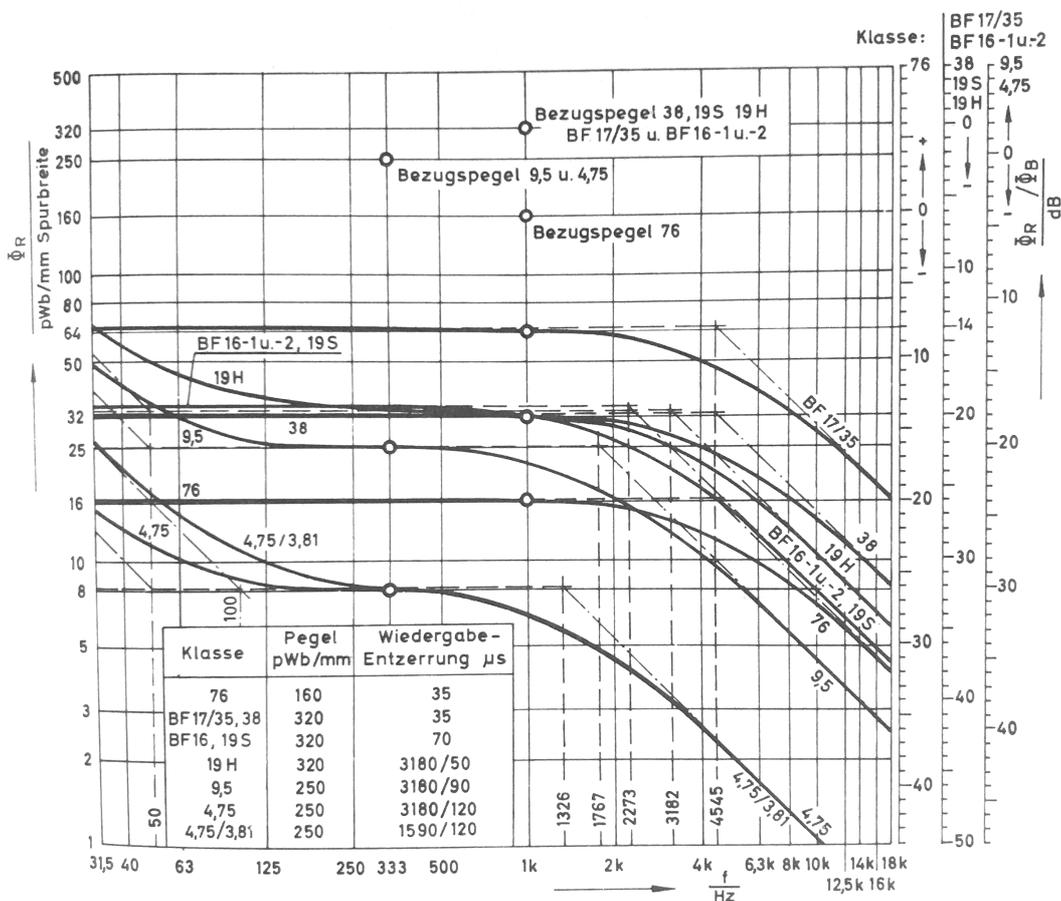


Abbildung 48: Frequenzgänge verschiedener DIN Bezugsbänder

78 Webers, Tonstudioteknik, Franzis 1985, S.440

Die jeweiligen Verläufe des Bandflusses dienen als Messnormal. Ein Wiedergabeverstärker muss auf dieser Basis so eingestellt werden, dass die Wiedergabe möglichst linear ist. Durch die wiedergabeseitige Anhebung des Frequenzgangs wird auch das Bandrauschen mit angehoben.

## 6.10 Azimut und Spaltlage

Eine weitere Störkomponente bei Aufnahme und Wiedergabe kann ein Fehlwinkel zwischen Tonkopf (Aufnahme- und/oder Wiedergabekopf) sein. Dies führt zu einer virtuellen Vergrößerung des Kopfspaltes und damit zu einem schlechten Aufzeichnen oder Abtasten hoher Frequenzen, von leichten Abweichungen im Frequenzband bis hin zu einem ausgeprägten Kammfiltereffekt. Dieses Phänomen wird Azimutfehler genannt und kann zu merklich schlechter bis völlig unbrauchbarer Wiedergabe führen, je nach dem, wie stark das Problem jeweils ausgeprägt ist.

Das theoretische Ziel ist es, dass der Spurwinkel sowohl vom Aufnahme-, als auch vom Wiedergabekopf exakt rechtwinklig zum Band liegt. Dies würde zu einer konstant verfärbungsfreien Aufnahme und Wiedergabe führen, sowohl auf dem verwendeten Gerät, als auch auf anderen Geräten.

Leider ist es in der Praxis jedoch sehr problematisch, diese Vorgabe einzuhalten. Selbst auf Geräten mit guter Bandführung schwankt der Spurwinkel ständig, was zu mehr oder minder konstanten, oftmals periodischen Phasenverschiebungen zwischen den Kanälen führt. In geringem Umfang führt das nicht sofort zu Veränderungen im Frequenzgang.

Problematisch ist jedoch das Thema Azimut beim Austausch von Medien. Häufig liegt dann der Fall vor, dass zwischen verschieben Geräten die Spurwinkel nicht exakt gleich sind, was dann bei Wiedergabe einer Fremdaufnahme zu klanglichen Einbußen führen kann, die nur durch Einstellung der Maschine behoben werden können, eine Sache, die nicht immer gerne gemacht wird. Bezugspunkt zur Grundeinstellung ist auch hier ein spezielles Kalibrierband, bzw. ein dedizierter Teil des Bezugsbandes, die Spalteinstellung. Üblicherweise wird hierzu ein Band mit Sinussignal  $> 10\text{kHz}$  verwendet, gelegentlich auch ein Zufallssignal (weißes oder rosa Rauschen). Dieser Bezugsteil muss unbedingt eine Mono-Vollspuraufzeichnung sein und

im Idealfall konstant rechtwinklig zum Band verlaufen. Mehr dazu im Abschnitt „Bezugsbänder“.

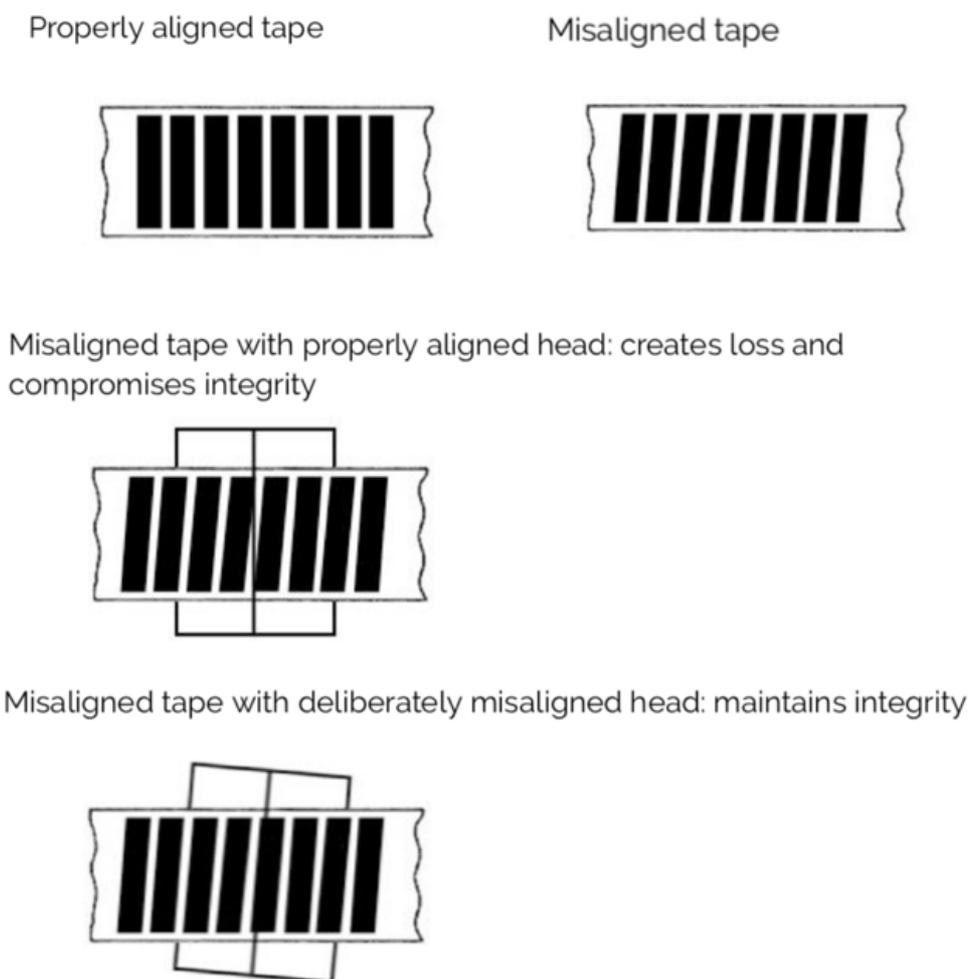


Abbildung 49: Kopffehlstellung

Wie in der Abbildung 49 zu erkennen ist, muss ein Azimutfehler klanglich nicht sofort auffallen, wenn beispielsweise Aufnahme-, wie auch Wiedergabekopf gleichermaßen im Winkel verstellt sind. Liegt dieser Fall vor, beispielsweise aufgrund einer verstellten Bandführung oder der Kalibrierung auf ein inkorrektes Bezugsband, fallen die Schwächen in der Wiedergabe möglicherweise erst dann auf, wenn die Aufnahme auf einem anderen Gerät wiedergegeben werden soll, oder aber nach einer Neujustage. Ärgerlich ist dies vor allem auch dann, wenn ein Archiv an Aufnahmen besteht, welche dann plötzlich alle fehlerbehaftet sind.

Folgende Abbildung belegt die Aussage, dass in der Praxis ein Azimutfehler hauptsächlich kurze Wellenlängen beeinträchtigt, wobei auch hier wieder eine Abhängigkeit zur Bandgeschwindigkeit herrscht. Besteht ein Fehlwinkel, der bei 38,1cm/s einen Einbruch des Frequenzgangs um 20kHz verursacht, würde dies bei halbiertes Bandgeschwindigkeit - 19,05cm/s - einen Kammfilter oberhalb 10kHz verursachen, bei 9,53cm/s entsprechend ab 5kHz.

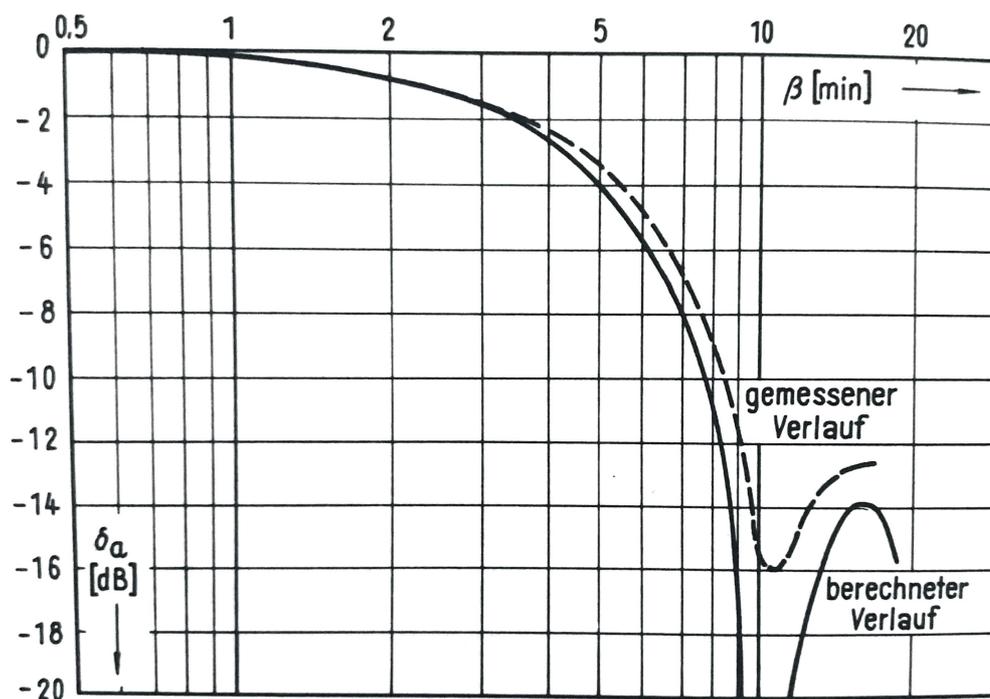


Abbildung 50: Messung zu Spaltfehlstellung

Praktische Messungen mittels Rauschsignalen zeigten, dass der Effekt der Spaltfehlstellung nicht nur zu einem ausgeprägten Minimum führt, auch oberhalb des ersten Einbruchs entstehen Nebenbereiche mit Einbrüchen, die einem Kammfiltereffekt ähneln. Betrachtet man das Phänomen in Relation zu verschiedenen Bandgeschwindigkeiten kann gesagt werden, dass die erforderliche Winkelpräzision mit abnehmender Bandgeschwindigkeit zunimmt. Besonders betroffen von Azimutproblemen sind demnach Kassettenrecorder mit 1/8" Band und langsamer Bandgeschwindigkeit von 4,76cm/s. An dieser Stelle tritt das Problem sogar noch deutlicher zu Tage, da das Cassettengehäuse selbst Teil der Bandführung ist und Auswirkungen auf die Spurlage hat. Da jedoch die Compactcassette als günstiges Massenmedium nicht immer höchsten Fertigungsansprüchen genügte und Gerätehersteller die korrekte Kopfjustage nicht immer maximal ernst nahmen war es häufig der Fall, dass Fremd-

aufnahmen dumpf klangen, selbst wenn die Aufnahme auf dem ursprünglich verwendeten Recorder einwandfrei war. Spannend an dieser Stelle ist, inwiefern Tape-Plugins diese konstant auftretenden Schwankungen der Phase emulieren.

## 6.11 Lagerungsverluste von Bandmaterialien

Ein weiteres Problem der Magnetton-technik sind mögliche Verluste durch Lagerung von Bandmaterialien, die natürlich nur in der real-analogen Welt eine Rolle spielen und kein Bestandteil von digitalen Bandemulationen sind. Glücklicherweise stellen diese Verluste bei korrekter Nutzung und Handhabung des Mediums normalerweise wenig Probleme dar. Der Vollständigkeit wegen soll aber an dieser Stelle trotzdem auch mögliche Probleme eingegangen werden.

Ein mögliches Phänomen, welches in der Literatur ausführlich beschrieben wird, ist der Kopiereffekt, der zu sogenannten „Vorechos“ oder „Nachechos“ führen kann. Diese Echos entstehen durch gegenseitige Beeinflussung benachbarter Bandwicklungen im aufgewickelten Zustand, also bei Lagerung.<sup>79</sup> Dieser Effekt wird hauptsächlich bei Signalen mit ausgeprägten Impulsspitzen bemerkbar. So kann bei einer Klassikaufnahme beispielsweise ein lauter Paukenschlag je nach Schichtlage und Lagerung vor oder nach dem eigentlichen Schallereignis ertönen, wenn sonst eine dementsprechend leise Passage vorliegt. Der Effekt beruht ebenfalls auf dem Feldlinienprinzip, der aufgezeichnete Bandfluss kann benachbarte Windungen erreichen und leicht magnetisieren.

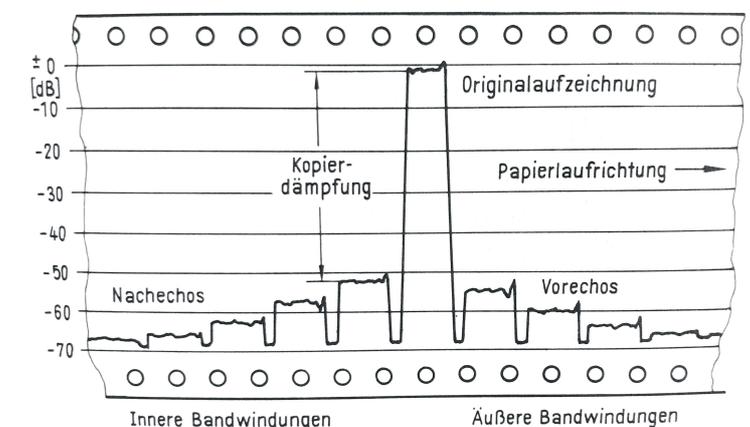


Abbildung 51: Kopierdämpfung, Vor- und Nachecho

<sup>79</sup> Webers, Tonstudioteknik, Franzis 1985, S.418

Man nennt diesen Prozess auch eine „Ummagnetisierung“. Sie kann durch äussere Einflüsse begünstigt oder minimiert werden. Hohe Lagerungstemperaturen sollten demnach vermieden werden. Ob ein Vor- oder ein Nachecho entsteht, ist von der verwendeten Schichtlage abhängig. Hierbei ist es zum Verständnis ratsam, die Begriffe „deutsche“ und „internationale“ Schichtlage zu recherchieren. In Datenblättern zu Bandmaterialien sind zu diesen Verlusten in der Regel diverse Angaben zu finden. Zu einer Vermeidung des Kopiereffekts sollte ein Bandtyp eine gute Kopierdämpfung aufweisen. Hierzu ist eine starke Trägerfolie von Vorteil, mehr dazu im Kapitel „Eigenschaften von Magnetbändern“. Der Kopiereffekt tritt bei höheren Bandgeschwindigkeiten und hohen Aufzeichnungspegeln stärker zu Tage und kann dabei mit dem falschen (zu dünnen, beispielsweise Langspielbänder) Bandmaterial deutlich hörbar werden.

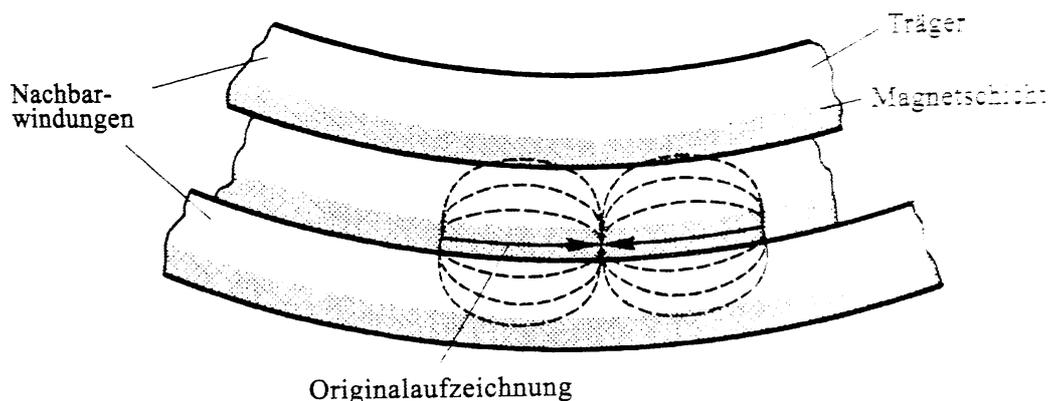


Abbildung 52: Kopiereffekt auf benachbarte Wicklungen

## 7. Eigenschaften von Bandmaterialien

Moderne Bänder für Audioanwendungen basieren auf einer Trägerfolie aus Polyester, die den zuvor verwendeten Werkstoffen wie Zellulose hinsichtlich mechanischer Stabilität, Reißfestigkeit und Schmiegsamkeit deutlich überlegen sind. Je nach Anwendungszweck sind Trägerfolien verschiedener Stärken denkbar. Diese Folien werden mit einer Suspension aus Magnetpartikeln und Binde-, sowie Schmiermitteln in unterschiedlichen Schichtstärken beschichtet. Auch hier entscheidet wieder der Anwendungszweck.

Generell kann gesagt werden, dass Bandmaterialien für bestimmte Bandgeschwindigkeiten konstruiert werden:

- Standardband, ca. 50µm Gesamtstärke. Anwendung: Studio, Broadcast. Beschichtung mit Gamma-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Magnetpartikeln, optimiert für höhere Bandgeschwindigkeiten, also 19 / 38 / 76cm/s. Relativ steif, deshalb reduzierte Anschmiegsamkeit an Tonkopf, Dropoutgefährdet bei 9,5cm/s und kleiner. Gute Kopierdämpfung.

Formate: 1/4“ bis 2“

Zusammensetzung am Beispiel RTM SM468:

Base thickness (Trägerfolie): 30µm

Coating thickness (Beschichtungsstärke): 13.5µm

Backcoating (Rückseitenbeschichtung): 4µm

Total thickness (Gesamtstärke): 47.5µm<sup>80</sup>

- Langspielband: ca. 35µm Gesamtstärke, hauptsächlich erreicht durch Reduzierung der Stärke der Trägerfolie. Anwendung: Studio, Broadcast, aber auch vor allem Heimanwendung. Beschichtung mit Gamma-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Magnetpartikeln, früher auch teilweise mit Beimischung von Kobalt, um die Höhenaussteuerbarkeit zu verbessern, angewandt hauptsächlich von japanischen Herstellern wie Maxell und TDK. Optimiert für 9,5 und 19cm/s, unzureichende Kopierdämpfung bei 38 cm/s und Studiobetrieb. Besser Kopfkontakt, wie Standard-

<sup>80</sup> SM468-technical-datasheet-IAQ-COM01-CLCOM-15, PDF

band, deshalb gut für langsamere Bandgeschwindigkeiten geeignet. Formate: 1/4“, selten 1/2“

- Doppel- und Dreifachspielband (26 bzw. 18 $\mu$ m) : Bandsorten mit weitergehend reduzierter Gesamtstärke, auch durch dünnere Beschichtung. Werden heute nicht mehr hergestellt, für Studiobetrieb nicht geeignet. Optimiert für langsamere Bandgeschwindigkeiten und Heimanwendung, sowie Reporter-tonbandgeräte. Weniger Aussteuerbarkeit durch den gesamten Frequenzbereich, damit weniger erzielbare Dynamik, schlechteres Rauschverhalten. Vorteile liegen in längerer Spieldauer und gutem Kopfkontakt.

Formate: 1/4“

- Cassettenbänder: 1/8“, C60 Band ist ebenfalls 18 $\mu$ m stark, C90 Band entsprechend dünner (reduzierte Trägerfolie, oft gleiche Schichtstärke). CC-Band wurde mit vielfältigen Magnetpartikeln beschichtet. Einfache „Normal Bias“ oder „Type I“-Bänder sind ebenfalls mit Gamma-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Magnetpartikeln beschichtet, wobei es diverse Modifikationen und damit große Qualitätsunterschiede gibt. „Normalbänder“ können demnach von quasi unbrauchbar bis extrem hochwertig sein. Weiters wurden im Kontext der Compactcassette neuartige Beschichtungen entwickelt, die die Aussteuerbarkeit und das Rauschverhalten der langsam laufenden CC deutlich verbessern konnten. Diese fallen in die Kategorie „High Bias“ oder „Type II“-Bänder, wozu CrO<sub>2</sub> (Chromdioxid) und FeCo (Ferro-Cobalt / Chromsubstitut) gehören, weiters „Metal“ bzw. „Type IV“ Bänder, die mit Reineisenpigmenten sehr feiner Struktur beschichtet sind. Auch mit Mehrschichtbändern wurde experimentiert.

Generell könnte über Spezifikationen von Bandmaterialien eine ganze wissenschaftliche Arbeit verfasst werden, deshalb soll an dieser Stelle lediglich ein kurzer Überblick verschafft werden, der keinen Anspruch auf absolute Vollständigkeit hat. Wichtig ist im Kontext der vorliegenden Arbeit, verschiedene Betriebsaspekte von unterschiedlichen Bandmaterialien zu verstehen.

Bereits erwähnt wurde die Relation von aufzuzeichnender Wellenlänge, Bandgeschwindigkeit, Kopfgeometrie und Feinheit / Art der Beschichtung. Um Rückschlüsse über die erzielbare Leistung eines Bandmaterials, sowie der korrekten Einmes-

sung ziehen zu können, wurden und werden Datenblätter zu den verschiedenen Bandtypen geliefert.

Im Anhang der Arbeit befinden sich solche Datenblätter der Hersteller „RTM / Recording the Masters“, ein zum aktuellen Zeitpunkt aktiver Hersteller, der Bandtypen nach etablierten Rezepturen von AGFA und BASF herstellt, ebenso wie ältere Datenblätter von AGFA und BASF / Emtec. Diese beinhalten neben verschiedener Basisparameter zu verwendeten Köpfen und Spurlagen auch einige Kurvenscharen, die Informationen über diverse Eigenschaften der Bänder bei verschiedenen Bandgeschwindigkeiten bieten. Diese werde in der Regel in Abhängigkeit vom Vormagnetisierungsstrom dargestellt. Eine solche Kurvenschar zeigt folgende Abbildung, während in den Datenblässtern üblicherweise die Werte auch ergänzend tabellarisch zusammengefasst werden. Das Ziel der Interpretation dieser Daten ist die Klärung eines geeigneten Arbeitspunkts.

<b>Tape speed</b>	<b>38.1 cm/s</b>
	<b>15 ips</b>
Recording head gap length	7.0 $\mu\text{m}$
Playback head gap length	3.0 $\mu\text{m}$
Equalisation	50+3180 $\mu\text{s}$
Reference level	320 nWb/m

Aufnahmeigenschaften „RTM SM468“, entsprechend AGFA PEM468 und BASF / EMTEC Studio Master 468.

Obenstehend: Messbedingungen

Bandgeschwindigkeit: 38,1cm/s bzw. 15ips

Kopfbedingungen, Spaltbreite 7 $\mu\text{m}$  / 3 $\mu\text{m}$  (Studer)

EQ: 50 + 3180 $\mu\text{s}$  (NAB)

Bandfluss: 320nWb/m = 320 pWb/mm Spurbreite

Y-Achse: Output in dB gegenüber THD / Klirr und Bandfluss

X-Achse: Bias in dB

MOL: Maximum Output Level für mittlere Frequenzen (definiert für das Erreichen von 3% Klirrfaktor)

SOL: Saturation Output Level, maximaler Ausgangspegel für hohe Frequenzen > 10kHz

THD<sub>514</sub> bzw. THD<sub>320</sub>: Klirrfaktor in Abhängigkeit von Bias bei Bandfluss 514 und 320 Nanoweber.

$\Delta S_{xx}$ : Arbeitspunktangabe zu Bias in Abhängigkeit von Frequenz. Um für den Nutzer einen optimalen Arbeitspunkt leichter bestimmen zu können, wird in Serviceunterlagen gelegentlich von der Delta-Bias-Methode gesprochen. Bei der Einmessprozedur wird ein Sinussignal hoher Frequenz eingespeist und mittels des Biasregler ein Ausgangsmaximum im Bezug auf den NF-Pegel gesucht. Relativ zu diesem Maximum wird dann der Vormagnetisierungsstrom erhöht, bis der gewünschte Abfall in der Ausgangsamplitude erreicht wird. Somit wird der Arbeitspunkt der gestrichelten vertikalen Linie erreicht,

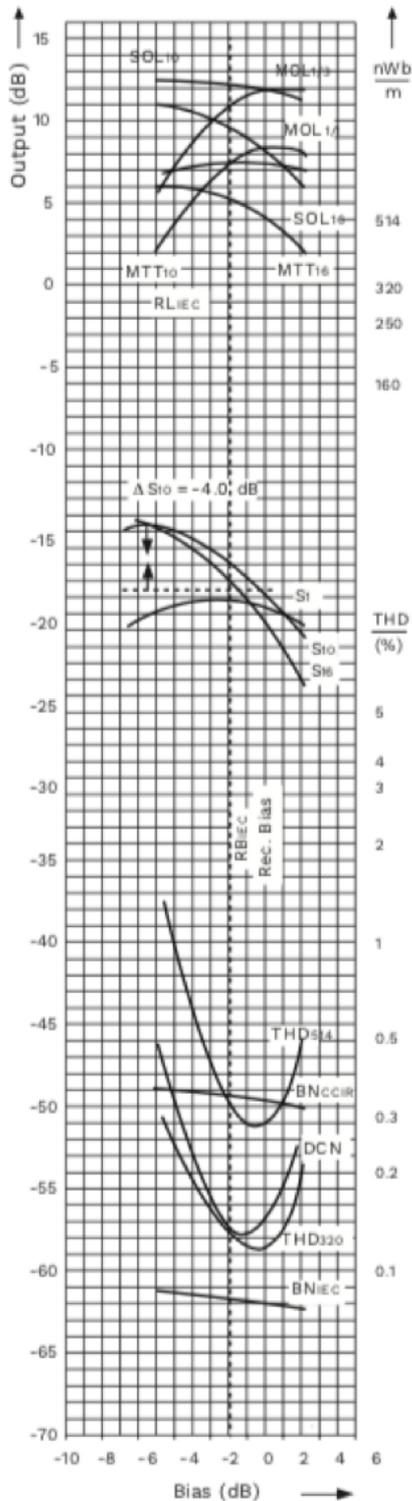


Abbildung 53: Kurvenschar SM468

der einen guten Kompromiss aus Aussteuerbarkeit, Rauschen und Verzerrungen darstellt.<sup>81</sup>

Nicht alle Hersteller jedoch gaben und geben detaillierte Informationen über ihre Bandmaterialien heraus, sodass ein geeigneter Arbeitspunkt teilweise experimentell und mit Hilfe von Messwerkzeugen gesucht werden muss.

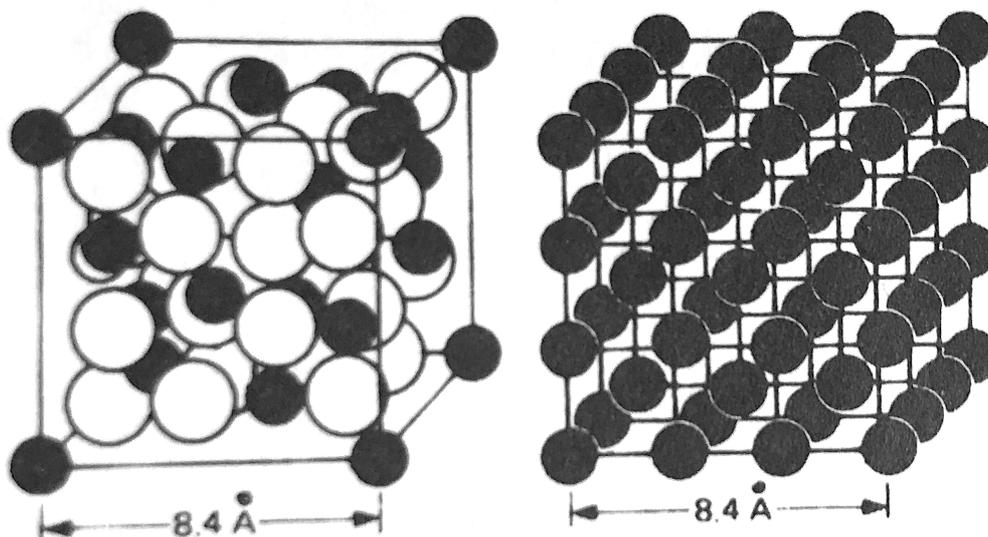
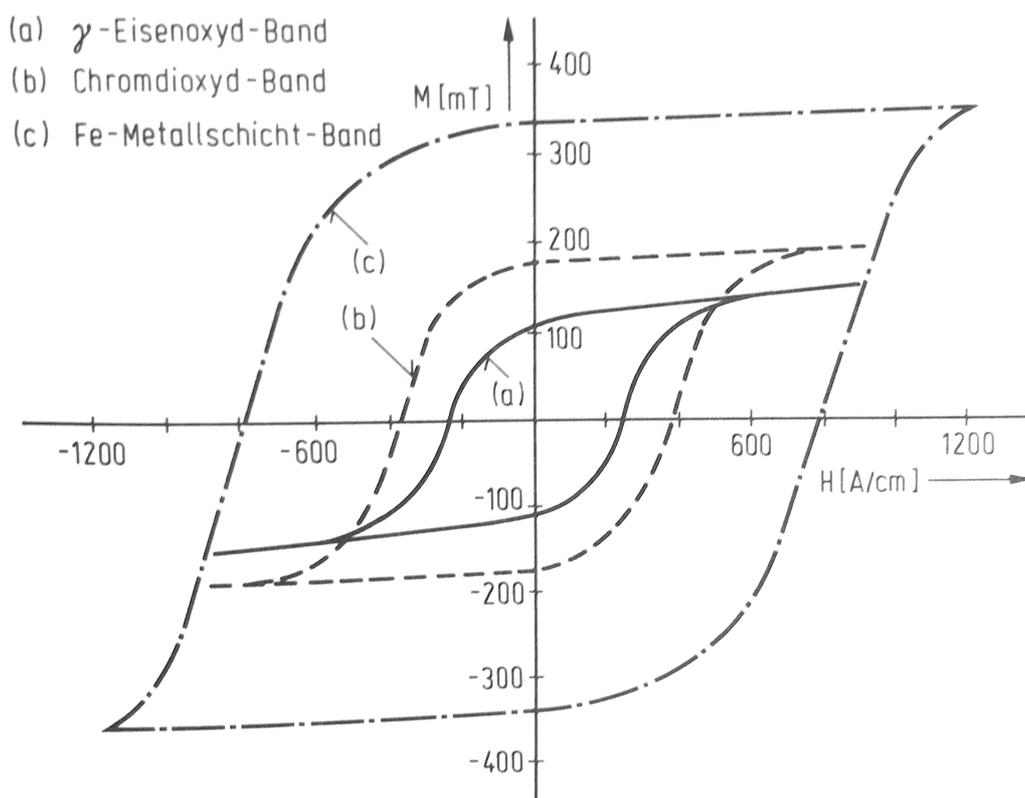
Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die erzielbare Aufnahmequalität im Magnettonverfahren von den folgenden Parametern abhängt:

- Aufnahmegerät
- Bandmaterial
- Bandgeschwindigkeit
- Korrektheit der Einmessung, insbesondere im Hinblick auf
- HF-Vormagnetisierung
- Arbeitspunkt
- Frequenzgang / Entzerrung
- Azimutkonstanz

Bandmaterialien sind für bestimmte Anwendungszwecke optimiert und sind nicht immer untereinander austauschbar oder kompatibel. Sie unterscheiden sich in ihren Beschichtungen und damit in ihren magnetischen Eigenschaften. Studiobänder für hohe Bandgeschwindigkeiten stellen prinzipbedingt weniger hohe Ansprüche an eine besonders feine und dichte gepackte Beschichtung, da die aufgezeichneten Wellenlängen relativ zur Geschwindigkeit verhältnismässig groß sind. Bänder mit höherer Koerzitivkraft und feinerer (dichter) Beschichtung können kurze Wellenlängen besser aufzeichnen, weshalb für langsam laufende Geräte mit der Zeit andere Bandmaterialien entwickelt wurden, was für Studiobandmaschinen allerdings keine Vorteile bringen würde. Dies ist der Grund, warum sich aufwendigere Beschichtungen mit Chromdioxid oder Reinmetallpigmenten in diesem Bereich nicht etabliert haben. Dünnere Bänder sind für langsamere Bandgeschwindigkeiten gedacht und haben bei gleicher Beschichtung Nachteile in ihren elektroakustischen Eigenschaften, allerdings auch den Vorteil des besseren Kopfkontakts.

---

81 Dickereiter, Dittel, Hoeg, Wöhr, Handbuch der Tonstudioteknik, KG Saur Verlag 2008, S.386

Abbildung 54: Beschichtungsstruktur Eisenoxid  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ggü. Fe - Reineisen (Metallband)Abbildung 55: Hystereseschleifen verschiedener Bandmaterialien,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  -  $\text{CrO}_2$  - Fe

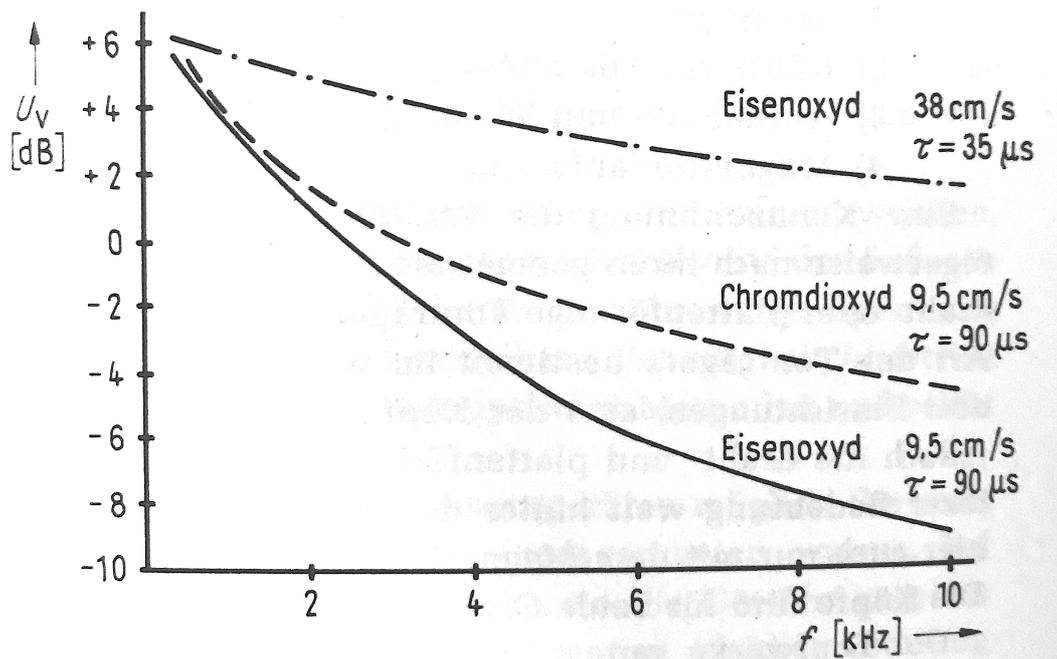


Abbildung 56: Erzielbarer Wiedergabepegel in Abhängigkeit von Frequenz, Beschichtung, Bandgeschwindigkeit

## 8. Einmessung analoger Bandmaschinen

### 8.1 Bezugsbänder

Bezugs-, Kalibrier- oder Justagebänder wurden zur Hochzeit der analogen Schalllaufzeichnung mit höchster Präzision in Messlaboren hergestellt, auf speziell dafür entwickelten oder modifizierten Maschinen, welche eine Vollspuraufzeichnung im exakten 90 Grad Winkel auf das Band schreiben konnten. Heute ist dies selten geworden, es gibt jedoch weltweit eine Hand voll Spezialisten, die in Eigenregie auf entsprechend modifizierten Geräten oder ehemaliger Laborausrüstung Justierbänder herstellen können. Die ehemals garantierte Laborqualität kann dabei erreicht werden, dies ist jedoch nicht immer der Fall. Oft werden dafür modifizierte und mit zusätzlichen Messequipment ausgestattete Studiobandmaschinen wie Studer A80 oder Telefunken M21 verwendet.

Demnach sind viele Sorten an Bezugsbändern also noch in guter bis sehr guter Qualität erhältlich, vor allem im Bereich der 1/4“-Bänder, also im Bereich Heimaudio und Studio für Zweispuranwendungen, wie Mixdown- oder Masteringmaschinen,

wie sie auch in der vorliegenden Arbeit besprochen werden. Schwieriger wird es im Bereich der Multitrackmaschinen, die in der Regel mit breiteren Bändern ab 1/2“ bis 2“ arbeiten. Hier sind Bezugsbänder mittlerweile eine schwierige Angelegenheit, da sie kaum noch hergestellt werden. Die einzig verbliebene Quelle, die noch einen umfangreichen Katalog an Bezugsbändern in Referenzqualität herstellt, ist das MRL Magnetic Reference Laboratory in San José, Kalifornien, USA.

Bezugsbänder sind und sollten immer als solche gekennzeichnet sein, um versehentliches Überspielen, Anlöschen oder eine Lagerung nahe Magnetfeldern zu verhindern. Die Abbildung links zeigt ein Bezugsband 38S (Studiogeräte 1/4“) auf einem so genannten „AEG Bobby“, eine flankenlose Spule, wie sie in Deutschland gerne und oft eingesetzt wurde. Es ist also nicht ratsam, ein Bezugsband ausserhalb der Originalverpackung zu lagern.



Abbildung 57: BASF Bezugsband

Bezugsbänder enthalten verschiedene Abschnitte zur Einstellung der Parameter:

- Referenzbandfluss
- Azimut / Spaltlage
- Frequenzgang

Entzerrung, Pegelverhältnisse und weitere Informationen sind üblicherweise auf einem beigefügten Datenblatt ersichtlich, bei genormten Bezugsbändern nach DIN oder NAB lagen diese bei. Bis auf wenige

Ausnahmen sind Bezugsbänder auf der gesamten Bandbreite bespielt, es handelt sich um Vollspuraufzeichnungen, um für möglichst viele verschiedene Spurlagen nutzbar zu sein.<sup>82</sup> Vor der Nutzung eines Bezugsbands sollte die einzustellende Maschine an Tonköpfen und bandberührenden Teilen mittels einer speziellen Entmagnetisierungsdrossel korrekt entmagnetisiert werden, um remanenten Magnetismus

<sup>82</sup> John McKnight – Tape-reproducer-response, PDF, S.1

an entsprechenden Teilen zu entfernen, die im ungünstigsten Fall kurze Wellenlängen anlöschten könnten. Dies dient der Erhaltung des originalen Zustands der Bezugsbänder.

## 8.2 Bezugspegel

Zur Austauschbarkeit von Programmmaterial, aber auch zur Berücksichtigung von den Eigenschaften des Bandmaterials wurden Standards für den Bandfluss definiert. Frühe Überlegungen zu dieser Thematik gehen auf deutsche Ingenieure zurück, die sich mit dem vor allem bei frühen Aufnahmen mittels des Magnettonverfahrens auftretenden Klirrfaktors auseinandersetzten.<sup>83</sup> Mit der Zeit etablierten sich verschiedene Normen, die wieder getrennt nach DIN / IEC und NAB zu betrachten sind. Die Begriffe Bezugspegel und Arbeitspunkt sind in der analogen Domäne von großer Relevanz, betreffen aber auch einige DSP-Emulationen, die eine gewisse Authentizität wahren wollen.

Demnach ist es auch für die vorliegende Arbeit ein wichtiger Punkt, den Zusammenhang zwischen Bezugspegel und Arbeitspunkt zu verstehen, denn dieser Bezug wird im praktischen Teil für verschiedene Messroutinen eine Rolle spielen.

Im europäischen Raum wurde nach DIN ein Bezugspegel festgelegt, der für Mono-Vollspuraufnahmen 320, für Stereoaufnahmen 514nWb/m betragen und dabei einen Ausgangspegel von 6dBu erzeugen soll. Diese Daten wurde in den Tabellen des Kapitels „Entzerrung“ bereits veranschaulicht. Die Frage, die nun geklärt werden soll ist, wie diese Werte zustande gekommen sind und welche Relevanz diese für das Thema der Arbeit haben.

Zu Zeiten der initialen DIN Normungen über Referenzpegel für Magnettonaufnahmen wurden Untersuchungen zum MOL (Maximum Output Level) verschiedener Bandmaterialien durchgeführt. Hierzu wurden Messungen getätigt, die verschiedene Signale betrachteten, dabei hauptsächlich mittlere Wellenlängen, die dem Mittelton der Musik entsprechen.

---

83 Josef Dorner - From 15 MilliMaxwell to 1,200 NanoWebers, PDF, S.1

Hierbei wurde geprüft, wann ein Klirrfaktor von 3% erreicht wurde. Das durchschnittliche aufzuzeichnende Programm sollte in jedem Fall unter diesem durchaus hörbaren Wert der Verzerrungen liegen und lediglich kurze Pegelspitzen dürfen laut Definition eine solch hohe Modulation erreichen. Hierbei wurde auch die Trägheit von Zeigerinstrumenten zur Aussteuerung beachtet. Somit wurde im europäischen Raum 320 (mono) und 514 (stereo) nWb/m als einen Wert der Vollaussteuerung festgelegt.

Im US-amerikanischen Raum hingegen spricht man vom „Operating Level“, welches üblicherweise mit +4dBu gleichgesetzt ist und einen Headroom von 6dB (+10dBu) für Magnetbandaufnahmen vorsieht. Dem „Operating Level“ wurden zu Beginn von der Firma Ampex 185 nWb/m gleichgesetzt, was einer Gesamtverzerrung von circa 1% entspricht.<sup>84</sup> Allerdings wurde dieser Wert im Laufe der Zeit immer wieder angepasst, da Bandmaterialien zunehmen besser und vor allem höher aussteuerbar wurden, sodass der Rauschabstand und die damit erzielbare Dynamik vergrößert werden konnten. Amerikanische Bänder wurden dann häufig als „+3db“ oder „+6dB“-Tape bezeichnet, was sich auf ein Operating Level um den genannten Betrag oberhalb der ursprünglichen 185 bzw. 200 nWb/m bezieht.

Diese Werte geben also an, dass ein Band weniger Verzerrungen bei gegebenem Bandfluss produzieren, oder eben höher ausgesteuert werden können.

In der vorliegenden Arbeit werden diese Aspekte mit untersucht.

Das zu untersuchende UAD Studer Plugin weist einen CAL (Calibration) Regler auf, welcher auf +3, +6, +7,5 oder +9 dB gestellt werden kann, welches den intern emulierten Bandfluss betrifft, damit auch das Verzerrungsverhalten. Mit der analogen Studer B67 lässt sich dies intern bei der Einmessung bewerkstelligen, einen von außen zugänglichen Regler gibt es hierfür nicht.

Im deutschen und europäischen Raum hielt man an den 320, respektive 514nWb/m als Bezugspegel fest. Dieser Wert galt hier als guter Kompromiss zwischen möglichst minimalen Verzerrungen und Rauschabstand.<sup>85</sup>

---

84 Josef Dorner - From 15 MilliMaxwell to 1,200 NanoWebers, PDF, S.2

85 Dickereiter, Dittel, Hoeg, Wöhr, Handbuch der Tonstudioteknik, KG Saur Verlag 2008, S.387

### 8.3 Bandfluss und Spurlage

Der krumme Wert von 514nWb/m entstand zur Zeit der Umstellung von monofonen Aufnahmen hin zur Stereophonie. Während eine Mono-Vollspuraufnahme bei Referenzbandfluss von 320nWb/m einen Pegel von +6dBu erzeugen sollte, war dies bei Stereoaufnahmen und damit geteilter Bandspur von 6mm auf 2mm bzw. 2,75mm Spurbreite nicht mehr der Fall. Die Pegel bei Stereoaufnahmen musste also erhöht werden, um die Pegelkompatibilität zu Monoaufnahmen zu wahren.

Es wurden aus Korrelationsgründen +3dB hinzuaddiert, zusätzlich +1,05dB aufgrund der nicht bespielten Trennspur. Das Resultat: 4,05dB über 320nWb/m entspricht 514nWb/m.<sup>86</sup>

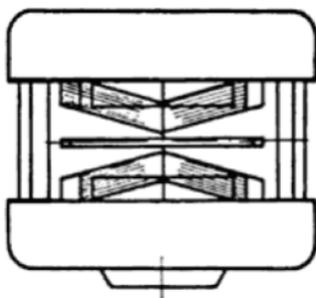


Abbildung 58: Schmetterlingskopf von Studer

Zur weiteren Kompatibilitätssteigerung setzten sich bei den Firmen Studer und Telefunken die sogenannten Schmetterlingsköpfe durch, erkennbar am abgeschrägten Kernprofil. Diese dienten der Maximierung der Spurbreite im Stereobetrieb von 2mm auf 2,75mm. Durch die schräge Anordnung konnte das Übersprechen zwischen den beiden Kanälen auf einem guten Niveau gehalten werden, gleichzeitig wurde die Nutzfläche auf den Band maximiert. Diese Kopfform galt im europäischen Raum als Standard für Rundfunk- und 2-Spur Studioanwendungen, sofern auf eine Timecodespur verzichtet werden konnte.

Der definierte Bandfluss von 514nWb/m gilt streng genommen nur für diese Kopfform, da nur dann die pegeltechnische Kompatibilität zu den Vollspuraufnahmen mit 320nWb/m gegeben ist. In Unterlagen werden Maschinen, die mit diesen Köpfen ausgestattet sind, gerne als „Stereo“ bezeichnet, während mit herkömmlichen 2-Spur Köpfen (gerade Kernlage, 2mm Spurbreite) ausgestattete Geräte als „2-ch“ bezeichnet werden. Eine irreführende Tatsache, die heute auch von keiner großen Bedeutung mehr ist. Allerdings wurden für die beiden Varianten ebenfalls stellenweise unterschiedliche Einmessvorschriften bezüglich des Bandflusses angegeben, so dass stets hinterfragt werden sollte, welches Ziel verfolgt wird. Eine allgemeine

<sup>86</sup> Dickereiter, Dittel, Hoeg, Wöhr, Handbuch der Tonstudioteknik, KG Saur Verlag 2008, S.387

Empfehlung an dieser Stelle wäre, „Stereo“ und „2-Kanal“ Geräte gleich zu behandeln und den Bandfluss entweder auf allgemeine Kompatibilität (514nWb/m), oder angepasst auf moderne Bandmaterialien einzustellen, nach amerikanischem Vorbild. Hierbei ist es egal, nach welcher Entzerrung (DIN / NAB) gearbeitet wird, wichtig ist, dass die entsprechenden Bezugspegel korrekt auf den gewünschten Ausgangspegel umgerechnet werden. Dies ist vor allem auch dann wichtig, wenn in einer hybriden Umgebung gearbeitet wird, wobei analoge Geräte an digitale Interfaces angeschlossen werden.

#### **8.4 Pegelverhältnisse und Metering**

Unerlässlich zur qualitativ hochwertigen Tonaufzeichnung ist das korrekte Einpegeln der Signale. Das gilt sowohl in der digitalen, als auch in der analogen Domäne.

Während beim digitalen Recording Rauschen und damit das SNR (Signal to Noise Ratio) weniger kritisch ist muss jedoch dringend beachtet werden, dass ab einem Pegel von 0dBFS kein Headroom mehr zur Verfügung steht, die digitale Wortbreite ist damit ausgenutzt und es kann keine weitere Information darüber hinaus aufgezeichnet werden, was hartem, digitalem Clipping entspricht, also eine ohne jegliche „weiche“ Übergangsbereiche eintretende Verzerrung, die nicht tolerierbar ist und auch nicht korrekt behoben werden kann, sofern es bei einer Aufnahme zu diesem Effekt kam.

In der Welt der analogen Mischpulte und Aufnahmegeräte schwimmt diese Grenze, der Übergang zwischen sauberem Signal und Sättigungs-, sowie Verzerrungsartefakten ist deutlich weicher. Aus Gründen der Vermeidung von Verzerrungen, aber auch zur Erhaltung eines vernünftigen Signal-Rauschabstands einigte man sich auf sinnvolle Arbeitspunkte der Geräte, sodass eine komplikationsfreie Signalführung und sinnvolles Gain-Staging möglich sind. In der Digitalära wurden hierzu auch verschiedene Überlegungen angestellt, allerdings hinkt der Vergleich, da dank des Loudnesswars (deutsch Lautheitskrieg) digitale Medien in der Regel „voll ausgesteuert“ verkauft oder vertrieben werden, also gar keinen Headroom mehr besitzen und demnach auf 0 oder -0,1dBFS ausgesteuert sind. Allerdings gibt es einige Hersteller von Audiointerfaces und Plugins, die den Gedanken des Headrooms nicht verworfen haben und versuchen, eine Analogie herzustellen. Dazu später jedoch mehr.

Wie ein Arbeitspunkt definiert ist, hängt auch von der Art und Weise der Pegelmessung ab, wobei spätestens zu diesem Zeitpunkt das Thema der Messtechnik relevant wird, namentlich die Nutzung von VU-Metern oder Spitzenpegelmessgeräten. Sie gehören zu den wichtigsten Instrumenten im Rundfunk- und Studiobetrieb. Auch hier gab und gibt es im internationalen Vergleich verschiedene Trends. In Deutschland erkannte man früh die Vorteile von quasi-Spitzenpegelmessern, also reinen Peakmetern (PPM = Peak Program Meter). Diese reagieren sehr schnell auf das eingehende Signal und bilden auch kurze und schnelle Transienten ab, erfassen also auch Pegelspitzen korrekt.

Hierzulande gilt sogar häufig die Meinung, dass Aussteuerungsinstrumente wie zum Beispiel das trägere VU Meter nicht zur Aussteuerung taugen, da sie keine reale Information über die Auslenkung der Amplitude eines elektrischen Signals geben.<sup>87</sup> Hierbei stellt sich allerdings die Frage, was überhaupt gemessen werden soll. Diese Frage bezieht sich auch auf die Thematik „Vollaussteuerung“ und „Operational Level“, sowie deren Zuweisungen eines Bandflusswertes. Um Unterschiede, aber auch Zusammenhänge zwischen Einmessung nach IEC und NAB, sowie deren Eigenheiten um den Pegel zu verstehen, müssen die jeweiligen Methoden zur Signalerfassung verstanden werden.

Auch in diversen Service Manuals wird auf das Thema eingegangen, das für die vorliegende Arbeit eine Relevanz hat, da zur besseren messtechnischen Vergleichbarkeit eine Art ZwitterEinstellung zwischen NAB und IEC Anwendung finden wird.

Die europäischen Rundfunk- und Studionormen schreiben einen Arbeitspegel von +6dBu ( $1,55V_{\text{eff}}$ ) vor, der einem Bandfluss von 514nWb/m entspricht. Dies stellt die Vollaussteuerung dar, die nicht deutlich überschritten werden sollte. Die Aussteuerung muss dabei mit einem Peakmeter überwacht werden. Diese Geräte sind üblicherweise so kalibriert, dass sie bei +6dBu (Vollaussteuerung) 0dB anzeigen, wie z.B. das Standardgerät RTW PPM 1206 D (DIN SCALE).

---

<sup>87</sup> Friesecke, Metering, PPV, S.60



Abbildung 59: RTW PPM 1206D Pegelmessgerät

Die symmetrischen XLR Eingänge sind fest auf 0db = 1,55V = +6dBu kalibriert, die unsymmetrischen Cinch-Eingänge können hingegen auf einen gewünschten Wert eingestellt werden. Folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt der technischen Daten des 1206D. Wichtig hierbei auch die Integrationszeit von 10ms, was bedeutet, dass nach 10ms der korrekte Wert eines eingehenden Signals angezeigt wird. Somit werden auch schnelle Amplitudenänderungen erfasst, sowie Transienten im nahezu vollumfänglichen Signalpegel dargestellt. Das ist relevant, um relativ genau im Bereich der „Vollaussteuerung“ arbeiten zu können und somit das System aus Mischpult - Aufzeichnungsgerät effizient nutzen zu können und gleichzeitig Kompressions- und Verzerrungsartefakte zu vermeiden, sofern diese nicht gewünscht sind.

**TECHNISCHE DATEN**

**Allgemeines**

Betriebsspannung: 230 -240/115 V 50/60 Hz  
 Netzsicherung: 220 V AC 50 mA träge  
 110 V AC 100 mA träge  
 Gewicht: ca. 1000 g  
 Abmessungen: 207 x 41 x 141 mm  
 Betriebstemperaturbereich: +5° bis +45° Celsius  
 Anschlußsteckverbinder: 2 XLR-Eingangsbuchsen  
 2 Cinch-Eingangsbuchsen  
 Kaltgerätestecker für Netzversorgung  
 Bedienungselemente: • Schiebeskala

**Peakmeter**

Anzeigenorm: DIN  
 Skalenlänge: 127 mm  
 Anzeigeelemente: 201 Segmente/Kanal  
 Skalenbereich: -50 dB bis +5 dB  
 Übersteuerungsbereich: 0 dB bis +5 dB  
 Farbe der Anzeigeelemente: bis 0 dB orange, bis +5 dB rot  
 Meßgenauigkeit: ±0,3 dB im Bereich -10 dB bis +5 dB  
 ±1,0 dB im Bereich -40 dB bis -10 dB  
 Integrationszeit: 10 ms  
 Rücklaufzeit: 1,5 s für 20 dB  
 2,5 s für 40 dB

**Eingänge**

**XLR-Eingangsbuchsen:** elektronisch symmetrisch  
 Eingangsempfindlichkeit für 0 dB Anzeige: +6 dBu (1,55 V)  
 Maximaler Eingangspegel: +21 dBu  
 Unsymmetriedämpfung: > 40 dB  
 Eingangswiderstand: > 40 kΩ (30 Hz bis 20 kHz)  
**Cinch-Eingangsbuchsen:** unsymmetrisch  
 Eingangsempfindlichkeit für 0 dB Anzeige: 155 mV bis 30 V (-14 dBu bis +32 dBu) (einstellbar an Geräterückseite)  
 Eingangswiderstand: > 47 kΩ (30 Hz bis 20 kHz)

**Lieferumfang**

Peakmeter 1206D:
 

- Schiebeskala horizontal/vertikal
- Netzanschlußkabel
- Bedienungsanleitung

**Bestellnummer: 1206D**

Abbildung 60: RTW 1206 technische Daten Ausschnitt

Im Amerikanischen Raum und allen Ländern, die sich an NAB Standards orientieren, gelten oben genannte Annahmen nicht. Hier wurde als generelles Operating Level ein Standard von +4dBu etabliert, an dem sich auch letztlich alle international tätigen Gerätehersteller orientierten oder wie im Falle Studer eine Option auf Betrieb im NAB Modus gegeben sein sollte. +4dBu als Signalpegel wurde mit dem Begriff „0 VU“ gleichgesetzt, also wurden an Mischpulten und anderen Geräten für diesen Pegel die Messinstrumente so eingestellt, dass sie bei einem konstanten Sinus-Testton 0dB anzeigen. In der Natur von VU Metern liegt allerdings ihre Trägheit, sodass schnelle Änderungen in der Amplitude weitestgehend durch die Ballistik verschluckt werden.<sup>88</sup> Für ein Mischpult war dies in der Regel kein Problem, da genug Headroom vorhanden ist, üblicherweise liegen Maximalpegel im Bereich +22dBu, sodass also zum Operating Level eine Reserve von 18dB besteht, die unerkannte Pegelspitzen abfangen. VU-Meter gelten deshalb eher als ein Messinstrument für ein Durchschnittspegel, RMS Pegel oder eine empfundene Lautheit.

Im Bezug auf Magnetbandaufnahmen stellt dies ein Problem dar, denn der Klirrfaktor, sowie Bandsättigungseffekte können im Grenzbereich steil ansteigen. Es können wenige dB ausreichen, um die Gesamtverzerrungen von 1% auf über 3% ansteigen zu lassen, weshalb VU Meter als Aussteuerungsinstrument mit Bedacht genutzt werden muss.

Dies ist der Grund, warum unter Verwendung von trägen Zeigerinstrumenten mit einer Integrationszeit von üblicherweise 300ms ein gewisser „Vorlauf“ gewährt wird.

Integrationszeit bedeutet auch hier, dass ein VU Meter den korrekten Pegel eines konstanten Testtones erst nach 300ms exakt erfasst, die Mittlungszeit beträgt ca. 100ms, es ist also um den Faktor 30 langsamer, als ein echtes Peakmeter. Das bedeutet nicht, dass ein VU-Meter ungenau ist, es ist einfach nur träge. Kurze Schallergebnisse, namentlich Transienten, werden also von VU Metern kaum erfasst. Eine Snare, eine kurze akustische Bassdrum, dies sind Signale, bei denen sich VU Meter kaum bewegen, selbst wenn der Pegel kurzzeitig deutlich über „0 VU“ liegt.

---

88 Friesecke, Metering, PPV, S.62



Abbildung 61: API VU-Meter einer Konsole

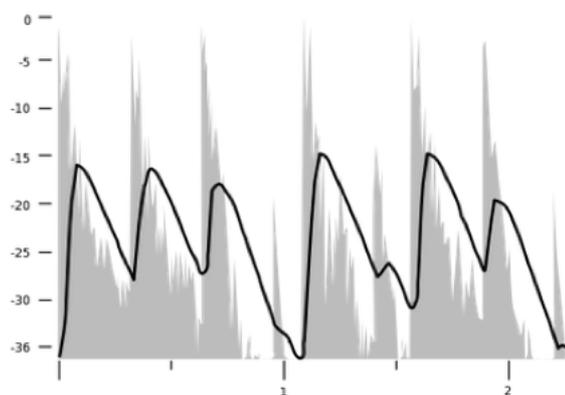


Abbildung 62: VU-Meter Ballistik

Abbildung links zeigt ein typisches VU Meter mit einem Anzeigebereich von -20 bis +5dB, hier am Beispiel einer API Konsole. 0dB am VU Meter entspricht einem Signalpegel von +4dBu. Abbildung rechts zeigt das Messverhalten eines solchen VU Meters mit üblichen Anstiegs- und Abfallzeiten. Das Ergebnis ist eine Erfassung der durchschnittlichen Lautheit, allerdings mit unterfassten Pegelspitzen von bis zu 10dB.

Diese Tatsache führt dazu, dass im Falle der Nomenklatur nach NAB das Operating Level relativ niedrig angesetzt ist, da davon ausgegangen wird, dass diese unterfassten Pegelspitzen auftreten. Das bezieht sich auch auf Bandflusswerte. Wenn das angewendete NAB Operating Level 250nWb/m beträgt (+3dB Tape), werden Magnetbänder im Programmbetrieb mit Überwachung per VU Meter mindestens mit 500 - 600nWb/m moduliert, bei einem Pegel von ca. +10 bis +12dBu, was dann dem NAB Peak Level entspricht. Man spricht hierbei auch von einem „Vorlauf“ oder englisch „Lead“ des VU Meters.

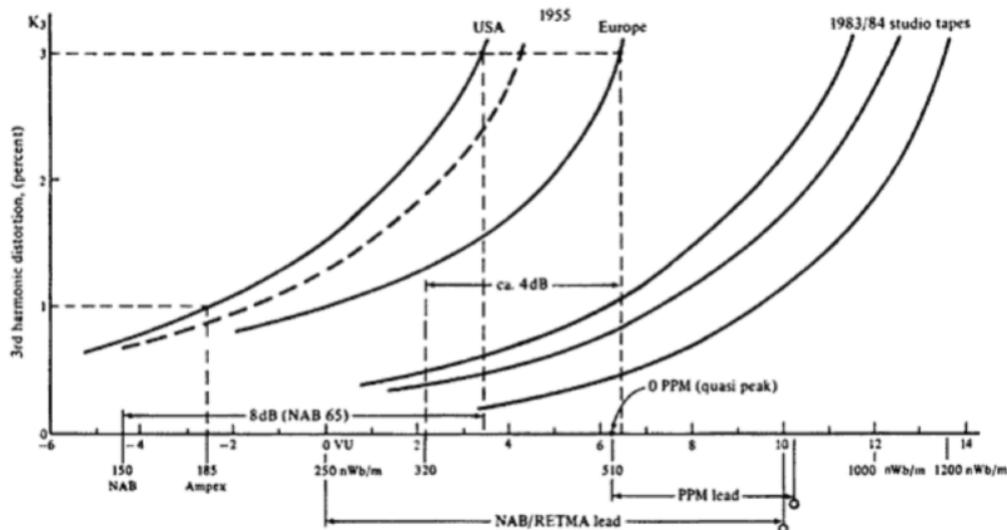


Abbildung 63: Bandfluss gegenüber Verzerrungen

Abbildung 63 zeigt theoretische Maximalwerte für den Bandfluss gegenüber harmonischen Verzerrungen und den Eigenschaften verschiedener Messinstrumente. Die Grafik bestätigt zudem die bereits angesprochenen Verbesserungen im Bereich der Aussteuerbarkeit von Bandmaterialien, womit sich eine graduelle Erhöhung des Bezugspegels als gerechtfertigt darstellt. Während für ein PPM immer noch ein Vorlauf von 4dB angenommen wird (kleinste Transienten unter 10ms), wird bei dieser Grafik ein praktischer Vorlauf für VU-Meter von sogar 12dB attestiert, was sich mit Abbildung 62 deckt.

Faktisch werden Bänder ausgehend von ihren eher klein erscheinenden Grundbezugspiegeln in beiden Fällen in größerem Umfang moduliert.

## 8.5 Metering analog und digital

Dargestellt werden sollen Pegelverhältnisse zwischen analogen Geräten und digitalen Audiointerfaces am Beispiel einer Universal Audio Apollo, die nach internationalen Konventionen aufgebaut ist, was die A/D-Übersetzung angeht. Als Traditionshersteller analoger Geräte machte sich die Firma Universal Audio Gedanken über das Zusammenspiel der beiden Welten.

Ausgehend von von bereits genannter These um Headroom im analogen Bereich bliebe festzustellen, dass der 0dB VU Punkt +4dBu Signalpegel entspräche und dann mindestens 18dB Headroom bestehen, also ein maximaler Signalpegel von

+22dBu verarbeitet werden kann. Praktisch wurde bei einigen Mischpulten ein einstellbarer Maximalpegel angeboten, in der Regel jedoch +18dBu, +22dBu, +24dBu (z.B. SSL Konsolen).

Auch im digitalen Bereich existieren verschiedene Referenzen, was den Signalpegel angeht, was bedeutet, dass der Ein- und Ausgangspegel für Audiointerfaces bei 0dBFS, also Vollaussteuerung, nicht klar definiert ist. Professionelle Geräte, wie das hier besprochene Universal Audio Apollo, halten sich in der Regel an die +22dBu-Konvention, sodass -18dBFS 0dB VU, also +4dBu entsprechen, soll heißen: an einem symmetrischen Lineausgang liegen bei einem konstanten Sinus-Testton bei -18dBFS +4dBu an, ebenso an einem Eingang mit Unity Gain. Es bestehen, ähnlich wie bei der analogen Konsole, 18dB Headroom.<sup>89</sup>

Dies gilt jedoch nicht für alle Audiointerfaces. Geräte, welche eher der Heimaudio-Kategorie entsprechen, arbeiten teilweise mit kleineren bis deutlich geringeren Pegeln.

Beispiel: Das vom Hersteller „Native Instruments“ stammende „Audio 8 DJ“ Interface, ein Heimgerät mit unsymmetrischen Ein- und Ausgängen, liefert bei Vollaussteuerung +9,7dBu am Ausgang und akzeptiert am Eingang maximal +11,9dBu.<sup>90</sup>

Somit muss bei einer Einbindung eines analogen Gerätes wie einer Bandmaschine an einem Computer mittels Interface und AD-/DA-Wandlung eine Übersicht geschaffen werden, wie die Pegelverhältnisse stehen. Erst wenn diese Verhältnisse geklärt sind, ist eine sinnvolle Nutzung möglich, dann stehen aber viele Möglichkeiten offen, wie auch beispielsweise die komfortable und genaue Einmessung des Gerätes mittels Software und deren vielfältigen Messwerkzeugen.

---

89 UA Apollo Firewire Silverface Hardware Manual

90 Native Instruments Audio 8 DJ Manual German

## 8.6 Einmessung Wiedergabefrequenzgang

Kurzbeschreibung zur Einmessung des Wiedergabefrequenzgangs einer Bandmaschine mittels Bezugsband DIN / IEC 38S, 320nWb/m nach CCIR / europäischem Rundfunkstandard.

Wiedergabekopf: Studer 2-Kanal 2mm oder Stereo 2,75mm Spurbreite

Bezugspegel:  $514\text{nWb/m} = +6\text{dBu} = 1,55V_{\text{eff}}$

- Maschine im ausgeschalteten Zustand an allen bandberührenden Teilen entmagnetisieren
- Bezugsband auflegen, erster Teil: Bezugspegel 1kHz (320nWb/m auf Band)
- Am Ausgang +2dBu einstellen
- Spalteinstellung 10kHz bei -10dB: Azimuteinstellung mittels Oszilloskop auf Phasengleichheit links und rechts, Nebenmaxima vermeiden
- Bezugspegel 320nWb/m = +2dBu nochmals prüfen
- Wiedergabefrequenzgang bei -20dB unter 320nWb/m einstellen, Multifrequenzteil mittels Wiedergabe-EQ auf möglichst glatten Frequenzgang einstellen.

Zu der Prozedur eignet sich am besten ein frequenzunabhängiger Pegelschrieb, der lediglich auf das Eingangslevel reagiert. Alternativ ist auch ein einfaches Pegelmessgerät wie zum Beispiel das genannte RTW 1206 brauchbar, oder ein Audiointerface mit einer DAW. Folgende Abbildung zeigt den Frequenzverlauf eines Bezugsbands nach korrekter Einstellung im Form eines Pegelschriebs. Die Abbildung 64 zeigt einen solchen Pegelschrieb, hergestellt mittels der Software „AudioTester“.

Die mit Frequenz beschriftete X-Achse kann hierbei ignoriert werden, es handelt sich um dB über der Zeit. Von links nach rechts: Bezugspegel, hier entspricht +2dBu -10dBFS, Spalteinstellung bei -10dB unter 320nWb/m entspricht -20dBFS, dann die einzelnen Tonfrequenzen von 20Hz bis 20kHz in 19 Abstufungen circa -20dB unter 320nWb/m.

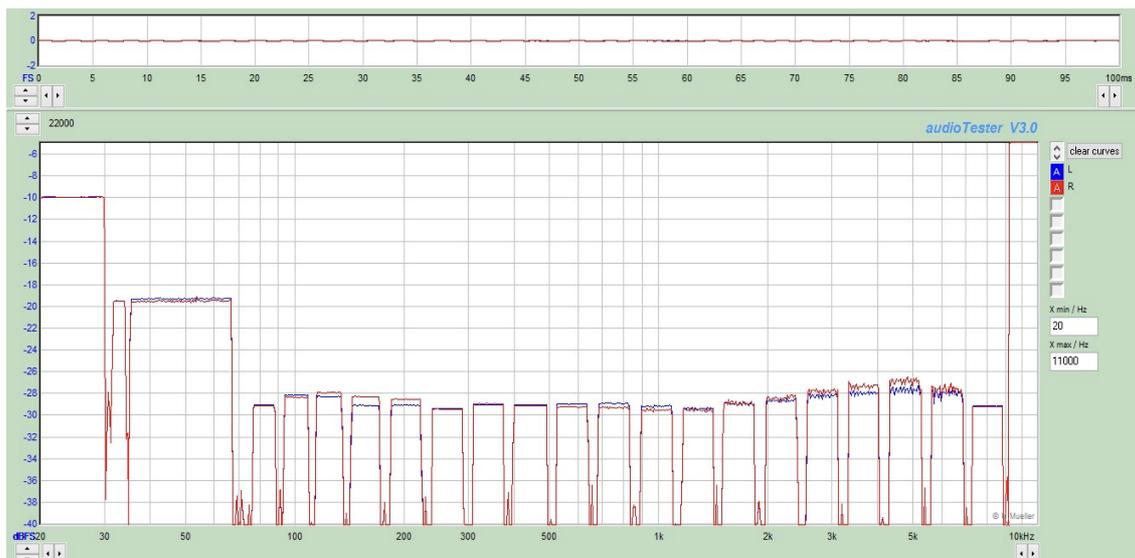


Abbildung 64: Wiedergabefrequenzgang ab Bezugsband 19S DIN

## 8.7 Einmessung Aufnahmefrequenzgang

Die Einmessung des Aufnahmefrequenzgangs erfolgt nach der Einstellung des Wiedergabefrequenzgangs. Der Aufnahmekopf und die damit verbundene Elektronik wird also im Kontext des bereits eingestellten Wiedergabezweigs eingestellt. Hierzu werden externe Signalgeneratoren, Messgeräte und ein leeres Band der bevorzugten Art verwendet. Es muss kein fabrikneues Band sein, ein gutes gebrauchtes Band funktioniert ebenso. Von Vorteil ist, wenn ein Datenblatt zum gewählten Bandtyp verfügbar ist, zwecks Vorschlägen eines geeigneten Vormagnetisierungspunkts. Serviceunterlagen der 70er bis 90er Jahre schlagen zur Einmessung Testsignale mit Sinustönen vor, heute bietet sich auch Rosa Rauschen in Kombination mit PC-gestützter Messsoftware an. Rosa Rauschen ist von der Frequenzverteilung / Energieverteilung Musik ähnlich und treibt ein Band nicht so schnell in die HF-Sättigung. Frequenzgangmessungen, die mittels Sinussignalen aus diesem Zweck bei -20dB relativ zum Bezugspegel durchgeführt wurden, entfallen somit. Die hier vorgestellte Einmessung beschreibt kurz beide Prozeduren, die dabei genutzte Real Time Analyzer Software ist SMAART von Rational Acoustics.

- Kontrolle der Oszillatorfunktion und -frequenz des HF-Schwingkreises
- Kontrolle der richtigen Entzerrungseinstellung, passend zum Testband und Verwendung DIN / NAB
- Leeres Band auflegen, 1kHz Sinus oder Breitbandsignal am Eingang anlegen mit 0dBu
- Record-Level zunächst grob auf Input = Output stellen, also am Ausgang 0dBu
- BIAS: Sinus 10kHz mit reduzierter Amplitude (-20dB) oder entsprechendes Breitbandsignal am Eingang anlegen
- BIAS Regler ganz nach links (Minimum) drehen und dann langsam in der Amplitude steigern, bis ein Maximum am Ausgang erreicht ist, hier kommt es nur auf das Maximum an, relative Werte an dieser Stelle irrelevant
- Wert notieren, dann Biasamplitude weiter steigern, bis der gewünschte Abfall laut Datenblatt erreicht ist
- Aufnahmeazimut / Spurlage: Sinus mit > 10kHz (je nach Bandgeschwindigkeit) einspeisen und auf korrekte Spaltlage justieren mittels Oszilloskop / Lissajousfigur
- Wenn Bias und Spurlage korrekt eingestellt sind, zurück zu Bezugspegel und Frequenzgang
- Aufnahmebezugspegel prüfen, ggf. Nachjustieren
- Durch Einspeisung verschiedener Sinussignale oder Breitbandsignal den Frequenzgang „über Band“ mittels der Aufnahme-EQ-Regler einstellen für möglichst flachen Frequenzgang

Sollte kein Datenblatt zu dem verwendeten Bandmaterial vorliegen, muss eine genauere Analyse des Rausch- und Klirrvhaltens erfolgen, um einen geeigneten Arbeitspunkt zu finden. Der erzielte Frequenzgang sollte innerhalb der Werksvorschriften des Herstellers liegen. Kann dies nicht erreicht werden, muss die Maschine untersucht werden, es könnten verschlissene Tonköpfe und/oder ein elektronisches Problem vorliegen.

## 9. Vorstellung der Testprobanden

### 9.1 Studer B67

Die Studer B67 ist eine kompakte Bandmaschine mit vielfältigen Einsatzzwecken. Sie ist ein Gerät der 19-Zoll Klasse, ist also keine reine Truhenmaschine, wie z.B. die A80 und andere große Studiobandmaschinen, trotzdem wird sie gerne als die „kompakte A80“ bezeichnet, da die verwendete Audioelektronik und die Tonköpfe ebenso hochwertig sind, weshalb sie klanglich nicht unterlegen ist.<sup>91</sup> Die B67 wurde in zwei Hauptrevisionen zwischen 1973 und 1982 produziert, wobei es allerdings jeweils viele verschiedene Varianten gab hinsichtlich Zusatzausstattung, Tonkopfbestückung, Bandgeschwindigkeiten.



Abbildung 65: Varianten der Studer B67

Die Maschine wurde beim Rundfunk, in Übertragungswagen, aber auch in Studios kommerzieller und privater Natur eingesetzt.

Sie wurde als Mono-, Stereo-, 2-Kanalmaschine gebaut, mit oder ohne Timecodesteuerung, optional mit Varispeed (Pitchfähigkeit), als Variante mit Normalgeschwindigkeit oder als High-Speed-Variante. Es gab weiters Maschinen mit oder ohne internen VU Metern, mit unterschiedlichen Monitoringeneigenschaften, weiters Geräte in Truhen mit externen Meterbrücken. Es soll mindestens 18 Varianten gegeben haben.

Die B67, die technisch auf dem Laufwerk der Revox A700 basiert, bietet immer drei Bandgeschwindigkeiten (Normalvariante 9,5 / 19,05 / 38,1 cm/s und High Speed 19,05 / 38,1 / 76,2 cm/s). Die geänderten Bandgeschwindigkeiten werden durch einen anderen Tonwellenmotor und eine Capstan-Control Steuerungsplatine verwirklicht, die Maschinen lassen sich also von Normal- auf Highspeed umbauen, sofern die beiden Teile und ein passender Betriebskondensator für den Tonwellenmotor vorhanden sind.

Die Maschine ist zwischen den beiden bereits genannten Entzerrungen (NAB/ IEC) umschaltbar, sowohl im Aufnahme-, als auch im Wiedergabezweig. Sie kann für alle drei Bandgeschwindigkeiten getrennt und vollumfänglich eingemessen werden, inklusive Aufnahme- und Wiedergabefrequenzgang, es ist also möglich, für die langsame Bandgeschwindigkeit ein anderes Bandmaterial einzumessen, als für die höheren, was sehr nützlich sein kann. Die MKII Variante ist durch etwas weiter auseinanderstehende Wickelmotoren erkennbar, damit nicht nur 26,5cm Spulen oder Wickel auf der Maschine betrieben können, sondern auch 30cm Wickelteller (1000m Bandwickel Standardband). Zudem besitzt die MKII Variante vertikale Stege neben den Rollen der Bandwaagen.

Die Maschine besitzt eine elektronisch Bandzugregelung mit einstellbaren Auf- und Abwicklungen bei allen Betriebsarten. Weitere technische Daten laut Studer Service Manual wie folgt, die kompletten Informationen über mögliche Varianten sind dem im Anhang befindlichen Manual zu entnehmen.

Die in der vorliegenden Arbeit zu untersuchende Maschine ist eine B67MKII High Speed mit relativ hoher Seriennummer, also Baujahr vermutlich um 1980. Sie ist mit den bereits vorgestellten Schmetterlingstonköpfen ausgestattet, wird also seitens des Herstellers als „Stereo“-Maschine bezeichnet. Die Tonköpfe haben eine Spur-

breite von 2,75mm, die Maschine hat also keine Timecodesteuerung. Sie ist ein reduziertes Modell ohne interne VU-Meter und ohne die Varispeed-Schaltung. Die Aussteuerung muss also mittels eines Mischpultes, einer DAW (plus Interface mit bekannten Pegelverhältnissen) oder einer andersartig nachgerüsteten VU / PPM Messeinheit überwacht werden.

Für die Versuche dieser Messreihe wird die Aussteuerung mittels der Universal Audio Console App getätigt, welche eine analoge Konsole nachbildet, was einwandfrei funktioniert.

Der Zustand der Maschine kann als sehr gut und demnach für Messzwecke als geeignet bezeichnet werden, da die Elektronik und das Laufwerk durch den Author revidiert wurden. Generell ist zu sagen, dass Elektronik der 70er- und 80er Jahre heute zumindest eine gute Reinigung und gegebenenfalls eine Schmierung aller beweglichen Teile benötigt. Im Falle älterer Geräte der Firmen Studer, Revox, Telefunken und andere aus deutscher / Schweizer Fertigung benötigen allerdings dringend eine Überholung der Elektronik. Dies liegt darin begründet, dass in diesen Geräten elektronische Bauteile der Firmen „FRAKO“, „RIFA“ und „ITT“ verbaut wurden, dabei vor allem Elektrolytkondensatoren, Tantalkondensatoren und Entstörkondensatoren, die einer unvorteilhaften Alterung unterliegen. Das Problem mit einigen dieser Bauteilen in genannten Maschinen liegt in einer hohen Ausfallrate nach der langen Zeit. Es ist ein bekanntes Phänomen, dass diese gealterten Kondensatoren teilweise Kurzschlüsse verursachen können oder platzen. Während letzteres lediglich zu einem offenen Schaltkreis und zu Verschmutzung im Gerät führt, kann der ausfallbedingte Kurzschluss benachbarte Bauteile mit in den Tod reißen, was gerade im Fall seltener ICs zu größeren Problemen führen kann. Der beste Zeitpunkt für eine Überholung solch eines Geräts ist also der Zeitpunkt, wo noch kein ernsthafter Defekt aufgetreten ist, also alles noch funktioniert. Dies war bei der Testmaschine leider nicht der Fall, da sie bereits beim Kauf Defekte und Fehlverhalten zeigte, die Wickelmotoren drehten direkt nach dem Einschalten und die Audioelektronik gab kein Signal mehr aus. Nach Austausch aller alterungsempfindlichen elektronischen Bauteile und einer kompletten Neujustage gemäß Service Manual funktioniert die Maschine wieder einwandfrei und übertrifft ihre Werksangaben im Jahre 2022. An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass nicht nur die Justage der Audioelektronik wichtig ist, als Ausgangsbasis müssen auch Bandzug und Bremszug geprüft und gegebenenfalls ein-

gestellt werden. Dies ist nicht nur zur schonenden Nutzung von Bezugsbändern wichtig, sondern natürlich auch im folgenden Betrieb, sodass Bänder und die Maschine selbst nicht mechanisch überstrapaziert werden.

### 1.4 TECHNISCHE DATEN

Die technischen Daten gelten für Horizontalbetrieb

<b>Bandgeschwindigkeiten:</b>	<b>76,2–38,1–19,05 cm/s</b> (30–15–7,5 ips) oder <b>38,1–19,05–9,5 cm/s</b> (15–7,5–3,75 ips)			
<b>Bandgeschwindigkeitsabweichung:</b>	max. ±0,2 %			
<b>Bandschlupf:</b>	max. 0,1 %			
<b>Bandspulen:</b>	NAB, Dreizack, DIN max. Durchmesser 282 mm (11,1"), mit entsprechendem Tonband max. Wickelkapazität 1000 m (3280 ft)			
<b>Bandbreite:</b>	6,3 mm (W")			
<b>Tonhörschwankungen:</b> IEC 386 (DIN 45507), Spitze bewertet bei 20°C	<b>76,2 cm/s</b> max. 0,04 %	<b>38,1 cm/s</b> max. 0,06 %	<b>19,05 cm/s</b> max. 0,08 %	<b>9,5 cm/s</b> max. 0,15 %
<b>Startzeit:</b>	max. 0,5 s (zum Erreichen des zweifachen spezifizierten Tonhörschwankungswertes)			
<b>Bandzähler:</b>	Genauigkeit ± 0,5 % Echtwerlanzeige in Stunden, Minuten und Sekunden mathematische oder komplementäre Darstellung			
<b>Umsputzeit:</b>	ca. 150 s für 1000 m Tonband			
<b>Bremszeit aus Umspulen:</b>	max. 5 s			
<b>Bandzug:</b>	75 p ± 15 p bei Wiedergabe und Umspulen			
<b>Bandzugmaximum:</b>	600 p bei Start, Stop und Richtungswechsel			
<b>Eingänge:</b>	symmetrisch, erdfrei Impedanz min. 5 kOhm, 30 Hz ... 20 kHz			
<b>Eingangspegel:</b>	min. -20 dBm für 185 nWb/m max. +22 dBm			
<b>Ausgänge:</b>	symmetrisch, erdfrei Impedanz max. 50 Ohm, 30 Hz ... 20 kHz Abschlusswiderstand min. 200 Ohm			
<b>Ausgangspegel:</b>	max. 22 dBm (RL 600 Ohm)			
<b>Entzerrung:</b>	NAB oder CCIR, intern programmierbar			
<b>Entzerrungs-Zeitkonstanten:</b>	<b>76,2 cm/s</b> 17,5/∞ µs NAB:	<b>38,1 cm/s</b> 35 µs 50/3180 µs	<b>19,05 cm/s</b> 70 µs 50/3180 µs	<b>9,5 cm/s</b> 90/3180 µs 90/3180 µs
<b>Frequenzgang:</b> (Aufnahme-Wiedergabe)	<b>76,2 cm/s</b> ± 2 dB 40 Hz ... 20 kHz ± 1 dB 60 Hz ... 18 kHz	<b>38,1 cm/s</b> 30 Hz ... 18 kHz 15 kHz ... 15 kHz	<b>19,05 cm/s</b> 30 Hz ... 15 kHz 60 Hz ... 12 kHz	<b>9,5 cm/s</b> 40 Hz ... 10 kHz 60 Hz ... 8 kHz
<b>Fremd- und Geräuschspannungsabstand:</b> Effektivwerte, Aufnahme-Wiedergabe nach Bewertungsfilter DIN 45405, 1967, Entzerrung nach CCIR	<b>76,2 cm/s</b>	<b>38,1 cm/s</b>	<b>19,05 cm/s</b>	<b>9,5 cm/s</b>
Vollspur (320 nWb/m), bewertet:	61 dB	58 dB	55 dB	55 dB
6,3 mm Spurbreite linear:	60 dB	58 dB	55 dB	55 dB
Stereo (510 nWb/m), bewertet:	61 dB	58 dB	55 dB	55 dB
2,75 mm Spurbreite linear:	60 dB	58 dB	55 dB	55 dB
Zweispur (320 nWb/m), bewertet:	56 dB	54 dB	52 dB	52 dB
2 mm Spurbreite linear:	56 dB	54 dB	52 dB	52 dB
<b>Geräuschspannungsabstand:</b> Effektivwerte, bewertet, Aufnahme-Wiedergabe nach Bewertungsfilter CCIR 468, Entzerrung nach CCIR	<b>76,2 cm/s</b>	<b>38,1 cm/s</b>	<b>19,05 cm/s</b>	<b>9,5 cm/s</b>
Vollspur, 6,3 mm Spurbreite:	56 dB	53 dB	50 dB	50 dB
Stereo, 2,75 mm Spurbreite:	56 dB	53 dB	50 dB	50 dB
Zweispur, 2 mm Spurbreite:	51 dB	49 dB	47 dB	47 dB
<b>Fremdspannungsabstand:</b> Effektivwerte, linear, Aufnahme-Wiedergabe, Fremdspannung nach NAB-Standard, Entzerrung nach NAB, bezogen auf 6 dB über 185 nWb/m	<b>76,2 cm/s</b>	<b>38,1 cm/s</b>	<b>19,05 cm/s</b>	<b>9,5 cm/s</b>
Vollspur, 6,3 mm Spurbreite:	65 dB	65 dB	65 dB	63 dB
Stereo, 2,75 mm Spurbreite:	62 dB	62 dB	62 dB	60 dB
Zweispur, 2 mm Spurbreite:	61 dB	61 dB	61 dB	59 dB
<b>Fremdspannungsabstand:</b> Effektivwerte, linear, Aufnahme-Wiedergabe, Fremdspannung nach NAB-Standard, Entzerrung nach NAB, gemessen mit High-Output-Band, bezogen auf einen Bandfluss von 1040 nWb/m, Klirrfaktor max. 3% im mittleren Frequenzbereich	<b>76,2 cm/s</b>	<b>38,1 cm/s</b>	<b>19,05 cm/s</b>	<b>9,5 cm/s</b>
Vollspur, 6,3 mm Spurbreite:	74 dB	74 dB	74 dB	71 dB
Stereo, 2,75 mm Spurbreite:	71 dB	71 dB	71 dB	71 dB
Zweispur, 2 mm Spurbreite:	70 dB	70 dB	70 dB	70 dB

<b>Klirrfaktor:</b> Aufnahme-Wiedergabe, 1 kHz				
<b>Entzerrung nach CCIR</b>	<b>76,2 cm/s</b>	<b>38,1 cm/s</b>	<b>19,05 cm/s</b>	<b>9,5 cm/s</b>
Bandfluss 320 nWb/m:	max. 1 %	max. 1 %	max. 1 %	max. 2 %
Bandfluss 510 nWb/m:	max. 2 %	max. 2 %	max. 2 %	max. 3 %
<b>Entzerrung nach NAB</b>				
Bandfluss 185 nWb/m:	max. 1 %	max. 1 %	max. 1 %	max. 1,5 %
<b>Übersprechdämpfung:</b>	min. 40 dB, 80 Hz ... 12 kHz			
Stereo:	45 dB, 1 kHz			
<b>Löschdämpfung:</b> (38,1 cm/s)	min. 75 dB bei 1 kHz			
<b>Löschfrequenz und Vormagnetisierungsfrequenz:</b>	150 kHz, bei allen Bandgeschwindigkeiten			
<b>VU-Meter:</b>	ASA-Standard VU-Meter intern programmierbar für 0, +4, +6 und +8 dBm bei 0VU Spitzenanzeige ▲ (LED), gemäss IEC-Empfehlung			
<b>Stromversorgung:</b> (umschaltbar)	100 V, 120 V, 140 V, 200 V, 220 V, 240 V, ± 10 % 50 oder 60 Hz			
<b>Leistungsaufnahme:</b>	max. 220 VA (Laufwerk und Verstärker)			
<b>Umgebungstemperaturbereich:</b>	+10°C bis +40°C (50°F bis 104°F)			
<b>Luftfeuchtigkeit:</b>	20 % ... 95 %, kein Kondenswasser			
<b>Sicherheits-Standard:</b>	gemäss IEC-Empfehlung, Publikation 65, Schutzklasse I (Netzfilter, schalter, sicherung, transformator und Spannungswähler gemäss Anforderung der Schutz- klasse I und II)			
<b>Gewicht:</b> Normalversion	netto	35 kg		
(Masse)	brutto (Luftfracht)	40 kg (88 lbs)		
<b>Zusätzliche Technische Daten B67-MKII Sync-Versionen</b> (nur 38 - 19 - 9,5 cm/s) ○				
<b>Sync-Ausgänge:</b>	gleiche Spezifikationen wie Leitungsausgänge			
<b>Frequenzgang:</b> (Aufnahme-Sync)	± 2 dB	<b>38,1 cm/s</b> 40 Hz ... 12 kHz	<b>19,05 cm/s</b> 60 Hz ... 8 kHz	
<b>Fremd- und Geräuschspannungsabstand:</b> Effektivwerte, Aufnahme-Sync, 320 nWb/m, Spurbreite 2 mm, nach Bewertungsfilter DIN 45405, 1967, Entzerrung nach CCIR		<b>38,1 cm/s</b>	<b>19,05 cm/s</b>	
bewertet:		56 dB	54 dB	
linear:		52 dB	50 dB	
<b>Geräuschspannungsabstand:</b> Effektivwerte, Aufnahme-Sync, 320 nWb/m, Spurbreite 2 mm, nach Bewertungsfilter CCIR 468, Entzerrung nach CCIR		<b>38,1 cm/s</b>	<b>19,05 cm/s</b>	
bewertet:		51 dB	49 dB	
<b>Fremdspannungsabstand:</b> Effektivwerte, Spurbreite 2 mm, Aufnahme-Sync, Fremdspannung nach NAB-Standard, Entzerrung nach NAB, bezogen auf 6 dB über 185 nWb/m		<b>38,1 cm/s</b>	<b>19,05 cm/s</b>	
linear:		56 dB	56 dB	
<b>Fremd- und Geräuschspannungsabstand:</b> Effektivwerte, 320 nWb/m, Aufnahme-Wieder- gabe, Spurbreite 2 mm, nach Bewertungsfilter DIN 45405, 1967, Entzerrung nach CCIR		<b>38,1 cm/s</b>	<b>19,05 cm/s</b>	
bewertet:		56 dB	54 dB	
linear:		54 dB	52 dB	
<b>Geräuschspannungsabstand:</b> Effektivwerte, Aufnahme-Wiedergabe, 320 nWb/m, Spurbrei- te 2 mm, nach Bewertungsfilter CCIR 468, Entzerrung nach CCIR		<b>38,1 cm/s</b>	<b>19,05 cm/s</b>	
bewertet:		51 dB	49 dB	
<b>Fremdspannungsabstand:</b> Effektivwerte, Spurbreite 2 mm, Aufnahme-Wiedergabe, Fremd- spannung nach NAB-Standard, Entzerrung nach NAB, bezogen auf 6 dB über 185 nWb/m		<b>38,1 cm/s</b>	<b>19,05 cm/s</b>	
linear:		60 dB	58 dB	
<b>Übersprechdämpfung:</b> zwischen Aufnahmekanal und benachbartem Taktpurkanal bei 38,1 cm/s:	min. 15 dB bei 1 kHz min. 3 dB bei 10 kHz			

- Gemessen mit AGFA PER 525 oder äquivalentem Bandtyp
  - Gemessen mit SCOTCH 3M 206 oder äquivalentem Bandtyp
  - ▲ Spitzenanzeige nicht lieferbar für B67 - 0,75 SVU (K)
  - Keine Sync-Möglichkeit bei 9,5 cm/s (3 3/4 ips)
- Änderungen, die dem technischen Fortschritt dienen, bleiben vorbehalten.

Abbildung 66: Ausschnitt des B67 Service Manuals, Technische Daten

## 9.2 Universal Audio DSP Plugins – Studer A800

Die Firma Universal Audio ist einer der Hersteller, die sich die authentische Emulation analoger Geräte verschrieben hat. Die Firmentradition reicht jedoch deutlich weiter zurück.

Gegründet 1958 von Bill Putnam, einem Innovator der Studio- und Recordingtechnik, wurden zunächst legendäre Kompressoren, Equalizer und Channel Strips gebaut. Auch Geräte wie z.B. der Teletronix LA2 / LA2-A, der Urei 1176 und weitere wurden von Putnam entwickelt und noch heute von Universal Audio vertrieben. Putnam war also nicht nur ein gefragter Produzent und Musikkritiker, sondern auch ein talentierter Entwickler von Studioelektronik und Lautsprechern.<sup>92</sup>

Ebenso wird gesagt, dass Putnam der Erfinder des „modernen Mischpults, der Multiband-Audioequalizer und der Gesangskabine ist“.<sup>93</sup>

1999 wurde die Firma durch Putnams Nachkommen neu gegründet und dabei mit Blick auf die digitale Recordingtechnik neu ausgerichtet, während auch weiterhin klassische Analoggeräte gefertigt werden. Mit ihrer UAD-DSP Plattform war die Firma ein früherer Mitstreiter im Bereich Plugins und Analog-Modeling.

Neben anderen Herstellern von Plugins und Audiosoftware wie z.B. Waves und u-He bietet auch Universal Audio digitale Emulationen von Bandmaschinen an:

- Ampex ATR-102 Mastering Tape Recorder Plugin
- Oxide Tape Recorder Plugin
- Studer A800 Multichannel Tape Recorder Plugin

Wie der Name bereits sagt, ist das Modell der Studer A800 - getreu dem Original - die Emulation einer hochentwickelten Mehrspurmaschine, die im Zeitraum 1977 bis 1988 in unterschiedlichen Revisionen gefertigt wurde. Sie war als eine Mehrkanalmaschine gedacht, mit Eigenschaften, die für die Recordingindustrie gemacht wurden. Diese Maschine war und ist in Studios zu finden, die hochwertige Mehrspuraufnahme anfertigen wollten mit einer Maschine, die den mechanisch anspruchsvollen Dauerbetrieb mit schweren 2-Zoll Bandspulen mühelos bewerkstelligt und gleichzei-

---

92 AES - An Afternoon with Bill Putnam, 1989, PDF

93 Universal Audio Company History, PDF

tig erweiterte Möglichkeiten bietet, wie beispielsweise eine Timecodesynchronisierung zu anderen Geräten.

Universal Audio selbst gibt an, das Plugin zusammen mit Experten der Industrie entwickelt zu haben, wie z.B. dem bereits genannten Magnetbandexperten der AES, Jay McKnight, zudem ist es von der Firma Studer offiziell authentifiziert.<sup>94</sup>

Das UAD Plug-Ins Manual nennt zudem einige Details über Eigenschaften und Funktionen, die modelliert wurden, allerdings werden kaum technische Daten genannt, ebenso wird nicht auf die digitalen Pegelverhältnisse eingegangen. Allerdings ist an dieser Stelle bekannt, dass sich Universal Audio an die NAB-Gegebenheiten halten, sodass davon auszugehen ist, dass gilt: +4dBu = 0dB VU und damit -18dBFS.

Das Studer Plugin bietet ebenfalls Entzerrungen nach NAB und CCIR, es gilt herauszufinden, ob sich die Pegelverhältnisse ändern im Vergleich zur NAB-Einstellung.

Zudem bietet das Plugin folgende Eigenschaften (zusammengefasst aus dem Manual):

- Drei Bandgeschwindigkeiten (7.5 / 15 / 30 IPS)
- +3, +6, +7,5, +9dB Calibration Levels (250nWb/m = +3dB)
- Auswahl von vier verschiedenen, populären Bandmaterialien inklusive deren Eigenschaften was Verzerrungen und Sättigung angeht
- Modellierung der Aufnahme- und Wiedergabeverstärker
- NAB / CCIR / AES EQ-Kurven (letztere nur bei 30IPS)
- Modellierung der HF-Vormagnetisierung, Amplitude einstellbar im Plugin
- Modellierung von Rauschverhalten der Verstärker und des Bands, in Intensität einstellbar
- Modellierung des Head-Bumps bei verschiedenen Bandgeschwindigkeiten

Es sind also genug Daten vorliegend, um einen Vergleich zwischen der Emulation und einer echten Bandmaschine vorzunehmen. Durch die vergleichbaren Eigenschaften und Funktionen der beiden Systeme (Studer B67 und UAD Studer A800) können Vergleiche über die verschiedenen zu testenden Parameter vorgenommen

werden. Mehr Gedanken und Details sollen dazu in den folgenden Kapiteln dargelegt werden.

## **10. Gedanken zur Vergleichbarkeit: Studer B67 und Studer A800**

Ein zentrales Problem der vorliegenden Arbeit ist es nun, inwiefern überhaupt eine kompakte Studer B67 mit einer Studer A800 vergleichbar ist (oder wäre, wenn beide genannten Maschinen in realer, analoger Form vorhanden wären), da es sich letztlich doch um völlig unterschiedliche Bandmaschinenkonzepte handelt, ein Problem des Vergleichs, der nicht aus der Welt zu schaffen ist. Alleine die jeweiligen Gewichtsangaben sprechen für sich, es handelt sich um zwei völlig unterschiedliche Maschinen (40Kg gegen 400Kg Gewicht, 2-Spur gegen 24-Spur Konfiguration).

Hierzu jedoch zwei Gedanken des Autors:

- Die Firma Studer ist dafür bekannt, hochwertige Elektronikschaltungen in allen Geräten verwendet zu haben, sodass sich elektroakustische Eigenschaften der verschiedenen Geräte aus den jeweils gleichen Produktionszeiträumen sehr ähnlich sind. Auch die Tonköpfe wurden alle von der Firma Studer selbst hergestellt und unterscheiden sich zwar in der Spurzahl, nicht jedoch in der Qualität. Auch die relevanten Geometrien und Daten sind identisch, namentlich Spaltbreiten, Kopfmaterialien. Auch wenn beispielsweise unterschiedliche Induktivitäten vorliegen sollten, was der Fall wäre, entscheidend ist letztlich das Zusammenspiel aus Tonkopf und Aufnahme-/Wiedergabeverstärker.
- Es sollen nicht zwei Maschinen oder ein Plugin und eine Maschine hinsichtlich absoluter Messwerte verglichen werden, sondern relativ betrachtet. Es geht in der vorliegenden Arbeit nicht um kleinere Abweichungen im Frequenzgang oder im Verzerrungsverhalten, es geht darum herauszuarbeiten, welche Parameter und Eigenschaften seitens eines DSP-Plugins emuliert wurden, welche gegebenenfalls vernachlässigt wurden, welche Funktionsumfänge bestehen und inwiefern ein DSP-Plugin den Einsatz einer 2-Spur Bandmaschine ersetzen oder erweitern kann. Deshalb scheint der Vergleich einer Studer B67 und einem UAD Studer A800 Plugin trotz der genannten Unterschiede gerechtfertigt.

## 11. Analog Modeling

An dieser Stelle soll eine kurze und knappe Vorstellung des Themas „Analog Modeling“ gegeben werden. Oft auch „Digital Modeling“ genannt, ist hier die selbe Sache gemeint, nämlich das digitale Nachbilden analoger Schaltungen, Bauteile und dem nichtlinearen Signalverhalten analoger Geräte. Die Technik ist nicht unbedingt neu, jedoch konnte in den letzten Jahren immens an Genauigkeit und demnach an Klangqualität gewonnen werden, hauptsächlich deshalb, weil moderne Computer deutlich mehr Rechenleistung aufweisen, was sich auch in der Echtzeitanwendung bemerkbar macht.<sup>95</sup>

Audiobearbeitung bedeutet oftmals Echtzeitbearbeitung, weshalb dies ein sehr wichtiger Faktor ist. Analog Modelling kam in den 1980er Jahren mit den ersten digitalen, oder auch „virtuell analogen“ Synthesizern auf, die mittels DSP und mathematischen Algorithmen das Klangspektrum und die Funktionen analoger Synthesizer emulierten, wobei das von außen oft nicht erkennbar war. Im Falle eines Synthesizers mit grundlegenden Funktionen könnte diese Technik noch als relativ einfach bezeichnet werden, die mathematische Erzeugung von Schwingungen wie Sägezahn- und Pulswellen ist gut machbar, ebenso Lautstärkeverläufe und einfachere Filterfunktionen. Unter klassischen und beliebten Geräten dieser Gattung gab es auch diverse Hybridansätze: digitale Oszillatoren kombiniert mit analogen, aber teils ebenfalls digital kontrollierten Filtern. Ein Beispiel hierfür wäre der beliebte Synthesizer Roland Juno-106.<sup>96</sup>

Das Modelling eines analogen Kompressors oder gar einer Bandmaschine ist hingegen um einiges komplexer. Ein Audiokompressor kann leicht in Form eines DSP-Algorithmus entstehen, allerdings wäre er dann rein mathematisch und exakt, ohne einen eigenen Klangcharakter. Die Erfassung der Nichtlinearitäten, Verzerrungen, des je nach Schaltung unterschiedlichen Verhaltens betreffend des Eingangssignals, dies sind die Herausforderungen beim Modeling von analogen Geräten, wenn ein gewisser Realismus gefragt ist. Frühe DSP und native Plugins hatten einen Ansatz, sodass das Ausgangssignal in einem gewissen Bereich einem analogen Vorbild entspricht, ohne jedoch genauer auf die Entstehung von Eigenheiten im Ausgang einzu-

---

95 How Waves' Modeling Captures Analog Magic in a Digital World, Waves, PDF

96 Blue Box Roland Juno-106 Analogsynthesizer – Amazona, PDF

gehen, man könnte diesen Ansatz als eine grobe Näherung beschreiben. Dies war aufgrund der knappen Rechenleistung unumgänglich.

Heute versuchen Entwickler, die komplette elektronische Schaltung eines Analoggeräts zu modellieren, also die gesamte Schaltung digital nachzubilden, wobei sämtliche Eigenschaften, Nichtlinearitäten im Bereich der Einzelbauteile so genau wie möglich erfasst werden müssen, damit ein authentisches Verhalten eines Plugins gewährleistet sein kann.<sup>97</sup>

Ein gutes Beispiel dafür wäre die ebenfalls von Universal Audio in mittlerweile zwei Varianten vorliegende Emulation des Urei 1176 Kompressors. Die Legacy-Variante, die schon seit fast 20 Jahren auf dem Markt ist, klingt erstaunlich gut, man kann aber nicht von einem vollständig akkuraten Verhalten gegenüber der originalen Hardware sprechen. Seit einiger Zeit existiert auch die 1176-Collection, die verschiedene Revisionen des 1176 originalgetreu emuliert, was vor allem bei extremen Reglerstellungen (z.B. der bekannte „All Button In Mode“) sehr gut funktioniert, allerdings auf Kosten viel höherer DSP Nutzung, was in der Praxis sofort auffällt, da eine Stereoinstanz des „neuen“ 1176 das 10-fache an DSP Ressourcen benötigt. Dies geht auch aus dem UAD-2 Instanz Chart hervor, eine Übersicht die zeigt, wieviele Instanzen eines bestimmten Plugins von einer UAD-2 Plattform bewältigt werden können.<sup>98</sup> Allgemein zu erkennen in dieser Übersicht ist die Tatsache, dass neuere Plugins sehr viel DSP-Last erzeugen, vor allem verglichen mit den Plugins, die bereits auf der UAD-1 Plattform existierten, welche eine sehr viel geringere Rechenleistung mit sich brachte. Allgemein zu sagen ist, dass auch die UAD-2 Plattform bereits in die Jahre gekommen ist und mit ihren 400MHz SHARC DSP Prozessoren nicht mehr das technisch machbare darstellt, die Geräte werden trotzdem noch lange genutzt werden, da sie als zusätzliche DSP-Ressource für den Computer dienen und gleichzeitig als Dongle für Plugin-Lizenzen dienen.

---

97 How Waves' Modeling Captures Analog Magic in a Digital World, Waves, PDF

98 UAD-2 DSP Chart – Universal Audio Support, PDF

## 12. Testparameter und Setup

Zum Vergleich herangezogen werden allgemeine Eigenschaften, die prinzipiell jedes analoge Aufnahmegerät inne hält, welches auf die zuvor beschriebene Art und Weise mit Magnetbändern arbeitet. Explizit ausgenommen sind hierbei also digitale Bandmaschinen, DAT-Rekorder oder ähnliche. Es geht also um Parameter und Eigenschaften, die das aufgenommene und das wiedergegebene Signal betreffen, namentlich bei Bandmaschinen, Tapedecks, weiteren magnetbandbasierten Aufnahmesystemen wie zum Beispiel den integrierten Rekordern in manchen Mixing-Consolen (z.B. Akai, Teac), oder den genannten Portastudios. Im vorhergehenden Kapitel kam die Frage nach der Vergleichbarkeit zweier Geräte unterschiedlicher Klassen auf (Stereobandmaschine gegenüber 24-Kanal Multitrackgerät), welche zweifelsfrei nur bedingt gegeben ist, trotzdem werden in der vorliegenden Arbeit eben diese Eigenschaften verglichen und besprochen, welche jedes Bandgerät mit sich bringt. Diese wären:

- Frequenzgang über Band allgemein
- Kalibrierungsmöglichkeiten, Einfluss von BIAS, Aufnahme- und Wiedergabeverstärker
- Vergleich Grundrauschen, Bandrauschen, Spektrum
- Vergleich von Verzerrungen in Abhängigkeit vom Pegel, Verzerrungsprofil
- Bandsättigung im HF-Bereich
- Pegelschwankungen über Band
- Vergleich Azimutverhalten und Gleichlauf
- Intermodulationsverzerrungen, Rechteckübertragungsverhalten

Sehr spannend war die Frage, ob all diese Eigenschaften in einer digitalen Nachbildung (Plugin) emuliert werden, oder ob gewisse Dinge anders sind (oder nicht mit emuliert wurden), als bei einer echten Analogbandmaschine.

Das Testsetup bestand aus möglichst wenigen Komponenten, alle Eigenschaften wurden digital gemessen um eine möglichst gute Darstellbarkeit der Ergebnisse vorweisen zu können, sowie die Fehleranfälligkeit zu verringern. Das Azimut- / Phasenverhalten wurde zudem auch mit einem analogen Oszilloskop gemessen, da hier die Darstellung immer noch am ehesten aufschlussreich ist, alle dem Autor vorliegenden Softwareoszilloskope sind deutlich träger und weniger präzise einstellbar, das Phasenverhalten wurde jedoch trotzdem auch digital erfasst. Videos der analogen Phasenmessung liegen der Arbeit jedoch bei.

## 12.1 Testsetup Hardware

- Apple Mac Pro
- Toshiba Portege Notebook
- Universal Audio Apollo DUO Silverface Firewire 800
- Studer B67
- Symmetrische Kabel (Cordial) für Messungen an Studer
- Symmetrische Kabel für digitales Loopback (Cordial)
- Emtec Studiomaster 468 1/4“ Band
- Oszilloskop Iwatsu SS-5702

## 12.2 Testsetup Software

- UAD Console
- UAD Studer A800 Plugin
- Room EQ Wizard
- SMAART
- SignalScopeX
- WFGUI
- Ableton Live 10

### 12.3 Beschreibung Messaufbau

Als zentrale Teststation für die meisten Messungen der Eigenschaften und Parameter kam das digitale Audiointerface "Apollo 8" von Universal Audio zum Einsatz, betrieben via Firewire an einem Apple Mac Pro Tower in Kombination mit verschiedenen Messprogrammen. Es bietet jeweils 8 analoge Ein- und Ausgänge via 1/4" TRS-Buchsen und ist damit für alle Messungen geeignet. Die Bandmaschine Studer B67 wurde an jeweils zwei In- und Outputs angebunden, sodass die Maschine von der Universal Audio Console App aus angesteuert und mit Signalen beschickt werden kann, ähnlich wie an einer analogen Konsole. Die Studer B67 wurde an die analogen Ein- und Ausgangspaare 5/6 angebunden, die Kanäle 7/8 dienten für die Messungen der Plugininversion der A800. Hierbei wurde das Plugin direkt in der Console-App in den virtuellen Eingang des Betriebssystems inseriert, die Messungen erfolgten dann über zwei symmetrische TRS-Kabel an den Eingängen 7/8. Somit konnte das Routing sämtlicher Testsignale durch das Tape-Plugin erfolgen, eine Messung mit relativ betrachtet gleichen Pegeln funktionierte problemlos. Die Kalibrierung beider Geräte entsprach dem +3dB Level, also 0VU entspricht  $-18\text{dBFS} = 250\text{nWb/m}$ .

Diese Pegelverhältnisse entsprechen zwar nicht exakt der CCIR Vorgabe, jedoch ändern sich die internen Pegelverhältnisse des UAD Studer Plugins bei EQ-Stellung CCIR nicht, sodass die analoge B67 zur besseren Vergleichbarkeit entsprechend dem Plugin eingestellt wurde, also CCIR EQ mit NAB Pegelverhältnissen:

- $+4\text{dBu} = 0\text{VU} = -18\text{dBFS} = 250\text{nWb/m}$
- $+10\text{dBu} = +6\text{VU} = -12\text{dBFS} = 500\text{nWb/m}$
- $+13\text{dBu} = +9\text{VU} = -9\text{dBFS} = 705\text{nWb/m}$

Zusätzlich zu den digitalen Messungen wurden analoge Messungen der Azimutverhältnisse mittels klassischem Elektronenstrahloszilloskop getätigt. Diese Aufnahmen liegen im Videoformat vor und befinden sich auf dem beiliegenden Datenträger.

Für die Messungen an der analogen Bandmaschine wurde eine neue Spule des Bandtyps EMTEC Studio Master 468 verwendet, ein Bandtyp, der im UAD Studer Plugin leider nicht zur Verfügung steht. Es liegt von seinen Eigenschaften jedoch zwischen den dort emulierten Typen Scotch 250 und Ampex 456, diese wurden also

zu Vergleichsmessungen herangezogen. An dieser Stelle soll nochmal gesagt sein, es geht nicht um eine exakte, sondern eine relative Vergleichbarkeit.

## 12.4 Testparameter

Getestet wurden folgende Eigenschaften der Hardware und der digitalen Nachbildung, sowie der digitalen Teststation:

- D/A zu A/D Loopback, Frequenzgang, Verzerrungen und Rauschen des Testsystems
- Einmessung, BIAS, Record- und Repro-EQ Studer B67
- Vergleich der EQ-Punkte zwischen analoger Hardware und Plugin
- Vergleich der Frequenzgänge
- Vergleich Bandrauschen, Rauschspektrum der Geräte im Stop-Betrieb (Geräuschspannungsabstand)
- Vergleich Pegelschwankungen „über Band“
- Messung und Erfassung von Verzerrungscharakteristika und -komponenten „über Band“
- Vergleich der Höhengättigung
- Vergleich Azumutswankungen
- Vergleich Gleichlaufschwankungen nach DIN
- Vergleich der Intermodulationsverzerrungen nach DIN
- Rechteckübertragungsverhalten

Um die typischen Eigenheiten einer analogen Bandmaschine deutlicher und früher hervorzubringen, wurden alle Messungen bei 19,05cm/s und CCIR-EQ durchgeführt. Auf digitaler Seite wurden alle Messungen mit 24Bit/48000Hz erstellt. Auch das Studer UAD Plugin lief mit 19,05cm/s und CCIR-Entzerrung. Wie bereits erklärt, läuft selbst modernes Bandmaterial bei 19,05cm/s deutlich früher in eine HF-Sättigung, die sich im gemessenen Frequenzgang bemerkbar macht. Auch Azimut- und Gleichlaufschwankungen sind bei der langsameren Bandgeschwindigkeit höher im Gewicht, sodass gezielt die weniger optimalen Bedingungen gewählt wurden.

Einige Messungen wurden seitens des UAD Studer Plugins mit zwei Bandsorten verglichen, namentlich Scotch 250 und Ampex 456, beide seinerzeit populäre Bändmaterialien in den USA, in Europa waren diese aufgrund ihrer schlechten Wickeleigenschaften weniger beliebt, hier wurde eher auf BASF / AGFA, später Emtec gesetzt. Trotzdem entsteht hierbei ein guter Vergleich, da das für diesen Test eingesetzte Bandmaterial EMTEC Studio Master 468 ebenfalls ein hoch aussteuerbares Studioband ist, dessen Eigenschaften bis heute sehr stabil sind. Kleinere Abweichungen im Bezug auf Vormagnetisieren und Aufnahme-EQ sind für diesen Test zu vernachlässigen.

### 13. Messergebnisse

#### 13.1 Loopback Universal Audio Apollo

##### 13.1.1 Frequenzgang



Abbildung 67: Frequenzgang Loopback -18dBFS



Abbildung 68: Frequenzgang Loopback -12dBFS

Frequenzgang der Loopbackschleife am Interface Apollo 8, Ausgangskanal 7 in Input 7 via symmetrischem TRS-Kabel von Cordial. Wie an dieser Stelle zu erwarten, keine Auffälligkeiten. Man sieht trotz Messung mit 48kHz den Einsatz eines Anti-Aliasing Tiefpassfilters, inklusive leichtem Ripple in der Phase. Gemessen wurde bei -18dBFS und -12dBFS, also dem angedachten Reference- und Operatinglevel.

Zur Erinnerung:

- -18dBFS entsprechen +4dBu
- -12dBFS entsprechen +10dBu

### 13.1.2 THD und Noise

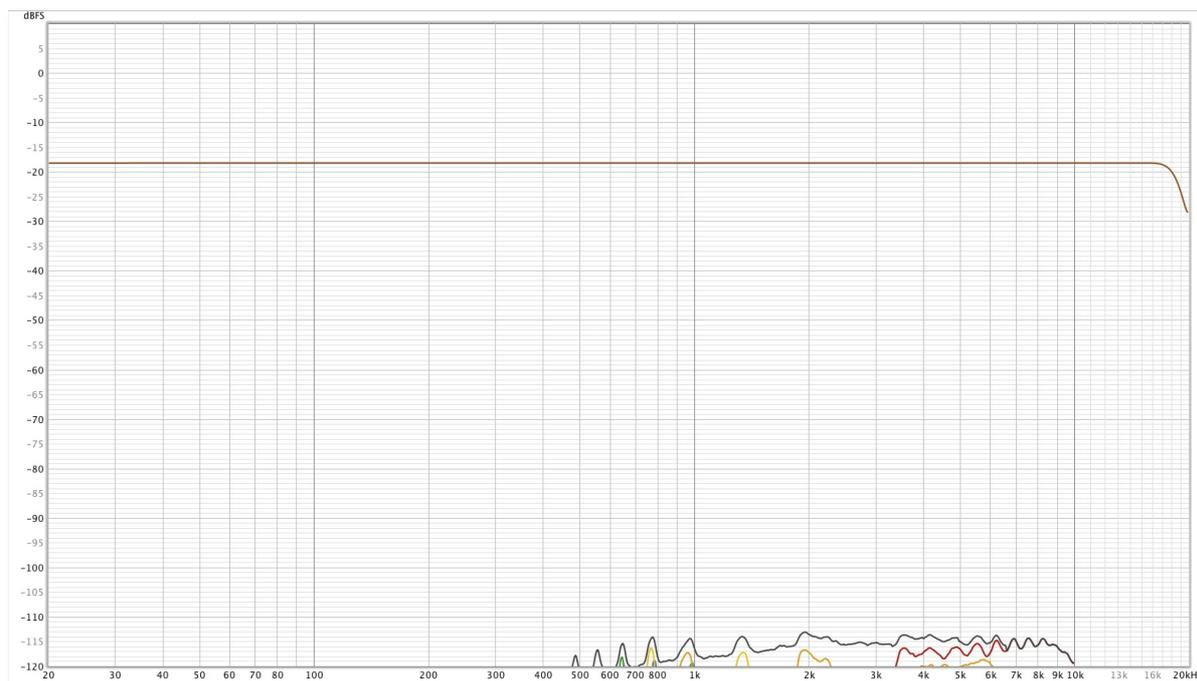


Abbildung 69: UA Apollo Harmonic Distortion -18dBFS

Abbildung 69 zeigt die gemessenen Verzerrungen des Testsetups im Loopback bei -18dBFS. Schwarz = THD (Gesamtverzerrungen), Rot = 2nd Harmonic, Orange = 3rd Harmonic, Gelb = 4th Harmonic, Grün = 5th Harmonic. Messbare Verzerrungen des Systems liegen im vernachlässigbaren Bereich von 0,0015% mit leichten Unstetigkeit zwischen 500Hz und 10kHz. Diese könnten auf einen Mikrofonieeffekt des Kabels zwischen vielen anderen Leitungen zurückzuführen sein, wobei diese These zu überprüfen wäre.

Die nächste Abbildung 70 zeigt eine weitere Messung der Verzerrungen bei -12dBFS, gemessene Klirrkomponten steigen entsprechend dem höheren Pegel mit an, bleiben relativ betrachtet jedoch gleich. Ein Systemrauschen ist kaum messbar.

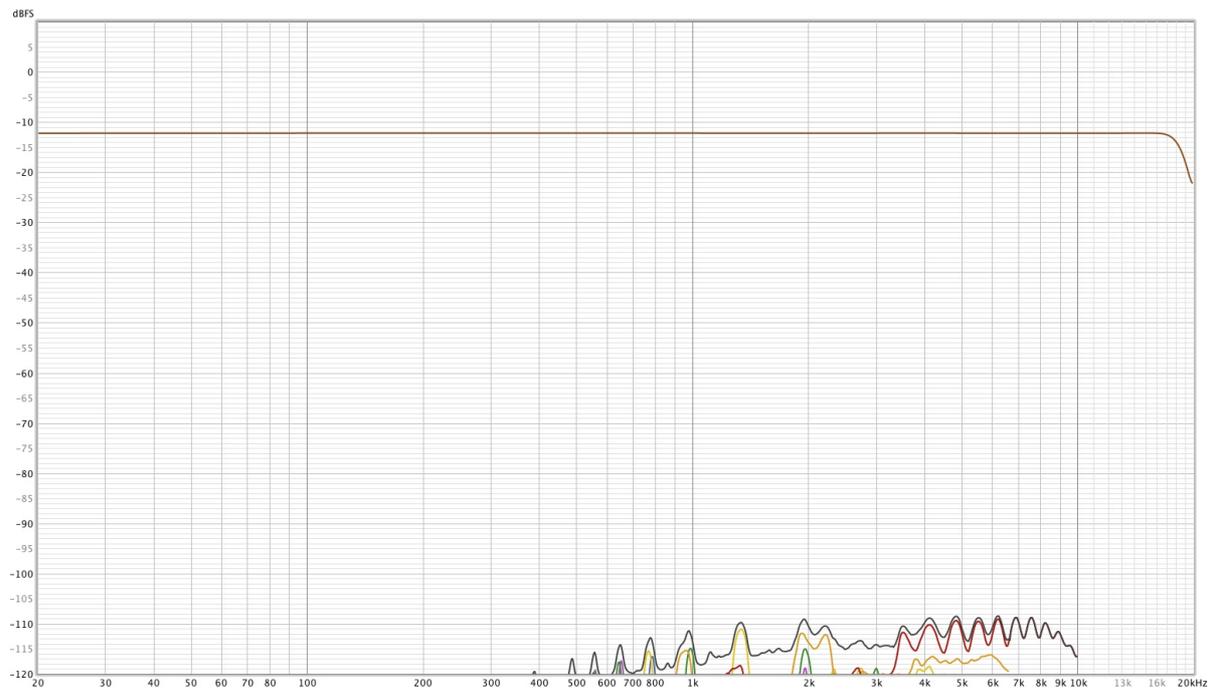


Abbildung 70: UA Apollo Harmonic Distortion -12dBFS

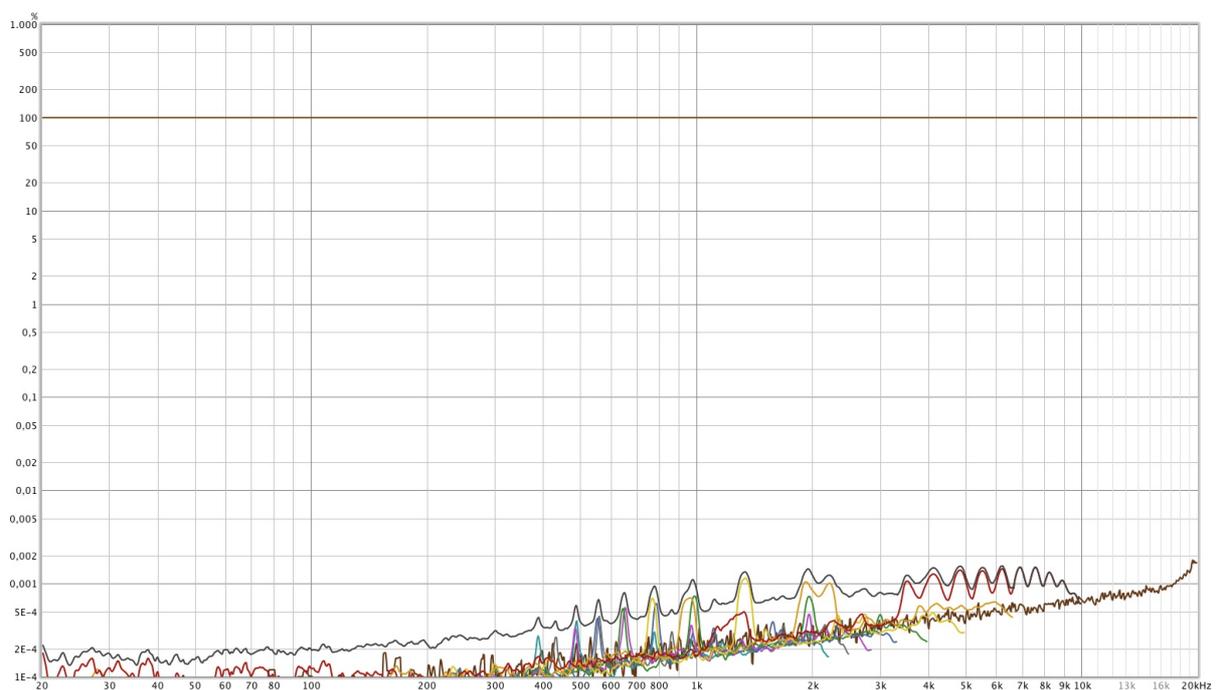


Abbildung 71: UA Apollo THD+N relativ dBFS

Messung THD + Noise relativ zu -12dB SPL, einzelne harmonische Signalkomponenten erreichen ein Level von 0,0015%, Noise und andere Komponenten liegen im Schnitt bei weniger als -100dB relativ zu dBFS. Für die Messvorhaben der vorliegenden Arbeit wird dies als ausreichend betrachtet.

## 13.2 Messungen Studer B67

### 13.2.1 Wiedergabe ab Bezugsband

Frequenzgang im Wiedergabezweig ab Bezugsband DIN 19S (hergestellt von Peter Ruhrberg), Abbildung zeigt die Einzelfrequenzen über Pegel und Zeit, der Frequenzschrieb auf der X-Achse ist zu ignorieren. Es zeigt sich, dass sich der Wiedergabefrequenzgang in einem Fenster von  $\pm 1$  dB befindet nach Einmessung. Ebenfalls erkennbar die mit steigender Frequenz zunehmenden Pegelschwankungen im Signal, welche sich durch unruhigere Pegelschriebe darstellen (10kHz und mehr).

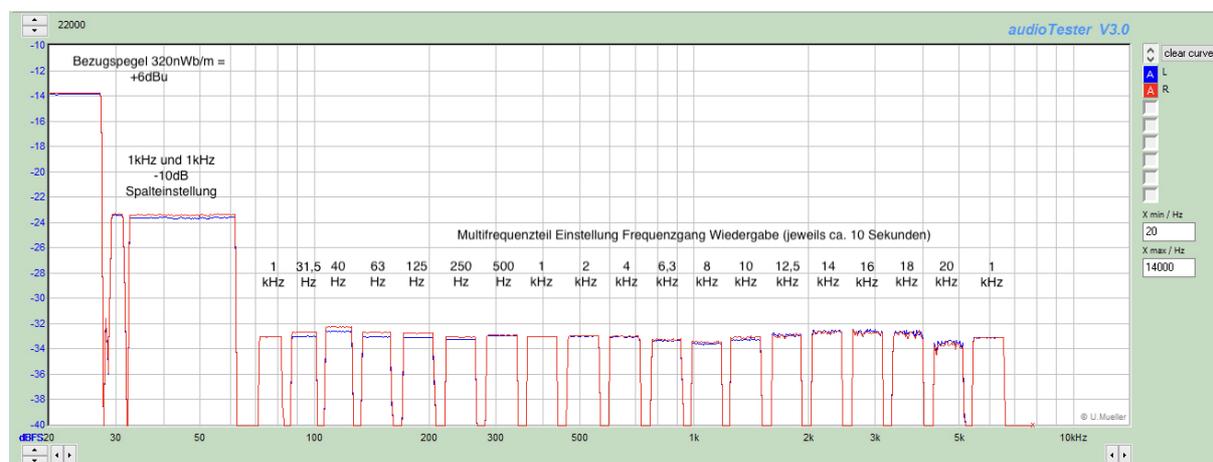


Abbildung 72: Frequenzgang Wiedergabe detailliert

### 13.2.2 Azimutverhalten ab Bezugsband

Abbildung 73 zeigt die maximale Abweichung der Spurlage bei Wiedergabe des Teils „Spalteinstellung“ des Bezugsbands 19S, dies entspricht dann in der Regel auch der später in der Praxis zu erwartenden Konstanz des Azimutverhaltens der Maschine. Bei diesem 10kHz Referenzton liegt bei vorliegender Messung eine maximale Abweichung von  $43\mu\text{s}$  zwischen dem linken und dem rechten Kanal, allerdings konstant hin- und her oszillierend, was typisch für Bandgeräte ist. Diese gemessene Abweichung ist sehr gering, was sowohl für einen guten Zustand der Maschine, wie auch eine hohe Qualität des Referenzbandes spricht. Allerdings ist diese Messung schwierig mit nur einer Abbildung zu demonstrieren, weshalb der Arbeit eine Video-

aufzeichnung einer analogen Messung beiliegt, in dem die typische Phasenoszillation anhand einer Lissajous-Figur erkennbar ist.

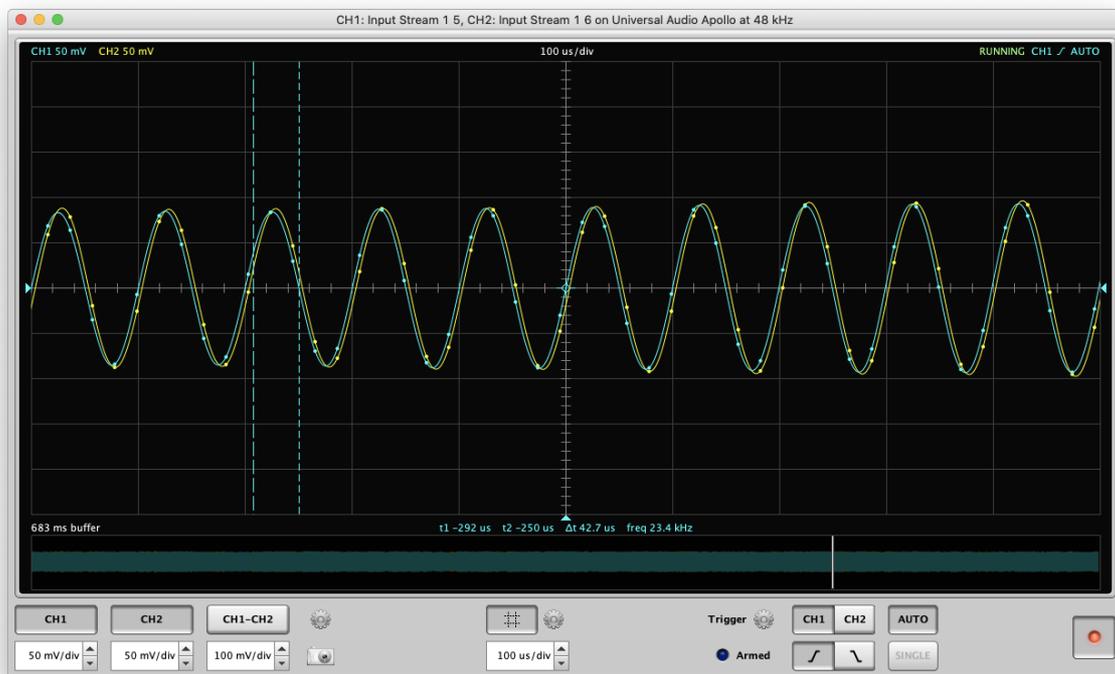


Abbildung 73: Studer B67 maximale Azimutabweichung

### 13.2.3 Interne Kalibrierung, Einfluss von Bias und Record-EQ

Einmessung Aufnahme mit Emtec Studio Master 468:

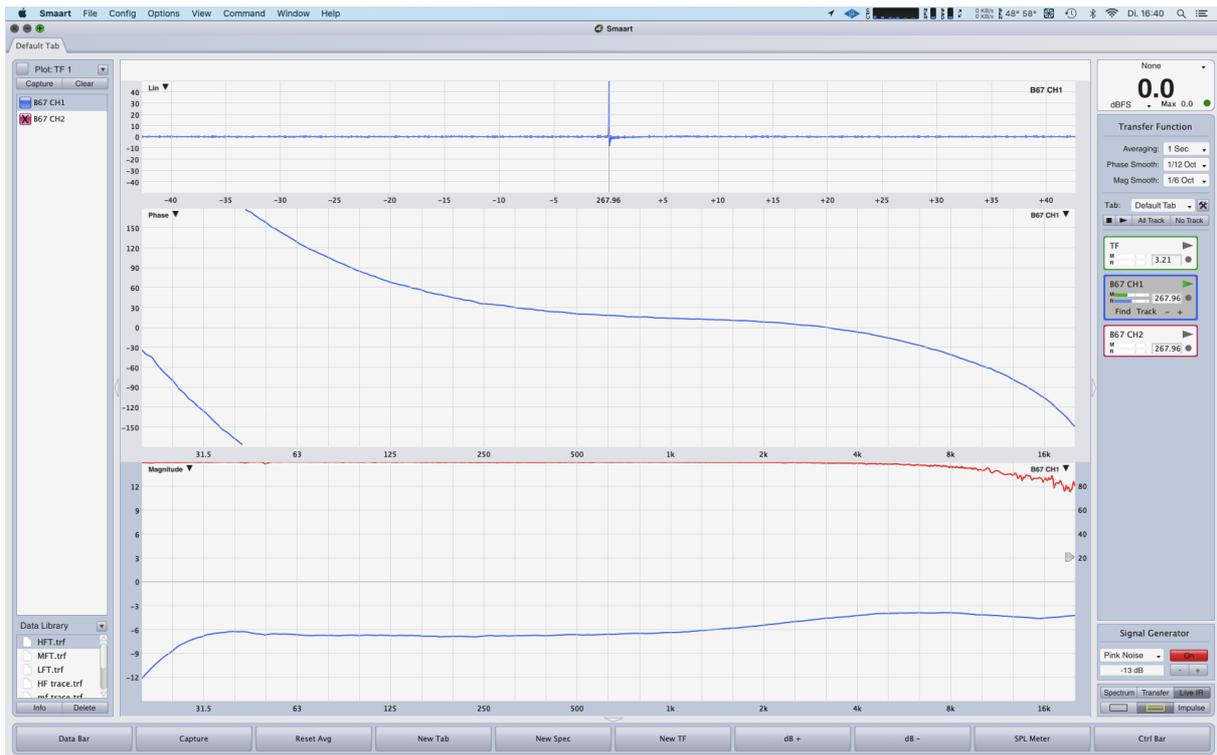


Abbildung 74: B67 BIAS lowest

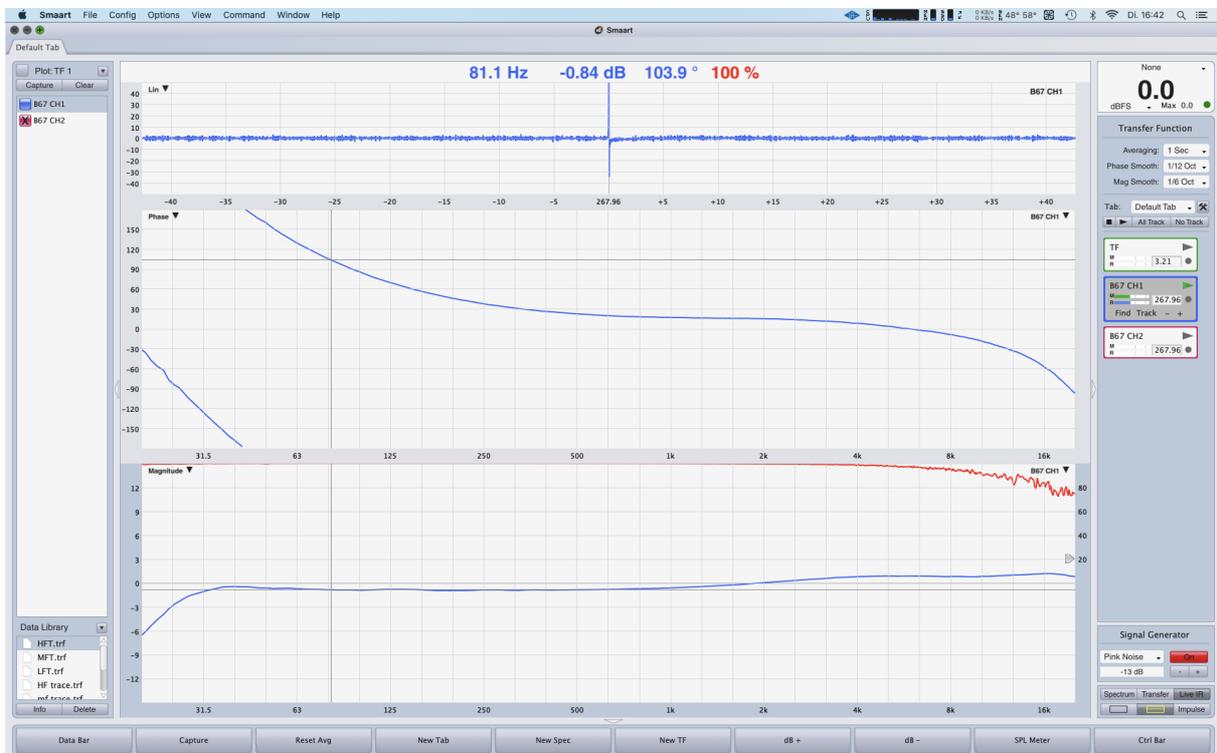


Abbildung 75: B67 BIAS peak

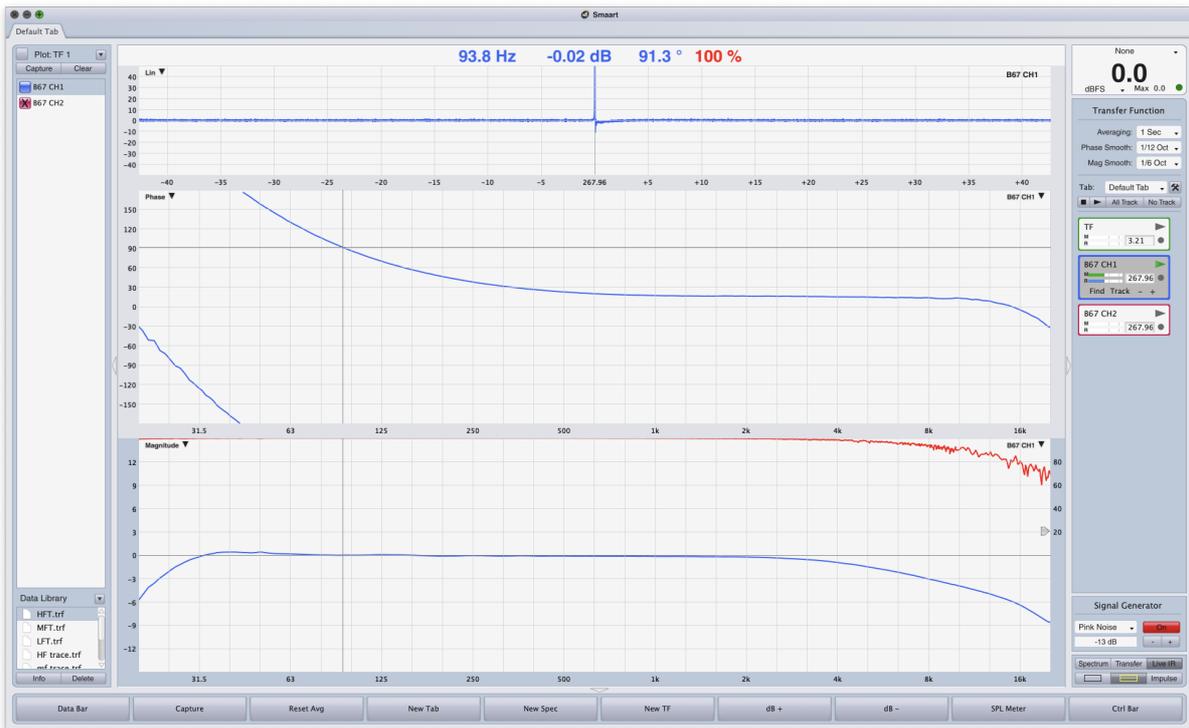


Abbildung 76: B67 BIAS drop 5dB bei 10kHz

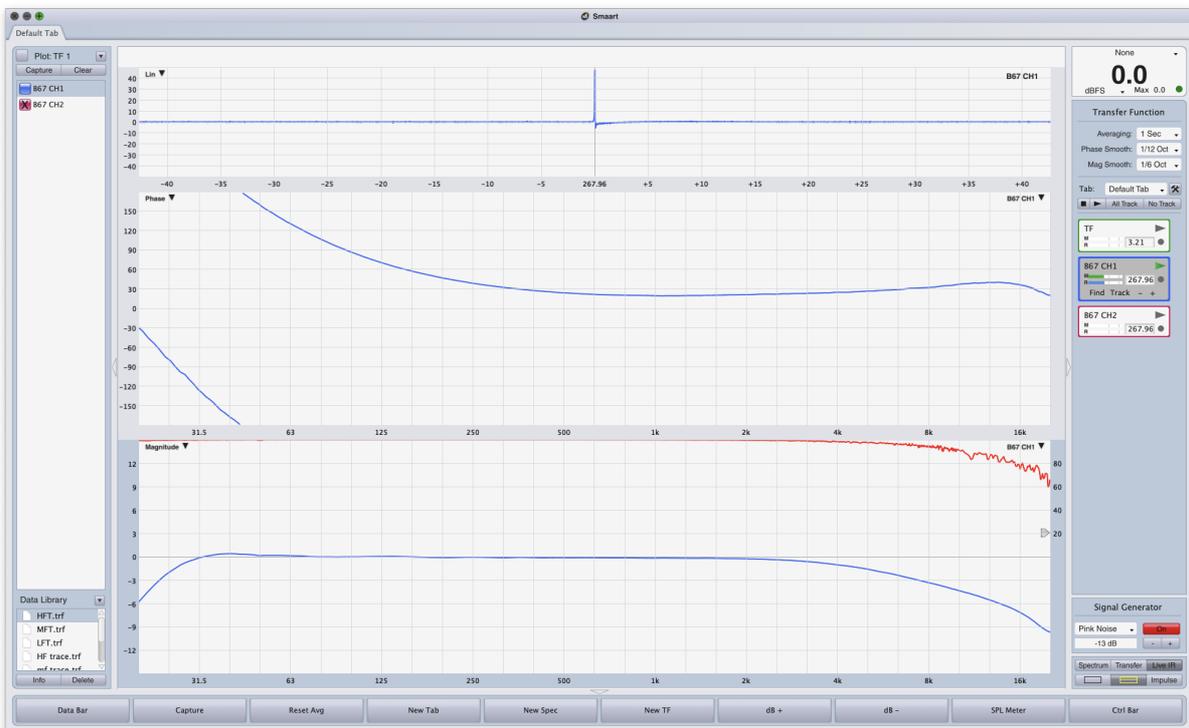


Abbildung 77: B67 Record Treble minimum

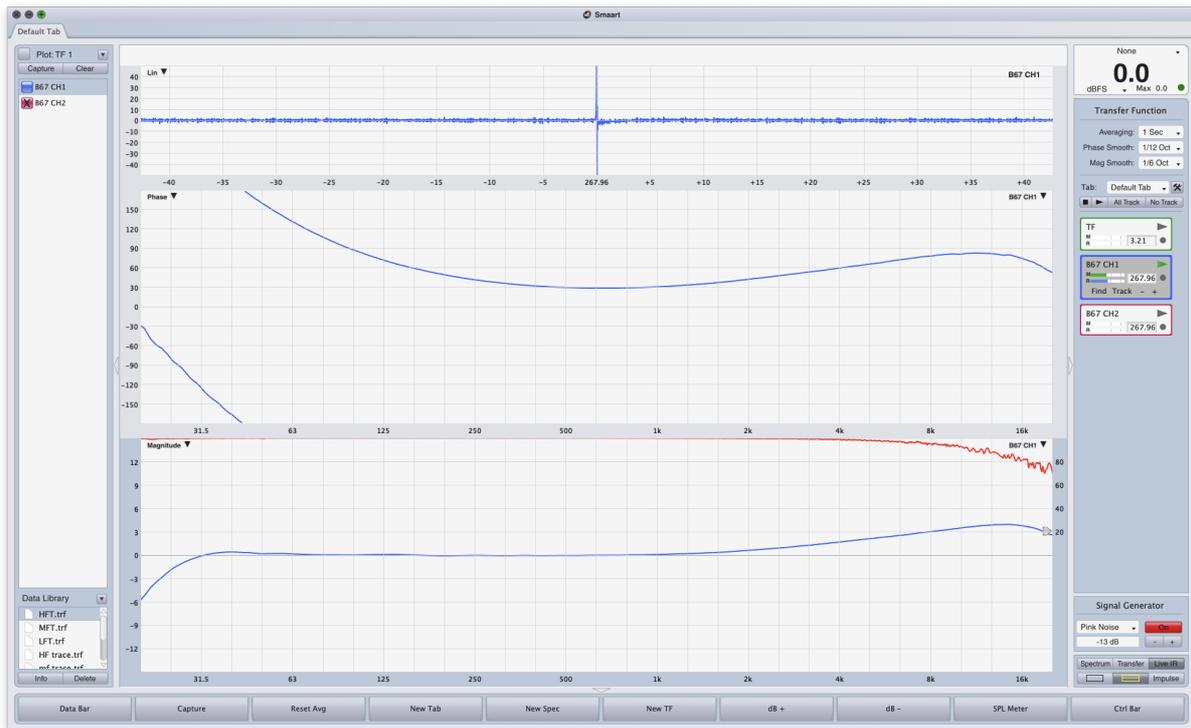


Abbildung 78: B67 Record Treble maximum

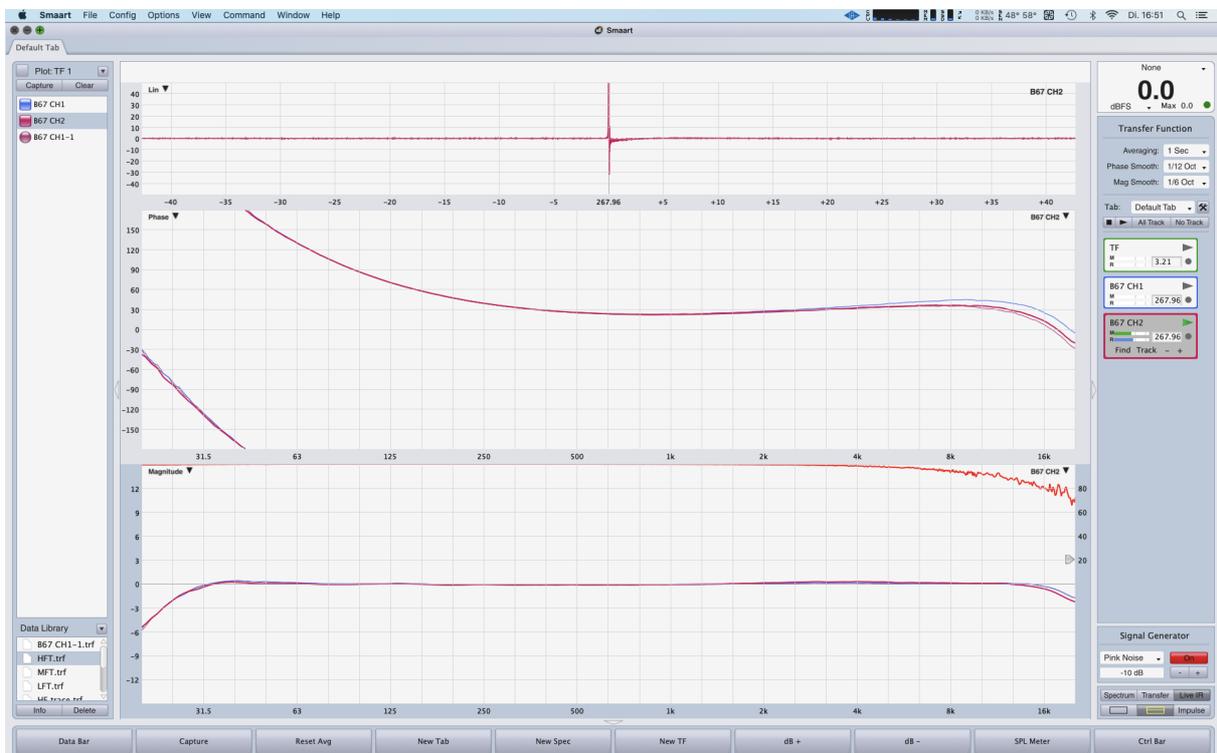


Abbildung 79: B67 beide Kanäle optimal eingestellt

Abbildung 79 zeigt beide Kanäle mit optimalem Bias und Record-EQ. Der Frequenzgang ist sehr glatt und weist über weite Strecken kaum Abweichungen vom 0dB Sollwert ab, die Maschine übertrifft ihre Werksangaben deutlich. Es zeigt sich ein 12dB/Oktave Hochpassverhalten bei ungefähr 18Hz (-3dB), die Phase bestätigt das, es findet eine 180 Grad Rotation statt (Filterfunktion 2. Ordnung). Im Hochtonbereich ist ein leichter Abfall zu sehen, welcher jedoch auch in der Loopbackmessung erkennbar war, verursacht durch das Anti-Aliasing-Filter. Ebenfalls zu beachten ist die rote Linie im Magnitude-Fenster, welche eine Korrelation zwischen den beiden Signalen „Testsystem“ (in diesem Falle Studer B67) und dem parallel geführten Referenzsignal beschreibt. Sie zeigt, dass ab circa 3kHz die Azimutstabilität nachlässt und das Signal im Phasenbetrag immer weiter abweicht. Diese Messungen mittels SMAART wurden mit Rosa Rauschen und in Echtzeit durchgeführt, was sehr geschickt für die optische Kontrolle diverser Einstellungsparameter ist. Zudem ist Rosa Rauschen durch seine Energieverteilungscharakteristik als 1/f-Rauschen effektiven Musiksinalen ähnlich und steuert demnach das Band bei Bezugspegel nicht bis in die HF-Sättigung aus.

#### **13.2.4 Studer B67 Sinus-Sweep Messungen ohne Glättung**

Folgende Messungen wurden mit korrekt eingestelltem Gerät und der Software REW durchgeführt, mit Sinus-Sweeps als Testsignal, ähnlich wie es in den ursprünglichen Serviceunterlagen vorgesehen war. Hier können weitere Eigenschaften abgelesen werden.

Sinus Sweep bei -38dBFS entspricht -20dB unter Bezugspegel 250nWb/m, das ursprüngliche Testverfahren zur Beurteilung des Frequenzgangs laut Studer Service Manual, wobei dort ein Arbeitsvorgang mit Einzelfrequenzen und mV-Meter oder externem Pegelmeter vorgeschlagen wird. Die hier genutzte Methode entspricht dieser Prozedur, allerdings mit Gleitton und Pegelschrieb via Computer. Auch hier bestätigt sich der glatte Frequenzgang, die Phase wird auch hier bereits ab 1000Hz unruhig, was auf Pegelschwankungen und Winkelfehler hinweist. Dies ist ein typisches Verhalten einer Bandmaschine und sieht hier wieder, aufgrund des guten Zustands von Maschine und Band, sehr gut aus, vor allem für die relativ langsame Bandgeschwindigkeit von 19,05cm/s.

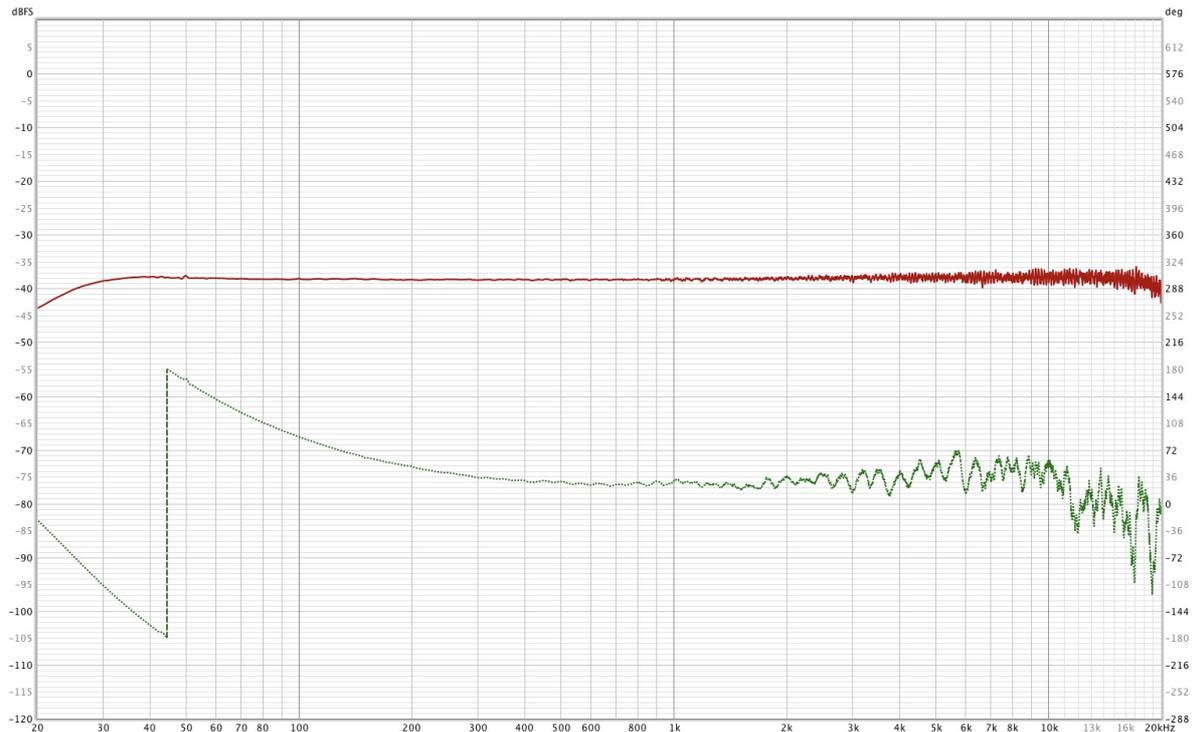


Abbildung 80: B67: Sweep bei -38dBFS entspricht -20dB unterhalb Bezugspegel

In den folgenden Abbildungen wird der Pegel erhöht, um das Sättigungsverhalten im hohen Frequenzbereich darzustellen. Hierzu wurden Messungen bei -18dBFS, -12dBFS und -9dBFS entsprechend +4dBu, +10dBu und +13dBu durchgeführt.

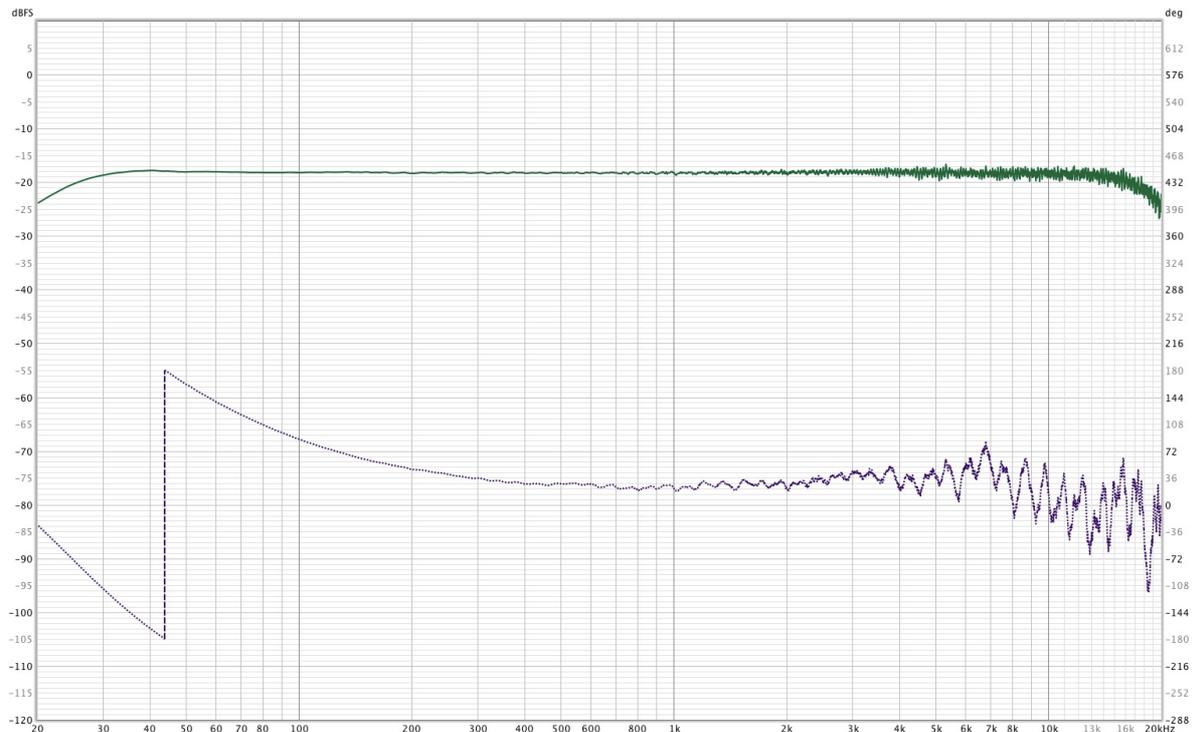


Abbildung 81: B67: Sinus Sweep bei -18dBFS entspricht 250nWb/m, leichte Sättigungserscheinungen ab 16kHz

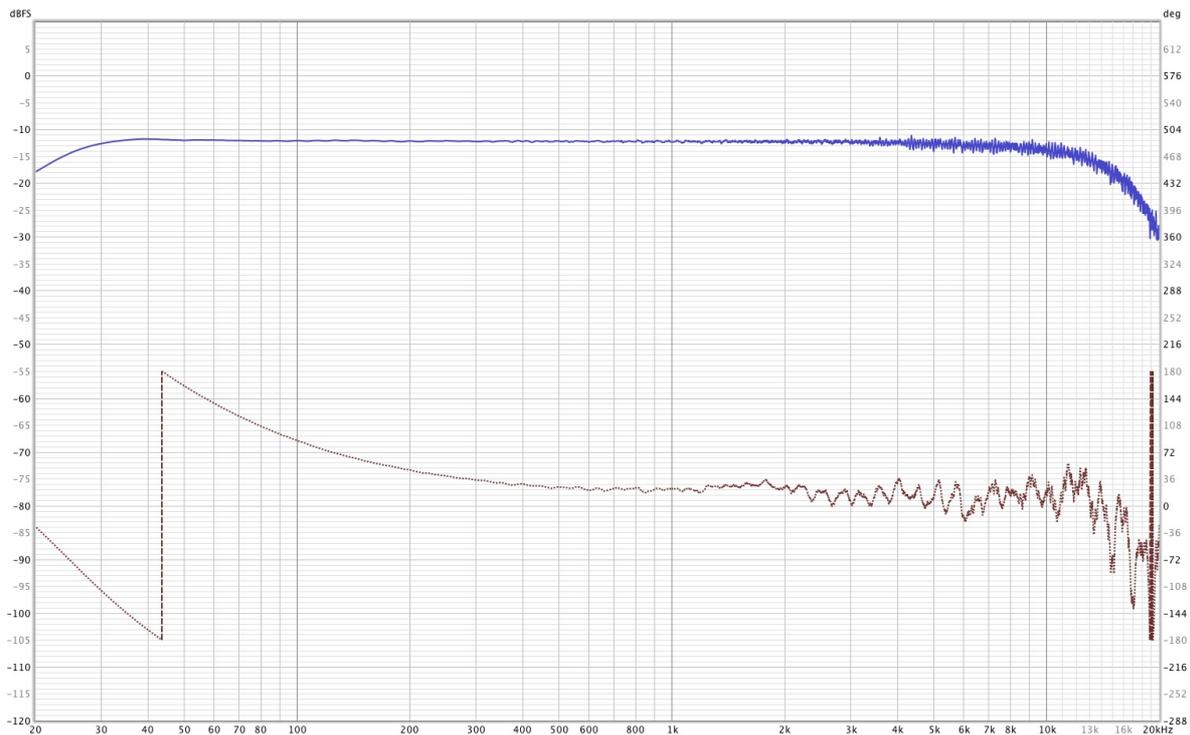


Abbildung 82: B67: Sinus Sweep bei -12dBFS, entspricht NAB Peak Level und 500nWb/m, deutlich erkennbare Hochtönsättigung

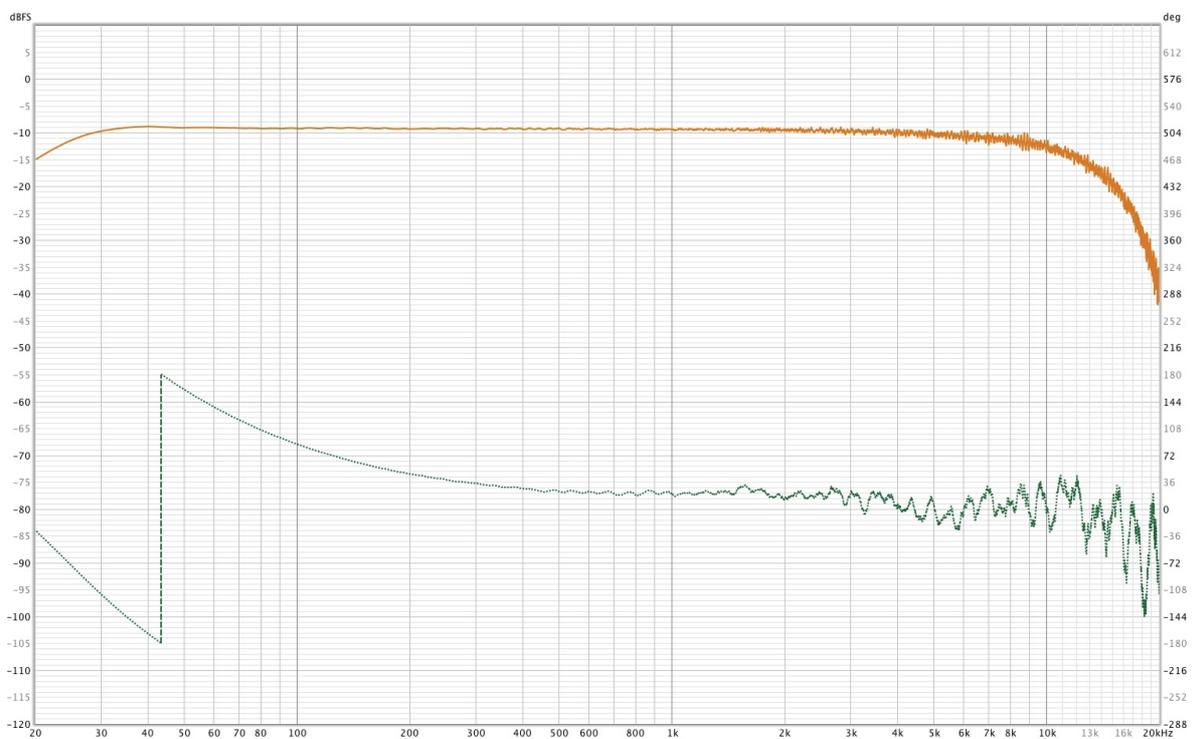


Abbildung 83: B67: Sinus Sweep bei -9dBFS, entspricht +3dB über NAB Peak Level

Abbildung 83 zeigt Sinus Sweep bei +3dB über NAB Peak Level, entspricht quasi der +3dB Stellung beim Studer Plugin und somit ungefähr 705nWb/m. Deutliche Hochtönsättigung des Bandes. Zur Erinnerung: enthält ein eingespeistes Musiksignal nicht die gleiche Energie über das gesamte Frequenzband, muss dieser Effekt in der Praxis nicht auftreten. Hier addiert sich das HF Signal des Test-Gleitsinus mit der HF-Vormagnetisierung und wirkt dann zu stark, was einen „Overbiased“ Zustand hervorruft. Deshalb fällt der Effekt quasi doppelt ins Gewicht. Es muss also letztlich nicht der Fall sein, dass ein mit einem Musiksignal hoch ausgesteuertes Band automatisch dumpfer klingen wird, als ein geringer ausgesteuertes Band. Im Extremfall kann eine Dumpfheit jedoch auftreten. Hierbei sollte eben das SOL-Output-Level des Bandes bekannt sein und/oder im Zweifel per Ohr entschieden werden, wieviel Aussteuerung oberhalb der eigentlichen Norm noch sinnvoll ist.

Die Formel zur Berechnung des gesteigerten Bandflusses folgt der der Spannungsverstärkung:

<b>Tonband-Einmesspegel</b>
Magnetischer Fluss Pegel $L_{\Phi} = 20 \times \log (\Phi/\Phi_0)$ in dB.
Übliche Bezugswerte für den magnetischen Fluss $\Phi_0$ : 150, 185, 200, 220, <b>250</b> , <b>320</b> , 370 or 520 nWb/m.

Abbildung 84: Berechnung magnetischer Fluss nach Sengpiel

Abbildung 85 zeigt im Vergleich die zuvor dargestellten Sweeps in Abhängigkeit vom Eingangslevel in einem Graph. Ein typisches Verhalten bei Gleitsinustönen und zunehmenden Eingangspegeln. Absichtlich sind alle Kurven ungeglättet.

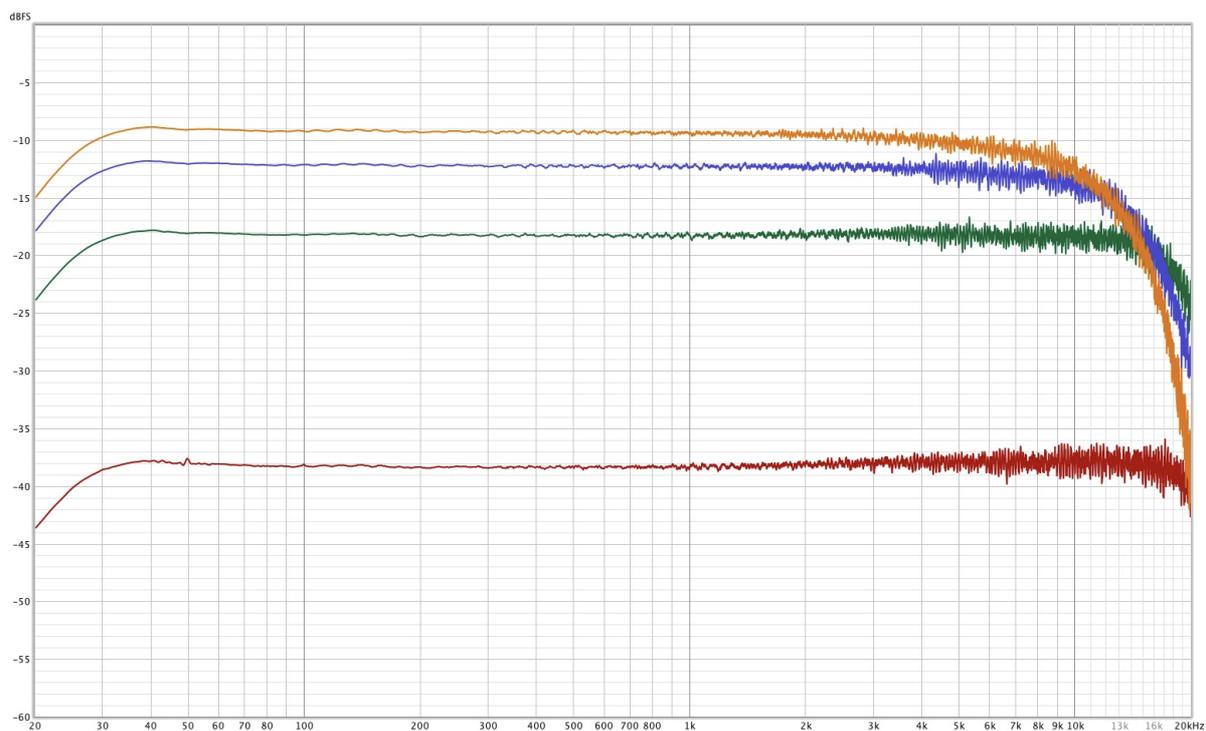


Abbildung 85: B67: Sweeps als Kurvenschar übereinander dargestellt

### 13.2.5 Weitere Messungen B67: IMD, W+F, Geräuschabstand, Rauschspektrum

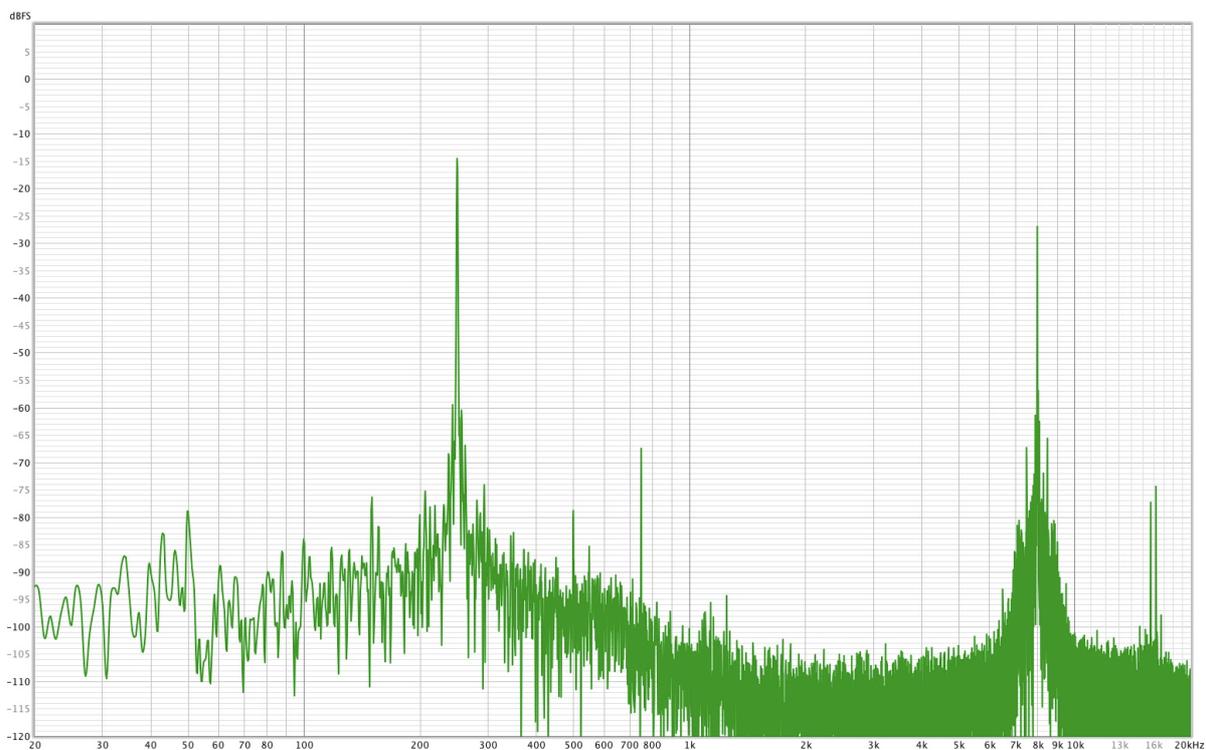


Abbildung 86: B67: Intermodulationsverzerrungen nach DIN

Abbildung 86: Messung der Intermodulationsverzerrungen nach DIN mit einem Dual-Sinus-Testsignal (250Hz und 8kHz im Verhältnis 4:1 bei -12dBFS). Es ergibt sich ein charakteristisches Spektrum, welches natürlich auch Bandrauschen enthält.

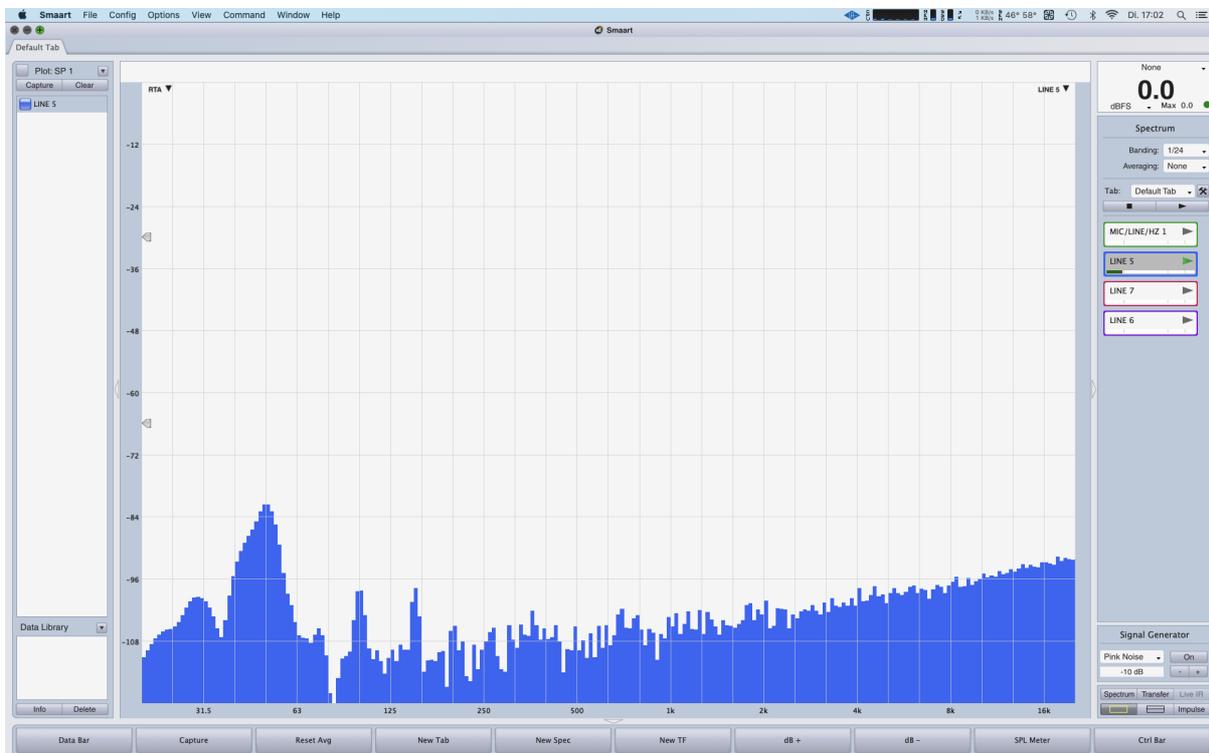


Abbildung 87: B67: Spektrum Bandrauschen

Das Rauschspektrum der Maschine im Record-Betrieb ohne anliegendem Signal zeigt Abbildung, Achtung: der SMAART-Analyzer ist  $1/f$ -kalibriert, also „pink-noise-flat“.



Abbildung 88: B67: Geräuschspannungsabstand über Band

Der Geräuschspannungsabstand liegt bei Aufnahme und gleichzeitiger Wiedergabe ohne Signal bei circa -71.5dBFS, also kann eine Dynamik bei NAB Peak Operating Level von mind 60dB erwartet werden. Auch hier wurde mit 19,05cm/s gemessen.



Abbildung 89: B67: Geräuschspannungsabstand bei Stop

Der Fremdspannungsabstand im Stopbetrieb liegt gerade einmal 4dB unter dem Rauschabstand bei Aufnahme und gleichzeitiger Wiedergabe. Dieser Wert ist hauptsächlich durch Transformatorbrummen begründet. Der Trafo streut trotz Abschirmblechen in die Elektronik und vor allem in die Tonköpfe ein, ein bekanntes Problem bei vielen Bandgeräten. Es ist also anzunehmen, dass bei 38,1cm/s Bandgeschwindigkeit das Bandrauschen im Pegel nur ca. 1dB über dem Brumm der Maschine liegt.

Zur Überprüfung der Gleichlaufschwankungen wurden gleiche Messverhältnisse angelegt, es wurde also nicht mit einem vorbespielten Testband gemessen, sondern ein 3kHz Sinuston aufgezeichnet, anschließend wiedergegeben und mit dem Programm WFGUI analysiert, welches Wow and Flutter Messungen nach DIN Norm beherrscht.

Studer B67 zeigt hierbei gute Werte, wie Abbildung 90 zeigt:



Abbildung 90: B67: Gleichlaufstest

Innerhalb eines Messzeitraums von 10 Sekunden ergeben sich maximale Werte von 0,025% RMS und 0,044% Spitzenabweichung von der Sollgeschwindigkeit bei 19,05cm/s. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die ungefähr 40 Jahre alte Studer B67 ihre Werksangaben noch immer übertreffen kann und selbst mit der langsameren Bandgeschwindigkeit von 19,05cm/s ein hochwertiges Aufnahmegerät darstellt, welches den von menschen wahrnehmbaren Frequenzgang kaum einschränkt. Eine Dynamik vom mehr als 60dB ist ein respektabler Wert und für viele Musikrichtungen mehr als ausreichend, vor allem im Kontext moderner Mischungen und Masterings.

### 13.3 Messungen UAD Studer Plugin

Messungen ab Bezugsband entfallen an dieser Stelle, da keine Möglichkeit besteht. Die Beschreibung des Plugins gibt an, dass eine Emulation der Wiedergabekurven NAB und CCIR emuliert wurden, weshalb an dieser Stelle die Annahme getroffen wird, dass das Plugin wiedergabeseitig korrekt implementiert ist. Es werden an dieser Stelle also alle Messungen „über Band“ simuliert und erfasst.

#### 13.3.1 Metering

Das interne VU-Meter verhält sich korrekt und von der Entzerrungsschaltung unabhängig. Bei einem konstanten Eingangspiegel von -18dBFS (Sinus, 1kHz) zeigt es 0dBVU, sowohl in der Inputsektion, also auch im Betrieb (Wiedergabe „über Band“). Damit ist sichergestellt, dass sich die analoge B67 und die digitale Plugin vergleichen lassen, da die Pegelverhältnisse identisch sind. (-18dBFS = 0VU = 250nWb/m = +3dB CAL, CCIR). (Abbildung 91)



Abbildung 91: Studer A800: Metering

### 13.3.2 Azimutverhalten

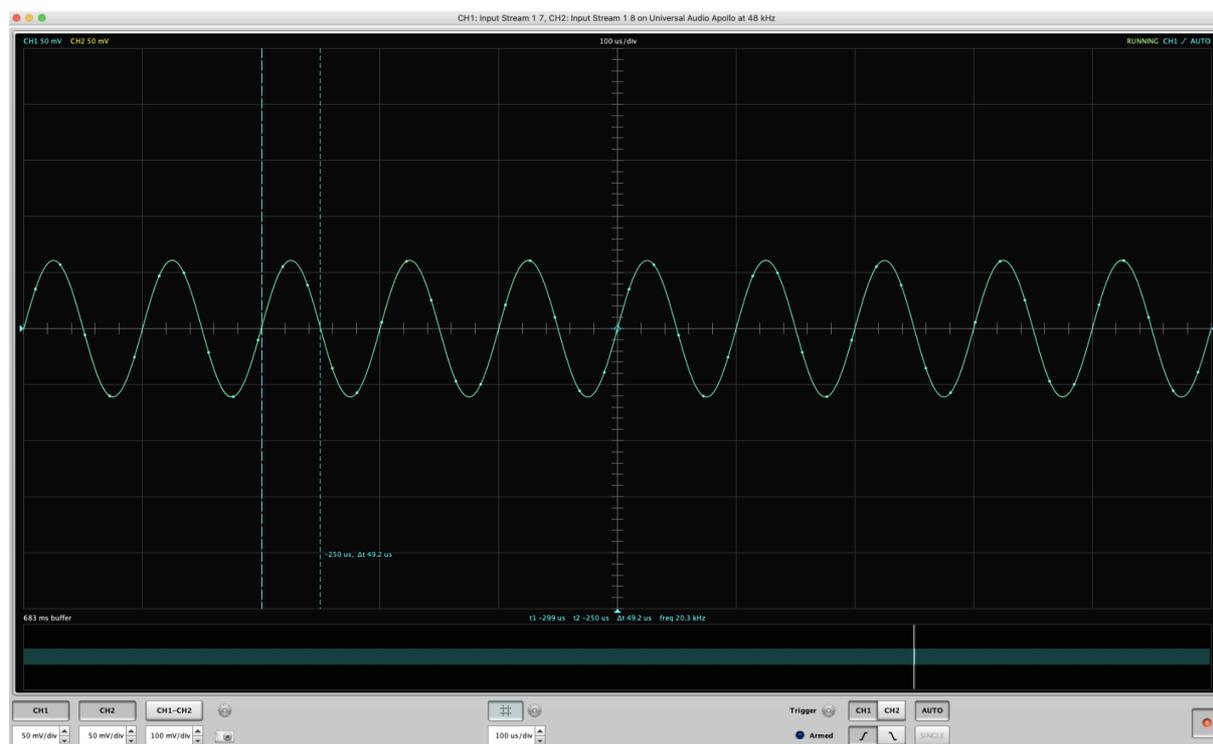


Abbildung 92: Studer A800: maximale Varianz Azimut

Die Emulation zeigt keinerlei Varianz im Phasenverhalten von den Kanälen zueinander, die Phasenlage deckt sich stets zu 100%, die Korrelation ist immer 1.

Zum Vergleich wurde dieser Test unter gleichen Bedingungen wiederholt. Es wurde ein 12kHz Ton sowohl auf das analoge Band aufgenommen und wiedergegeben (also nicht ausschliesslich ab Bezugsband getestet), als auch ein 12kHz Ton über das UAD Studer A800 Plugin prozessiert. Der Vergleich liegt der Arbeit in Videoform im digitalen Anhang bei. Die Emulation zeigt keine Varianz im Bezug auf die Spaltlage, während die analoge Bandmaschine die typischen Schwankungen zeigt.

### 13.3.3 Interne Kalibrierung

Im Vergleich zur analogen B67 entsteht kein Signalfluss, wenn Bias auf Minimum gestellt wird, also wurde Bias so geringfügig zugegeben, bis ein Signalfluss entsteht (Abbildung 93). Die Messung ergibt hier eine plausible Kurve mit Pegelverlust und starkem Höhenanstieg. Zu sehen ist: die Emulation der A800 weist kein Hochpassverhalten auf, demnach zeigt auch die Phase ein anderes Verhalten.



Abbildung 93: UAD A800: Bias lowest



Abbildung 94: UAD A800: BIAS optimal, Treble Minimum

Abbildung 94: Bias optimal, Treble = max, auch hier gute Übereinstimmung zwischen Plugin und Hardware.

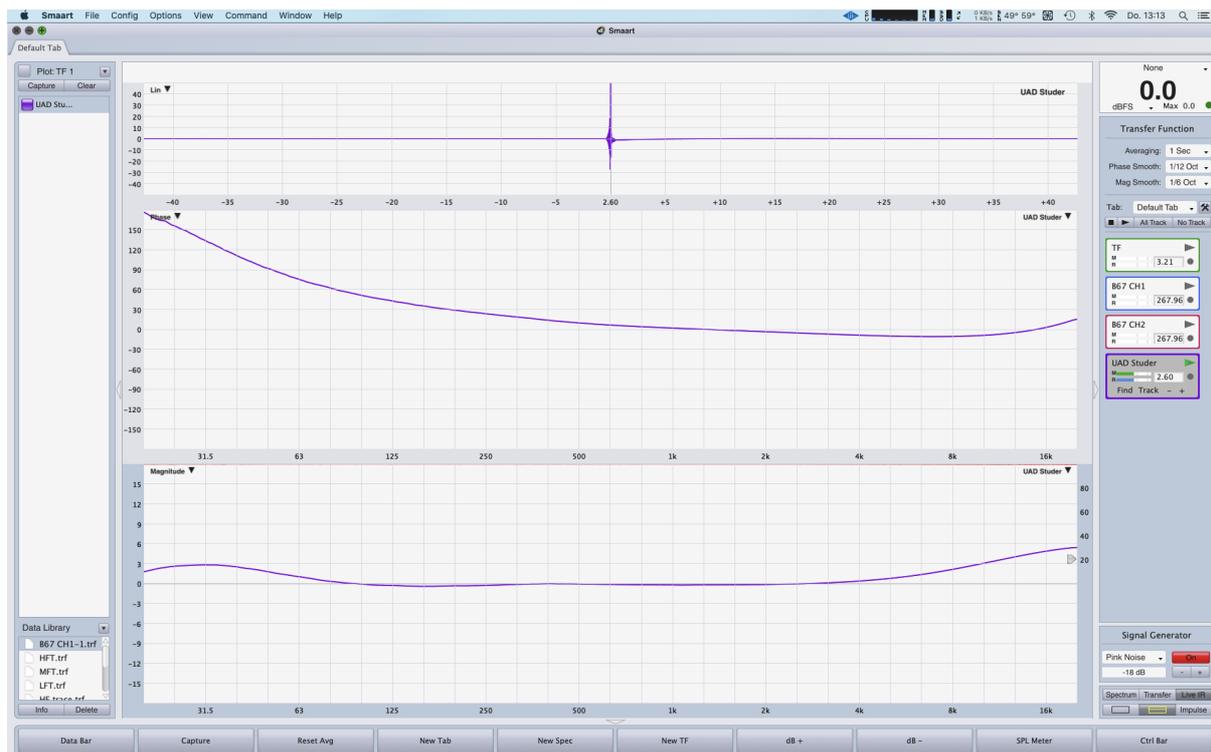


Abbildung 95: UAD A800: Bias optimal, Treble Maximum

Abbildung 95: Bias optimal, Treble = max, auch hier gute Übereinstimmung zwischen Plugin und Hardware.

### 13.3.4 Spektrum Brumm und Rauschen

Auch das Spektrum und die Intensität des Bandrauschens lässt sich sehr genau so einstellen, dass es der B67 entspricht. Ein Trafobrummen wurde ebenso emuliert, sodass sich bei gegebener Bandgeschwindigkeit von 19,05cm/s eine gute Deckung der „Störgeräusche“ ergibt. Allerdings muss dazu gesagt werden, dass beim UAD Studer Plugin das Bandrauschen standardmässig komplett ausgeschaltet ist.

Allerdings ist es so, dass bei gleicher Stellung des Reglers „Hiss“ kein effektiver Unterschied zwischen den verschiedenen Bandgeschwindigkeiten herrscht, wobei das Rauschen mit zunehmender Bandgeschwindigkeit geringer werden sollte. Es scheint also, als ob die Levels „Hum“ und „Hiss“ rein von der Reglerstellung abhängig wären. Folgende Abbildungen zeigen das Rauschen bei 7.5, 15 und 30ips Stellung:

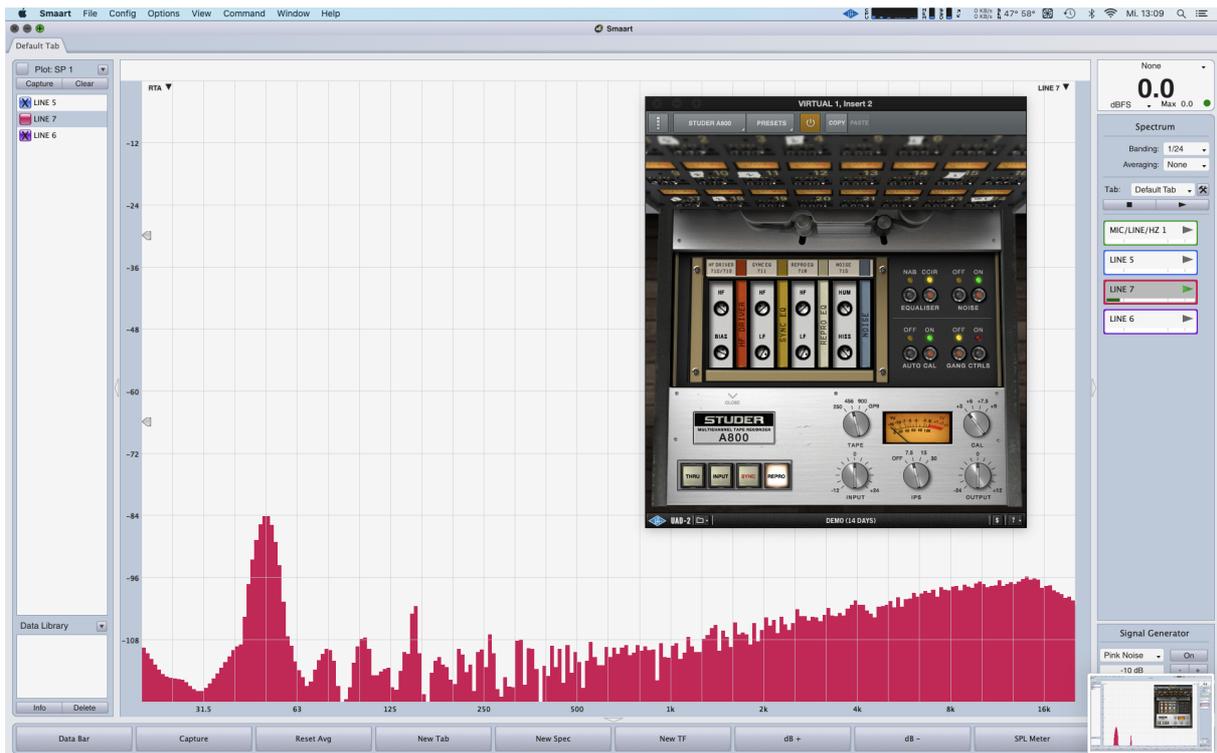


Abbildung 96: UAD A800: Hum + Hiss 7.5ips CCIR

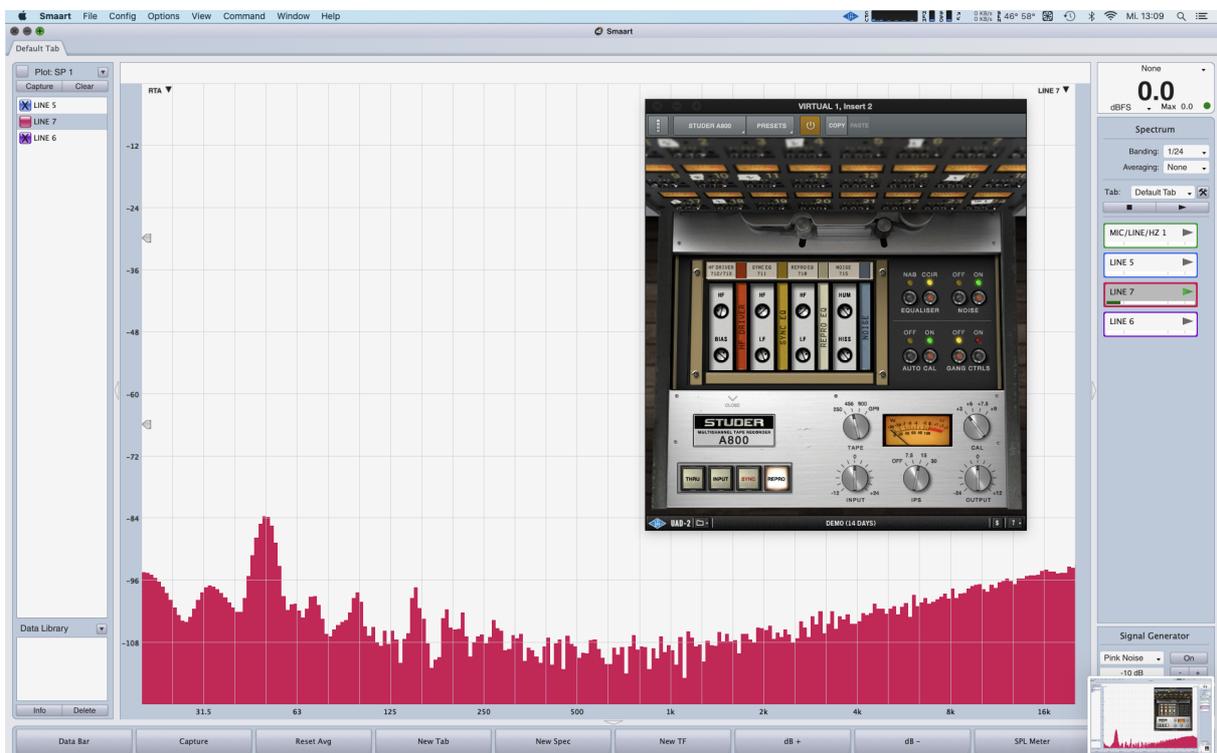


Abbildung 97: UAD A800: Hum + Hiss 15ips CCIR

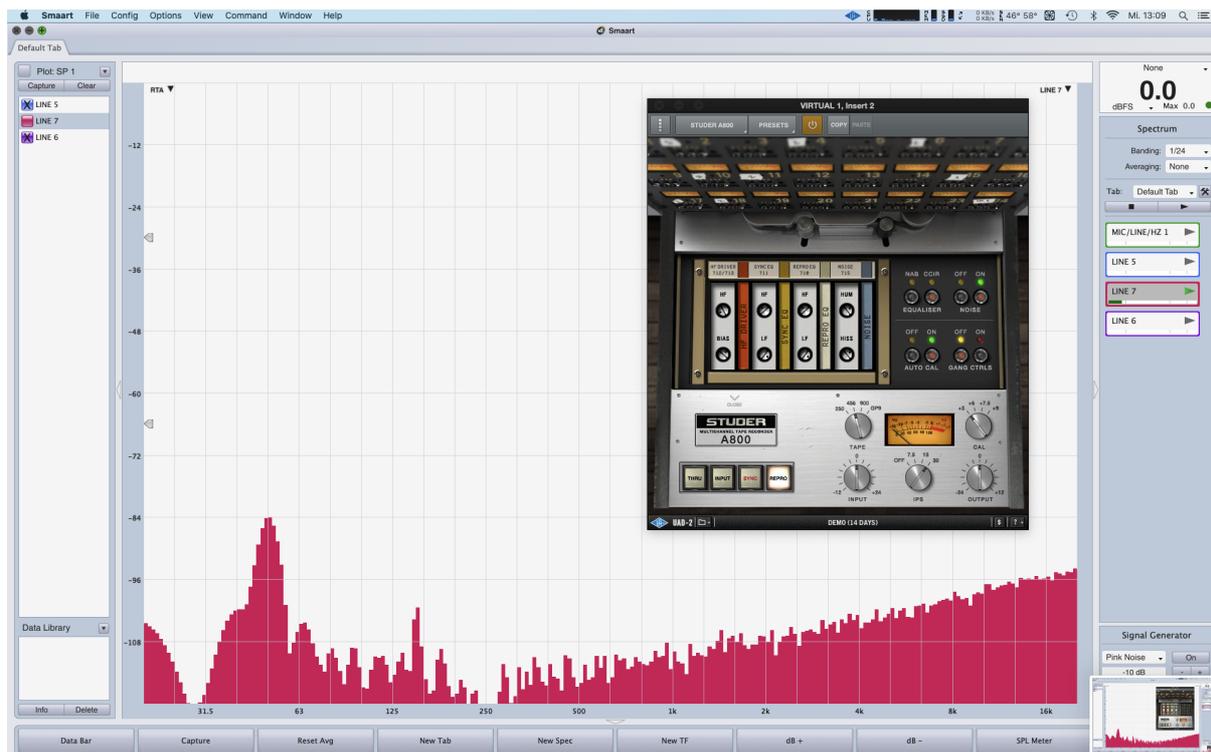


Abbildung 98: UAD A800 Hum + Hiss 30ips AES

### 13.3.5 UAD Studer A800 Sinus-Sweep Messungen ohne Glättung

Die oben gezeigten Messungen weisen eine Glättung im Bereich des Frequenzgangs und der Phase auf, was von Vorteil ist, da als Testsignal das bereits erwähnte Rosa Rauschen zum Einsatz kam, um in Echtzeit verschiedene Reglerstellungen prüfen zu können. Wie zuvor wurde die Software REW zur Sinus-Sweep-Messung eingesetzt, um die oben genannten Eigenschaften zu messen.

Abbildung 99 zeigt den Frequenzgang ungeglättet Studer UAD bei  $-38\text{dBFS}$ ,  $-20\text{dB}$  unter Bezugslevel  $250\text{nWb/m}$ , also wie bei der ersten Sweep-Messung der analogen B67. Bandgeschwindigkeit  $19,05\text{cm/s}$ , Bandtyp Ampex 456, CAL +3. Es fällt auf, dass keine Pegelschwankungen im HF-Bereich existieren, was so bei keinem analogen Magnetbandrekorder der Fall ist. Zudem zeigt sich auch hier das geänderte Phasenverhalten.

Trotz eingehender Recherche im Internet konnte keine zuverlässige Quelle für eine Frequenz- und Phasengangmessung einer Studer A800 gefunden werden, die das

fehlende Hochpassverhalten bestätigen oder widerlegen könnte. Die grundlegende Charakteristik des Frequenzgangs stimmt allerdings.

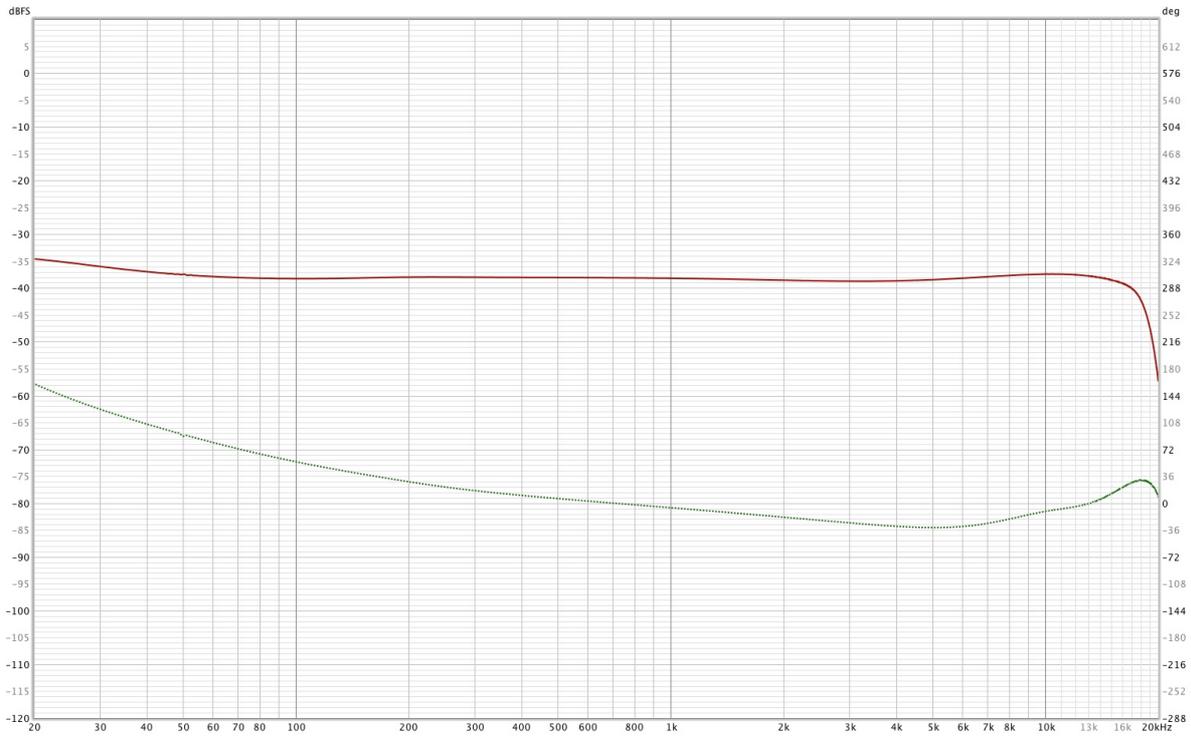


Abbildung 99: UAD A800 Sweep -38dBFS

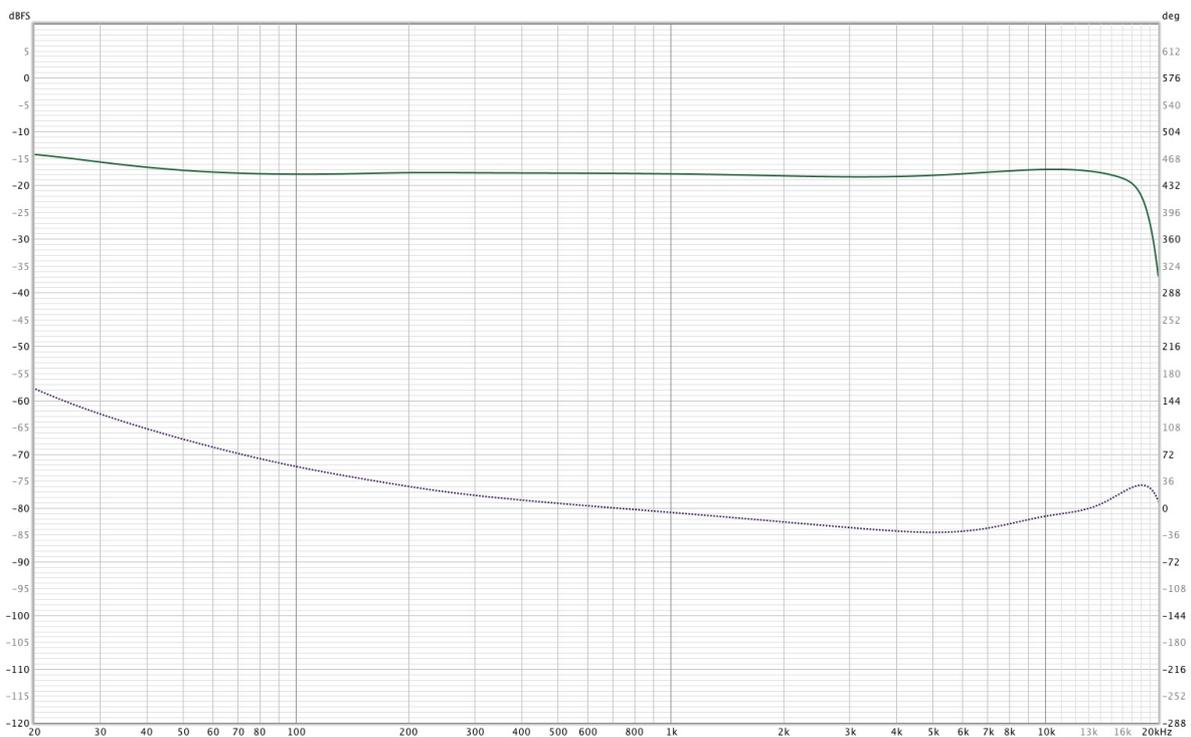


Abbildung 100: UAD A800 Sweep -18dBFS

Abbildung 100: Frequenzgang bei -18dBFS, 250nWb/m, sonst gleiche Parameter. Keine Pegelschwankungen, keine Veränderung im Frequenzgang, keine HF-Sättigung erkennbar.

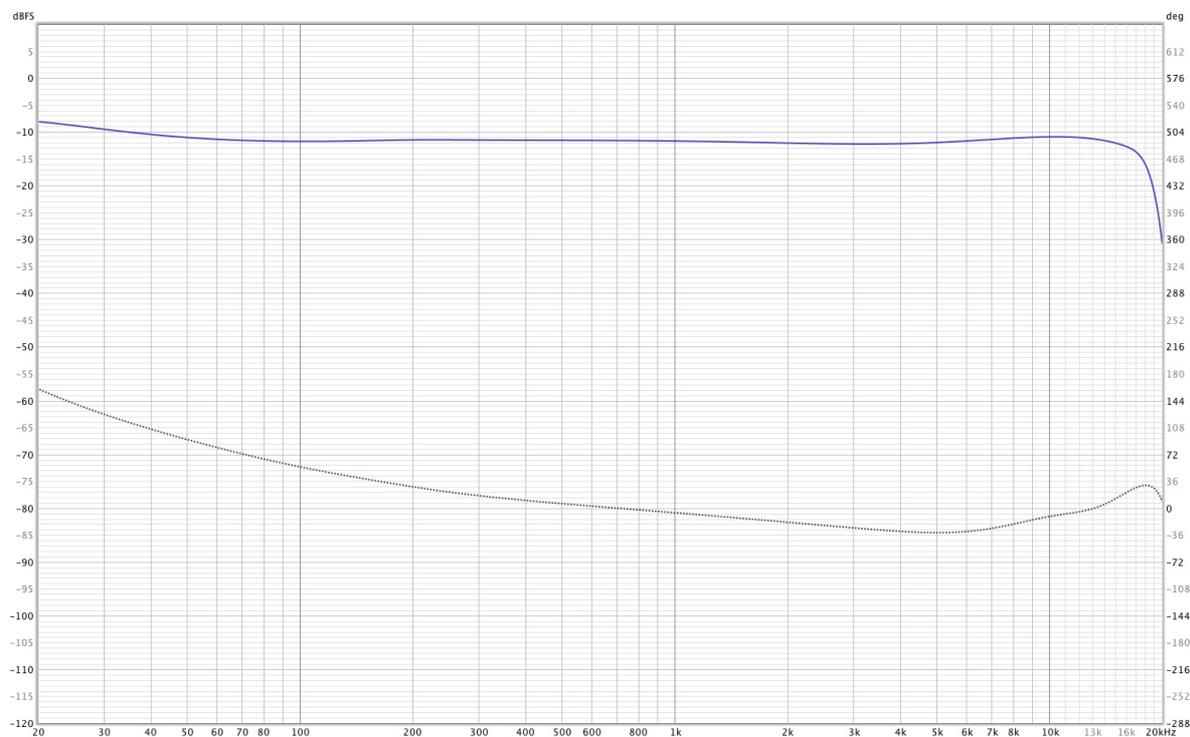


Abbildung 101: UAD A800 Sweep -12dBFS

Abbildung 101: Frequenzgangmessung bei -12dBFS, 500nWb/m, NAB Peak Level, auch hier keine HF Sättigung erkennbar.

### 13.3.6 UAD A800: weitere Messungen, IMD, Gleichlaufschwankungen

Abbildung 102: Spektrum der Intermodulationsverzerrungen nach DIN bei -12dBFS, wie zuvor bei Studer B67. Das Spektrum unterscheidet sich deutlich, zeigt eine geringere Dichte der Seitenbänder.

Abbildung 103: Analog zum Test der analogen Hardware wurde ein Sinus-Testton über das Plugin wiedergegeben und dem Wow and Flutter Meter zugeführt. Die UAD Studer Emulation erzeugt keine Gleichlaufschwankungen. Dies wird als undramatisch eingestuft, da kleinere Abweichungen der Sollgeschwindigkeit klanglich unerheblich sind und dies sowieso keine erwünschte Eigenschaft ist.

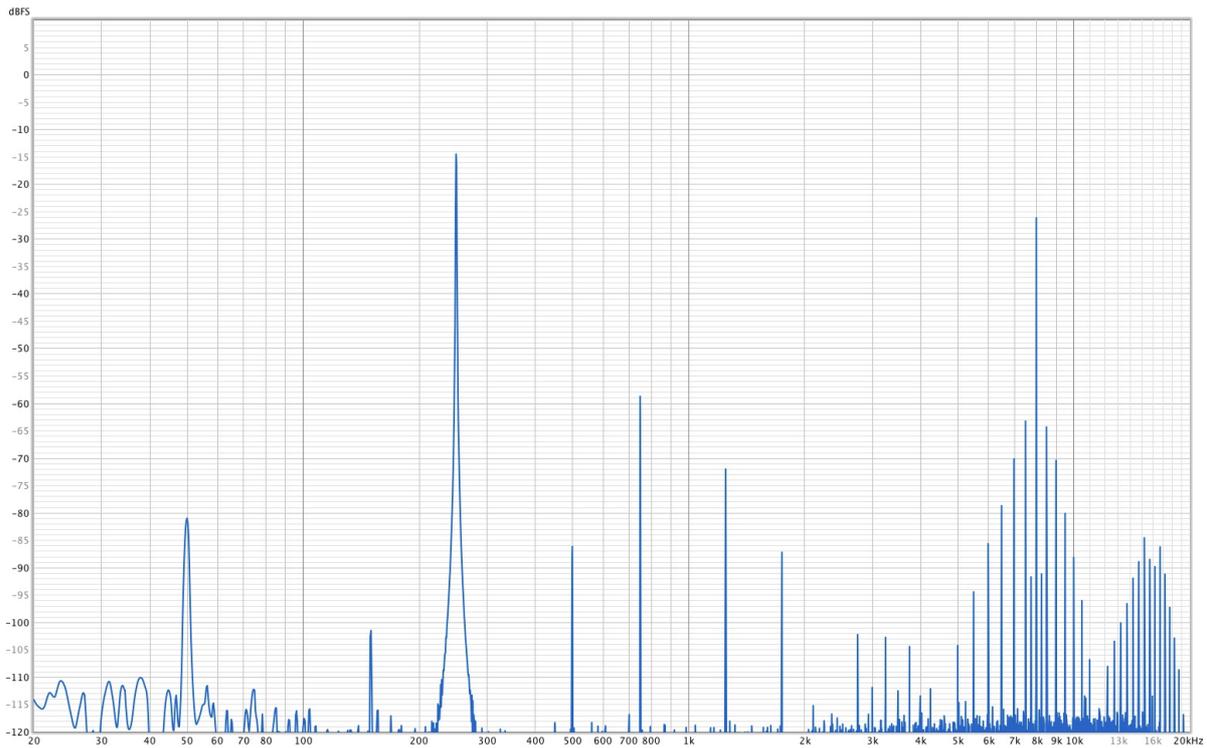


Abbildung 102: UAD A800: Intermodulationsverzerrungen nach DIN

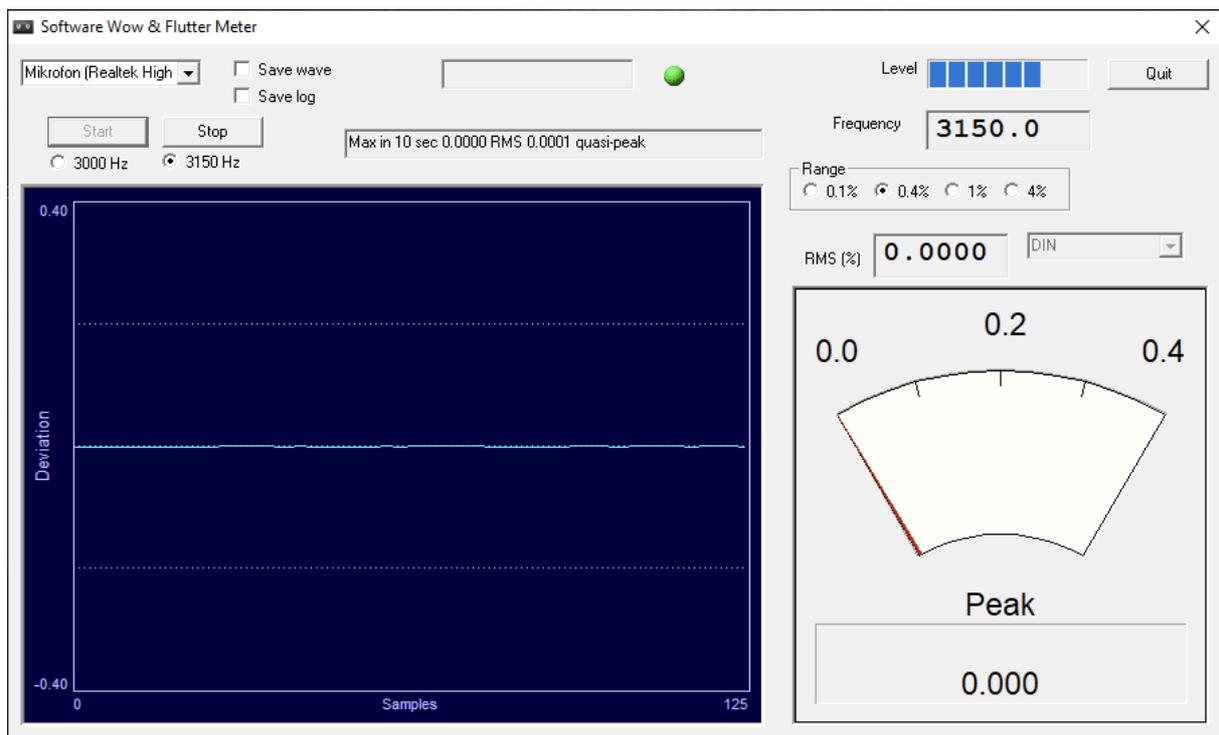


Abbildung 103: UAD A800: W+F nach DIN

## 13.4 Vergleich der Sättigungseigenschaften

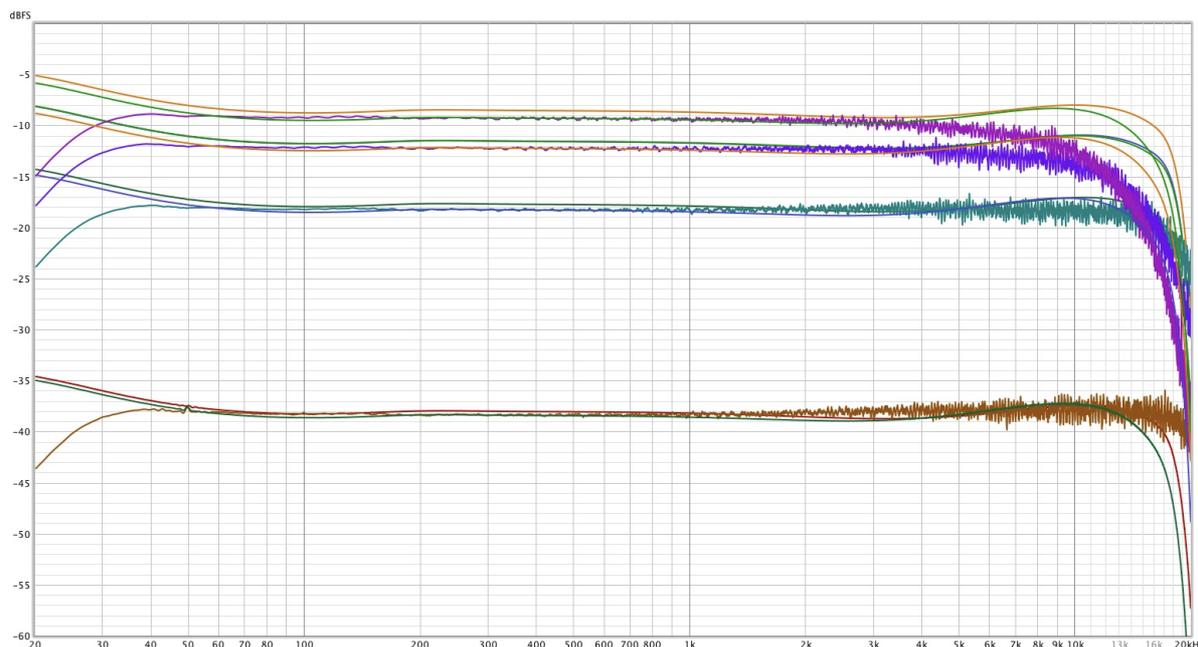


Abbildung 104: Alle Sweeps Studer B67 und UAD A800

Abbildung 104 zeigt die gesammelten Vergleichsmessungen zwischen Studer B67 und UAD Studer A800, letztere jeweils mit den Bandtypen Ampex 456 und Scotch 250 als jeweilige Referenz. Gemessen wurde wieder bei den Pegeln -38dBFS, -18dBFS, -12dBFS und -9dBFS, wobei absichtlich keine Kurvenglättung zum Einsatz kam. In der Messung stellt Scotch 250 die Kurven mit früheren HF-Rolloff dar.

Zusammenfassend ergeben sich folgende Punkte:

- Keine Pegelschwankungen im HF-Bereich bei UAD Studer A800
- Die virtuellen Bandtypen Scotch 250 und Ampex 456 unterscheiden sich leicht im emulierten HF-Rolloff, die Messungen mit früher einsetzender Hochtondämpfung sind der ältere Bandtyp 250
- HF-Sättigung bzw SOL-Output der Bänder durch zuviel Hochton- und Biasanteil wurden nicht emuliert, wodurch sich eine Pegelunabhängigkeit im Frequenzgang ergibt
- Kein Hochpassverhalten, sondern ein Anstieg um rund 3dB bei 20Hz. Emuliert hierbei wird vermutlich ein Head-Bump, der möglicherweise etwas überzeichnet ist (ohne Gewähr).

- Grundlegende Frequenzgangcharakteristik ist beim Plugin gegeben, gilt allerdings nur für einen gewissen Pegelbereich

### 13.5 Analyse der Klirrkomponenten

Die vorhergehenden Messungen konnten zeigen, dass es Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede zwischen der analogen B67 und der digital emulierten A800 gibt. Eine deutliche Auffälligkeit bestand im unterschiedlichen Spektrum der gemessenen Intermodulationsverzerrungen, wobei die Analogmaschine ein deutlich dichteres Spektrum produzierte, als die digitale Nachbildung. Deshalb sollen die einzelnen Klirrkomponenten der beiden Systeme genauer untersucht werden. Auch diese Messungen wurden mit der Software REW durchgeführt, da hier eine gute Darstellung der einzelnen Klirrkomponenten möglich ist. Sie können gegen den Frequenzgang und im Level dargestellt werden, wie bereits im Kapitel UAD Loopback beschrieben. Die Messungen erfolgten auch hier mit Gleittonsignalen, Sinus von 20Hz bis 20kHz. Eine kleine Einschränkung besteht in der Messung: die virtuelle Studer A800 besitzt eine Vor-/Hinterbandschaltung, welche auch bei analogen Maschinen existiert, hierbei ist die Signalführung jedoch nicht immer gleich implementiert:

- Studer Maschinen mit VU-Metern oder Meterbridge sind in der Regel mit Input/Repro Schaltungen ausgestattet, das Signal durchläuft auch auf Stellung „Input“ zumindest die Elektronik des Meterings (wie beim Plugin modelliert)
- Die für die vorliegende Arbeit genutzte B67 ist eine Maschine ohne eigenes Metering, sie hat also keine Input- oder Vorbandkontrolle, d.h. das Inputsignal entspricht dem Loopbacksignal
- Für Verzerrungskomponenten kann dies ein kleiner Faktor sein, allerdings ist die Elektronik eines Meterings für die hier durchgeführte Analyse in der Regel vernachlässigbar

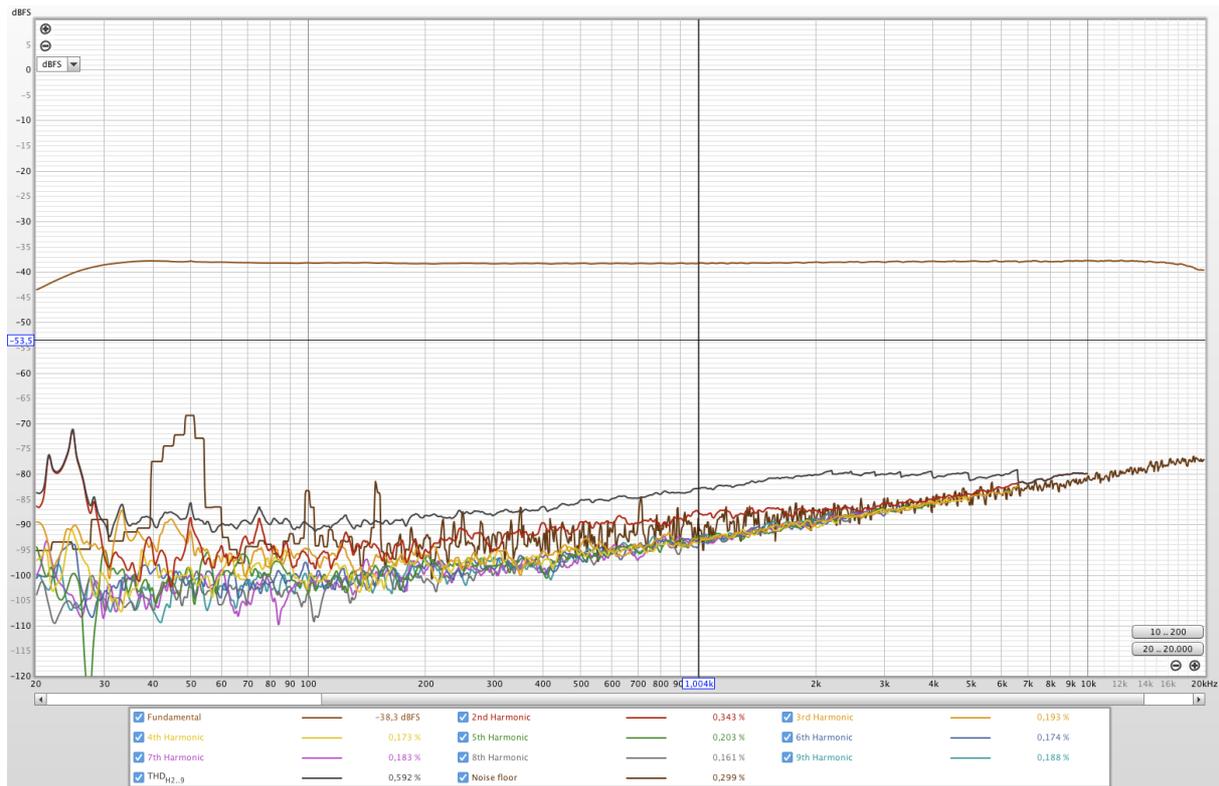


Abbildung 105: Klirranalyse: B67, Emtec SM468, -38dBFS

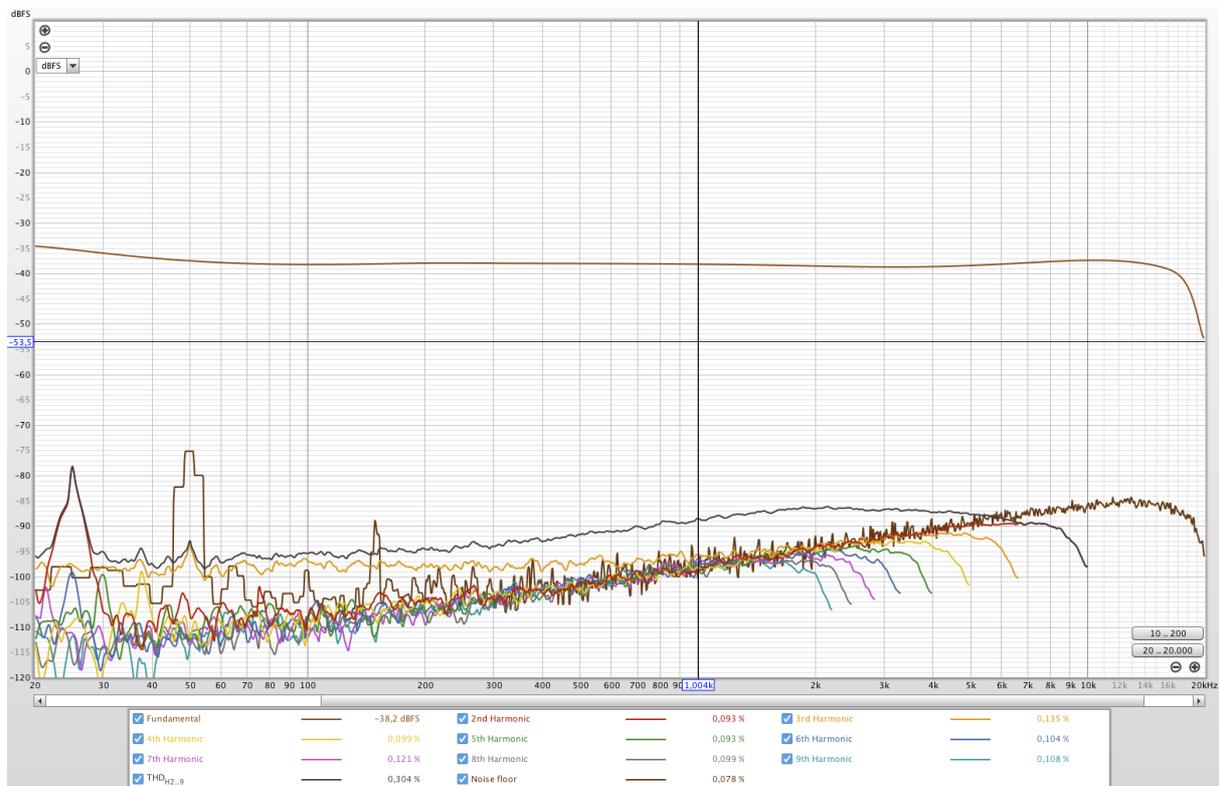


Abbildung 106: Klirranalyse: UAD A800, Ampex 456, -38dBFS

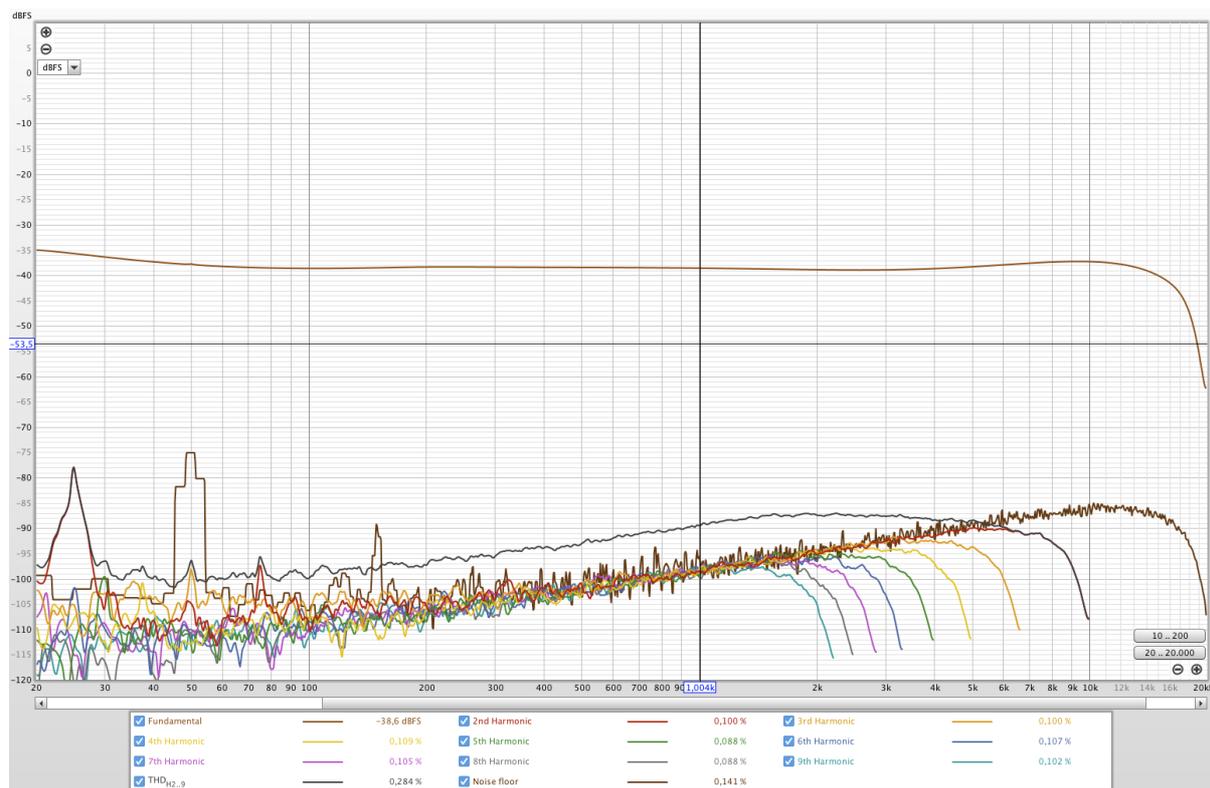


Abbildung 107: Klirranalyse: UAD A800, Scotch 250, -38dBFS

Die Abbildungen 105, 106, und 107 zeigen die unterschiedlichen Verzerrungsspektren gemessen bei -38dBFS, also wieder -20dB unterhalb 250nWb/m (+3 CAL).

Die Studer B67 zeigt ein diverseres und dichteres Spektrum innerhalb des Bandrauschens, vor allem mit deutlichem Anteil von Verzerrungen zweiter Ordnung, während diese beim Plugin keine nennenswerte Rolle spielen. In ihren Anteilen fallen die Verzerrungen bei der Emulation im Pegel ab, was auf ein Anti-Aliasing-Prozess hindeutet. In allen Fällen jedoch gehen bei diesem geringem Pegel die Verzerrungskomponenten im quasi im Bandrauschen unter. Die in den Abbildungen angegebenen Werte für THD wurden bei 1kHz ermittelt. Studer B67 liegt durch den höheren Anteil an K2 bei einem Gesamtklirrfaktor, der bei diesem Pegel doppelt so hoch ist, wie der des Plugins.

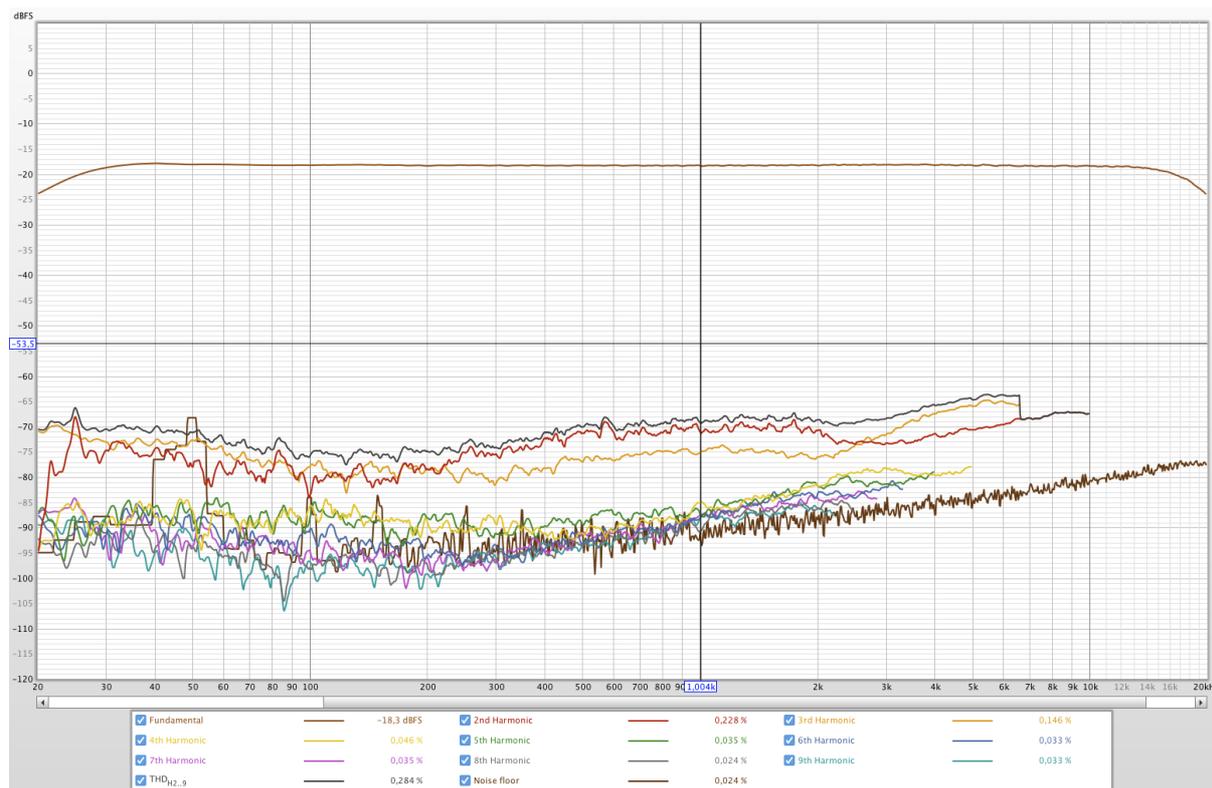


Abbildung 108: Klirranalyse: B67, Emtec SM468, -18dBFS

Das zunächst entstandene Bild ändert sich bei der Messung mit -18dBFS, also bei Bezugspegel von 250nWb/m. Bandrauschen (Noise Floor) befinden sich sowohl bei der Hardware, wie auch beim Plugin auf ähnlichem Niveau, jedoch setzen sich die Klirrkomponten deutlich anders zusammen. Die Messungen der B67 zeigen hauptsächlich K2 und K3, ansonsten einen dichten Mix aus Verzerrungen höherer Ordnung, die bei diesem Level aber kaum aus dem Bandrauschen heraustreten. Die Verzerrungen zweiter Ordnung entstehen in der Elektronik der Maschine, also in den Ein- und Ausgangsverstärkern. Diese Anteile treten beim Plugin nicht auf, es scheint fast so, als ob diese Komponenten nicht mitemuliert wurden (vgl. Abbildungen 108, 109, 110).

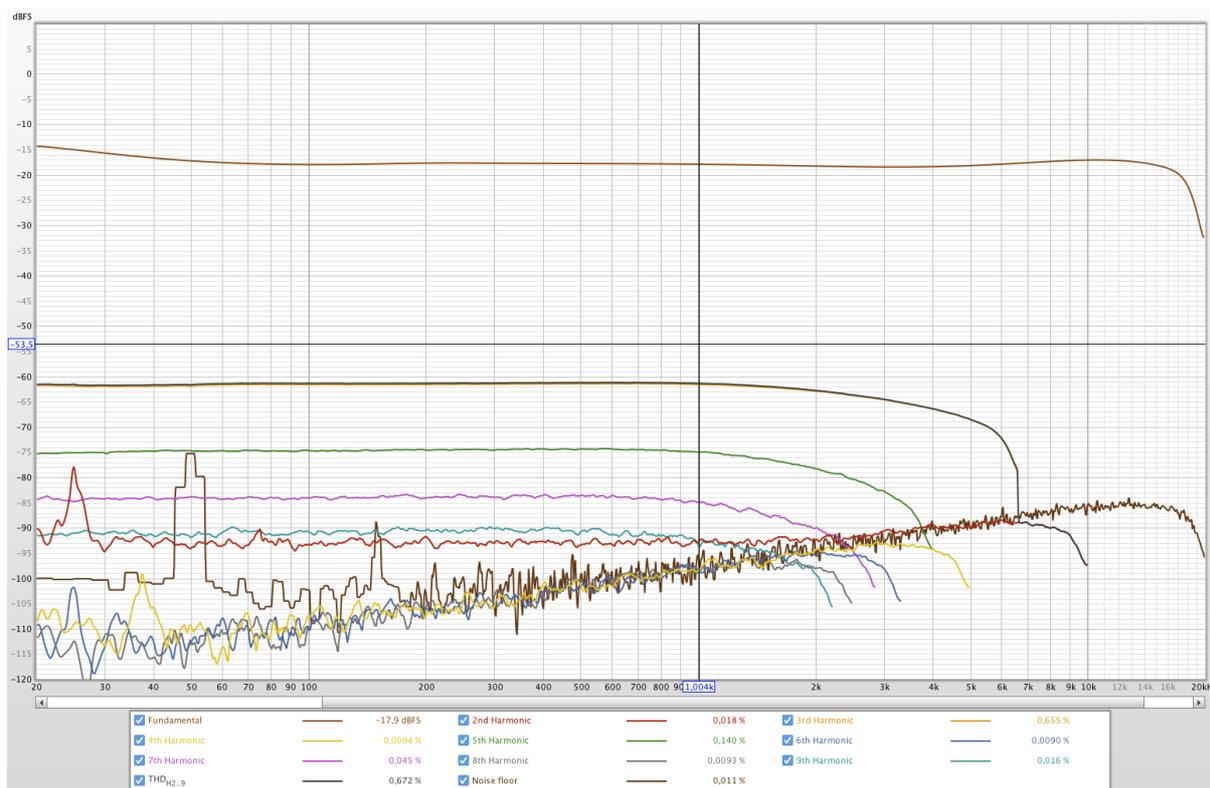


Abbildung 109: Klirranalyse: UAD A800, Ampex 456, -18dBFS

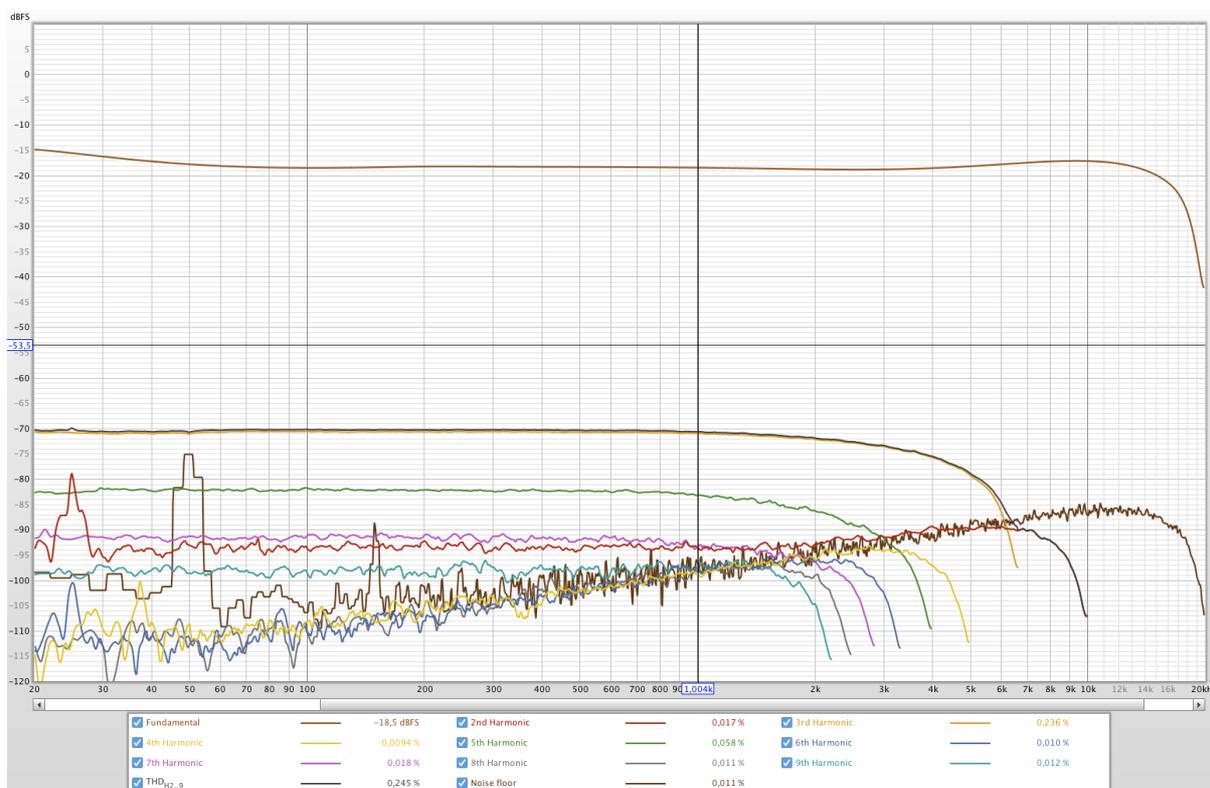


Abbildung 110: Klirranalyse: UAD A800, Scotch 250, -18dBFS

An den Messungen des UAD Studer Plugins fallen zwei Dinge auf. Zum einen scheinen die Komponenten K3 und K5 sehr linear aufzutreten, zudem weist der Bandtyp Ampex 456 einen im Vergleich zum Scotch 250 doppelt so hohen Klirrfaktor auf, was widersprüchlich erscheint, da Ampex 456 das modernere und höher aussteuerbare Band ist. Ein Gesamtklirrfaktor von knapp 0,7% bei Bezugspegel erscheint hoch (Ampex 456).

Der Trend setzt sich bei den Messungen mit -12dBFS = NAB Peak Level fort. B67 und UAD Studer mit Bandtyp 456 zeigen zwar ein ähnliches Maß an Verzerrungen 3. Ordnung, weitere Komponenten stimmen nicht gut überein. UAD Studer mit Bandtyp 250 zeigt ein widersprüchliches Verhalten, der Gesamtklirrfaktor sinkt bei Erhöhung des Pegels um +6dB von 0,25% auf 0,17%, was unrealistisch erscheint.

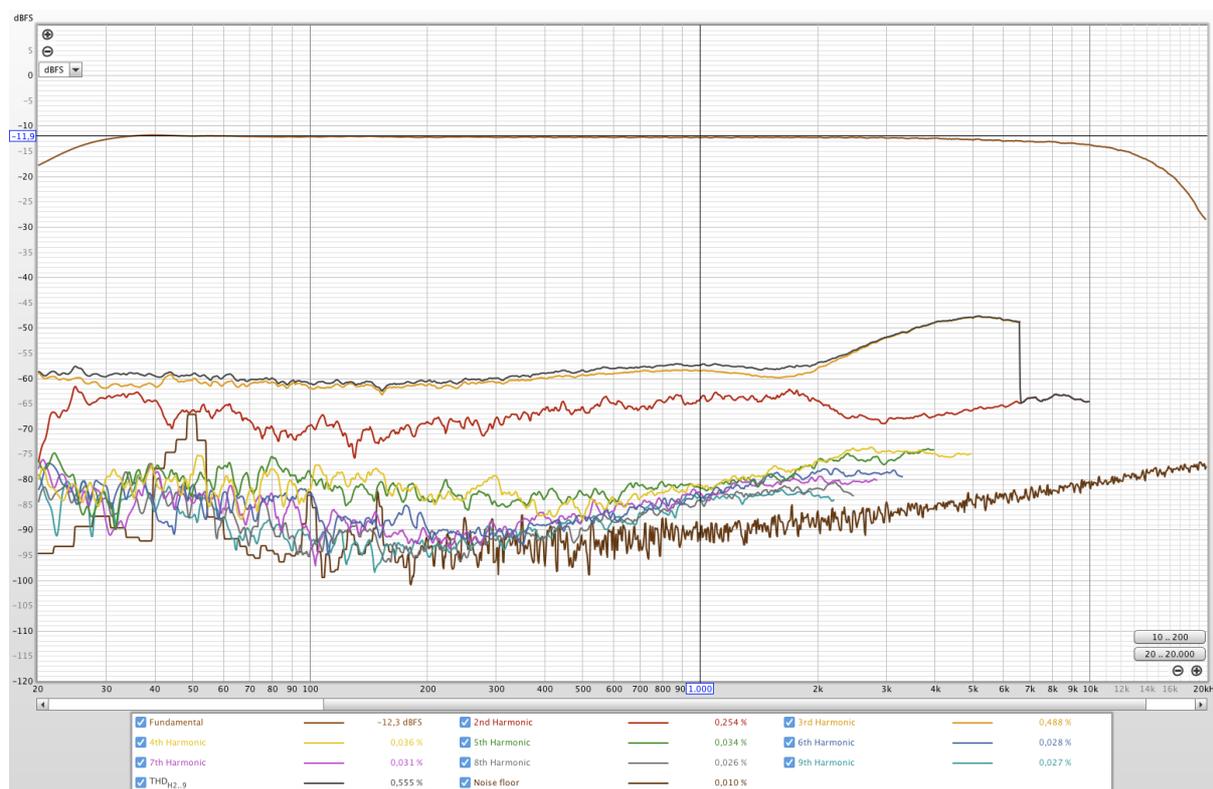


Abbildung 111: Klirranalyse: B67, Emtec SM468, -12dBFS

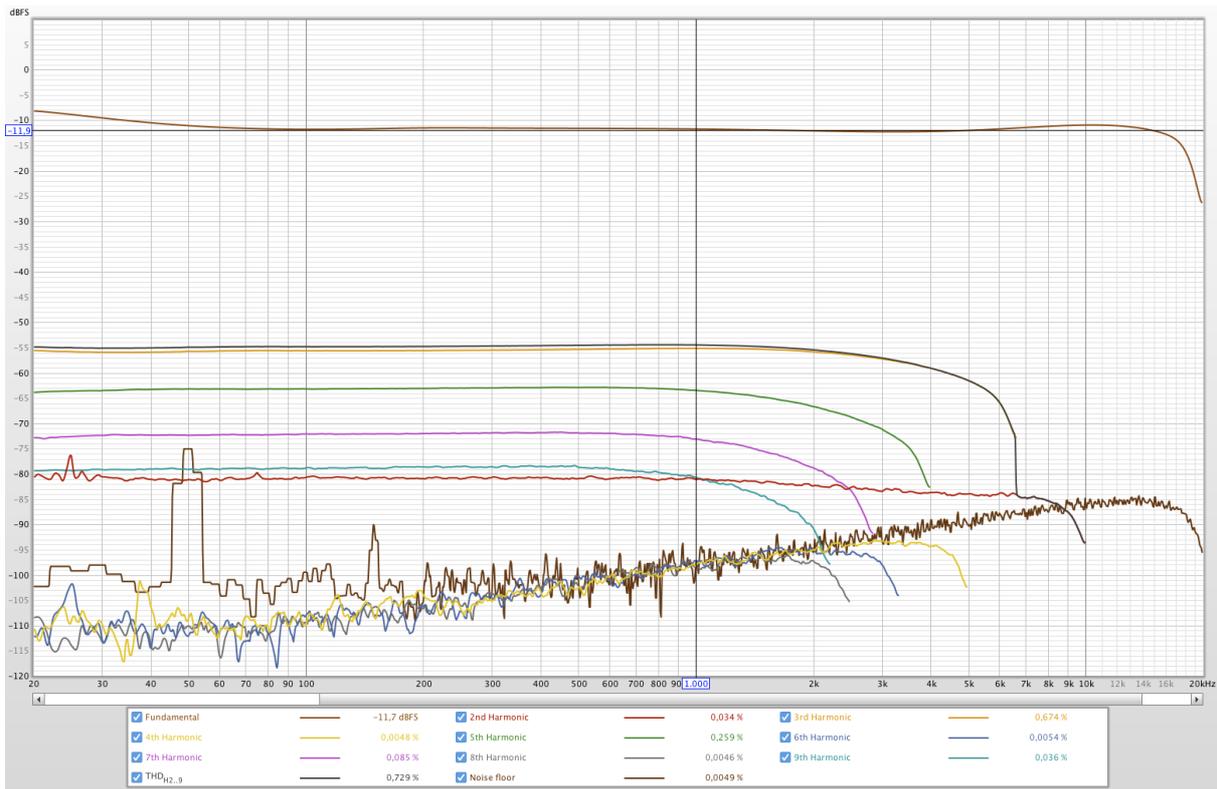


Abbildung 112: Klirranalyse: UAD A800, Ampex 456, -12dBFS

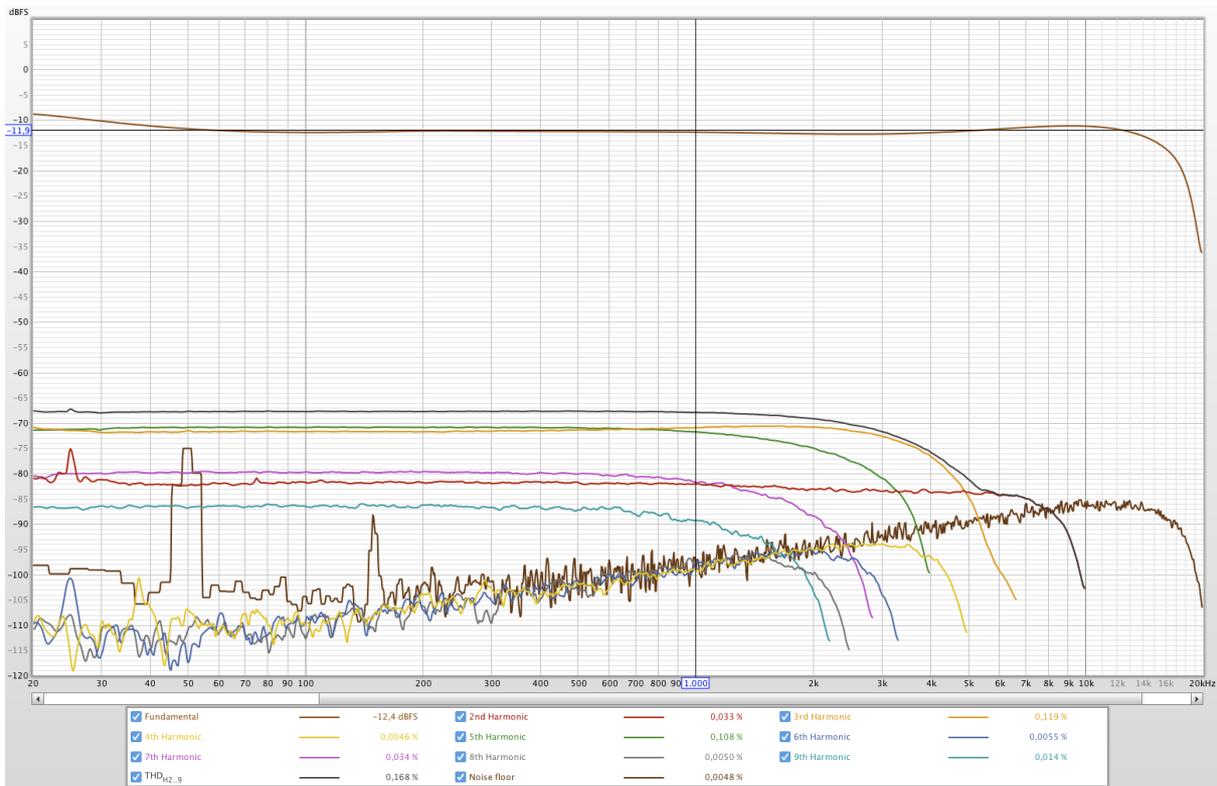


Abbildung 113: Klirranalyse: UAD A800, Scotch 250, -12dBFS

Zur Vervollständigung der Messreihe wurden auch die Verzerrungsmessungen noch bei +3dB über NAB Peak Level gemessen, also bei -9dBFS (+13dBu). Es zeigten sich folgende Ergebnisse:

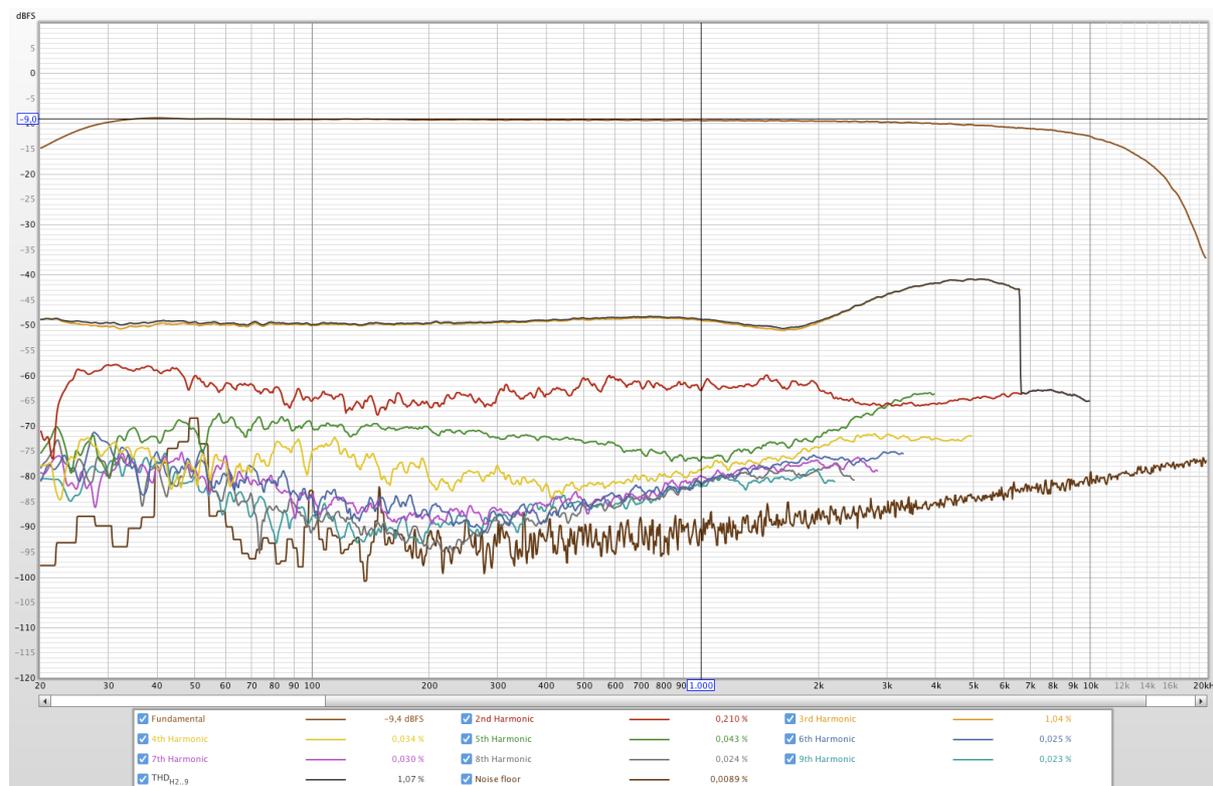


Abbildung 114: Klirranalyse: B67, Emtec SM468, -9dBFS

Die analoge Bandmaschine verzeichnet hierbei einen steilen Anstieg des Klirrfaktors von 0,55% (-12dBFS) auf 1,07%, wobei hier erst jetzt die K5-Komponente langsam ansteigt und überhaupt sichtbar wird, die Hauptkomponente K3, welche mehrheitlich durch das Band und den Aufzeichnungsprozess selbst erzeugt wird, steigt auf etwas über 1%, hier kann durchaus von einem klangfärbenden Prozess gesprochen werden, zumal bei Frequenzen um 4 bis 5 kHz die Klirrdämpfung schon nur noch rund -30dB beträgt, was einem Klirrfaktor von über 3% entspricht. Dies ist jedoch wieder die theoretische Annahme mit einem Sinus-Testsignal, in der Praxis und bei normaler Energieverteilung eines typischen Musiksignals werden bei gegebenem Pegel keine Werte dieser Art auftreten.

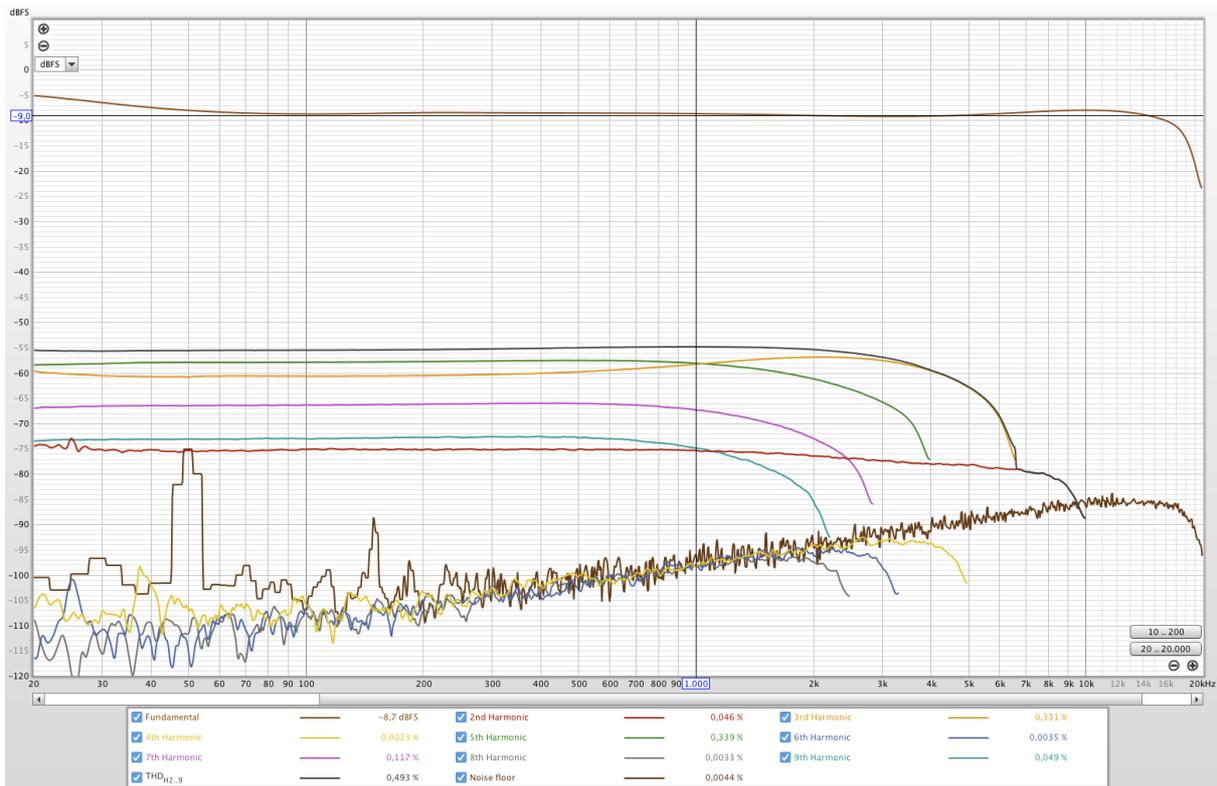


Abbildung 115: Klirranalyse: UAD A800, Ampex 456, -9dBFS

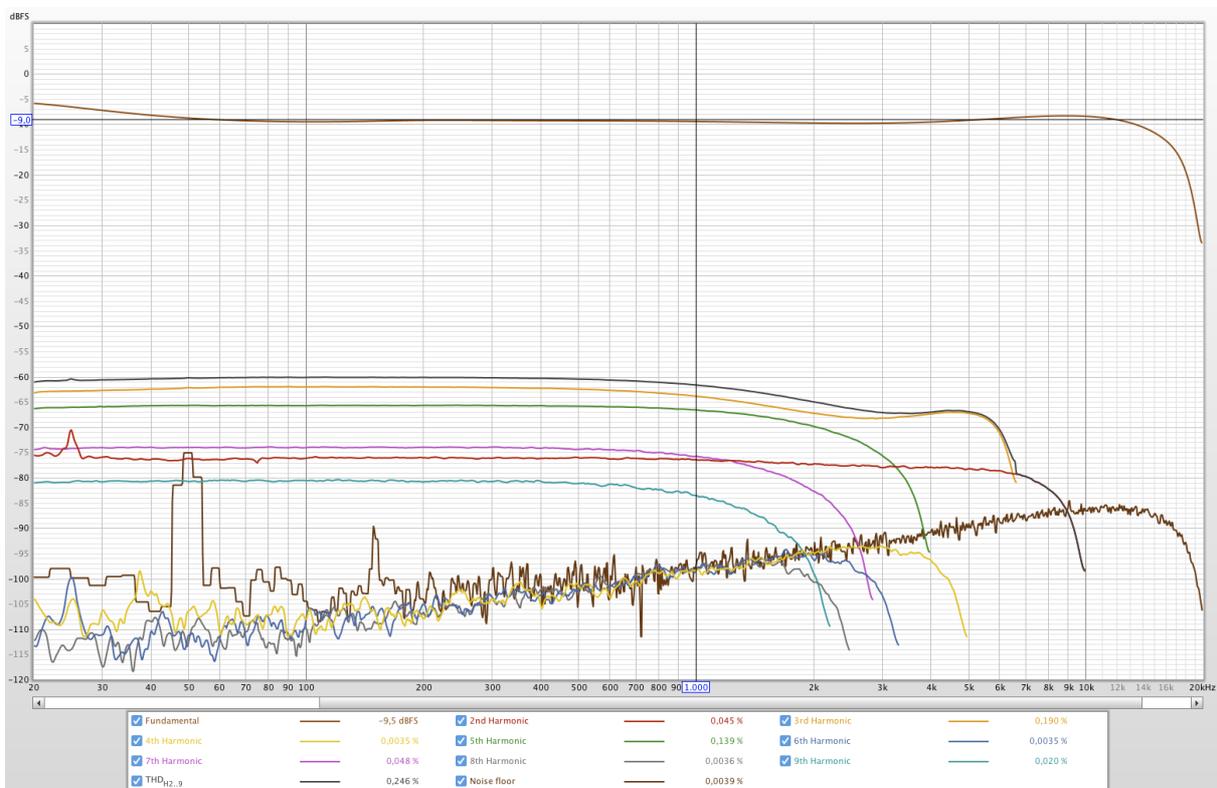


Abbildung 116: Klirranalyse: UAD A800, Scotch 250, -9dBFS

UAD Studer A800 mit Bandtyp 456 zeigt auch hier wieder ein etwas widersprüchliches Verhalten, denn trotz Erhöhung des Eingangssignals ist der Klirrfaktor gesunken, zudem dominiert die K5-Komponente, K3 ist um die Hälfte gesunken. Üblicherweise ist bei Magnetband immer die K3 Komponente dominant.

Bandtyp 250 zeigt einen leichten Anstieg im Gesamtklirr, der aber auf geringem Niveau verbleibt und dabei weniger als 0,25% beträgt. Ob das mit einem Bandtyp aus den 1970er-Jahren realistisch ist, kann leider anhand dieses Vergleichs nicht herausgefunden werden. Allerdings wurde in der Zeitschrift Hifi-Exklusiv (Nietsche-Verlag) diverse Spulentonbänder getestet, darunter Ampex 456 und Scotch 256, also ein Nachfolger des 250. Dieses schnitt im genannten Test nicht überragend ab und lag in Sachen Klirr und Aussteuerbarkeit hinter dem 456.<sup>99</sup>

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Einzelkomponenten der Verzerrungen nicht immer einer guten Korrelation zwischen Hardware und Emulation unterliegen. Tendenzen sind da, normalerweise dominieren bei beiden Varianten im Klirrfaktor K3, wobei das restliche Spektrum und auch die frequenzabhängige Erscheinungsform nicht immer gleich, allenfalls aber ähnlich sind. Bei der Pluginvariante erscheinen manche Pegelabhängigkeiten zumindest merkwürdig.

### 13.6 Rechteckübertragungsverhalten

Als letzte Messung wurde das Rechteckübertragungsverhalten der drei Systeme verglichen, also reines D/A - A/D Loopback, Studer A800 Plugin und die analoge B67.

Dass sich hier Unterschiede zeigen werden ist schon aufgrund der bereits dargestellten Frequenz- und Phasengängen der Systeme zu erahnen, die analoge Hardware zeigt ein 12dB/Oktave Hochpassverhalten, sodass hier eine Änderung zu erwarten ist.

Generell ist das Rechteckübertragungsverhalten eine Messtechnik, die verschiedene Rückschlüsse über ein Testsystem zulässt, wobei zumeist Filter, Verstärker und andere Audioschaltkreise gemessen werden. Eine perfekte Rechteckwelle existiert in der analogen Welt nicht, da die Anstiegszeit an den Flanken unendlich klein sein müsste, was real nicht möglich ist. Zudem werden digitale Rechteckwellen in übli-

---

<sup>99</sup> Hifi Exklusiv 1980 - Vergleichstest Spulentonbänder – Studiobänder, PDF

chen Tongeneratoren oft auf FFT-Basis (Fouriersynthese) erzeugt, weshalb sie ein Überschwingen an den Kanten aufweisen (Gibbsches Phänomen). Deshalb ist die genaue Betrachtung der Messungen erforderlich, damit daraus keine falschen Schlüsse gezogen werden.<sup>100</sup>

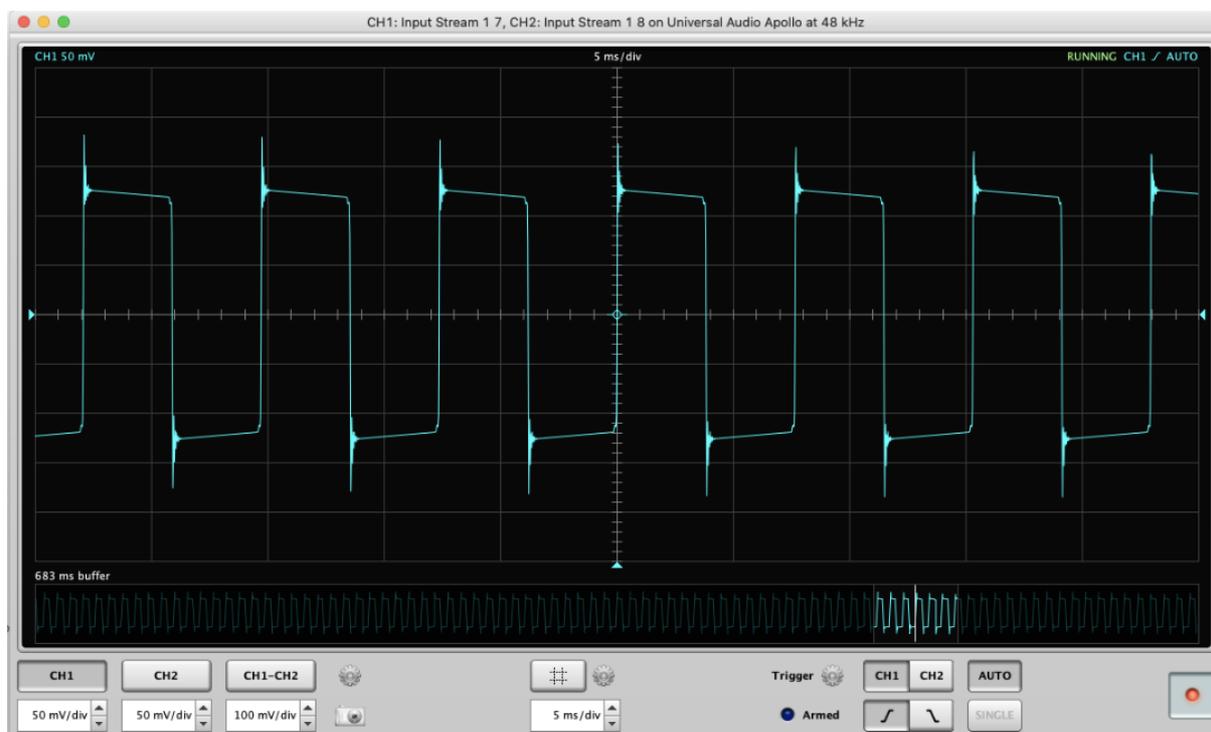


Abbildung 117: Square Wave Response UA Apollo Loopback

Wie zu erwarten zeigt sich das Interface zusammen mit einer Loopbackschleife vorbildlich. Im Signal sind die Überschwinger des durch FFT erzeugten Rechtecksignals zu erkennen, ansonsten keine weitere Veränderung des Signals.

Die Response der analogen B67 (Abbildung 118) sieht an dieser Stelle im Vergleich zum Originalsignal deutlich verändert aus. Dies liegt unter anderem im Phasenverhalten der Maschine begründet, die Ausgangswellenform entspricht der eines 12dB Filternetzwerkes.<sup>101</sup>

100 Rod Elliott - Squarewave Testing, 2015, PDF

101 Rod Elliott - Squarewave Testing, 2015, PDF

Dies bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass das Signal für das menschliche Ohr deutlich anders klingen würde, das Obertonspektrum bleibt bestehen, lediglich die Phasenlage zwieschen den Komponenten des Signals ändert sich. Studer B67 zeichnet den initialen Überschwinger der Rechteckwelle gut auf, er nimmt sogar etwas im Pegel zu.

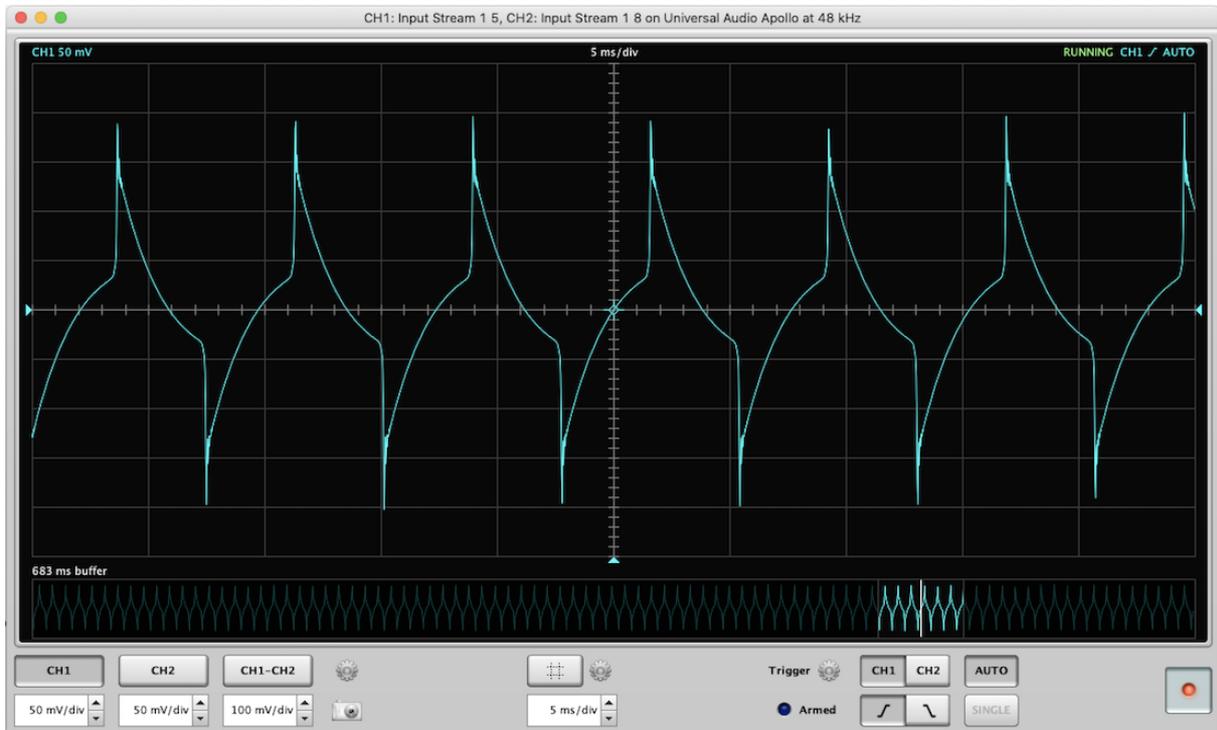


Abbildung 118: Square Wave Response B67

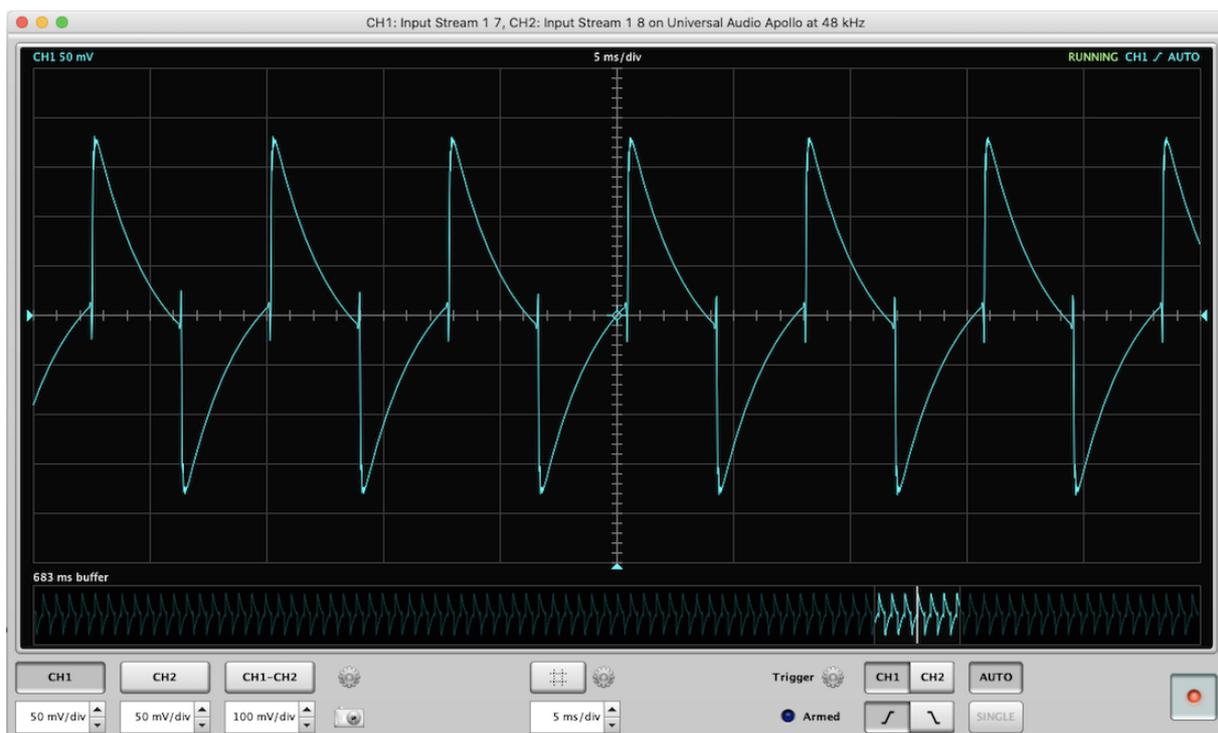


Abbildung 119: Square Wave Response UAD A800

Auch die Emulation der Studer A800 zeigt ein Verhalten, was auf ein Filternetzwerk zweiter Ordnung hindeuten würde, allerdings war dies bei den initialen Messungen (Frequenzgang, Phase) nicht sichtbar. Der initiale Überschwinger scheint in seiner Amplitude modifiziert. Generell entstehen hierbei harte Sprungstellen, die an DSP-Prozessierung erinnern.

### **13.7 Fazit der Messergebnisse**

Mittels der digitalen Messumgebung konnte ein guter und praxisgerechter Vergleich stattfinden, die verwendeten Werkzeuge, Tools und Software erscheinen geeignet, um eine visuelle Vergleichbarkeit zwischen dem analogem Gerät und der digitalen Emulation herzustellen. Es konnten hierbei einige Gemeinsamkeiten aufgedeckt werden, die Entwickler des UAD Studer Plugins haben viele technische Details erfasst und bieten dem Nutzer eine Auswahl an Möglichkeiten, die einer echten Bandmaschine sehr nahe kommen oder eine solche Nutzungserfahrung noch überbieten. Praktisch ist das nahtlose Umschalten zwischen verschiedenen Bandmaterialien, internen Kalibrierungseinstellungen, EQ- und Biaseinstellungen, so kann schnell ein interessantes Klangbild gefunden werden. Allerdings ist dies genau genommen eine technische Zweckentfremdung, da der Anspruch von Studer-Bandmaschinen eine möglichst große Neutralität dem Signal gegenüber war und ist.

Ferner wurde auch in den verschiedenen Vergleichsmessungen deutlich, dass nicht alle Eigenschaften einer analogen Bandmaschine emuliert wurden. Ob dies jedoch aus Gründen der DSP-Einsparung oder programmiertechnischer Komplexität geschah, kann nicht beantwortet werden, möglicherweise wurden bei der Entwicklung auch gewisse Eigenschaften als klanglich irrelevant bewertet.

Deutlichen Wert wurde offensichtlich auf die internen EQ- und Kalibrierungsdetails gelegt, hier stimmen Werte und Regelbereiche gut überein, ebenfalls überrascht hat, dass das Spektrum der Störgeräusche sehr gut übereinstimmt und sogar ein Trafo-brummen emuliert wurde. Weniger erfreulich ist die komplette Abwesenheit aller Eigenschaften, welche eher statistischen Charakter haben, wie zum Beispiel das Fehlen von Azimutfehler und den damit verbundenen Phasenverschiebungen zweier Kanäle zueinander, eine Eigenschaft, deren klangliche Wahrnehmbarkeit in manchen Fällen nicht wegzudiskutieren ist. Ebenfalls überraschend ist, dass keine Sättigung

im Bereich der hohen Frequenzen (und damit der kurzen Wellenlängen) emuliert wurde. Wie sehr dies klanglich auffällt, ist vom Eingangssignal abhängig. Bei Signalen mit hohem Energieanteil in den hohen Frequenzen könnte dies auffallen, vor allem bei kleinerer Bandgeschwindigkeit. Spannend zu ermitteln wäre an dieser Stelle, wie sich Bandedulationen anderer Hersteller in diesem Bereich verhalten. Kandidaten gäbe es hierbei einige, jedoch wurde für die vorliegende Arbeit absichtlich Studer mit Studer verglichen, zumal das UAD Plugin auch mit einem Anspruch auf Authentizität wirbt.

## **14. Abschliessender Hörvergleich**

### **14.1 Beschreibung des Vergleichs**

Zum Abschluss der Arbeit soll ein Hörvergleich mit einem Musikstück stattfinden, wobei ein digitaler „In-The-Box“ Mix (und Master) jeweils über die analoge Studer B67 und über das digitale Studer A800 UAD Plugin prozessiert werden soll. Drei unabhängige Testhörer wurden zu einem Blindtest eingeladen, welche im Anschluss ein Statement zu den unterschiedlichen Aufnahmen geben sollten.

Als Musikmaterial wurde ein Stück der Stuttgarter Band „BFAD“ gewählt, welches dem Debütalbum der Band entstammt (Name des Albums: „Elephant“) und Ende des Jahres 2021 vom Autor der vorliegenden Arbeit digital gemischt und gemastert wurde. Das Stück heißt „Schwalbe“ und besteht von der Besetzung her aus Drums (Bastian Kilpert), Bass (Francois Saroine), Keys / Piano (Daniel Weiß) und Gitarre (Alex Beham). Zu der klassischen Besetzung wurden bei einigen Stücken des Albums per Overdubverfahren Synths, Sampler und weitere Percussionselemente zum Einsatz gebracht, wie auch bei dem hier vorgestellten Stück „Schwalbe“. Die Band bietet durch den unterschiedlichen musikalischen Background der Bandmitglieder ein breites Klangspektrum mit Fokus auf Crossover zwischen Jazz und Popmusik.

Die Wahl fiel aus mehreren Gründen auf diesen Titel:

- Der Titel bietet eine Spieldauer von ca. 4 Minuten, nicht zu lang und nicht zu kurz für einen Hörvergleich
- Der Spannungsbogen ist derart gestaltet, dass der Titel sich langsam aufbaut

- Die erste Hälfte ist dezenter instrumentiert und gespielt, sodass gut auf die Räumlichkeit geachtet werden kann (Hall und Raum auf Drums, Gitarrendelays und -ambiances, Piano, feindynamische Unterschiede treten hier deutlicher zu Tage)
- Der zweite Teil bietet eine deutlich härtere Gangart mit höheren Durchschnittspegel, ein Synth kommt hinzu, das Signal wird laut und dicht, hier kann auf die Sättigungs- und Kompressionseffekte geachtet werden, Schlagzeug wird deutlich lauter gespielt
- Die Mischung und das Mastering erfolgte durch den Autor ohne den Einsatz von Magnetband und/oder deren Emulationen
- Die Band stellte den Song für Demozwecke im Rahmen der vorliegenden Arbeit freundlicherweise zur Verfügung

Die Mischung des Songs entstand im Rahmen des Album-Mixing für die Band und wurde für diesen Vergleich nur minimal angepasst. Es handelt sich um ein rein digitales Mix/Master, welches innerhalb der DAW Ableton Live erstellt wurde. Zu Processingzwecken wurden Plugins aus der Ableton Suite selbst, aber auch von Drittherstellern verwendet. Das Master ist auf der Summe zuletzt leicht limitiert, die Band äusserte nicht den Wunsch, die Dynamik extrem einzuschränken. Dies wurde auch für die hier verwendete Testvariante beibehalten.

Für die Testaufnahmen wurde das digitale Master auf -9dBFS gepegelt, was einem Ausgangspegel von +13dBu am Ausgang des UA Apollos entspricht, also +3dB über den NAB Peak Level, um die analoge Bandmaschine nicht zu dezent anzufahren. Die Datei wurde bei selbem Pegel wiederum auch mit dem UAD Studer Plugin prozessiert.

Die weiteren Parameter entsprechen denen der Messroutinen:

CCIR-Entzerrung, 19cm/s Bandgeschwindigkeit, Studer B67 mit Bandtyp Emtec SM468, UAD Studer Plugin auf +3CAL, CCIR und mit Bandtyp Ampex 456, sowie im Level an die B67 angepasstem Rauschwert. Der resultierende Bandfluss entspricht also  $500\text{nWb/m} + 3\text{dB} = 710\text{nWb/m}$ , ein ordentlicher, aber nicht übertriebener Wert.

Als Erinnerung: Messungen zeigten bei diesen Werten frequenzabhängig Verzerrungen von 1 - 2%.

Die drei resultierenden Audiodateien wurden an drei externe Experten zum Blindtest übermittelt. Natürlich wurden die Dateien mittels der Nomenklatur „File A“, „File B“, und „File C“ namentlich unkenntlich gemacht. Den Testprobanden wurde keine vorher eng definierten, genauen Bewertungskriterien genannt, allerdings wurde angeraten, auf Unterschiede hinsichtlich Frequenzbild, Auflösung, Tiefenstaffelung, Dynamik, Dreidimensionalität und Aggressivität der Varianten zu achten und ein Gesamtgefühl zu formulieren.

## 14.2 Testhörer 1: Jan Bieletzki

Jan Bieletzki, HdM Master Absolvent, Junior Solution Architect im Bereich Audio (Qvest GmbH)

"File A und File C weisen im Vergleich zu File B einen höheren Noise-Floor auf. Nach meinem Empfinden unterscheiden sich die drei Hörbeispiele aber nur geringfügig.

File A wirkt im Gegensatz zu File B homogener, räumlicher und gleichzeitig lebhafter, dynamischer. Die Räumlichkeit macht sich beispielsweise bei dem Gitarren-Delay bemerkbar. Dafür verliert die Snare Drum gegenüber der in File B etwas an Attack.

File B ist insgesamt cleaner und das Drumset hat für mich etwas mehr Punch. Das Frequenzspektrum scheint minimal aggressiver in den oberen Mitten zu sein. Hi-Hat und Becken wirken etwas fokussierter. Die Kick Drum besitzt in diesem Hörbeispiel am meisten Low-End.

File C ist ähnlich wie File A etwas räumlicher. Dafür wirkt die Mischung klanglich un- ausgewogener. Gerade im tieferen Frequenzspektrum ist der Bass zwar mächtiger, aber auch unruhiger. Der Grundton der Gitarre wirkt lauter.

Meine persönliche Präferenz schwankt zwischen File A und File B. File A wirkt klanglich sehr ausgewogen. Hingegen besitzt File B etwas mehr Punch und Groove. Die Vorteile eines Bandmaschinen-Processings sind für mich in diesem Fall nicht eindeutig erkennbar."

Mein Tipp:

File A = Original Bandmaschine

File B = Digital Master

File C = Plug-in Bandmaschine

### **14.3 Testhörer 2: Nikolas Herz**

Nikolas Herz, selbstständiger Sounddesigner u.a. für Apple, U-He, East West

„Die Unterschiede sind meines Erachtens nach durchaus hörbar, aber doch marginal, mir persönlich gefällt „File A“ am besten.

Ich bin der Meinung, dass ein echtes Band so klingen sollte, zumindest meiner Hörfahrung nach. Das Kompressionsverhalten ist für meine Ohren typisch für eine gute, leicht angesättigte Tapeaufnahme, das angenehm papier-artige (wenig metallische) Höhenbild spricht dafür, speziell wenn der Schlagzeuger ordentlich die Bassdrum oder das Crashbecken anspielt. Die Overheads klingen für mich hier auch am besten. Weiter diese unaufgeregte "Zappigkeit" der Transienten - das klingt für meine Ohren durchaus ordentlich nach einem guten Tape. Es kommt hier für mich ein spürbarer „Glue-Faktor“ zum Tragen, der das Drumset insgesamt stimmiger klingen lässt.

Ob das nun aber tatsächlich der Wahrheit entspricht? Mit 100%-iger Sicherheit kann ich es nicht sagen, aber für meine Ohren klingt es so.

Weiters bin ich der Meinung, „File C“ könnte die „In The Box“ Mischung sein. Das File ist meiner Einschätzung nach am harschesten und aggressivsten, allerdings ist das nur im direkten Vergleich zu den anderen Versionen bemerkbar.

Ich hätte das ohne direkten A/B/C Vergleich nicht als harsch bezeichnet - aber unter diesen Voraussetzungen bin ich der Meinung, dass die Transienten zwischen 4kHz und 8-10 kHz in dieser Version am prominentesten und lautesten sind.

Meiner Erfahrung nach macht dies eine Bandsättigung eher nicht, sondern eher das Gegenteil.

Deshalb komme ich zu dem Schluss, dass „File B“ die Bandemulation sein könnte. Ich muss aber dazu sagen, dass ich mir zwischen B und C sehr unsicher bin, weil File C mir etwas lauter vorkommt?

File B klingt für meine Ohren besser als File C, es klingt meiner Meinung nach ausgewogener und aufgeräumter.

Zusammengefasst: diese typisch papierartig, organisch anmutende Plastizität speziell im Höhenbereich ist bei "File A" meiner Meinung nach am deutlichsten und die angenehme Färbung davon fehlt mir bei „File B“ irgendwie ein bisschen. Bei „File C“ ist diese Färbung für meine Ohren gänzlich nicht vorhanden.

Also - meine Meinung:

File A = Originale Bandmaschine

File B = UAD Studer Emulation

File C = Digitaler Mix

Ich möchte aber nochmals betonen, dass ich mir hierbei nicht sicher bin und dass es vermutlich für einen Endkunden mit weniger geschultem Ohr und/oder weniger guter Abhörsituation schwierig sein wird, die Unterschiede klar zu benennen oder ohne direkten Vergleich überhaupt wahrzunehmen.

#### **14.4 Testhörer 3: Paul Linke**

Paul Linke, Audio Engineer, Lautsprecherdesigner

Danke für die Testfiles, ich bin der Meinung, dass die Unterschiede hörbar, aber nicht gravierend sind. Ich musste an bestimmten Passagen mehrfach hin und her schalten, ich glaube nicht, dass bei dem Anwendungsfall einem Endkunden große Unterschiede auffallen würden.

File A: klingt für mich am offensten und etwas organischer, als die anderen beiden Dateien. Die Transienten wirken minimal weicher und generell klingt diese Variante für mich am wertigsten, ohne jedoch weniger Höhen zu haben. Hochmitteltonbereich wirkt dreidimensional. Ich vermute hier die echte Studer Bandmaschine.

File B: Klingt für mich am flachsten, etwas weniger Bass, dadurch etwas mittiger, Höhen etwas aggressiver, es klingt für mich nach digitaler Sättigung, deshalb vermute ich hier das UAD Studer Plugin

File C: Mehr Low End, dadurch wirkt der Bassbereich etwas aufgebläht, ansonsten ausgewogen, aber wenig speziell in irgendeine Richtung, deshalb vermute ich hier den digitalen Mix.

#### 14.4.1 Auflösung und Testfazit

File A = Studer B67

File B = digitaler ITB Mix

File C = UAD Studer Plugin

Auffällig an dieser Stelle ist, dass alle drei Probanden den mittels der analogen Studer B67 prozessierten Mix mit ähnlichen Worten beschrieben haben, als „organisch“, „weich“, „dreidimensional“, aber auch als etwas reduziert in den Transienten.

Dies ist gut möglich, da obwohl die Probanden eine subtile Anwendung vermuteten, der Aufzeichnungsbandfluss nicht gern war. Hier wird eine HF-Sättigung und eine generelle Bandkompression beschrieben, die für dieses etwas weichere Klangbild verantwortlich ist. Die Dreidimensionalität im Klang wird durch leichte Pegelschwankungen und die Varianz im Azimut hervorgerufen. Auch wurde der Mix als der mit dem größten „Glue-Faktor“ beschrieben, ein Studiobegriff, der ein besonders kohärentes Klangbild mit ausgewogener Dynamik beschreiben soll.

Der rein digitale ITB Mix wurde von zwei der drei Testhörer dem UAD Studer Plugin zugeordnet, da er sich zwischen den Welten befindet. Er wurde sowohl als „ausgewogen“, wie auch als „flach“ bezeichnet, was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass das UAD Studer Plugin eine deutliche Änderung im Frequenzgang bewirkt, namentlich einem LF-, sowie einem MF-/HMF-Boost. Möglicherweise wurde hier eine durch das Plugin verursachte Klangfärbung in die entgegengesetzte Richtung erwartet.

Jedenfalls hat keine Testperson dem mit dem UAD Studer Plugin prozessierten Mix ein organisches Klangbild attestiert, wie es bei File A der Fall gewesen ist. Ebenso hat kein Testhörer File C bevorzugt.

Für die vorliegende Arbeit ist dies trotzdem ein im Sinne der Wissenschaft gutes Ergebnis, denn es deckt sich mit den Ergebnissen der Messreihen. Die Messungen ließen vermuten, was die Testhörer trotz nur marginaler Unterschiede zuverlässig herausgehört haben. Allerdings darf auch hier die allgemein vorherrschende Meinung nicht unterschlagen werden, dass diese Unterschiede erst im direkten Vergleich wirklich auffallen. Trotzdem könnte man sagen, dass sich gerade bei Mastering-Anwendungen solche Subtilitäten schnell aufsummieren können, sodass hier die Anwendung einer echten Bandmaschine von Nutzen sein könnte.

## **15. Gesamtfazit und Schlusswort zur Arbeit**

In der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Aspekte der Technologie Magnetband beleuchtet, die die Aufnahmeindustrie revolutionierte und bis heute beeinflusst. In Zeiten absoluter Schnellebigkeit der Technik ist dies eine bemerkenswerte Sache, weshalb für diese Arbeit die Entscheidung fiel, auch den geschichtlichen Aspekt der mechanischen und der magnetischen Tonaufzeichnung genauer zu beleuchten, denn es waren diese initialen Gedanken, Entwicklungen und Patente, die es uns heute ermöglichen, Musik und andere Medien so konsumieren zu können, wie es längst zur Gewohnheit wurde. Speziell auch die Rolle des Magnetbands in Studios und beim Rundfunk wurde hierbei genauer betrachtet, ebenso wie frühe technische Details und Entwicklungen, die zur maßgeblichen Verbesserung dieser Technik beitragen konnten. Eigenschaften der verwendeten Bandmaterialien und Beschichtungen, die Entdeckung der HF-Vormagnetisierung, dies waren neben komplexeren und erweiterten elektronischen Schaltungen die Kernpunkte, die diese Technik so vorantreiben konnten, dass sie den Grundstein der Aufnahmeindustrie setzen konnte. Auch die Rolle des Magnetbands im semiprofessionellen Anwendungsgebiet wurde beschrieben, wie auch die Entstehung des Multitrackings. Diese Technik begründete moderne Musikaufnahmen mit Overdubs und nachträglich hinzugefügten Effekten, sodass es schon bald als Grundvoraussetzung einer Musikproduktion galt. Neben der Entwicklung und geschichtlichen Details wurde die technische Seite der Ton- / Signalaufzeichnung mittels Magnetband analysiert. Neben den

Grundlagen der Induktion, Hysterese und ferromagnetischen Materialien wurde der Aufzeichnungsprozess genauer betrachtet, zum einen von physikalischer Seite, zum anderen wurden auch historisch-technische Eigenheiten wie beispielsweise die Entwicklung verschiedener Entzerrungskonstanten beleuchtet. Selbstverständlich fand auch eine kurze Vorstellung der Firma Studer statt, der Hersteller des analogen Testgeräts der vorliegenden Arbeit, sowie auch der ursprüngliche Hersteller der durch Universal Audio digital emulierten Studer A800. Weiters folgten einige Gedanken zum Thema „analog modeling“ und generellem component-modeling in der digitalen Welt des DSP, wobei dies ein sehr komplexes Thema darstellt, was sicher eine eigene Masterthesis füllen könnte.

Die Messreihen des praktischen Teils der Arbeit konnten mit einer guten Vergleichbarkeit zwischen analogem Gerät und digitaler Nachbildung durchgeführt werden, wodurch Gemeinsamkeiten und Unterschiede übersichtlich herausgearbeitet werden konnten. Ein abschließender Hörvergleich bestätigte die durch Messungen ermittelten Eigenschaften und Tendenzen.

Die Fragestellung, ob ein VST-Tape-Plugin alle Eigenschaften einer echten analogen Bandmaschine emuliert ist nun zumindest hinsichtlich des UAD Studer A800 Plugins geklärt. Spannend wäre es zu ermitteln, wie sich Bandemulationen anderer Hersteller in dieser Disziplin (detailtreue der Emulation) schlagen, ob hier beispielsweise die HF-Sättigung oder Azimutschwankungen finden würden. Eine detaillierte Untersuchung weiterer Plugins hätte jedoch den Rahmen der Arbeit gesprengt, allerdings kann der interessierte Leser anhand der in dieser Arbeit enthaltenen Informationen, sowie des vorliegenden Messleitfadens eigene Untersuchungen seiner Plugins durchführen.

Im Falle des UAD Studer A800 Plugins kann gesagt werden, dass einige Eigenschaften einer echten Studer Bandmaschine treffend modelliert wurden, während andere, generell bei jeder Bandmaschine vorhandenen Details gänzlich fehlen, welche jedoch nach Ansicht des Autors klangprägend sind. Dies konnte im Blindtest zumindest ansatzweise verifiziert werden, wenn auch die Personengruppe letztlich relativ klein war.

Für die Testhörer hatte jedenfalls der mit dem UAD Studer Plugin prozessierte Mix nicht die Klangeigenschaften, die einer echten Bandmaschine zugeordnet werden. Es wäre also zu untersuchen, inwiefern andere Tape-Plugins näher an das Original

kommen könnten um die Frage zu beantworten, ob ein Plugin hier ein analoges Gerät ersetzen kann.

Zum Abschluss bleibt die Frage, ob nun eine analoge Bandmaschine einen Mehrwert in einer digitalen Arbeitsumgebung bietet. Dies kann aus Sicht des Autors mit einem ja und auch mit einem nein beantwortet werden. Es kommt hierbei sicher auf den Einsatzzweck an und was damit erreicht werden will. Von einer gut eingestellten Bandmaschine darf für einen bereits fertigen Mix, welcher üblicherweise schon etwas in der Dynamik eingeschränkt ist, keine immense klangliche Veränderung erwartet werden, solange man die Maschine in einem üblichen Pegelbereich betreibt. Diese Maschinen hatten und haben den Sinn, ein Signal - im Rahmen ihrer Möglichkeiten - so originalgetreu wie möglich aufzunehmen und wiederzugeben, und gerade Geräten aus dem Hause Studer wurde eine große Neutralität attestiert. Anders sieht es natürlich aus, wenn ein solches Gerät weit ausserhalb der Spezifikation des Bandes und/oder der Maschine selbst betrieben wird, sodass eine ausgeprägtere Klangfärbung provoziert wird. Ein Anwendungsfall wäre beispielsweise das Tracking von akustischem Schlagzeug, wo gerne hoch ausgesteuert wird und die trägen VU-Meter die dabei auftretenden, heftigen Pegelspitzen nicht darstellen, sodass diese durch Band und Maschine gedämpft werden, weshalb Schlagzeugaufnahme auf Band ein besonderer Klang nachgesagt wird, was ebenfalls im Hörvergleich auffiel. Letztenendes muss auch jeder Studiobetreiber für sich selbst entscheiden, ob die Wartungs- und Anschaffungs- und Unterhaltskosten für eine analoge Bandmaschine im Kontext der Klanggestaltung gerechtfertigt sind. Üblicherweise benötigen diese Maschinen heute eine grundlegende Überholung der Elektronik, dass eine Betriebssicherheit und eine Funktion gemäß der Werksspezifikationen gewährleistet ist. Hinzu kommen Kosten für Bandmaterialien, die heute glücklicherweise in guter Qualität erhältlich sind, ebenso ein gewisser Platzbedarf für das Gerät und die Verbrauchsmaterialien. Vor diesem Hintergrund ist es verständlich, dass virtuelle Bandmaschinen eine spannende und vielversprechende Sache sind, die ebenfalls mit Potential zur Klangfärbung eingesetzt werden können, dabei aber keine laufenden Kosten verursachen. Der Hype ist also sicher nicht unberechtigt, auch wenn das hier getestete Plugin der analogen Hardware nicht in allen Eigenschaften entspricht.

## Nachtrag 1: UAD Metering

Im Kapitel 13.3.1 wurde beschrieben, dass das interne Metering des UAD Studer Plugins der NAB Konvention entspricht, was jedoch abhängig vom Routing ist. Dies stellte sich bei weiteren Messungen im Stereobetrieb heraus. Nur wenn das Plugin als Mono-Instanz in die UA Console App geladen wird und ohne Mono-Summierung auf -18dBFS Ausgangspegel am Monitorweg eingestellt wird, zeigt das VU Meter 0dBVU. Lädt man eine Stereo-Instanz beispielsweise innerhalb einer DAW, zeigt das VU-Meter bei einem Pegel von -18dBFS und konstantem Sinuseingangssignal einen Pegel von ca. -6dBVU, entspricht also weder einer NAB, noch einer CCIR Norm. Zur weiteren Untersuchung wurden andere UAD Plugins geprüft, wie zum Beispiel die 1176 Limiter Collection und die LA-2A Plugins. Bei einem Ausgangspegel von -18dBFS und ohne jegliche Gainreduction zeigt der LA-2A -3dBVU am Ausgang, der 1176 0dBVU. Es scheint, dass die übliche NAB-Konvention hier nicht überall gilt, obwohl dies in diversen Manuals seitens Universal Audio so beschrieben wird (-18dBFS = +4dBu = 0VU).

## Nachtrag 2: Dolbysysteme und damit verbundene Aufnahme-tricks

Während der Durchführung der Hörvergleiche wurde von einem Probanden das Thema Dolby und Rauschminderungssysteme angesprochen. Dieses Thema wurde in der Arbeit nicht behandelt, dabei hätte es durchaus eine Erwähnung verdient, vor allem im Kontext der Tatsache, dass hierzu mittlerweile auch digitale Emulationen existieren.<sup>102</sup> 1965 entwickelte der amerikanische Ingenieur Ray Dolby ein externes Gerät zur Verminderung des Bandrauschens bei Magnetbandaufnahmen, welches an eine Bandmaschine angeschlossen werden konnte.<sup>103</sup> Das nach dem Namen des Entwicklers benannte System „Dolby A“ konnte den hochfrequenten, gut hörbaren Anteil des Bandrauschens durch eine Komanderschaltung verringern, also eine Kompression der hohen Frequenzen bei der Aufnahme, gefolgt von einer deckungsgleichen Expansion bei der Wiedergabe. Später entstanden aus dem Team und Ray Dolby die Dolby Laboratories, welche unter anderem dieses System weiterentwi-

---

102 Audiothing - Type A - Dolby A Trick Plugin - Vintage Enhancer, PDF

103 Dolby Laboratories - Ray Dolby – ETHW, PDF

ckelten, es folgten Dolby B, Dolby C, Dolby S. Auch andere Firmen versuchten sich an solchen Systemen, wie z.B. DBX, Telefunken (Telcom) und Nakamichi (Highcom). Besonders bei Cassettenrecordern, die systembedingt ein deutlich höheres Bandrauschen aufweisen, konnte sich diese Technik durchsetzen.

Auch in Studios fanden sich die professionellen Systeme Dolby A und die später weiterentwickelte Variante Dolby SR wieder, was vor allem bei mehrfachen Kopiergenerationen Vorteile brachte: Submixes, Mischungen von Multitrackband auf eine weitere Bandmaschine, gefolgt von Mastering Band auf Band, diese Techniken bewirken, dass ein Bandrauschen von Generation zu Generation mitkopiert wird, wobei bei jeder Kopie neues Rauschen hinzukommt. Das Ergebnis ist eine wesentliche Einschränkung der Dynamik. Da dies unerwünscht ist, wurde die Technik dankend angenommen. Im Bereich professioneller Aufnahmetechnik wurden diese Schaltungen jedoch stets als externe Geräte verwendet, die zum Test nicht vorlagen, ebenso wenig verfügt das UAD Studer Plugin über eine Dolbyemulation. Der Aufnahmetrick, der jedoch am Ende der vorliegenden Arbeit erwähnt werden soll, liegt eigentlich in einer Zweckentfremdung dieser Schaltung, nämlich der Aufnahme mit Dolby A/SR Schaltung, bei gleichzeitiger Wiedergabe ohne Dekodierung. Das Ergebnis ist ein im Höhenbereich komprimiertes Klangbild, da die Komanderschaltung eingangsseitig die leisen Signalanteile bei der Aufnahme anhebt, es entsteht also bei Wiedergabe ein vom Eingangssignalpegel abhängig höhenlästiges Klangbild, ein Trick, der gerne genutzt wurde, um etwas dumpfe Aufnahmen deutlich lebendiger erscheinen zu lassen, als sie es in der Realität waren. Das Resultat gleicht dank der Dynamikbearbeitung nicht der eines EQs, sondern eher der Anwendung eines Multibandkompressors, bei dem nur das Höhenband arbeitet, jedoch auf eine sehr natürliche Art und Weise, weshalb vermutlich die Firma Audiothing das Plugin, die diese Technik emuliert, als einen „Vintage Exciter“ vermarktet. Wie bereits erwähnt konnte mangels Dolby Einheit diese Technik für die vorliegende Arbeit nicht praktisch untersucht werden, ein Hörvergleich wäre hier ebenfalls interessant gewesen. Schlussendlich soll dieser Punkt jedoch als Nachtrag am Ende dieser Masterthesis Erwähnung finden, vielleicht bietet die Thematik für einen Leser oder eine Leserin Inspiration zur wissenschaftlichen Untersuchung.

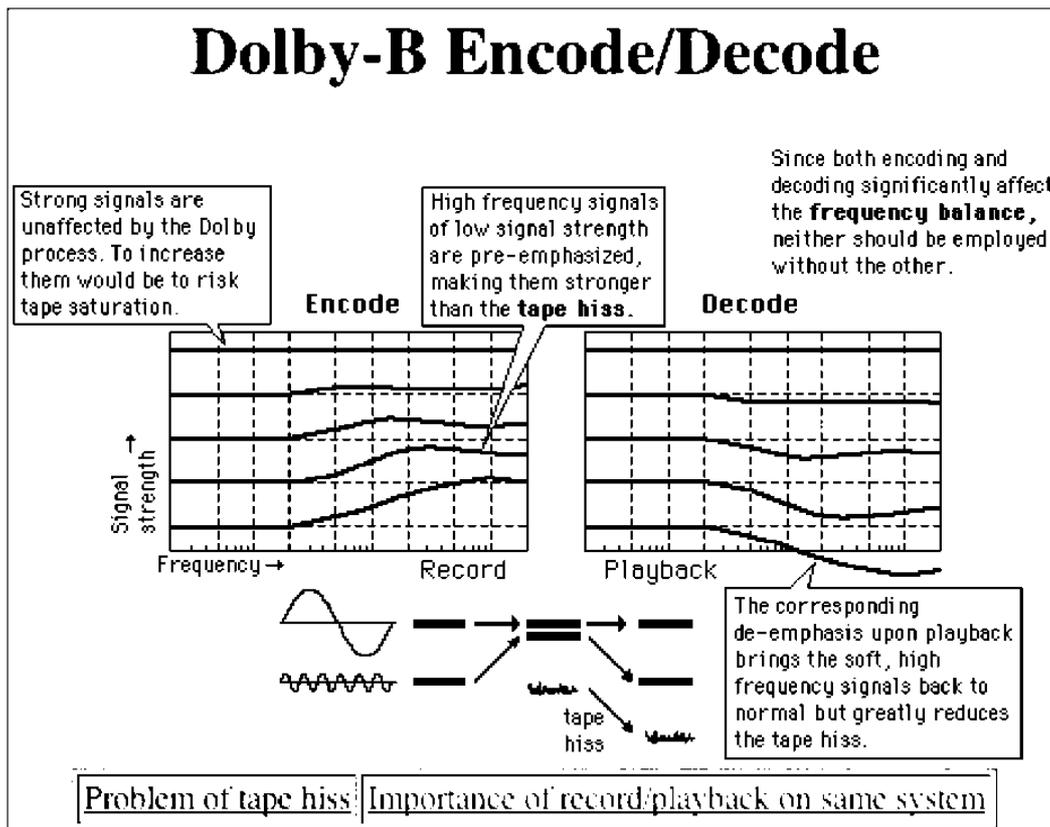


Abbildung 120: Dolby-B Verfahren

## **Danksagung**

An dieser Stelle soll ein Dankeschön an alle Professoren und Professorinnen der HdM Stuttgart ausgesprochen werden, die ich im Laufe des Bachelor- und Masterstudiums kennenlernen durfte. Die Vorlesungen waren immer spannend und informativ, gut strukturiert und durch aktuelle Themen geprägt, spannende Workshops und viele interessante Projekte stellten dabei regelmässig einen großen Praxisbezug her. Mein Dank geht ebenso an Frau Hochstetter, die stets und freundlich mit allen nötigen Informationen rund um Abschlussarbeiten und Prüfungen Hilfestellung bot.

Im Bezug auf die vorliegende Arbeit möchte ich besonderen Dank an Herr Prof. Oliver Curdt und Herr Rawand Baziany aussprechen, die sich bereit erklärt haben, dieses Thema zu betreuen.

Weiteren Dank möchte ich gegenüber den Testhörern Jan Bieletzki, Nicolas Herz und Paul Linke aussprechen, die die Hörvergleiche bearbeitet haben und wertvolle Feedbacks zurückgeben konnten, darüber hinaus in persönlichen Gesprächen inhaltliche Anregungen lieferten.

Allgemein möchte ich mich bei meiner Familie und Freunden für Rückhalt während der Studienzeit bedanken.

## Literaturverzeichnis

### Buchquellen:

**Webers**, Johannes, Tonstudioteknik: Handbuch der Schallaufnahme und -wiedergabe bei Rundfunk, Fernsehen, Film und Schallplatte, 4. Auflage, Franzis-Verlag München, 1985

**Dickreiter**, Michael, **Dittel**, Volker, **Hoeg**, Wolfgang, **Wöhr**, Martin. Handbuch der Tonstudioteknik, Band 1, 7. Auflage, Saur Verlag München, 2008

**Bremm**, Peter, Das digitale Tonstudio: Praktische Hilfe zur digitalen Tonstudioteknik, PPV Medien Bergkirchen, 2004

**Friesecke**, Andreas, Metering: Studio-Anzeigen lesen und verstehen, PPV Medien Bergkirchen, 2003

**Noltemeyer**, Stefan, Das neue digitale Tonstudio, PPV Medien Bergkirchen, 2015

**Warstat**, Michael, **Görne**, Thomas, Studioteknik: Hintergrund und Praxiswissen, Elektor Verlag Aachen, 4. Auflage 2001

**Meyer-Schwarzenberger**, Gernot, Pegel A, die Maße dB und dBm (dBu), SRT-Lernprogramm 113, Schule für Rundfunktechnik Nürnberg, 1976

**Henle**, Hubert, Das Tonstudio-Handbuch, Carstensen Verlag München, 4. Auflage, 2001

**Bernstein**, Herbert, Elektroakustik, Mikrofone, Klangstufen, Verstärker, Filterschaltungen und Lautsprecher, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2. Auflage 2019

**Burow**, Heinz W., Musik Medien Technik – Ein Handbuch, Laaber Verlag Lilienthal, 1998

### Digitale Quellen:

Alle digitalen Quellen, eBooks, Internetquellen, Abbildungen und technische Unterlagen liegen der Arbeit im digitalen Anhang bei. Internetquellen sind in PDF-Form hinterlegt, inklusive Originallink und Abrufdatum.

**eBooks:**

**Engel**, Friedrich, **Kuper**, Gerhard, **Bell**, Frank, **Münzner**, Wulf, Zeitschichten: Magnetband-technik als Kulturträger, Polzer Media Group Potsdam, 4. Ausgabe, 2020

**Sunier**, John, The Story of Stereo, Gernsback Library New York, 1960

**Internetquellen:**

40 years of the four-track, as the Portastudio powers on | E&T Magazine – 09-02-2022

1976 EMT Model 250 Digital Reverb 24-11-21

1978 Lexicon 224 Digital Reverb 24-11-21

A COMPARISON OF VIRTUAL ANALOG MODELLING TECHNIQUES FOR DESK-TOP AND EMBEDDED IMPLEMENTATIONS - Jatin Chowdhury - Stanford University - PDF – 10-05-2022

A Short History Of Multitrack Recording - producerhive.com – 06-02-2022

AES - An Afternoon with Bill Putnam - PDF 08-05-2022

Alexander Graham Bell - Erfinder des ersten funktionsfähigen Telefons - Medienwerkstatt-Wissen © 2006-2021 Medienwerkstatt 1-12-2021

AMPEX Model 200\_200A Tape Machine History and Information 12-01-2020

Audiothing - Type A - Dolby A Trick Plugin - Vintage Enhancer 28-06-2022

Azimuth Adjustment for Magnetic Audio Recordings, Chris Lacinak, PDF 03-04-2022

BASF technical bulletin #3 - BIAS - Terence O'Kelly PDF 25-03-2022

Blue Box Roland Juno-106 Analogsynthesizer - PDF – 10-05-2022

Digital Recording History - Invention of Digital Storage Mediums 24-11-21

Dolby Laboratories - Ray Dolby – ETHW 28-06-2022

Early History of the Microphone · Steele Vintage Broadcast Microphone Collection · UGA Special Collections Library Online Exhibitions 1-12-2021

Eine kleine Geschichte der Stereophonie - FIDELITY online 13-01-2021

Eine kurze Geschichte der Tonaufzeichnung - Digital Audio Systems 1-12-2021

Essence Reveals History of Stereophonic Sound 13-01-2022

Geschichte des Grammophon - Grammophon und Schellackplatten Portal 78rpm 3-12-2021

Grundwissen der Funktionsweise von Tonköpfen und Tonband, Brattig, 06-03-2022

Hifi Exklusiv 1980 - Vergleichstest Spulentonbänder - Studiobänder PDF 09-06-2022

History Of Recording - Les Paul - Tape Multitracking 16-1-2022

How Waves' Modeling Captures Analog Magic in a Digital World | Waves PDF 10-05-2022

HS Regensburg, Bemerkungen zu Magnetismus und Magneten 04-03-2022

Hugh Robjohns - A brief history of microphones 7-12-2021

Interessantes zur Geschichte der Tonaufzeichnung 1-12-2021

John McKnight - tape-reproducer-response PDF 19-04-2022

Josef Dorner- From 15 MilliMaxwell to 1,200 NanoWebers PDF 19-04-2022

Magnetic recording Jay Kadis 21-3-2022

Magnetisierungskurve und Hystereseschleife - Elektroniktutor – 09-03-2022

Mirasound Recordings Studios NY / historyofrecording.com / 03-02-2022

Multitrack Recording History and Invention - soundrecordinghistory – 06-02-2022

Rod Elliott - Squarewave Testing - 2015 - PDF – 10-06-2022

soundrecordinghistory - Invention of the Phonograph 2-12-2021

STUDER A80 - STUDER und ReVox Infoportal 04-02-2022

Studer B67, The RecorderMan PDF 04-05-2022

Studio Icons Studer J37 - MusicTech 16-1-2022

Tape Track Formats (HSR Jul 84), Paul Gilby 21-03-2022

TASCAM's Portastudio Thirty-Eight Years of Multitrack Audio Editing - The Broadcast Bridge - Connecting IT to Broadcast 06-02-2022

TEAC Tascam 144 4-Track Cassette Recorder - 1980s Demonstration 09-02-2022 (Video)

The Basics Of Magnetic Tape Recording - producerhive.net 06-02-2022

The history of the microphone lossenderosstudios.com 7-12-2021

The Magnetic Tape Viewer - see the sound on a tape 17-03-2022

The Mysteries of Metering Navigating the Path from Analog to Digital | Universal Audio 28-04-2022

The World's Oldest Stone Artefacts from Gona, Ethiopia Their Implications for Understanding Stone Technology and Patterns of Human Evolution Between 2·6–1·5 Million Years Ago - ScienceDirect 01-12-2021

Tonbandmuseum - Frühe Magnetbandaufnahmen 06-01-2022

Über die Berechnung des Magnetband-Aufzeichnungsverfahrens mit HF-Vormagnetisierung, Gillmann, TH Hannover, PDF 29-03-2022

Unit Two, Part One - History of Audio Recording – 06-02-2022

Universal Audio Company History PDF 08-05-2022

Walter Webers Technical Innovation at the Reichs-Rundfunk-Gesellschaft, Friedrich Engel 2006, 07-01-2022

### **Technische Unterlagen, Service Manuals und Datenblätter:**

Serviceunterlagen zu Studer A80 und Studer B67, sowie Studer Tonkopfkatalog

Datenblätter zu Bandtypen SM468, PEM468, PER525 / 555, PER528

Serviceunterlagen RTW 1206D

Bedienungsanleitungen Universal Audio Apollo und Native Instruments Audio 8

Universal Audio Unterlagen zu Plugins und DSP-Nutzung

## Quellen der Abbildungen

Abbildung 1,2: <https://grammophon-platten.de/page.php?19>

Abbildung 3, 6, 7: Eine kurze Geschichte der Tonaufzeichnung - Digital Audio Systems 1-12-2021

Abbildung 4: Hugh Robjohns - A brief history of microphones 7-12-2021

Abbildung 5: <https://de-de.neumann.com/cmV-3>

Abbildung 8, 9: **Engel**, Friedrich, **Kuper**, Gerhard, **Bell**, Frank, **Münzner**, Wulf, Zeitschichten: Magnetbandtechnik als Kulturträger, Polzer Media Group Potsdam, 4. Ausgabe, 2020

Abbildung 10, 11, 13: Walter Webers Technical Innovation at the Reichs-Rundfunk-Gesellschaft, Friedrich Engel 2006, 07-01-2022

Abbildung 12: <http://www.tonbandmuseum.info/aeg-telefunken.html>

Abbildung 14: [https://www.historyofrecording.com/AMPEX\\_Model\\_200.html](https://www.historyofrecording.com/AMPEX_Model_200.html)

Abbildung 15: **Sunier**, John, The Story of Stereo, Gernsback Library New York, 1960, S.76

Abbildung 16: <https://www.studerundrevox.de/kategorie/studer/analoge-tonbandgeraete/>

Abbildung 17: Studio Icons Studer J37 - MusicTech PDF 16-1-2022

Abbildung 18: Waves J37 Plugin

Abbildung 19, 20: <https://www.studerundrevox.de/studer/analoge-tonbandgeraete/studer-a80/>

Abbildung 21: [https://www.hifiengine.com/manual\\_library/teac/a-2340.shtml](https://www.hifiengine.com/manual_library/teac/a-2340.shtml)

Abbildung 22, 23: <https://eandt.theiet.org/content/articles/2019/09/40-years-of-the-four-track-as-the-portastudio-powers-on/>

Abbildung 24, 25, 30, 37, 39, 42, 43, 52: **Dickreiter**, Michael, **Dittel**, Volker, **Hoeg**, Wolfgang, **Wöhr**, Martin. Handbuch der Tonstudioteknik, Band 1, 7. Auflage, Saur Verlag München, 2008

Abbildung 26, 27, 31, 32, 36, 40, 41, 48, 50, 51, 54, 55, 56: **Webers**, Johannes, Tonstudioteknik: Handbuch der Schallaufnahme und -wiedergabe bei Rundfunk, Fernsehen, Film und Schallplatte, 4. Auflage, Franzis-Verlag München, 1985

Abbildung 28, 29: Magnetisierungskurve und Hystereseschleife - PDF - Elektroniktutor – 09-03-2022

Abbildung 33: The Magnetic Tape Viewer - see the sound on a tape - PDF – 17-03-2022 (<https://blog.adafruit.com/2020/03/01/the-magnetic-tape-viewer-see-the-sound-on-a-tape/>)

Abbildung 34: Tape Track Formats (HSR Jul 84), Paul Gilby – PDF - 21-03-2022

Abbildung 35: Studer A80R Service Manual PDF

Abbildung 38: BASF technical bulletin #3 - BIAS - Terence O'Kelly PDF 25-03-2022

Abbildung 44: <https://genesis-audioline.de/technik/entzerrung/>

Abbildung 49: Azimuth Adjustment for Magnetic Audio Recordings, Chris Lacinak, PDF 03-04-2022

Abbildung 53: RTM SM468 Datenblatt PDF

Abbildung 57: <https://www.springair.de/media/image/29/b0/91/72659.jpg>

Abbildung 58, 63: Josef Dorner- From 15 MilliMaxwell to 1,200 NanoWebers PDF 19-04-2022

Abbildung 60: RTW 1206D Service Manual PDF

Abbildung 61: API 1608 Recording Console / wikipedia.de

Abbildung 62: [https://www.wikiwand.com/en/VU\\_meter](https://www.wikiwand.com/en/VU_meter)

Abbildung 84: [www.sengpielaudio.com/Rechner-magnetischerFluss.htm](http://www.sengpielaudio.com/Rechner-magnetischerFluss.htm)

Abbildung 65, 66: Studer B67 Service Manual PDF

Abbildung 120: <http://ncc.sytes.net/wordpress/2012/06/25/dolby-b/>

Eigene Abbildungen: 45, 46, 47, 59, 64, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119

## Abkürzungsverzeichnis

A/D : Analog / Digital

AES : Audio Engineering Society

AU : Audio Units

CAL : Calibration

CC : Compact Cassette

CCIR : Comité Consultatif International des Radiocommunications

CH : Channel / Kanal

D/A : Digital/Analog

DAT : Digital Audio Tape

DAW : Digital Audio Workstation

dB : Dezibel

dBFS : Dezibel Full Scale

dBu : dB unloaded

DIN : Deutsche Institut für Normung e.V.

DSP : Digital Signal Processing

EQ : Equalizer

HF : Hochfrequenz

Hz : Hertz

IEC : International Electrotechnical Commission

IT : Informationstechnologie

kHz : Kilohertz

MD : Mini Disc

MOL : Maximum Output Level

MP3 : ISO MPEG Audio Layer 3

NAB : National Association of Broadcasters

NF : Niederfrequenz

PC : Personal Computer

PCM : Pulse Code Modulation

PVC : Polyvinylchlorid

REC : Record / Aufnahme

RIAA : Recording Industry Association of America

RTM : Recording the Masters

RTW : Radiotechnische Werke

SOL : Saturation Output Level

THD (+N) : Total Harmonic Distortion (+ Noise)

UAD : Universal Audio Plugin Platform

VDT : Verband Deutscher Tonmeister

VHS : Video Home System

VST : Virtual Studio Technology

VU : Volume Units

W+F : Wow and Flutter, Gleichlaufschwankungen