
BACHELORARBEIT

Herr
Terence Dau

**Qualitativer Vergleich der
Performance verschiedener
Gitarrenamps mit den entspre-
chenden Emulationen des
Kemper Profiling Amps**

2022

BACHELORARBEIT

Qualitativer Vergleich der Performance verschiedener Gitarrenamps mit den entspre- chenden Emulationen des Kemper Profiling Amps

Autor:

Herr Terence Dau

Studiengang:

Media & Acoustical Engineering

Seminargruppe:

MG17wA-B

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Michael Hösel

Zweitprüfer:

B. Eng. Kai Hoffmann

BACHELOR THESIS

Qualitative comparison of the performance of different guitar amps with the corresponding emulations of the Kemper Profiling Amp

author:

Mr. Terence Dau

course of studies:

Media & Acoustical Engineering

seminar group:

MG17wA-B

first examiner:

Prof. Dr.-Ing. Michael Hösel

second examiner:

B. Eng. Kai Hoffmann

Bibliografische Angaben

Dau, Terence:

Qualitativer Vergleich der Performance verschiedener Gitarrenamps mit den entsprechenden Emulationen des Kemper Profiling Amps

Qualitative comparison of the performance of different guitar amps with the corresponding emulations of the Kemper Profiling Amp

78 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2022

Abstract

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, in welcher Qualität der *Kemper Profiling Amp* Emulationen von unterschiedlichen analogen Gitarrenverstärkern erstellen kann. Dazu werden an vier Verstärkern sechs unterschiedliche Sounds eingestellt und vom *Kemper Profiling Amp* analysiert. Anschließend werden mittels eines Audiomessgeräts sowohl die erstellten Profile als auch die Original-Sounds vermessen. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf verschiedenen Messungen zu Pegelverhältnissen, Frequenzgängen, Klirrverhalten und Impulsantworten. Die Resultate der Messungen werden analysiert, ausgewertet und verglichen. Am Ende wird ein Fazit zur Qualität des *Kemper Profiling Amps* gezogen.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-------------|
| Inhaltsverzeichnis | I-II |
| Abkürzungsverzeichnis | III |
| Abbildungsverzeichnis | IV-V |
| Tabellenverzeichnis | VI |
| Vorwort | VII |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Thema und Motivation..... | 1 |
| 1.2 Struktur der Arbeit | 2 |
| 2 Theorieteil | 3 |
| 2.1 Grundlagen der Akustik..... | 3 |
| 2.2 Grundlagen der Elektrotechnik..... | 6 |
| 2.2.1 Bauelemente der Elektrotechnik..... | 6 |
| 2.3 Historische Entwicklung von E-Gitarren und Amp-Systemen | 10 |
| 2.4 Tonerzeugung bei der E-Gitarre..... | 13 |
| 2.4.1 Aufbau einer E-Gitarre | 13 |
| 2.4.2 Funktionsweise von Tonabnehmern und Lautstärke- und Klangreglern..... | 13 |
| 2.5 Verstärker in der Gitarrentechnik | 16 |
| 2.5.1 Röhrenverstärker | 16 |
| 2.5.2 Transistorverstärker | 21 |
| 2.5.3 Digitale Verstärker | 23 |
| 2.6 Lautsprecher | 29 |
| 2.6.1 Bauarten und Funktionsweisen | 30 |
| 2.6.2 Einsatz in der Gitarrentechnik..... | 31 |
| 2.7 Mikrofonierung von Lautsprecherkabinetten | 32 |
| 2.7.1 Mikrofone | 33 |
| 2.7.2 Mikrofonierungstechniken | 33 |
| 2.8 Bestandteile eines Gitarren-Sounds..... | 34 |
| 2.9 Messung, Analyse und Auswertung von Audiosignalen | 34 |
| 2.9.1 Relevante Messwerte | 35 |
| 2.9.2 Messtechnik und -software | 38 |

| | | |
|----------|--|-----------------|
| 3 | Methodikteil | 40 |
| 3.1 | Versuchsaufbau im Tonstudio der Hochschule Mittweida | 40 |
| 3.2 | Bedingungen für konstante und vergleichbare Aufnahmen | 42 |
| 3.3 | Genutzte Messungen | 43 |
| 3.4 | Genutztes Gitarrenequipment | 45 |
| 3.4.1 | Bugera V55 Infinium | 46 |
| 3.4.2 | Bugera 6262 | 46 |
| 3.4.3 | Marshall VS65R..... | 47 |
| 3.4.4 | Marshall AVT 150H..... | 47 |
| 3.4.5 | Shure SM57 | 48 |
| 3.5 | Dokumentation der Messungen | 48 |
| 4 | Ergebnisteil | 51 |
| 4.1 | Analyse der Messergebnisse | 51 |
| 4.1.1 | Bugera V55 Infinium | 51 |
| 4.1.2 | Bugera 6262 | 57 |
| 4.1.3 | Marshall VS65R..... | 63 |
| 4.1.4 | Marshall AVT 150H..... | 67 |
| 4.2 | Qualität der vom Kemper Profiling Amp erstellten Profile | 75 |
| 4.3 | Ausblick für weitere Forschungen | 78 |
| | Literaturverzeichnis | VIII-IX |
| | Online-Quellen | X |
| | Bildquellen | XI-XII |
| | Anlagen | XIII-XIV |
| | Eigenständigkeitserklärung | XV |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|--------------|--|
| bspw. | <i>beispielsweise</i> |
| bzw. | <i>beziehungsweise</i> |
| ca. | <i>circa</i> |
| d.h. | <i>das heißt</i> |
| engl. | <i>englisch</i> |
| ggf. | <i>gegebenenfalls</i> |
| o.ä. | <i>oder ähnliche/s</i> |
| s. | <i>siehe</i> |
| usw. | <i>und so weiter</i> |
| z.B. | <i>zum Beispiel</i> |
| | |
| Amp | <i>Amplifier</i> |
| CD | <i>Compact Disc</i> |
| DI | <i>Direct Injection</i> |
| EQ | <i>Equalizer</i> |
| ETC | <i>Energy Time Curve</i> |
| FET | <i>Field Effect Transistor</i> |
| HiFi | <i>High Fidelity</i> |
| LED | <i>Light Emitting Diode</i> |
| MIDI | <i>Musical Instrument Digital Interface</i> |
| MOSFET | <i>Metal Oxide Semiconductive Field Effect Transistor</i> |
| OPV | <i>Operationsverstärker</i> |
| RMS | <i>Root Mean Square</i> |
| SNR | <i>Signal to Noise Ratio</i> |
| SINAD | <i>Signal to Interference Ratio Including Noise and Distortion</i> |
| S/PDIF | <i>Sony/Philips Digital Interface</i> |
| THD+N | <i>Total Harmonic Distortion Plus Noise</i> |
| USB | <i>Universal Serial Bus</i> |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Zeigerdarstellung einer Sinusschwingung | 4 |
| Abbildung 2: Konstruktive (oben) und destruktive (unten) Interferenz von sinusförmigen Schwingungen | 5 |
| Abbildung 3: Aufbau von npn- und pnp-Transistoren inklusive dazugehörigem Transistorschaltbild..... | 8 |
| Abbildung 4: Aufbau eines MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor) | 9 |
| Abbildung 5: Kennlinien des Gegentakt-B- und Gegentakt-AB-Betrieb..... | 19 |
| Abbildung 6: Rückseite des Kemper Profiler PowerRack..... | 25 |
| Abbildung 7: Front des Kemper Profiling Amp Rack Edition | 26 |
| Abbildung 8: Mögliche Optionen der Verkabelung und des Signalflusses beim Profiling mit dem Kemper Profiling Amp | 28 |
| Abbildung 9: Elektrodynamischer Konuslautsprecher | 30 |
| Abbildung 10: Profiling-Set-Up für das Shure SM57 | 41 |
| Abbildung 11: Mess-Set-Up mit dem Shure SM57 | 42 |
| Abbildung 12: Übersicht über die parallel ablaufenden Messungen mit dem SM57 an den Originalverstärkern und einer geschlossenen Kabelführung zum Kemper Profiler | 43 |
| Abbildung 13: Mikrofonierung des Bugera 412H-BK, darüber das Topteil Bugera 6262 | 46 |
| Abbildung 14: Mikrofonierung des Marshall VS65R | 47 |
| Abbildung 15: Typischer Frequenzgang des Shure SM57 | 48 |
| Abbildung 16: Anfänglicher Messaufbau in der Regie des Tonstudios der Hochschule Mittweida..... | 49 |
| Abbildung 17: Profiling Assistant des Kemper Profiling Amps..... | 50 |
| Abbildung 18: Vergleich der Frequenzgänge (RMS Level) von Bugera V55 Infinium (blau) und dessen Kemper-Profil (rot) im Bereich von 20 - 20.000 Hz bei einem Generator-Output von 100 mVrms | 52 |
| Abbildung 19: Frequenzverlauf des verzerrten Sounds des Bugera V55 Infinium (blau) und des entsprechenden Kemper-Profiles (rot) im Bereich von 20 - 20.000 Hz bei einem Generator-Output von 100 mVrms | 53 |
| Abbildung 20: Vergleich der Frequenzgänge des Clean-Sounds des Bugera V55 Infinium (links) und der entsprechenden Kemper-Profile (rechts). | 54 |
| Abbildung 21: Vergleich der harmonischen Obertöne vom Bugera V55 Infinium (clean) (blau) und dem entsprechenden Kemper-Profil (rot) | 56 |
| Abbildung 22: Vergleich der harmonischen Obertöne vom Bugera V55 Infinium (verzerrt) (blau) und dem entsprechenden Kemper-Profil (rot)..... | 56 |
| Abbildung 23: Impulsantwort des Bugera V55 Infinium (blau) und dem entsprechenden Kemper-Profil (rot) bei Zuführung von 100 mVrms..... | 57 |
| Abbildung 24: Vergleich der Frequenzgänge (Relativpegel bezogen auf den Pegel bei 1 kHz) des Bugera 6262 (blau) und dessen Kemper-Emulation (rot) im Bereich von 20 - 20.000 Hz bei einem Generator-Output von 100 mVrms | 58 |
| Abbildung 25: Vergleichende Darstellung der Pegel der harmonischen Obertöne, links beim Bugera 6262 (blau) und rechts bei dessen Kemper-Emulation (rot)..... | 59 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 26: Verlauf des Pegels der Grundfrequenz (oben links, Bugera-Amp = blau, Kemper-Amp = rot), der harmonischen Gesamtverzerrung (oben rechts, Bugera-Amp = orange, Kemper-Amp = grün), der 2. harmonischen Obertöne (unten links, Bugera-Amp = grün, Kemper-Amp = pink) und der 3. harmonischen Obertöne (unten rechts, Bugera-Amp = rot, Kemper-Amp = hellblau) | 61 |
| Abbildung 27: Impulsantworten des Bugera 6262 (blau) und dessen Kemper-Abbild (rot) | 62 |
| Abbildung 28: Darstellung des Frequenzgangs (RMS Level) vom Marshall VS65R (blau) und dessen Kemper-Emulation (rot)..... | 64 |
| Abbildung 29: Frequenzverlauf des Marshall VS65R (blau) und des entsprechenden Kemper-Profiles (rot) im Bereich von 20 - 20.000 Hz bei einem Generator-Output von 100 mVrms | 64 |
| Abbildung 30: Vergleich der Frequenzgangmessungen mit einem Generator-Output von 25 (orange), 100 (blau) und 250 (grün) mVrms | 65 |
| Abbildung 31: Vergleich der harmonischen Obertöne des Marshall VS65R (blau) und dessen entsprechendem Kemper-Profil (rot)..... | 67 |
| Abbildung 32: Vergleich der Frequenzgänge (RMS Level) der beiden Sounds des Marshall AVT 150H (blau) und deren Kemper-Nachbild (rot)..... | 69 |
| Abbildung 33: Vergleich der harmonischen Obertöne des verzerrten Sounds des Marshall AVT 150H (blau) und dessen entsprechendem Kemper-Profil (rot)..... | 71 |
| Abbildung 34: Vergleich der harmonischen Obertöne des verzerrten Sounds des Marshall AVT 150H (blau) und dessen entsprechendem Kemper-Profil (rot)..... | 72 |
| Abbildung 35: Vergleich des Pegelverlaufs der Gesamtverzerrung bei Marshall AVT 150H (gelb) und dem entsprechendem Kemper-Profil (grün)..... | 72 |
| Abbildung 36: Vergleich der Impulsantworten von Marshall AVT 150H (blau) und entsprechendem Kemper-Nachbild (rot)..... | 73 |
| Abbildung 37: Phasenverlauf des Kemper-Profiles (rot) im Verhältnis zum verzerrten Sound des Marshall AVT 150H (blau) | 73 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Vergleich der Messwerte "RMS Level", "Gain", "Peak Level", "White Noise (RMS)" und "Pink Noise (RMS)" zwischen verzerrtem Sound des Bugera V55 Infinium und dem entsprechenden Kemper-Profil | 51 |
| Tabelle 2: Vergleich der Messwerte "RMS Level", "Gain", "Peak Level", "White Noise (RMS)" und "Pink Noise (RMS)" zwischen dem cleanen Sound des Bugera V55 Infinium und dem entsprechenden Kemper-Profil | 52 |
| Tabelle 3: Vergleich verschiedener Messwerte der Messungen "THD+N", "SINAD", "SNR" und "Interchannel Phase" vom Bugera V55 Infinium (verzerrt) und dessen Kemper-Emulation | 55 |
| Tabelle 4: Vergleich verschiedener Messwerte der Messungen "THD+N", "SINAD", "SNR" und "Interchannel Phase" vom Bugera V55 Infinium (clean) und dessen Kemper-Emulation | 55 |
| Tabelle 5: Vergleich der Messwerte "RMS Level", "Gain", "Peak Level", "White Noise (RMS)" und "Pink Noise (RMS)" zwischen dem Bugera 6262 und dem entsprechendem Kemper-Nachbild | 57 |
| Tabelle 6: Vergleich verschiedener Messwerte der Messungen "THD+N", "SINAD", "SNR" und "Interchannel Phase" zwischen dem Bugera 6262 und dessen Emulation | 59 |
| Tabelle 7: Messwerte zum Distortion Product Level für den Bugera 6262 und dessen Kemper-Emulation | 60 |
| Tabelle 8: Vergleich der Messwerte "RMS Level", "Gain", "Peak Level", "White Noise (RMS)" und "Pink Noise (RMS)" zwischen dem Marshall VS65R und dem entsprechendem Kemper-Nachbild | 63 |
| Tabelle 9: Vergleich verschiedener Messwerte der Messungen "THD+N", "SINAD", "SNR" und "Interchannel Phase" zwischen dem Marshall VS65R und dessen Emulation | 66 |
| Tabelle 10: Vergleich der Messwerte "RMS Level", "Gain", "Peak Level", "White Noise (RMS)" und "Pink Noise (RMS)" zwischen dem Marshall AVT 150H (verzerrt) und dem entsprechendem Kemper-Nachbild | 67 |
| Tabelle 11: Vergleich der Messwerte "RMS Level", "Gain", "Peak Level", "White Noise (RMS)" und "Pink Noise (RMS)" zwischen dem Marshall AVT 150H (Acoustic Simulator) und dem entsprechendem Kemper-Nachbild | 68 |
| Tabelle 12: Vergleich verschiedener Messwerte der Messungen "THD+N", "SINAD", "SNR" und "Interchannel Phase" zwischen dem Marshall AVT 150H (verzerrt) und dessen Emulation | 70 |
| Tabelle 13: Vergleich verschiedener Messwerte der Messungen "THD+N", "SINAD", "SNR" und "Interchannel Phase" zwischen dem Marshall AVT 150H (Acoustic Simulator) und dessen Emulation | 70 |

Vorwort

Ich möchte mich an dieser Stelle zuerst bei meinen beiden Mentoren, Herrn Professor Michael Hösel und Herrn Kai Hoffmann, bedanken. Sie haben mich und diese Arbeit durch ihre Vor- und Ratschläge, aber auch durch zahlreiche Hinweise und Feedback bereichert und unterstützt. Ich habe ihnen auch für die Ausleihe verschiedener Gitarren-Amps zu danken, die ich im Rahmen meiner Messungen untersuchen durfte.

Herrn Sören Bräuer möchte ich danken, da er mir den Kemper Profiler für meine Messungen für mehrere Tage zur Verfügung gestellt hat.

Mein Dank gilt auch Herrn Vincent Ritter, der mir als studentische Hilfskraft im Tonstudio der Hochschule Mittweida den Zugang zu Räumlichkeiten und Messgeräten ermöglichte und mich zudem bei meinen Untersuchungen unterstützt hat.

Besonders bedanken möchte ich mich auch bei meinen Eltern, da sie mir das Studium an der Hochschule Mittweida ermöglicht und mich währenddessen zu jeder Zeit unterstützt haben.

Zu guter Letzt danke ich allen, die diese Arbeit korrekturgelesen haben.

1 Einleitung

1.1 Thema und Motivation

Für jede Gitarristin und jeden Gitarristen ist die Wahl des Gitarrenverstärkers (engl. „amplifier“, kurz „Amp“) eine wichtige Entscheidung. Ob im beruflichen oder hobbymäßigen Gebrauch - der Amp ist, neben einigen anderen Komponenten, wie Gitarre, Lautsprecherkabinett oder etwaiger Effektgeräte, ein wichtiger Bestandteil, wenn es um die Formung und Ausprägung eines Gitarren-Sounds geht. Es gibt allein durch die Wahl des Amps unzählige Möglichkeiten den Klang einer E-Gitarre zu beeinflussen. Dabei gibt es individuelle Ansprüche, Vorstellungen und Vorlieben, welchen Sound es zu kreieren oder nachzubilden gilt. Dies fängt bei der Auswahl des Amp-Modells an und zieht sich anschließend über die grundsätzlichen Bearbeitungsoptionen, die die meisten Verstärker zur Formung des Klangs bereithalten: es kann der Gain (Vorverstärkung, -verzerrung) und die Input-Sektion eingestellt, Bässe, Mitten und Höhen mittels der EQ-Sektion bearbeitet und teils individuelle Effekte, wie bspw. Hall oder Kompression, dem Signal hinzugefügt werden. Es lassen sich also etliche individuelle E-Gitarren-Sounds erstellen und bearbeiten. Mit einem „klassischen“ Röhren- oder Transistor-Amp besteht die Möglichkeit mit den soeben beschriebenen Parametern den Klang der E-Gitarre zu beeinflussen. Allerdings auch nur im Rahmen dessen, was dieser eine Verstärker ermöglicht. Soll ein grundlegend anderer Sound erzeugt werden, so ist oft die Anschaffung eines anderen Amp-Modells oder zusätzlicher Effektgeräte die einzige Option.

Bei den digitalen Amps sieht es dahingehend deutlich anders aus. So können die sogenannten „Modeling Amps“ mehrere Amp-Modelle digital nachbilden; teilweise besteht sogar die Möglichkeit aus einem Sammelsurium verschiedener Amp- und Lautsprecherkabinettmodelle selbst ein gewünschtes Set Up zu erstellen. Der Haken bei der Sache: Was die digitalen Amps durch ein breit gefächertes Sortiment an Amp-Modellen anbieten, lässt leistungs- und qualitätstechnisch oft zu wünschen übrig. Wer die Klänge mehrerer Amp-Modelle in einem Gerät abgespeichert haben will, muss hier zu Kompromissen bereit sein.

Seit nunmehr fast zehn Jahren gibt es den *Kemper Profiling Amp*. Dieser digitale Verstärker der Firma Kemper kann nicht nur Amp-Modelle nachbilden, sondern ist auch in der Lage neue Profile von analogen Set Ups zu erstellen. So können Nutzerinnen und Nutzer dieses Amps Klangfiles anlegen, in denen – je nach Aufbau – Verstärkertyp, Lautsprecherkabinett, Mikrofon und Raumklang festgehalten werden können.

An diesem Punkt stellt sich die Frage: Wie gut kann der Kemper Profiling Amp andere Amp-Modelle nachbilden? Um dies überprüfen zu können, müssen möglichst präzise

und objektive Messungen an mehreren Testmodellen vorgenommen werden. Dazu sollen zunächst verschiedene Amp-Sounds geprofiled werden. Anschließend müssen mit einem geeigneten Audiomessgerät unter konstanten Bedingungen sowohl am Originalverstärker als auch am Kemper-Profil sinnvolle Messungen durchgeführt werden, um zu überprüfen in welcher Qualität die vom Kemper Profiling Amp erstellten Profile vorliegen.

Ziel dieser Arbeit soll es sein, Messungen an mehreren Test-Amps und deren Kemper-Emulation durchzuführen und die daraus resultierenden Messergebnisse übersichtlich und anschaulich zu analysieren, zu vergleichen und auszuwerten. Damit soll nachvollziehbar sein, wo und ob es überhaupt Abzüge hinsichtlich der emulierten Sounds des Kemper Profiling Amps im Vergleich zu den Original-Sounds gibt. Zu beachten ist, dass es sich hierbei lediglich um einen Vergleich von reinen Messwerten handeln soll. Die subjektive Wahrnehmung hinsichtlich der Qualität der Profile spielt in der Analyse und Auswertung keine Rolle. Berücksichtigt werden muss auch, dass bei allen Messungen theoretisch Fehlmessungen auftreten könnten, und somit kritisch mit den Messwerten und ihrer Plausibilität umgegangen werden muss.

1.2 Struktur der Arbeit

Die Arbeit widmet sich in den Kapiteln 2.1 und 2.2 den grundlegenden Kenntnissen, die im Bereich der Akustik und Elektrotechnik vermittelt werden sollten. In Kapitel 2.3 erfolgt ein Abriss über die Historie von elektrischen Gitarren und Verstärkersystemen. In 2.4 soll auf die Funktionsweise einer E-Gitarre eingegangen werden. In 2.5 soll es darauf folgend um die unterschiedlichen Verstärkermodelle und deren Funktionsweise, insbesondere dem Kemper Profiling Amp, gehen. Mit 2.6 und 2.7 wird sich dem Bereich der Lautsprecher- und Mikrofontechnik zugewandt. Hier soll ein knapper Überblick über die gängigen Modelle gegeben werden, die in der Gitarrentechnik ihre Anwendung finden. Abschnitt 2.8 widmet sich der Frage, welche wesentlichen Bestandteile ein Gitarren-Sound hat und welche Komponenten des Set Ups diesen formen. Der letzte große thematische Block innerhalb des Theorieteils soll mit 2.9 die Messung, Analyse und Auswertung von Audiosignalen sein.

Im Methodikteil soll mit 3.1 der Versuchsaufbau für die Messungen erklärt, sowie in 3.2 die Bedingungen für konstante und vergleichbare Aufnahmen benannt werden. Mit Kapitel 3.3 werden die genutzten Messungen vorgestellt, in 3.4 das genutzte Gitarrenequipment. In 3.5 soll dann der Ablauf der Messungen dokumentiert werden.

Im Ergebnisteil werden unter 4.1 die Ergebnisse der Messungen ausgewertet und verglichen. Das daraus zu ziehende Fazit zur Qualität der Emulationen des Kemper Profiling Amps ist unter 4.2 nachzulesen, ehe unter 4.3 ein Ausblick für weitere Forschungen gegeben wird.

2 Theorieteil

2.1 Grundlagen der Akustik

Physikalisch betrachtet kann unter dem Begriff „Schall“ die in elastischen Medien stattfindende Ausbreitung lokaler Druckschwankungen verstanden werden.¹ Diese Schwankungen können in Form mechanischer Schwingungen, Wellen oder Feldern vorhanden sein. Bedingung für die Ausbreitung des Schalls ist ein Medium bestehend aus Materieteilchen, welche zur Schwingung fähig sind. Ein solches Medium können bspw. Luft, Wasser oder Festkörper sein.² Findet dieser Vorgang der Schallausbreitung regelmäßig und periodisch statt, so spricht man von einer Schwingung. Kennzeichnend für eine solche periodische Bewegung ist, dass in gleichen Zeitabständen ein gleicher wiederkehrender Zustand erreicht wird.³

Dabei gilt zu beachten, dass es verschiedene Formen von Schwingungen gibt. Eine grundlegende Art der Schwingung ist die Sinusschwingung. Zu ihr lässt sich im Handbuch der Tonstudioteknik folgende Definition finden: *„Lässt sich die Zeitabhängigkeit eines Vorganges durch eine Sinus- oder Cosinusfunktion beschreiben, deren Argument eine lineare Funktion der Zeit ist, [...], so heißt dieser Vorgang Sinusschwingung oder einfache Schwingung, die dazugehörige physikalische Größe heißt Sinusgröße, z.B. Sinusspannung.“*⁴

Relevante Größen zur Darstellung einer Sinusschwingung sind Amplitude, Periodendauer, Frequenz, Kreisfrequenz und Phasenwinkel.

- Die Amplitude a gibt die stärkste Auslenkung der Schwingung an, welche oftmals auch als Scheitelwert bezeichnet wird.
- Die Periodendauer T definiert den Zeitabschnitt, der zum Durchlaufen einer Periode benötigt wird. Eine Schwingungsperiode ergibt sich aus einer positiven und einer negativen Halbwelle einer sinusförmigen Schwingung.
- Um die Anzahl der Schwingungsperioden pro Sekunde zu messen, wird die Frequenz f genutzt. Angegeben wird die Frequenz in der Einheit Hertz (Hz). Hierbei entspricht 1 Hz einer Schwingung pro Sekunde, es handelt sich also um den

¹ Vgl. Smyrek 2016: S. 1

² Vgl. Dickreiter et al. 2014: S. 1

³ Vgl. von Helmholtz 1863: S. 15

⁴ Dickreiter, M. et al.: Handbuch der Tonstudioteknik, Band 1, S. 4

Kehrwert der Periodendauer T . Eine höhere Frequenz entspricht einer kürzeren Periodendauer, ergo einer schnelleren Schwingung.⁵

- Das 2π -fache der Frequenz wird als Kreisfrequenz ω bezeichnet.
- Der Phasenwinkel φ gibt bei der Darstellung einer Sinusschwingung durch die Projektion der Drehung eines Zeigers den Winkel zwischen Zeiger und Projektionsachse an (s. Abbildung 1). Im Punkt $t = 0$ heißt dieser Wert Nullphasenwinkel. Sinus- und Cosinusschwingung unterscheiden sich lediglich in diesem Wert. Während die Sinusschwingung bei $t = 0$ eine Amplitude $a = 0$ hat, hat die Cosinusschwingung hier die maximale Auslenkung, d.h. Amplitude $a = \hat{a}$.⁶

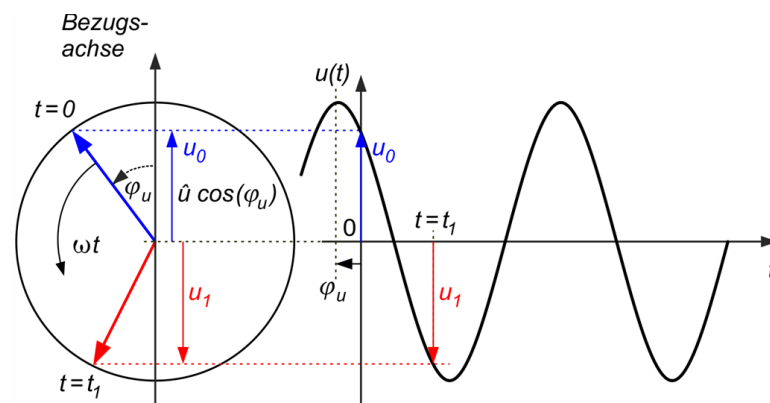


Abbildung 1: Zeigerdarstellung einer Sinusschwingung

In der akustischen Definition eines Tons spielt die Sinusschwingung ebenfalls eine relevante Rolle, denn ein Ton wird als hörbare, sinusförmige Schallschwingung definiert.⁷ Für das menschliche Gehör sind Amplitude und Frequenz wichtige Größen, um einen Ton einzuordnen. Die Frequenz beeinflusst die wahrgenommene Höhe, die Amplitude die wahrgenommene Lautstärke eines Tons.⁸

Das menschliche Gehör kann Schwingungen zwischen etwa 20 und 20.000 Hz wahrnehmen.⁹ Teils ist auch der Rahmen von 16 bis 16.000 Hz zu finden, wie etwa im Handbuch der Tonstudioteknik. In ebenjenem Werk wird auch erklärt, dass dieses für den Menschen hörbare Spektrum als Hörschall bezeichnet wird. Schwingungen unterhalb dieses Bereiches werden als Infraschall, darüber liegende Schwingungen als Ultraschall

⁵ Vgl. Smyrek 2016: S. 8

⁶ Vgl. Dickreiter et al. 2014: S. 4 f.

⁷ Vgl. Dickreiter et al. 2014: S. 2

⁸ Vgl. Heinen 2014: S. 258

⁹ Vgl. Smnyrek 2016: S. 8

definiert.¹⁰ Wo genau die Grenzen der hörbaren Frequenzen liegen ist dabei individuell veranlagt. Zudem verringert sich der hörbare Frequenzbereich im Laufe des Älterwerdens. So zeichnet sich bei Menschen im höheren Alter ein deutlicher Hörverlust im Bereich der hohen Frequenzen ab, wie eine italienische Studie aus dem Jahre 2000 zeigt.¹¹

Neben den einfachen Schwingungen gibt es auch die Überlagerung von Schwingungen, auch Interferenz genannt. Interferenzen lassen sich in konstruktive und destruktive Interferenzen untergliedern. Von konstruktiv ist dann die Rede, wenn sich zwei oder mehrere Schwingungen zu einem Ausgangssignal mit höherer Amplitude addieren. Dahingegen wird als destruktiv die Dämpfung oder Auslöschung des Ausgangssignals bezeichnet, etwa wenn sich zwei Schwingungen mit gleicher Frequenz, unterschiedlicher Amplitude und einer Phasenverschiebung von 180° überlagern. Abbildung 2 verdeutlicht diese Phänomene. Zudem muss betrachtet werden, ob die sich überlagernden Schwingungen kohärent zueinander verhalten. Kohärenz heißt in diesem Zusammenhang, dass die Frequenzen zweier oder mehrerer Signale eine feste Phasenbeziehung haben.¹²

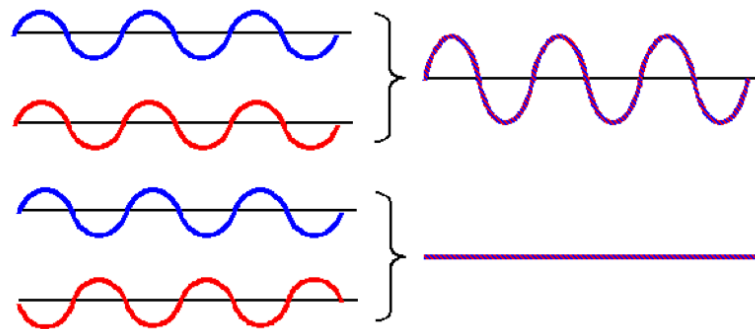


Abbildung 2: Konstruktive (oben) und destruktive (unten) Interferenz von sinusförmigen Schwingungen

Unregelmäßig verlaufende, periodische Schwingungen werden zusammengesetzte Schwingungen genannt. Sie lassen sich komplett in sinusförmige Teilschwingungen aufgliedern.¹³

Um dieses Kapitel der Grundlagen der Akustik abzuschließen, soll zuletzt noch auf die Schallausbreitung im Raum eingegangen werden, da dies in Hinsicht auf den Umgang mit Amp-Systemen, insbesondere mit Lautsprecherkabinetten, ein nicht zu vernachlässigender Punkt ist.

¹⁰ Vgl. Dickreiter et al. 2014: S. 1

¹¹ Vgl. Megighian 2000

¹² Vgl. Smyrek 2016: S. 9

¹³ Vgl. Dickreiter et al. 2014: S. 7

Im freien Schallfeld kann sich Schall ungehindert in alle Richtungen ausbreiten. Bei der Ausbreitung im Raum hingegen trifft der Schall auf Hindernisse, wie zum Beispiel Wände oder sich im Raum befindende Gegenstände. Diese machen eine direkte Schallausbreitung unmöglich und sorgen dafür, dass der Schall reflektiert, gebeugt oder absorbiert wird.

Bei der Reflexion von Schall ändert dieser nach Auftreffen auf die Reflexionsfläche seine Richtung. Gekrümmte Flächen können den Schall bündeln oder zerstreuen. Schall kann sich aber ebenso wie Licht auch um Hindernisse beugen. Gegenstände oder Oberflächen können zudem auch den Schall absorbieren und ihm somit Energie entziehen, was eine Dämpfung oder Auslöschung der Schallwelle bedeuten kann. Es gilt zu berücksichtigen, dass dies in geringem Maße bereits bei der Schallausbreitung in Luft geschieht.¹⁴

2.2 Grundlagen der Elektrotechnik

Um die Funktionsweise von Gitarrenverstärkern, Lautsprecherkabinetten, E-Gitarren, Mikrofonen und Messgeräten zu verstehen, sind Grundkenntnisse in der Elektrotechnik und Elektronik unentbehrlich. Das Verständnis, was Strom, Spannung, Leistung, Widerstand, Impedanz, Induktivität und Kapazität sowie Gleich- und Wechselstrom und Gleich- und Wechselspannung sind, wird daher vorausgesetzt.

2.2.1 Bauelemente der Elektrotechnik

In diesem Abschnitt soll im Einzelnen auf elektrotechnische Bauteile eingegangen werden, da diese wesentliche Bestandteile elektrotechnischer Schaltungen sind und auch in der Gitarrentechnik ihre Anwendung finden.

Dioden

Zunächst soll auf den Aufbau und die Funktionsweise von Dioden eingegangen werden. Grundsätzlich wird zwischen Röhrendioden und Halbleiterdioden unterschieden. Beide Diodentypen bestehen aus einer Anode und einer Kathode. Diese befinden sich bei einer Röhrendiode in einem luftleeren Glaskolben. Da die Kathode beheizt wird, lösen sich von ihr Elektronen ab, welche, sobald eine positive Spannung an der Anode anliegt, zu dieser hingezogen werden und es zum Stromfluss kommt.¹⁵ Im Gegensatz zur Röhrendiode besteht eine Halbleiterdiode aus einem dotierten Halbleitermaterial, welches aus

¹⁴ Vgl. Dickreiter et al. 2014: S. 17 ff.

¹⁵ Vgl. Weichhaus 2020: S. 11 ff.

einem p-Halbleiter (= Anode) und einem n-Halbleiter (= Kathode) besteht. Im n-Halbleiter gibt es einen Elektronenüberschuss, im p-Halbleiter hingegen einen Elektronenmangel, welcher oftmals als „Loch“ bezeichnet wird, da hier in den Ladungsträgern jeweils ein Elektron fehlt. Wird nun an die Anode eine positive Spannung angelegt, so zieht es die negativen Ladungsträger des n-Halbleiters zur Anode und die positiven Ladungsträger des p-Halbleiters zur Kathode. Somit fließt auch hier ein Strom. Diese Art der Diodenschaltung, sprich das Anlegen des Pluspols an die Anode und des Minuspols an die Kathode, wird als Durchlassrichtung bezeichnet. Werden Anode und Kathode entgegengesetzt verpolt, zieht der Pluspol nun die negativen Ladungsträger aus dem n-Halbleiter zu sich, während der Minuspol die positiven Ladungsträger des p-Halbleiters zu sich zieht. Es entsteht eine Lücke im Übergangsbereich der beiden Halbleitergebiete in der Diode. Die Diode ist nun in Sperrrichtung geschaltet, es fließt kein Strom.¹⁶

Zweck einer Diode ist es, Wechselspannung in eine Gleichspannung umzuwandeln, wie sie für die meisten elektrischen Geräte benötigt wird.¹⁷ Die den beiden Diodentypen zugrunde liegenden Funktionsprinzipien sind ähnlich bei der Röhrentriode und dem Transistor wiederzufinden. Sowohl Röhrentrioden als auch Transistoren sind signalverstärkende Bauelemente, die in den nächsten Abschnitten genauer betrachtet werden sollen.

Röhrentriode

Einen Röhrentriode besitzt im Vergleich zu einer Röhrendiode ein weiteres im Glaskolben verbautes Element: ein Gitter, welches je nach Stärke der angelegten positiven Spannung mehr oder weniger stark den Elektronenfluss von der Kathode zur Anode zulässt. Oft wird dieses Gitter als Steuergitter (g1) bezeichnet. Im Ausgangszustand lösen sich beim Beheizen der Kathode, wie bereits bei der Diode beschrieben, Elektronen ab und werden nun vom Gitter aufgefangen. Dieses lädt sich demzufolge negativ auf und verhindert somit einen Stromfluss von der Kathode zur Anode, da die Elektronen vom negativ geladenen Gitter abgestoßen werden. Wird eine positive Spannung an das Gitter angelegt, so hebt sich dieser Effekt auf. Die Stärke des Stromflusses zur Anode wird dabei über die Stärke der am Gitter anliegenden Spannung beeinflusst.¹⁸

¹⁶ Vgl. Smyrek 2016: S. 93

¹⁷ Vgl. Weichhaus 2020: S. 15

¹⁸ Vgl. Weichhaus 2020: S. 19 f.

Röhrentypen

Die Pentode besitzt im Vergleich zur Triode zwei weitere Steuergitter, einmal das Schirmgitter (g_2) und das Bremsgitter (g_3). Auch diese beiden Gittertypen besitzen bestimmte Funktionen. Das Schirmgitter sitzt zwischen Steuergitter und Bremsgitter. Das Bremsgitter wiederum befindet sich zwischen Steuergitter und Anode. Am Schirmgitter liegt üblicherweise in Bezug auf die Kathode eine stete positive Spannung an. Durch dieses Gitter wird der Anodenstrom unabhängig von der Anodenspannung nun nur noch durch das Steuergitter reguliert. Das Bremsgitter sorgt dafür, dass von der Anode emittierte Elektronen umgelenkt werden. Es besitzt die gleiche Spannung wie die Kathode.¹⁹

Bipolare Transistoren

Transistoren werden in bipolare und unipolare Transistoren unterschieden. Bipolare Transistoren bestehen ähnlich wie eine Halbleiterdiode aus n- und p-Halbleitern. Es gibt Bauweisen, welche aus zwei n-Halbleitern mit einem sehr schmalen p-Halbleiter als Trennschicht bestehen, kurz npn-Transistor genannt. Deren Pendant sind pnp-Transistoren, in denen zwei p-Halbleiter durch einen n-Halbleiter getrennt werden. Abbildung 3 soll diesen Aufbau noch einmal verdeutlichen. Aus ihr wird ersichtlich, dass die am Transistor anliegenden Anschlüsse als Basis (B), Kollektor (C) und Emitter (E) bezeichnet werden.

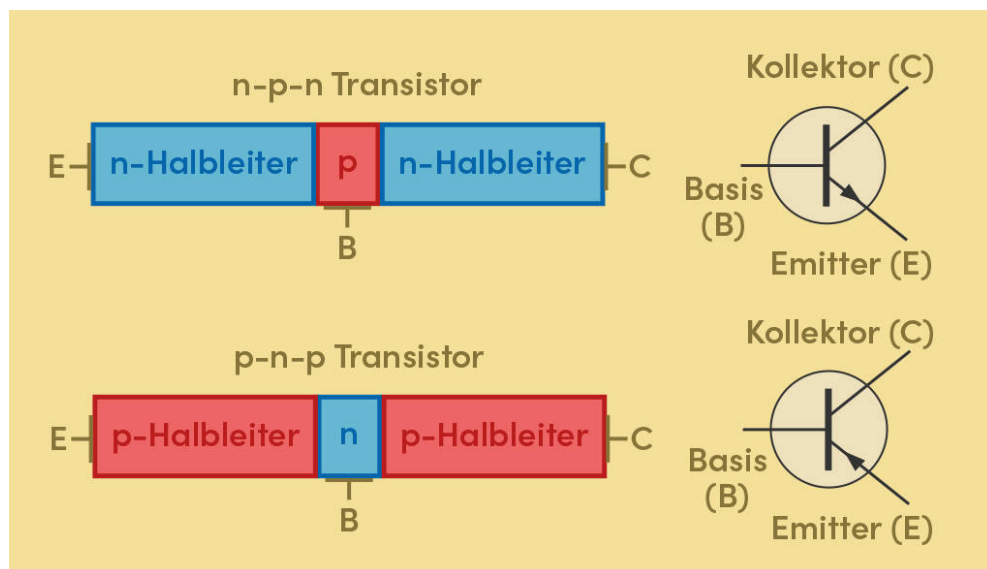


Abbildung 3: Aufbau von npn- und pnp-Transistoren inklusive dazugehörigem Transistorschaltbild

¹⁹ Vgl. Weichhaus 2020: S. 64

Anhand eines npn-Transistors soll nun die grundlegende Funktionsweise von Transistoren erklärt werden: Wird an der Basis eine positive Spannung angelegt und der Stromkreis über den Emitter geschlossen, so arbeitet der npn-Transistor zunächst wie eine Halbleiterdiode. Zudem wird eine viel stärkere positive Spannung an den Kollektor angeschlossen. Der Minuspol dieser Spannungsquelle wird ebenfalls mit dem Emitter verknüpft. Durch diese stärkere Spannung werden nun die meisten Elektronen zum Kollektor gezogen, nur wenige fließen noch über die Basis ab. Ähnlich wie bei der Röhrentriode wird also mittels eines geringen Steuerstroms ein viel größerer Stromfluss zwischen Kollektor und Emitter kontrolliert.

Unipolare Transistoren

Bei unipolaren Transistoren, auch Feldeffekttransistoren (FET) genannt, wird der Verstärkerstrom durch ein elektrisches Feld gesteuert. Außerdem durchfließt der Strom im Gegensatz zum bipolaren Transistor nur einen Halbleitertyp. Abbildung 4 soll den grundsätzlichen Aufbau eines gebräuchlichen MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor) verdeutlichen.

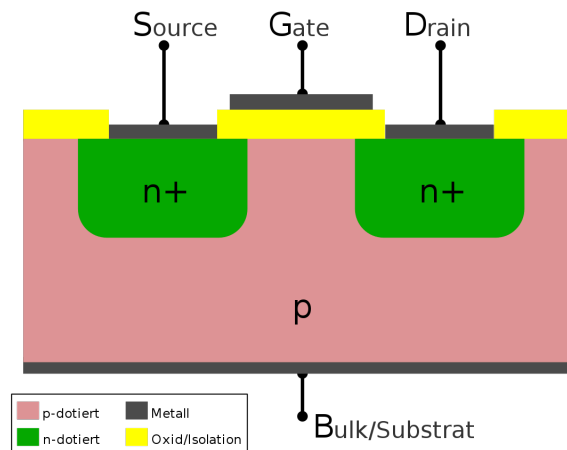


Abbildung 4: Aufbau eines MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor)

Diese Bauweise ist durch die drei als Source (S), Gate (G) und Drain (D) benannten Anschlüsse gekennzeichnet. Source und Drain liegen hierbei an einem n-dotierten Halbleiter an, das Gate und der Bulk (eine geerdete Bodenplatte) an einem p-dotierten. Wird an das Gate eine positive Spannung angelegt und der Schaltkreis über den Bulk geschlossen, so häufen sich Elektronen am Gate an. Zwischen Gate und Bulk hat sich ein elektrisches Feld gebildet, da diese einen Kondensator bilden. Liegt nun ebenfalls eine positive Spannung an Drain und eine negative an Source an, so kann über die

Elektronenansammlung ein Strom von Source zu Drain fließen. Im Vergleich zu bipolaren Transistoren entsteht hier eine deutlich geringere Wärme.²⁰

Operationsverstärker

Ein weiteres zu thematisierendes Bauelement ist der Operationsverstärker (OPV) bzw. Spannungsverstärker. Laut Lindner, Brauer und Lehmann sind Operationsverstärker *„mehrstufige integrierte Gleichspannungsverstärker, deren Eigenschaften maßgeblich durch die äußere Beschaltung beeinflusst werden.“*²¹ Invertierende und nichtinvertierende OPVs werden als Grundlagen für zahlreiche weitere Schaltungen genutzt.²²

Invertierende Spannungsverstärker verändern dabei die Phase des Signals um 180 °, bei nichtinvertierenden wird die Phasendifferenz zwischen Ein- und Ausgangssignal bei 0 ° belassen. Zudem lassen sich invertierende OPVs zu aktiven Tief- und Hochpassfiltern erweitern, indem ein Kondensator bzw. eine Spule in die Gegenkopplung der Schaltung eingesetzt wird.²³

2.3 Historische Entwicklung von E-Gitarren und Amp-Systemen

Die heutige E-Gitarre entwuchs vor etwa 100 Jahren dem Wunsch, die bis dato unverstärkten Gitarren deutlich lauter hören zu können. In den damaligen US-amerikanischen Orchestern der 1920er Jahre ging die Gitarre im Vergleich zu Blechbläsern und Schlagzeug akustisch unter. Deshalb wurde ausgiebig an einer – an der elektrischen Verstärkung des Grammophons angelehnten – Variante der Gitarre geforscht.

Zahlreiche Entwickler und Musiker versuchten sich an der Herstellung geeigneter Tonabnehmer, allerdings verursachten diese noch starke Neben- und Störgeräusche sowie akustische Rückkopplungen. Horace Rowe und Harold DeArmond entwickelten aus Magneten und Spulen bestehende Tonabnehmer, die sich aufgrund ihrer Bauweise insofern von den bisherigen Modellen unterschieden, als dass sie lediglich auf die Schwingung der Saiten reagierten und somit praxistauglicher waren. Mit der Zeit ergaben sich immer mehr Erkenntnisse, inwiefern sich der Klang einer Gitarre durch die

²⁰ Vgl. Smyrek 2016: S. 96 - 99

²¹ Lindner, H., Brauer, H. & Lehmann, C.: Taschenbuch der Elektrotechnik und Elektronik: S. 385

²² Vgl. Lindner, H., Brauer, H. & Lehmann, C. 2008: S. 393

²³ Vgl. Smyrek 2016: S.105 f.

Beschaffenheit der Tonabnehmer ändern lässt, z.B. durch die Windungszahl der Spulen und Position der Tonabnehmer.

Als Pioniere in der Entwicklung des Gitarrenbaus und -Sounds sind hier Les Paul (geb. Lester Polfus) und Leo Fender zu nennen. Fender hat über kurze Zeit mit seiner Firma ein regelrechtes Imperium im Bereich der Gitarren- und auch Verstärkerproduktion geschaffen. Erfolgsmodelle wie die in den 1950er Jahren erschienene Telecaster und deren optimierte Nachfolgeversion Stratocaster zählen heute zu den meistverkauften Gitarren aller Zeiten. Die Firma Gibson, für die Les Paul tätig war, sorgte in den 1950er Jahren ebenfalls für Neuerung auf dem Gitarrenmarkt, indem sie die ersten „Humbucking“-Tonabnehmer vorstellte. Auch sie hat es mit Modellen wie der Les Paul oder der SG zu großer Bekanntheit geschafft.

Durch die Pionierarbeit und Erfolge von Fender und Gibson setzte sich die Solid-Body-E-Gitarre mit den elektromagnetischen Tonabnehmern weltweit durch. Sowohl amerikanische Hersteller (Guild, Gretsch, Rickenbacker), als auch europäische (Framus, Höfner, Vox) und japanische (Ibanez, Yamaha) nahmen diese Bauweise in ihr Sortiment auf. Es gibt aber auch Modelle, die mit Piezo-Tonabnehmern arbeiten. Diese liegen klanglich näher an der Akustikgitarre. Neben den Solid-Body-E-Gitarren gibt es auch vollakustische, halbakustische und Semi-Solid-Gitarren, welche ebenfalls mit Tonabnehmern bestückt sind.²⁴

Ähnlich zur Entwicklung der E-Gitarre nahm die serielle Anfertigung der ersten Gitarrenverstärker in den 1930er Jahren ihre Anfänge. Die Bauweise dieser Modelle kann mit den Schaltungen von damaligen Röhrenradios verglichen werden. Lediglich auf den Hochfrequenzteil wurde verzichtet. Was Klang und Lautstärke betraf, ließen diese ersten Gitarrenverstärker noch ziemlich zu wünschen übrig. Die Firma Gibson brachte bereits 1935 einen 15-Watt-Verstärker auf den Markt, der auf deren hergestellte Gitarren abgestimmt war. Etwa zehn Jahre später stieg auch Fender in die Produktion von Gitarren-Amps ein. Parallel zu ihren erfolgreichen E-Gitarren konnte sich Fender auch im Bereich der Gitarrenverstärker mit robusten und leistungsstarken Modellen schnell auf dem Markt etablieren. Ein weiterer Grund für den Erfolg der Verstärkermodelle war deren nichtlinearer Frequenzgang: Während die Mitten abgesenkt wurden, waren Bässe und Höhen mit einer Anhebung versehen, was zur Folge hatte, dass der Klang im Vergleich zu vielen bisherigen, oft mulmig und dumpf klingenden Amp-Modellen klar und durchsetzungsfähig war. Ab den 1950er Jahren boomte das Geschäft mit der Produktion von Gitarrenverstärkern. Nachdem diese bis dato mit Röhrentechnik versehen waren, wurden in den 1960er Jahren die ersten Transistorverstärker produziert. Pioniere in diesem Bereich waren Fender und der britische Hersteller Vox. Ab den 1970er Jahren machte

²⁴ Vgl. Lemme 2006: S. 13 - 38

sich die Firma Mesa/Boogie einen Namen, indem sie Verstärker mit deutlich höherer Leistung und stärkerer Übersteuerungsmöglichkeit baute.

Neben den Firmen Fender, Gibson und Mesa/Boogie sind heute Peavey, Rickenbacker, Music Man und Randall bekannte amerikanische Hersteller. Im europäischen Raum produzierte Vox die ersten bekannten Amp-Modelle, Hersteller wie Marshall, Orange, Hiwatt und Hughes & Kettner folgten nach und sind ebenfalls heutzutage weltbekannt. Aus dem asiatischen Bereich sind Roland und Yamaha bekannt.²⁵

Weiterentwicklungen der Röhren- und Transistorverstärker stellen die digitalen Amps bzw. Modeling Amps dar. Diese besitzen eingebaute Prozessoren, die unterschiedliche Verstärker und Lautsprecherkabinette, sowie teils verschiedene Mikrofone mit diversen Mikrofonierungstechniken und weitere Effekte nachbilden können.²⁶ 1996 stellte die Firma Line 6 den ersten Modeling Amp vor: „*The AxSys 212 is the first of his kind – a new generation of guitar amp. In the past, searching for the right „tone“ meant trying out dozens of amps – each having its own unique, signature sound. If you wanted more than one sound, you needed more than one amp to cover all the bases. Now, many of the classic guitar amp sounds are yours at the touch of one button. Thanks to new technologies and „physical modeling“, the AxSys 212 can imitate almost any guitar amp on the market today [...].*“²⁷ Dabei wird darauf verwiesen, dass dieser erste digitale Verstärker mit einem System arbeitet, welches verschiedene Röhrenschaltungen emulieren kann. Im AxSys 212 sind 128 Presets und 128 User Sounds verfügbar, die über Tasten am Gitarrenverstärker, MIDI-Fußpedale oder Computer ansteuerbar sind. Zu beachten ist, dass bei diesem Combo-Amp auch nur die tatsächliche Verstärkersektion digital ausgewählt werden kann, als Lautsprecher waren zwei Twin Custom 12“ Eminence Speaker verbaut.²⁸ Seitdem brachten viele weitere Hersteller ebenfalls digitale Amps auf den Markt (Fender, Vox, Mooer). Firmen wie Boss oder Zoom entwarfen auch Multi-Effektgeräte inklusive Amp Modeling. Seit 2012 gibt es den Kemper Profiling Amp, mit dem die Firma Kemper einen weiteren Fortschritt im Bereich der digitalen Verstärker verzeichnet. Erstmals konnte ein Modeling Amp nicht nur vom Hersteller vorgefertigte Set Ups wiedergeben, sondern zudem auch weitere Amp-Systeme „profilen“, sprich erfassen, abspeichern und auf Abruf nachbilden. Neben Kemper konnte sich auch die Firma Positive Grid mit ihren Modellen, wie etwa den 2016 erschienenen Positive Grid Bias Head, etablieren.²⁹ Zudem bieten viele Hersteller auch Software an, um auch am PC (ob nun

²⁵ Vgl. Lemme 1995: S. 14 - 20

²⁶ Vgl. thomann.de 27.01.2017: [online] thomann.de/blog/de/modeling-amps-fuer-gitarre/ [24.02.2022]

²⁷ Line 6 1996: AxSys 212 User Manual, Version 1.2: S. 4

²⁸ Vgl. Line 6 1996: S. 4

²⁹ Vgl. thomann.de 27.01.2017: [online] thomann.de/blog/de/modeling-amps-fuer-gitarre/ [24.02.2022]

zum Proben, Experimentieren oder fürs Recording) Möglichkeiten zur Imitation von Gitarrenverstärkern zu haben. Als Beispiel sei hier die BIAS Amp Software von Positive Grid, die sowohl selbstständig als auch in Kombination mit dem eben genannten Topteil genutzt werden kann, oder auch Editiersoftware für Multi-Effektgeräte, wie das Zoom G1X Four, genannt.

Durch den großen technischen Fortschritt in den letzten 20 Jahren konnte auch die Leistungsfähigkeit, der in digitalen Amps verwendeten Prozessoren deutlich erhöht werden. Die Folge ist, dass sich Qualität und Quantität der Be- und Verarbeitungsoptionen verbessert hat.

2.4 Tonerzeugung bei der E-Gitarre

2.4.1 Aufbau einer E-Gitarre

In diesem Abschnitt soll nun auf den Aufbau einer typischen Solid-Body-E-Gitarre eingegangen werden. Grundlegend besteht eine solche elektrische Gitarre aus Korpus, Hals, Kopf, Saiten, Hardware – wozu Bauteile wie z.B. Steg und Bünde gehören – und der verbauten Elektrik, zu welcher Tonabnehmer, Lautstärke- und Klangregler und die Klinkenbuchse (Anschluss für ein Instrumentenkabel mit einer 6,3 mm Klinke) zählen. Einige Gitarren verfügen zudem noch über gewisse Extras, wie etwa eine Tremolomechanik.

Beim Anschlagen der Saiten werden die Schwingungen der Saiten über die Tonabnehmer aufgenommen und in elektrische Signale gewandelt. Diese werden über das an die Klinkenbuchse angeschlossene Kabel an den Gitarrenverstärker weitergegeben. Mit dem Pickup-Switch und den Lautstärke- und Klangreglern, lassen sich die genutzten Tonabnehmer auswählen sowie Klang und Lautstärke des Signals bearbeiten.

2.4.2 Funktionsweise von Tonabnehmern und Lautstärke- und Klangreglern

Die wichtigsten Bestandteile eines elektromagnetischen Tonabnehmers sind ein Magnet und eine Spule. Je nach Bauform finden bei sogenannten „Single Coils“ eine oder bei den „Double Coils“ oder „Humbuckern“ zwei Spulen Anwendung. Am Beispiel der Fender Stratocaster erklärt Lemme die Bauweise eines typischen Single Coil: *„In zwei Platten aus harter Pappe sind sechs zylinderförmige Magnete gesteckt, und um diese sind etwa 8.000 Windungen aus etwa 0,06 mm dünnem Kupferlackdraht gewickelt [...] Das*

*Ganze wird von einer Kunststoffkappe geschützt.*³⁰ Diese Bauweise findet sich in vielen weiteren Fender-Gitarren und darüber hinaus auch bei anderen Herstellern wieder. Nachteil der Single Coils ist, dass sie anfällig für magnetische Streufelder sind und sich ein Netzbrummen einstellen kann. Aus diesem Grunde entwickelte Gibson 1955 einen Tonabnehmer bestehend aus einer Doppelspule. Durch das gegensinnige Schalten der Spulen haben die Störsignale den gleichen Betrag, aber jeweils entgegengesetzte Vorzeichen, so dass es zur gegenseitigen Auslöschung kommt. Das Nutzsignal der Saiten wiederum wird durch die unterschiedliche Ausrichtung der Magnete in den Spulen – in einer zeigen die Nordpole, in der anderen die Südpole der Magnete zu den Saiten – nicht aufgehoben, sondern stattdessen verdoppelt. Daher auch der Name für dieses Bauprinzip: „Humbucker“ oder „Humbucking Pickup“, zu deutsch „brummunterdrückender Tonabnehmer“. Zur Abschirmung elektrischer Störfelder kommen manchmal auch Tonabnehmer-Ummantelungen aus beschichtetem Messing oder Neusilber-Blech zum Einsatz. Bautechnisch gibt es insgesamt zahlreiche unterschiedliche Ausführungen des Humbuckers, auf die an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden soll.³¹

Durch die Induktivität der Spule wird die mechanische Saitenschwingung in ein elektrisches Signal umgewandelt. Beeinflusst wird die entstandene Spannung durch die Windungszahl der Spule, der Geschwindigkeit der Saitenbewegung, der Stärke des magnetisierbaren Anteils der Saite, der Magnetstärke und des Abstandes zwischen Saite und Magnet. Da diese Faktoren nichtlinear auf die induzierte Spannung wirken, und diese zu guter Letzt auch abhängig vom Saitenanschlag und der Spielweise des Gitarristen ist, entstehen bei der Spannungsabgabe sehr unterschiedliche Werte.³² Zwischen den Windungen der Spule entstehen zahlreiche kleine Einzelkapazitäten, die eine Gesamtkapazität bilden, welche sich ebenfalls auf das Signal auswirkt. Außerdem wird dieses auch durch den ohmschen Widerstand der Tonabnehmer geformt. Die von der Saitenschwingung erzeugte Spannung wird also abgesehen von den bautechnischen und äußeren Einflüssen im Wesentlichen durch die Induktivität, die Kapazität und den ohmschen Widerstand des Tonabnehmers verändert. Aus diesen drei Bestandteilen entsteht eine Tiefpassschaltung, die ab einer gewissen Grenzfrequenz für einen starken Spannungsabfall sorgt. Nun gibt es bei elektromagnetischen Tonabnehmern ein weiteres Phänomen: die Resonanzüberhöhung. Diese steht in direkter Verbindung mit der Tiefpassschaltung, da knapp unterhalb der Grenzfrequenz eine Resonanzstelle entsteht, an der eine bestimmte Frequenz besonders leicht zu schwingen anfängt. Wo sich diese Resonanzfrequenz befindet und wie stark das Signal in Folge der Schwingung angehoben wird, ist bei Tonabnehmern von Modell zu Modell unterschiedlich.

³⁰ Lemme, H.: Elektrogitarren. Technik & Sound: S. 88

³¹ Vgl. Lemme 2006: S. 88 - 92

³² Vgl. Lemme 2006: S. 105

Bevor das Signal in den Gitarrenverstärker fließt, muss es noch die Reglerstellungen für Lautstärke und Klang passieren, die als ohmsche Widerstände ebenfalls die Schaltung beeinflussen. Das über die Klinkenbuchse abgegriffene Signal wird anschließend über ein Instrumentenkabel an den Gitarrenverstärker weitergeleitet.³³ Die Kapazität des Kabels liegt hierbei wesentlich höher als die Wicklungskapazität der Spule, weshalb sie einen erheblichen Einfluss auf die Resonanzfrequenz der Gitarre hat.³⁴ Am Gitarrenverstärker trifft es auf einen Eingangswiderstand und eine Eingangskapazität. Bis also das durch die Saitenschwingung entstandene Signal die eigentliche Schaltung des Gitarren-Amps erreicht, wird es auf dem Weg dahin durch unterschiedliche Bauteile und Einflüsse geprägt.³⁵

Im Bereich der magnetischen Tonabnehmer sollte zum Abschluss noch kurz auf die baulichen Unterschiede zwischen aktiven und passiven Tonabnehmern eingegangen werden. Während die herkömmlichen Tonabnehmer-Modelle oft als „passiv“ bezeichnet werden, versteht man unter einem aktiven Tonabnehmer ein Modell, was zusätzlich mit einem Vorverstärker oder Impedanzwandler, welcher zwischen Tonabnehmer und Lautstärkeregel geschaltet ist, versehen ist. Vorteil dieser Ausführung ist, dass ein Teil der klangbeeinflussenden Faktoren eliminiert wird und der Frequenzgang des Tonabnehmers unabhängig von der äußeren kapazitiven und ohmschen Belastung der Potentiometer und des Instrumentenkabels ist.³⁶

Neben den elektromagnetischen kommen auch piezoelektrische Tonabnehmer in der Gitarrentechnik häufig zum Einsatz. Diese Bauweise basiert auf dem piezoelektrischen Effekt, den Lindner, Brauer und Lehmann wie folgt definieren: „Bei Druckeinwirkung auf einen Kristall entsteht eine elektrische Quellenspannung [...]. Die dazu erforderliche Kraft F erzeugt im Inneren des Kristalls eine Ionenverschiebung und damit eine elektrische Polarisation.“³⁷ In Form sehr dünner Plättchen sitzen diese Tonabnehmer meist am Steg und werden dort beim Schwingen der Saite mechanischem Druck ausgesetzt, was wiederum eine Spannung erzeugt. Im Vergleich zur elektromagnetischen Bauweise treten beim piezoelektrischen Bautyp keine elektrischen Resonanzen auf. Zudem ist der Frequenzgang gerade, einmal abgesehen von der äußeren Belastung.³⁸

³³ Vgl. Lemme 2006: S. 107 - 110

³⁴ Vgl. Hack 2012: S. 6

³⁵ Vgl. Lemme 2006: S. 110 f.

³⁶ Vgl. Lemme 2006: S. 138

³⁷ Lindner, H., Brauer, H. & Lehmann, C.: Taschenbuch der Elektrotechnik und Elektronik: S. 59

³⁸ Vgl. Lemme 2006: S. 149 - 152

2.5 Verstärker in der Gitarrentechnik

Ehe auf die einzelnen Verstärkerbauweisen eingegangen wird, muss vorab erwähnt werden, inwiefern sich Gitarrenverstärker von HiFi-Audioverstärkern unterscheiden. Die HiFi-Technik soll im Optimalfall das eingehende Signal linear und „naturgetreu“ mit dem Verstärkungsfaktor x ausgeben. In der Gitarrentechnik sind solche Verstärker wenig gewollt, da das Signal je nach Wunsch der Gitarristin oder des Gitarristen entsprechend verfärbt sein soll. Dies bedeutet, dass spezielle Frequenzgänge oder Klirrverzerrungen angestrebt werden und grundsätzlich lineare und nichtlineare Verzerrungen eine tragende Rolle spielen. Außerdem werden Gitarrenverstärker oft übersteuert und müssen somit auch stark am Limit ihrer Leistungsfähigkeit arbeiten können.³⁹

Es gibt drei typische Konstruktionsweisen von Gitarrenverstärkern. Eine beliebte Bauweise ist der „Combo“-Verstärker. Hier befinden sich alle Bauteile in einem Modell, d.h. die eigentliche Verstärkersektion (Vorstufe, Endstufe, Bedienelemente und Klangregler, Eingangs-, Ausgangs- und Zusatzbuchsen) und der Lautsprecher sind in einem stabilen Gehäuse untergebracht. Oft sind diese Verstärker nach hinten hin offen. Diese Ausführung ist in Transport und Handhabung etwas komfortabler als getrennte Systeme, allerdings ist die Elektronik anfällig gegenüber den Vibrationen der Lautsprecher oder des Gehäuses.

Deshalb ist der zweite bekannte Aufbau des Gitarren-Amps auf diese Problematik ausgerichtet: getrennte Systeme, bestehend aus Verstärker-Topteil und Lautsprecherbox, kurzum „Stack“ genannt. Bei diesen Ausführungen sind die Lautsprecherboxen oft nach hinten geschlossen.

Zu guter Letzt gibt es die ebenfalls häufig vorkommende „Rack“-Ausführung. Sie trennt nun nicht nur auch die Elektronik auf, so dass Vorstufe und Endstufe und alle gewünschten dazwischen geschalteten Effekte und Klangbearbeitungsmöglichkeiten separat umgebaut und ausgetauscht werden können, sondern dimensioniert diese in der Konstruktion so, dass sie in einem 19“-Gehäuse Platz finden.⁴⁰

2.5.1 Röhrenverstärker

Dieses Kapitel soll sich der ältesten Technik zur Verstärkung von E-Gitarren-Signalen widmen: den Röhrenverstärkern. Zur Verstärkung werden hier Röhrenvor- und -endstufen eingesetzt. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass die Vorstufen die

³⁹ Vgl. Lemme 1995: S. 13 f.

⁴⁰ Vgl. Lemme 1995: S. 20 f.

Spannung des Eingangssignals verstärken und für die Formung des Frequenzgangs zuständig sind, während die Endstufen den Stromfluss und somit auch die Leistung verstärken.⁴¹

Röhrenvorstufen

In der Regel wird das Signal der E-Gitarre über ein Instrumentenkabel mit einer 6,3mm Klinke in den Verstärker gegeben. Dort trifft es zunächst auf den Eingangswiderstand der Vorstufe, der teils je nach Auswahl des Inputs (sofern mehrere Buchsen vorhanden sind) variiert.

Anschließend wird das Signal mit den in der Vorstufentechnik weit verbreiteten Röhrentrioden verstärkt. Diese reichern das Signal mit zusätzlichen Obertönen an, was im Konkreten bedeutet, dass dem Signal geradzahlige Vielfache der Grundfrequenz hinzugefügt werden. Somit entstehen bereits vor der Übersteuerung Verzerrungen, die aber (je nach Stärke) nicht als solche wahrgenommen werden, sondern eher als „vollerer“ Klang. Diese Verfärbung des Sounds wird oftmals positiv wahrgenommen und ist charakteristisch für Röhrenverstärker. Je stärker das Eingangssignal in seiner Spannung wird, desto mehr kommt es zur Übersteuerung der Röhrentriode. Hinsichtlich seines Kurvenverlaufs wird das Signal nun an seinen Spitzen beschnitten bzw. abgekappt. Bei diesem Vorgang bilden sich nun neben den geradzahligen auch ungeradzahlige Obertöne, die den Sound rauer und aggressiver färben, die Verzerrungen sind deutlich zu hören. Es handelt sich hierbei um nichtlineare Verzerrungen. In der Regel befindet sich in der Vorstufensektion eines Röhrenverstärkers nicht nur eine, sondern mehrere in Reihe geschaltete Trioden. Somit wird das Eingangssignal stärker verzerrt, wodurch es folglich auch einen immer geringer werdenden Dynamikumfang hat.⁴²

Es gibt zahlreiche Modelle, auf denen die Input-Modi „Clean“, „Crunch“, „Lead“ o.ä. wiederzufinden sind. Je nach Auswahl des Inputs durchläuft das Signal verschieden viele Röhrentrioden. An den meisten Gitarren-Amps befinden sich zudem Regler für „Gain“ und „Volume“, mit denen sich der Grad der Verstärkung bzw. Verzerrung und die Lautstärke des Vorstufensignals einstellen lassen (Marshall JVM410H, Orange AD30HTC, Engl Firewall 100 E635, Hughes&Kettner GrandMeister Deluxe 40).

Nachdem das Signal durch die Röhrentrioden verstärkt wurde, kann es durch die Klangregler bearbeitet werden. Meist ist diese Sektion auf Gitarrenverstärkern als „Equalizer“ oder „EQ“ gekennzeichnet und mit den Reglern „Bass“, „Middle“ und „Treble“ ausgestattet (Bugera 6262 Infinium, Marshall DSL20HR, Fender 65 Twin Reverb). Es handelt sich

⁴¹ Vgl. Lemme 1995: S. 67

⁴² Vgl. Lemme 1995: S. 50 ff.

bei derlei Ausführungen um sogenannte 3-Band-EQs, welche zu den grafischen Equalizern zählen. Grafische Equalizer sind meist feste Glockenfilter, deren Filterbreite und -güte fest justiert sind. Lediglich die Stärke der Anhebung oder Absenkung lässt sich einstellen.⁴³

Röhrenendstufen

In Röhrenendstufen werden keine Trioden, sondern Pentoden verwendet.⁴⁴ Eine Endstufenschaltung besteht im Wesentlichen aus Leistungsteil, Phasenumkehrstufe, Spannungsversorgung und Gegenkopplung.

Im Leistungsteil eines Röhrenverstärkers befinden sich die zur Verstärkung des eingehenden Signals vorgesehenen Pentoden, sowie der darauffolgende Ausgangsübertrager. Weichhaus benennt die Aufgaben eines Ausgangsübertragers: Spannungs- und Impedanztransformation. Zum einen muss die hohe von den Röhrenpentoden abgegebene Spannung in eine niedrigere für Lautsprecher verträglichere Spannung umgewandelt werden, zum anderen muss gleiches für die hohe Ausgangsimpedanz der Röhren erfolgen. Die Funktionsweise kann grundsätzlich auch mit der eines Netztransformators verglichen werden.⁴⁵

Weiterhin gilt zu beachten, dass es für Endstufen verschiedene Betriebsarten gibt, die als A-, B- und AB-Betrieb definiert sind. Röhren, die im A-Betrieb genutzt werden, sind durchweg aktiv, da hier der Ruhestrom auf den halben Maximalstrom ausgelegt ist. Somit nimmt das Signal stets Werte zwischen 0 und dem Maximalwert an. Da diese Methode einen hohen Stromverbrauch nach sich zieht, besitzt sie auch nur einen geringen bzw. begrenzten Wirkungsgrad, jedoch verursacht sie nur geringfügige nichtlineare Verzerrungen. Problematisch ist bei dieser Betriebsart der durch die hohe Wärmeentwicklung auftretende Röhrenverschleiß. Die zweite Art Endstufen zu betreiben ist der B-Betrieb. Im Gegensatz zum A-Betrieb bleibt hier der Ruhestrom bei allen Röhren auf 0, erst durch das eingehende Signal wird ein Stromfluss erzeugt. Während in A-Betrieb alle Röhren das Signal komplett abbilden, wird es im B-Betrieb auf zwei Röhren verteilt. Das bedeutet, dass beispielsweise Röhre 1 von den positiven und Röhre 2 von den negativen Halbwellen des Eingangssignals durchflossen wird. Vorteil dieser Art, auch Gegentakt-Betrieb genannt, ist der deutlich geringere Stromverbrauch, was zur Folge hat, dass eine deutlich höhere Spannung angelegt werden und demnach eine höhere Leistung erzielt werden kann. Problematisch wird es beim Betrachten der Stromkennlinie. Diese verhält sich nicht proportional zur Spannungsansteuerung der Röhrenpentode, sondern knickt

⁴³ Vgl. Dickreiter et al. 2014: S. 394

⁴⁴ Vgl. Lemme 1995: S. 67

⁴⁵ Vgl. Weichhaus 2020: S. 110 f.

beim Nulldurchgang des Signals ab. Dieses Phänomen wird als „Übernahmeverzerrung“ bezeichnet (s. Abbildung 5). Der oft angewandte Kompromiss aus beiden ist der AB-Betrieb. Dieser übergeht das Problem der Übernahmeverzerrungen, indem der Ruhestrom etwas oberhalb des Kennlinienknicks eingestellt wird. Bei geringer Aussteuerung laufen die Röhren nun nach A-Betrieb, bei höherer Spannung wird in den B-Betrieb gewechselt. Die meisten Röhrenverstärker arbeiten nach diesem Prinzip. Zu beachten ist, dass bei Endstufen sowohl in B- als auch AB-Betrieb mit höherer Ausgangsleistung eine Art Kompression eintritt, da die Ausgangsspannung dezent sinkt und sich keine Proportionalität zur Eingangsspannung zeigt.⁴⁶

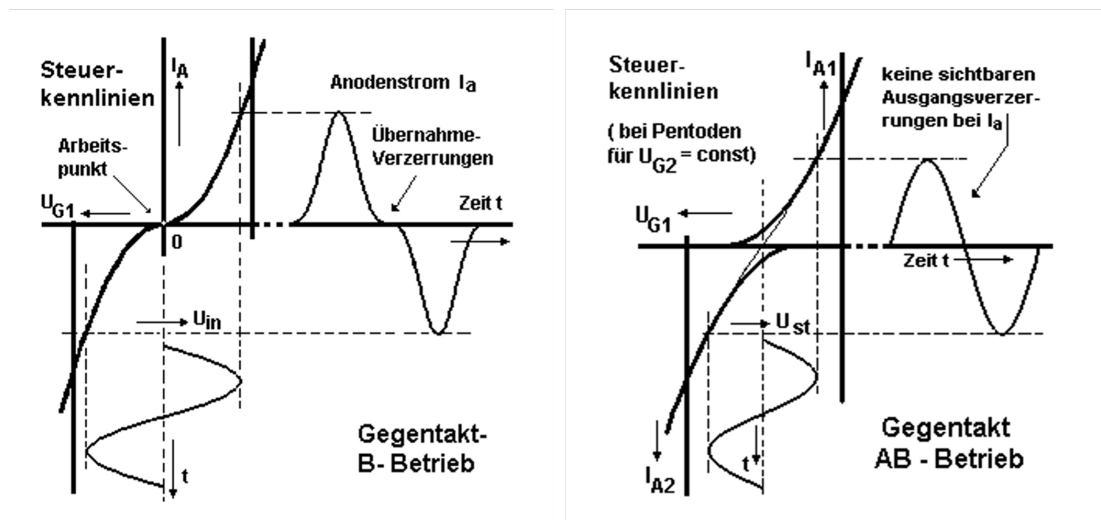


Abbildung 5: Kennlinien des Gegentakt-B- und Gegentakt-AB-Betrieb

Um die für den B- und AB-Betrieb benötigte gegenphasige Ansteuerung der Steuergitter bei Endröhren zu erreichen, wird eine Phasenumkehrstufe benötigt. Diese ändert die Polarität des Signals, indem sie es invertiert. Nach Potchinkov gibt es mehrere Möglichkeiten, eine solche Inverterschaltung in die Endstufe zu integrieren. Wichtig beim Invertieren des Signals ist, dass die beiden daraus resultierenden gegenphasigen Signale die gleiche Spannung besitzen sollten, da sonst beim Verstärken mittels der Röhrententoden geradzahlige Obertöne entstehen.⁴⁷

Röhrententoden benötigen eine eigens auf die verwendete Pentodenart abgestimmte Gittervorspannung, um einen idealen Ruhestromfluss zu gewähren. Ist der Ruhestrom zu hoch, hat dies einen stärkeren Verschleiß der Röhren zur Folge, ist er allerdings zu niedrig, so entstehen die bereits thematisierten Übernahmeverzerrungen. Beim Auswechseln können Röhren des gleichen Typs problemlos ersetzt werden, während jedoch

⁴⁶ Vgl. Lemme 1995: S. 72 - 77

⁴⁷ Vgl. Potchinkov 2015: S. 140 f.

andere Röhrentypen andere Gittervorspannungen und eventuell ein Netzteil, welches die entsprechende Spannung umsetzen kann, benötigen.⁴⁸

Die Gegenkopplung des Ausgangs- mit dem Eingangssignal ist besonders wichtig, um eine kontrollierte Verstärkung zu gewährleisten. Je nach Dimensionierung des eingebauten Gegenkopplungswiderstandes ist damit ein geradlinigerer Frequenzgang und eine Verminderung der nichtlinearen Verzerrungen verbunden. Ein höherer Widerstand verringert dabei nicht die Ausgangsleistung der Endstufe, es muss lediglich eine stärkere Eingangsspannung angelegt werden. In einigen Gitarren-Amps ist der Gegenkopplungswiderstand eine flexible Größe, die über einen Regler (meist mit „Presence“ beschriftet) justiert werden kann. Ein hoher Widerstandswert bedeutet hier einen geringen Innenwiderstand der Endstufe. Bei gleichbleibender äußerer Last verändert sich also durch das Ändern des Gegenkopplungswiderstandes das Verhältnis zwischen Innen- und Außenwiderstand, welches als Dämpfungsfaktor bezeichnet wird. Ein hoher Dämpfungsfaktor wiederum bewirkt ein präziseres Schwingen der Lautsprechermembran, sinkt der Faktor schwingt die Membran weniger genau, eher „lose“, mit. Der „Presence“-Potentiometer wirkt sich allerdings nicht nur auf den Dämpfungsfaktor aus, sondern hebt auch die Höhen des Signals an, da Spannungsverstärkung und Innenwiderstand mit zunehmender Frequenz steigen.

Eine zweite Methode Röhrenendstufen gegenzukoppeln ist die Schirmgitter-Gegenkopplung, bei der die Schirmgitter der Pentoden mit einem Teil der Anoden-Wechselspannung versehen werden. Soundtechnisch bewirkt dies ebenso wie bei der Gegenkopplung mittels eines Widerstands einen lineareren Frequenzgang und weniger nichtlineare Verzerrungen. Pentoden können auch in den Triodenbetrieb geschaltet werden, indem über die Gegenkopplung die volle Anoden-Wechselspannung auf das Schirmgitter gelegt wird. Dies hat folgende Konsequenzen: die Endstufenleistung verringert sich deutlich, der Dämpfungsfaktor steigt, das Signal verliert an Höhen.⁴⁹

Bei der Angabe der Leistung eines Röhrenverstärkers muss neben der Betrachtung der Betriebsspannung und des maximalen Ausgangsstroms der Klirrfaktor Berücksichtigung erhalten, da bei einem Gitarrenverstärker die Übersteuerung zum Regelfall zählt. Je höher die Übersteuerung, also auch der Klirrfaktor, desto höher ist auch die Leistung. Als Maximalleistung sollte also der Wert angegeben werden, den eine Endstufe bei stärkster Übersteuerung dauerhaft abgeben kann.⁵⁰

⁴⁸ Vgl. Lemme 1995: S. 78 f.

⁴⁹ Vgl. Lemme 1995: S. 80 - 88

⁵⁰ Vgl. Lemme 1995: S. 94 f.

2.5.2 Transistorverstärker

Transistorvorstufen

Auch in Transistorvorstufen werden dem Signal bereits vor Übersteuerung geradzahlige Obertöne hinzugefügt. Dies hängt mit dem in der Schaltung verbauten Kondensator zur Überbrückung des Emitterwiderstands zusammen. Wird dieser Kondensator weggelassen, so reduziert sich die Verstärkung des Transistors stark, allerdings verschwindet somit auch die durch die geradzahlig Harmonischen verursachte Kurvenkrümmung des Signals. Geläufiger ist aber die Zusammenschaltung mehrerer Transistoren, wobei zwischen letztem und erstem Transistor mittels eines Widerstandes eine Gegenkopplung realisiert wird. Eine solche Vorstufe besitzt dann eine hohe Leerlaufverstärkung und erzeugt vor der Übersteuerung keine Obertöne. Sobald eine Übersteuerung jedoch eintritt, werden die Signalspitzen hart abgeschnitten und dem Signal werden ungeradzahlige und ggf. geradzahlige Obertöne hinzugefügt. Im Vergleich zur Röhrenvorstufe nehmen hier die Amplituden der Obertöne weniger stark ab, weshalb besonders die hohen Frequenzen stärker betont werden. Außerdem stellt sich bei Transistorvorstufen bei starker Übersteuerung ein nahezu rechteckiges Signal ein (starkes Abkappen der Spitzen), der Klirrfaktor beträgt etwa 50%. Zudem wird das Signal schon kurz nach Eintreten der Übersteuerung recht stark verzerrt. All dies sind Gründe für den typischen Klang eines Transistor-Amps.⁵¹

In heutigen Transistorvorstufen werden vornehmlich Operationsverstärker anstelle einzelner Transistoren verbaut. Das vereinfacht die Schaltung der Vorstufe ungemein. Dabei ist insbesondere ein Wert des OPVs relevant, um die Qualität eines Transistorverstärkers einordnen zu können: die „Slew Rate“. Aus ihr lässt sich ableiten, wie schnell ein Verstärker die Amplitude des ausgehenden Signals ändern kann.⁵² Ist die Slew Rate zu niedrig, so kann der Verstärker das Signal nicht adäquat wiedergeben, es wird je nach Größe der Amplitude und Frequenz an den Flanken geschliffen und an den Spitzen beschnitten. Die dadurch entstehenden ungeradzahligen Obertöne lassen den Transistorverstärker unsauber und undurchsichtig klingen. Weitere sich auf den Klang eines Transistorverstärkers negativ auswirkende Effekte sind das Verweilen der Transistoren im Sättigungszustand (was bedeutet, dass der Kollektorstrom verzögert zum Basisstrom abnimmt und infolgedessen im Ausgangssignal „Aussetzer“ entstehen) oder der „Latch-Up“-Effekt (Invertierung des Ausgangssignals und starke Bildung von Obertönen bei Überschreiten der maximalen Eingangsspannung). Letztlich sind all diese

⁵¹ Vgl. Lemme 1995: S. 59 - 62

⁵² Vgl. Federau 2006: S. 196, S. 233

Effekte und das Übersteuerungsverhalten beim Einsatz von bipolaren Transistoren in Vorstufenschaltungen zu beachten.

Feldeffekt-Transistoren verhalten sich hinsichtlich ihrer Charakteristika und ihrer Kennlinienkrümmung ähnlich zu Röhren. Bei FETs tritt beispielsweise kein Beschneiden der Signalkurve ein, die Amplituden werden vielmehr weich „geschliffen“, wie es bei der Röhrentriode der Fall ist. Außerdem können diese Transistoren auch nicht im Sättigungszustand hängen bleiben. Zudem gibt es eine weitere Möglichkeit, um in Transistorvorstufen einen röhrenähnlichen Klang zu erzeugen. Mittels antiparalleler Dioden kann ein flüssigerer Übergang zwischen cleanem und verzerrtem Bereich realisiert werden. Darüber hinaus wird die Signalkurve weicher abgekappt.⁵³

Transistorendstufen

Endstufen in Transistor-Amps fallen in ihrer Schaltung wesentlich komplexer aus und unterscheiden sich in Bezug auf Röhrenendstufen darin, dass sie keinen Ausgangsübertrager besitzen, sondern das Signal direkt an den Lautsprecher leiten. Ähnlich wie zu den Röhrenendstufen arbeiten die meisten Transistorendstufen im AB-Betrieb, jedoch tritt hierbei der Kompressionseffekt einer klassischen Röhrenendstufe nicht auf. Außerdem zeigen Transistoren keine Alterungserscheinungen, wie es bei Röhren der Fall ist.

Eine Transistorendstufe ist ähnlich zu einem Operationsverstärker konzipiert, die Eingangsstufe arbeitet als Differenzverstärker. Das Ausgangssignal wird ebenfalls mit dem Eingangssignal gegengekoppelt. Die Gegenkopplung ist hierbei sehr stark, es treten deshalb nur geringfügig nichtlineare Verzerrungen auf. Wie bereits im Abschnitt zu Röhrenendstufen erklärt, gibt es auch hier einen Zusammenhang zwischen Innenwiderstand und äußerer Last. Durch die hohe Gegenkopplung ergibt sich ein hoher Dämpfungsfaktor, was bedeutet, dass das Signal vom Lautsprecher präzise abgebildet wird. Da aber in der Gitarrentechnik ein „lebendiger“ Lautsprecher höher geschätzt wird, wird oftmals in der Endstufenschaltung ein hoher Innenwiderstand eingefügt, welcher dafür sorgt, dass der Verstärker den Klang einer Röhrenendstufe imitiert.⁵⁴

Analog zur Transistorvorstufe wird ein übersteuertes Signal hart abgekappt. Auch die bereits thematisierten Phänomene der Slew Rate, „Latch-Up“-Effekt und des Verweilens in der Sättigung können in Transistorendstufen auftreten. Lemme beschreibt eine weitere Form unerwünschter Verzerrungen bei Transistorendstufen.⁵⁵ Reagieren Leistungstransistoren langsamer als Treiberstufentransistoren, so kann es zur Transienten-

⁵³ Vgl. Lemme 1995: S. 62 - 66

⁵⁴ Vgl. Lemme 1995: S. 107, S. 113 f.

⁵⁵ Vgl. Lemme 1995: S. 107 ff.

Intermodulation kommen. Das bedeutet, dass das gegengekoppelte Ausgangssignal verzögert in den Eingangs-Differenzverstärker gelangt und deshalb die Treiberstufe übersteuert. Durch Anpassungen in der Schaltung lässt sich die Slew Rate der Treiberstufe aber herabsetzen, so dass diese ungewollten Verzerrungen umgangen werden.

Auch im Bereich der Endstufen sind Feldeffekt-Transistoren bipolaren Transistoren deutlich überlegen. Sie weisen das gleiche Verhalten wie in Vorstufen auf, was Slew Rate, „Latch-Up“-Effekt, Verweilen im Sättigungszustand und Transienten-Intermodulation betrifft.

Zur Leistung von Transistorverstärkern lässt sich sagen, dass diese im Vergleich zu Röhrenverstärkern oft deutlich höher ausgelegt ist. Das hängt damit zusammen, dass bei Transistor-Amps die maximale Auslastung nie erreicht werden sollte, weil sie sonst übersteuern. Eine Übersteuerung ist deshalb zu vermeiden, weil dem Signal dabei ungeradzahlige Obertöne hinzugefügt werden, die sich stark im oberen Frequenzbereich bemerkbar machen.

Während früher noch viel mit Einzeltransistoren gearbeitet wurde, gewannen im Laufe der Jahre integrierte Schaltungen zunehmend an Relevanz. Mittlerweile können viel kompaktere und leistungsfähigere Transistorendstufen in Gitarrenverstärkern verbaut werden. Transistorendstufen sind im Vergleich zu Röhrenendstufen deutlich platzsparender, da sie auf kleinen Chips Platz finden, während Röhren nach wie vor verhältnismäßig viel Platz in Anspruch nehmen.⁵⁶

2.5.3 Digitale Verstärker

Digitale Verstärker oder auch Modeling Amps sind im Grunde Röhren- oder Transistor-Amps mit einem zusätzlich eingebauten Effektprozessor. Dieser greift das Gitarrensignal ab, wandelt es in ein digitales Signal, welches anschließend bearbeitet und analog wieder ausgegeben wird. Der verwendete Prozessorchip übernimmt hierbei Aufgaben, die im analogen Bereich durch elektrotechnische Bauelemente und Schaltungen umgesetzt werden.⁵⁷ Dazu werden in entsprechenden Laboren die Bau- und Funktionsweise sowie der Sound der nachzubildenden Amps und alle dazugehörigen Messwerte analysiert. Anschließend versuchen die Hersteller Klangeigenschaften und -verhalten bzw. Schaltungen zu emulieren, sodass der Chip das eingehende Signal nach diesen Vorgaben verarbeiten kann. ISF (Infinite Shape Feature), COSM-Technologie (Composite Object Sound Modeling), Mooer-Digital-Preamp-Technologie oder Dynamic-Response-

⁵⁶ Vgl. Lemme 1995: S. 110 - 119

⁵⁷ Vgl. e-gitarren.net 2021: [online] e-gitarren.net/modelling-amps/ [24.02.2022]

Modeling sind nur einige der patentierten Funktionsweisen der von verschiedenen Firmen verbauten Prozessoren. Mittlerweile können einige Modelle, so zum Beispiel auch der Kemper Profiling Amp, nicht nur ausgewählte Topteile und Lautsprecherkabinette abbilden, sondern auch eigens aufgenommene Sound-Profile in ihr Sortiment einbinden.⁵⁸ Bevor insbesondere der Kemper Profiling Amp näher betrachtet wird, soll zunächst anhand verschiedener Beispiele die Funktionsweise der üblichen Modeling Amps erklärt werden.

Die wohl einfachste Form eines digitalen Gitarrenverstärkers stellen Combo-Amps mit einem Dutzend ausgewählter Verstärker-Topteilen und einem Lautsprecher dar. Hier lassen sich die Sounds der abgespeicherten Verstärkermodelle meist per Regler oder Tasten abrufen. Oft können diese Presets über Gain, EQ und weitere Hall-, Delay- oder Modulationseffekte bearbeitet werden. In derlei Modellen findet von der Vorstufe bis zur Wiedergabe über den Lautsprecher die Signalbearbeitung komplett im Gitarrenverstärker statt. Beispiele hierfür sind die Mooer Hornet Modeling Combo oder die Harley Benton HB-15GXD JamBox. Darüber hinaus bieten einige Hersteller auch zum digitalen Verstärker eine Editierungssoftware an, mit der die Werk-Presets überarbeitet oder individuelle User-Presets erstellt werden können. Dazu zählen beispielsweise der Tone Room beim Vox VT40X oder die Architect Software des Blackstar ID:Core 10V3.

Abschließend muss noch etwas zu Multi-Effektgeräten und Simulationssoftware für PC-Anwendungen gesagt werden. Auch diese können Modeling Amps umsetzen, benötigen aber einen externen Lautsprecher, um den Sound wiedergeben zu können. So kann z.B. bei den Effektgeräten Zoom G1X Four oder Boss GT-10 aus einer Palette verschiedener Amp-Sounds gewählt werden, die direkt über das Gerät oder ergänzende Software mit Effekten ausgeschmückt werden können. Weitreichendere Simulationen lassen Programme wie AmpliTube 5 von IK Multimedia zu. Bei dieser Software kann aus einem riesigen Sortiment an Amp- und Lautsprecherkabinettmodellen, sowie Mikrofonen, Räumen und entsprechenden dreidimensionalen Mikrofonierungstechniken gewählt werden. IK Multimedia bietet auch spezielle AmpliTube Collections an, wie etwa die Fender Collection oder die Orange Collection, die von den Herstellern der originalen Gitarrenverstärker zugelassen wurden.⁵⁹

Aufbau des Kemper Profiling Amp

Die Besonderheit des Kemper Amps ist das bereits angesprochene Profiling, mit dem sich innerhalb kurzer Zeit Sound-Profile von Amp-Systemen erstellen lassen. Topteil,

⁵⁸ Vgl. thomann.de 27.01.2017: [online] thomann.de/blog/de/modeling-amps-fuer-gitarre/ [24.02.2022]

⁵⁹ Vgl. ikmultimedia.com: [online] ikmultimedia.com/products/amplitube5/ [28.02.2022]

Lautsprecherkabinett, Mikrofon und Mikrofonierung, sowie der Klang des Raums bzw. der Umgebung werden bei dem Profiling-Vorgang eingefangen. Dem Hersteller nach soll der Kemper Profiling Amp sowohl für Studioarbeiten als auch für Live-Auftritte geeignet sein und alle notwendigen Bereiche abdecken.⁶⁰

Zunächst soll der Aufbau des Kemper Profiling Amps betrachtet werden. An der Vorderseite befinden sich sämtliche Regler und Knöpfe zum Bedienen des Amps, sowie ein Kopfhöreranschluss und ein Input (beide für ein Instrumentenkabel mit einer 6,3 mm Klinke ausgelegt), der im Regelfall zum Anstecken eines Instruments (Gitarre oder Bass) dient. Der Großteil der Hardware-Anschlüsse befindet sich auf der Rückseite des Geräts (s. Abbildung 6): Stromversorgung, USB- und Netzwerkkabelanschluss, Anschlüsse für Pedale, eine MIDI-Sektion (In, Thru, Out), S/PDIF In/Out. Weiterhin existieren zum Anschluss von Lautsprechern jeweils ein L/R-XLR-Ausgang sowie ein L/R-Klinkenausgang. Zum Abnehmen eines Monitorsignals besteht ein einzelner Output mit einer 6,3-mm-Buchse. Besonders wichtig zum Durchführen des Profiling sind die Buchsen für Direct Output/Send und Return und Alternative Input.



Abbildung 6: Rückseite des Kemper Profiler PowerRack.

Die Frontseite des Kemper Profiling Amps (s. Abbildung 7) gestaltet sich etwas komplexer. Um den Profiler einzuschalten, ist der sogenannte „Chicken Head“-Schalter zu tätigen. Mit ihm kann bestimmt werden, ob der Amp im Tuner-, Browser-, Perform- oder Profiler-Modus ist. Mittels der Rig-Tasten kann im Browser ein gewünschtes „Rig“ ausgewählt, geladen und bearbeitet werden. Ein „Rig“ besteht hierbei aus einem Verstärkerprofil und Effekten. Auf dem Display des Kemper Profiling Amps lassen sich aktuelle Informationen anzeigen, je nachdem welches Menü gerade aufgerufen ist. Dabei lassen sich durch Nutzung von vier Reglern jeweils unterschiedliche Parameter (z.B. Bass,

⁶⁰ Vgl. kemper-amps.com: [online] kemper-amps.com/profiler/overview [01.03.2022]

Middle, Treble und Presence) ändern.⁶¹ Des Weiteren lassen sich im unteren Bereich des Profilers Regler für Gain und Volume finden.

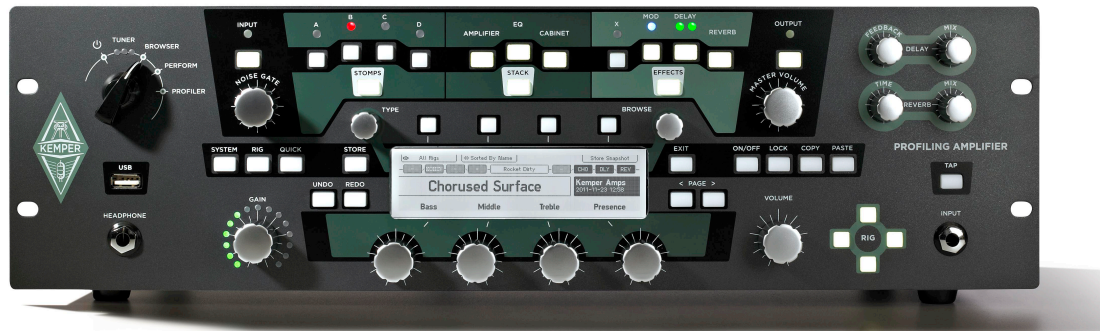


Abbildung 7: Front des Kemper Profiling Amp Rack Edition.

Der obere Bereich des Amps soll den Signalfluss darstellen. Er beginnt am Input, führt über die ersten vier zuschaltbaren Effektmodule („Stomps“) in das „Stack“-Modul, in dem sich Verstärker- und Lautsprecherkabinetttyp sowie EQ bearbeiten lassen, und gelangt anschließend über bis zu vier weiteren Effekten in den Output. Auch wenn unter anderem die zweite Effektsektion mit „X“, „MOD“, „DELAY“ und „REVERB“ bezeichnet ist, sind die auswählbaren Effekte grundsätzlich in allen acht Effektslots identisch.⁶²

Der Kemper Profiling Amp ist mit einer Grundausstattung an verschiedenen Amp-Profilen versehen. Diese bestehen aus einem Gitarrenverstärker, einem Lautsprecherkabinett und einem ausgewählten Mikrofon, welches in den Bereich des Kabinetts eingeordnet wird. Soll nun einer dieser Bestandteile ausgetauscht werden, so kommt der CabDriver-Algorithmus zum Einsatz. Dieser erkennt, wo sich das Sound-Profil am besten aufsplitten lässt, um gewünschte Komponenten auszutauschen. Außerdem kann damit auch die Simulation des Lautsprechers unterbunden werden, so dass lediglich der Klang des Gitarrenverstärkers über den Output abgegeben wird. Diese Methode eignet sich beispielsweise, wenn analog ein Lautsprecherkabinett angehängt wird.⁶³

Neben diesen sogenannten „Studioprofilen“ gibt es auch noch „Direct-Amp-Profile“. Diese Profile bilden lediglich den Gitarrenverstärker, nicht aber eine Lautsprecherbox oder ein Mikrofon (und somit auch keinen Raumklang) ab. Beim Erstellen dieses Sound-Profiles wird vor allem auch das Verhalten der Endstufe eines Verstärkers berücksichtigt, so dass beim Anschließen eines Lautsprecherkabinetts der Sound nach wie vor – dem

⁶¹ Vgl. Kemper GmbH 2021: Schnellstart. Profiler Head & Rack. Deutsch: S. 38 ff.

⁶² Vgl. Kemper GmbH 2021: Kemper Profiler. Das große Handbuch 8.5: S. 20 ff.

⁶³ Vgl. Kemper GmbH 2021: Kemper Profiler. Das große Handbuch 8.5: S. 81

Hersteller nach – authentisch klingt. Für Direct-Amp-Profiles kann auch ein bereits im Kemper Profiling Amp abgespeichertes Kabinett hinzugefügt werden.⁶⁴

Profiling-Technik

Im nun folgenden Kapitel soll erklärt werden, wie diese Profile erstellt werden können. In der Grundlagen-Anleitung des Kemper Profiling Amps befindet sich ein Profiling-Leitfaden, der sehr detailliert erklärt, wie das Profiling abzuhalten ist. Grundsätzlich ist bei diesem Vorgang eine Signalschleife zu legen, die im Direct Output des Kemper Profilers beginnt und im Return Input endet. Über diesen Signalweg *„schickt [der Profiler] verschiedene Messtöne und Signale zum Referenz-Amp [...] Die sich dynamisch verändernden Testsignale ermöglichen es dem Profiler, das nichtlineare Verhalten einer Röhrenschialtung zu erlernen und die Dimensionen der passiven Komponenten des Referenz-Amp zu erfassen. Der Profiler hört zu, wie der Referenz-Amp diese Klänge wiedergibt, und analysiert das Resultat. Diese Klangcharakteristik wird dann im virtuellen Signalfluss des Profilers nachgebildet. Sogar das charakteristische Klangbild der verwendeten Lautsprecher und des Mikrofons mit allen Frequenzverschiebungen und -auslöschungen wird erkannt und zu einem Bestandteil des Profils.“*⁶⁵ Bei diesem Ablauf erfolgt zuerst die Untersuchung des Frequenzgangs des zu analysierenden Systems, da dieser sich in Abhängigkeit von der Lautstärke und Verzerrung verändert. Auch das Impedanzverhalten des Lautsprecherkabinetts und dessen Rückwirkung auf die Endstufe des Verstärkers wird in diesem Schritt gemessen. Zur Messung wird deshalb ein lauter werdendes Rauschen verwendet. Um die Verzerrung und insbesondere den Verzerrungsverlauf des Analyse-Amps zu durchleuchten, wird im zweiten Schritt ein auf die Verzerrungsgrenze eingepegelttes konstant bleibendes Rauschen genutzt. Was den dritten Schritt betrifft, hält sich Kemper deutlich stärker bedeckt. Hier wird nur angegeben, dass ein „komplexes Tongemisch“ das Amp-System durchläuft: *„Das Tongemisch erzeugt in der Verzerrung des Verstärkers ein definiertes Interferenzmuster, welches quasi als „DNA“ des Verstärkersounds angesehen werden kann. Die Verzerrungen des Lautsprechers und die sich bildenden Partialschwingungen auf seiner Membran [...] werden durch das Tongemisch ebenfalls angeregt.“*⁶⁶ Auf Nachfrage zu genaueren Details der genutzten Profiling-Signale verweist die Firma lediglich auf die auf der Website bzw. in den Handbüchern stehenden Informationen, gibt also de facto keine „Background“-Informationen heraus. Zur Frage, ob das Profiling-Signal fortlaufend optimiert bzw. aktualisiert werde, antwortete Kemper, dass an diesem seit Markteinführung keine Änderungen vorgenommen wurden. In der Grundlagen-Anleitung wird oft von Röhrenverstärkern oder

⁶⁴ Vgl. Kemper GmbH 2021: Kemper Profiler. Das große Handbuch 8.5: S. 84 f.

⁶⁵ Kemper GmbH 2015: Kemper Profiler. Grundlagen Anleitung: S. 32

⁶⁶ Kemper GmbH 2015: Kemper Profiler. Grundlagen Anleitung: S. 46 f.

-sound gesprochen, es können aber auch genauso gut Transistorverstärker und andere digitale Amps geprofiled werden. Zu beachten sei weiterhin, dass auch möglichst keine Effekte im Profiling-Signalweg liegen, da diese die Erstellung des Sound-Profils negativ beeinflussen könnten.⁶⁷

Um nun diese Signalschleife zu legen, gibt es mehrere Möglichkeiten der Verkabelung des Equipments, wie Abbildung 8 zeigt.

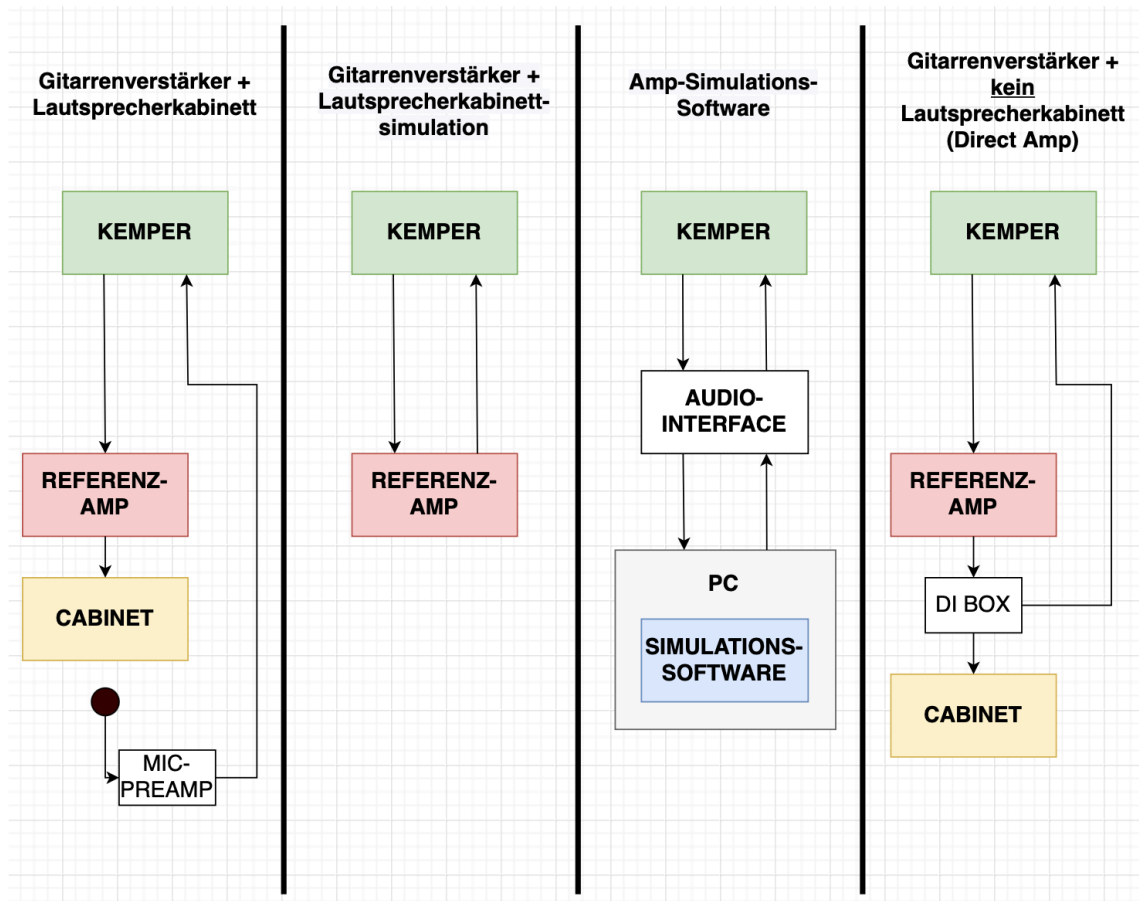


Abbildung 8: Mögliche Optionen der Verkabelung und des Signalfusses beim Profiling mit dem Kemper Profiling Amp.

Außerdem sollte bei allen Optionen die Gitarre an den Input des Kemper Profilers, sowie Lautsprecher am Main Output des Kemper Profilers zum Abhören der Ergebnisse angeschlossen sein.

Ist alles entsprechend verkabelt kann das Profiling beginnen. Zuerst muss im Browser-Modus ein Referenz-Rig ausgewählt werden, d.h., dass dieses Rig dem einzulesenden Amp-System ähneln sollte. Die Effektsektion des Rigs sollte deaktiviert sein.

⁶⁷ Vgl. Kemper GmbH 2015: S. 32 f.

Anschließend ist der Profiler-Modus auszuwählen. Nun muss der Pegel des Return Input so angepasst werden, dass Kemper Profiling Amp und Referenz-Amp etwa gleichlaut klingen. Mit entsprechenden Umschalttasten kann man zwischen beiden Systemen hin- und herschalten. Zu genau muss dabei laut Hersteller nicht vorgegangen werden, da der Return Level auf den Nominalpegel des Kemper Profilers während des Profiling angepasst wird. Außerdem sollte bei allen Komponenten ein entsprechender Headroom gelassen werden, um keine ungewollte Übersteuerung zu erzeugen. Per Tastendruck kann der nächste Schritt aufgerufen werden, bei dem dem Profiler mitgeteilt werden muss, ob ein unverzerrter oder verzerrter Sound analysiert wird. Dies erkennt der Profiler zwar beim Profiling automatisch, allerdings beeinflusst diese Angabe die Lautstärke der Testsignale, welche bei einem cleanen Sound etwas leiser sind. Zu guter Letzt wird über „Start Profiling“ der Profiling-Vorgang gestartet. Wenn das Grundprofil des Referenz-Amps steht, können mit dem „Refining“ Profile mit verzerrten Sounds noch verbessert werden. Dazu wird „Refine Profile“ gewählt, um anschließend ca. 20 Sekunden möglichst hart angeschlagene Akkorde auf der Gitarre zu spielen, damit der Profiler Daten zur Verzerrungs- und Attack-Charakteristik sowie dynamischen Ansprache sammeln kann. Mit dem Befehl „Finish“ kann das Profiling nun abgeschlossen werden.⁶⁸

Beim Erstellen eines Direct-Amp-Profils wird ähnlich vorgegangen, es müssen aber einige Punkte beachten werden. Ein Lautstärkevergleich ist nur dann ratsam, wenn das Direct-Amp-Signal über ein Lautsprecherkabinett (am Main Output des Profilers) abgehört wird, da Studiomonitore und Kopfhörer nur das Endstufensignal mit seinen starken Höhen wiedergeben würden. Sollte deshalb das Profiling ohne Abhörmöglichkeit stattfinden, so muss intuitiv vorgegangen werden: Der Pegel des Return-Signals muss mit Hilfe der LED-Anzeige eingestellt und das Refining nach Gefühl erfolgen.⁶⁹

Die erstellten Profile können nach dem Profiling mit Effekten versehen und bearbeitet werden.

2.6 Lautsprecher

Lautsprecher können Dickreiter et al. zufolge nach verschiedenen Kriterien unterschieden werden. Dazu zählen beispielsweise Wandlerprinzip (elektrodynamisch, elektrostatisch, piezoelektrisch, magnetisch), Übertragungsbereich (Breitband-, Tiefton-, Hochton- und Mitteltonlautsprecher) und Abstrahlcharakteristik (Kugel-, Konus-, Kalotten- und Hornlautsprecher, Schallzeile).⁷⁰ Goertz unterteilt sie nach Anwendungsbereichen in fünf

⁶⁸ Vgl. Kemper GmbH 2015: S. 38 ff.

⁶⁹ Vgl. Kemper GmbH 2015: S. 42 ff.

⁷⁰ Vgl. Dickreiter et al. 2014: S. 203

Kategorien: Studiomonitore, Elektroakustische Anlagen, Beschallungsanlagen, Kinolautsprecher und Lautsprecher für Consumer-Anlagen.⁷¹ Instrumentallautsprecher lassen sich teils sehr schwer in derlei Kategorien einordnen, da sie besondere Eigenschaften haben. Sie sollen einen hohen Wirkungsgrad und einen krummlinigen Frequenzgang besitzen.⁷²

2.6.1 Bauarten und Funktionsweisen

Goertz fasst das Grundprinzip eines dynamischen Lautsprechers gut zusammen. „Der klassische elektrodynamische Wandler bezieht seine Antriebskraft zur Bewegung der Membran aus der Lorentz-Kraft, die auf stromdurchflossene Leiter in einem Magnetfeld wirkt. Die Richtung der Kraft, des Magnetfeldes und des Stromflusses stehen dabei senkrecht zueinander.“⁷³ Im Grunde wird also eine auf einem Träger sitzende Spule, die sich innerhalb eines Magnetfeldes befindet, durch einen Wechselstromfluss in Schwingung versetzt. Bei einem Konuslautsprecher ist an diesem Spulenträger eine Membran befestigt, die durch den Stromfluss ebenfalls in Schwingung versetzt wird und somit Schall erzeugt. Abbildung 9 soll den Aufbau eines solchen Konuslautsprechers verdeutlichen.

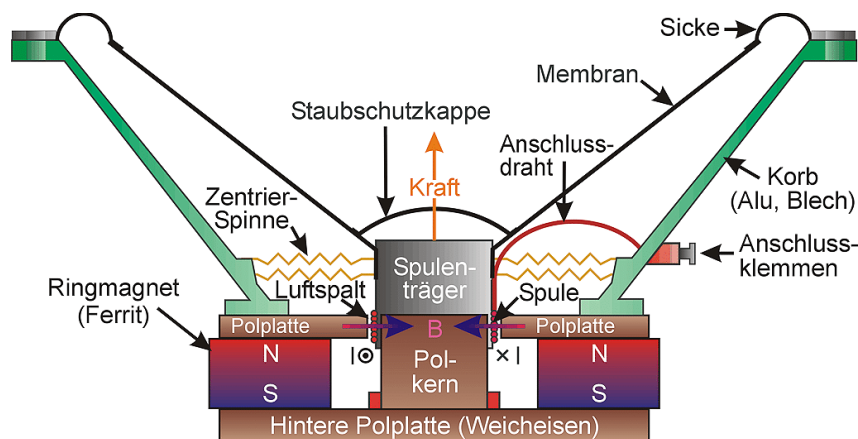


Abbildung 9: Elektrodynamischer Konuslautsprecher.

Während die Staubschutzkappe, auch Kalotte genannt, teils aus Aluminium gefertigt wird, sollte dies Lemme nach bei für die Übertragung von Gitarren-Sound ausgelegten Lautsprechern vermieden werden. Hier eignet sich Pappe besser als Baumaterial, da sie hohe Frequenzen über 5 kHz weniger stark überträgt, was sich wiederum positiv auf den

⁷¹ Vgl. Goertz 2008: S. 422 f.

⁷² Vgl. Lemme 1995: S. 169

⁷³ Goertz, A. in Weinzierl, S. (Hrsg.): Handbuch der Audiotechnik, S. 424

Klang auswirkt.⁷⁴ Ebenfalls zu beachten ist das Phänomen der Partialschwingung. Bei höheren Frequenzen schwingt nicht mehr die gesamte Membran mit, weshalb auf ihr sogenannte Biegeschwingungen entstehen. Diese werden teils von der Membranwand reflektiert, teils überlagern sie sich oder löschen sich gegenseitig aus. Deshalb sind Konuslautsprecher idealerweise als Tief- und Mitteltöner im Einsatz.

Kalottenlautsprecher strahlen den Schall lediglich über die Kalotte ab, eine Membran im herkömmlichen Sinne haben sie nicht. Das prädestiniert sie als Hochtöner. Da zur Wiedergabe von Gitarrensingen aber Tieftöner von Nöten sind, finden sie in diesem Gebiet keine Anwendung. Auch Hornlautsprecher sind nicht in Verstärker-Combos oder entsprechenden Lautsprecherboxen zu finden, da sie zur Wiedergabe tiefer Frequenzen sehr große Schalltrichter brauchen und somit allein aus Platzgründen ausscheiden.

Lautsprecher mit elektrostatischen Wandlern sind ebenfalls nicht für den Einsatz in der Gitarrentechnik geeignet. Sie bestehen aus zwei Gitterelektroden und einer sich dazwischen befindlichen Membran. Die durch gegenseitige Anziehung und Abstoßung der Elektroden verursachte Kraft bringt die Membran zum Schwingen. Dabei darf sie aber die beiden Platten nicht berühren. Durch diese begrenzte zum Schwingen zur Verfügung stehende Fläche und der zum Betrieb benötigten hohen Spannung ist diese Bauweise auch nur sehr begrenzt als Tieftöner brauchbar.⁷⁵

Deshalb sei hier zusammenfassend gesagt: In Combo-Verstärkern und Lautsprecherkabinetten sind hauptsächlich als Tieftöner dienende elektrodynamische Konuslautsprecher wiederzufinden.

2.6.2 Einsatz in der Gitarrentechnik

In der Gitarrentechnik sind verschiedene Größen von Lautsprechern zu finden. Üblicherweise wird zur Einordnung der Größe der Durchmesser der Membran herangezogen. Die Bandbreite reicht von kleinen Transistor-Amps mit 2“-Lautsprechern (Marshall MS-2) bis hin zu 15“-Exemplaren (Quilter Travis Toy 15 Combo). Dies sind jedoch die Extremfälle, am ehesten sind Modelle zwischen 8“ und 12“ anzutreffen. Besonders 12“ ist eine wichtige Größe, da diese in den meisten Lautsprecherkabinetten für E-Gitarren wiederzufinden ist. Derlei Kabinette gibt es in Ausführungen mit einem, zwei oder vier 12“-Lautsprechern. Viele Lautsprecherkabinette bestehen aus Vielschicht-Sperrholz oder Pressspanplatten, die trotz ihres geringen Preises gut zum Boxenbau geeignet sind und eine erhebliche Auswirkung auf den Sound einer Lautsprecherbox haben. Um optisch

⁷⁴ Vgl. Lemme 1995: S. 173

⁷⁵ Vgl. Dickreiter et al. 2014: S. 205 - 208

mehr herzumachen und um die Box zu schützen sind nahezu alle Lautsprecherkabinette mit Kunstleder überzogen oder in selteneren Fällen aus Hartholz gefertigt. Während die meisten Lautsprecherboxen nach hinten geschlossen sind, haben Combo-Verstärker oft eine offene Rückwand. Eine offene Rückwand bewirkt oft einen brillanten und harten Sound, dafür stellen sich Defizite im Bassbereich ein. Bei geschlossener Rückwand können wiederum tiefe Frequenzen deutlich besser wiedergegeben werden. Zudem entstehen durch die geschlossene Lautsprecherbox Hohlraum- und Wandresonanzen im Gehäuse. Auch die Eigenresonanz des Lautsprechers wird verstärkt. Das planen Hersteller von Lautsprecherkabinette bewusst ein, um den Klang zu optimieren. Bei Combo-Verstärkern führen diese bei geschlossener Rückwand auftretenden Resonanzen, wie unter 2.5 erwähnt, möglicherweise zur Beschädigung der Elektronik.⁷⁶

2.7 Mikrofonierung von Lautsprecherkabinetten

Da die Sound-Profile des Kemper Profiling Amp auch durch das genutzte Mikrofon und der damit verbundenen Mikrofonierungstechnik beeinflusst werden, soll an dieser Stelle ein kurzer Überblick über die gängigen Modelle und Methoden erfolgen, die bei diesem Prozess Anwendung finden.

2.7.1 Mikrofone

Bei der Kategorisierung von Mikrofonen kann in Empfängerprinzip (Druck- und Druckgradientenempfänger) und in Wanderprinzip (elektrodynamisch und -statisch) unterteilt werden.⁷⁷

Bei elektrodynamischen Mikrofonen ist die Membran an einer Schwingspule befestigt, die dann bei Auslenkung der Membran durch eintreffende Schallwellen innerhalb eines Magnetfelds zu schwingen beginnt. Dabei entsteht eine Wechselspannung. Dieses Wandlerprinzip funktioniert im Grunde entgegengesetzt zu dem eines elektrodynamischen Lautsprechers.⁷⁸ Elektrostatische Mikrofone sind nicht mit Schwingspulen, sondern mit Plattenkondensatoren ausgestattet. Eine der Platten ist dabei fest verankert, die zweite Platte stellt hier die beschichtete Membran des Mikrofons dar. Durch Schwingen der Membran verändert sich der Abstand der Kondensatorplatten, folglich auch die

⁷⁶ Vgl. Lemme 1995: S. 182 ff.

⁷⁷ Vgl. Ederhof 2006: S. 33

⁷⁸ Vgl. Ederhof 2006: S. 51 f.

Kapazität des Kondensators und somit auch die Spannung. Damit dieses Prinzip funktioniert ist eine Vorspannung von Nöten.⁷⁹

Bei einem Druckempfänger ist auf der Mikrofonkapsel eine Membran gespannt, die die Kapsel komplett bedeckt. Sobald Schallwellen auf die Membran treffen, wird diese in Schwingung versetzt. Hinsichtlich der Richtcharakteristik handelt es sich hierbei um eine Kugel, nur bei höheren Frequenzen tritt eine Richtwirkung nach vorne auf. Die Membran eines Druckgradientenempfängers wird aufgrund verschiedenen Schalldrucks vor und in der Kapsel zum Schwingen gebracht. Druckgradientenempfänger lassen sich so konstruieren, dass je nach Richtung der Schallwellen unterschiedliche Laufzeiten zu Vorder- und Rückseite der Membran entstehen, was zu Absenkung oder Auslöschung des Signals führen kann. Dadurch gibt es im Bereich der Druckgradientenempfänger zahlreiche Richtcharakteristiken, wie Niere, Hypernieren oder Acht.⁸⁰

2.7.2 Mikrofonierungstechniken

Ederhof gibt, was die Auswahl geeigneter Mikrofone zur Mikrofonierung eines Gitarren-Lautsprecherkabinetts betrifft, das Shure SM57, Electro-Voice RE 20, Sennheiser MD421 und Shure SM7 an. Bei diesen Mikrofonen handelt es sich um Druckgradientenempfänger mit elektrodynamischem Wandlerprinzip. Es können aber auch Kondensatormikrofone (elektrostatische) unter Beachtung des Grenzschalldrucks genutzt werden. Was die Mikrofonposition angeht, so hängt diese vom gewünschten Klangresultat ab. In der Regel werden Mikrofone sehr dicht am Lautsprecher(kabinett) platziert, um sich den Nahbesprechungseffekt eigen zu machen, der dafür sorgt, dass tiefere Frequenzen stärker betont werden und ein „vollerer“ Sound aufgenommen wird. Je weiter das Mikrofon von der Membran entfernt platziert wird, desto präsenter ist der aufgenommene Raumanteil. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist neben dem Abstand die Ausrichtung zur Membran. Wird das Mikrofon direkt vor der Kalotte platziert, hat das oft einen harten, höhenreichen Sound zur Folge. Rückt man das Mikrofon weiter zum Rand der Membran, lassen die Höhen nach und es stellt sich ein den Bassbereich stärker betonender Klang ein. Diese Erscheinung hängt mit dem Schwingverhalten der Lautsprechermembran zusammen, da diese wie bereits in Kapitel 2.6 angesprochen bei der Wiedergabe höherer Frequenzen nicht komplett, sondern nur im inneren Bereich schwingt.⁸¹

Auch die Platzierung des Lautsprecherkabinetts bzw. des Combo-Verstärkers innerhalb des Aufnahmeraums spielt eine entscheidende Rolle. Der Lautsprecher sollte nicht zu

⁷⁹ Vgl. Ederhof 2006: S. 62 f.

⁸⁰ Vgl. Henle 2001: S. 152 - 157

⁸¹ Vgl. Ederhof 2006: S. 269 f.

nah am Boden sein, da dieser den Schall reflektiert und tiefe Frequenzen anhebt. Außerdem sollte das Lautsprecherkabinett in einer Raumecke stehen, mit der Front natürlich in den Raum weisend. Die Platzierung in der Ecke verhindert ungewollte stehende Wellen, die sich bilden, wenn das Kabinett senkrecht zu einer Wand ausgerichtet ist.⁸²

2.8 Bestandteile eines Gitarrensounds

In diesem Abschnitt soll nun, auch mehr oder weniger zusammenfassend, auf die Faktoren und Komponenten eingegangen werden, die einen Gitarrensound prägen. Grundsätzlich sind das: Gitarre, Gitarrenverstärker und Lautsprecherkabinett. Effekte werden dabei erst einmal außen vorgelassen. Das Thema Mikrofon und Mikrofonierung spielt bei Aufnahmen bzw. der Abnahme bei Live-Auftritten eine Rolle, für den eigentlichen Sound jedoch nicht zwangsweise.

Das Signal, welches letztlich über die Lautsprechermembran abgestrahlt und vom menschlichen Gehör (im Übrigen auch eine schwer berechenbare Komponente innerhalb des Signalfusses) aufgenommen wird, wird zunächst von der in der Gitarre verbauten Elektronik abgenommen und geformt. Das sind die Tonabnehmer, aber auch die Potentiometer, die die Schaltung wesentlich beeinflussen. Weiter geht es mit dem Kabel, welches durch Eigenkapazität und Qualität der Abschirmung auch auf den Signalfuss einwirkt. Der Gitarren-Amp stellt gewissermaßen das Herzstück der Klangformung bei der E-Gitarre dar. Neben der Art der Verstärkung, also Röhren- oder Transistorverstärker, und den damit einhergehenden Charakteristiken, sind Beschaffenheit, Qualität, Dimensionierung und Zusammenschaltung der einzelnen elektrotechnischen Bauteile wichtige Faktoren in der Klanggebung. Hinzu kommt die bedeutende Wechselwirkung zwischen Verstärker und angeschlossenem Lautsprecher. Ein entscheidender Punkt ist, wie dieser verbaut wurde. Befindet er sich in einem Combo-Verstärker oder einem Lautsprecherkabinett, welche Resonanzen treten auf, in welcher Qualität ist er gebaut und verbaut worden, wie steif ist die Membran, wie treten Partialschwingungen usw. auf? All diese Faktoren sind für die Zusammensetzung des E-Gitarren-Sounds ausschlaggebend.

2.9 Messung, Analyse und Auswertung von Audiosignalen

Um Audiosignale, und in diesem Kontext verschiedene Gitarrenverstärker-Sounds, messen, beurteilen, auswerten und vergleichen zu können, müssen geeignete Methoden

⁸² Vgl. Ederhof 2006: S. 272

und Messgeräte zum Einsatz kommen. Wie aus Kapitel 2.1 ersichtlich wird, haben Schwingungen verschiedene Eigenschaften, die zum Vergleich herangezogen werden können, z.B. Amplitude, Frequenz und Phasenwinkel. Besonders in Kapitel 2.5 wird deutlich, dass außer dem Frequenzgang auch lineare und nichtlineare Verzerrungen einer näheren Betrachtung bedürfen.

2.9.1 Relevante Messwerte

David Mathew, der als Technical Publications Manager und leitender technischer Redakteur für Audio Precision arbeitet, beschrieb, dass es „beim Messen von Audiosignalen und dem Messen von Audioequipment darum [geht], Testtöne bekannter Frequenz und Amplitude in ein Messobjekt (Device Under Test, DUT) zu leiten und das resultierende Signal am Ausgang zu messen. [...] Es gibt einen überraschend kleinen Satz einfacher Leistungsmessungen, die als minimales Basisset zum Beschreiben der technischen Leistung der meisten Audiogeräte verwendet werden. [...] Bei Audio Precision nennen wir diese grundlegenden Messungen die „Big Six“.“⁸³ Bei diesen „Big Six“ handelt es sich um Pegel, Frequenzgang, THD+N (Total Harmonic Distortion + Noise), Phase, Übersprechen und SNR (Signal to Noise Ratio). In den nachfolgenden Punkten sollen die für die an den Gitarrenverstärkern vorgesehenen Messungen relevanten Messwerte und Messungen erläutert werden.

Pegel

Unter dem Begriff „Pegel“ ist das logarithmierte Verhältnis von zwei mit einer identischen Einheit versehenen Werten zu verstehen. In der Audiotechnik können das z.B. Schalldrücke, aber auch elektrische Größen, wie Spannungen, sein.⁸⁴ Die Pegelmessung an audiotechnischen Geräten kann unter unterschiedlichen Gesichtspunkten erfolgen. Es kann zum einen ein Ausgangspegel vorgeschrieben sein, den es mit einem zu messenden Eingangspegel zu erreichen gilt. Genauso gut kann aber auch ein Eingangspegel definiert sein, zu dem der zugehörige Ausgangspegel überprüft wird. Aus dem Verhältnis beider Pegel lässt sich der Verstärkungsfaktor ableiten, d.h. wenn eine Eingangsspannung von 1 V eine Ausgangsspannung von 2 V erzeugt, so liegt hier der Verstärkungsfaktor 2 vor. Bei der Untersuchung und dem Vergleich von Gitarrenverstärkern ist es in

⁸³ Mathew, D. & Eckstein, M.: Die sechs grundlegenden Messungen für Audiosignale. Auf: elektronikpraxis.vogel.de 22.03.2018: [online] <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/die-sechs-grundlegenden-messungen-fuer-audiosignale-a-697728/> [13.03.2022]

⁸⁴ Vgl. Smyrek 2016: S. 127

Bezug auf Pegelmessungen sinnvoll zu vergleichen, wie bei identischem Eingangspegel die jeweiligen Ausgangspegel ausfallen.

Frequenzgang

Die Frequenzgangmessung stellt eine Pegelmessung über ein vorher definiertes Frequenzspektrum dar. Dazu fährt ein sogenannter „Sweep“ mit einheitlicher Amplitude durch das Frequenzband, woraufhin in festgelegten Abständen der Pegel gemessen wird.⁸⁵ Das Ergebnis dieser Messung wird meist in einem Diagramm dargestellt. Für die Vermessung eines Gitarrenverstärkers macht es Sinn, den Frequenzbereich im Rahmen des hörbaren Schalls von 20 bis 20.000 Hz zu halten. Abhängig ist der sinnvolle Bereich einer Frequenzgangmessung auch vom Übertragungsbereich des verwendeten Lautsprechers und des Mikrofons.

THD+N (Total Harmonic Distortion + Noise)

THD+N bedeutet zu deutsch “harmonische Gesamtverzerrung und Rauschen“, es handelt sich hierbei um die bereits mehrfach erwähnten Obertöne, die durch Verzerrung dem Grundsignal hinzugefügt werden, so insbesondere auch bei Gitarrenverstärkern. Unterschieden werden die Obertöne in geradzahlige und ungeradzahlige der Grundfrequenz. Mit THD+N werden alle innerhalb des festgelegten Frequenzbereiches auftretenden harmonischen Verzerrungen, sowie das Rauschen des Ausgangssignals gemessen. Bei der Angabe des THD+N-Wertes in Prozent wird die harmonische Gesamtverzerrung und das Rauschen durch den Pegel des Gesamtsignals geteilt. Der Wert kann also niemals größer als 1 bzw. 100% sein. Zu beachten ist, dass bei THD+N-Messungen die Bandbreite sich auf das Ergebnis auswirkt. Denn je höher die Bandbreite, desto höher auch der Rauschanteil des Messwertes. Sinnvoll ist hier wieder eine Einschränkung auf den für den Menschen hörbaren Bereich von 20 bis 20.000 Hz. Außerdem gilt noch zu berücksichtigen unter welchen Pegelbedingungen, also bspw. Nennbetriebspegel oder bei maximalem Ausgangspegel, die THD+N-Messung stattfindet.⁸⁶ Da diese Pegelinstellungen bei Gitarrenverstärkern aber nur schwer zu realisieren sind, spielt diese Bedingung bei den Messungen hier keine Rolle. Der Reziprokwert

⁸⁵ Vgl. Mathew, D. & Eckstein, M.: Die sechs grundlegenden Messungen für Audiosignale. Auf: elektronikpraxis.vogel.de 22.03.2018: [online] <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/die-sechs-grundlegenden-messungen-fuer-audiosignale-a-697728/> [05.04.2022]

⁸⁶ Vgl. Mathew, D. & Eckstein, M.: Die sechs grundlegenden Messungen für Audiosignale. Auf: elektronikpraxis.vogel.de 22.03.2018: [online] <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/die-sechs-grundlegenden-messungen-fuer-audiosignale-a-697728/> [05.04.2022]

von THD+N wird als SINAD (Signal-to-Noise and Distortion) bezeichnet und üblicherweise zur Bewertung der Qualität von Radio-Kommunikationssystemen genutzt.⁸⁷

SNR (Signal Noise Ratio)

SNR, zu deutsch "Signal-Rausch-Verhältnis", stellt die Differenz zwischen Nutzsignal und Rauschsignal dar. Üblicherweise wird dieser Messwert in dB angegeben und ähnlich wie der THD+N-Wert bei Nennbetriebspegel oder maximalem Ausgangspegel gemessen.⁸⁸ Da dies bei Gitarrenverstärkern nicht umsetzbar ist, wird auch dieser Parameter ausgelassen.

Phase

Wie bereits in Kapitel 2.1 angesprochen und in Abbildung 1 verdeutlicht, stellt die Phase einen bestimmten wiederkehrenden Punkt innerhalb einer Sinusschwingung dar.⁸⁹ Messtechnisch wird mit einer Phasenmessung der Zeitversatz zwischen zwei Audiosignalen gemessen. Dabei können dies zwei Signale aus unterschiedlichen Geräten sein, oder aber der Vergleich eines Signals am Geräteein- und -ausgang.⁹⁰ Für die Messungen an den Verstärkern eignet sich die Messung der Interkanalphase. Dabei muss ein Signal zeitgleich sowohl an Originalverstärker als auch an den Kemper Amp gesendet werden. Anschließend wird überprüft in welchem Zeitversatz eines der beiden Signale im Vergleich zum anderen wieder im Messgerät eintrifft. Sollte bspw. ein Signal in Bezug auf das andere um 180° versetzt anliegen, so handelt es sich um eine Zeitverzögerung von einer halben Periodendauer.

Impulsantwort

Die Impulsantwort ist deshalb eine wichtige Messgröße, weil sie Auskunft über das Zeitverhalten von Lautsprechern und Mikrofonen gibt.⁹¹ Aus ihr lässt sich ableiten, wie schnell das Testobjekt auf einen kurzen Impulsstoß reagiert. Ein idealer Impuls für eine Messung der Impulsantwort ist der Dirac-Impuls oder Dirac-Stoß. Theoretisch sollte die

⁸⁷ Vgl. Audio Precision 2021: APx500 Measurement Software. User's Manual for all APx series audio analyzers, version 7.0.0, S. 608

⁸⁸ Vgl. Mathew, D. & Eckstein, M.: Die sechs grundlegenden Messungen für Audiosignale. Auf: elektronikpraxis.vogel.de 22.03.2018: [online] <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/die-sechs-grundlegendenden-messungen-fuer-audiosignale-a-697728/> [05.04.2022]

⁸⁹ Vgl. Smyrek 2016: S. 8

⁹⁰ Vgl. Mathew, D. & Eckstein, M.: Die sechs grundlegenden Messungen für Audiosignale. Auf: elektronikpraxis.vogel.de 22.03.2018: [online] <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/die-sechs-grundlegendenden-messungen-fuer-audiosignale-a-697728/> [05.04.2022]

⁹¹ Vgl. Smyrek 2016: S. 409

Dauer dieses Impulses gegen 0 laufen, seine Amplitude gegen ∞ .⁹² In der Praxis ist dies jedoch nicht umsetzbar, da kein technisches Messgerät diese Bedingungen erfüllt. Es kann lediglich eine möglichst hohe Annäherung an den idealen Dirac-Impuls erfolgen.

2.9.2 Messtechnik und -software

APx515 B Series von Audio Precision

Die US-amerikanische Firma Audio Precision hat sich auf die Produktion von qualitativ hochwertigen Audioanalysatoren spezialisiert. Da die Hochschule Mittweida im Besitz eines solchen Messgeräts, genauer dem APx515 B Series, ist, werden damit die Messungen an den Amp-Systemen durchgeführt. Zu den Standardmessungen, die das Gerät bietet, zählen Frequenzmessungen und Analysen des Frequenzgangs, die Analyse von Phasenbeziehungen zwischen mehreren Kanälen, Pegelmessungen und -verhältnisse, Rauschmessung, SINAD-, SNR- und THD+N-Messungen, und das Durchführen von Pegel- und Sinus-Sweeps. Dabei erreichen sowohl der Signalgenerator als auch der Analyzer des Messgeräts eine hohe Genauigkeit. Üblicherweise werden die Messsignale in V_{rms} vom Signalgenerator ausgegeben. Es handelt sich bei dieser Einheit um den Effektivwert der Wechselspannung, der sich aus $\hat{u}/\sqrt{2}$ berechnen lässt.⁹³ Führen die Messsignale über den analogen Input zurück in das Messgerät, so werden sie auch in der Einheit V_{rms} angegeben. Verhältnisse zwischen verschiedenen Spannungen oder Schalldrücken werden in dB dargestellt. Mittels der APx500 Software können diese Messungen an einem PC mit einem Windowsbetriebssystem durchgeführt werden.⁹⁴ Tiefergehende Informationen über die technischen Möglichkeiten finden sich in den Installationsbeschreibungen und Spezifikationen des APx515 B Series. Der PC-INTERFACE-Port des Messgeräts interagiert mit der APx500-Software via USB-Port.⁹⁵

APx500-Software

Die APx500-Software ist für die Messungen mit dem APx515B notwendig. Mit ihr können die Messabläufe gesteuert und die Ergebnisse in Tabellen und Diagrammen eingesehen, gespeichert und geteilt werden.⁹⁶ Bereits im Vorfeld können in der Software entsprechende Messabläufe, die sogenannten „Sequenzen“, erstellt werden. Innerhalb

⁹² Vgl. Rennert & Bundschuh 2013: S. 23

⁹³ Vgl. Lindner, Brauer & Lehmann 2008: S. 107

⁹⁴ Vgl. Audio Precision 2021: APx515 B Series audio analyzer Data Sheet

⁹⁵ Vgl. Audio Precision 2018: APx515 B Series audio analyzer. Installation Instructions and Specifications: S. 2 f.

⁹⁶ Vgl. Audio Precision 2021: APx515 B Series audio analyzer Data Sheet

einer Sequenz lassen sich beliebig viele „Signal Paths“ einbauen, innerhalb derer dann die einzelnen Messungen platziert werden. Unter einem Signal Path ist eine Abfolge definierter Messungen zu verstehen, die alle mit dem gleichen Signal-Routing ablaufen. Über den Befehl „Add Measurement“ können aus einer Liste mit mehreren Dutzend Messungen die gewünschten dem Signal Path hinzugefügt werden. Zu jeder Messung lässt sich ein Optionsfenster öffnen, in dem einige Parameter, wie etwa Stärke und Dauer des Testsignals, das zu messende Frequenzintervall, usw., festgelegt werden können. Über den Button „Run Sequence“ werden alle zuvor mit einem Häkchen versehenen Messungen der ausgewählten Signal Paths in einem Durchgang ausgeführt. Nach Ablauf aller Messungen wird ein sogenannter „Sequence Report“ erstellt, welcher zunächst in einer Übersicht aufzeigt, ob die einzelnen Messungen erfolgreich abgeschlossen werden konnten. Anschließend werden sämtliche Messergebnisse nacheinander aufgelistet. Die APx500-Software besitzt darüber hinaus noch einen Bereich, der die Ergebnisse der Messungen zeigt. Hier können einzelne Messergebnisse und -diagramme näher betrachtet, editiert und deren Daten exportiert werden. Außerdem lassen sich bereits abgespeicherte Messwerte importieren, um so mehrere Messungen in einem Diagramm oder einer Tabelle vergleichbar zu machen.

Im User Manual lassen sich explizite Informationen zu Hard- und Software von Audio Precision, sowie der Bedienung der Software und eine Übersicht über sämtliche verfügbare Messungen finden.⁹⁷

⁹⁷ Vgl. Audio Precision 2021: APx500 Measurement Software. User's Manual for all APx series audio analyzers, version 7.0.0

3 Methodikteil

3.1 Versuchsbau im Tonstudio der Hochschule Mittweida

Grundsätzlich könnten das Profiling und die Messungen mit dem Kemper Profiler in einem beliebigen Raum stattfinden, da es letzten Endes nicht um akustisch einwandfrei aufgenommene Messsignale geht, sondern die Vergleichbarkeit zwischen dem Sound des originalen Amp-Systems und dem emulierten Sound des Kemper Profiling Amps im Fokus liegt. Da aber beim Profiling genauso wie bei den Messungen sehr hohe Lautstärken auftreten, empfiehlt es sich, den Messaufbau in einem dafür geeigneten Umfeld zu installieren. Die Wahl fiel dabei auf den Aufnahmeraum im Tonstudio der Hochschule Mittweida. Dieser Raum ist schätzungsweise etwas über 10 m² groß und entsprechend seiner Funktion akustisch mit Schallabsorbern und -diffusoren ausgestattet. Insgesamt besteht der Testaufbau aus dem Kemper Profiling Amp (in der Rack-Ausführung) und den zu analysierenden analogen Amps. Dabei handelt es sich um zwei Amp-Toppteile plus dazu passendem Lautsprecherkabinett, dem Marshall AVT 150H mit der Marshall AVT412XB Box und dem Bugera 6262 mit der Bugera 412H Box, sowie zwei weiteren Combo-Modellen, dem Marshall VS65R und dem Bugera V55 Infinium. Des Weiteren wird das APx515B und die dazugehörige Software APx500 genutzt. Zur Mikrofonierung der Original-Amps kommt ein Shure SM57, also ein übliches dynamisches Mikrofon zur Abnahme eines Lautsprechers aus der Gitarrentechnik, zum Einsatz.

Zur Durchführung der Aufnahmen muss zunächst ein Profiling-Set-Up eingerichtet und anschließend das APx515B für die Vergleichsmessungen in den Aufbau integriert werden. Um diesen Ablauf und die Aufbauten zu verdeutlichen, wurden dafür entsprechende Schemas erstellt, welche insbesondere den Signalpfad veranschaulichen sollen.

Wie aus Abbildung 10 zu entnehmen ist, schickt der Kemper Profiler über seinen Direct Out seine Testsignale über ein Instrumentenkabel in den Input des zu analysierenden Amps. Von dort durchfließt das Signal den gesamten Amp und wird von diesem an den an der Endstufe angeschlossenen Lautsprecher abgegeben. Das SM57 nimmt das Signal nun auf und leitet es direkt über ein XLR-Kabel in den Return Input des Kempers. Es gilt zu berücksichtigen, dass alle Komponenten vom Direct Out bis zum Return Input einen Einfluss auf das erstellte Profil nehmen und deshalb bei den nachfolgenden Messungen am originalen Amp-System nicht verändert werden sollten. Durch die teils verschiedenen Kabel und Adapter, die aufgrund der unterschiedlichen Anschlüsse an den Amps und dem APx515B benötigt werden, lässt sich hier eine zu 100% einheitliche, unveränderte Kabelführung nicht vollumfänglich realisieren.

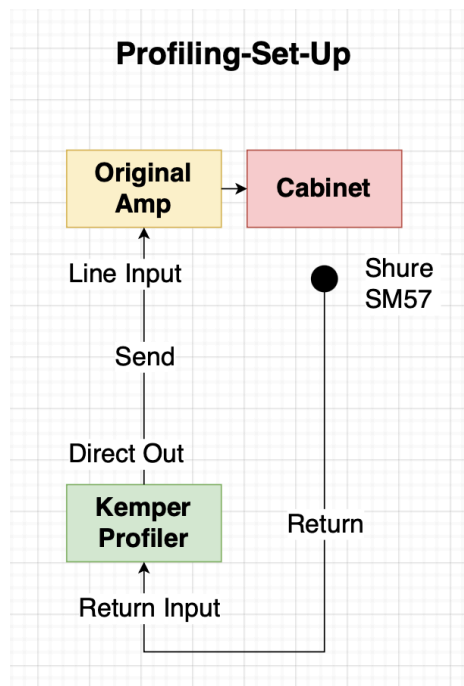


Abbildung 10: Profiling-Set-Up für das Shure SM57.

Ist das Profiling abgeschlossen, so erfolgt im nächsten Schritt die Messung mit dem APx515B. Dafür muss dieses zunächst in den Messaufbau integriert werden. In Abbildung 11 wird dies dargestellt. Vorteilhaft ist, dass beide Amps – also Original und Kemper-Emulation – zeitgleich vermessen werden können. Dazu werden zwei Messschleifen benötigt, die die Messsignale durchlaufen können. Der erste analoge Output gibt die Signale an den Input des originalen Verstärkers, wo sie das gesamte Amp-System durchlaufen, ehe der Lautsprecher sie abstrahlt und das SM57 diese auffängt und zurück in den analogen Input gibt. Der zweite analoge Output gibt die gleichen Messsignale an den Input des Kemper Profilers weiter. Zu beachten ist, dass es sich hierbei nicht um den für das Profiling genutzten Return Input bzw. Alternative Input handelt, sondern um den Instrumenteneingang an der Vorderseite des Amps. Im Gegensatz zu dem originalen Amp-System muss nun kein Lautsprecherkabinett an den Kemper angeschlossen und auch kein Mikrofon zur Abnahme der Signale platziert werden. Denn diese Komponenten wurden zuvor schon beim Erstellen des Profils berücksichtigt. Es darf angenommen werden, dass der Direct Out des Kemper Profilers bis einschließlich des genutzten Mikrofons den Signalfloss nachbildet. Insofern kann der Direct Out auch direkt mit dem zweiten analogen Input des APx515B verbunden werden. Über den PC-INTERFACE-Port des Messgeräts wird mittels eines USB-Kabels der Laptop mit der APx500-Software angeschlossen, um die Messvorgänge zu steuern.

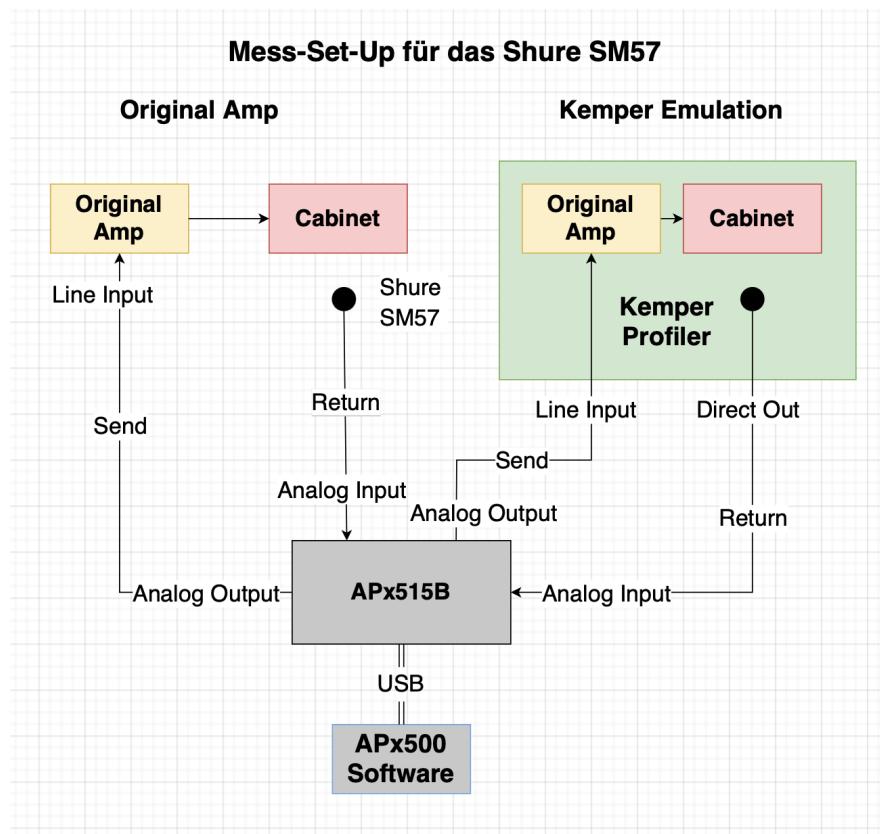


Abbildung 11: Mess-Set-Up mit dem Shure SM57. Bei diesem Aufbau können beide Amp-Systeme, sowohl das Original als auch das Nachbild des Kemper Profiling Amps, parallel gemessen werden.

3.2 Bedingungen für konstante und vergleichbare Aufnahmen

Ein wichtiger Aspekt ist die Vergleichbarkeit zwischen den Messungen, die an den analogen Amp-Systemen und an deren Kemper-Nachbild durchgeführt werden. Damit Aussagen über die Qualität des Kemper Profiling Amps getroffen werden können, müssen diese unter identischen bzw. nahezu identischen Bedingungen stattfinden. In erster Linie bedeutet das, dass am Aufbau der analogen Amps nach Beginn des Profilings absolut nichts mehr verändert werden darf (also weder Gain, noch EQ, Presence, diverse Boosts oder gar der Volume-Regler des Amps). Außerdem darf auch die Position der Lautsprecherbox und des Mikrofons nicht verändert werden. Im Großen und Ganzen gilt die Prämisse, dass alles innerhalb des Aufnahmeraumes im Zustand, der während des Profilings galt, zu belassen ist.

Sobald das Profiling abgeschlossen und der Aufbau für die Messungen mit dem APx515B eingerichtet ist, muss darauf geachtet werden, dass die Messsignale, die den Kemper durchlaufen, identisch zu denen sind, die parallel den originalen Amp durchlaufen. Alle Signale, ob Sweeps, einzelne Töne oder Impulse, sind auf einheitlichen Leveln

zu halten und müssen feste Parameter vorweisen. Die Dauer für Sinus-Sweeps ist z.B. standardmäßig auf 350 ms und die Spannung eines 1-kHz-Sinustons auf 100 mVrms justiert.

Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, wird das Shure SM57 verwendet, was zwar bei weitem kein ideales Messmikrofon ist, dafür aber direkt an den Input des APx515B angeschlossen werden kann. Parallel dazu lässt sich der Kemper Profiler an die zweite Input-Output-Sektion des Messgeräts anschließen. Somit können die Messungen an beiden Verstärkern gleichzeitig stattfinden. Mikrofone, die eine Vorspannung benötigen, sind weniger geeignet, da diese zusätzlich über ein Interface laufen und anschließend direkt in den PC mit der APx500-Software geführt werden. Da die Software aber nur einen Input, also entweder das Interface oder die Inputs des APx515B erkennt, können Original und Kemper nicht zeitgleich vermessen werden. Zudem macht es durchaus Sinn die Messungen und somit auch das Profiling mit einem typischen Gitarrenmikrofon durchzuführen, da die Messergebnisse aussagekräftiger und repräsentativer sind, desto praxisnäher sie ermittelt wurden.

3.3 Genutzte Messungen

Die Messungen, in denen wie bereits zuvor im Profiling das SM57 genutzt wird, können gleichzeitig am originalen Amp und am Kemper Profiling Amp durchgeführt werden. Dazu wird ein entsprechender Signal Path angelegt, der die Messsignale über die beiden analogen Outputs an die zu analysierenden Verstärker abgibt. Die rücklaufenden Signale werden über die analogen Inputs in das APx515B zurückgeführt. Abbildung 12 zeigt den prinzipiellen Aufbau des Signal Paths hinsichtlich der beinhalteten Messungen.

| DIREKT | |
|------------------------------|----------|
| Level and Gain | ✓ PASSED |
| White Noise (RMS) | ✓ PASSED |
| Pink Noise (RMS) | ✓ PASSED |
| Frequency Response 100 mVrms | ✓ PASSED |
| Frequency Response 250 mVrms | ✓ PASSED |
| Frequency Response 25 mVrms | ✓ PASSED |
| THD+N 20 - 20k | ✓ PASSED |
| SINAD 20 - 20k | ✓ PASSED |
| SNR 20 - 20k | ✓ PASSED |
| Interchannel Phase | ✓ PASSED |
| Acoustic Response 100 mVrms | ✓ PASSED |
| Acoustic Response 250 mVrms | ✓ PASSED |
| Acoustic Response 25 mVrms | ✓ PASSED |

Abbildung 12: Übersicht über die parallel ablaufenden Messungen mit dem SM57 an den Originalverstärkern und einer geschlossenen Kabelführung zum Kemper Profiler.

Bevor die Messsequenz gestartet werden kann, muss die Lautstärke des Kemper Profiling Amps angepasst werden. Dazu wird der Bereich „Verify Connections“ innerhalb der APx500-Software genutzt. Hier kann die Verbindung der einzelnen Signalwege überprüft werden, indem ein Sinuston beliebiger Frequenz und Spannung im Signalgenerator des APx515B erzeugt wird und anschließend im Ergebnisbereich der APx500-Software zu sehen ist, ob ein Signalpegel an den Inputs des Messgeräts anliegt. Um nun vergleichbare Messwerte zu erreichen, kann bspw. ein 1-kHz-Sinuston mit einer Spannung von 100 mVrms ausgegeben werden. Anschließend muss über den Master-Volume-Regler am Kemper die Ausgabelautstärke des Direct Out so justiert werden, dass an beiden analogen Inputs des Messgeräts die gleiche Spannung anliegt. Dabei wird nichts am Klang des zuvor erstellten Amp-Profiles verändert, da sich zu dessen Bearbeitung separate Gain- und Volume-Regler im unteren Bereich der Vorderseite des Kemper Amps befinden. Für alle Messungen, die über mehrere Frequenzen stattfinden, wird der Messbereich auf 20 bis 20.000 Hz und die Dauer des Sweeps auf 350 ms festgelegt.

Die Messungen beginnen mit einer Messung von Level und Gain. Hierbei wird ein Sinuston mit einer Spannung von 100 mVrms und einer Frequenz von 1 kHz ausgegeben. Anschließend werden RMS Level, Gain und Peak Level gemessen. Mittels Weißen und Rosa Rauschen wird danach der RMS-Rauschpegel an beiden Amps gemessen. Auch hier gibt der Generator die beiden Signale mit 100 mVrms aus. Da es sich um Rauschen, und nicht um einzelne Signaltöne handelt, wird das gesamte Frequenzspektrum vermessen.

Mit den nachfolgenden Frequency-Response-Messungen soll überprüft werden, wie sich die Frequenzgänge der Verstärker bei Zuführung unterschiedlich starker Sinus-Sweeps verhalten. Dazu werden neben den standardmäßig vorgegebenen 100 mVrms, 25 mVrms und 250 mVrms genutzt. Diese Spannungen wurden aufgrund von Recherchen zu üblichen von E-Gitarren abgegebenen Spannungsleveln ausgewählt. Abhängig von der Art und Anzahl der angeschlagenen Saiten, der Beschaffenheit der Tonabnehmer, sowie der Einstellung der Potentiometer für Lautstärke und Klang können Spannungen vom unteren zweistelligen bis hin zum oberen dreistelligen Millivoltbereich auftreten.⁹⁸ Innerhalb einer Frequency-Response-Messung werden Informationen zu RMS Level, Gain, Relative Level (zu 1 kHz) und Deviation (Abweichung) gesammelt.

Mit Messungen zu THD+N erfolgt der Vergleich zum Verhalten der harmonischen Gesamtverzerrung und des Rauschens der Messobjekte. Hierbei wird ein 1-kHz-Sinus mit 100 mVrms in die Verstärker gegeben, um Messungen zu THD+N Ratio, THD+N Level, THD Ratio, THD Level, Noise Ratio, Noise Level, Distortion Product Ratio und Distortion

⁹⁸ Vgl. tomsguitarprojects.blogspot.com [online]: <http://tomsguitarprojects.blogspot.com/2014/12/electric-guitar-output-voltage-levels.html> [25.03.2022]

Product Level zu tätigen. Während die SNR-Messung mit dem oft angewandten 1-kHz-Sinuston erfolgt, wird für eine SINAD-Messung üblicherweise ein Sinus mit einer Frequenz von 400 Hz genutzt.

Bei der Messung der Interkanalphase zwischen den beiden Messschleifen wird die Phase des Kemper Profils in Bezug zur Phasenmessung des Original-Amps ermittelt. Bei einer Ausgangsspannung von 100 mVrms bei einem Sinuston von 1 kHz wird dann die Differenz in Grad gemessen.

Der Signal Path findet mit den Acoustic-Response-Messungen sein Ende. Diese stellen ein von Audio Precision vorgefertigtes Paket dar, das sich eignet, um den akustischen Frequenzgang von Lautsprechern zu Überprüfen.⁹⁹ Bei dieser Messreihe werden Impulse Response, Energy Time Curve (ETC), erneut RMS Level, Relative Level und Deviation, aber auch Delay und Group Delay, sowie die Phase über den gesamten Frequenzbereich aufgenommen. Hinzu kommen Messungen zu Level and Distortion, THD Ratio, THD Level, Distortion Production Ratio (H2) und Distortion Product Level (H2). Diese Messwerte geben nach den Messungen zu THD+N noch einmal verstärkt Auskunft über das Verhalten der Gesamtverzerrung und der Harmonischen Obertöne (insbesondere die 2. Harmonische (H2) und die 3. Harmonische (H3)).

3.4 Genutztes Gitarrenequipment

Im Folgenden soll kurz das Gitarrenequipment vorgestellt werden, das bei den Messungen Anwendung findet. Dazu zählen vier Gitarrenverstärker unterschiedlicher Bauart (sowohl Combos als auch Toppteile) und Funktionsweise (Röhren- und Hybridverstärker), die genutzten Lautsprecherkabinette bzw. die in den Combo-Verstärkern verbauten Lautsprecher und das zur Mikrofonierung verwendete Mikrofon. Zum Finden und Einstellen der gewünschten Sounds, sowie zum Refining wurde eine Ibanez JS600 verwendet. Diese Gitarre besitzt zwei passive Humbucker, am Hals den Axis Humbucker 1 und an der Bridge den Axis Humbucker 2¹⁰⁰. Zum Spielen wurden nur die Bridge-Humbucker genutzt und sowohl Lautstärke- als auch Klangregler vollständig aufgedreht.

⁹⁹ Vgl. Audio Precision 2021: APx500 Measurement Software. User's Manual for all APx series audio analyzers, version 7.0.0: S. 257

¹⁰⁰ Vgl. joesatrianiuniverse.com: [online] <https://www.joesatrianiuniverse.com/gear/ibanez-js-guitars/js600/> [11.04.2022]

3.4.1 Bugera V55 Infinium

Der Bugera V55 Infinium ist ein Röhrenverstärker mit 55 W Leistung. Da es sich hier um ein Combo-Modell handelt, ist neben dem Verstärker auch ein 12“-Turbosound-Lautsprecher im Gehäuse verbaut. Die Rückwand des Amps ist dabei offen. Grundsätzlich arbeitet der Verstärker mit drei 12AX7 Röhrentrioden in der Vorstufe und zwei 6L6-Röhren in der Endstufe.¹⁰¹ Beim Profiling dieses Amps wurden zwei Profile erstellt: ein Clean-Sound und ein crunchiger verzerrter Sound.

3.4.2 Bugera 6262

Hierbei handelt es sich um ein 120-Watt-Röhrentopteil, ebenfalls aus dem Hause Bugera. Im Vergleich zur oben aufgeführten Combo erfolgt hier die Verstärkung mit sechs 12AX7-Vor- und vier 6L6-Endstufenröhren.¹⁰² Das Topteil wurde mit dem Bugera 412H-BK, einem angeschrägten Lautsprecherkabinett, verbunden. Bei diesem Modell wurde ebenfalls ein verzerrter Sound analysiert. Abbildung 13 zeigt die Mikrofonierung des Bugera 412H-BK-Lautsprecherkabinetts mit dem SM57.



Abbildung 13: Mikrofonierung des Bugera 412H-BK, darüber das Topteil Bugera 6262.

¹⁰¹ Vgl. Music Tribe Global Brands Ltd. 2021: Quick Start Guide. Bugera. V55HD Infinium/V22HD Infinium. V55 Infinium/V22 Infinium.

¹⁰² Vgl. bugera-amps.com: [online] <https://www.bugera-amps.com/downloads.html> [23.04.2022]

3.4.3 Marshall VS65R

Der Marshall VS65R stellt nun erneut einen Combo-Amp dar. Dieser arbeitet mit Röhren- und Transistortechnik zur Verstärkung, weshalb solche Amp-Modelle auch als Hybridverstärker bezeichnet werden. Konkret sitzt bei diesem Stück eine ECC83 in der Vorstufe, während die Endstufe ausschließlich mit Transistoren arbeitet.¹⁰³ Mit diesem Verstärker wurde ein verzerrter Sound geprofiled und gemessen. Die Mikrofonierung des Marshall VS65R ist in Abbildung 14 zu sehen.



Abbildung 14: Mikrofonierung des Marshall VS65R.

3.4.4 Marshall AVT 150H

Auch dieser Amp ist ein Hybridmodell, welcher mit einer ECC83-Doppeltriode in der Vorstufe und Transistoren in der Endstufe arbeitet. Dieses Topteil erbringt 150 W Leistung und bietet zahlreiche Möglichkeiten, um die verschiedensten Sounds zu kreieren. So kann bspw. neben zwei Overdrive- und einem Clean-Kanal auch ein Acoustic-Simulator-Kanal gewählt werden.¹⁰⁴ An das Topteil war ein geeignetes Marshall-Kabinett angeschlossen, das Marshall AVT412XB.¹⁰⁵ Bei diesem Modell erfolgte das Profiling mit einem Overdrive-Sound und zudem mit dem Acoustic-Simulator-Kanal.

¹⁰³ Vgl. Marshall Amplification plc 1998: Valvestate VS65R Combo. Handbook

¹⁰⁴ Vgl. Marshall Amplification plc: Valvestate 2000 AVT. AVT150, AVT150H & AVT275 User Manual

¹⁰⁵ Vgl. musikhaus-korn.de: [online] <https://www.musikhaus-korn.de/de/marshall-avt-412-xb-gitarren-box-gerade-200-watt/pd/94814> [04.04.2022]

3.4.5 Shure SM57

Beim Shure SM57 handelt es sich um ein dynamisches Tauchspulen-Mikrofon mit Nierencharakteristik. Es kann einen Frequenzbereich von 40 bis 15.000 Hz abdecken (s. Abbildung 15) und hat eine Ausgangsimpedanz von 310 Ω .¹⁰⁶

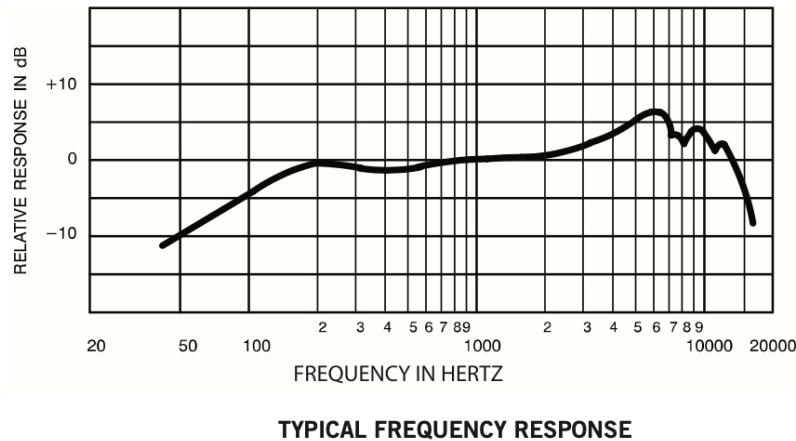


Abbildung 15: Typischer Frequenzgang des Shure SM57. Hier ist deutlich zu erkennen, dass es besonders im Bereich der Höhen (2000 - 13000 Hz) das Signal verstärkt. Von ca. 200 - 2000 Hz ist es einigermaßen linear, darunter liegende Frequenzen werden zunehmend weniger stark wiedergegeben.

Das SM57 eignet sich zur Aufnahme von Gesang oder diversen Musikinstrumenten, wie z.B. Gitarre und Bass, aber auch Snare Drum oder Tom-Toms. Im Hinblick auf die Gitarre wird vom Hersteller bei der Abnahme eines Gitarrenverstärkers bzw. eines Lautsprecherkabinetts ein Abstand von etwa 2,5 cm zum Lautsprecher empfohlen.¹⁰⁷

3.5 Dokumentation der Messungen

Das Mess-Set-Up wurde zunächst auf zwei Räume verteilt. Im Aufnahmerraum des Hochschultonstudios befand sich der zu analysierende analoge Amp, im Nebenraum – der Regie – wurden Kemper Profiling Amp, APx515B, das RME Fireface und der Laptop mit der APx500-Software platziert (s. Abbildung 16). Über das Fireface wurden zunächst auch probeweise einige Messdurchläufe mit dem M4260 von NTi durchgeführt, da aber wie beschrieben keine parallele Messung am Kemper Profiler möglich war, wurden diese Messergebnisse nicht ausgewertet. Über die im Aufnahmerraum verteilten Stageboxen wurden alle hin- und rückführenden Signale aus dem Aufnahmerraum über die Andiamo Patch Bay an die entsprechenden Geräte geroutet.

¹⁰⁶ Vgl. Shure Incorporated: SM57. Unidirectional Dynamic Microphone, S. 11

¹⁰⁷ Vgl. Shure Incorporated: SM57. Unidirectional Dynamic Microphone, S. 5



Abbildung 16: Anfänglicher Messaufbau in der Regie des Tonstudios der Hochschule Mittweida. Zu sehen sind im Vordergrund das MacBook, auf dessen Windows-Partition die APx500-Software lief, darüber das APx515B, der Kemper Profiler in der Rack Edition, das RME Fireface sowie ein aktiver Genelec-Lautsprecher, um über den Main Out des Kempers, die aufgenommenen Profile abzuhören.

Allerdings stellte sich beim Durchführen der Messungen heraus, dass dieses Set-Up einige Probleme bereitet. Zum einen war die Verteilung auf zwei Räume insofern arbeitserschwerend, als dass z.B. für Umbauten oder das Einstellen des Sounds am originalen Amp das Hin- und Hereilen zwischen den Räumen sehr zeitintensiv war. Darüber hinaus führten die teils aufwendig gestalteten Kabelwege und die dafür benötigten Adapter zu ungewollten Störgeräuschen, was sich als Rauschen und Knistern über die Lautsprecher der Original-Amps im Aufnahmerraum bemerkbar machte.

Aus diesem Grund wurde beschlossen, die Messungen komplett in einem Raum durchzuführen. Die kurzen Laufwege zum Durchführen der Messungen und zum Ändern der Aufbauten wirkten sich sehr zeitsparend aus. Auch die Störgeräusche wurden drastisch reduziert, indem nun bspw. das APx515B direkt an den Kemper oder die anderen Verstärker angeschlossen werden konnte, und dies nicht über einige Kabel hinweg geschah. Nachteilig bei dieser Variante war, dass nun bei sämtlichen Messungen mit den Mikrofonen möglicherweise die Lüftung des APx515B und des Laptops zu hören sein könnten. Da diese aber letztendlich nur sehr leise liefen und außerdem die Test- und Messsignale in sehr hohen Lautstärken von den Lautsprechern wiedergegeben wurden, läuft deren Einfluss auf die Messergebnisse gegen Null. Eine weitere Maßnahme, die getroffen werden musste, war das Tragen von Ohrstöpseln, um Schäden durch die hohen Lautstärken zu vermeiden.

Insgesamt konnten die Messungen mit dem kompletten Set-Up im Aufnahmerraum relativ zügig innerhalb von zwei Tagen durchgeführt werden. Im Groben bestand der Ablauf,

wie bereits aus den vorhergehenden Kapiteln beschrieben, aus dem Aufbau der analogen Amps, an die anschließend die Ibanez JS600 angeschlossen und ein gewünschter Sound eingestellt wurde. Danach erfolgte die Verkabelung mit dem Kemper Profiler für das Profiling. Dabei wurde des SM57 jeweils etwas mehr als einen fingerbreit von der Frontbespannung entfernt und auf die Mitte, also die Kalotte, des Lautsprechers ausgerichtet platziert. Das Profiling konnte anschließend mit dem in 3.1 abgebildeten Aufbau und unter Befolgung des Profiling Leitfadens erfolgen. Abbildung 17 zeigt den Profiling Assistant, der durch das Profiling geleitet hat.

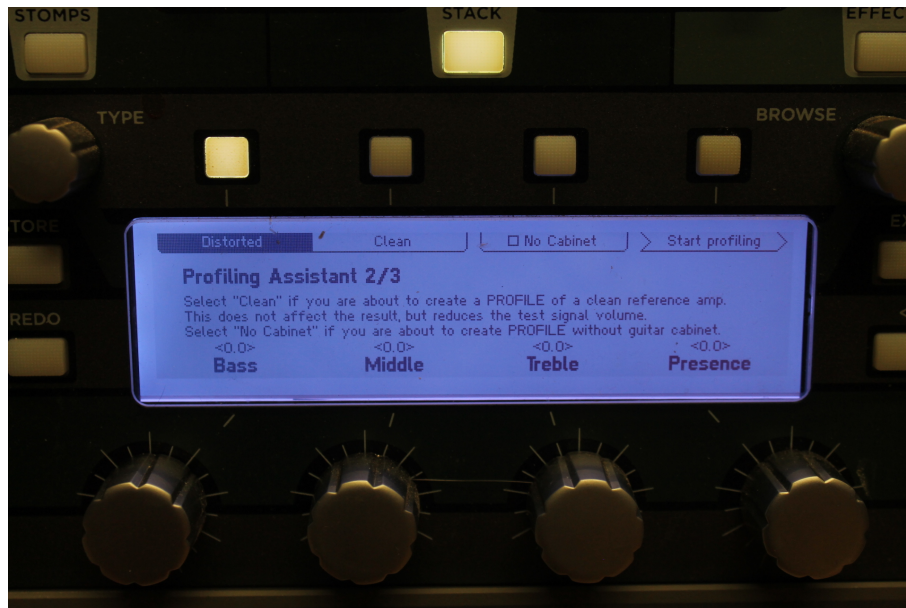


Abbildung 17: Profiling Assistant des Kemper Profiling Amps. Mit den Knöpfen oberhalb des Displays lässt sich die Art des Profils mittels des "No Cabinet"-Buttons ("No Cabinet" = Direct-Amp-Profil) und die Art des Sounds (Clean/Distorted) auswählen. Mit den unteren Reglern lassen sich Bass, Mitten, Höhen und Presence justieren.

Für das Refining wurde die E-Gitarre nun an den Kemper Profiling Amp angeschlossen, um Akkorde und kurze Riffs zu spielen. Nach Abschluss des Profilings wurden die Set Ups für die Messungen eingerichtet, diese durchgeführt und in Folge die Ergebnisse abgespeichert. Da durch die umfangreichen Messungen sehr viele Ergebnisse geliefert wurden, dauerte es auch entsprechend lange, um diese hinreichend zu archivieren. Neben dem Sequence Report, welcher in einer PDF alle Messdaten festhielt, mussten die meisten Grafiken mit angepasstem Messbereich erneut einzeln abgespeichert werden. Zudem wurden Messdaten in hohem Umfang als CSV-Dateien gesichert und exportiert.

4 Ergebnisteil

4.1 Analyse der Messergebnisse

Die bei den Messungen im Tonstudio der Hochschule Mittweida aufgenommenen Messergebnisse sollen nun in den nachfolgenden Kapiteln präsentiert und analysiert werden. Dabei werden zunächst einzeln die jeweiligen Amp-Sounds und die dazugehörigen Emulationen betrachtet. Dabei sind an geeigneten Stellen selbsterstellte Tabellen mit Messwerten oder ausgewählte Grafiken hinzugefügt. Im Anhang sind dann auf der beigelegten CD zu jedem Amp und zu jeder Messung die Messdaten einsehbar. Zum Abschluss folgt das Fazit, in welchem bewertet wird, in welcher Qualität der Kemper Profiling Amp nun generell andere Amps analysieren und nachbilden kann. Weiterhin wird ein Ausblick gegeben, wofür diese Arbeit als Grundlage dienen kann.

4.1.1 Bugera V55 Infinium

In Tabelle 1 werden die Ergebnisse der verschiedenen Pegelmessungen dargestellt. Dazu zählen die Messungen des RMS Levels, Gains, Peak Levels und des RMS Levels von Weißem und Rosa Rauschen.

Tabelle 1: Vergleich der Messwerte "RMS Level", "Gain", "Peak Level", "White Noise (RMS) und "Pink Noise (RMS)" zwischen verzerrtem Sound des Bugera V55 Infinium und dem entsprechenden Kemper-Profil.

| Messwert | Bugera V55 Infinium (verzerrt) | Kemper-Profil |
|-------------------|-----------------------------------|---------------|
| RMS Level | 7,587 mVrms | 7,635 mVrms |
| Gain | -22,399 dB | -22,344 dB |
| Peak Level | 21,67 mV | 20,55 mV |
| White Noise (RMS) | 10,010 mVrms | 8,713 mVrms |
| Pink Noise (RMS) | 10,030 mVrms | 9,077 mVrms |

Grundsätzlich bleiben hier alle Werte des Kemper Profiling Amps nahe an denen des Originalverstärkers. Zu beachten ist, dass der Messbereich hinsichtlich der Frequenzen der beiden Rauschsignale über die Grenzen des SM57 hinaus ging, der Kemper aber anscheinend dies beim Profiling auch berücksichtigt hat, da sonst die Messwerte des Profils deutlich höher liegen müssten. Stattdessen sind die RMS-Pegel der beiden Rauschsignale des Kemper-Nachbilds etwas geringer als die des Bugera V55 Infinium.

Auch bei Betrachtung des cleanen Profils (s. Tabelle 2) ergibt sich das Resultat, dass der Kemper nahezu identische Messergebnisse vorlegt.

Tabelle 2: Vergleich der Messwerte "RMS Level", "Gain", "Peak Level", "White Noise (RMS)" und "Pink Noise (RMS)" zwischen dem cleanen Sound des Bugera V55 Infinium und dem entsprechenden Kemper-Profil.

| Messwert | Bugera V55 Infinium (clean) | Kemper-Profil |
|-------------------|-----------------------------|---------------|
| RMS Level | 5,853 mVrms | 5,845 mVrms |
| Gain | -24,652 dB | -24,665 dB |
| Peak Level | 8,813 mV | 8,375 mV |
| White Noise (RMS) | 5,825 mVrms | 7,134 mVrms |
| Pink Noise (RMS) | 6,438 mVrms | 7,145 mVrms |

Die nächsten Messungen wurden zum Frequenzverhalten getätigt. Diese Messwerte sagen schon etwas mehr zur Qualität des Kemper Profiling Amps aus als einfache Pegelvergleiche.

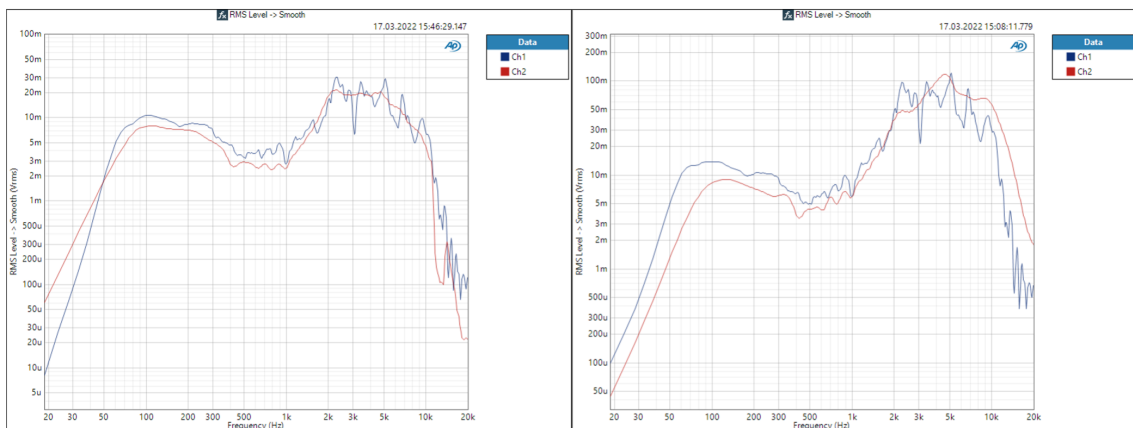


Abbildung 18: Vergleich der Frequenzgänge (RMS Level) von Bugera V55 Infinium (blau) und dessen Kemper-Profil (rot) im Bereich von 20 - 20.000 Hz bei einem Generator-Output von 100 mVrms. Links zu sehen ist der verzerrte Sound, im rechten Diagramm der cleane.

Bei Betrachtung von Abbildung 18 fällt zunächst auf, dass der Kemper Profiler im linken Diagramm, also der Darstellung der Frequenzgänge des verzerrten Sounds, akkurater arbeitet. Sein Kurvenverlauf ähnelt dem des Bugera V55 Infinium sehr, auch wenn er diesen etwas weniger stark wiedergibt und fast durchweg einige mVrms unter den Messwerten des Originals bleibt. Erst unterhalb von 50 Hz stellt der Kemper die Frequenzen etwas verstärkt dar. Nun gilt es aber eines zu beachten: Die Achsen in den von der APx500-Software ausgegebenen Diagrammen sind logarithmisch dimensioniert, d.h. dass hier gewisse optisch eindeutig abweichende oder identische Verläufe in einem

Diagramm mit linearer Achsendimensionierung gänzlich anders ausfallen können. Daher ist ein Blick auf Abbildung 19 interessant, in welcher beispielhaft die CSV-Daten der Frequenzgangmessung des verzerrten Bugera-Sounds linear dargestellt werden.

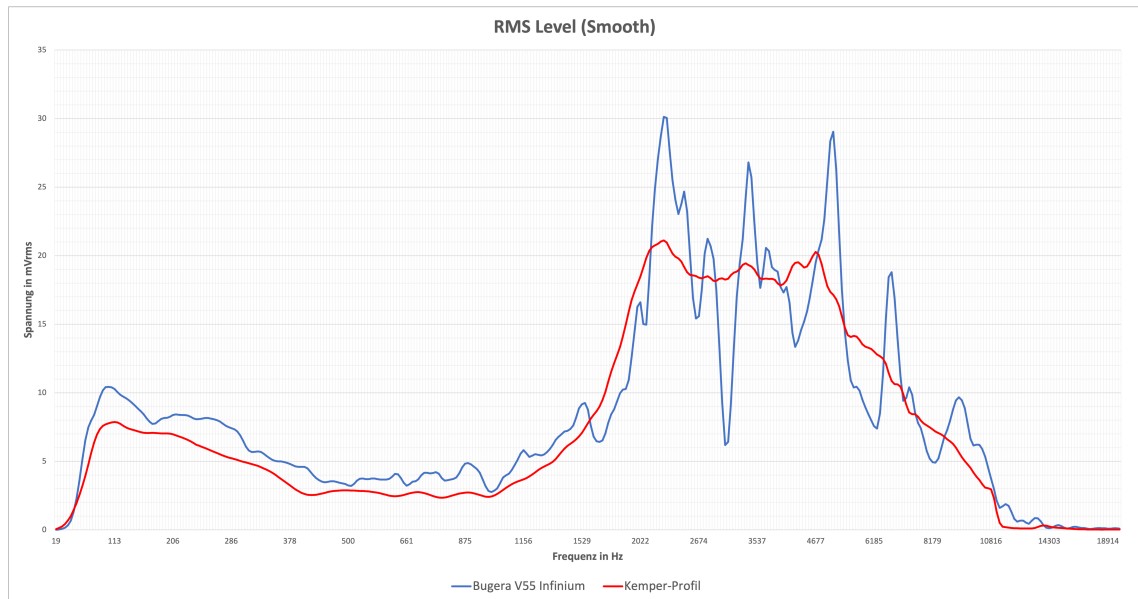


Abbildung 19: Frequenzverlauf des verzerrten Sounds des Bugera V55 Infinium (blau) und des entsprechenden Kemper-Profiles (rot) im Bereich von 20 - 20.000 Hz bei einem Generator-Output von 100 mVrms.

Durch die Entzerrung der x- und y-Achse ergibt sich ein anderes Bild auf den Verlauf der Frequenzgänge. Die leicht überhöhte Wiedergabe der Frequenzen unterhalb von 50 Hz fällt nun gar nicht mehr so stark auf, dafür umso mehr die Ungenauigkeiten im Bereich von 2 bis 10 kHz. Die beim Bugera V55 Infinium gemessenen Spitzen gibt der Kemper Profiler nicht wieder. Die Messwertabweichung schwankt etwa um bis zu 15 mVrms. Es wirkt eher so, als glätte er mit seinem Kurvenverlauf diese Spitzen weg. Trotz dieser neuen Erkenntnisse bestätigt sich dennoch die etwas schwächere Wiedergabe der Frequenzen bis etwa 1,5 kHz und das abrupte „Abstürzen“ oberhalb von 10 kHz.

Der Verlauf der Kurve des Kemper-Profiles des cleanen Bugera-Sounds (s. Abbildung 18) ist wesentlich ungenauer als der des verzerrten Profils. Erneut wird der Frequenzbereich bis etwa 1,5 kHz nur abgeschwächt wiedergegeben. Auffällig ist bei Betrachtung des weiteren Kurvenverlaufs, dass beim Kemper-Profil, entgegengesetzt zum verzerrten Sound, nun ab ca. 4 kHz sämtliche Frequenzen stärker gemessen wurden als es beim Bugera V55 Infinium der Fall war. Grundsätzlich lässt sich also hier sagen, dass der Kemper Profiling Amp den Clean-Sound des Bugera V55 Infinium in Vergleich zum verzerrten Sound sehr dürftig nachgebildet hat.

Bei beiden Amp-Sounds zeichnen sich bei den Messungen mit 25 und 250 mVrms Generator-Output nahezu gleiche Bilder ab, was das Gesamtverhältnis des Kemper-

Kurvenverlaufs zum Originalgraphen betrifft. Hinsichtlich der Messwerte fallen diese beim originalen verzerrten Sound des Bugera V55 Infinium bei 25 mVrms in ihrer Spannung geringer, bei 250 mVrms stärker aus. Interessanterweise weist der Kemper Profiler bei den 25-mVrms-Messungen auch geringere Werte auf, bei der Zuführung von 250 mVrms bleibt der Frequenzgang jedoch identisch zu dem bei 100 mVrms. Was die Messungen mit 25 und 250 mVrms bei den cleanen Sounds betrifft, so reagieren sowohl Bugera V55 Infinium als auch das Kemper Profil sehr stark auf die unterschiedlichen Spannungen (s. Abbildung 20). Die deutlich höhere Zuführung von 250 mVrms, ebenso wie die viel geringere von 25 mVrms, ist auch entsprechend in den Frequenzgängen zu sehen.

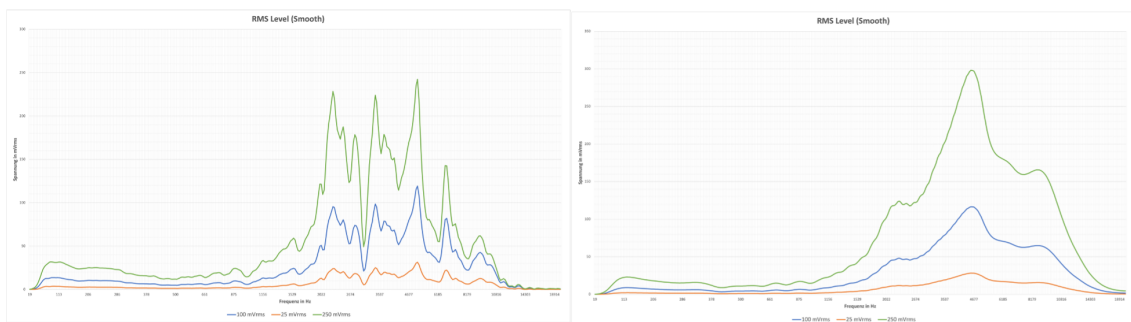


Abbildung 20: Vergleich der Frequenzgänge des Clean-Sounds des Bugera V55 Infinium (links) und der entsprechenden Kemper-Profile (rechts). Dargestellt ist der Messbereich von 20 – 20.000 Hz bei Zuführung von 100 mVrms (blau), 25 mVrms (orange) und 250 mVrms (grün).

Der Deviation-Messwert, der die durchschnittliche Abweichung des Pegels vom 1-kHz-Messwert über den gesamten Messbereich symbolisiert, ist insofern überraschend, als dass er bei den cleanen Profilen eine geringere Differenz zwischen Originalverstärker und Kemper Profiling Amp besitzt. Der Differenzbetrag liegt hier bei etwa 1 dB (100 mVrms), 4 dB (250 mVrms) und 1,5 dB (25 mVrms). Verglichen dazu liegen die Deviation-Werte bei den verzerrten Sounds 8 dB (100 mVrms), 9 dB (250 mVrms) und 7 dB (25 mVrms) auseinander. Das lässt also darauf schließen, dass bei den cleanen Profilen der Kemper den Frequenzgang des Originalverstärkers in seinem Gesamtverhältnis im Schnitt besser abbilden kann.

Tabelle 3 liefert untereinander verglichen zwar sehr ähnlich Messwerte, allerdings fiel der THD+N-Wert mit über 90% unerwartet hoch aus. Auch kann beim Bugera V55 Infinium seltsamerweise weder der Pegel des Grundrauschens noch das Verhältnis des Grundrauschens zum Gesamtsignal ermittelt werden. Außerdem war eine Phasenmessung in diesem Fall aus undefinierbaren Gründen nicht möglich. Auffällig ist der um 20 dB höhere Signal-Rausch-Abstand des Kemper-Profils. Der höhere SINAD-Wert des Originalverstärkers sagt aus, dass dieser messtechnisch eine höhere Übertragungsqualität hat.

Tabelle 3: Vergleich verschiedener Messwerte der Messungen "THD+N", "SINAD", "SNR" und "Interchannel Phase" vom Bugera V55 Infinium (verzerrt) und dessen Kemper-Emulation.

| Messwert | Bugera V55 Infinium (verzerrt) | Kemper-Profil |
|-----------------------|-----------------------------------|-------------------|
| THD+N Ratio | 93,261 % | 94,765 % |
| THD+N Level | 7,193 mVrms | 7,232 mVrms |
| THD Ratio | 93,317 % | 94,647 % |
| THD Level | 7,174 mVrms | 7,231 mVrms |
| Noise Ratio | - | 0,514 % |
| Noise Level | - | 39,260 μ Vrms |
| SINAD | 2,920 dB | 1,081 dB |
| Signal to Noise Ratio | 31,238 dB | 49,753 dB |
| Interchannel Phase | - | - |

Wie zu erwarten war, bleibt der Klirrfaktor (THD+N Ratio) in Tabelle 4 verhältnismäßig gering. Das Kemper-Profil besitzt einen über zehnmal kleineren THD+N-Wert, weicht also stark vom Original ab. Wird zusätzlich der Wert der Noise Ratio herangezogen, so ist zu sehen, dass der THD+N-Wert der Emulation de facto keine harmonischen Verzerrungen aufweist, sondern zu über 99% aus dem Grundrauschen des Verstärkers besteht. Erstaunlich ist auch die Phasenverschiebung um $-155,999^\circ$. Dieser Wert kommt einer Phasenumkehrung (also einer Verschiebung um 180°) sehr nahe. Die Signal to Noise Ratio ist beim Kemper-Profil wieder etwas höher und beträgt mit einer Differenz von 7 dB zum Bugera V55 Infinium wesentlich weniger als es beim verzerrten Sound der Fall ist. Der hohe SINAD-Wert ist die Konsequenz aus dem geringen Klirrfaktor.

Tabelle 4: Vergleich verschiedener Messwerte der Messungen "THD+N", "SINAD", "SNR" und "Interchannel Phase" vom Bugera V55 Infinium (clean) und dessen Kemper-Emulation.

| Messwert | Bugera V55 Infinium (clean) | Kemper-Profil |
|-----------------------|--------------------------------|-------------------|
| THD+N Ratio | 4,442 % | 0,357 % |
| THD+N Level | 260,800 μ Vrms | 20,830 μ Vrms |
| THD Ratio | 4,334 % | 0,061 % |
| THD Level | 254,600 μ Vrms | 3,550 μ Vrms |
| Noise Ratio | 0,996 % | 0,354 % |
| Noise Level | 58,520 μ Vrms | 20,650 μ Vrms |
| SINAD | 40,160 dB | 44,829 dB |
| Signal to Noise Ratio | 40,843 dB | 47,923 dB |
| Interchannel Phase | - | $-155,999^\circ$ |

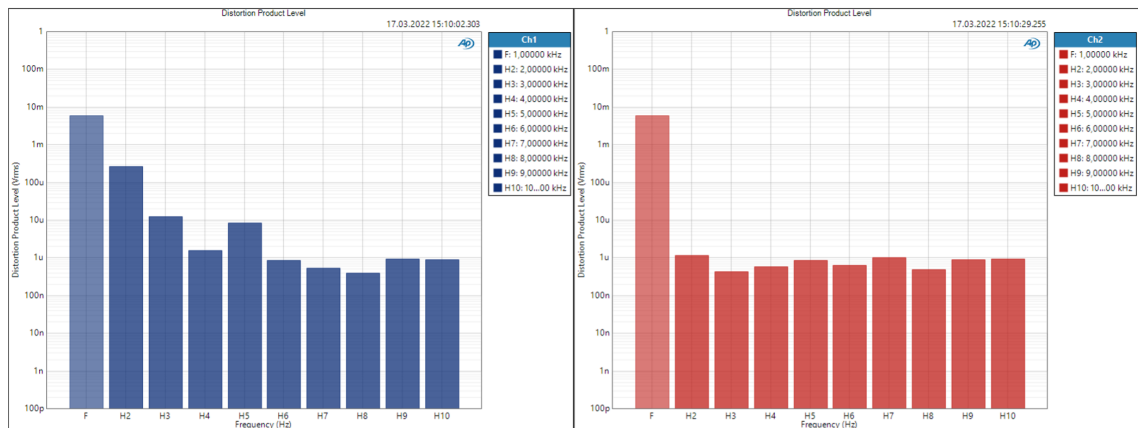


Abbildung 21: Vergleich der harmonischen Obertöne vom Bugera V55 Infinium (clean) (blau) und dem entsprechenden Kemper-Profil (rot). Gemessen wurden die Obertöne der Grundfrequenz 1 kHz bei einem Generator-Output von 100 mVrms

Abbildung 21 verdeutlicht noch einmal, wie unzureichend der Kemper die harmonischen Obertöne des Clean-Sounds des Bugera-Amps wiedergibt. Die Grundfrequenz von 1 kHz wurde in beiden Messungen als nahezu identisch ermittelt. Allerdings sind vom 2. bis zum 10. Oberton alle Werte unterhalb von 1 μ Vrms, während beim Originalverstärker die harmonischen Obertöne kontinuierlich nachlassen und erst ab dem 6-fachen der Grundfrequenz die 1 μ Vrms unterschreiten.

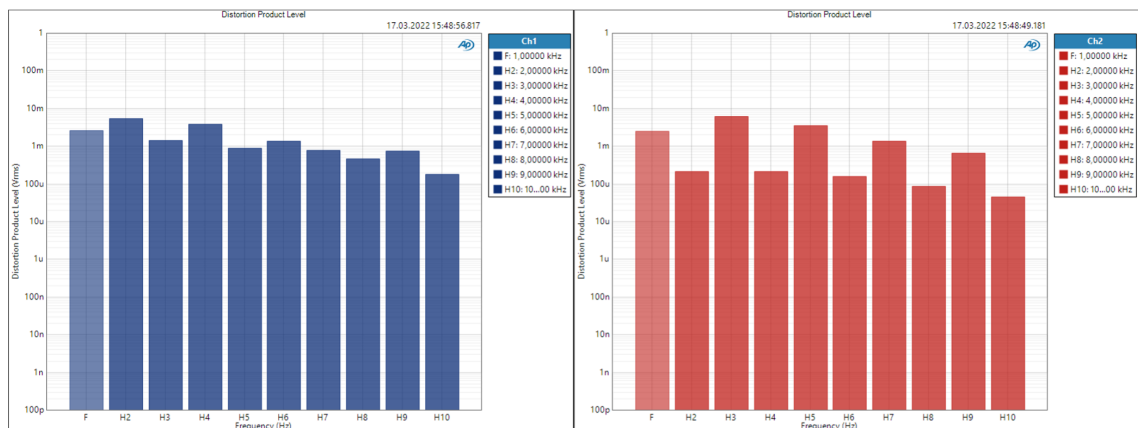


Abbildung 22: Vergleich der harmonischen Obertöne vom Bugera V55 Infinium (verzerrt) (blau) und dem entsprechenden Kemper-Profil (rot). Gemessen wurden die Obertöne der Grundfrequenz 1 kHz bei einem Generator-Output von 100 mVrms

Der Grund für den hohen Klirrfaktor des verzerrten Bugera-Sounds ist in Abbildung 22 zu sehen. Obwohl beide THD+N-Werte in Tabelle 3 nah beieinander liegen, zeigt sich hier, dass die Gesamtverzerrung der harmonischen Obertöne der beiden Verstärker sich doch sehr unterschiedlich zusammensetzt. Festzuhalten ist zuerst, dass beide Verstärker mit einigen harmonischen Obertönen den Pegel der Grundfrequenz überschreiten.

Während dies beim Bugera V55 Infinium das 2. und 4. Vielfache der Grundfrequenz sind, sind dies beim Kemper die 3. und 5. Harmonischen. Außerdem sind hier auch die 7. und 9. sehr stark ausgeprägt und nur wenig schwächer als der Grundton. Interessant ist auch das Verhältnis sämtlicher Obertöne zueinander. So liegen diese beim Original-Amp dicht zusammen, im Kemper-Profil werden sie deutlich versetzt dargestellt. Ungeradzahlige Obertöne stechen heraus, geradzahlige wurden im Vergleich zum Bugera-Verstärker abgesenkt.

Abschließend noch die Auswertung der Impulsantwort, welche Bestandteil der Acoustic-Response-Messungen war (s. Abbildung 23). Beide Kemper-Impulsantworten erfolgen mit einem Versatz von etwa 5 ms und fallen hinsichtlich der maximalen Amplitude stärker aus als die des Original-Amps (etwa 2 mVrms beim verzerrten, 25 mVrms mehr beim unverzerrten Sound). Die Impulse der Kemper-Profile schwingen auch wesentlich schneller aus als die ihrer ursprünglichen Vorlagen.

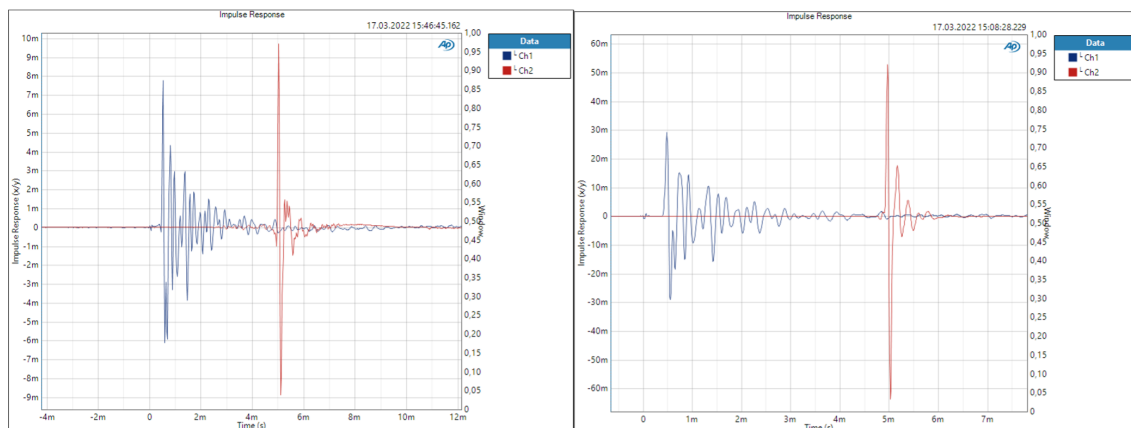


Abbildung 23: Impulsantwort des Bugera V55 Infinium (blau) und dem entsprechenden Kemper-Profil (rot) bei Zuführung von 100 mVrms. Links ist der verzerrte Sound, rechts der cleane Sound dargestellt.

4.1.2 Bugera 6262

Tabelle 5 zeigt zunächst die Messergebnisse der Pegelmessungen. Auch hier ist aus ihnen deutlich abzulesen, dass hier der Kemper Profiler ziemlich genau das Verhalten des Original-Amps emuliert hat.

Tabelle 5: Vergleich der Messwerte "RMS Level", "Gain", "Peak Level", "White Noise (RMS)" und "Pink Noise (RMS)" zwischen dem Bugera 6262 und dem entsprechendem Kemper-Nachbild.

| Messwert | Bugera 6262 | Kemper-Profil |
|------------|--------------|---------------|
| RMS Level | 25,040 mVrms | 24,990 mVrms |
| Gain | -12,026 dB | -12,046 dB |
| Peak Level | 35,760 mV | 36,850 mV |

| | | |
|-------------------|--------------|--------------|
| White Noise (RMS) | 23,560 mVrms | 20,660 mVrms |
| Pink Noise (RMS) | 26,930 mVrms | 27,270 mVrms |

Zur Beurteilung des Verhaltens des Frequenzganges des Kemper-Profiles des Bugera 6262 ist Abbildung 24 dienlich. Sie zeigt den Relativpegel der Frequenzen von 20 bis 20.000 Hz in Bezug auf den Pegel, welcher bei 1 kHz gemessen wurde. Zu sehen ist, dass der Verlauf des Kemper Amps dem des Originalverstärkers schon nahekommt, es aber auch deutliche Abweichungen gibt. Besonders auffällig ist die überhöhte Wiedergabe der Frequenzen unterhalb von 500 Hz. Sobald die 100-Hz-Marke unterschritten wird, ist ein noch stärkeres Auseinanderdriften beider Kurven zu vermerken. So liegen bspw. bei 50 Hz ca. 27 dB zwischen den Messwerten der beiden Systeme vor. Dies bedeutet einen etwa 20-fachen Pegel beim Profil. Weiterhin tritt ein starkes Absinken der Kurve des Kemper Profiling Amps ab etwa 12 kHz auf. Hier rutscht der Graph auch um über 15 dB unterhalb des Messwertes des Bugera 6262. Abgesehen von diesen größeren Differenzen, weicht das Kemper-Profil etwas an einigen anderen Stellen des Messbereichs vom Original ab, z.B. von 1 bis 3 kHz.

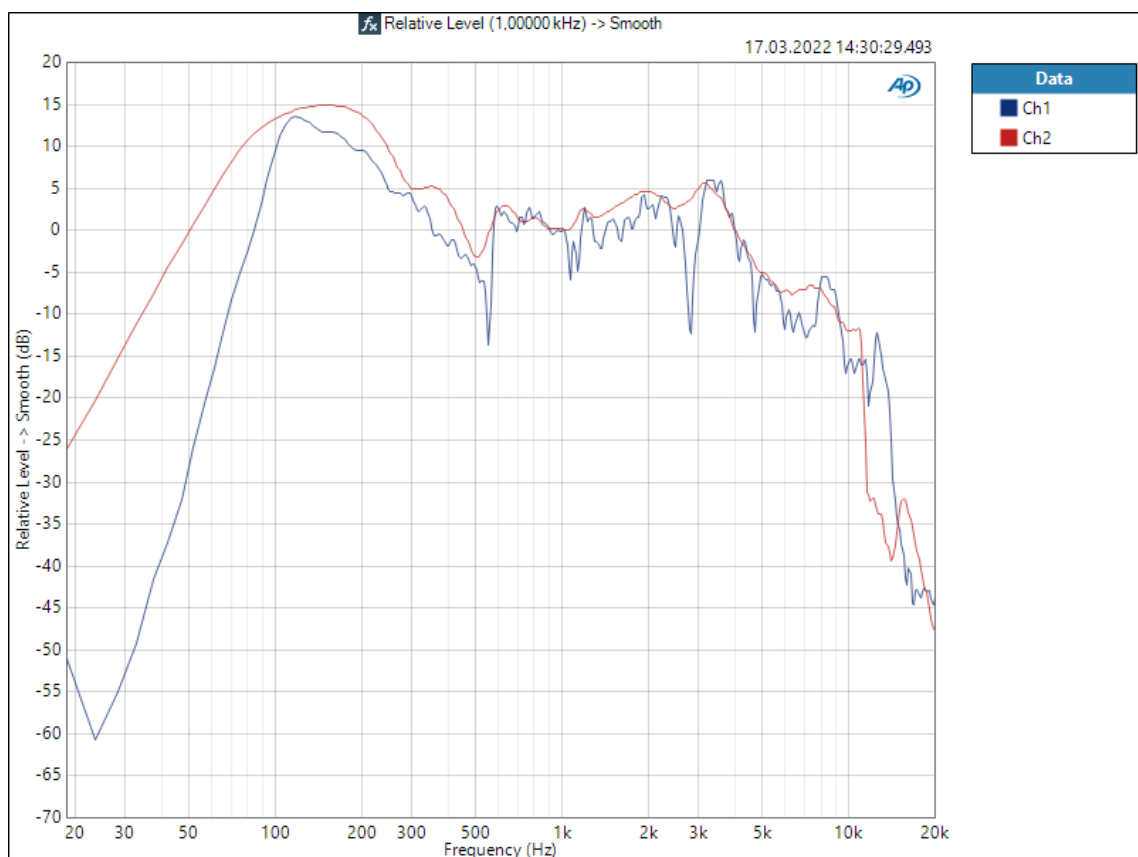


Abbildung 24: Vergleich der Frequenzgänge (Relativpegel bezogen auf den Pegel bei 1 kHz) des Bugera 6262 (blau) und dessen Kemper-Emulation (rot) im Bereich von 20 - 20.000 Hz bei einem Generator-Output von 100 mVrms.

Tabelle 6: Vergleich verschiedener Messwerte der Messungen "THD+N", "SINAD", "SNR" und "Interchannel Phase" zwischen dem Bugera 6262 und dessen Emulation.

| Messwert | Bugera 6262 | Kemper-Profil |
|-----------------------|-------------------|-------------------|
| THD+N Ratio | 34,665 % | 51,824 % |
| THD+N Level | 8,753 mVrms | 12,940 mVrms |
| THD Ratio | 34,736 % | 51,786 % |
| THD Level | 8,719 mVrms | 12,940 mVrms |
| Noise Ratio | 0,254 % | 0,340 % |
| Noise Level | 63,880 μ Vrms | 99,930 μ Vrms |
| SINAD | 4,586 dB | 8,576 dB |
| Signal to Noise Ratio | 29,393 dB | 57,098 dB |
| Interchannel Phase | - | +3,594 ° |

Was THD+N betrifft, so fallen in Tabelle 6 die Messwerte des Kemper-Profiles stark über denen des Bugera 6262 aus. Trotz der unterschiedlichen Pegel bleiben die THD+N-Werte aber im Verhältnis ihrer Bestandteile aus THD und Noise etwa gleich (der THD Level macht in beiden Messungen nahezu den Gesamtanteil des THD+N Levels aus, ebenso wie die THD Ratio den Großteil der THD+N Ratio ausmacht). Erstaunlich ist auch die Signal to Noise Ratio, die mit einer Differenz von fast 30 dB zwischen den beiden Verstärkern auch höchst unterschiedliche Werte besitzt. Die SINAD-Beurteilung spricht hier dem Kemper eine höhere Übertragungsqualität zu. Mit einem Versatz von 3,594 ° bei 1 kHz hält sich die Phasenverschiebung des Kemper-Profiles noch in Grenzen.

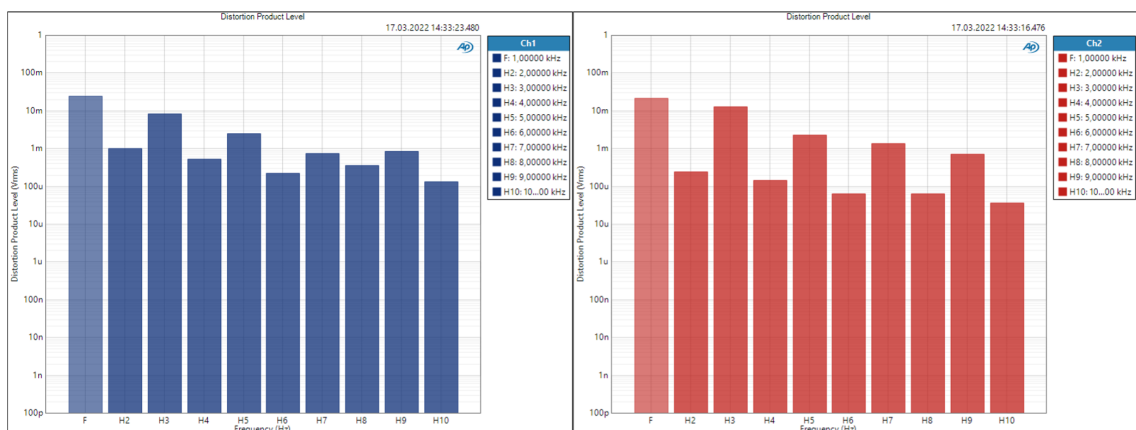


Abbildung 25: Vergleichende Darstellung der Pegel der harmonischen Obertöne, links beim Bugera 6262 (blau) und rechts bei dessen Kemper-Emulation (rot). Gemessen wurden die Obertöne der Grundfrequenz 1 kHz bei einem Generator-Output von 100 mVrms.

In Abbildung 25 sind die Pegel der harmonischen Obertöne sowohl von Original-Amp als auch die des Kemper-Nachbilds dargestellt. Gut zu sehen ist, dass der Kemper in seiner Emulation ebenfalls die ungeradzahigen Obertöne stärker als die geradzahigen

wiedergibt. Auffällig ist aber, dass insgesamt die Differenz zwischen diesen viel höher ist als beim Original. Aus Tabelle 7 lassen sich die exakten Messwerte ablesen und auswerten.

Tabelle 7: Messwerte zum Distortion Product Level für den Bugera 6262 und dessen Kemper-Emulation. Eingegeben wurde ein 1-kHz-Sinuston mit 100 mVrms, gemessen wurde die Signalstärke der Grundfrequenz und der harmonischen Obertöne bis zur 10. Harmonischen.

| Frequenz (in kHz) | Signalspannung Bugera 6262 (in Vrms) | Verhältnis zur Grundfrequenz (in %) | Signalspannung Kemper-Profil (in Vrms) | Verhältnis zur Grundfrequenz (in %) |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|
| 1 | 23,540 m | 100 | 21,380 m | 100 |
| 2 | 999,000 μ | 4,24 | 247,500 μ | 1,16 |
| 3 | 8,187 m | 34,78 | 12,630 m | 59,07 |
| 4 | 490,700 μ | 2,08 | 147,800 μ | 0,69 |
| 5 | 2,481 m | 10,54 | 2,325 m | 10,87 |
| 6 | 208,100 μ | 0,88 | 62,600 μ | 0,29 |
| 7 | 725,300 μ | 3,08 | 1,354 m | 6,33 |
| 8 | 343,700 μ | 1,46 | 63,600 μ | 0,30 |
| 9 | 833,300 μ | 3,75 | 710,300 μ | 3,32 |
| 10 | 123,500 μ | 0,52 | 36,400 μ | 0,17 |

Zunächst ist festzustellen, dass beide Messreihen einen nahezu gleichen Wert der Grundfrequenz (1 kHz) besitzen. Interessant ist nun das Verhältnis der Grundfrequenz zu ihren harmonischen Obertönen. Bei der Emulation des Kemper Profiling Amps sind die geradzahigen harmonischen Obertöne wesentlich weniger stark ausgeprägt. Bereits bei der 4. Harmonischen fallen sie in ihrer Stärke auf unter 1% des Messwertes bei der Grundfrequenz, während dies beim Bugera 6262 erst ab der 6. Harmonischen der Fall ist. Andererseits werden die ungeradzahigen Obertöne beim Kemper Profiler stärker als beim Originalverstärker wiedergegeben. Während beim Bugera-Verstärker bereits die 3. Harmonische nur noch knapp ein Drittel der Grundfrequenz beträgt, liegt der Wert des Kempers hier noch bei fast 60%. Interessant ist, dass trotz der doch sehr abweichenden Ergebnisse beide Verstärker etwa den gleichen Wert bei der 5. und 9. Harmonischen aufweisen. Auch die leichte Anhebung des 8. und 9. Obertons wurde vom Kemper Amp entsprechend abgebildet.

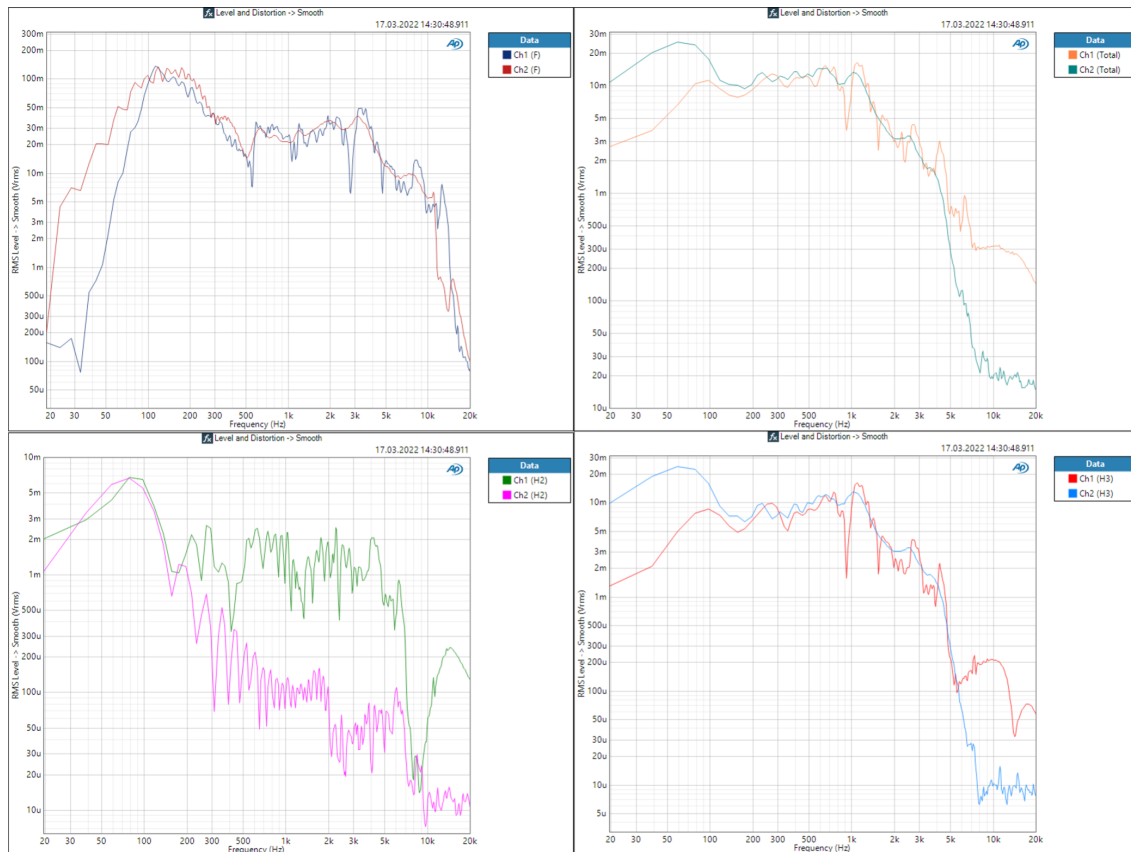


Abbildung 26: Verlauf des Pegels der Grundfrequenz (oben links, Bugera-Amp = blau, Kemper-Amp = rot), der harmonischen Gesamtverzerrung (oben rechts, Bugera-Amp = orange, Kemper-Amp = grün), der 2. harmonischen Obertöne (unten links, Bugera-Amp = grün, Kemper-Amp = pink) und der 3. harmonischen Obertöne (unten rechts, Bugera-Amp = rot, Kemper-Amp = hellblau). Der Messbereich war jeweils von 20 bis 20.000 Hz definiert und der Generator-Output in diesem Beispiel auf 250 mVrms gesetzt.

Eine weitere interessante Grafik ist Abbildung 26, in welcher vier Diagramme mit Messergebnissen zum Verhalten der Grundfrequenzen und deren harmonischen Verzerrungen zusammengelegt wurden. Im oberen linken Diagramm, welches die Kurvenverläufe der Grundfrequenzen des Bugera 6262 und dessen Kemper-Profil zeigt, ergibt sich ein ähnliches Bild zu dem des Frequenzgangs aus Abbildung 24. Die zunehmende Ungenauigkeit im Bereich unter 100 Hz sticht hierbei erneut ins Auge. Auch oberhalb der 10 kHz ist der „Wegbruch“ des Kemper-Profiles zu sehen. Auch die Messwerte, die in Abbildung 25 und Tabelle 7 zu sehen sind, werden in den unteren beiden Diagrammen der Abbildung 26 bestätigt. Was den Verlauf der 2. Harmonischen angeht, so reproduziert der Kemper Profiling Amp hier den Bugera 6262 völlig falsch. Natürlich gilt bei Betrachtung des Verlaufs der Messbereich zu berücksichtigen, denn dieser ist hier relativ gering (ein Großteil der Werte liegt im μ Vrms-Bereich). Daher wirken sich optisch größer aussehende Differenzen auf das Gesamtsignal weniger stark aus als es sich vermuten lässt. Dies ändert jedoch nichts daran, dass der Kemper ab etwa 150 Hz die beim Bugera 6262 gemessenen Obertöne nur unzureichend und schwächer wiedergibt. Komplet anders verhalten sich die 3. harmonischen Obertöne. Im Bereich von 20 bis 200 Hz gibt

der Kemper Profiler diese deutlich stärker wieder, als es der Original-Amp macht, bevor sich beide Kurvenverläufe ab 200 und bis 5.000 Hz annähern. Über diese Frequenz hinaus rutscht der Pegel des Kemper-Profiles abrupt ab und bleibt für den verbleibenden Frequenzbereich stark unter dem des Bugera 6262. Es kann also gesagt werden, dass die Emulation hier im Vergleich zur Wiedergabe der 2. Harmonischen schon mehr an das Vorbild herankommt, dieses aber bei weitem noch nicht perfekt abbildet.

Zum Abschluss noch ein Blick auf die Gesamtverzerrung: Diese ähnelt im Wesentlichen dem Kurvenverlauf der 3. Harmonischen, was auch absolut Sinn ergibt, wenn zur Beurteilung nochmals Tabelle 7 herangezogen wird. Aus dieser ist zweifellos zu entnehmen, dass sowohl bei Original als auch bei Nachbild die 3. harmonischen Obertöne den Löwenanteil der harmonischen Gesamtverzerrungen ausmachen. So ergeben z.B. beim Kemper-Profil des Bugera 6262 bei Zuführung von 100 mVrms alle harmonischen Obertöne der Grundfrequenz 1 kHz vom 2. bis zum 10. addiert eine Signalspannung von 17,58 mVrms. In Bezug dazu machen die 12,63 mVrms der 3. Harmonischen fast drei Viertel des Gesamtpegels aus. Dies zeigt den Einfluss der 3. harmonischen Obertöne auf den Gesamtpegel der harmonischen Verzerrungen.

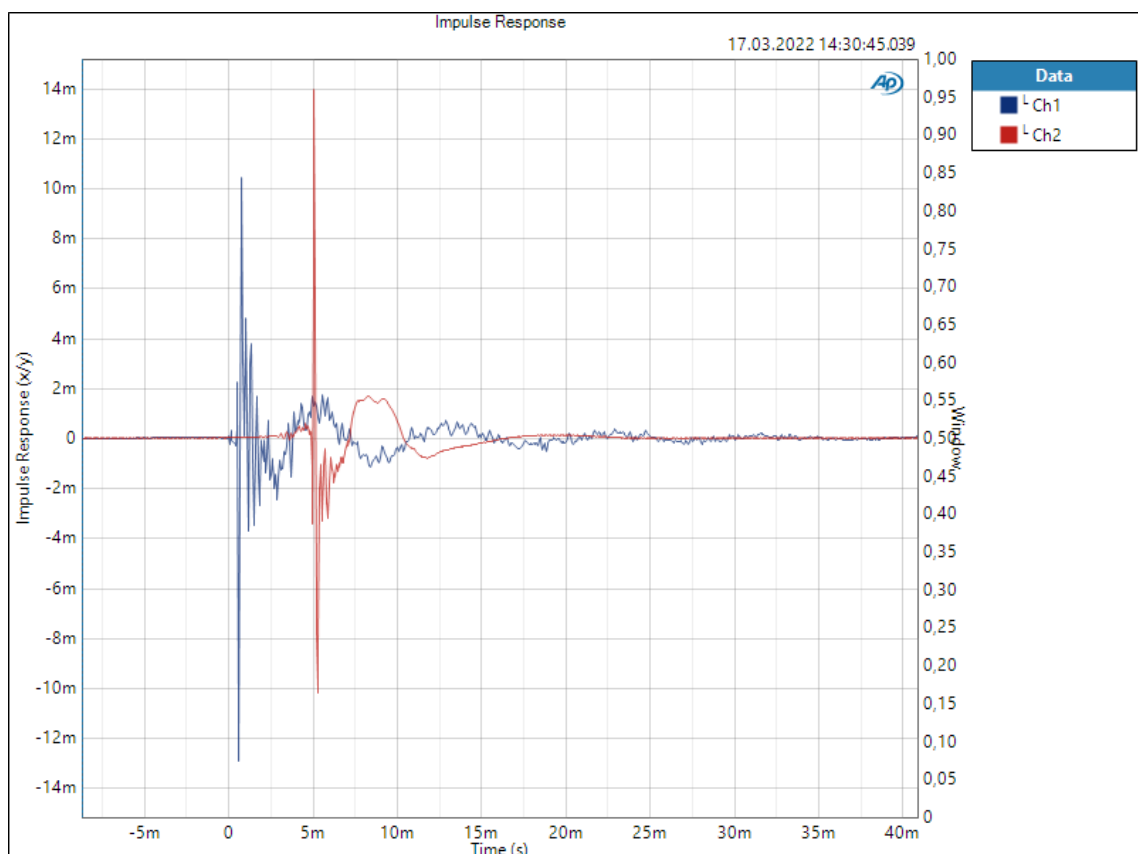


Abbildung 27: Impulsantworten des Bugera 6262 (blau) und dessen Kemper-Abbild (rot). Der Impuls wurde zeitgleich mit 100 mVrms an beide Systeme abgegeben.

Zu guter Letzt soll noch ein Blick auf das Ergebnis der Acoustic-Response-Messungen geworfen werden. Bei diesen Messungen wurde das Impulsverhalten beider Amps untersucht. Wie genau dieser Impuls vom Bugera 6262 und dem Kemper Profiler wiedergegeben wurde, ist in Abbildung 27 zu sehen. Zuerst fällt erneut der Zeitversatz von etwa 5 ms zwischen beiden Graphen auf. Schiebt man aber die Kurve des Kemper Amps (rot) um diese 5 ms entlang der x-Achse nach links, so ergibt sich aber ein verhältnismäßig ähnlicher Verlauf beider Signale. Die Impulsantwort des Kemper Profiling Amps besitzt auf der positiven y-Achse eine höhere Amplitude, auf der negativen y-Achse jedoch eine geringere als die des Originalverstärkers.

4.1.3 Marshall VS65R

Tabelle 8 stellt zu Beginn der Analyse der Messergebnisse die Resultate der Level- und Gain-Messungen dar. Was RMS Level, Gain und Peak Level betrifft, so sind diese auch hier nahezu identisch. Die Messwerte zum RMS-Pegel des Weißen und des Rosa Rauschens am Kemper-Profil sind jedoch viel höher als die, die beim Marshall VS65R gemessen wurden. Verglichen mit den Verhältnissen bei den drei Bugera-Sounds fallen hier die Messpaare besonders aus der Reihe.

Tabelle 8: Vergleich der Messwerte "RMS Level", "Gain", "Peak Level", "White Noise (RMS)" und "Pink Noise (RMS)" zwischen dem Marshall VS65R und dem entsprechendem Kemper-Nachbild.

| Messwert | Marshall VS65R | Kemper-Profil |
|-------------------|----------------|---------------|
| RMS Level | 50,900 mVrms | 50,820 mVrms |
| Gain | -5,865 dB | -5,880 dB |
| Peak Level | 108,300 mV | 106,700 mV |
| White Noise (RMS) | 65,040 mVrms | 81,530 mVrms |
| Pink Noise (RMS) | 71,400 mVrms | 83,320 mVrms |

Abbildung 28 zeigt die Frequenzgänge des Marshall VS65R und dessen Emulation bei einem Generator-Output von 100 mVrms. Es lassen sich auch hier Parallelen zu den bisher ausgewerteten Amp-Modellen ableiten. Erneut sind die tiefen Frequenzen schwächer abgebildet. Ab etwa 800 Hz stellt der Kemper Profiling Amp den Anstieg – der beim Marshall-Amp erst ab etwa 1 kHz beginnt – verfrüht dar, ehe er danach ab 2 kHz den Frequenzverlauf des Marshall VS65R „gemittelt“ nachfährt.

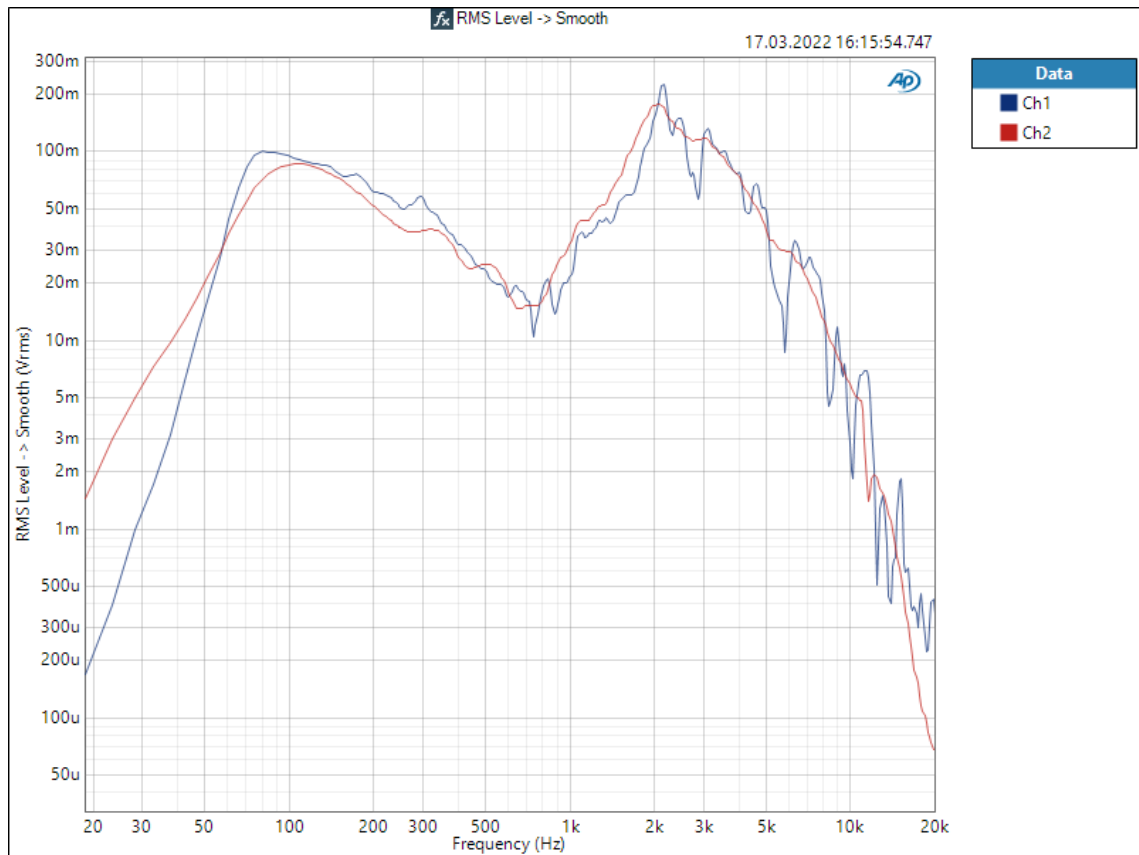


Abbildung 28: Darstellung des Frequenzgangs (RMS Level) vom Marshall VS65R (blau) und dessen Kemper-Emulation (rot). Gezeigt wird die effektive Signalstärke (Vrms) in Abhängigkeit von der Frequenz (Hz). Ausgegeben wurde das Messsignal mit 100 mVrms, der Messbereich liegt zwischen 20 und 20.000 Hz.

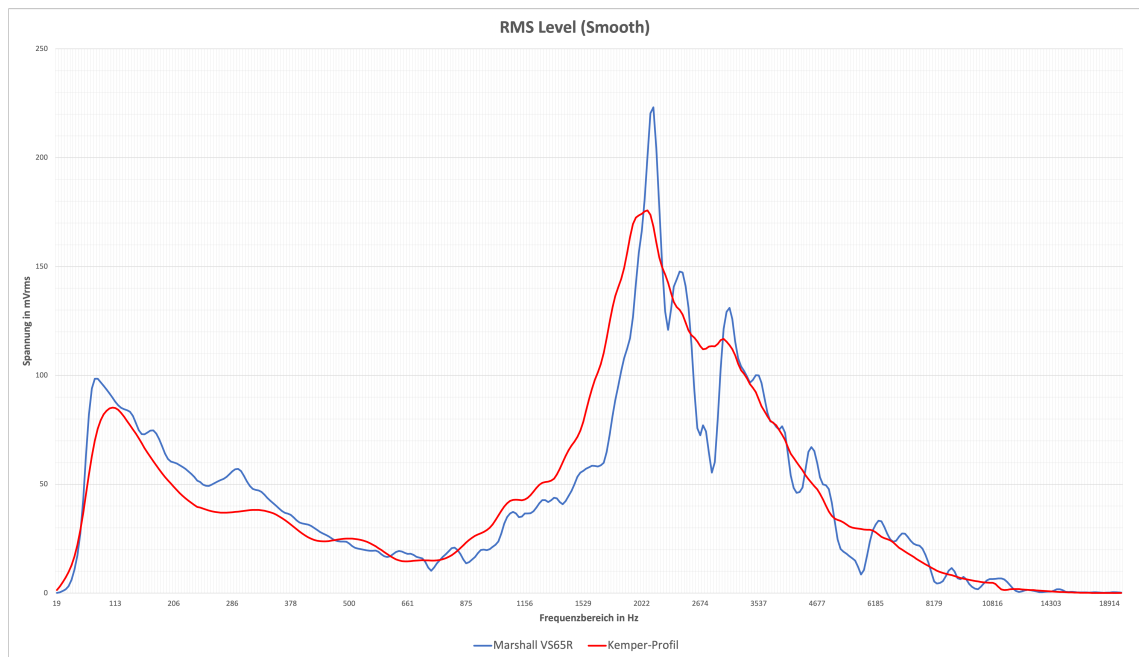


Abbildung 29: Frequenzverlauf des Marshall VS65R (blau) und des entsprechenden Kemper-Profiles (rot) im Bereich von 20 - 20.000 Hz bei einem Generator-Output von 100 mVrms.

Abbildung 29 zeigt noch einmal den Frequenzgang in einem linear dimensionierten Diagramm. Wie bereits beim verzerrten Sound des Bugera V55 Infinium in Abbildung 19, zeigen sich hier die Messwerte in einer neuen Perspektive. Deutlich zu sehen bleibt die weniger starke Nachbildung der tiefen Frequenzen und der vorzeitige Anstieg der Spitze bei 2 kHz. Durch die verbreiterte Darstellung der hohen Frequenzen fällt in diesem Diagramm besonders auf, wie der Kemper Profiler sowohl positive als auch negative Spitzen im Frequenzverlauf des Marshall VS65R kaum wiedergibt. Der Verlauf des Kemper-Frequenzgangs kann hier vorsichtig als „Idealkurve“ bzw. als Annäherung daran bezeichnet werden. Außerdem verläuft hier die Kurve des Kemper-Profiles in den höheren Frequenzen gleichmäßig zum Originalverstärker gegen 0.

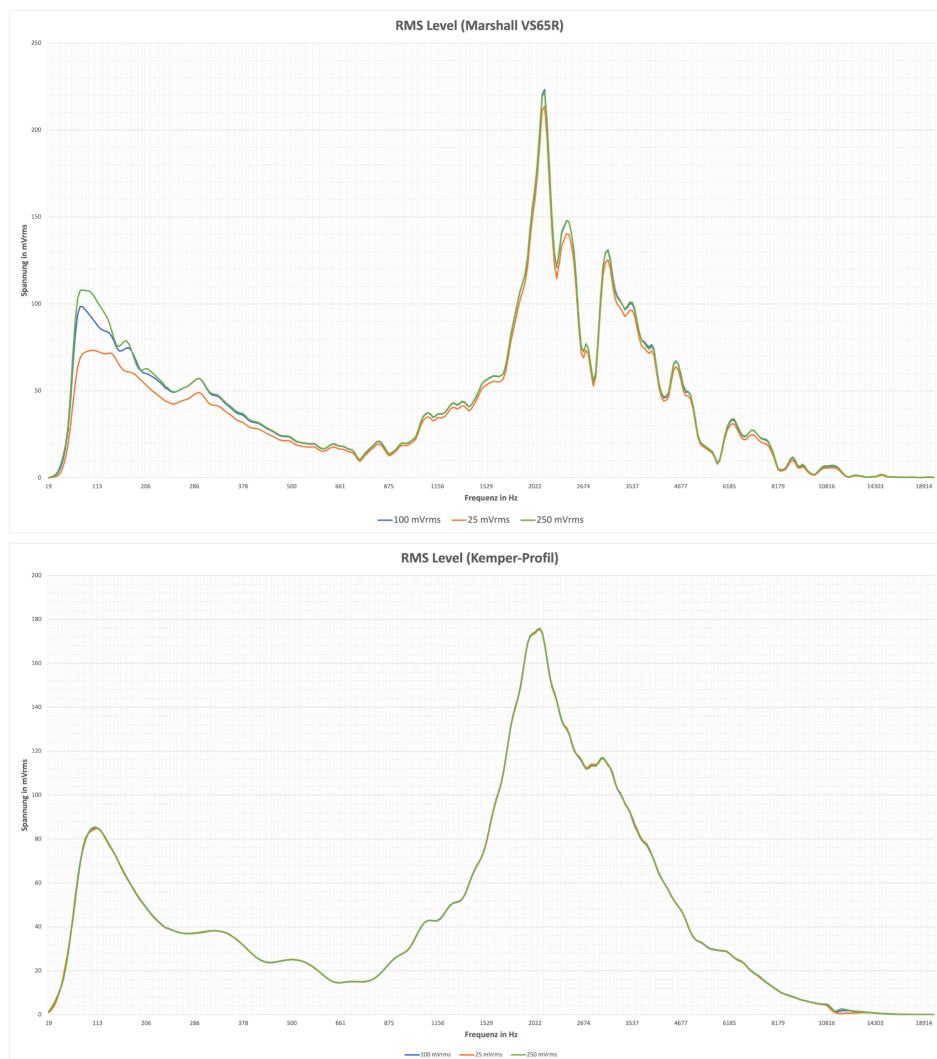


Abbildung 30: Vergleich der Frequenzgangmessungen mit einem Generator-Output von 25 (orange), 100 (blau) und 250 (grün) mVrms. Im oberen Diagramm sind die Messergebnisse des Marshall VS65R abgebildet, im unteren Diagramm die der entsprechenden Emulationen des Kemper Profiling Amps.

Interessant beim Betrachten der Messungen mit 25 und 250 mVrms ist, dass die Kurvenverhältnisse im Hinblick auf die bei 80 bis 90 Hz auftretende Spitze des Marshall

VS65R (etwa 100 mVrms) unterschiedlich ausgeprägt sind. So ist die Spannung beim Marshall-Amp bei der 250-mVrms-Messung an der betroffenen Stelle höher (etwa 110 bis 120 mVrms), bei 25 mVrms geringer (etwa 75 mVrms). Beim Kemper-Profil bleibt bei allen drei Messungen der Wert in diesem Frequenzbereich stetig bei 70 bis 80 mVrms, er verändert sich also nicht mit. Darum soll zum Abschluss in Abbildung 30 der Vergleich der einzelnen Amp-Messungen erfolgen. Das beschriebene Phänomen bei den Messungen am Marshall VS65R ist eindeutig zu sehen. Es ist insbesondere deshalb auffällig, weil sich der weitere Verlauf der drei Kurven nahezu überschneidet. Noch viel mehr ins Auge fällt aber der Verlauf der drei Kurven der Kemper-Profile. Hier kann wirklich von drei identischen Kurven die Rede sein, nur kurz oberhalb von 10 kHz sieht man sehr leichte Abweichungen.

Die Differenzbeträge der Abweichung (Deviation) liegen bei 6 dB (100 mVrms), 7,5 dB (250 mVrms) und 3 dB (25 mVrms), womit sich noch einmal das Frequenzverhalten bestätigt.

Tabelle 9: Vergleich verschiedener Messwerte der Messungen "THD+N", "SINAD", "SNR" und "Interchannel Phase" zwischen dem Marshall VS65R und dessen Emulation.

| Messwert | Marshall VS65R | Kemper-Profil |
|-----------------------|--------------------|--------------------|
| THD+N Ratio | 90,355 % | 77,053 % |
| THD+N Level | 46,000 mVrms | 39,140 mVrms |
| THD Ratio | 90,342 % | 76,976 % |
| THD Level | 45,970 mVrms | 39,140 mVrms |
| Noise Ratio | 0,214 % | 0,586 % |
| Noise Level | 108,800 μ Vrms | 298,000 μ Vrms |
| SINAD | 3,047 dB | 1,531 dB |
| Signal to Noise Ratio | 27,890 dB | 29,987 dB |
| Interchannel Phase | - | +105,047 ° |

Auch in Tabelle 9 setzt sich der Trend der vorherigen Vergleiche zwischen Originalverstärker und Emulation zu den harmonischen Gesamtverzerrungen und den Rauschanteilen fort. Der Kemper Profiling Amp besitzt stark abweichende Werte. Die SINAD-Messung ergab bei ihm zudem einen schlechteren Wert der Übertragungsqualität und es wurde eine Phasenverschiebung von +105,047 ° bei 1 kHz gemessen. Der Signal-Rausch-Abstand beträgt erstaunlicherweise trotz der unterschiedlichen Gesamtverzerrung rund 28 dB beim Marshall-Verstärker und 30 dB bei dessen Nachbild. Solch ein geringer Abstand war bislang selbst beim cleanen Sound des Bugera V55 Infinium nicht zu verzeichnen.

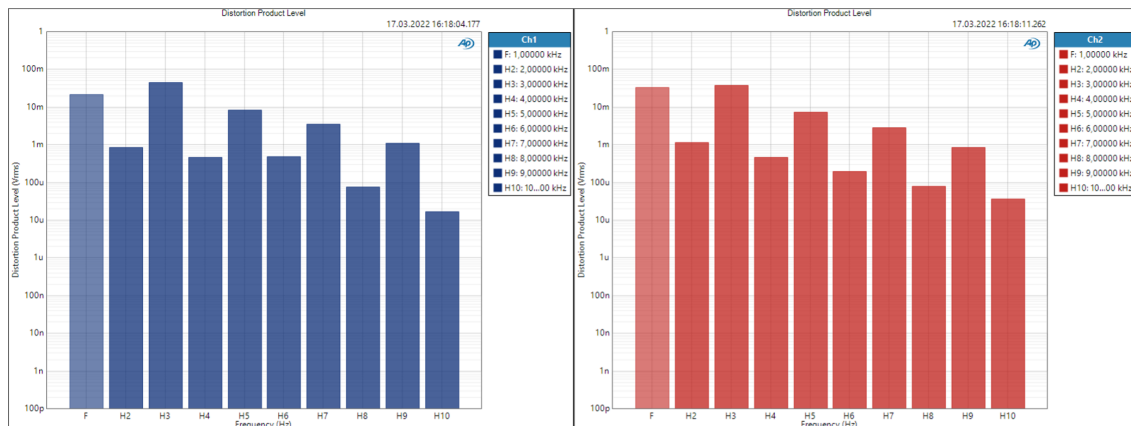


Abbildung 31: Vergleich der harmonischen Obertöne des Marshall VS65R (blau) und dessen entsprechendem Kemper-Profil (rot). Gemessen wurden die Obertöne der Grundfrequenz 1 kHz bei einem Generator-Output von 100 mVrms.

Aus den beiden Säulendiagrammen aus Abbildung 31 zeigt sich, dass der Kemper Profiler die vielfachen Harmonischen der Grundfrequenz 1 kHz ziemlich gut nachbildet. Problematisch ist allerdings der Pegel der Grundfrequenz. Diese wurde beim Marshall VS65R mit 21,820 mVrms gemessen, beim Kemper mit 32,460 mVrms, also viel stärker. Andererseits beträgt die 3. Harmonische beim Marshall-Verstärker 45,020 mVrms und bei der Emulation nur 38,320 mVrms. Diese Messwerte stellen die einzigen Ausreißer größeren Ausmaßes dar.

Die Messung der Impulsantwort bei diesem Amp-Modell und seiner Emulation gibt ähnliche Ergebnisse wie bei den vorherigen Verstärkern aus. Die Impulsantwort des Kemper Profiling Amps wurde um 5ms versetzt und mit etwas höherer Amplitude (etwa 8 dB auf der positiven y-Achse und 2 dB auf der negativen) dargestellt. Sie schwingt auch hier in Verhältnis zu der des Originalverstärkers schnell aus.

4.1.4 Marshall AVT 150H

Mit dem Marshall AVT 150H wurden ein verzerrter Sound, sowie die Acoustic Simulation geprofiled und vermessen. Die Ergebnisse der Pegelmessungen sind in Tabelle 10 und 11 zu sehen.

Tabelle 10: Vergleich der Messwerte "RMS Level", "Gain", "Peak Level", "White Noise (RMS)" und "Pink Noise (RMS)" zwischen dem Marshall AVT 150H (verzerrt) und dem entsprechendem Kemper-Nachbild.

| Messwert | Marshall AVT 150H (verzerrt) | Kemper-Profil |
|-----------|------------------------------|---------------|
| RMS Level | 13,930 mVrms | 13,890 mVrms |
| Gain | -17,119 dB | -17,147 dB |

| | | |
|-------------------|--------------|--------------|
| Peak Level | 28,210 mV | 27,840 mV |
| White Noise (RMS) | 14,290 mVrms | 19,460 mVrms |
| Pink Noise (RMS) | 22,310 mVrms | 24,040 mVrms |

Tabelle 11: Vergleich der Messwerte "RMS Level", "Gain", "Peak Level", "White Noise (RMS)" und "Pink Noise (RMS)" zwischen dem Marshall AVT 150H (Acoustic Simulator) und dem entsprechendem Kemper-Nachbild.

| Messwert | Marshall AVT 150H (Acoustic Simulator) | Kemper-Profil |
|-------------------|---|---------------|
| RMS Level | 1,927 mVrms | 1,957 mVrms |
| Gain | -34,303 dB | -34,166 dB |
| Peak Level | 2,799mV | 2,935 mV |
| White Noise (RMS) | 4,172 mVrms | 2,112 mVrms |
| Pink Noise (RMS) | 2,079 mVrms | 2,234 mVrms |

Zu sehen ist in beiden Tabellen, dass die Messungen des RMS Levels, Gains und Peak Levels nahezu identisch sind, während bei den Messungen mit den beiden Rauschsignalen größere Unterschiede in den Messergebnissen bestehen. Beim verzerrten Sound werden sowohl Weißes als auch Rosa Rauschen vom Kemper-Profil stärker wiedergegeben. Beim Nachbild der Acoustic Simulation wurde das Weiße Rauschen in etwa nur halb so stark wiedergegeben wie beim Original. Die Messwerte des Rosa Rauschens sind hingegen wieder ähnlich.

In Abbildung 32 werden die Frequenzgänge von den Sounds des Marshall AVT 150H und seinen Emulationen dargestellt. Dabei sollen diesmal die Verläufe der RMS Level bei Zufuhr von 25 mVrms und 250 mVrms verglichen werden. Ähnlich wie beim Bugera V55 Infinium zeigt sich hier, dass der Kemper cleane Sounds weniger gut nachbilden kann als verzerrte. Im Bereich von 1 bis 5 kHz bildet der Kemper Profiling Amp beim Profil des Acoustic Simulators die Frequenzen viel stärker ab als dies beim Original geschieht. Auch die beim Originalverstärker knapp unterhalb von 150 Hz auftretende ausgeprägte Spitze stellt der Kemper Profiler nur mangelhaft nach. An entsprechender Stelle bestehen deutliche Differenzen (beim 25-mVrms-Diagramm etwa 3 mVrms, beim 250-mVrms-Diagramm sogar 30 mVrms). Stattdessen bildet der Kemper Profiling Amp den Bereich von 150 bis 250 Hz hier im Vergleich zur originalen Vorlage verstärkt ab. Auch den Bereich unterhalb von 100 Hz betont er zu stark. Im 250-mVrms-Diagramm liegt der Kemper hier z.B. bei 70 Hz noch fast 15 mVrms über dem Marshall AVT 150H. Im gleichen Diagramm fällt im Übrigen ein weiteres großes Manko auf: Oberhalb von 5 kHz besitzt der Kemper eine dermaßen starke Abweichung, wie sie bislang in allen anderen Profilen nicht festgestellt wurde. Er liegt bspw. bei einer Frequenz von 10 kHz bei

30 mVrms während der Marshall-Verstärker schon bei nur 3 mVrms ist. Erstaunlich ist auch wieder, wie empfindlich die Verstärker bei dem cleanen Sound der Acoustic Simulation auf die verschiedenen Messpegel reagieren. Während beim Marshall-Amp bei 25 mVrms eine Spitze von 10 mVrms bei 5 kHz zu verzeichnen ist, liegt diese bei 250 mVrms bei etwa 75 mVrms.

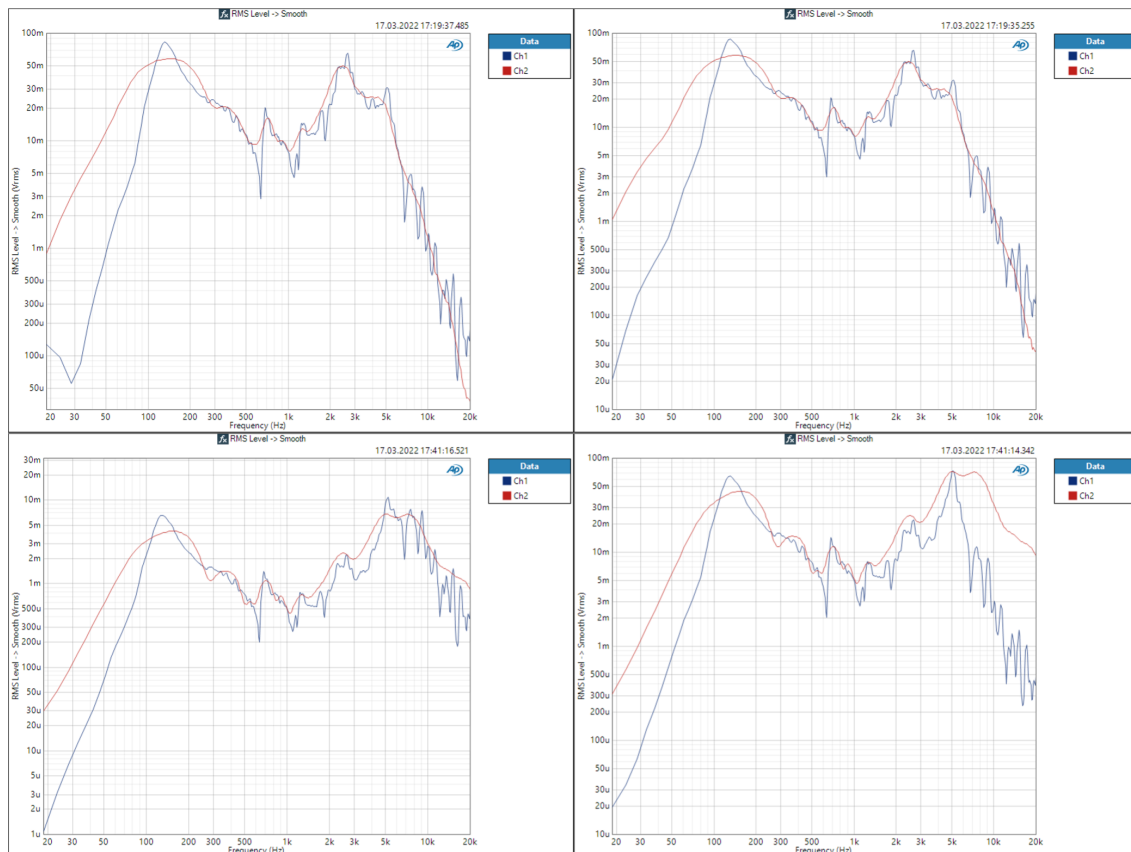


Abbildung 32: Vergleich der Frequenzgänge (RMS Level) der beiden Sounds des Marshall AVT 150H (blau) und deren Kemper-Nachbild (rot). Zu sehen sind die Frequenzgänge des verzerrten Sounds bei einem Generator-Output von 25 mVrms (oben links) und 250 mVrms (oben rechts), sowie der Verlauf der Frequenzgänge des Acoustic Simulator bei 25 mVrms (unten links) und bei 250 mVrms (unten rechts).

Zu den Frequenzverläufen des verzerrten Sounds lässt sich sagen, dass dieser zunächst akkurater vom Kemper Profiler emuliert wurde. Im Bereich von etwa 300 bis 7000 Hz bildet er den Originalverlauf des Marshall AVT 150H ziemlich präzise nach, auch wenn bei diesem Sound ähnlich wie bei der Acoustic Simulation der Bereich zwischen 1 und 5 kHz überhöht dargestellt wird. Die ab 7 kHz auftretenden Spitzen im Frequenzgang des Original-Verstärkers spiegelt der Kemper Profiling Amp nicht wider, er durchfährt dieses Frequenzspektrum eher gemittelt. Das bereits angesprochene Phänomen in Bezug auf das Frequenzverhalten bei 150 Hz zeigt sich auch beim verzerrten Sound, ebenso wie die stark überhöhte Wiedergabe der Frequenzen unterhalb von 100 Hz. Während bspw. bei 50 Hz bei beiden Messungen am Original-Amp ein Wert von unter 1

mVrms gemessen wurde, so besitzt an gleicher Stelle das Kemper-Profil Messwerte von etwas über 10 mVrms.

Tabelle 12: Vergleich verschiedener Messwerte der Messungen "THD+N", "SINAD", "SNR" und "Interchannel Phase" zwischen dem Marshall AVT 150H (verzerrt) und dessen Emulation.

| Messwert | Marshall AVT 150H (verzerrt) | Kemper-Profil |
|-----------------------|------------------------------|-------------------|
| THD+N Ratio | 83,838 % | 81,057 % |
| THD+N Level | 11,670 mVrms | 11,250 mVrms |
| THD Ratio | 84,035 % | 80,982 % |
| THD Level | 11,630 mVrms | 11,250 mVrms |
| Noise Ratio | 0,427 % | 0,450 % |
| Noise Level | 59,070 μ Vrms | 62,580 μ Vrms |
| SINAD | 6,077 dB | 6,290 dB |
| Signal to Noise Ratio | 22,243 dB | 45,888 dB |
| Interchannel Phase | - | +29,865 ° |

Nachdem bei vorherigen Vergleichen zwischen Original und Emulation teils größere Differenzen bei den Ergebnissen der THD+N-Messungen auftraten, verhalten sich die Ergebnisse der Messungen aus diesen beim verzerrten Sound des Marshall AVT 150H nahezu kongruent, wie in Tabelle 12 zu sehen ist. Die 84,035 % THD Ratio weisen in Bezug auf die THD+N Ratio von 83,838 % hier sehr offensichtlich auf Messungenauigkeiten hin, die natürlich auch bei allen vorherigen Messungen in gewisser Weise auftraten. Nennenswerte Unterschiede bestehen nur im Signal-Rausch-Abstand, der bei der Emulation etwa 24 dB höher ist, und beim Interkanalphasenverhältnis.

Auch die Werte aus Tabelle 13 sind noch recht ähnlich. Wie zu erwarten war, besitzt der Sound des Acoustic Simulators einen sehr geringen Klirrfaktor. Auffällig ist hier besonders, dass der Originalverstärker die höhere Signal to Noise Ratio besitzt. Mit +61,312 ° ist die Phasenverschiebung beim Profil der Acoustic Simulation um einiges höher als beim Profil des verzerrten Sounds.

Tabelle 13: Vergleich verschiedener Messwerte der Messungen "THD+N", "SINAD", "SNR" und "Interchannel Phase" zwischen dem Marshall AVT 150H (Acoustic Simulator) und dessen Emulation.

| Messwert | Marshall AVT 150H (Acoustic Simulator) | Kemper-Profil |
|-------------|--|-------------------|
| THD+N Ratio | 1,289 % | 1,043 % |
| THD+N Level | 24,730 μ Vrms | 20,410 μ Vrms |
| THD Ratio | 0,866 % | 0,172 % |

| | | |
|-----------------------|-------------------|-------------------|
| THD Level | 16,630 μ Vrms | 3,368 μ Vrms |
| Noise Ratio | 0,941 % | 1,024 % |
| Noise Level | 18,070 μ Vrms | 20,050 μ Vrms |
| SINAD | 45,832 dB | 48,532 dB |
| Signal to Noise Ratio | 42,420 dB | 38,524 dB |
| Interchannel Phase | - | +61,312 ° |

Bei Betrachtung der vielfachen Harmonischen von 1 kHz in Abbildung 33, zeigt sich, dass, wie bereits oft angesprochen, der Kemper Profiler im Verhältnis die ungeradzahli- gen Obertöne von den geradzahli- gen stärker absetzt. Bei beiden Messungen wurde in etwa der gleiche Betrag der Grundfrequenz gemessen. Auch das Messpaar zur 3. Har- monischen ist sehr ähnlich, bei der 5. Harmonischen besteht bereits eine Differenz von über 2 mVrms zwischen beiden Messwerten. Ungenau erfolgt hier die Abbildung der geradzahli- gen Obertöne, da diese deutlich schwächer als beim Original wiedergegeben wurden.

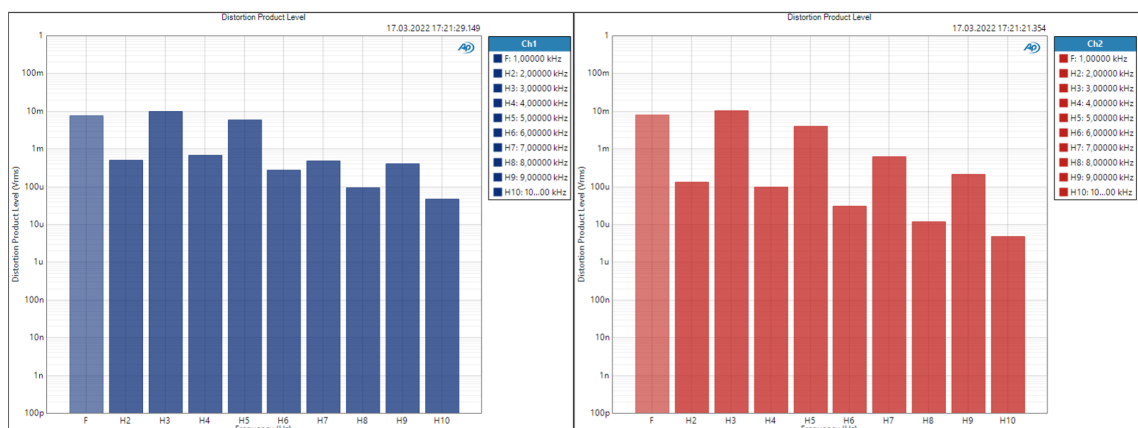


Abbildung 33: Vergleich der harmonischen Obertöne des verzerrten Sounds des Marshall AVT 150H (blau) und dessen entsprechendem Kemper-Profil (rot). Gemessen wurden die Obertöne der Grundfrequenz 1 kHz bei einem Generator-Output von 100 mVrms.

Interessant ist die Darstellung der Obertöne beim Profil des Acoustic Simulators in Ab- bildung 34, da sich hier Analogien zum Clean-Sound des Bugera V55 Infinium in Abbil- dung 21 zeigen. Die Grundfrequenz wurde in beiden Fällen identisch ermittelt, alle anderen Messwerte haben nichts mehr miteinander zu tun. So liegt bspw. die 3. Har- monische beim Acoustic Simulator des Marshall AVT 150H bei 15,970 μ Vrms, deren Abbil- dung erfolgt beim Kemper-Profil jedoch nur mit 1,142 μ Vrms. Auch der ausgeprägte 5. Oberton wurde in der Emulation nicht berücksichtigt. Darüber hinaus wurden aber alle Obertöne vom Kemper Profiling Amp stärker abgebildet, als es beim Original-Verstärker geschieht. Insgesamt war der Kemper-Amp bei diesen Messungen sehr ungenau.

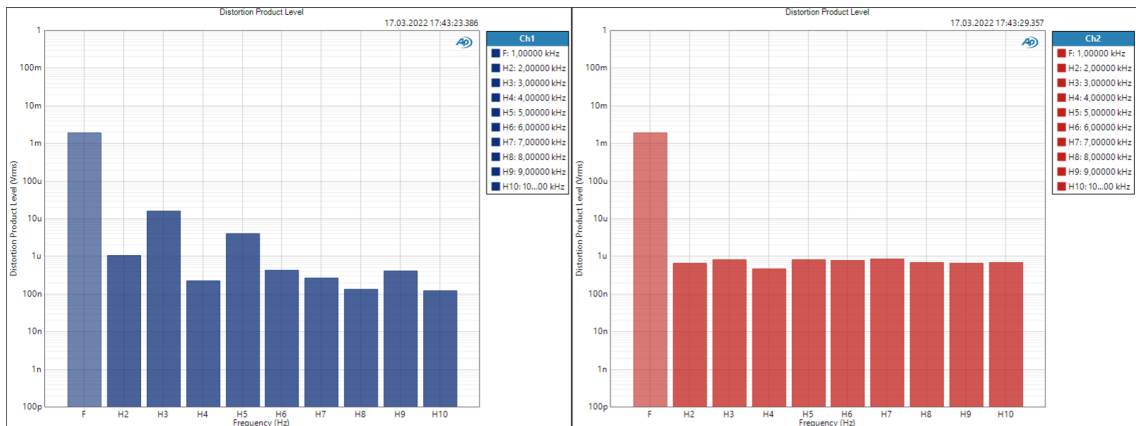


Abbildung 34: Vergleich der harmonischen Obertöne des verzerrten Sounds des Marshall AVT 150H (blau) und dessen entsprechendem Kemper-Profil (rot). Gemessen wurden die Obertöne der Grundfrequenz 1 kHz bei einem Generator-Output von 100 mVrms.

Wie sehr der Kemper Profiler bei cleanen Sounds vom Original abweicht, lässt sich auch in Abbildung 35 erkennen. Während er beim Nachbilden der Gesamtverzerrung beim verzerrten Sound hauptsächlich im Bereich unterhalb von 300 Hz und oberhalb von 3,5 kHz stärker abweicht, ist beim cleanen Sound der Acoustic Simulation keine klare Linie zu erkennen. Es kann getrost behauptet werden, dass in diesem Kurvenverlauf nichts stimmig ist.

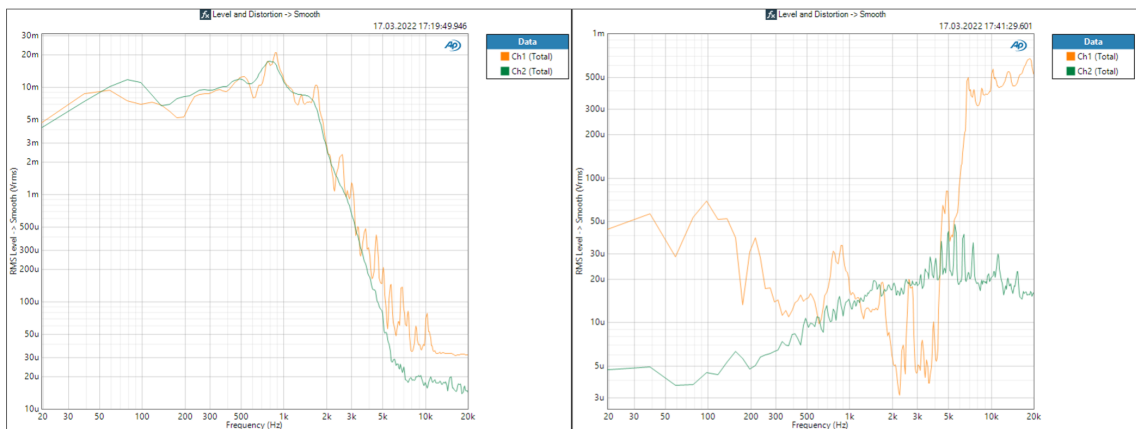


Abbildung 35: Vergleich des Pegelverlaufs der Gesamtverzerrung bei Marshall AVT 150H (gelb) und dem entsprechendem Kemper-Profil (grün). Im linken Diagramm ist der verzerrte Sound, im rechten der Sound des Acoustic Simulators dargestellt. Gemessen wurde ein Frequenzbereich von 20 – 20.000 Hz bei einem Generator-Output von 100 mVrms.

Die Impulsantworten fallen bei den beiden Sounds des Marshall-Verstärkers und deren Emulationen auch sehr unterschiedlich aus (s. Abbildung 36). Beim Profil des verzerrten Sounds ist abgesehen vom zeitlichen Versatz von 5 ms nur eine etwas stärkere Amplitude auf der positiven y-Achse (ca. 2 mVrms) und eine schwächere auf der negativen y-Achse (ca. 1 mVrms) zu vermerken. Das Ausschwingverhalten beider Impulse ähnelt sich im Großen und Ganzen. Die Impulsantwort des Kemper-Profiles des Acoustic

Simulators fällt auf positiver und negativer y-Achse um 10 mVrms stärker aus. Zudem ist der Impuls binnen 1 ms verklungen. Beim Originalverstärker benötigt er knapp 3 ms dazu.

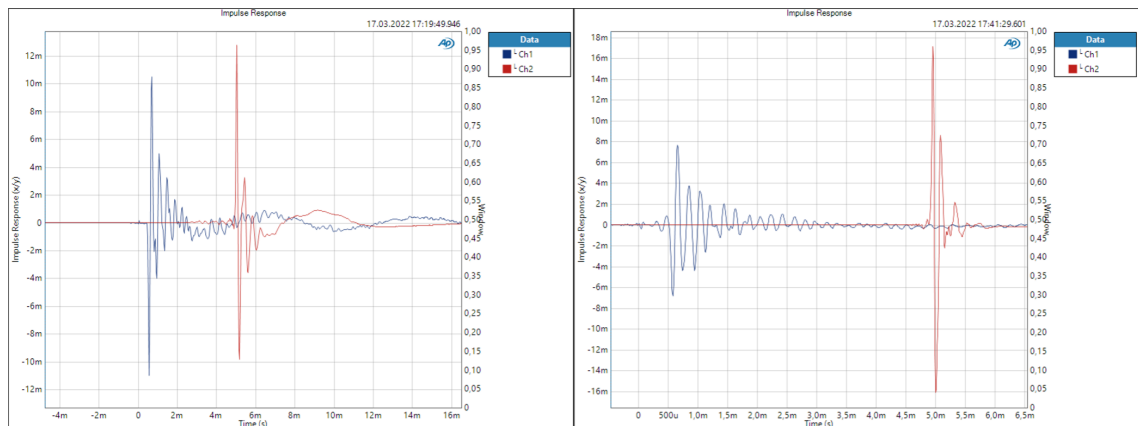


Abbildung 36: Vergleich der Impulsantworten von Marshall AVT 150H (blau) und entsprechendem Kemper-Nachbild (rot). Im linken Diagramm sind die Messungen des verzernten Sounds dargestellt, im rechten die des Acoustic Simulators. Durchgeführt wurden die Impulsmessungen mit einem Generator-Output von 100 mVrms.

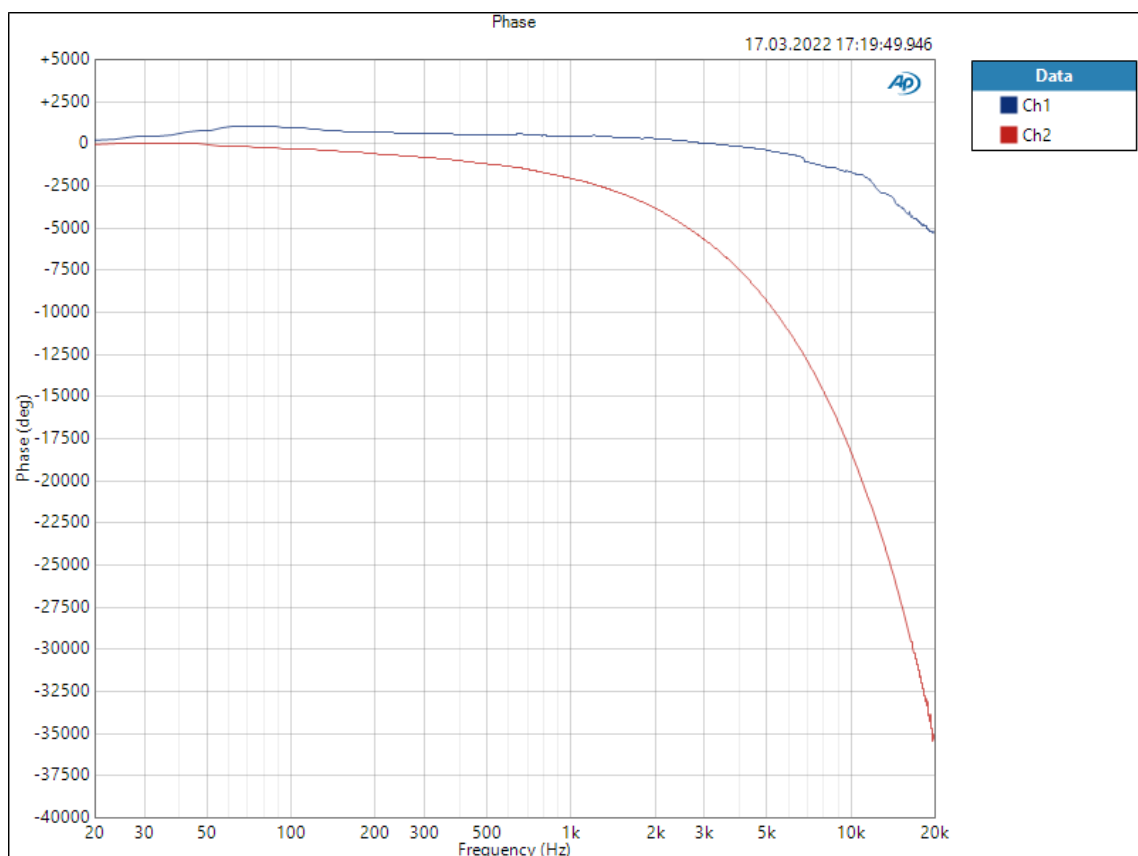


Abbildung 37: Phasenverlauf des Kemper-Profiles (rot) im Verhältnis zum verzernten Sound des Marshall AVT 150H (blau). Dargestellt wird die Phasenabweichung in ° im Messbereich von 20 - 20.000 Hz.

Zu guter Letzt soll hier noch exemplarisch für alle Messungen an den Amps auf die Messung der Phase über den gesamten Frequenzbereich eingegangen werden. Wie in Abbildung 37 zu sehen ist, bewegt sich die Phase mit zunehmender Frequenz immer mehr vom Referenzwert (0°) des Signals beim Original-Amp weg. Dabei erfolgt der Verlauf dieser Abweichungskurve nicht linear, sondern vielmehr exponentiell fallend. Auch die Referenzwerte weichen mit zunehmender Frequenz vom Soll-Wert, welcher im Idealfall 0 ist, ab. Die höchste Abweichung der Referenzkurve beträgt knapp 5.000° , der Maximalwert der Kurve des Kemper-Profiles ist bei etwa 42.000° zu verzeichnen. Diese Phasenverschiebung ist recht hoch, allerdings kann ihr exponentieller Verlauf auch erklärt werden. Die Wellenlänge eines Signals berechnet sich aus Schallgeschwindigkeit dividiert durch die Frequenz des Signals. Angenommen im Medium Luft (343 m/s Schallgeschwindigkeit) würden sich Schall mit 100 Hz ausbreiten, so betrüge seine Wellenlänge 3,43 m. Bei einer Frequenz von 1.000 Hz wären es 34,3 cm und bei 10.000 Hz nur noch 3,43 cm. Da höhere Frequenzen also deutlich geringere Wellenlängen haben, wirkt sich hier ein zeitlicher Versatz auch stärker auf die Phasenverschiebung aus.

Die sich in den Phasendiagrammen abzeichnende Abweichung ist jedoch sehr wahrscheinlich nicht direkt auf Ungenauigkeiten des Kemper Profiling Amps zurückzuführen, sondern auf die Latenz, also den zeitlichen Versatz zwischen beiden Messschleifen. Wie in den Abbildungen der Impulsantworten zu sehen ist, wurden diese vom Kemper-Profil um 5 ms versetzt vom APx515B aufgezeichnet. Auf die Messung der Phase bezogen bedeutet dies, dass natürlich auch hier die Signale um 5 ms versetzt sind. Folgende beispielhafte Rechnung für den in Abbildung 37 zu sehenden Phasenversatz von ca. 18.000° bei 10 kHz soll den Sachverhalt nochmals verdeutlichen: Eine Latenz von 5 ms bedeutet, dass die 10-kHz-Sinusschwingung vom Kemper-Profil um 50 Periodendauern versetzt ankommt (10 kHz = 10.000 Periodendauern pro Sekunde; $5/1000$ von 10.000 sind 50). Eine Verschiebung um eine Periodendauer bedeutet 360° Phasendifferenz, ergo ergeben die 50 Periodendauern multipliziert mit 360° die 18.000° Differenz, wie sie im Diagramm abzulesen sind. Da z.B. bei 20 kHz die Differenz 36.000° und bei 5 kHz etwa 9.000° beträgt, ist diese Theorie schlüssig. Dies bedeutet aber auch, dass aus den Diagrammen zur Phasenmessung in dieser Hinsicht keine Schlüsse zur Qualität des Kemper Profiling Amps gezogen werden können.

Bei einigen Amps und deren Emulation traten jedoch auch einige Besonderheiten auf. So treten bspw. bei den Phasenmessungen mit einem Generator-Output von 25 mVrms beim Profil des Bugera 6262 und des Bugera V55 Infinium (verzerrt) größere Sprünge bzw. Zacken im Kurvenverlauf auf. Es könnte sich hierbei tatsächlich um größere Abweichungen des Kemper Profiling Amps oder aber (eher unwahrscheinlich) um Messfehler und -ungenauigkeiten des APx515B handeln. Bei den beiden Marshall-Amps verläuft zudem jeweils die Referenzkurve zum Teil oberhalb von 0° , also im positiven Bereich der y-Achse.

4.2 Qualität der vom Kemper Profiling Amp erstellten Profile

Was lässt sich nun als Fazit zur Qualität des Kemper Profiling Amps nach dieser Analyse und Auswertung sagen? Zunächst gilt es festzuhalten, dass für die folgenden Aussagen ausschließlich Bezug auf die Messungen mit dem APx515B genommen wird. Ein individueller subjektiver Vergleich wurde nicht durchgeführt, da dieser weniger aussagekräftig als der Vergleich reiner Messergebnisse ist. Die einzige persönliche Einschätzung ist, dass während des Profilings die über den Genelec-Monitorlautsprecher abgehörten Profile schon äußerst ähnlich klangen.

In Hinblick auf die Pegelmessungen, sprich RMS Level, Gain, Peak Level, White Noise und Pink Noise, verhalten sich alle aufgeführten Messergebnisse der sechs Kemper-Profile ähnlich zu denen ihrer Originalvorlagen. Das mag unter anderem auch daran liegen, dass zu Beginn der Messungen jeweils der Output des Direct Out mittels eines 100-mVrms-starken 1-kHz-Sinustons an den vom SM57 aufgenommenen Pegel angeglichen wurde (s. Kapitel 3.3). Insofern wären hier schon stärkere Schwankungen des Pegels ein Zeichen für eine geringe Qualität. Bei den Messungen mit Weißem und Rosa Rauschen gab es allerdings bei einigen Profilen Abweichungen, wie z.B. bei den beiden Verstärkern der Firma Marshall. Woran das liegen könnte, also etwa an unterschiedlichen Frequenzgängen, besonders im Hinblick auf die Zone zwischen Ende des Aufnahmebereichs des Mikrofons und dem Ende des Messbereiches (als von 20 bis 40 und 15.000 bis 20.000 Hz), kann an diesem Punkt noch nicht geschlussfolgert bzw. deduziert werden.

Eine der wichtigsten Messungen ist die Messung des Frequenzgangs. Anhand der Verläufe von Original und Emulation lässt sich gut aussagen, wie akkurat der Kemper Profiling Amp jeweils das Profil erstellt hat. Bei Betrachtung der jeweils 18 verschiedenen Diagramme zu RMS Level, Gain und Relative Level (stets drei Messungen mit unterschiedlichen Messsignalstärken an sechs unterschiedlichen Sounds) lässt sich gut erkennen, dass der Kemper Profiler meist verhältnismäßig nahe am Verlauf des Original-Amps blieb. Zu berücksichtigen gilt, dass die von der APx500-Software ausgegebene logarithmische Darstellung im Koordinatensystem sowohl ihre Vor- als auch Nachteile hat. Sie bietet eine gute Übersicht über den Kurvenverlauf innerhalb des Messbereiches und betont dabei die relevanten Bereiche. Andererseits bieten Diagramme mit linearer Achsendimensionierung neue Blickwinkel auf die Messwerte und ermöglichen eine bessere Einschätzung. So sind die zunächst oftmals auftretenden Abweichungen unterhalb von 100 Hz meist gar nicht allzu groß, während kleinere Unstimmigkeiten in den höheren Frequenzen viel deutlicher zutage treten. Abbildung 30 soll hier nochmals als Beispiel herangezogen werden. Beim Vergleichen der Frequenzgänge des Originals und des

Kemper-Profils zeigt sich, wie gut der Kemper Profiling Amp in diesem Fall den Marshall VS65R „nachgezeichnet“ hat. Zugleich zeigen sich aber auch einige Punkte, an denen der Kemper noch deutlich Verbesserungsbedarf hat: Zum einen sind dies die Frequenzen unterhalb von 250 Hz, in denen der Kemper Profiling Amp die starken Abweichungen bei unterschiedlichen Messsignalstärken nicht berücksichtigt hat, zum anderen ist die Wiedergabe des „spitzzackigen“ Verlaufs oberhalb von 3 bis 5 kHz problematisch. Abbildung 30 beweist bspw., dass bei allen drei Messsignalstärken der Marshall VS65R einen sehr ähnlichen Verlauf in den höheren Frequenzen besitzt, diese Spitzen im Frequenzgang also keine kurzzeitigen Ausreißer oder Messungenauigkeiten sind. Der Kemper Profiling Amp gibt diese Spitzen oft nicht wieder, vielmehr gleicht sein Kurvenverlauf beim Durchfahren dieser Frequenzen einer stark geglätteten Nachbildung des Originals. Fraglich ist jedoch an diesem Punkt, wie genau das menschliche Gehör hier noch Unterschiede feststellen kann. Grundsätzlich lässt sich abschließend zum Thema Frequenzgang sagen, dass der Kemper Profiling Amp die vier verzerrten Sounds akkurater als die beiden cleanen darstellen konnte.

Die Genauigkeit der Messergebnisse zu THD+N, sowie SNR und Phase reicht von stark abweichend bis nahezu identisch. Aus ihnen lässt sich keine einheitliche Beurteilung zur Qualität des Kemper Profiling Amps ableiten. An dieser Stelle ergibt es Sinn genauere und tiefer gehende Messungen durchzuführen. Dennoch lässt sich festhalten, dass die Verzerrungen bei den cleanen Profilen sehr gering sind, und somit zumindest bestätigt wird, dass der Kemper Profiling Amp nicht grundsätzlich falsch in der Nachbildung von cleanen oder verzerrten Sounds liegt. Bei der Betrachtung der harmonischen Obertöne der Grundfrequenz 1 kHz ist zu erkennen, dass der Kemper Amp bei den cleanen Profilen die Grundfrequenz gut wiedergibt, den nachfolgenden leichten Abstieg (s. Abbildung 21 und Abbildung 34) jedoch nicht. Stattdessen rutschen die Messwerte bereits bei der 2. Harmonischen auf einen sehr geringen Pegel. Was die Obertöne der verzerrten Sounds betrifft, so erkennt der Kemper Amp zwar schon, welche Obertöne es wie zu betonen gilt, allerdings ist deutlich abzulesen, dass er im Gesamtverhältnis eine größere Differenz zwischen geradzahligen und ungeradzahligen Harmonischen aufweist. Besonders Abbildung 22 und Abbildung 33 verdeutlichen dies. Die Darstellung der harmonischen Verzerrungen in Form von Diagrammen lässt erkennen, wo der Kemper Profiling Amp im Bereich von 20 bis 20.000 Hz die harmonischen Obertöne gut und an welchen Stellen schlecht abbildet. Abbildung 35 weist dabei beide Extreme auf: Das linke Diagramm (verzerrter Sound des Marshall AVT 150H) reicht schon nahe an das „Optimum“ heran, nämlich ein relativ gutes Abbild der Kurve des Original-Sounds mit nur wenigen Abweichungen, das rechte Diagramm (Acoustic Simulator des Marshall AVT 150H) hingegen weist darauf hin, dass der Kemper Amp gerade bei cleanen Sounds die Obertöne nur schlecht emuliert (wobei hier darauf hingewiesen werden muss, dass bei einem cleanen, also unverzerrten, Sound diese auch nur sehr geringfügig auftreten). Alle weiteren Amp-Modelle und deren Sounds bewegen sich von der Qualität der Darstellung der

Verzerrungen über den gesamten Messbereich zwischen den soeben genannten Sounds des Marshall AVT 150H. Besonders die tiefen (unterhalb von 200 Hz) und hohen (oberhalb von 5 kHz) Frequenzbereiche wurden oft ungenau wiedergegeben (z.B. beim Marshall VS65R oder dem Bugera 6262).

Auch aus den unterschiedlichen Ergebnissen der Phasenmessung bei 1 kHz oder den Diagrammen zu den Phasenverläufen von 20 bis 20.000 Hz lässt sich keine Kernaussage treffen, da – wie bereits thematisiert – sehr wahrscheinlich die Latenzzeit von 5 ms hierauf Auswirkungen hat.

Der Grund für den ebenso stark unterschiedlich ausfallenden Signal-Rausch-Abstand kann auch nicht direkt ermittelt werden. Sowohl bei den beiden Hybrid-Verstärkern als auch bei den Röhren-Amps beträgt die Differenz zwischen den Signal-to-Noise-Ratio-Messwerten in manchen Fällen nur 2 bis 6 dB, in anderen Fällen bis zu über 20 dB.

Zu den Ergebnissen der Acoustic-Response-Messungen lässt sich sagen, dass die Impulsantwort in einem Drittel der Fälle (beim Bugera 6262 und Marshall AVT 150H (verzerrt)) sehr gut, beim Marshall VS65R mit kürzerem Ausschwingverhalten und bei den restlichen Sounds nur ungenau abgebildet wurde. Abgesehen davon wurden alle Impulsantworten der Kemper Profile um ca. 5 ms versetzt dargestellt, was aber nicht an der Qualität der Emulation, sondern rein an einer Latenzdifferenz zwischen beiden Messdurchläufen liegen wird.

Anhand aller zurate gezogenen Messungen kann die Qualität des Kemper Profiling Amps letztlich dennoch als gut beurteilt werden, da er es schafft, trotz der zahlreichen Komponenten, die sich auf den Sound eines Amp-Systems auswirken, die genutzten Verstärker in vielen Punkten nahe am Original abzubilden. Bei Vergegenwärtigung der technischen Bestandteile eines Gitarrenverstärkers (s. Kapitel 2.5) ist das schon eine gute Leistung. Es treten beim Kemper Profiler weiterhin unterschiedliche, oft individuelle, also nicht für alle Profile generalisierbare, Abweichungen auf, es muss aber beim Prozess der Beurteilung der Qualität dieses Verstärkers definitiv berücksichtigt werden, dass es sich um Unterschiede handelt, die hier in Diagrammen und Tabellen glasklar ins Auge stechen, rein akustisch mit dem menschlichen Gehör aber schon längst nicht mehr erkannt und eingeschätzt werden können. Des Weiteren arbeitet das Messgerät APx515B sehr präzise und kann deshalb auch sehr geringe Abweichungen festhalten und entsprechend in der APx500-Software darstellen.

Insofern liegt die Qualität des Kemper Profiling Amps im Rahmen dessen, was im Vorfeld der Messungen erwartet wurde: nämlich, dass er gut andere Amp-Sounds von clean über crunchy bis hin zu stark verzerrten Klängen emulieren kann, bei genauerer Betrachtung mittels einer präzisen Messsoftware aber noch Ungenauigkeiten zu erkennen sind.

4.3 Ausblick für weitere Forschungen

Obwohl die genutzten Messungen etliche Ergebnisse in Form von Tabellen, „Sequence Reports“ und Diagrammen lieferten, kratzen sie nur an der Oberfläche von dem, was im Rahmen einer Analyse der Qualität des Kemper Profiling Amps möglich ist. Die Gesamtheit der Ergebnisse hat erwiesen, dass der Kemper Profiler in vielen Messungen das Original ausreichend bis gut nachbilden kann, und stellenweise sogar nahezu identisch ist. Allerdings bleiben auch einige Ungereimtheiten bestehen, etwa in Bezug auf die harmonischen Obertöne und die Gesamtverzerrung. Hier könnte ein möglicher Ansatz für weitere und tiefergehende Forschungen bzw. Messungen sein. Insgesamt wurden im Rahmen dieser Arbeit sechs verschiedene Amp-Sounds mit vier verschiedenen Modellen geprofiled und vermessen. Das ermöglichte einen breit gefächerten Blick auf die Leistungsfähigkeit des Kemper Amps. Um jedoch verstärkt dessen Qualität zu überprüfen, würde es sich bspw. anbieten, ein Modell konkret unter die Lupe zu nehmen und damit mehr als nur zwei verschiedene Sounds zu profilieren. Bei den durchgeführten Messungen wurden lediglich Studioprofile angelegt, insofern steht somit die Frage nach Direct-Amp-Profilen und in welcher Qualität diese vorliegen. Hinzu kommt, dass mit den Variablen „Raum“ und „Mikrofon“ wesentlich mehr geforscht werden kann. Wie verhält sich z.B. der Kemper Profiling Amp in einem Raum, der deutlich mehr Resonanzen besitzt als der Aufnahmeraum im Tonstudio der Hochschule Mittweida? Wie wirken sich andere Mikrofone auf die Emulationen aus? Es ist auch in Betracht zu ziehen, das Mess-Set-Up und die Messbedingungen weiter zu optimieren. Macht möglicherweise auch ein akustischer Vergleich mit einer Probanden-Gruppe parallel zu weitergehenden Messungen Sinn? Oder ein ganz anderes Thema: Wie arbeiten andere Amps ähnlicher Art, wie z.B. der Bias Head von Positive Grid? Es ist deutlich zu erkennen, dass das Thema der Qualitätskontrolle von modernen digitalen Amps in dieser Arbeit nur exemplarisch angeschnitten werden konnte und zahlreiche interessante Vertiefungsoptionen bestehen.

Literaturverzeichnis

AUDIO PRECISION: APx515 B Series audio analyzer. Installation Instructions and Specifications, 2018

AUDIO PRECISION: APx500 Measurement Software. User's Manual for all APx series audio analyzers, version 7.0.0, 2021

AUDIO PRECISION: APx515 B Series audio analyzer. Data Sheet, 2021

DICKREITER Michael, DITTEL Volker, HOEG Wolfgang & WÖHR Martin (Hrsg.): Handbuch der Tonstudioteknik. Band 1, 8. Auflage, Berlin/Boston, Walter de Gruyter, 2014

EDERHOF Andreas: Das Mikrofonbuch. Optimaler Einsatz im Studio und auf der Bühne, 2. Auflage, München, GC Carstensen Verlag, 2006

FEDERAU Joachim: Operationsverstärker. Lehr- und Arbeitsbuch zu angewandten Grundsaltungen, 4. aktualisierte und erweiterte Auflage, Wiesbaden, Friedrich Vieweg & Sohn Verlag, 2006

GOERTZ Anselm in WEINZIERL Stefan (Hrsg.): Handbuch der Audiotechnik, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2008

HACK Philipp: Entwicklung und Realisierung eines Gitarrenverstärkers, Graz, Institut für Signalverarbeitung und Kommunikation der Technischen Universität Graz, 2012

HEINEN Gerd: AV-Medientechnik, 2. Auflage, Haan-Gruiten, Verlag Europa-Lehrmittel, Journey, Vollmer GmbH & Co. KG, 2014

VON HELMHOLTZ Hermann: Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie in der Musik, Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn Verlag, 1863

HENLE Hubert: Das Tonstudio Handbuch. Praktische Einführung in die professionelle Audiotechnik, 5. Auflage, München, GC Carstensen Verlag, 2001

KEMPER GMBH: Kemper Profiler. Grundlagen Anleitung, Kemper GmbH, 2015

KEMPER GMBH: Schnellstart. Profiler Head & Rack. Deutsch, Kemper GmbH, 2021

KEMPER GMBH: Kemper Profiler. Das große Handbuch 8.5, Kemper GmbH, 2021

-
- KUCHLING Horst: Taschenbuch der Physik, 18. Auflage, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag München Wien, 2004
- LEMME Helmuth: Gitarren-Verstärker-Sound, München, Richard Pflaum Verlag GmbH & Co. KG, 1995
- LEMME Helmuth: Elektrogitarren. Technik & Sound, überarbeitete Auflage, Aachen, Elektor-Verlag GmbH, 2006
- LINDNER Helmut, BRAUER Harry & LEHMANN Constans: Taschenbuch der Elektrotechnik und Elektronik, 9. Auflage, München, Carl Hanser Verlag, 2008
- LINE 6: AxSys 212 User Manual, Version 1.2, Fast Forward Designs, Inc., 1996
- MARSHALL AMPLIFICATION PLC: Valvestate 2000 AVT. AVT150, AVT150H & AVT275 User Manual, Milton Keynes, Marshall Amplification plc
- MARSHALL AMPLIFICATION PLC: Valvestate VS65R Combo. Handbook, Milton Keynes, Marshall Amplification plc, 1998
- MEGIGHIAN D., SAVASTANO M., SALVADOR L., FRIGO A., BOLZAN M.: Audiometric and Epidemiological Analysis of Elderly in the Veneto Region, Basel, S. Karger AG, 2000
- MUSIC TRIBE GLOBAL BRANDS LTD.: Quick Start Guide. Bugera. V55HD Infinium/V22HD Infinium. V55 Infinium/V22 Infinium, Music Tribe Global Brands Ltd., 2021
- POTCHINKOV Alexander: Simulation von Röhrenverstärkern mit SPICE. PC-Simulationen von Elektronenröhren in Audioverstärkern, 2. Auflage, Wiesbaden, Springer Vieweg, 2015
- RENNERT Ines & BUNDSCHUH Bernhard: Signale und Systeme. Einführung in die Systemtheorie, München, Carl Hanser Verlag, 2013
- SHURE INCORPORATED: SM57. Unidirectional Dynamic Microphone, Shure Incorporated, 2010
- SMYREK Volker: Tontechnik für Veranstaltungstechniker in Ausbildung und Praxis, 3. Auflage, Stuttgart, S. Hirzel Verlag, 2016
- WEICHHAUS Gerd: Röhrentechnik für Einsteiger, Norderstedt, BoD - Books on Demand, 2020

Online-Quellen

bugera-amps.com: [online] <https://www.bugera-amps.com/downloads.html> [23.04.2022]

e-gitarren.net 2021: [online] [e-gitarren.net/modelling-amps/](https://www.e-gitarren.net/modelling-amps/) [24.02.2022]

elektropraxis.vogel.de: [online] <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/die-sechs-grundlegenden-messungen-fuer-audiosignale-a-697728/> [13.03.2022]

ikmultimedia.com: [online] [ikmultimedia.com/products/ampltube5/](https://www.ikmultimedia.com/products/ampltube5/) [28.02.2022]

joesatrianiuniverse.com: [online] <https://www.joesatrianiuniverse.com/gear/ibanez-js-guitars/js600/> [11.04.2022]

kemper-amps.com: [online] [kemper-amps.com/profiler/overview](https://www.kemper-amps.com/profiler/overview) [23.03.2022]

musikhaus-korn.de: [online] <https://www.musikhaus-korn.de/de/marshall-avt-412-xb-gitarrenbox-gerade-200-watt/pd/94814> [04.04.2022]

thomann.de 27.01.2017: [online] [thomann.de/blog/de/modeling-amps-fuer-gitarre/](https://www.thomann.de/blog/de/modeling-amps-fuer-gitarre/) [24.02.2022]

tomsguitarprojects.blogspot.com: [online] <http://tomsguitarprojects.blogspot.com/2014/12/electric-guitar-output-voltage-levels.html> [25.03.2022]

Bildquellen

ABBILDUNG 1: https://www.eit.hs-karlsruhe.de/hertz/fileadmin/images/Skript_Wechselstromtechnik/Kapitel_2_4/Grafik_2_4_1_HQ.png [08.02.2022]

ABBILDUNG 2: https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/mw1_ge/kap_2/illustr/interferenz.png [09.02.2022]

ABBILDUNG 3: <https://www.sofatutor.com/physik/videos/transistor-aufbau-und-funktion> [24.04.2022]

ABBILDUNG 4: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/34/Scheme_of_metal_oxide_semiconductor_field-effect_transistor.svg/1126px-Scheme_of_metal_oxide_semiconductor_field-effect_transistor.svg.png?20060501172845 [15.02.2022]

ABBILDUNG 5: zusammengesetzt aus <https://www.lautsprechershop.de/theorie/images/b-betrieb.gif> und <https://www.lautsprechershop.de/theorie/images/ab-betrieb-gegentakt.gif> [24.04.2022]

ABBILDUNG 6: Ausschnitt aus https://shop.kempermusic.com/media/image/25/04/6d/19000000_3WFW7Q7y47eQSS.jpg [04.04.2022]

ABBILDUNG 7: <https://www.roxorstore.at/media/image/f9/db/14/kemper Rack.jpg> [04.04.2022]

ABBILDUNG 9: <https://www.production-partner.de/app/uploads/2015/03/Aufbau-eines-typischen-elektrodynamischen-Konuslautsprechers-Copyright-Gottfried-Behler.png> [22.02.2022]

ABBILDUNG 10: Screenshot vom Sequence Report zum durchgeführten Messablauf „DIREKT“ am Kemper Profiler und am Bugera V55 Infinium mit dem Shure SM57

ABBILDUNG 15: Ausschnitt aus SHURE INCORPORATED: SM57. Unidirectional Dynamic Microphone, S. 12

ABBILDUNG 18: entnommenes Material bzw. Darstellung aus APx500-Software

ABBILDUNG 21 – 28: entnommenes Material bzw. Darstellung aus APx500-Software

ABBILDUNG 31 – 37: entnommenes Material bzw. Darstellung aus APx500-Software

Bei allen nichtaufgeführten Abbildungen und Tabellen handelt es sich um selbstgestellte Darstellungen.

Anlagen

Sämtliche Anlagen befinden sich auf der beigelegten CD. Diese beinhaltet alle für diese Arbeit genutzten Messdaten in Form von Protokollen, Bildern und Tabellen. Außerdem befindet sich auf der CD ein Ordner, in dem zusätzlich alle – basierend auf den CSV-Daten der APx500-Software – selbsterstellten Diagramme zu finden sind. Leider sind bei den Messungen aus undefinierbaren Gründen vereinzelte Messdaten nicht gesichert wurden. Durch die schiere Menge an Daten, ist dies leider erst im Nachhinein in der Auswertung aufgefallen. Die fehlenden Daten sind:

- CSV-Daten (“Acoustic_Response.csv” und “Frequency_Response.csv”) zum Bugera 6262
- “Level and Distortion_Smooth_F.BMP”, “Level and Distortion_Smooth_H2.BMP” und “Level and Distortion_Smooth_total.BMP” im Ordner “25mVrms” zum Bugera V55 Infinium verzerrt
- “Relative Level (1,00000 kHz)_Smooth.BMP” im Ordner “250mVrms” zum Bugera V55 Infinium verzerrt (kann jedoch auf S. 9 des „Sequence_Report_Bugera_V55_Infinium_verzerrt.pdf“ eingesehen werden)

Im Hinblick auf die Bezeichnung der Dateien muss erklärt werden, dass Dateien, die „Smooth“ in ihrem Namen beinhalten, Kurvenverläufe geglättet darstellen. Auch zur Legende in den Diagrammen muss einiges gesagt werden. Grundsätzlich handelt es sich in den Bezeichnungen bei „Ch 1“ um den jeweiligen Original-Amp und bei „Ch 2“ um das entsprechende Kemper-Profil, d.h. dass auch die farbliche Kennzeichnung dementsprechend dunkelblau für das Original und rot für die Kemper-Emulation ist. Besonderheiten gibt es auch hier wieder bei folgenden Dateien:

- Im Ordner „Frequency_Response“ im Ordner “25mVrms” des Bugera 6262 ist auf sämtlichen Beschriftungen „25 mVrms“ statt „Ch 1“ zu lesen. Es handelt sich hierbei nach wie vor um die Messdaten zum Original-Amp.
- In den Ordnern „THD+N“ aller Signalstärken und Sounds befinden sich jeweils die Diagramme „Level and Distortion_Smooth_H2.BMP“, „Level and Distortion_Smooth_H3.BMP“ und „Level and Distortion_Smooth_total.BMP“. Diese werden nicht in den üblichen Farben dunkelblau und rot dargestellt. In den Daten „Level and Distortion_Smooth_H2.BMP“ wird der Originalverstärker grün und das Kemper-Profil in pink dargestellt. Bei den Diagrammen „Level and Distortion_Smooth_H3.BMP“ erfolgt die farbliche Kennzeichnung des Originalverstärkers in rot und die des Kemper-Profiles in hellem blau. Zu guter Letzt werden bei „Level

and Distortion_Smooth_total.BMP“ die Kurvenverläufe des Originalverstärkers orange und die des Kemper-Profils dunkelgrün abgebildet.

- Im Ordner „THD+N“ im Ordner „25mVrms“ des Bugera 6262 ist im Diagramm „Level and Distortion_Smooth_total.BMP“ statt „Ch1“ „25 mVrms“ zu lesen. Auch hiermit ist trotzdem der Originalverstärker gemeint.

Eigenständigkeitserklärung

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

Ort, Datum

Vorname Nachname