



BACHELORARBEIT

Herr
Felix Gröger

**Modifikation eines günstigen
analogen Gitarreneffektpedals
und der anschließende
Vergleich mit einem Boutique-
Gitarreneffektpedal**

2020

BACHELORARBEIT

Modifikation eines günstigen analogen Gitarreneffektpedals und der anschließende Vergleich mit einem Boutique-Gitarreneffektpedal

Autor:
Herr Felix Gröger

Studiengang:
Media and Acoustical Engineering

Seminargruppe:
MG16wA

Erstprüfer:
**Herr Prof. Dr.-Ing.
Michael Hösel**

Zweitprüfer:
Herr Kai Hoffmann

BACHELOR THESIS

Modification of a cheap guitar effect pedal and the following comparison with a boutique guitar effect pedal

author:
Mr. Felix Gröger

course of studies:
Media and Acoustical Engineering

seminar group:
MG16wA

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

second examiner:
Herr Kai Hoffmann

submission:

Bibliografische Angaben

Gröger, Felix:

Modifikation eines günstigen analogen Gitarreneffektpedals und der anschließende Vergleich mit einem Boutique-Gitarreneffektpedal

Modification of a cheap guitar effect pedal and the following comparison with a boutique guitar effect pedal

88 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2020

Abstract

In dieser wissenschaftlichen Arbeit soll betrachtet werden, inwiefern hochpreisige Boutique Gitarren Effektpedale mit ihrem Preis gerechtfertigt sind, wenn man sie mit einem günstigen Standard Gitarren Effekt vergleicht. Dazu werden Modifikationen an einem analogen Gitarren Effektpedal vorgenommen um den Klirrfaktor, das Grundrauschen und den Frequenzgang zu verbessern. Am Ende der Arbeit werden die verbesserten Werte mit den Werten des hochpreisigen Konkurrenten verglichen.

In this study should be considered, if a high-class boutique guitar effect pedal its expensive price is worth it, if you compare it to a cheap standard guitar effect. To answer this, it will be made some modifications on an analog standard pedal to improve it in the total harmonic distortion, noise and frequency response. At the end of this study both pedals, the cheap and the boutique version will be compared.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
Abkürzungsverzeichnis	IV
Formelverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	X
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung der Wissenschaftlichen Arbeit.....	1
1.2 Einführung in die Thematik.....	2
1.3 Aktueller Stand der Technik bei Gitarren Effekten.....	3
2 Definitionen	7
2.1 Aufbau und Funktionsweise eines Kompressors.....	7
2.2 Aufbau des Effektpedals.....	10
2.3 Eigenschaften und Funktionsweise der Bauteile.....	11
2.3.1 Kondensatoren.....	12
2.3.2 Widerstände.....	15
2.3.3 Dioden.....	17
2.3.4 Optokoppler.....	19
2.3.5 Operationsverstärker.....	20
2.3.6 RC-Glieder.....	21
2.4 Klirrfaktor.....	22
2.5 Rauschen.....	23
3 Entwicklung der Modifikation	24
3.1 Planung der Modifikation.....	24
3.2 Versuchsaufbau.....	28

4 Modifikation durchführen.....	34
4.1 Auswertung der Messergebnisse.....	34
4.2 Festlegung der Modifikation.....	44
5 Vergleich des fertigen Pedals mit dem Boutique Effekt.....	45
6 Fazit.....	47
Literaturverzeichnis.....	XI
Anlagen.....	XIV
CD-Track Verzeichnis.....	XXXV
Eigenständigkeitserklärung.....	XXXVI

Abkürzungsverzeichnis

A	Fläche einer Platte in m ²
AMP	Amplifier (Verstärker)
A ₀	Oberfläche des Bauelements
BOSS CS-3	BOSS Compression Sustainer 3
C	Kapazität
°C	Grad Celsius
CTR	Current Transfer Ratio
DAW	Digital Audio Workstation
dB	Dezibel
EQ	Equalizer
ε ₀	elektrische Feldkonstante
ε _r	Permittivität (Dielektrizitätszahl)
F	Farad
pF	Pico Farad
nF	Nano Farad
μF	Micro Farad
f _G	Grenzfrequenz
Hz	Hertz
kHz	Kilo Hertz
IC	Integrated Circuit
k	Klirrfaktor
K	Kelvin
L	Signal-Rauschabstand (in dBU)
L _A	Ausgangspegel
L _E	Eingangspegel
LDR	Light Dependent Resistor
LED	Light Emitted Diode
μm	Micrometer

mm	Millimeter
N	Noise (Grundrauschen)
OPV	Operationsverstärker
ppm	parts per million
Poti	Potentiometer
Q	Ladungsmenge
R	Widerstand
R	Ratio
s	Abstand der Platten in m
Stock	Bezeichnung für das Original des Herstellers
THD	Total Harmonic Distortion (Klirrfaktor)
TK	Temperaturkoeffizient
USB	Direct Injection Box
v	Verstärkungsfaktor
V	Volt
VCA	Voltage Controlled Amplifier
Ω	Ohm
k Ω	Kilo Ohm
M Ω	Mega Ohm
tan δ	Verlustfaktor
α_{th}	Wärmeaustauschkoeffizient
ϑ_{max}	maximal zulässige Oberflächentemperatur
ϑ_0	Umgebungstemperatur
R _{th}	Wärmewiderstand
P _{max}	maximale Belastbarkeit eines Widerstandes

Formelverzeichnis

$$R=L_E / L_A$$

Ratio

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot (A/s)$$

Kapazität in F

$$TK= (1\Omega/20K) \cdot (1/100\Omega) = +0,5+10^{-3} \cdot 1/K$$

Temperaturkoeffizient in ppm/K

$$P_{\max} = \alpha_{\text{th}} \cdot A_O(\vartheta_{\max} - \vartheta_0) = (\vartheta_{\max} - \vartheta_0) / R_{\text{th}}$$

Maximale Belastbarkeit in W

$$f_G = 1 / (2 \cdot \pi \cdot \tau)$$

Grenzfrequenz Hz

$$k = \sqrt{(U_{2f}^2 + U_{3f}^2 + U_{4f}^2 + \dots)} / U_{\text{ges}}$$

Klirrfaktor in %

$$L = 20 \log (U_{\text{Clipping}} / U_{\text{Grundrauschen}})$$

Signalrauschabstand in dB

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: äußerer Aufbau des BOSS Compression Sustainer 3.....	10
Abbildung 2: Musikding.de. Online verfügbar unter https://www.musikding.de/docs/musikding/screamer/screamerV2_schalt.pdf , zuletzt geprüft am 05.02.2020, Schaltplan einer Tubescreamer Kopie.....	XV
Abbildung 3: diystompboxes.com, online verfügbar unter https://www.diystompboxes.com/smfforum/index.php?topic=63909.0 (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Schaltplan des BOSS Compression Sustainer 3.....	XVI
Abbildung 4: Versuchsaufbau Skizze.....	29
Abbildung 5: Routing für externen Effekt in Cubase 9.5.....	31
Abbildung 6: Versuchsaufbau mit Steckbrett.....	33
Abbildung 7: THD Messung BOSS CS-3 (Stock Version).....	35
Abbildung 8: THD Messung BOSS CS-3 (Mod 1).....	36
Abbildung 9: THD Messung BOSS CS-3 (Mod 2).....	38
Abbildung 10: THD Messung BOSS CS-3 (Mod3).....	38
Abbildung 11: Frequenzgang BOSS CS-3 (Stock Version).....	39
Abbildung 12: Frequenzgang BOSS CS-3 (Mod 6.1).....	40
Abbildung 13: Frequenzgang BOSS CS-3 (Mod 7.1)	40
Abbildung 14: Frequenzgang BOSS CS-3 (Mod 8.1).....	41
Abbildung 15: Frequenzgang BOSS CS-3 (Mod 9.1).....	42
Abbildung 16: Frequenzgang BOSS CS-3 (Mod 9.3).....	42
Abbildung 17: Frequenzgang BOSS CS-3 (Mod 10.3).....	43
Abbildung 18: Frequenzgang BOSS CS-3 (Mod 10.2).....	43
Abbildung 19: THD EarthQuaker Devices – The Warden.....	45
Abbildung 20: Frequenzgang BOSS CS-3 (finaler Mod).....	46
Abbildung 21: Frequenzgang EarthQuaker Devices The Warden.....	46

Abbildung 22: Conrad.com. Online verfügbar unter <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001557083DS01/datenblatt-1557083-true-components-metallschicht-widerstand-1-k-axial-bedrahtet-0207-06-w-1-1-st.pdf> (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt Widerstände True Components (Seite 1)XVII

Abbildung 23: Conrad.com. Online verfügbar unter <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001557083DS01/datenblatt-1557083-true-components-metallschicht-widerstand-1-k-axial-bedrahtet-0207-06-w-1-1-st.pdf> (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt Widerstände True Components (Seite 2).....XVIII

Abbildung 24: Conrad.com. Online verfügbar unter <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001417613DS01/datenblatt-1417613-yageo-mf0207fte52-33k-metallschicht-widerstand-33-k-axial-bedrahtet-0207-06-w-1-1-st.pdf> (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt Widerstände Yageo (Seite 1).....XIX

Abbildung 25: Conrad.com. Online verfügbar unter <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001417613DS01/datenblatt-1417613-yageo-mf0207fte52-33k-metallschicht-widerstand-33-k-axial-bedrahtet-0207-06-w-1-1-st.pdf> (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt Widerstände Yageo (Seite 2).....XX

Abbildung 26: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_FKP_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA FKP2 (Seite 1).....XXI

Abbildung 27: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_FKP_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA FKP2 (Seite 2).....XXII

Abbildung 28: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_FKP_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA FKP2 (Seite 3).....XXIII

Abbildung 29: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKP_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKP2 (Seite 1).....XXIV

Abbildung 30: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKP_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKP2 (Seite 2).....XXV

Abbildung 31: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKP_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKP2 (Seite 3).....XXVI

Abbildung 32: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKP_4.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKP4 (Seite 1).....XXVII

Abbildung 33: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKP_4.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKP4 (Seite 2).....XXVIII

Abbildung 34: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKP_4.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKP4 (Seite 3).....XXIX

Abbildung 35: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKP_4.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKP4 (Seite 4).....XXX

Abbildung 36: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKS_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKS2 (Seite 1).....XXXI

Abbildung 37: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKS_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKS2 (Seite 2).....XXXII

Abbildung 38: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKS_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKS2 (Seite 3).....XXXIII

Abbildung 39: Conrad.com. Online verfügbar unter <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001279971DS01/datenblatt-1279971-wuerth-elektronik-wcap-ftx2-890324025004cs-1-st-entstoer-kondensator-x2-radial-bedrahtet-27-nf-275-vac-10-15-mm-l-x.pdf> (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt Kondensator Würth Elektronik.....XXXIV

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: eigene Darstellung, (Vgl. Durchlassspannung verschieden farbiger Dioden (Vgl. Friesecke Andreas (2014): Die audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker 2. Auflage. Berlin, Germany, Boston, Massachusetts: De Gruyter Saur (de Gruyter Reference), S.554).....	28
Tabelle 2: eigene Darstellung, Liste der geplanten Modifikationen.....	32
Tabelle 3: Liste der originalen Widerstände des BOSS CS-3	34
Tabelle 4: Liste der originalen Kondensatoren des BOSS CS-3.....	3

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung der Wissenschaftlichen Arbeit

Der Markt der Gitarren Effekt Pedale ist groß und mittlerweile sehr überfüllt. Es gibt sämtliche digitale und analoge Audio Effekte in einem kleinen Metallgehäuse zum darauf treten. Viele Effekte ähneln sich. Verschiedene Hersteller verwenden oft ähnliche Schaltungen für ihre Effekte und verändern nur kleine Details. Die Unterschiede im Preis sind jedoch oft sehr groß. So gibt es bereits Ausführungen für rund 20 Euro, die ihre Funktion erfüllen. Andere Hersteller setzen ihre Preise deutlich höher an und verkaufen Pedale, zum Teil für 500 Euro.

In dieser wissenschaftlichen Arbeit soll analysiert werden, ob diese hohen Preise immer gerechtfertigt sind. Das soll erreicht werden, indem ein relativ günstiges Gitarren Effektpedal mit einem teureren Konkurrenten verglichen wird, nachdem das günstige Pedal mit einfachen Mitteln modifiziert wurde. Die Modifikation soll sich sowohl auf die tatsächlich messbare Qualität des Effektes beziehen als auch auf den subjektiv wahrgenommenen Sound, der am Ende entsteht. Die messbare Qualität des Effektes soll nach mehreren Parametern bestimmt werden. Gemessen werden soll der Klirrfaktor, der Frequenzgang und das Grundrauschen.

Das subjektive Ergebnis soll danach betrachtet werden, wie die Modifikation des Effektgeräts den Klang tatsächlich verändert. So sollen verschiedene Beispiele auf der Gitarre gespielt werden, um den Klang zu beurteilen.

In dieser Arbeit soll speziell ein analoger Kompressor als Beispiel für ein Gitarren Effekt Pedal ausgewählt werden. Als Modell und Versuchsgegenstand für die preisgünstige Variante wird der "Compression Sustainer Boss CS-3", Kostenpunkt 89 Euro, ausgewählt. Diesem Modell wird der "EarthQuaker Devices Warden V2 Optical Compressor" als Beispiel für ein Boutique Effekt mit einem Preis von 239 Euro, gegenübergestellt. Das Modell von „EarthQuaker Devices“ wird von vielen Progressive-Rock und Math-Rock Bands wie zum Beispiel Covet, CHON oder Animals As Leaders verwendet. Ziel ist es, den Boss-CS3 so zu verändern, dass er auch für solch besondere Gitarrenspieltechniken, die von diesen Bands verwendet werden, ähnlich gut geeignet ist wie der Konkurrent von EarthQuaker Devices.

1.2 Einführung in die Thematik

Um den Boss CS-3 Compressor qualitativ zu verbessern, werden bestimmte elektronische Bauteile ausgetauscht und gegebenenfalls auch die Schaltung verändert. Kondensatoren, Widerstände und Dioden sind Bauteile, die eventuell durch andere dieser Art ausgetauscht werden könnten. Außerdem befinden sich integrierte Schaltkreise (IC) auf der Platine des Effektgeräts.

Ein Austausch dieser könnte in Betracht gezogen werden. Eventuell kommt auch der Austausch eines ICs durch einen Optokoppler in Frage. Dieser würde die Art und Weise der Kompression verändern. Solchen Kompressoren wird eine wärmere und weniger auffällige Kompression nachgesagt. Eine solche Art der Übertragung ist auch in dem Boutique Effekt von EarthQuaker Devices verbaut.

Ziel des Austausches dieser elektronischen Bauteile ist es die Klangqualität der gesamten Schaltung zu verbessern. Dafür soll in dieser wissenschaftlichen Arbeit zunächst im theoretischen Teil untersucht werden, welche Elemente der vorhandenen Schaltung verändert werden könnten. Ein Beispiel dafür sind zum Beispiel die verbauten Elektrolytkondensatoren, die man durch hochwertigere Metallfolienkondensatoren austauschen könnte. Dabei soll untersucht werden ob und warum ein solcher Austausch einen Effekt auf die Qualität des Elektrischen Signals hat.

Auch für die anderen elektrischen Bauteile gibt es unterschiedliche Bauarten, die Einfluss auf den Signalfluss des Effektgeräts haben könnten. So gibt es zum Beispiel auch Dioden unterschiedlicher Art. Die verbauten Silizium Dioden könnten gegebenenfalls durch Germaniumdioden oder Leuchtdioden ausgetauscht werden. Insgesamt ist beim Austausch der Bauteile jedoch zu beachten, dass nicht jedes Bauteil auf der Platine auch Einfluss auf den Signalweg hat. Im Voraus ist deswegen der Signalfluss anhand des Schaltplanes genauer zu untersuchen, um keine überflüssigen Veränderungen vorzunehmen.

Neben der reinen elektrotechnischen Qualität des Signalfusses, die durch den Klirrfaktor und Signalrauschabstand gemessen wird, soll auch der Klang des Kompressors verändert werden. Auffällig ist beim Versuchsobjekt, dass niedrig frequentierte Töne nach Einschalten des Kompressors besonders leise abgepielt werden im Vergleich zum originalen Signal. Für Gitarristen, die mit tieferen Stimmungen spielen, insbesondere bei 7-saitigen Gitarren, ist die Dämpfung dieser tiefen Frequenzen ein großes Problem. In vielen modernen Genres werden solche tiefen Stimmungen verwendet. Der Kompressor ist für solche Genres

daher unbrauchbar. Um die Art und Funktionsweise des Kompressors zu verändern, soll in dieser Arbeit in den Vorbetrachtungen die grundlegende Funktionsweise eines Kompressors näher betrachtet werden. Auch die Besonderheiten eines optischen Kompressors sollen analysiert werden. Außerdem können auch Werte der Dioden, Widerstände und Kondensatoren verändert werden, die Einflüsse auf das Verhalten der ICs haben können.

1.3 Aktueller Stand der Technik bei Gitarreneffekten

Seit fast 100 Jahren ist die E-Gitarre eines der wichtigsten Musikinstrumente in unzähligen Genres. Ihren Ursprung hat sie in den 1920ern, als man merkte, dass die akustische Gitarre sich in größeren Bigbands mit Blasinstrumenten und Schlagzeug nicht durchsetzen kann. Die einzige Möglichkeit die Gitarre lauter zu machen, war die elektrische Verstärkung.¹ Nach einigen Jahren wurde die E-Gitarre zu einem wichtigen Bestandteil im Blues und Jazz Bereich. Nach und nach wurden verschiedene Modelle und verschiedene Tonabnehmer entwickelt, um den Sound der E-Gitarre zu verbessern. Auch die Technik der E-Gitarrenverstärker entwickelte sich stets weiter.

Als erster Gitarreneffekt gilt die sogenannte Verzerrung. Sie entstand 1951 durch einen Zufall. Der Gitarrenverstärker der Band "*Jackie Brenston and his Delta Cats*" ging vor der Aufnahme im Tonstudio kaputt. Es lief Wasser in den Verstärker, wodurch eine der beiden Röhren ausfiel. Dieser Sound gilt als die erste Verzerrung, die auf einer Platte veröffentlicht wurde, und somit als der erste E-Gitarren Effekt.²

Später versuchten auch andere Bands ihren Röhrenverstärker absichtlich zu verzerrern, bis 1961 schließlich das erste Verzerrer-Pedal auf den Markt kam, das „Maestro Fuzz Tone FZ-1“, von Gibson.³ In den darauffolgenden Jahren wurden sehr viele Effekte in diversen Ausführungen entwickelt. Angefangen von verschiedenen Arten von Verzerrungen, wie zum Beispiel Overdrive oder Fuzz, über Modulationseffekte wie Chorus oder Flanger bis hin zu Dynamik Effekten wie Noise-Gate oder Kompressor.

¹ Vgl. Wikipedia contributors: E-Gitarre. <https://de.wikipedia.org/wiki/E-Gitarre> (21.11.2019)

² Vgl. Wikipedia contributors: Rocket "88". https://de.wikipedia.org/wiki/Rocket_%E2%80%9C88%E2%80%9D (21.11.2019)

³ Vgl. Hunter, Dave (2013): Guitar effects pedals - the practical handbook: Hal Leonard Corporation (HANDBOOK SERIES), S.21

Die meisten Effekte, die entwickelt wurden, waren jedoch direkt in den Gitarrenverstärkern verbaut. Gitarreneffekte in Pedalform waren noch nicht sehr beliebt. Zudem wurden die meisten Effekte anfänglich noch mit Röhrentechnik betrieben, was eine kleine Bauform erschwerte. Erst in den 70er Jahren kamen die meisten Transistorbasierten Effekte auf den Markt, die kleinere Bauformen möglich machten.⁴

Mit dem Beginn von elektronischer Musik wurden Synthesizer immer beliebter. Die Gitarre, die oft hauptsächlich als Rhythmusinstrument verwendet wurde, verlor in der populären Musik etwas an Bedeutung. Um vor allem Gitarrensolos interessanter zu machen, wurden dann erste digitale Effekte entwickelt, um interessantere Töne zu kreieren. Diese wurden jedoch eher von größeren Bands und Tonstudios verwendet. Kleinere Bands nutzten nach wie vor analoge Effektpedale, weil sie deutlich preiswerter und einfacher zu handhaben waren.⁵

Am Ende der 80er Jahre erkannten viele Musiker jedoch, dass viele der älteren analogen Effektpedale sehr interessant klangen und man sich an digitalen Effekten sattgehört hatte. Bands wie Nirvana verwendeten Fuzz-Pedale und analoge Chorus Sounds und starteten damit einen erneuten Pedal Hype. Große Firmen wie Ibanez, Electro Harmonix oder BOSS entwickelten verbesserte Versionen ihrer Effekte, weil die älteren Pedale oft sehr stark ein sehr starkes Grundrauschen hatten.⁶

Sucht man heute im Online-Musikversandhaus Thomann nach Gitarren Effekten, so findet man 1864 verschiedene Effektgeräte.⁷

Es ist davon auszugehen, dass diese Zahl bei Weitem nicht der Zahl entspricht, die die Gesamtzahl der Gitarren Effekte beziffert. In den letzten Jahren haben sich viele kleinere Hersteller auf dem Markt etabliert, die sogenannte Boutique Effekte herstellen. Boutique Effekte sind Effektpedale, die als besonders exklusiv und hochwertig gelten. Dies schlägt sich auch im Preis nieder. Boutique Effekte derselben Kategorie wie ein handelsübliches Effektpedal, kosten oft das Doppelte bis Dreifache.

⁴ Vgl. Hunter, Dave (2013): Guitar effects pedals - the practical handbook: Hal Leonard Corporation (HANDBOOK SERIES), S.14

⁵ Hunter, Dave (2013): Guitar effects pedals - the practical handbook: Hal Leonard Corporation (HANDBOOK SERIES), S.16-17

⁶ Vgl. Hunter, Dave (2013): Guitar effects pedals - the practical handbook: Hal Leonard Corporation (HANDBOOK SERIES), S.17

⁷ Vgl. Thomann <https://www.thomann.de/de/search.html?sw=gitarren%20effekt&filter=true> (22.11.2019)

*"For all that we obsess about "tone", the straight, pure sound of the naked electric guitar still doesn't get the pulse racing... The solution, for most of us, is still to do something seriously screw up the natural sound of the instrument. And here at the dawn of the 21st century, there is no shortage of ways to do so."*⁸

Dave Hunter, ein bekannter Musikjournalist, verdeutlicht mit diesem Zitat, dass Gitarreneffekte für einen E-Gitarristen nicht mehr wegzudenken sind und dass es in der heutigen Zeit mehr Möglichkeiten als je zuvor gibt den Ton der Gitarre nach den eigenen Wünschen zu verändern. Eine große Vielfalt an Effektpedalen ist die Folge daraus. Viele kleine und große Firmen bringen kleine neue Abwandlungen bekannter Effekte auf den Markt, um die speziellen Wünsche der modernen Gitarristen zu erfüllen.

Zudem hat sich auch eine große Online Community rund um das Thema "Pedals" gebildet. In einer deutschsprachigen Facebook Gruppe namens "PEDALBOARD" befinden sich 16.032 Mitglieder.⁹ Viele dieser Mitglieder haben oft eine große Sammlung an Effektpedalen und sind trotzdem stets auf der Suche nach Effektpedalen, die noch besser und exklusiver als die eigenen sind. Dadurch ist ein ziemlich großer Hype um das Thema "Pedals" entstanden. Auf Konzerten kann man auch oft Menschen im Publikum beobachten, die das Pedalboard der Gitarristen auf der Bühne genauer unter die Lupe nehmen, um herauszufinden, wie sie den Sound ihrer Vorbilder hinbekommen können.

Die spürbar zunehmende Beliebtheit von Gitarreneffektgeräten führte auch dazu, dass sowohl die größeren als auch die kleineren Hersteller von Effektpedalen sich die große Nachfrage zu Nutze machen.

Ein Beispiel dafür ist eins der beliebtesten Effekt-Pedale, der Tubescreamer von der Firma Ibanez. Dabei handelt es sich um ein klassisches Overdrive Pedal, welches bereits in den 70er Jahren entwickelt wurde. Es gilt als das meist kopierte Effektpedal.¹⁰ Diverse Firmen kopierten die Schaltung des Tubescreamers und veröffentlichten ihre eigene Version, die sich im Sound kaum bis gar nicht unterschieden.

Aber auch Ibanez selbst hat verschiedene Versionen ihres Tubescreamers veröffentlicht. Vergleicht man beispielsweise die Version TS-808 mit der des TS-9, so unterscheidet sich die Schaltung der beiden nur durch die unterschiedlichen Werte zweier Widerstände. So wurden in der Schaltung für den TS-9 für den R15

⁸ Hunter, Dave (2013): Guitar effects pedals - the practical handbook: Hal Leonard Corporation (HAND-BOOK SERIES), S.18

⁹ Vgl. Facebook <https://www.facebook.com/groups/pedalboard/> (22.11.2019)

¹⁰ Dave Hunter: Guitar effects pedals: the practical handbook. Hal Leonard, 2004, S. 68–71.

der Wert $470\ \Omega$ und für den R16 der Wert $100\text{k}\Omega$ verwendet. Im TS-808 der Wert $100\ \Omega$ (R15) und $10\text{k}\Omega$ (R16) (siehe Anlage 1). Mit dieser Erkenntnis scheint ein Preisunterschied von 58 Euro fragwürdig. Der TS-808 kostet bei Thomann 188 Euro, der TS-9 nur 130.¹¹ Die Version TS-808 ist jedoch die beliebtere, da sie die originale Schaltung aus den 70er Jahren beinhaltet. Aufgrund der hohen Nachfrage und Beliebtheit solcher Pedale, ist es den Herstellern oft erlaubt, ihre Preise willkürlich festzulegen. Viele Konsumenten kaufen jedoch trotzdem nicht immer die preiswerteste Variante eines Effekts. Oft spielt das Design und die Marke dabei eine große Rolle.

Um nun auf den Stand der Technik bei Gitarren Effektpedalen zu kommen, stellt sich zunächst die Frage, ob es überhaupt eine Nachfrage für die Verbesserung von Effektpedalen gibt. Schließlich werden noch heute Pedale mit Schaltungen aus den 70er Jahren gekauft, wie zum Beispiel der Ibanez Tubescreamer TS-808. Grund dafür ist, dass die Wahl eines neuen Effektgeräts selten auf rationalen Fakten beruht. Die Bewertung des Klangs eines Effektpedals ist sehr subjektiv. So kann zum Beispiel ein neues modernes Pedal bessere Eigenschaften im Signalrauschabstand oder Klirrfaktor haben. Für manche Gitarristen ist ein starkes Rauschen oder ein besonders verzerrtes Signal jedoch gewünscht.

Ein weiterer Punkt ist, dass die klassischen Effektpedale wie der Tubescreamer zwar noch dieselbe Schaltung wie in den 70ern verwenden, jedoch gibt es heute elektronische Bauteile mit deutlich besseren Eigenschaften als in den 70er Jahren.

Was moderne Pedals auszeichnet und was vor allem Boutique Effekte anbieten, ist ein größerer Funktionsumfang. So hat man bei moderneren Pedals oft mehr Einstellungsmöglichkeiten, um den Sound besser zu individualisieren zu können.

¹¹ Vgl. Thomann

https://www.thomann.de/de/search_dir.html?sw=Tubescreamer+Ibanez&smcs=a249d8_7183
(22.11.2019)

2 Definitionen

2.1 Aufbau und Funktionsweise eines Kompressors

Kompressoren haben vorrangig das Ziel die Dynamik eines Audiosignals zu verringern. Dadurch erhöht sich die empfundene Lautheit des Signals und es setzt sich gegenüber anderen Signalen besser durch. Neben der Lautheitserhöhung werden Kompressoren auch kreativ zur Verdichtung von Signalen oder zum Hüllkurvendesign eingesetzt.¹²

Ein Beispiel für den Einsatz eines Kompressors ist die Komprimierung von Sprache in einem Film. Die menschliche Sprache ist sehr dynamisch und kann sich deswegen gegenüber weniger dynamischen Signalen wie Musik schlechter behaupten. Mit einem Kompressor verringert man die Dynamik der Sprache, damit sie gegenüber der Musik nicht untergeht.

Um die Dynamik eines Signals zu verringern, werden laute Anteile eines Signals, also die mit einem hohen Pegel, reduziert. Im Anschluss wird das gesamte Signal mit einem "Make-up Gain" wieder verstärkt, wodurch auch die leisen Anteile des Signals lauter werden. Somit verringert sich die Dynamik, also der Abstand zwischen den niedrigen und hohen Pegeln eines Signals.

Bei einem Kompressor für Gitarren, welcher auch Gegenstand dieser wissenschaftlichen Arbeit ist, ist es hauptsächlich das Ziel, leise gespielte Töne lauter zu machen, damit sie gegenüber den laut gespielten Anteilen nicht untergehen. Bei bestimmten Gitarrentechniken ist das sehr wichtig. "Tappings" und "Hammer-Ons" beispielsweise sind gegenüber Tönen, die mit einem Plektrum angespielt werden, viel leiser.

Bei diesen Techniken tippt man im Wesentlichen entweder mit der linken oder rechten Hand auf einen Bund der Gitarre, ohne einen Anschlag mit dem Plektrum zu spielen. Mit einem Kompressor wird der entstehende Ton, der vergleichsweise leise ist, auf die Lautheit der Töne eines normalen Anschlags angehoben. Vor allem bei Gitarren Signalen die "clean", also unverzerrt sind, ist der Einsatz eines Kompressors sehr empfohlen, wenn man solche Techniken spielen möchte.

Zudem sorgt ein Kompressor beim Gitarrenspiel auch dafür, dass angespielte Töne länger klingen. Wenn man Tapping und Hammer-On Techniken sehr schnell hintereinander anwendet, bleiben die erzeugten Töne jeweils nur sehr kurz stehen. Das sorgt dafür, dass die Töne etwas abgehackt klingen und der

¹² Vgl. ARD.ZDF medienakademie (2008): Handbuch der Tonstudioteknik. 7. völlig neu bearb. u. erw. Aufl. 2008. Berlin, New York: Walter de Gruyter., S. 329-330

Zuhörer das Gefühl hat, dass der Gitarrist unsauber spielt. Durch einen Kompressor klingen die Töne länger aus, da die besonders leisen Anteile beim Tapping, die nach dem Anspiel kommen, im Pegel angehoben werden, weil sie ansonsten kaum hörbar sind.

Damit ein Kompressor seine Aufgaben erfüllen kann, sind bestimmte Elektronische Bauelemente im Aufbau eines Kompressors sehr wichtig. Kern eines jeden analogen Kompressors ist ein Regelverstärker, welcher die Verstärkung in Abhängigkeit des Pegels eines Steuersignals ändert. Das Steuersignal ist in den meisten Fällen das Eingangssignal, also das zu komprimierende Signal. In der analogen Bauweise werden VCA (Voltage Control Amplifier) als Regelverstärker verwendet. Vor dem „Side-Chain“ Eingang, dem Steuerzweig, wird ein Gleichrichter und eine Integrationsstufe geschaltet. Die Änderung der Verstärkung ist vom Pegel und der Zeit abhängig. Unterteilt wird die Abhängigkeit der Regelung in statisches und dynamisches Verhalten.¹³

Das statische Verhalten eines Kompressors stellt das Verhältnis zwischen dem Ein- und Ausgangspegel dar. Das Signal besteht aus mehreren Abschnitten. Der neutrale unkomprimierte Abschnitt geht bis zu einem bestimmten Schwellenwert. Dieser Schwellenwert kann mit dem Parameter „Threshold“ eingestellt werden. Ab diesem Wert beginnt der zweite Abschnitt, an dem man erkennen kann, dass die Verstärkung abgeflacht wird, je größer der Eingangspegel ist. Wie stark die Verstärkung ab dem Schwellenwert reduziert wird, kann man mit dem Parameter „Ratio“ einstellen.

Die Ratio gibt das Kompressionsverhältnis an, also die Differenz der Pegel oberhalb des Schwellenwerts. Angegeben wird sie als Verhältnis, also beispielsweise „4:1“. Zu berechnen ist sie mit:

$$R=L_E/L_A$$

R... Ratio

L_E...Eingangspegel

L_A...Ausgangspegel

¹³ Vgl. ARD.ZDF medienakademie (2008): Handbuch der Tonstudioteknik. 7. völlig neu bearb. u. erw. Aufl. 2008. Berlin, New York: Walter de Gruyter, S. 329-330

Der dritte Parameter des statischen Verhaltens eines Kompressors ist der "Make-Up Gain". Er verstärkt das Signal nachdem es komprimiert wurde. Dadurch werden leise und laute Stellen lauter gemacht, nach dem die lauten Anteile im Pegel reduziert wurden. Das führt dazu, dass die Lautheit am Ende erhöht wird.

Das dynamische Verhalten eines Kompressors beeinflusst das statische Verhalten.

"Die statische Kennlinie gilt bei schnellen Pegeländerungen erst nach einer bestimmten Übergangszeit, da der Kompressor auf die Änderungen reagieren muss."¹⁴

Die Regelung des VCA findet also nicht direkt beim Überschreiten eines Schwellenwerts statt, sondern erst ab einer gewissen Zeit danach. Diese Zeit kann man mit dem Parameter "Attack" beschreiben. Er definiert die Ansprechzeit. Nach dem vorübergehen der Ansprechzeit wurde die Dynamik des Signals zu 63% bearbeitet. Nach der drei- bis fünffachen Ansprechzeit wurde die Dynamik auf den mit der Ratio eingestellten Wert reduziert.¹⁵ Der zweite dynamische Parameter, wird "Release" genannt und gibt an, wie lange es dauert, bis die Dynamikbearbeitung nach dem Unterschreiten des Schwellenwerts um 10dB am komprimierten Ausgangssignal fällt.

Bei tieffrequenten Signalen können durch das falsche Einstellen des Attack und Release Probleme auftreten. Eine zu langsame Ansprechzeit fängt tieffrequente Signale zu ungenau ein, sodass sie vom Treshold nicht richtig erfasst und somit nicht komprimiert werden.

Bei einer zu hohen Attack Zeit kann es jedoch zu einem erhöhten Klirrfaktor kommen. Mit einem "Soft Knee" kann dieser unerwünschte Effekt reduziert werden. Der Übergang in der Kennlinie vom neutralen zum abgeflachten Bereich wird dabei abgerundet.

Neben den bereits genannten Funktionsweisen und Parametern gibt es auch zwei verschiedene Ansätze für die Steuerung des VCA. Es gibt "Feed-Forward-Kompressoren" und "Feed-Back-Kompressoren". In dem Fall dieser

¹⁴ ARD.ZDF medienakademie (2008): Handbuch der Tonstudioteknik. 7. völlig neu bearb. u. erw. Aufl. 2008. Berlin, New York: Walter de Gruyter, S. 329-330

¹⁵ Vgl. Friesecke, Andreas (2014): Die audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker. 2. Auflage. Berlin, Germany, Boston, Massachusetts: De Gruyter Saur (de Gruyter Reference), S. 1125-1126

2.2 Aufbau des Effektpedals Boss CS-3

wissenschaftlichen Arbeit wird nur der "Feed-Back-Kompressor" betrachtet, da er einfacher aufgebaut ist.

Bei beiden Varianten wird der VCA über den Side-Chain gesteuert. Das Signal, welches gemessen und vom Treshold erfasst wird, kommt also über den Side-Chain rein. Beim "Feed-Back-Kompressor" wird dem Side-Chain das Ausgangssignal zugeführt.

2.2 Aufbau des Effektpedals Boss CS-3

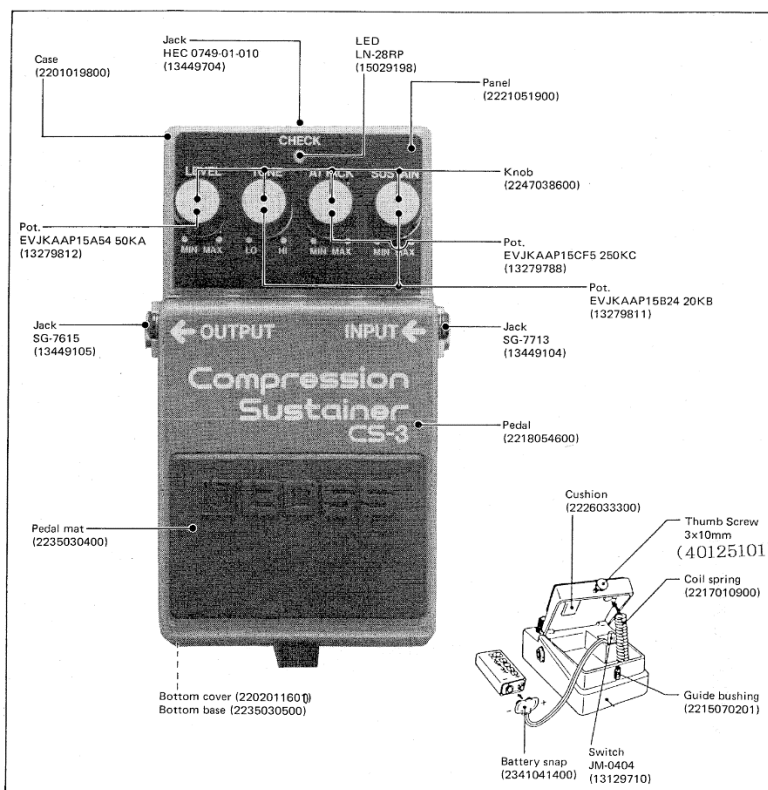


Abbildung 1: äußerer Aufbau des BOSS Compression Sustainer 3

Der Boss Compression Sustainer 3 weist im äußeren Aufbau mehrere Merkmale eines klassischen analogen Kompressors nach (siehe Abbildung 2). Die vier Poti die sich an der Oberseite des Pedals befinden, sind zum Einstellen bestimmter Parameter des Kompressors.

Der "Level"-Poti ist dafür zuständig den "Make-Up Gain" einzustellen. Mit ihm lässt sich also der Pegel des Signals anheben, nachdem es vom Regelverstärker komprimiert wurde.

Der "Attack"-Poti regelt die Attack Zeit des Kompressors. Ein Poti für die "Release"-Zeit gibt es in diesem Fall nicht, sie ist unveränderbar.

Der "Sustain"-Poti bestimmt die Ratio der Kompression.

Der vierte Poti, bezeichnet mit "Tone" hat keinen Einfluss auf die Funktionsweise des Kompressors an sich, sondern verändert die Klangfarbe des Signals. Es ist lediglich ein Equalizer, der Einfluss auf den Anteil der hohen Frequenzen des Signals hat. Hohe Frequenzen lassen sich mit diesem Poti anheben oder absenken.

Der Eingang des Signals, in welchen das Gitarrenkabel gesteckt wird, ist mit Input beschriftet. Der Ausgang des Pedals, welcher dann zum Gitarrenverstärker führt ist mit Output bezeichnet. Beide Buchsen sind für 6,35mm Klinkenstecker geeignet.

An der Frontseite des Pedals ist ein Eingang für die Betriebsspannung, die laut Datenblatt¹⁶ 9 Volt sein muss. Eine Stromstärke von 10 Milliampere wird ebenfalls angegeben. Über den Poti befindet sich eine rote LED, beschriftet mit "Check", welche anzeigt, ob das Pedal ein- oder ausgeschaltet ist. Ist das Pedal ausgeschaltet, befindet es sich im "Bypass-Modus", das bedeutet, dass das Eingangssignal unverändert wird und somit das Ausgangssignal dem Eingangssignal entspricht. Ein- und Ausschalten lässt sich das Pedal mit einem Tritt auf die "Pedal mat". Neben einem externen 9V Netzteil kann das Gerät auch mit einer 9V Batterie betrieben werden, welche unter der "Pedal mat" platziert wird.

2.3 Eigenschaften und Funktionsweise der elektronischen Bauteile

Auf der Platine des Boss Compression Sustainer 3 befinden sich verschiedene Elektronische Bauteile. Einige davon werden im Folgenden genauer betrachtet, da sie großen Einfluss auf die Klangqualität und Klangfarbe der Schaltung haben können. Jedes Bauteil kann verschiedene Aufgaben in einem Schaltkreis erfüllen und jede dieser Aufgaben hat wiederum verschiedene Einflüsse auf das Signal.

¹⁶ eserviceinfo.com. Online verfügbar unter <https://www.eserviceinfo.com/download.php?download-start=1&fileid=41778> (zuletzt geprüft am 05.02.2020)

Betrachtet werden vor allem Widerstände und Kondensatoren und ihr gemeinsamer Einfluss auf den Frequenzgang des Signals.

Außerdem werden verschiedene Bauarten von Kondensatoren und Widerständen näher analysiert, welche von unterschiedlicher Qualität sein können. Das kann zum Beispiel Einfluss auf das vom Pedal erzeugtem Grundrauschen haben.

Dioden gibt es ebenfalls in verschiedenen Bauweisen. Zum Beispiel könnte der Austausch einer normalen Silizium Diode durch eine Leuchtdiode interessant sein. Wichtig für die Funktion des Kompressors sind auch die IC, welcher Hauptbestandteil des Kompressors sind. Zuletzt werden Optokoppler betrachtet. Man kann sie benutzen, um die Art der Kompression zu verändern. Der berühmte LA-2A Kompressor von Universal Audio verwendet diese Technik beispielsweise.

2.3.1 Kondensatoren

Kondensatoren bestehen grundsätzlich aus zwei gegenüberliegenden leitenden Metallplatten. Die zwei Platten werden durch eine Isolationsschicht, dem sogenannten Dielektrikum, getrennt. Zwischen den Platten entsteht ein elektrisches Feld. Es kann eine Ladungsmenge Q gespeichert werden. Wie groß die Ladungsmenge eines Kondensators sein kann, wird mit der Kapazität C bestimmt. Diese ist wie folgt definiert:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot (A/s)$$

C ... Kapazität

ϵ_0 ...elektrische Feldkonstante

ϵ_r ...Permittivität (Dielektrizitätszahl)

A ... Fläche einer Platte in m^2

s ... Abstand der Platten in m

Das Dielektrikum verstärkt die Anziehungskraft der Ladungen und kann dadurch die Kapazität vergrößern. Dielektrika mit einer hohen Dielektrizitätszahl sorgen also für höhere Kapazitäten der Kondensatoren.

Neben der Kapazität ist auch die Nennspannung der Kondensatoren ein wichtiger Wert. Dieser Wert gibt an, für welche Spannungen der Kondensator zugelassen ist.¹⁷

Wird diese Spannung überschritten, kann das Dielektrikum der Spannung nicht standhalten und es wird beschädigt. Die Folge ist ein Kurzschluss, der meist zum Ausfall des Kondensators führt.

Kondensatoren werden in der Tontechnik für verschiedene Zwecke eingesetzt. Sie können als elektrische Ladungsspeicher in Netzteilen vorkommen, in Equalizern und Filtern als frequenzabhängiger Widerstand eingesetzt werden oder als Koppelkondensatoren Gleichspannungsanteile aus einem Signal entfernen.¹⁸

Für verschiedene Zwecke gibt es auch verschiedene Bauarten von Kondensatoren, die nach verschiedenen Werten zu unterscheiden sind. Die Kapazität und die Nennspannung geben an für welche Schaltungen sie prinzipiell geeignet sind. Ein wichtiger Kennwert ist auch die zulässige Temperatur eines Kondensators, mit deren Überschreitung der Kondensator beschädigt wird.

Die Toleranz eines Kondensators gibt an, wie stark die Kapazität von der genannten Kapazität abweichen darf. Elektrolytkondensatoren für hohe Spannungen können Toleranzwerte von bis zu $\pm 20\%$ haben. Kondensatoren mit besonders hoher Präzision für Niedrigspannungen können Toleranzwerte von $\pm 0,01\%$ erreichen.¹⁹

Der Verlustfaktor $\tan \delta$ gibt an, wie groß das Verhältnis des Wirk- und Blindanteils eines Scheinwiderstandes ist. Für die Verluste ist hauptsächlich das Dielektrikum verantwortlich. Für messtechnische Zwecke und auch für Audio Anwendungen sollte der Verlustfaktor nicht höher als 10^{-3} sein. Elektrolytkondensatoren für hohe Spannungen können sogar Verlustfaktoren bis zu 1,0 erreichen.¹³

Für die Unterschiede in den Kennwerten sind die Bauart und die verschiedenen Dielektrika verantwortlich. Um herauszufinden welche Kondensatoren am geeignetsten für analoge Audioanwendungen sind, werden die Eigenschaften dieser nun genauer betrachtet.

Keramikkondensatoren haben als Dielektrikum meistens Bariumtitanat. Die Dielektrizitätskonstante dieses Stoffes kann zwischen 10 und 10000 verändert

¹⁷ Friesecke, Andreas (2014): Die audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker. 2. Auflage. Berlin, Germany, Boston, Massachusetts: De Gruyter Saur (de Gruyter Reference), S.488-490

¹⁸ Bernstein, Herbert (2015): Bauelemente der Elektronik. Berlin/Boston: De Gruyter Oldenbourg, S.156-157

¹⁹ Bernstein, Herbert (2015): Bauelemente der Elektronik. Berlin/Boston: De Gruyter Oldenbourg, S.149

werden.²⁰ In der Herstellung können damit Kapazitäten von 1pF bis 100nF erreicht werden.²¹ Sie können für hohe und niedrige Spannungen eingesetzt werden. Bevorzugt werden sie in der Hochfrequenztechnik. Ihr Verlustfaktor steigt mit zunehmender Frequenz. Bei einer Frequenz von 1kHz haben sie einen Verlustfaktor von $5 \cdot 10^{-2}$.

Papierkondensatoren besitzen ein Spezialpapier als Dielektrikum, welches zum Beispiel mit einem Isolieröl oder Vaseline imprägniert ist. Die Schicht des Dielektrikums kann besonders dünn hergestellt werden wodurch sich im Verhältnis zum Volumen hohe Kapazitäten auf engerem Raum herstellen lassen. Sie haben Toleranzen von meist $\pm 20\%$ und Verlustfaktoren von $1 \cdot 10^{-2}$.²²

Bei speziellen Metallpapierkondensatoren wird statt einer Aluminiumfolie für die leitenden Elektroden eine Aluminiumschicht aufgedampft, die einen noch kleineren Raumbedarf hat. So sind Kapazitäten bis 100 μ F bei bis zu 1000V möglich.¹⁹

Glimmerkondensatoren haben als Dielektrikum ein natürliches Mineral. Sie halten große Spannungen aus und haben eine Dielektrizitätskonstante von bis zu 7. Die Verlustfaktoren von Glimmerwiderständen sind mit 0,1 bis $1 \cdot 10^{-4}$ sehr niedrig. Außerdem sind sie sehr wärmebeständig und halten Temperaturen von bis zu 600°C aus. Aufgrund des hohen geographischen Alters der Mineralien, sind Glimmerwiderstände sehr konstant.²³

Styroflexkondensatoren haben eine Styroflexfolie als Dielektrikum. Sie haben geringe Verlustfaktoren von 0,1 bis $0,2 \cdot 10^{-3}$ und sind fast komplett frequenzunabhängig. Es gibt sie mit Kapazitäten von bis zu 10 μ F. Ihre Toleranzen überschreiten 0,3% nicht. Einsetzbar sind sie bis zu einer Nennspannung von ca. 400V.

Kunststofffolienkondensatoren sind ähnlich wie Papierkondensatoren aufgebaut. Allerdings sind sie mit geringerer Baugröße herstellbar, da die Kunststoffolie dünner und mit weniger Fehlerstellen hergestellt werden kann. Sie werden oft nur für Transistorschaltungen mit geringen Betriebsspannungen eingesetzt, weswegen ein Anspruch auf hohe Spannungen nicht notwendig ist. Als Dielektrikum dient die Kunststoffolie.

²⁰ Bernstein, Herbert (2015): Bauelemente der Elektronik. Berlin/Boston: De Gruyter Oldenbourg, S.173

²¹ Friesecke, Andreas (2014): Die audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker. 2. Auflage. Berlin, Germany, Boston, Massachusetts: De Gruyter Saur (de Gruyter Reference), S.490

²² Bernstein, Herbert (2015): Bauelemente der Elektronik. Berlin/Boston: De Gruyter Oldenbourg, S.167-168

²³ Bernstein, Herbert (2015): Bauelemente der Elektronik. Berlin/Boston: De Gruyter Oldenbourg, S.172

Als Kunststoff werden vor allem Polycarbonat, Polyester und Polypropylen eingesetzt. Sie haben sehr niedrige Kapazitätstoleranzen und die geringsten Verlustfaktoren, von 10^{-3} bis 10^{-4} . Sie erreichen Kapazitäten von bis zu einigen μF bei bis zu 1000V.²⁴

Elektrolytkondensatoren sind die mit den höchsten Kapazitäten. Sie können bis zu $1000\mu\text{F}$ erreichen. Das Elektrolyt, eine Salz- oder Säurelösung, ist bei diesen Kondensatoren nicht das Dielektrikum, sondern eine der Elektroden. Als Isolationschicht dient hier eine Oxidschicht, die nur $0,0001\mu\text{m}$ dick ist. Die Anode besteht aus Aluminium oder Tantal, welche dann auch das Aluminiumoxid oder Tantal Oxid bilden. Aluminiumoxid hat eine Dielektrizitätskonstante zwischen 7 und 8, während Tantal höhere Werte von bis zu 26 erreicht. Bei Elektrolytkondensatoren ist die korrekte Polung außerdem sehr wichtig. Eine falsche Polung führt zur Selbstzerstörung des Kondensators. Elektrolytkondensatoren haben hohe Verlustfaktoren von 10^{-1} bis 0,52.²⁵

2.3.2 Ohm'sche Widerstände

Widerstände haben die Funktion elektrische Energie in Wärme umzuwandeln. Diese Funktion können sie durch verschiedene Bauarten unterschiedlich gut erfüllen. Betrachtet werden im Folgenden lediglich Festwiderstände, da sich diese im Versuchsobjekt leicht austauschen lassen. Die veränderbaren Widerstände im Effekt Pedalen sind lediglich die Potis, welche nicht ausgetauscht werden sollen.

Festwiderstände, welche meistens Schichtwiderstände sind, bestehen aus einem Keramikröhrchen, welches auf einer Kohle-, Metall- oder Metalloxidschicht sitzt. Außerdem gibt es noch Drahtwiderstände, Dünnschicht-, Metallfilm-, Metallkörper- und Dickschichtwiderstände. In der Realität sind für die verschiedenen Bauarten Widerstandsnennwerte von 1Ω bis zu $22\text{M}\Omega$ möglich.²⁶ Vergleichen kann man die unterschiedlichen Widerstände, indem man gewisse Eigenschaften betrachtet, die etwas über die Qualität und Präzision des Widerstandes aussagen.

²⁴ Bernstein, Herbert (2015): Bauelemente der Elektronik. Berlin/Boston: De Gruyter Oldenbourg, S.169-171

²⁵ Bernstein, Herbert (2015): Bauelemente der Elektronik. Berlin/Boston: De Gruyter Oldenbourg, S.178-184

²⁶ Bernstein, Herbert (2015): Bauelemente der Elektronik. Berlin/Boston: De Gruyter Oldenbourg, S.75

Wichtig hierfür ist zum einen die Toleranz des Widerstandswertes, welcher in Ω angegeben wird. Sie sagt aus, wie groß die die Abweichung des tatsächlichen Widerstandes in Ω von dem aufgedruckten Nennwert sein kann. In der Praxis sind Toleranzen von 20% bis 0,001% möglich.²⁷

Ein weiterer relevanter Wert ist der Temperaturkoeffizient TK. Der Nennwert eines Widerstandes gibt generell nur den Widerstandsnennwert bei 20°C an. In Abhängigkeit der Temperatur fällt der Wert des Widerstandes je nach Widerstandsmaterial. Der Temperaturkoeffizient wird meistens in ppm/K angegeben und lässt sich wie folgt definieren:

$$TK = (1\Omega/20K) \cdot (1/100\Omega) = +0,5+10^{-3} \cdot 1/K$$

Die letzte wichtige Eigenschaft für die qualitative Unterscheidung von Widerständen ist die Belastbarkeit. Sie definiert die maximal zulässige elektrische Leistung, die einem Widerstand zugeführt werden darf. Die Belastbarkeit ist außerdem temperaturabhängig und wird deswegen meist für 40°C und oft zusätzlich für 70°C angegeben. Definiert wird die Belastbarkeit eines Widerstandes wie folgt:

$$P_{max} = \alpha_{th} \cdot A_O(\vartheta_{max} - \vartheta_0) = (\vartheta_{max} - \vartheta_0) / R_{th}$$

α_{th} ...Wärmeaustauschkoeffizient

A_O ...Oberfläche des Bauelements

ϑ_{max} ...maximal zulässige Oberflächentemperatur

ϑ_0 ...Umgebungstemperatur

R_{th} ...Wärmewiderstand

Drahtwiderstände haben zwar keine schlechten Toleranzen, und geringe Temperaturkoeffizienten, allerdings sind sie aufgrund ihrer Baugröße nicht kompakt genug für den Einsatz in einem Gitarreneffektpedal.²⁸

²⁷ Vgl. Bernstein, Herbert (2015): Bauelemente der Elektronik. Berlin/Boston: De Gruyter Oldenbourg, S.76

²⁸ Vgl. Bernstein, Herbert (2015): Bauelemente der Elektronik. Berlin/Boston: De Gruyter Oldenbourg, S.118

Dickschichtwiderstände sind für hochohmige Verwendungen vorgesehen, weswegen sie nicht präzise genug sind. Ihre Toleranzen liegen zwischen 5% und 10%,²⁹ und sie haben einen relativ hohen Temperaturkoeffizienten. Außerdem werden hochohmige Widerstände für das Gitarreneffektpedal nicht benötigt.

Kohleschichtwiderstände werden sehr häufig verwendet. Sie sind vor allem sehr günstig. Ihre Toleranz ist mit 5% allerdings relativ hoch, genauso wie der Temperaturkoeffizient, der mit 1500ppm/K der höchste von allen Bauarten ist.

Metallschichtwiderstände haben gute Eigenschaften. Sie weisen geringe Toleranzen von meistens 0,1% auf und haben Temperaturkoeffizienten von 1 bis 100ppm/K. Sie haben außerdem die gleiche Bauform wie Kohlewiderstände, so dass man Kohlewiderstände problemlos mit Metallschichtwiderständen austauschen kann.

Metallkörper- und Metallfilmwiderstände haben extrem gute Toleranzen von bis zu 0,005%. Außerdem erreichen sie Temperaturkoeffizienten unter 1ppm/K. Diese Bauart ist allerdings sehr teuer.

Metalloxidschichtwiderstände sind sehr günstig im Preis, jedoch haben sie im Handel eine Toleranz von 5% und Temperaturkoeffizienten von 200ppm/K.³⁰

Dünnschichtwiderstände sind auch für Widerstandswerte von wenigen Ohm bis hin zu mehreren k Ω erhältlich. Sie sind im Handel erhältlich mit einer Toleranz von 1% und einem Temperaturkoeffizienten von 20ppm/K.³¹

²⁹ Bernstein, Herbert (2015): Bauelemente der Elektronik. Berlin/Boston: De Gruyter Oldenbourg, S.103

³⁰ Vgl. <https://www.reichelt.de/5-Metalloxidwiderstaende/2/index.html?ACTION=2&LA=2&GROUPID=8378;SID=94Xdgvc6wQAT4AAGajHFK363e338d9e52b12f2310127ee6e09e1c> (04.12.2019)

³¹ Vgl. <https://www.reichelt.de/Duennschichtwiderstaende/2/index.html?ACTION=2&LA=2&GROUPID=8367> (04.12.2019)

2.3.3 Dioden

“Dioden dienen ganz allgemein als Ventil für den Strom. Durch eine Diode kann der Strom in einer Richtung fließen, in der anderen Richtung ist der Stromfluss gesperrt.”³² Sie bestehen aus zwei Zonen, der N- und der P-Zone. Diese sind durch eine Sperrschicht getrennt. Über diese Sperrschicht bildet sich ein Potential. Der Strom kann nur in eine Richtung fließen, da Dioden eine Sperr- und eine Durchlassrichtung haben.³³

Dioden werden durch eine Durchlass- und eine Schwellspannung definiert. Die Durchlassspannung gibt an, ab welcher Spannung eine Diode den Strom in Durchlassrichtung durchlässt. Abhängig ist sie von der Temperatur, dem Strom und dem Material der Diode.³⁴

Die Sperrspannung gibt an bis zu welcher Spannung in Sperrrichtung eine Diode Strom verkräftet. Wird die Sperrspannung überschritten zerstört sich die Diode, weil Strom in Sperrrichtung fließt.³⁵

Dioden gibt es ebenfalls in verschiedenen Bauformen. Siliziumdioden sind die am häufigsten eingesetzten Dioden. Sie haben eine Durchlassspannung von 0,7V einem Strom von über 100mA und Sperrspannungen bis zu 1000V. Germanium Dioden verhalten sich ähnlich, werden aufgrund ihrer niedrigeren Durchlassspannung von 0,3V heute nur noch sehr selten eingesetzt.³⁶

Leuchtdioden, kurz LED, sind Halbleiterdioden die in Durchlassrichtung Licht aussenden. “Die Lichtanstiegs- und Abfallzeit liegt unter einer Mikrosekunde.”³⁰ Aufgrund verschiedener Materialien sind verschiedene Wellenlängen für LEDs möglich. Die Durchlassspannung ist umso höher, je kurzwelliger das Licht ist (*siehe Tabelle 1*) Verschiedenfarbige LEDs haben also auch unterschiedliche Durchlassspannungen. Diese liegen zwischen 1V und 4V.

³² Vgl. Friesecke, Andreas (2014): Die audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker. 2. Auflage. Berlin, Germany, Boston, Massachusetts: De Gruyter Saur (de Gruyter Reference), S.548

³³ Vgl. Böhmer, Erwin; Ehrhardt, Dietmar; Oberschelp, Wolfgang (2010): Elemente der angewandten Elektronik. Kompendium für Ausbildung und Beruf. 16., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, S.30-31

³⁴ Vgl. Friesecke, Andreas (2014): Die audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker. 2. Auflage. Berlin, Germany, Boston, Massachusetts: De Gruyter Saur (de Gruyter Reference), S.552-553

³⁵ Böhmer, Erwin; Ehrhardt, Dietmar; Oberschelp, Wolfgang (2010): Elemente der angewandten Elektronik. Kompendium für Ausbildung und Beruf. 16., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, S.40

³⁶ Friesecke, Andreas (2014): Die audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker. 2. Auflage. Berlin, Germany, Boston, Massachusetts: De Gruyter Saur (de Gruyter Reference), S.554

Tabelle 1: Durchlassspannung verschieden farbiger Dioden (Vgl. Friesecke Andreas (2014): Die audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker 2. Auflage. Berlin, Germany, Boston, Massachusetts: De Gruyter Saur (de Gruyter Reference), S.554

Farbe der Diode	Durchlassspannung in V
Infrarot	ca. 1,0
Rot	ca. 1,5
Grün	ca. 2,1
Orange	ca. 2,2
Blau	ca. 3,5
Ultraviolett	ca. 3,5
Weiß	ca. 3,5 - 4

Schottky Dioden haben sehr niedrige Durchlassspannungen zwischen 0,2V und 0,4V.³²

Eine Besonderheit weist die Zehnerdiode auf. Schaltet man sie in Sperrrichtung, lassen sie ab einer bestimmten Spannung trotzdem Strom durch. Sie werden häufig in Schutzschaltungen verwendet oder um die Spannung zu stabilisieren. Sie werden mit einer Zehnerspannung von 2V bis 300V angegeben.³²

2.3.4 Optokoppler

Optokoppler gehören zum Spezialgebiet der Optoelektronik. Prinzipiell geht es dabei um die Umwandlung von Licht in ein elektrisches Signal und umgekehrt. Ein Optokoppler besteht grundlegend aus einer Lichtquelle und einem Lichtempfänger, die beide zusammen in einem geschlossenen Gehäuse verbaut werden. Als Lichtquelle werden meistens Leuchtdioden eingesetzt, da sie sich sehr schnell ein- und ausschalten lassen im Vergleich zu herkömmlichen Glühlampen. Das elektrische Signal wird durch die LED in Licht umgewandelt und dann vom Lichtempfänger wieder in ein elektrisches Signal umgewandelt.

Als Lichtempfänger lassen sich verschiedene Bauelemente verwenden. In Optokopplern werden meist Fototransistoren, Fotodioden oder Fotowiderstände (LDR) eingesetzt. Durch die optische Übertragung des Signals erfolgt eine galvanische Trennung, sodass beispielsweise Störgeräusche wie Brummen eliminiert werden.

Optokoppler lassen sich nach dem Stromübertragungsfaktor, kurz CTR (Current Transfer Ratio) vergleichen. Dieser Faktor liegt im aktiven Betrieb zwischen 0,1 und 1 sofern keine Übersteuerung vorliegt. Mit dieser Kenngröße lässt sich die Empfindlichkeit des Optokopplers definieren.³⁷

Des Weiteren haben Optokoppler auch eine Grenzfrequenz bis zu der sie elektrische Signale übertragen können. Standard Optokoppler mit Fototransistoren haben eine Grenzfrequenz von bis zu 100kHz, Darlington Optokoppler nur wenige kHz. Schnelle Optokoppler mit Fotodioden erreichen Grenzfrequenzen von 1MHz.³⁹

Fototransistoren sind Bipolartransistoren, die als Basiskollektordiode eine Fotodiode haben. Wird sie von der LED beleuchtet, steigt somit der Kollektorstrom. Durch das Ein- und Ausschalten der LED entstehen Schaltzeiten, die für einen Zeitverlauf der Spannung sorgen. Es dauert also eine gewisse Zeit, bis der Kollektorstrom auf sein Maximum gestiegen ist.³⁸

Fotodioden sind Dioden mit einer lichtempfindlichen Zone in der Sperrschicht. Werden sie nicht beleuchtet, funktionieren Fotodioden genauso wie normale Halbleiterdioden. Wenn die Sperrschicht jedoch beleuchtet wird, wird der Sperrstrom erhöht, weil sich freie Elektronen Lochpaare bilden.³⁹

Fotowiderstände, genannt LDR (Light Dependent Resistor), lassen sich durch Beleuchtung steuern. Bei Beleuchtung erhöht sich die Leitfähigkeit des LDR, welche abhängig von der Intensität des Lichts, der Temperatur und der Wellenlänge des Lichts ist. Wenn keine Beleuchtung stattfindet, erhöht sich der Widerstand auf den sogenannten Dunkelwiderstand, der meist mehrere hundert k Ω bis M Ω beträgt.⁴⁰

³⁷ Böhmer, Erwin; Ehrhardt, Dietmar; Oberschelp, Wolfgang (2010): Elemente der angewandten Elektronik. Kompendium für Ausbildung und Beruf. 16., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, S.278

³⁸ Vgl. Böhmer, Erwin; Ehrhardt, Dietmar; Oberschelp, Wolfgang (2010): Elemente der angewandten Elektronik. Kompendium für Ausbildung und Beruf. 16., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, S.276

³⁹ Vgl. Böhmer, Erwin; Ehrhardt, Dietmar; Oberschelp, Wolfgang (2010): Elemente der angewandten Elektronik. Kompendium für Ausbildung und Beruf. 16., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, S.38

⁴⁰ Friesecke, Andreas (2014): Die audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker. 2. Auflage. Berlin, Germany, Boston, Massachusetts: De Gruyter Saur (de Gruyter Reference), S.479

Fotowiderstände sind im Vergleich zu Fototransistoren und Fotodioden besonders träge. Es dauert mehrere Millisekunden bis Sekunden, bis sich der LDR auf seinen neuen Widerstandswert eingestellt hat.⁴¹ Aufgrund dieser Trägheit sind Optokoppler mit Fotowiderständen gut geeignet für Kompressor Schaltungen und können sogar anstelle eines VCA eingesetzt werden.

2.3.5 Operationsverstärker

Operationsverstärker, kurz OPV, sind analoge integrierte Schaltkreise. Sie bestehen aus einer Schaltung von mehreren elektronischen Bauelementen, vor allem Widerstände, Kondensatoren und Transistoren.⁴²

Sie dienen grundsätzlich der Verstärkung und Dämpfung von Signalen um einen Verstärkungsfaktor v . Sie besitzen einen invertierenden und nichtinvertierenden Eingang, deren Spannungsdifferenzen mit dem Verstärkungsfaktor v ausgeglichen werden.⁴³

Im Inneren eines OPV befinden sich meist RC-Glieder, welche den Frequenzgang des OPV in Form von Hochpass, Tiefpass oder Bandpass begrenzen. Für Audioanwendungen sollten auf jeden Fall Frequenzen bis 20kHz durchgelassen werden.⁴⁴

Neben dem Frequenzgang sind für die Auswahl eines Operationsverstärkers auch das Spannungs- und Stromrauschen wichtige Kennwerte. Sie geben an, welchen Eingangsrauschstrom ein OPV hat. Das Rauschen wird am Ausgang verstärkt erscheinen und beeinflusst das Gesamtrauschen des Signals.⁴⁵

⁴¹ Vgl. Böhmer, Erwin; Ehrhardt, Dietmar; Oberschelp, Wolfgang (2010): Elemente der angewandten Elektronik. Compendium für Ausbildung und Beruf. 16., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, S.26

⁴² Vgl. Hering, Ekbert; Bressler, Klaus; Gutekunst, Jürgen (2005): Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler: Springer Berlin Heidelberg, S.320

⁴³ Vgl. Hering, Ekbert; Bressler, Klaus; Gutekunst, Jürgen (2005): Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler: Springer Berlin Heidelberg., S.324

⁴⁴ Vgl. Friesecke, Andreas (2014): Die audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker. 2. Auflage. Berlin, Germany, Boston, Massachusetts: De Gruyter Saur (de Gruyter Reference), S.571

⁴⁵ Vgl. Friesecke, Andreas (2014): Die audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker. 2. Auflage. Berlin, Germany, Boston, Massachusetts: De Gruyter Saur (de Gruyter Reference), S.574

2.3.6 RC-Glieder

RC-Glieder sind Filterschaltungen die nötig sind, um Frequenzen zu sperren oder zu entnehmen. Mit ihnen lassen sich Hochpass-, Tiefpass- und Bandpass-Schaltungen realisieren.⁴⁶

Nötig sind diese Filterschaltungen, um bestimmte Frequenzanteile eines Signals abzuschwächen, herauszufiltern oder zu unterdrücken. Dadurch können Störgeräusche abgeschwächt oder klangliche Veränderungen vorgenommen werden. Man kann sie also beispielsweise benutzen, um tiefe oder hohe Frequenzen durchzulassen oder zu sperren. Man kann bestimmte Frequenzanteile aber auch gezielt anheben oder abschwächen.

RC-Glieder bestehen aus zwei elektronischen Bauteilen, aus einem Ohm'schen Widerstand und einem Kondensator, welche parallel zu einander geschaltet werden. Je nach Reihenfolge der beiden Bauteile ergibt sich ein Hoch- oder ein Tiefpass. Die Kombination beider Anordnungen ergibt einen Bandpass, welcher den Frequenzgang nach oben und nach unten begrenzen kann.⁴⁷

Die Grenzfrequenz f_G , ab welcher das Signal nicht mehr durchgelassen wird, lässt sich wie folgt definieren:

$$f_G = 1 / (2 \cdot \pi \cdot \tau)$$

$$\tau = R \cdot C$$

f_G... Grenzfrequenz

R... Widerstand

C... Kapazität

⁴⁶ Vgl. Hering, Ekbert; Bressler, Klaus; Gutekunst, Jürgen (2005): Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler: Springer Berlin Heidelberg, S.360

⁴⁷ Vgl. Friesecke, Andreas (2014): Die Audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker. 2. Aufl. Berlin: De Gruyter (Reference), S.316-319

2.4 Klirrfaktor

Der Klirrfaktor, kurz THD (Total Harmonic Distortion) gibt an wie stark die Obertöne, die bei der Übertragung eines Signals entstehen, im Vergleich zum gesamten Ausgangssignal sind. Er bildet das Verhältnis des Effektivwertes aller Harmonischen zum Effektivwert des verzerrten Gesamtsignals ab.⁴⁸

Der Klirrfaktor k wird wie folgt definiert:

$$k = \sqrt{(U_{2f}^2 + U_{3f}^2 + U_{4f}^2 + \dots)} / U_{ges}$$

k...Klirrfaktor (in %)
 U_{2f}, U_{3f}, \dots Spannungen der Harmonischen
 U_{ges} ...Spannungen des verzerrten Gesamtsignals

Der Klirrfaktor gibt an, wie stark ein Signal verzerrt wurde. Bei den Verzerrungen, die mit dem Klirrfaktor gemessen werden, handelt es sich um nicht-lineare Verzerrungen. Diese entstehen durch die Verstärkung eines Sinus- oder komplexen Signals und sind abhängig von der Amplitude. Bei einer nicht-linearen Verzerrung entstehen Obertöne, auch genannt Harmonische, welche ganzzahlige Vielfache der ursprünglichen Frequenz sind.⁴⁹ Bei einfachen Sinussignalen sind diese Verzerrungen leichter hörbar als bei komplexen Signalen, die bereits viele Obertöne beinhalten. Beispielsweise bei einer bereits verzerrten Gitarre sind gerätebedingte nicht-lineare Verzerrungen also weniger zu hören als bei einer unverzerrten Gitarre.

Um den Klirrfaktor eines Übertragungsgliedes, also in diesem Fall eines Gitarreneffektpedals zu messen, wird üblicherweise ein Sinussignal mit der Frequenz 1kHz als Eingangssignal gewählt. Im Ausgang misst man dann einmal das Gesamtsignal, welches die erzeugten Harmonischen und das Eingangssignal beinhaltet.

⁴⁸ Vgl. ARD.ZDF medienakademie (2008): Handbuch der Tonstudioteknik. 7. völlig neu bearb. u. erw. Aufl. 2008. Berlin, New York: Walter de Gruyter, S.565

⁴⁹ Vgl. ARD.ZDF medienakademie (2008): Handbuch der Tonstudioteknik. 7. völlig neu bearb. u. erw. Aufl. 2008. Berlin, New York: Walter de Gruyter, S.561

Außerdem misst man in einer zweiten Messung das Gesamtsignal, das mit einem Hochpass versehen ist, der das Sinussignal von 1kHz nicht durchlässt. Die Differenz der beiden Messungen ergibt den Klirrfaktor.⁵⁰

2.5 Rauschen

Jedes analoge Übertragungsglied in der Tontechnik erzeugt ein gewisses Eigenrauschen. Dieses ist bedingt von den elektronischen Bauelementen des Gerätes, wie von Ohm'schen Widerständen, Transistoren oder Kondensatoren. Das Rauschen ist eine Störspannung. Eine andere Störspannung das Netzbrummen. Der Boss CS-3 Kompressor hat ein sehr stark hörbares Grundrauschen. Aufgrund der Kompressorschaltung wird dieses Grundrauschen bei stärkerer Kompression weiter verstärkt, weil ein Kompressor am Ende dafür sorgt, dass leise Anteile eines Signals, in dem Fall das Rauschen, im Vergleich zu den lauten Anteilen eines Signals lauter gemacht werden. Den lauten Anteil stellt in diesem Fall das Gitarrensinal dar. Um diesen unerwünschten Effekt zu reduzieren, gilt es das Grundrauschen zu verringern.

Gemessen wird das Grundrauschen eines Geräts mithilfe des Signal- Rauschabstands. Um diesen zu bestimmen, muss man zunächst die Clippinggrenze bestimmen. Diese lässt sich mithilfe des Klirrfaktors bestimmen. Dabei wird das Eingangssignal bis zum Erreichen eines maximalen Klirrfaktors erhöht. Gemessen wird ebenfalls bei 1kHz.⁵¹

Anschließend wird das Grundrauschen des Gerätes ermittelt, indem der Effektivwert des Grundrauschens gemessen wird. Aus diesen beiden Werten lässt sich schließlich der Signal-Rauschabstand mit folgender Formel berechnen:⁴⁷

$$L = 20 \log (U_{Clipping} / U_{Grundrauschen}) \quad L \dots \text{Signal-Rauschabstand (in dBU)}$$

⁵⁰ Vgl. Friesecke, Andreas (2014): Die audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker. 2. Auflage. Berlin, Germany, Boston, Massachusetts: De Gruyter Saur (de Gruyter Reference), S.1722-1723

⁵¹ Friesecke, Andreas (2014): Die audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker. 2. Auflage. Berlin, Germany, Boston, Massachusetts: De Gruyter Saur (de Gruyter Reference), S.1724

Der Signal-Rauschabstand gibt an, wie groß die Differenz des Grundrauschens eines Gerätes mit dem maximalen Pegel eines Signals ist. Somit kann bewertet werden, ob das Rauschen im Vergleich zum Nutzsignal störend ist oder nicht.

3 Entwicklung der Modifikation

3.1 Planung der Modifikation

Das erste große Ziel der Modifikation ist die Reduzierung des Klirrfaktors und des Rauschens. Um dies zu erreichen werden als erstes die einfacheren Bauteile ausgetauscht.

Kondensatoren und Widerstände lassen sich am einfachsten austauschen. Für sie kann man einfach Bauteile mit demselben Wert aber mit einer anderen Bauart verwenden. Die Schaltung und die Funktion des Pedals an sich werden damit nicht verändert. Nur die Qualität des Signalfusses wird verändert.

Der wichtigste Kennwert Ohm'scher Widerstände für die Schaltung des Kompressors ist die Toleranz in %. Der Temperaturkoeffizient ist weniger relevant, da bei einer Schaltung mit so niedrigen Spannungen keine bedeutend hohen Temperaturen entstehen. Am besten sollen also Widerstände ausgewählt werden, welche eine möglichst niedrige Toleranz nachweisen. Zusätzlich ist bei der Auswahl des besten Bauteils auch die Baugröße und der Preis entscheidend. Im Boss Compression Sustainer 3 sind werkseitig Kohleschichtwiderstände eingebaut. Diese sind mit einer Toleranz von 5% jedoch sehr ungenau.

Im Theoretischen Teil unter Abschnitt 2.3.2 wurde recherchiert, dass Metallschichtwiderstände besonders niedrige Toleranzen von bis zu 0,1% haben.

Zwar können Metallfilmwiderstände noch niedrigere Toleranzen aufweisen, jedoch ist diese Bauart nicht leicht zu erhalten und zudem sehr teuer.

Eine Recherche in den Onlineportalen conrad.de, reichetl.de und musikding.de hat ergeben, dass Metallschichtwiderstände der Firma „TRU COMPONENTS“ eine ideale Wahl für die Widerstände sind. Sie haben eine Toleranz von 1% bei einem günstigen Preis. Zudem sind sie in der Dimension MF0207 erhältlich, sind also laut Datenblatt (*siehe Anlage 3*) 6.3mm groß.

Diese Bauform ist zwar minimal größer als die verbauten Kohleschichtwiderstände mit MF0204 (3.4mm) passt jedoch noch auf die Platine des Boss CS3.

Leider gab es nicht alle benötigten Widerstandswerte bei dieser Firma in dieser Bauform. Deswegen mussten ein paar wenige Metallschichtwiderstände von der Firma YAGEO gekauft werden, welche ebenfalls in der Bauform MF0207 mit einer Toleranz von 1% geliefert werden (*siehe Anlage 4*).

Es gibt zwar auch Metallschichtwiderstände mit Toleranzen von 0,1% in der Bauform MF0207, jedoch kosten diese bedeutend mehr und es gibt sie nicht mit allen benötigten Widerstandswerten.

Kondensatoren lassen sich ebenfalls austauschen, indem man Kondensatoren mit gleicher Kapazität aber unterschiedlicher Bauart verwendet. Im Boss CS3 Kompressor sind werkseitig vor allem Elektrolytkondensatoren, Keramikkondensatoren und Tantal Kondensatoren verwendet.

Besonders die Elektrolyt- und Keramikkondensatoren, die verbaut worden und nicht nur für die Spannungsregulierung zuständig sind, sollten ausgetauscht werden, da sie relativ hohe Verlustfaktoren und Toleranzen aufweisen, wie bereits unter Punkt 2.3.1 analysiert wurde.

Außerdem sind auch Polyesterkondensatoren verbaut, welche bereits gute Toleranzen und Verlustfaktoren haben, allerdings noch nicht die besten. Kunststofffolienkondensatoren, weisen die besten Eigenschaften auf.

Polyester-Folienkondensatoren gehören ebenfalls zu den Kunststofffolienkondensatoren. Nach erneuten Recherchen in den Online Portalen conrad.de, reichelt.de und musikding.de wurden die Folienkondensatoren der Firma WIMA in den Fokus gestellt. Diese haben geringe Toleranzen und sehr geringe Verlustfaktoren.

Im besten Fall sollen für jeden Kondensator, der ausgetauscht werden soll, Kondensatoren der Serie MKP2 (*siehe Anlage 6*), MKP4 (*siehe Anlage 7*) oder FKP2 (*siehe Anlage 5*) von WIMA verwendet werden. Dabei handelt es sich um Polypropylen-Folien Kondensatoren. Diese haben Toleranzen von 5% oder bei höheren Kapazitäten von maximal 10% und Verlustfaktoren von $5 \cdot 10^{-4}$ bis $10 \cdot 10^{-4}$, jeweils abhängig von der Kapazität und Frequenz.

Da nicht jede benötigte Kapazität in dieser Serie erhältlich oder manche Kapazitäten in der MKP Serie zu groß oder zu teuer waren, musste vor allem bei höheren Kapazitäten auch auf die Serie MKS2 von WIMA zurückgegriffen werden (*siehe Anlage 8*). Dabei handelt es sich um Polyester-Folienkondensatoren. Diese haben auch Toleranzen von 5% bis 10%, jedoch höhere Verlustfaktoren die zwischen $8 \cdot 10^{-3}$ bis $30 \cdot 10^{-3}$ liegen. Der Kondensator C1db wurde mit dem korrekten Wert nicht von WIMA gefunden. Aufgrund dessen wird für ihn ein Kondensator der Firma Würth Elektronik eingesetzt (*siehe Anlage 9*).

Ein komplexeres Bauteil, welches wichtig für den Aufbau des Kompressors ist sind die Operationsverstärker. Diese lassen sich nicht beliebig austauschen, da sie verschieden logisch aufgebaut sind und andere Schaltungen haben. Austauschen kann man sie nur, wenn sie eine identische Belegung der Pins haben und ähnlich dimensioniert sind. Ein Austausch eines solchen Bauteils kann großen Einfluss auf den Klang und das Verhalten des Kompressors haben, da er ein OPV als Regelverstärker oft als „Herzstück“ eines Kompressors bezeichnet wird. Der im Internet bekannte Modder Monte Allums tauscht in seiner Modifikation zum Beispiel den werkseitig eingebauten IC M5218L durch einen NE5532P Chip aus. Ein Einbau dieses ICs an der Stelle des IC2 soll überprüft werden.

Das letzte Bauteil, welches ausgetauscht werden kann, sind die Dioden. In dem Boss CS3 sind werkseitig Siliziumdioden des Typs 1SS133 verbaut worden. Ausschließlich die Diode D9 ist eine Zehnerdiode und die Diode D1 ist eine Siliziumdiode des Typen 1n4001. Prinzipiell sind Siliziumdioden hochwertiger als Germaniumdioden, welche in der professionellen Audiotechnik kaum noch verwendet werden. Ein Austausch der Dioden ist also nicht zwingend notwendig. Jedoch kann ein Austausch einzelner Dioden oder Dioden Paare durch eine Germaniumdiode den Klang verändern, ohne die Qualität der Signalübertragung wesentlich zu verschlechtern. Auch das Austauschen einer Drahtbrücke kann den Klang des Pedals stark verändern. Ein experimenteller Versuch wäre es auch eine Siliziumdiode durch eine Leuchtdiode auszutauschen.

An verschiedenen Stellen soll ein Austausch auf klangliche Veränderungen mit Einfluss auf den Frequenzgang überprüft werden. In einem Forum Beitrag im Forum von „Das Musikding“, welches ein Forum für Menschen ist, die gerne Pedale selbst bauen oder modifizieren, wurde zum Beispiel der Austausch der Diode D10 durch eine Drahtbrücke vorgeschlagen.⁵² Durch einen Blick auf die Platine fällt jedoch auf, dass R32 und D10 bereits durch eine Drahtbrücke ersetzt wurden, was vermutlich daran liegt, dass es sich um eine aktuellere Version des Boss CS3 handelt, welche erst vor ca. 2 Jahren neu gekauft wurde. In einem weiteren Forum Beitrag wurde eine Liste von mehreren Teilnehmern zusammengetragen, die das Boss CS3 Pedal modifizierten. Hier ist zu sehen, dass viele Teilnehmer die Dioden D2, D3 und D6 durch Germaniumdioden des Typs 1n34 austauschten. Dieser Eingriff soll ebenfalls ausprobiert werden, um herauszufinden, warum mehrere Personen den gleichen Eingriff vorgenommen

⁵² Vgl. Musikding Forum. Online verfügbar unter <https://musikding.rocks/wbb/index.php/Thread/10497-Boss-CS-3-Tuning-OP-Amps/?postID=171836>, zuletzt geprüft am 14.01.2020.

haben.⁵³ Auch der bekannte Modder Monte Allums, tauscht oft Siliziumdioden durch Germanium Dioden aus und beschreibt die klangliche Veränderung so, als würde es einem optischen Kompressor oder einem Röhren Kompressor näher kommen.⁵⁴

Um auszuprobieren, welchen Einfluss eine Leuchtdiode an derselben Stelle hat, soll für D2, D3 und D6 testweise auch eine LED eingesetzt werden.

Weitere klangliche Veränderungen des Kompressors sind nur möglich, wenn für bestimmte Bauteile nicht nur die Bauart des Elements, sondern auch der Wert geändert wird.

Man könnte also an bestimmten Stellen zum Beispiel Ohm'sche Widerstände mit anderen Werten einsetzen. Ein erneuter Blick auf die Liste verschiedener Modifikationen des Boss CS3⁴⁹ zeigt, dass mehrere Modder für den Widerstand R5 470 Ω statt 10k Ω eingesetzt haben. Das soll für mehr „Body“ sorgen. Für den Widerstand R5 sollen also verschiedene Werte ausprobiert werden, welche sich um den Wert 470 Ω bewegen. Für R36 gilt das Gleiche. Hier sollen ebenfalls Werte zwischen 2,2k Ω und 100 Ω ausprobiert werden.

Für Kondensatoren funktioniert es ähnlich. Auch hier können Kondensatoren derselben Bauart mit anderen Farad Werten eingesetzt werden. Hier sollen verschiedene Werte für die Kondensatoren C2 und C13 ausprobiert werden. Ebenfalls interessant könnte die Veränderung der Kapazität des Kondensators C1dB werden. Dieser befindet sich auf der externen Platine und ist mit dem „Tone“-Poti des Pedals verbunden (*siehe Anlage 2*). Da der „Tone“ Poti generell als EQ funktioniert, kann die klangliche Veränderung hier besonders großen Einfluss haben.

Ziel der klanglichen Veränderung ist es, sowie in der Einleitung formuliert wurde, hauptsächlich einen bassbetonteren Sound zu gewinnen, der vor allem für tiefere Stimmungen der Gitarre oder für 7-saitige Gitarren besser geeignet ist.

⁵³ Vgl. https://www.aronnelson.com/gallery/main.php?g2_view=core.DownloadItem&g2_itemId=47176, zuletzt geprüft am 14.01.2020.

⁵⁴ Vgl. https://www.monteallums.com/pedal_mods_CS3.html, zuletzt geprüft am 14.01.2020.

Das Boutique Effektpedal Warden V2 Optical Compressor von EarthQuaker Devices verwendet eine grundlegend andere Compression als der BOSS-CS3 Compression Sustainer. Der Austausch eines IC der BOSS Variante durch einen Optokoppler wäre zwar eine Möglichkeit, jedoch müsste man für einen solchen Eingriff einen großen Teil der Schaltung komplett verändern und teilweise neu dimensionieren. Damit wäre das BOSS-CS3 nicht mehr dasselbe Pedal und es würde mehr Sinn machen ein komplett neues Pedal zu entwickeln, welches den Einsatz eines Optokopplers vorsieht. Der Einbau eines Optokopplers wird folglich nicht geplant.

3.2 Versuchsaufbau

Um die vorgenommenen Veränderungen sinnvoll vergleichen zu können, ist ein spezieller Versuchsaufbau nötig, der zu verwendbaren Messergebnissen und Hörproben führt. Dafür müssen als erstes Signale ausgewählt werden, welche dann durch das Pedal geleitet werden, um die Veränderung betrachten zu können. Das Signal wird dann in den Eingang des Gitarrenpedals geleitet. Der Ausgang des Gitarreneffekt Pedals wird dann mit dem Eingang des Audio Interfaces verbunden, um das veränderte Signal zu betrachten.

Als Software soll Room EQ Wizard verwendet werden. Mit dieser Software lassen sich Signale wie Rauschen oder Sinus generieren und es lassen sich auch komplexe Signale messen. Das erzeugte Signal soll über einen Ausgang des Audio USB Interfaces geschickt werden.

Als Interface wird das Focusrite Saffire 6 USB verwendet, welches vier Audio-Ausgänge besitzt. Diese Audioausgänge geben ein symmetrisches Line-Signal aus. Dieser Pegel liegt bei 0,0775V. Das Gitarreneffektpedal ist allerdings für ein unsymmetrisches Instrumenten Signal mit einem deutlich niedrigeren Pegel ausgelegt. Das Line-Signal würde mit einem verzerrten Frequenzgang und mit einem erhöhten Klirrfaktor wiedergegeben werden. Außerdem hat ein Gitarreneffektpedal eine hohe Eingangsimpedanz, während das Audiointerface eine recht niedrige Ausgangsimpedanz hat.

Um dieses Problem zu lösen, benutzen viele Audio Ingenieure eine DI-Box im umgekehrten Sinne. Man verbindet dafür den Ausgang des Audio Interfaces mit dem Ausgang der DI-Box und den Eingang der DI-Box mit dem Eingang des Gitarreneffektpedals. (siehe *Abbildung 4*)

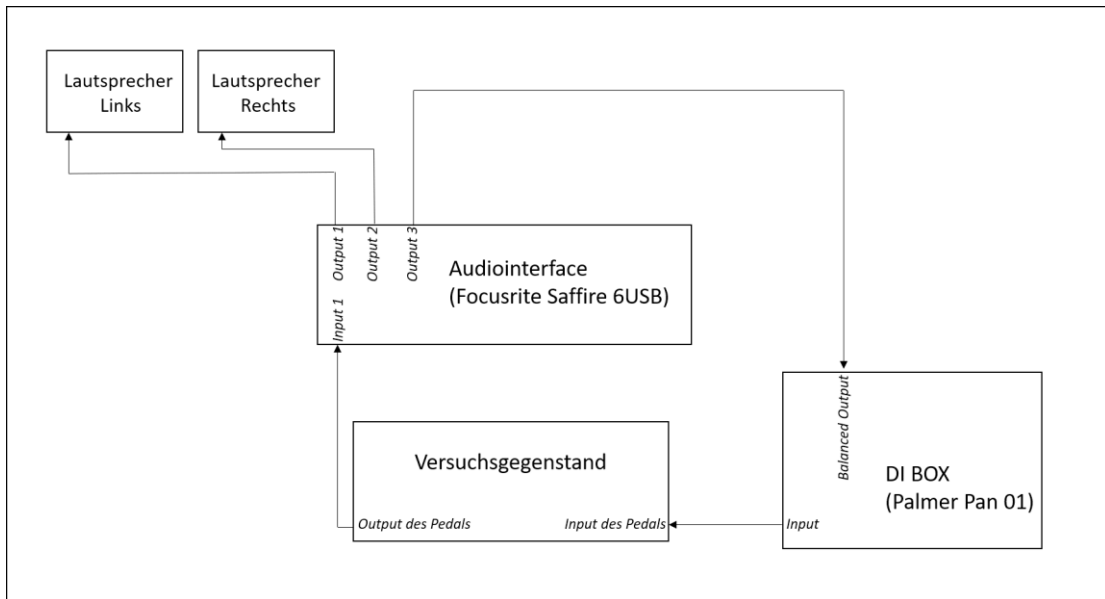


Abbildung 4: Versuchsaufbau Skizze

Eine DI-Box besteht grundlegend aus einem Übertrager, welcher den Instrumentenpegel, zum Beispiel einer Gitarre, so anpasst, dass er für einen Mikrofoneingang geeignet ist. Umgekehrt funktioniert eine DI Box auch. Allerdings muss der Pegel in der Software noch verringert werden, da der Ausgangspegel des Interfaces nicht dem Mikrofonpegel entspricht, sondern noch etwas höher liegt.

Diese Variante des sogenannten Re-Ampings ist zwar nicht ganz optimal, da die Impedanz und Pegelanpassung nicht exakt diese ist, die einem Gitarrensinal entspricht. Sie verbessert das Ergebnis aber deutlich. Das Ausgangssignal des Gitarreneffektpedals wird dann mit dem Instrumenteneingang des Audio Interfaces verbunden. Dieser ist für den Pegel einer Gitarre optimal.

Dieser Aufbau insgesamt ergibt das Re-Amping. In Tonstudios wird das genutzt, um ein Gitarrensinal, welches mithilfe einer DI-Box aufgezeichnet wurde, nachträglich durch einen Gitarrenverstärker oder Gitarreneffekt zu schleifen. Dadurch erhält man die Möglichkeit ein Signal, das direkt aus der Gitarre unverändert kam beim Mixing noch verschieden anzupassen.

Das Re-Amping Verfahren soll auch hier genutzt werden. Um die klanglichen Veränderungen nach den Installationen der Modifikationen beurteilen zu können, wird im Voraus eine oder mehrere Gitarrenspuren aufgenommen. Sie werden

aufgenommen, indem die Gitarre direkt mit dem Instrumenteneingang des Audio Interfaces verbunden wird. Das aufgezeichnete Signal kann dann im Anschluss mehrmals durch das Gitarreneffektpedal geleitet werden. Dadurch wird die Verfälschung des Gitarrenspielers vermieden, denn dieser kann ein bestimmtes Gitarrenriff nicht immer zu hundert Prozent gleich spielen, was zu Schwankungen im Pegel, der Dynamik und auch im Frequenzgang führen kann.

Ziel der Modifikation soll sein, dass das Pedal besonders für moderne progressive Riffs geeignet ist und somit spezielle Techniken wie "Hammer-Ons" oder "Tappings" gut verarbeiten kann. Deswegen wird ein solches Riff auch im Voraus aufgenommen. Ein weiteres Riff wird ein einfacheres Riff mit der "Fingerpicking" Technik sein, welches ähnliche Anforderungen an einen Kompressor hat.

Im Ergebnis sollen dann verschiedene Spuren für jede Veränderung am Effektpedal in einer DAW entstehen. Als DAW (Digital Audio Workstation) wird Cubase Pro 9.5 verwendet. Um diese aufzuzeichnen, wurden im Voraus zwei verschiedene Gitarrenriffs aufgenommen. Mittels Re-Amping Verfahren wird dann die voraufgezeichnete Audiospur durch das Effektpedal geleitet. Somit soll eine neue Audiospur entstehen, welche durch das analoge Effektpedal verändert wurde.

Das Routing in der Software Cubase 9.5 lässt sich über einen extra Ausgang am Audiointerface realisieren. In Cubase wurde unter der Einstellung „Audioverbindungen“ im Reiter „Externe Effekte“ ein neuer Bus hinzugefügt. Dieser wurde hier „Analoges Re-Amping“ genannt. Für diesen externen Effekt wurde dann jeweils ein Send-Bus und ein Return-Bus festgelegt (*siehe Abbildung 5*). Als Send-Bus wurde der Audioausgang 3 des Audiointerface verwendet und als Input-Bus wurde der Audioeingang 1 des Audiointerface verwendet. Anschließend wurde der neu erzeugte externe Effekt als Insert-Effekt in die Audiospur eingefügt, in welcher sich das vorher aufgenommene Gitarrenspiel befindet.

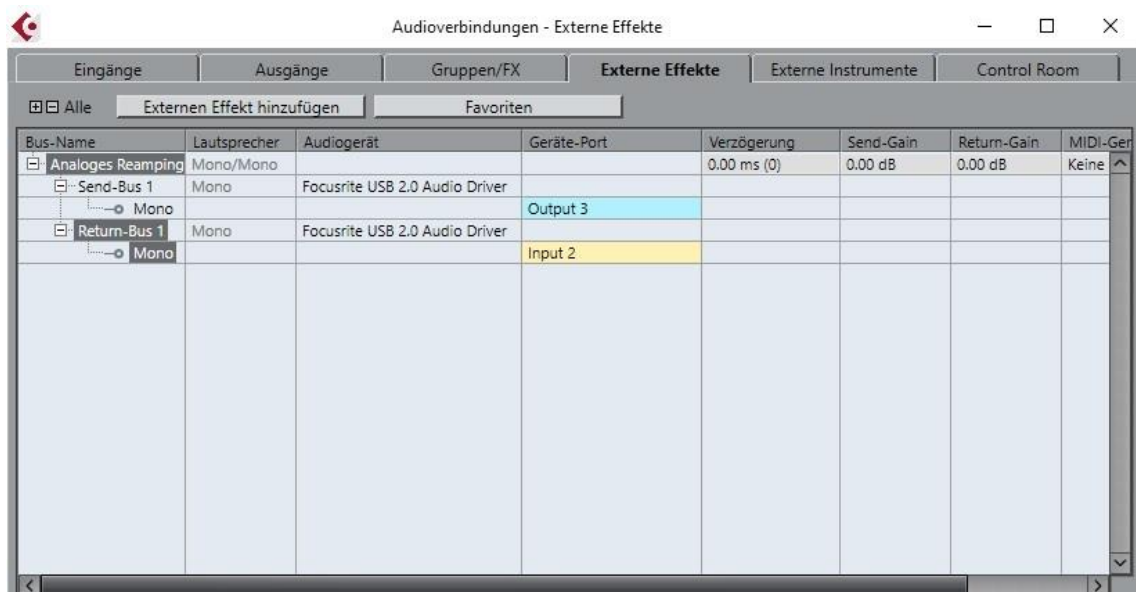


Abbildung 5: Routing für externen Effekt in Cubase 9.5

Mittels Re-Recording kann im Anschluss somit eine neue Audiospur aufgezeichnet werden, welche die Veränderung des zu untersuchenden Gitarren Effektpedals enthält. Damit das Signal im Analogen Effektpedal nicht übersteuert, wurde der „Send-Gain“ für den externen Effekt noch um -12dB verringert. Nach der Re-Recording Aufnahme sollen alle Audiospuren auf 0dB normalisiert werden, so dass ein Vergleich der Aufnahmen nicht von unterschiedlicher Lautstärke beeinflusst wird.

Für alle Audioaufnahmen wurden dieselben Einstellungen am Audiointerface und am Effektpedal verwendet. Bei beiden Effektpedalen wurden alle Poti jeweils auf 12 Uhr gestellt.

Für jede Veränderung, bzw. Modifikation, die vorgenommen wird, gibt es eine konkrete Bezeichnung, mit welcher die jeweils neu erzeugte Audiospur benannt wird. (siehe Tabelle 2)

Tabelle 1: Liste der geplanten Modifikationen

Mod-Nr.	Verändertes Bauteil	Neues Bauteil
1	alle Kohleschichtwiderstände	Metallschichtwiderstände
2	Kondensatoren	Polypropylen Kondensatoren
3	IC2 (M52118AL)	NE5532P
4.1	D2, D3 (Siliziumdiode)	Germaniumdiode 1N60M
4.2	D2, D3 (Siliziumdiode)	LED rot
5	D6 (Siliziumdiode)	Germaniumdiode 1N60M
6.1	R5 (10k Ω)	200 Ω
6.2	R5 (10k Ω)	470 Ω
6.3	R5 (10k Ω)	698 Ω
7.1	R36 (10k Ω)	47 Ω
7.2	R36 (10k Ω)	100 Ω
7.3	R36 (10k Ω)	249 Ω
8.1	C2 (22nF)	68nF
8.2	C2 (22nF)	100nF
8.3	C2 (22nF)	220nF
9.1	C13 (47nF)	100nF
9.2	C13 (47nF)	1 μ F
9.3	C13 (47nF)	2,2 μ F
10.1	C1db (27nF)	100nF
10.2	C1db (27nF)	220nF
10.3	C1db (27nF)	330nF

An bestimmten Stellen im Gitarreneffektpedal sollen Bauteile auch verschiedene Werte bekommen. Um verschiedene Werte für zum Beispiel einen ohmschen Widerstand auszuprobieren, wird mit einem Experimentiersteckbrett gearbeitet. Dafür wird ein Bauteil aus dem Pedal herausgelötet und anschließend werden beide Kontakte auf der Platine über einen Draht mit dem Steckbrett verbunden. (Siehe Abbildung 6)

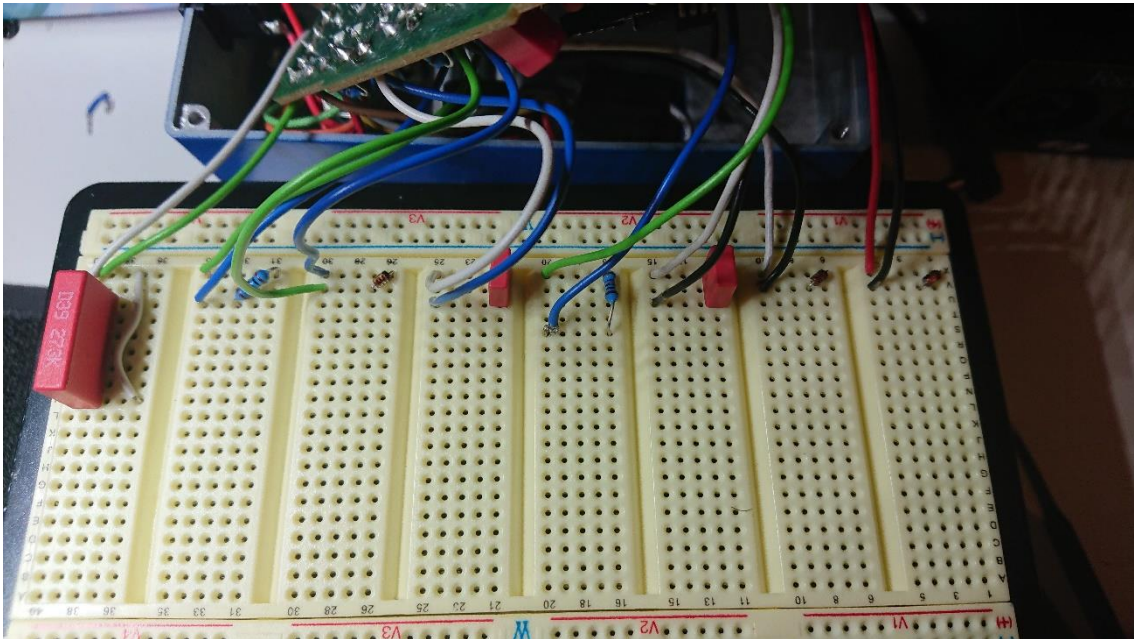


Abbildung 6: Versuchsaufbau mit Steckbrett

Zwischen den beiden Drähten auf dem Steckbrett kann man dann verschiedene Widerstände einsetzen und die Veränderung direkt anhören und aufzeichnen.

Die audiatechnischen Messungen für Klirrfaktor, Frequenzgang und dem Anteil des Grundrauschens am Gesamtsignal werden ähnlich durchgeführt. Der Versuchsaufbau bleibt derselbe.

Statt eines vorher aufgezeichneten Gitarrensigs wird jedoch ein Signal mit Room EQ Wizard generiert. Für den Klirrfaktor wird ein Sinussignal mit einer Frequenz von 1kHz generiert. Für den Frequenzgang wird ein weißes Rauschen erzeugt. Der Anteil des Grundrauschens, welches vom Pedal erzeugt wird, kann in Room EQ Wizard parallel zum Klirrfaktor gemessen werden.

Die Software Room EQ Wizard kann über den Audioeingang des Interfaces dann das Ausgangssignal des Effektpedals messen und grafisch darstellen.

Vorrausschauend wird eine deutliche Verbesserung des Klirrfaktors und des Grundrauschens durchaus vermutet. Die Datenblätter der einzelnen Bauteile zeigen zumindest Werte an, die darauf schließen lassen, dass sie einen Einfluss auf die genannten Parameter haben. Fraglich ist nur wie deutlich der Unterschied nach den Modifikationen sein wird. Eine sehr deutliche Veränderung ist im Frequenzgang des BOSS-CS3 zu erwarten. Die RC-Glieder, die an bestimmten Stellen verändert werden sollen, welche im Prinzip simple Hochpass-, Tiefpass- oder Bandpassfilter darstellen, sind grundlegend für den Frequenzgang verantwortlich.

4 Modifikation des BOSS CS-3

4.1 Auswertung der Messergebnisse

Der in Kapitel 3.2 beschriebene Versuchsaufbau wurde durchgeführt. In mehreren Einzelschritten wurden die verschiedenen elektronischen Bauteile in der Reihenfolge, wie in Tabelle 2 beschrieben, ausgetauscht. Von den verschiedenen Unterkategorien der einzelnen Modifikation (z.B. 7.1, 7.2, 7.3) wurden jeweils die relevanten Messergebnisse ausgewählt und in die Auswertung übernommen. Wenn sich die Messerwerte der Unterkategorien nicht groß unterscheiden haben wurde jeweils das aussagekräftigste ausgewählt.

Im ersten Schritt (Mod 1) wurden sämtliche Widerstände des originalen BOSS-CS3 ausgetauscht. Dafür wurde im Voraus eine Tabelle angefertigt, welche die einzelnen Werte und Bauarten für jeden Widerstand aufzeigt.

Tabelle 2: Liste der originalen Widerstände des BOSS CS-3

Bauteil Bezeichnung	Wert in Ω	Bauart
R1	10K	Kohleschichtwiderstand
R2	10k	Kohleschichtwiderstand
R3	1M	Kohleschichtwiderstand
R4	4,7K	Kohleschichtwiderstand
R5	10K	Kohleschichtwiderstand
R6	33K	Kohleschichtwiderstand
R7	2,7K	Kohleschichtwiderstand
R8	47	Kohleschichtwiderstand
R9	33K	Kohleschichtwiderstand
R10	1K	Kohleschichtwiderstand
R11	15K	Kohleschichtwiderstand
R12	47K	Kohleschichtwiderstand
R13	10K	Kohleschichtwiderstand
R14	1M	Kohleschichtwiderstand
R15	100K	Kohleschichtwiderstand
R16	100K	Kohleschichtwiderstand
R17	47K	Kohleschichtwiderstand
R18	1M	Kohleschichtwiderstand
R19	1M	Kohleschichtwiderstand
R20	56K	Kohleschichtwiderstand

R21	56K	Kohleschichtwiderstand
R22	100K	Kohleschichtwiderstand
R23	100K	Kohleschichtwiderstand
R24	1M	Kohleschichtwiderstand
R25	1M	Kohleschichtwiderstand
R26	1M	Kohleschichtwiderstand
R27	1M	Kohleschichtwiderstand
R28	10K	Kohleschichtwiderstand
R29	10K	Kohleschichtwiderstand
R30	100K	Kohleschichtwiderstand
R31	1K	Kohleschichtwiderstand
R32	220	Kohleschichtwiderstand
R33	100	Kohleschichtwiderstand
R34	1M	Kohleschichtwiderstand
R35	3,3K	Kohleschichtwiderstand
R36	10K	Kohleschichtwiderstand
R37	56K	Kohleschichtwiderstand
R38	56K	Kohleschichtwiderstand
R1db	4,7K	Kohleschichtwiderstand
R2db	22K	Kohleschichtwiderstand
R3db	22K	Kohleschichtwiderstand
R4db	4,7K	Kohleschichtwiderstand

Vor dem Austausch aller Kohlewiderstände mit Metallschichtwiderständen wurde die erste Messung mit Room EQ Wizzard gemacht. Hauptaugenmerk der Messung war der Klirrfaktor (bezeichnet mit THD) und der Anteil des Grundrauschens am Gesamtsignal (bezeichnet mit N). Gemessen wurden zuerst die Werte für das originale Pedal, so wie es der Hersteller liefert. Ein Klirrfaktor von 0,20% wurde hierbei gemessen. Der Rauschanteil betrug 1,73%. (siehe Abbildung 7)

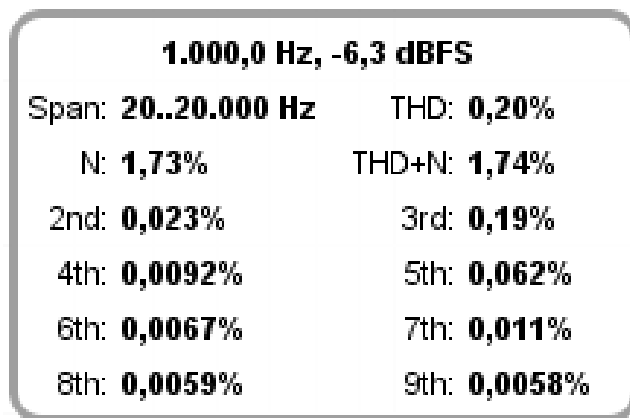


Abbildung 7: THD Messung BOSS CS-3 (Stock Version)

Nach der Ersten Messung wurde die erste Modifikation (Mod 1) durchgeführt und Klirrfaktor und Rauschen wurden erneut gemessen. Der Klirrfaktor hatte sich mit der Messgenauigkeit von Room EQ Wizzard nicht verändert. Das Rauschen wurde durch den Austausch der Widerstände jedoch messbar beeinflusst und war von 1,73% auf 1,69% gesunken. (siehe Abbildung 8)

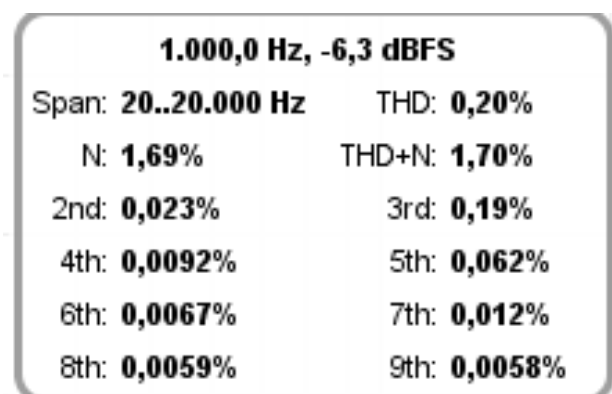


Abbildung 8: THD Messung BOSS CS-3 (Mod 1)

Mit der zweiten Modifikation wurden die Kondensatoren des Pedals ausgetauscht. Die Kondensatoren an den Stellen C1, C3 und C5 konnten jedoch nicht ausgetauscht werden, da für C1 und C3 ein Polypropylen Kondensator mit einer so großen Kapazität sehr teuer ist und eine zu große Baugröße besitzt. Für C5 konnte leider in diversen Online Shops kein Polypropylen Kondensator mit einer Kapazität von 560pF gefunden werden. Für alle anderen Kondensatoren wurden Polypropylen Kondensatoren mit der jeweils selben Kapazität eingebaut. Verwendet wurden Polypropylen Kondensatoren der Firma WIMA, aus der

Baureihe FKP2, MKP2 und MKP4 mit Toleranzen von 5% und Verlustfaktoren von $5 \cdot 10^{-4}$ bis $10 \cdot 10^{-4}$ Lediglich für C2, C10, C13, C15, C16 wurden Varianten mit einer Toleranz von 10% verwendet, weil sie nicht anders erhältlich waren. Außerdem wurden für die Kondensatoren C4, C6, C8, C14, und C17 WIMA MKS2 (Polyester) Kondensatoren mit Verlustfaktoren von $8 \cdot 10^{-3}$ und Toleranzen von 5% verwendet. (siehe Datenblatt). Für C1db wurde ein Kondensator von Würth Elektronik aus der Baureihe WCAP-FTX2 mit einer Toleranz von 10% und einem Verlustfaktor von $< 10^{-3}$ verwendet. Daraus ergibt sich folgende Tabelle in der aufgelistet wurde, welches Originalbauteil durch welches neue Bauteil ausgetauscht wurde:

Tabelle 4: Liste der originalen Kondensatoren des BOSS CS-3

Bauteil Bezeichnung	Kapazität	Original Bauart	Neue Bauart	Neue Baureihe
C1	100 μ F	Elektro-	-----	-----
C2	22nF	Polyes-	Polypropylen	WIMA MKP2
C3	47 μ F	Elektro-	-----	-----
C4	1 μ F	Elektro-	Polyester	WIMA MKS2
C5	560pF	Keramik	-----	-----
C6	1 μ F	Elektro-	Polyester	WIMA MKS2
C7	10nF	Polyes-	Polypropylen	WIMA FKP2
C8	4,7 μ F	Tantal	Polyester	WIMA MKS2
C9	10nF	Polyes-	Polypropylen	WIMA FKP2
C10	47nF	Polyes-	Polypropylen	WIMA MKP2
C11	470pF	Keramik	Polypropylen	WIMA FKP2
C12	470pF	Keramik	Polypropylen	WIMA FKP2
C13	47nF	Polyes-	Polypropylen	WIMA MKP2
C14	1 μ F	Elektro-	Polyester	WIMA MKS2
C15	47nF	Polyes-	Polypropylen	WIMA MKP2
C16	47nF	Polyes-	Polypropylen	WIMA MKP2
C17	1 μ F	Elektro-	Polyester	WIMA MKS2
C18	10nF	Polyes-	Polypropylen	WIMA FKP2
C19	220pF	Keramik	Polypropylen	WIMA FKP2
C20	220pF	Keramik	Polypropylen	WIMA FKP2
C1db	27nF	Polyes-	Polyester	Würth WCAP-FTX2

Nach Einbau dieser Modifikation des Pedals wurde erneut gemessen. Die Messwerte zeigen, dass der Klirrfaktor um 0,2% gesunken war. Zudem wurde das Rauschen erneut reduziert, von 1,69% auf 1,65%. (siehe Abbildung 9)

1.000,0 Hz, -6,1 dBFS	
Span: 20..20.000 Hz	THD: 0,18%
N: 1,65%	THD+N: 1,66%
2nd: 0,024%	3rd: 0,17%
4th: 0,0090%	5th: 0,054%
6th: 0,0068%	7th: 0,0080%
8th: 0,0059%	9th: 0,0057%

Abbildung 9: THD Messung BOSS CS-3 (Mod 2)

Mit der dritten Modifikation wurde einer der 4 integrierten Schaltkreise ausgetauscht. Ursprünglich verbaut wurde von BOSS ein M52118AL Chip. Dieser wurde getauscht durch einen NE5532P Chip. Die Messwerte zeigen, dass sich der Klirrfaktor dadurch nicht messbar verändert hatte. Von 1,65% ist der Rauschanteil auf 1,59% gesunken. (siehe Abbildung 10) Insgesamt wurde durch die dritte Modifikation dadurch der Rauschanteil am stärksten reduziert.

1.000,0 Hz, -6,2 dBFS	
Span: 20..20.000 Hz	THD: 0,18%
N: 1,59%	THD+N: 1,60%
2nd: 0,024%	3rd: 0,17%
4th: 0,0087%	5th: 0,053%
6th: 0,0067%	7th: 0,0068%
8th: 0,0058%	9th: 0,0056%

Abbildung 30: THD Messung BOSS CS-3 (Mod3)

In der vierten und fünften Modifikation wurden bestimmte Dioden ausgetauscht, um zu überprüfen, welche klanglichen Veränderungen dies mit sich bringen könnte. Dazu wurden für Mod 4.1 die Dioden D2 und D3 welche im Original

Silizium Dioden sind, durch Germaniumdioden des Typs 1N60M ausgetauscht. Im Mod 4.2 wurden die Dioden D2 und D3 durch rote LEDs getauscht. Im 5. Mod wurde getestet, welchen Einfluss der Austausch der Diode D6 (Siliziumdiode) durch eine Germaniumdiode hat. Dies lässt sich vor allem durch das Anhören der Audioaufnahmen beurteilen. *Track Nummer 4 (CS-3 Stock)* beinhaltet die Aufnahme des originalen unveränderten BOSS CS-3 Compression Sustainer. Vergleicht man diese Aufnahme mit der Aufnahme *Track Nr.8 (CS-3_Mod 4.1)* und mit dem *Track Nr.9 (CS-3_Mod 4.2)* sind die hörbaren Unterschiede nur sehr dezent zu hören. Das gleiche trifft für den Mod 5, zu hören auf Track Nummer 10, zu.

Alle weiteren Modifikationen wurden durchgeführt, um Änderungen am Frequenzgang zu bewirken. Es wurden Widerstände und Kondensatoren mit anderen Werten für die Kapazität bzw. den Widerstand gewählt.

In den Mods 6.1, 6.2 und 6.3 wurden verschiedene Werte für R5 gewählt. Die Messung des Frequenzgangs zeigte, dass hier eine deutliche Anhebung der Frequenzen in den oberen Mitten bis in die unteren Höhen zu verzeichnen ist. Bei 2kHz gab es eine Anhebung des Pegels um rund 3dB (*siehe Abbildung 11*). Am Stärksten wurden die oberen Mitten mit dem Mod 6.1 angehoben (*siehe Abbildung 12*), also mit einem Widerstand von 200Ω. Eine drastische Veränderung der Frequenzen unter 10Hz war außerdem zu vernehmen, jedoch lagen diese Anteile außerhalb des Hörbereiches und waren somit nicht relevant für die Untersuchung.

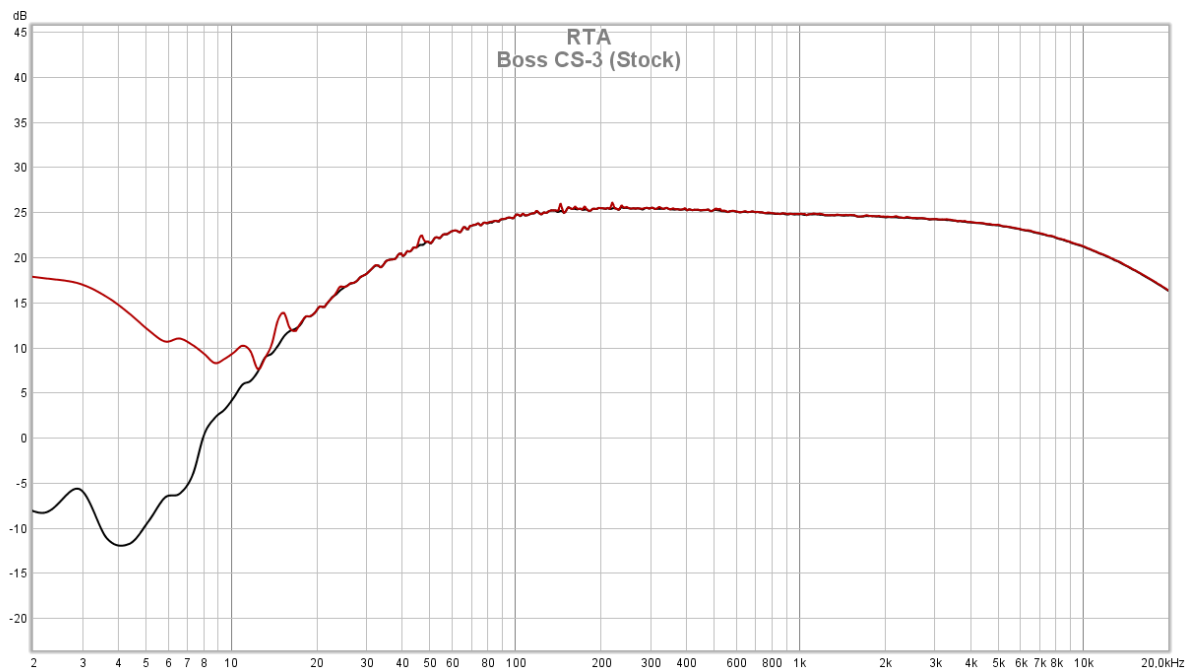


Abbildung 11: Frequenzgang BOSS CS-3 (Stock Version)

4.1 Auswertung der Messergebnisse

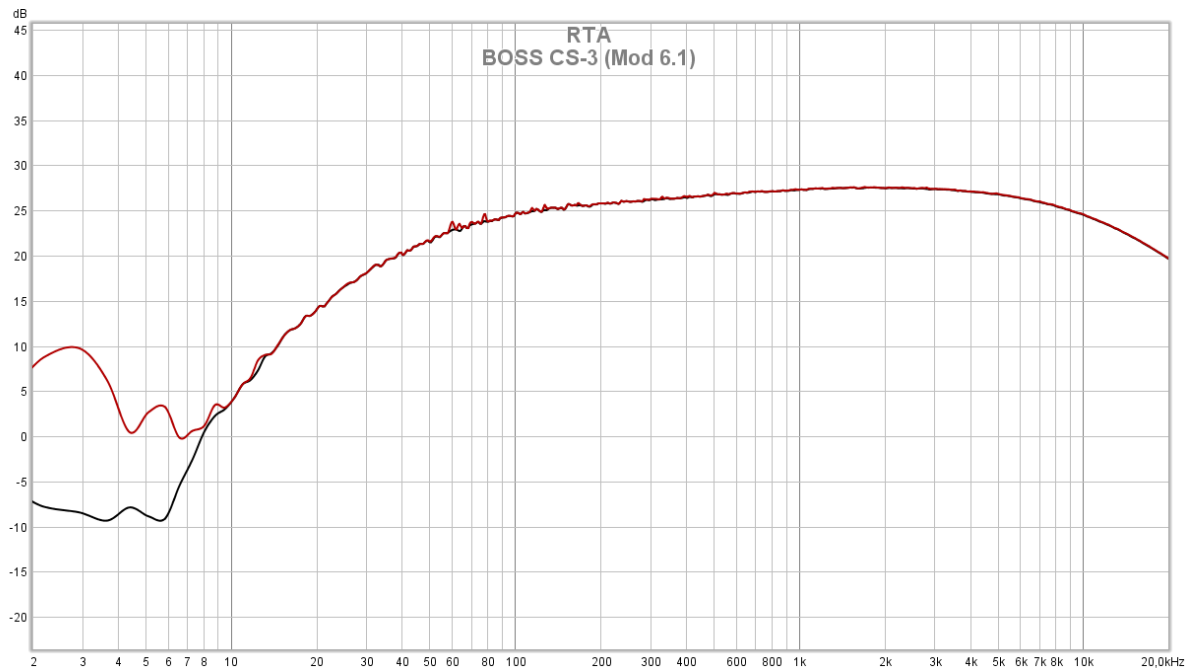


Abbildung 12: Frequenzgang BOSS CS-3 (Mod 6.1)

Für die Mod 7 wurden ebenfalls verschiedene Werte für einen Widerstand eingesetzt. Diesmal für R36. Hier zeigte sich bei Mod 7.1 die größte Veränderung im Vergleich zum originalen Frequenzgang. In den unteren Mitten war eine Anhebung zu erkennen. Im Bereich der Frequenzen um 200Hz gab einen Anstieg des Pegels um rund 2dB (siehe Abbildung 13).

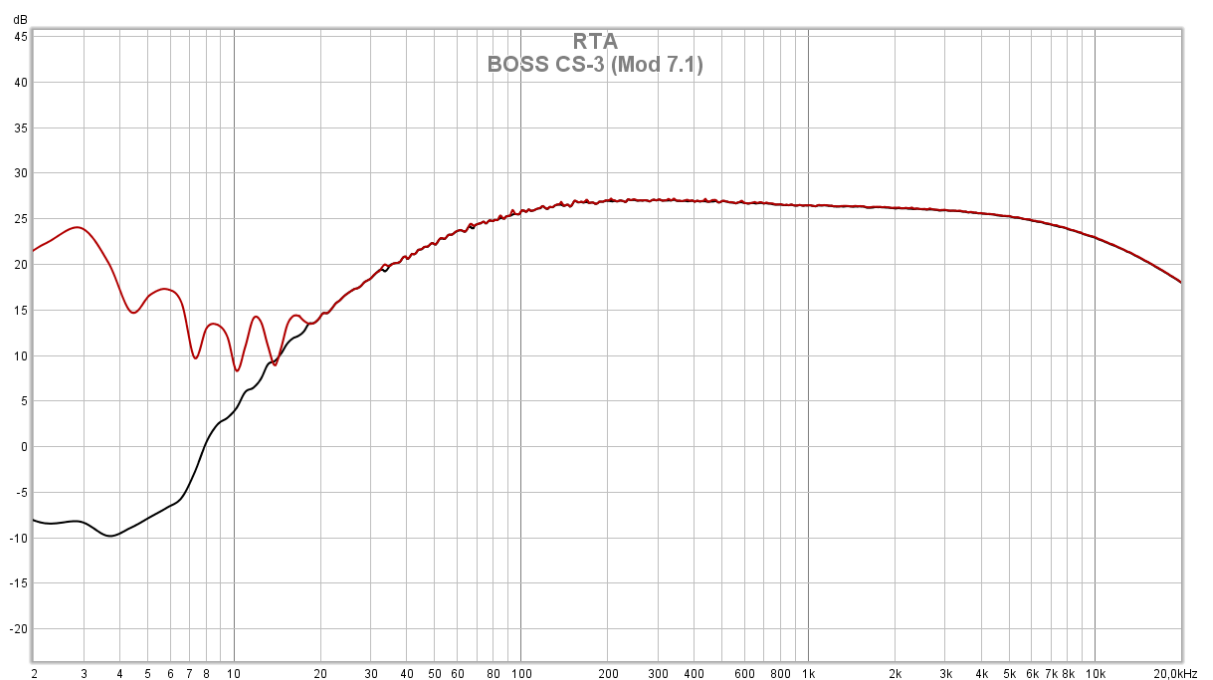


Abbildung 13: Frequenzgang BOSS CS-3 (Mod 7.1)

Für Mod 8 wurden verschiedene Werte für den Kondensator C2 ausprobiert. Der Frequenzgang zeigte hier keine wirklich erkennbare Veränderung (*siehe Abbildung*). Auch die Hörbeispiele (*Track 17, 18 und 19*) für alle drei ausgetesteten Werte ließen keine Veränderung des Klangbilds vermuten.

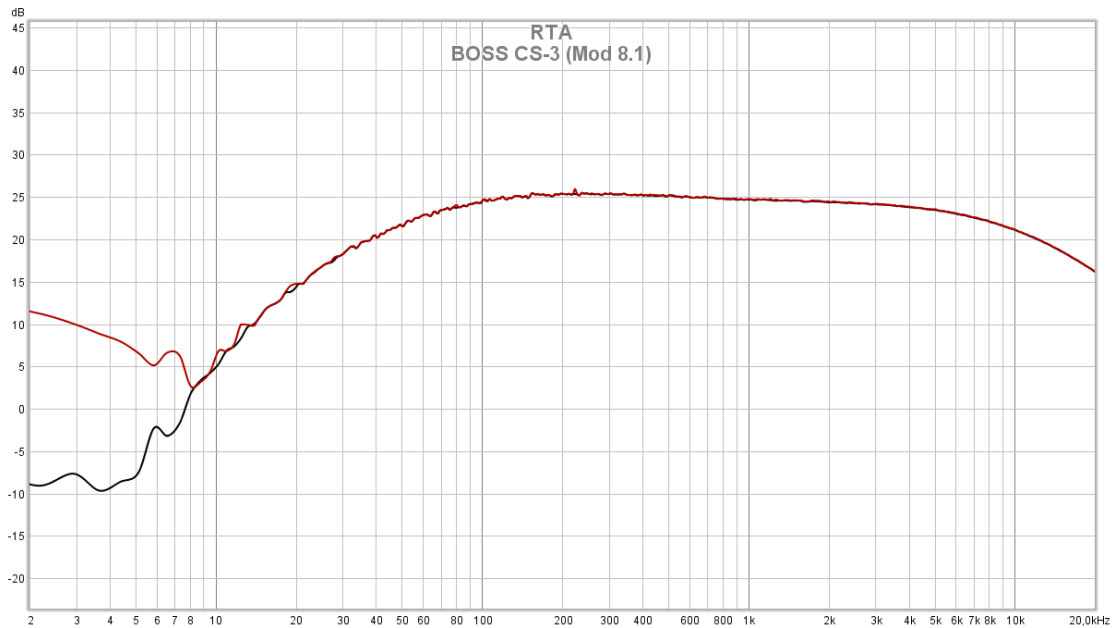


Abbildung 14: Frequenzgang BOSS CS-3 (Mod 8.1)

Den größten Einfluss auf den Bassbereich des Frequenzgangs hatte die Mod 9. Die Messungen zeigten eine sehr deutlich erkennbare Veränderung im Bereich der Frequenzen unterhalb von 100 Hz. Die Frequenz 20 Hz erhielt bei Mod 9.3 eine Anhebung des Pegels um rund 10 dB (*siehe Abbildung 16*). Hervorzuheben ist, dass hier Mod 9.3 mit einer Kapazität von $2,2\mu\text{F}$ die größte Veränderung mit sich brachte. Im Vergleich dazu hatte sich in Mod 9.1 (*siehe Abbildung 15*) mit 100 nF kaum etwas verändert, was auf die große Differenz der Kapazitäten zurückzuführen ist. Auch die Hörbeispiele zeigten hier die klanglich größte Veränderung (*siehe Track 20-22*).

4.1 Auswertung der Messergebnisse

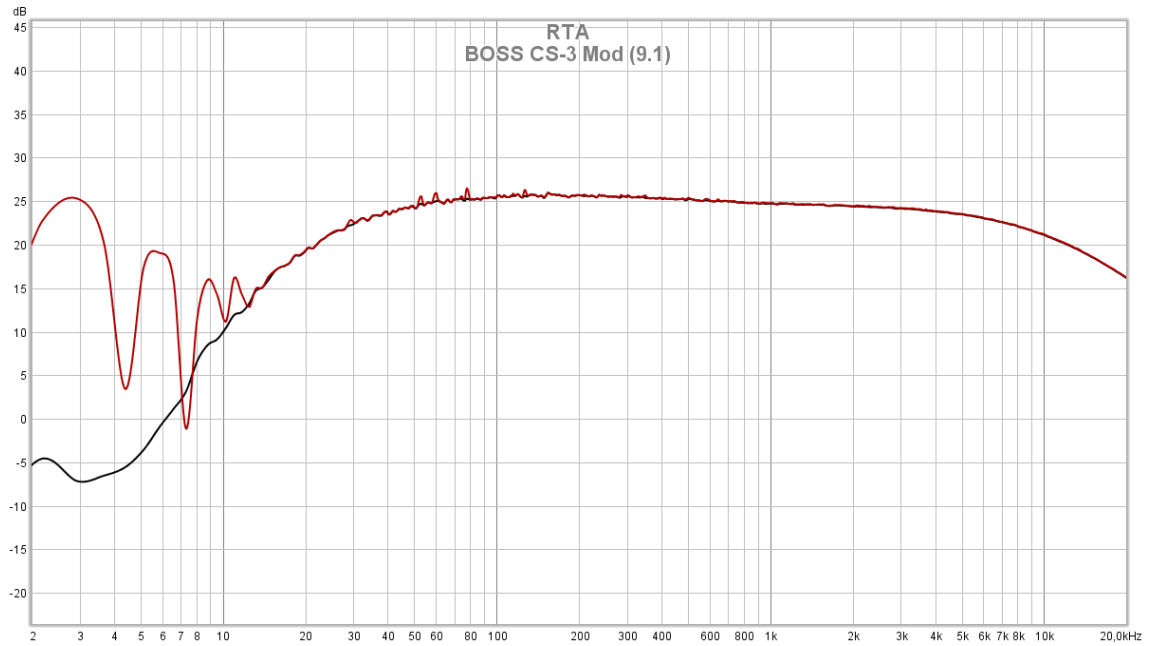


Abbildung 15: Frequenzgang BOSS CS-3 (Mod 9.1)

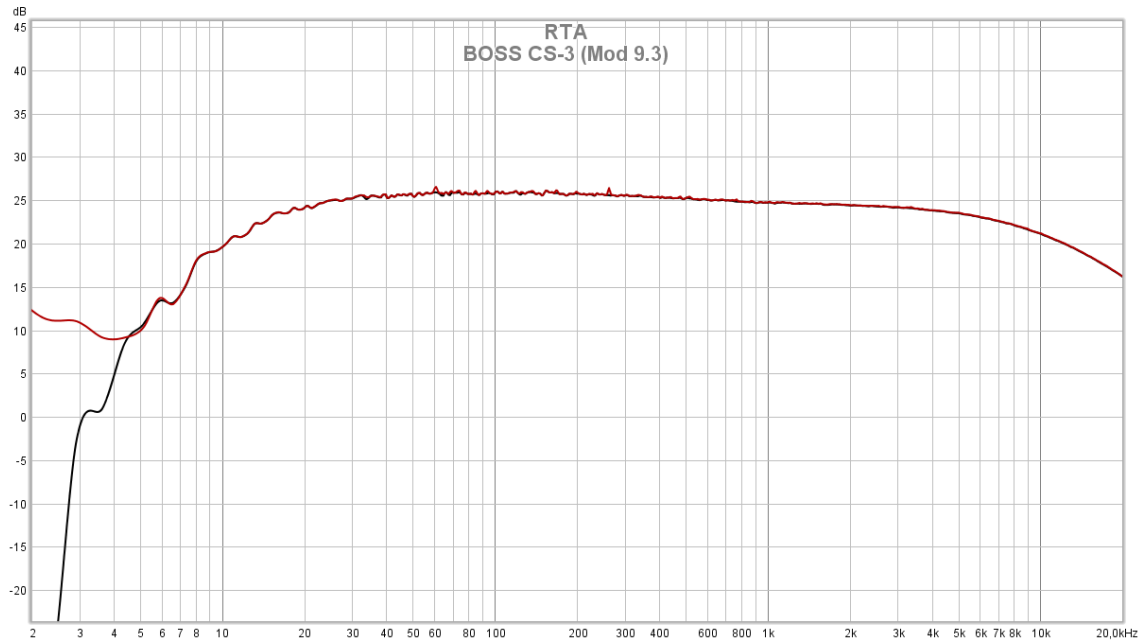


Abbildung 16: Frequenzgang BOSS CS-3 (Mod 9.3)

Mod 10 beinhaltete den Austausch des Kondensators am Tone-Poti. Die Messung zeigt jedoch, dass die tiefen Frequenzen insgesamt sogar leicht reduziert wurden. Auffällig war außerdem, dass in Mod 10.2 (siehe Abbildung 18) das Signal im gesamten Frequenzband angehoben wurde, was bei Mod 10.1 und 10.3 (siehe Abbildung 17) nicht der Fall war.

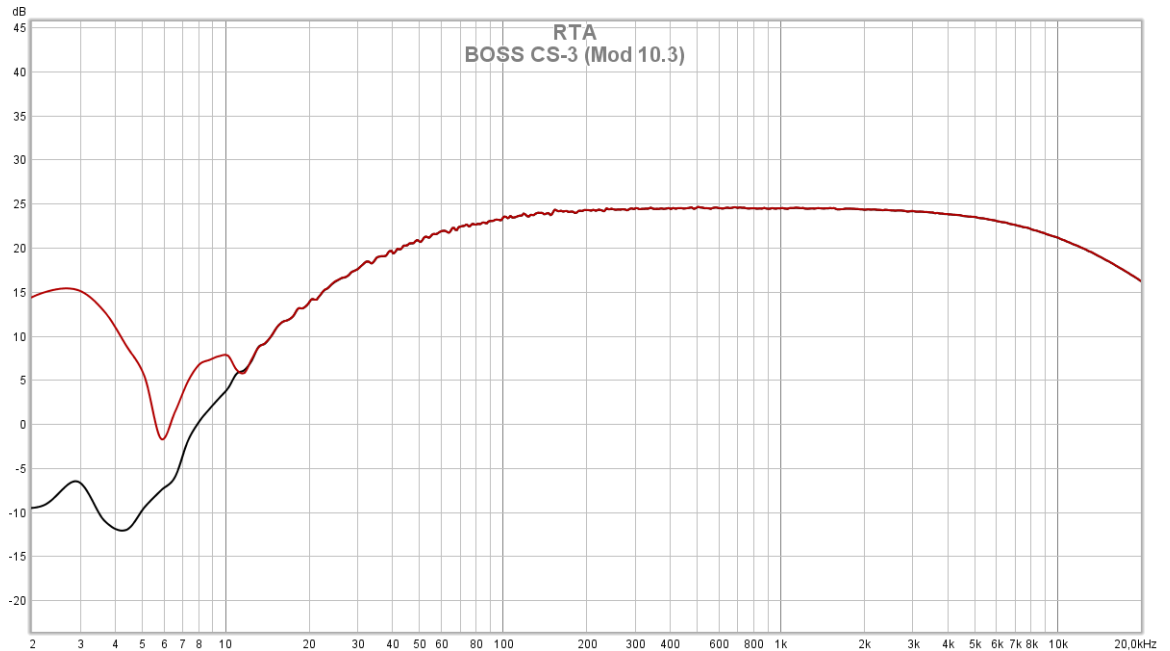


Abbildung 17: Frequenzgang BOSS CS-3 (Mod 10.3)

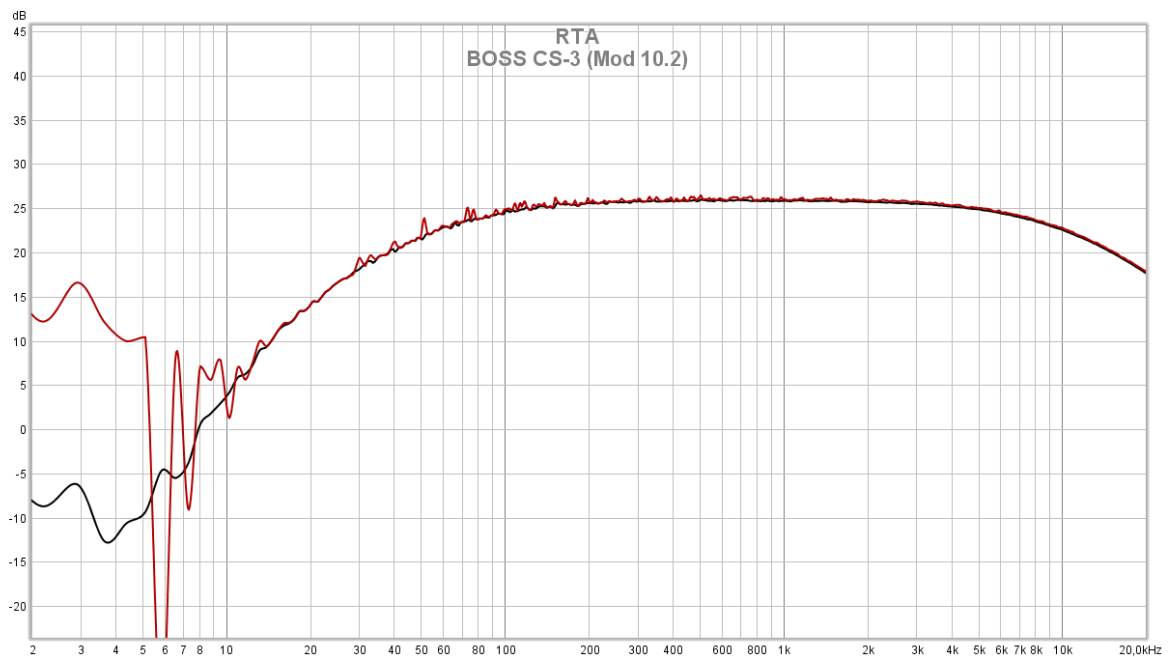


Abbildung 18: Frequenzgang BOSS CS-3 (Mod 10.2)

4.2 Festlegung der exakten Modifikation

Um den Vergleich des modifizierten BOSS CS-3 Compression Sustainer mit dem „The Warden“ von EartQuaker Devices durchführen zu können, wurde zunächst entgeltlich festgelegt, welche Variante der einzelnen Mods verwendet werden soll. Die Modifikationen Mod 1, Mod 2 und Mod 3 haben messbare Verbesserungen der Signalübertragung verursacht. Der Klirrfaktor und der Rauschanteil wurden reduziert. Aufgrund dessen wurde die Modifikationen in die finale Modifikation übernommen.

Die Modifikationen 4 und 5 brachten kaum erkennbare Veränderungen. Zudem war die Beurteilung danach, ob die Modifikation zu einer Verbesserung oder Verschlechterung führt, sehr subjektiv. Eine wirklich objektive Entscheidung ist daher in diesem Fall nicht möglich. Für die Aufnahmen der finalen Modifikation wurde sich dazu entschieden, Mod 4.1 und Mod 5 durchzuführen, also Dioden des Typs 1N60 zu verwenden.

Die Modifikationen 8 hatte keine messbaren oder hörbaren Veränderungen hervorgebracht. Aufgrund dessen wurde diese Modifikation nicht in die finale Modifikation übernommen, denn war ist objektiv überflüssig.

Modifikation 10 hatte für eine Reduktion der tiefen Frequenzen gesorgt, was an der Zielstellung der wissenschaftlichen Arbeit vorbeigeht. Die Modifikation 10 wurde daher nicht übernommen und der originale Wert von 27nF bleibt bestehen.

Bei Mod 6, Mod 7 hatte jeweils der Widerstand mit dem niedrigsten Ohm-Wert den größten Effekt erzielt. Daher wurde in die finale Modifikation Mod 6.1 und Mod 7.1 übernommen.

Mod 9 hatte den insgesamt größten Einfluss auf den Frequenzgang. Mod 9.3 hatte zudem die größte Veränderung dieser Kategorie erzielt. Daher wurde sich entschieden, Mod 9.3 in die finale Modifikation zu übernehmen.

5 Vergleich des modifizierten Pedals mit dem Boutique Effekt

Der Vergleich des modifizierten BOSS CS-3 mit dem Warden von EarthQuaker Devices begann mit dem Klirrfaktor. Der BOSS CS-3 hatte im Original einen Klirrfaktor von 0,20% und nach der Modifikation einen Klirrfaktor von 0,18%. Der Klirrfaktor von The Warden beträgt 0,029% (*siehe Abbildung 19*) und war damit dem BOSS CS-3 auch nach der Modifikation noch überlegen.

Der Rauschanteil des BOSS CS-3 betrug anfangs 1,73% und konnte durch die Modifikation auf 1,59% verbessert werden. The Warden hatte einen Rauschanteil von 1,7% (*siehe Abbildung 19*). Das bedeutet, dass das Boutique Effekt Pedal anfangs einen geringeren Rauschanteil und nach der Modifikation einen höheren Rauschanteil als das BOSS CS-3 hatte. Die Modifikation sorgte in diesem Aspekt also für eine deutlich qualitative Steigerung.

1.000,0 Hz, -8,2 dBFS	
Span: 20..20.000 Hz	THD: 0,029%
N: 1,70%	THD+N: 1,70%
2nd: 0,021%	3rd: 0,012%
4th: 0,0089%	5th: 0,0072%
6th: 0,0064%	7th: 0,0060%
8th: 0,0057%	9th: 0,0055%

Abbildung 19: THD EarthQuaker Devices – The Warden

Der Frequenzgang des BOSS CS-3 konnte nachweisbar deutlich verbessert werden. Ziel war es, vor allem die tiefen Frequenzen anzuheben, da dass BOSS CS-3 im Original tiefe Frequenzen stark dämpft. Das war vor allem für tiefer gestimmte Gitarren oder für 7-saitige Gitarren ein Problem.

Ein Vergleich des Frequenzgangs nach der Modifikation mit dem Frequenzgang von The Warden zeigt, dass das BOSS CS-3 dem Frequenzgang des Konkurrenten von EarthQuaker Devices nun stark ähnelt (*siehe Abbildung 20*). Lediglich in den oberen Höhen über 10kHz ist der Frequenzgang des The Warden etwas flacher und schneidet die Höhen weniger ab (*siehe Abbildung 20*). Der Frequenzgang des Boutique Effekts ist also noch etwas linearer als der des Modifizierten Kompressors von BOSS.

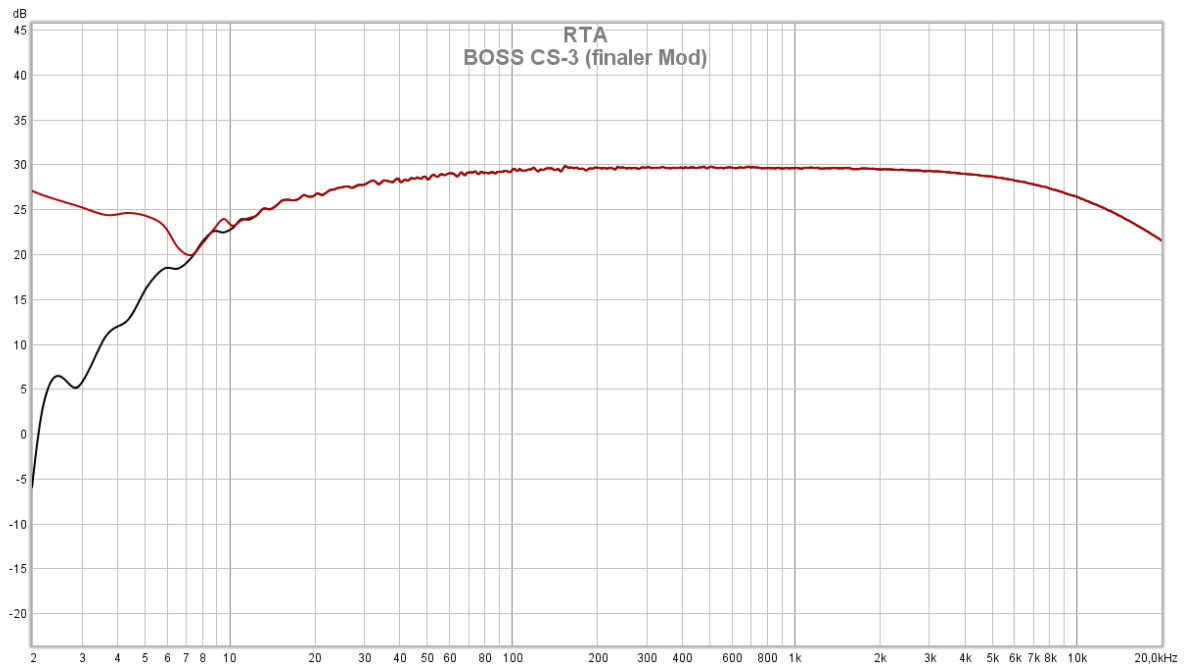


Abbildung 20: Frequenzgang BOSS CS-3 (finaler Mod)

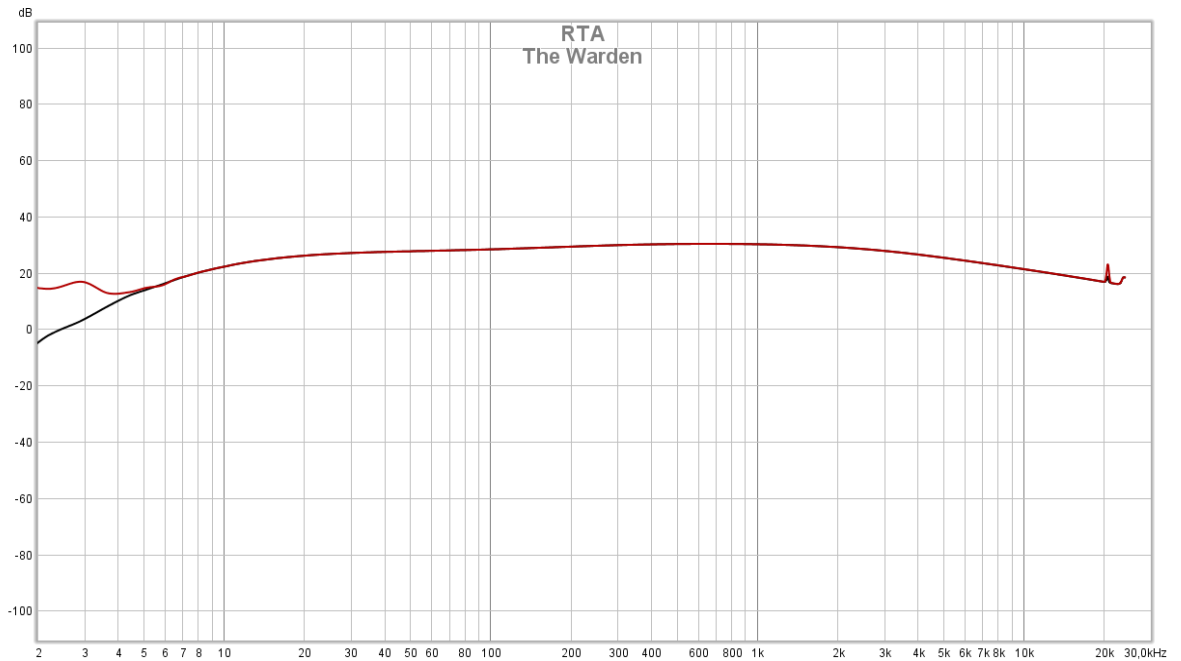


Abbildung 21: Frequenzgang EarthQuaker Devices The Warden

6 Fazit

Die Zielstellung war es in erster Linie den vergleichsweise preisgünstigen BOSS CS-3 Compression Sustainer qualitativ durch simple Modifikationen der analogen Schaltung zu verbessern, um es mit einem hochwertigeren Boutique Effekt Pedal zu vergleichen. Das Grundrauschen des BOSS CS-3 wurde nach der Modifikation sogar niedriger als das des Boutique Effekts.

Der Klirrfaktor des niedrigpreisigen Pedals konnte zwar reduziert werden, liegt aber nach wie vor über den Werten des hochpreisigen Konkurrentens. Fraglich ist, wie relevant der Klirrfaktor im Bereich von unter einem Prozent bei einem analogen Gitarren Effekt noch ist. Oft ist es von Gitarristen auch erwünscht, dem Signal harmonische Verzerrungen hinzuzufügen, was in der Regel durch extra Verzerrerpedale oder die Verzerrung des Gitarren Verstärkers geschieht. Für Gitarristen, die besonders „cleane“ Gitarrensounds haben wollen, ist der Klirrfaktor jedoch relevant.

Die größten Veränderungen konnten im Frequenzgang getätigt werden. Hier konnten Veränderungen vorgenommen werden, sodass vor allem in den unteren Mitten und Bässen eine deutliche Anhebung zu verzeichnen war. Für tiefere Gitarrenstimmungen oder 7-saitige Gitarren ist der BOSS-CS3 nun ähnlich gut geeignet wie sein Konkurrent aus der höheren Preisklasse von Earthquaker Devices. Lediglich in den oberen Höhen ist der BOSS CS-3 noch etwas gedämpfter als The Warden. Ein Punkt, der nicht wie geplant durchgeführt werden konnte, ist der einbau eines Optokopplers anstelle eines IC. Grund dafür war die komplexe Schaltung des BOSS CS-3, die zu sehr hätte verändert werden müssen.

Letztendlich konnte die Zielstellung ein günstiges Gitarren Effektpedal zu modifizieren, sodass es sich qualitativ auf dem Level eines Boutique Effektes befindet, objektiv bestätigt werden, wenn auch nicht zu hundert Prozent.

Schlussendlich stellt sich die Frage, warum ein Boutique Effekt im Vergleich zu einem Standard Gitarren Effekt Pedal so teuer ist, obwohl sie sich qualitativ kaum unterscheiden, was einen mehr als doppelt so hohen Preis rechtfertigen würde.

Bei der Wahl eines neuen Gitarren Effektpedals spielen für einen Gitarristen oft viele Faktoren eine Rolle. Messwerte, die Aufschluss über Grundrauschen, Klirrfaktor und Frequenzgang geben, sind dabei oft nicht relevant und in den seltensten Fällen überhaupt verfügbar. Die meisten Hersteller veröffentlichen

auch keine Datenblätter ihrer Pedale. Oft kann schon der berühmte Name einer Marke dazu führen, dass ein Kunde denkt das Pedal sei hochwertig, weil er gute Qualität mit der Marke verbindet. Dieses Phänomen findet man auch in anderen technischen Branchen wie z.B. bei Smartphones oder Notebooks, bei denen oft teure Geräte gekauft werden, die auf Datenblättern gar nicht mehr Leistung als günstigere Konkurrenten aufweisen.

Ein weiterer Faktor ist, dass auch ein qualitativ sehr schlechtes Pedal, welches stark rauscht und die tiefen Frequenzen stark begrenzt, für manche Gitarristen subjektiv gesehen sehr gut klingt.

Zusammenfassend ist die Entscheidung für ein Effektpedal oft eine größtenteils subjektive Entscheidung. Trotzdem ist ein hochpreisiges Boutique Effektpedal nicht zwangsweise sehr viel besser als eine preisgünstige Variante eines anderen Herstellers.

Literaturverzeichnis

Fachliteratur

ARD.ZDF medienakademie (2008): Handbuch der Tonstudioteknik. 7. völlig neu bearb. u. erw. Aufl. 2008. Berlin, New York: Walter de Gruyter. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1515/9783598441356>.

Bernstein, Herbert (2015): Bauelemente der Elektronik. Berlin/Boston: De Gruyter Oldenbourg. Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1642667>.

Böhmer, Erwin; Ehrhardt, Dietmar; Oberschelp, Wolfgang (2010): Elemente der angewandten Elektronik. Kompendium für Ausbildung und Beruf. 16., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8348-9336-9>.

Friesecke, Andreas (2014a): Die audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker. 2. Auflage. Berlin, Germany, Boston, Massachusetts: De Gruyter Saur (de Gruyter Reference). Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=11010302>.

Friesecke, Andreas (2014b): Die Audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker. 2. Aufl. Berlin: De Gruyter (Reference).

Hering, E.; Bressler, K.; Gutekunst, J. (2017): Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <https://books.google.de/books?id=xWUKDwAAQBAJ>.

Hering, Ekbert; Bressler, Klaus; Gutekunst, Jürgen (2005): Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler: Springer Berlin Heidelberg.

Hunter, Dave (2013): Guitar effects pedals - the practical handbook: Hal Leonard Corporation (HANDBOOK SERIES).

Nührmann, Dieter: Das grosse Werkbuch Elektronik. Poing: Franzis.

Nührmann, Dieter: Das große Werkbuch Elektronik. 7., neubearb. und erw. Aufl. Poing: Franzis'.

Wampler, Brian (2009): How to modify guitar pedals. 2009 revision. Columbia, SC: [publisher not identified].

Zastrow, Dieter (2018): Elektrotechnik. Ein Grundlagenlehrbuch : mit 547 Abbildungen, 141 Beispielen und 224 Übungsaufgaben mit Lösungen sowie 27 Übersichten als Wissensspeicher. 20., korrigierte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg (Lehrbuch). Online verfügbar unter <http://www.springer.com/>.

Internetquellen

Wikipedia contributors: E-Gitarre. Wikipedia. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/E-Gitarre>, zuletzt geprüft am 21.11.2019.

Wikipedia contributors: Rocket 88, Wikipedia. Online verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/Rocket_88, zuletzt geprüft am 21.11.2019.

Thomann. Online verfügbar unter <https://www.thomann.de/de/search.html?sw=gitarren%20effekt&filter=true>.

Musikding Forum. Online verfügbar unter <https://musikding.rocks/wbb/index.php/Thread/10497-Boss-CS-3-Tuning-OP-Amps/?postID=171836>, zuletzt geprüft am 14.01.2020.

Aronnelson Galery. Online verfügbar unter https://www.aronnelson.com/gallery/main.php?g2_view=core.DownloadItem&g2_itemId=47176, zuletzt geprüft am 14.01.2020.

Monte Allums. Online verfügbar unter https://www.monteallums.com/pedal_mods_CS3.html, zuletzt geprüft am 14.01.2020.

Musikding.de. Online verfügbar unter https://www.musikding.de/docs/musikding/screamer/screamerV2_schalt.pdf, zuletzt geprüft am 05.02.2020

diystompboxes.com. Online verfügbar unter <https://www.diystompboxes.com/smfforum/index.php?topic=63909.0> (zuletzt geprüft am 05.02.2020)

eserviceinfo.com. Online verfügbar unter <https://www.eserviceinfo.com/download.php?downloadstart=1&fileid=41778> (zuletzt geprüft am 05.02.2020)

Datenblätter:

Conrad.com. Online verfügbar unter <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001557083DS01/datenblatt-1557083-tru-components-metallschicht-widerstand-1-k-axial-bedrahtet-0207-06-w-1-1-st.pdf> (zuletzt geprüft am 05.02.2020)

Conrad.com. Online verfügbar unter <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001417613DS01/datenblatt-1417613-yageo-mf0207fte52-33k-metallschicht-widerstand-33-k-axial-bedrahtet-0207-06-w-1-1-st.pdf> (zuletzt geprüft am 05.02.2020)

WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKP_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020)

WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKP_4.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020)

WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_FKP_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020)

WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKS_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020)

Conrad.com. Online verfügbar unter <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001279971DS01/datenblatt-1279971-wuerth-elektronik-wcap-ftx2-890324025004cs-1-st-entstoer-kondensator-x2-radial-bedrahtet-27-nf-275-vac-10-15-mm-l-x.pdf> (zuletzt geprüft am 05.02.2020)

Anlagen

- Anlage 1: Schaltplan einer Tubescreeamer Kopie
- Anlage 2: Schaltplan des BOSS Compression Sustainer 3
- Anlage 3: Datenblatt Widerstände True Components (Seiten 1-2)
- Anlage 4: Datenblatt Widerstände Yageo (Seiten 1-2)
- Anlage 5: Datenblatt WIMA FKP2 (Seiten 1-3)
- Anlage 6: Datenblatt WIMA MKP2 (Seiten 1-3)

- Anlage 7: Datenblatt WIMA MKP4 (Seiten 1-4)
- Anlage 8: Datenblatt WIMA MKS2 (Seite 1-3)

- Anlage 9: Datenblatt Kondensator Würth Elektronik

Anlage 1:

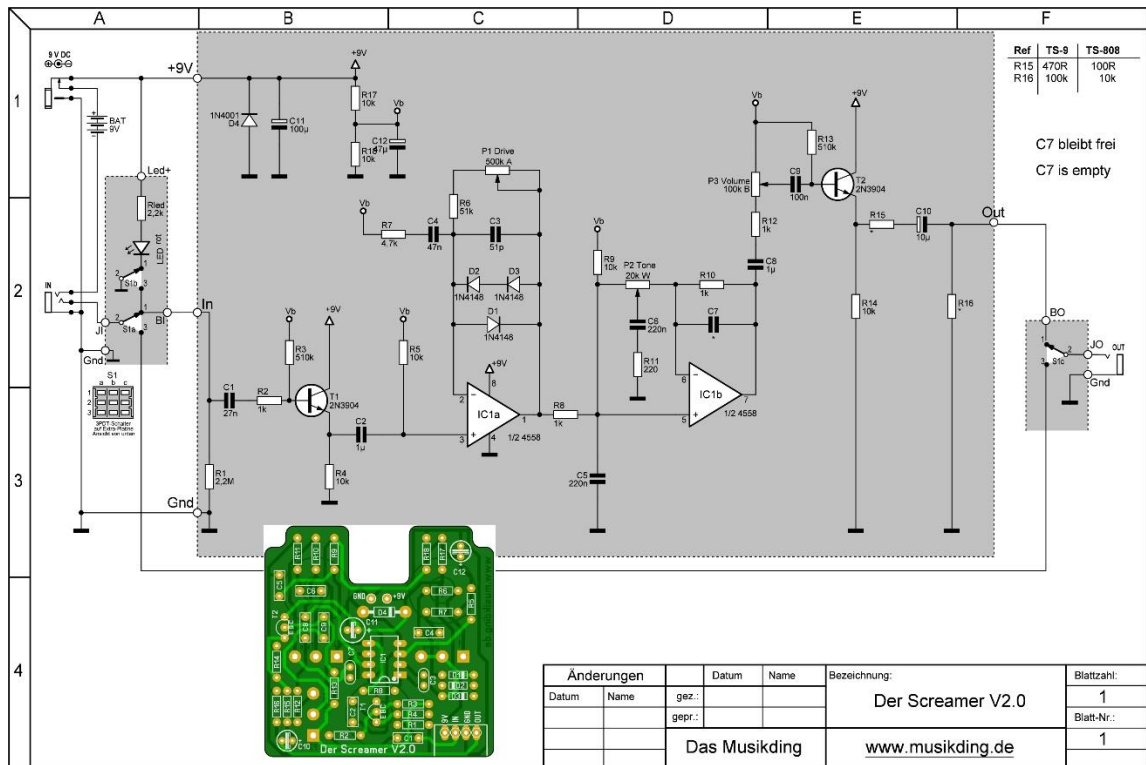


Abbildung 2: Musikding.de. Online verfügbar unter https://www.musikding.de/docs/musikding/screamer/screamerV2_schalt.pdf, zuletzt geprüft am 05.02.2020, Schaltplan einer Tubescreamer Kopie

Anlage 2:

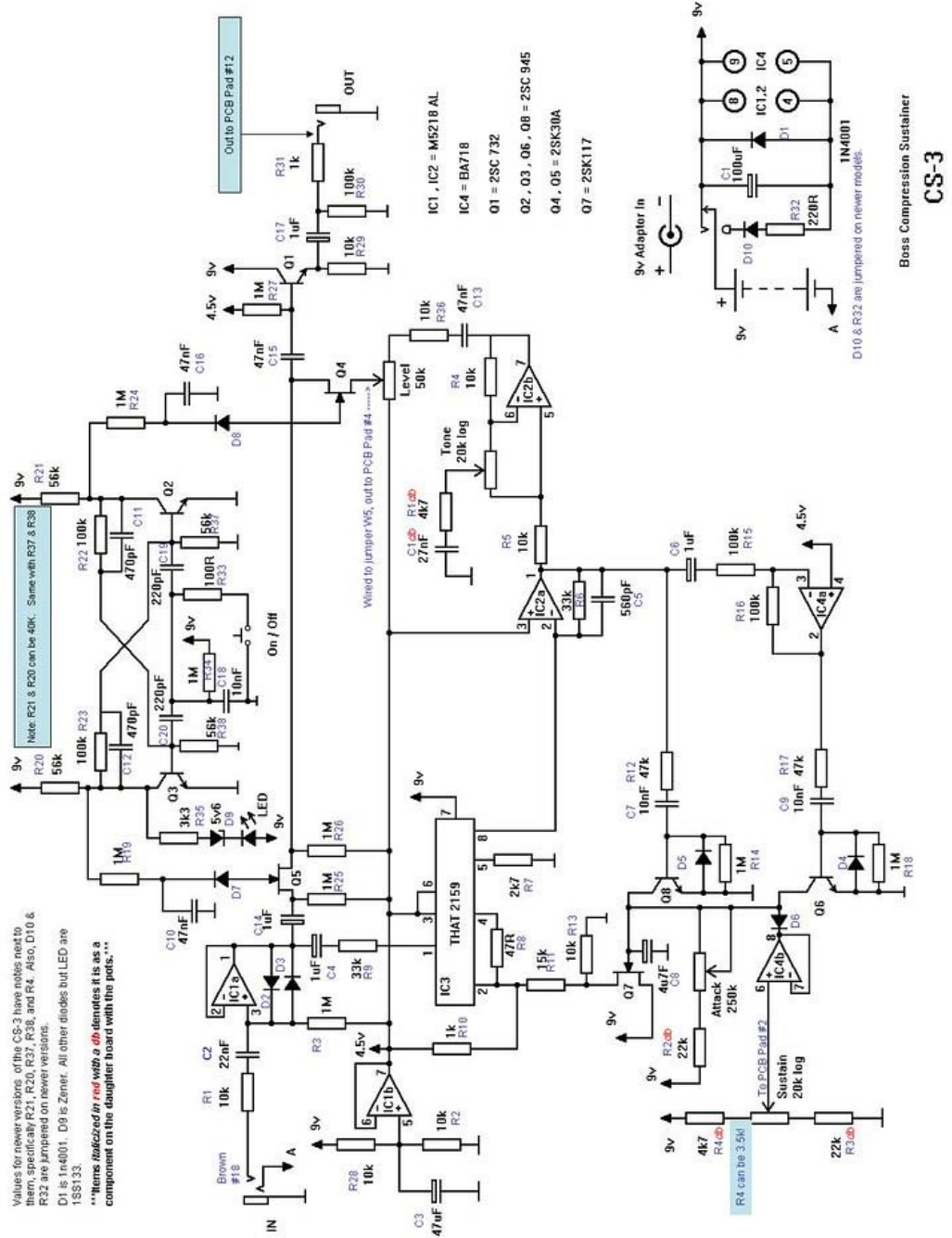
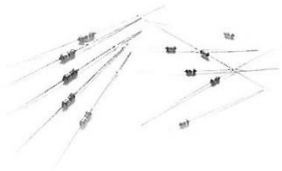


Abbildung 3: diystompboxes.com, online verfügbar unter <https://www.diystompboxes.com/smforum/index.php?topic=63909.0> (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Schaltplan des BOSS Compression Sustainer 3

Anlage 3:



INTRODUCTION

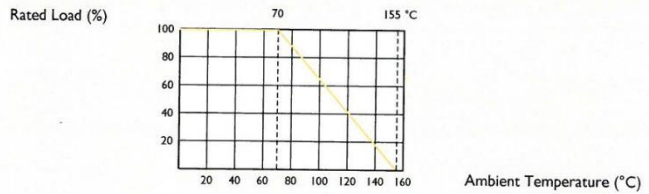
The MF0 Series Metal Film Professional Resistors are manufactured using a vacuum sputtering system to deposit multiple layers of mixed metal alloys and passive materials onto a carefully treated high grade ceramic substrate. After a helical groove has been cut in the resistive layer, tinned connecting leads of electrolytic copper are welded to the end-caps. The resistors are coated with layers of blue color lacquer.

FEATURES

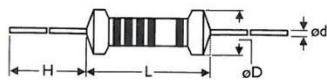
Power Rating	0,4W, 0,6W
Resistance Tolerance	±0.5%, ±1%, ±5%
T.C.R.	±50ppm/°C

DERATING CURVE

For resistors operated in ambient temperatures above 70°C, power rating must be derated in accordance with the curve below.



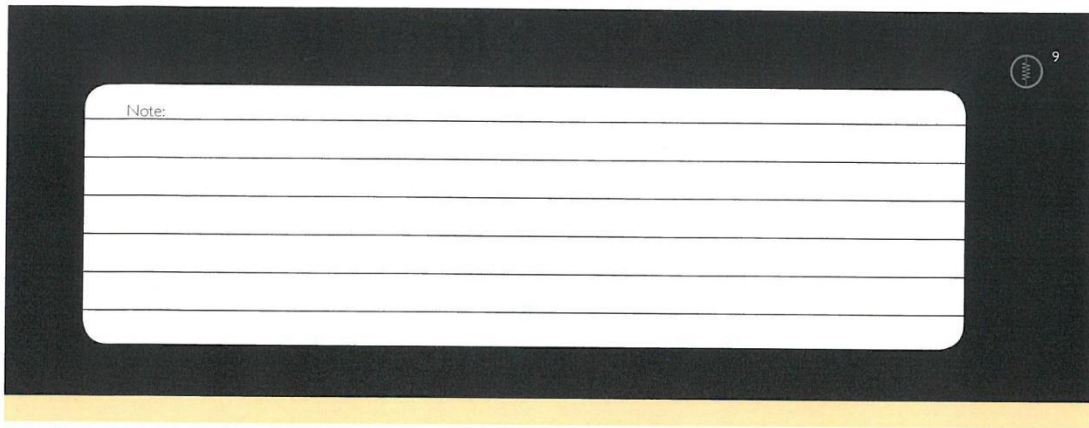
DIMENSIONS



Unit: mm

STYLE	DIMENSION			
	L	øD	H	ød
Miniature				
MF0204	3.4±0.3	1.9±0.2	28±2.0	0.45±0.05
MF0207	6.3±0.5	2.4±0.2	28±2.0	0.55±0.05

Abbildung 22: Conrad.com. Online verfügbar unter <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001557083DS01/datenblatt-1557083-tru-components-metallschicht-widerstand-1-k-axial-bedrahtet-0207-06-w-1-1-st.pdf> (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt Widerstände True Components (Seite 1)



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STYLE	MF0204	MF0207
Power Rating at 70°C	0.4W	0.6W
Maximum Working Voltage	250V	350V
Maximum Overload Voltage	500V	700V
Voltage Proof	300V	500V
Resistance Range	1 Ω - 10M Ω & 0 Ω for E24 & E96 series value	
Operating Temp. Range	-55°C to +155°C	
Temperature Coefficient	±50ppm/°C	

Note: Special value is available on request

ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS

PERFORMANCE TEST	TEST METHOD	APPRAISE
Short Time Overload	IEC 60115-1 4.13 2.5 times RCWV for 5 Sec.	±0.25%+0.05 Ω
Voltage Proof	IEC 60115-1 4.7 in V-block for 60 Sec., test voltage by type	By type
Temperature Coefficient	IEC 60115-1 4.8 -55°C to +155°C	By type
Insulation Resistance	IEC 60115-1 4.6 in V-block for 60 Sec.	>10,000M Ω
Solderability	IEC 60115-1 4.17 235±5°C for 3±0.5 Sec.	95% Min. coverage
Solvent Resistance of Marking	IEC 60115-1 4.30 IPA for 5±0.5 Min. with ultrasonic	No deterioration of coatings and markings
Robustness of Terminations	IEC 60115-1 4.16 Direct load for 10 Sec. in the direction of the terminal leads	≥2.5kg (24.5N)
Periodic-pulse Overload	IEC 60115-1 4.39 4 times RCWV 10,000 cycles (1 Sec. on, 25 Sec. off)	±1.0%+0.05 Ω
Damp Heat Steady State	IEC 60115-1 4.24 40±2°C, 90-95% RH for 56 days, loaded with 0.1 times RCWV	±1.5%+0.05 Ω
Endurance at 70°C	IEC 60115-1 4.25 70±2°C at RCWV for 1,000 Hr. (1.5 Hr. on, 0.5 Hr. off)	±1.5%+0.05 Ω
Temperature Cycling	IEC 60115-1 4.19 -55°C ⇄ Room Temp. ⇄ +155°C ⇄ Room Temp. (5 cycles)	±0.75%+0.05 Ω
Resistance to Soldering Heat	IEC 60115-1 4.18 260±3°C for 10±1 Sec., immersed to a point 3±0.5mm from the body	±0.25%+0.05 Ω

Note: Rated Continuous Working Voltage (RCWV) = $\sqrt{\text{Power Rating} \times \text{Resistance Value}}$

Abbildung 23: Conrad.com. Online verfügbar unter <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001557083DS01/datenblatt-1557083-tru-components-metallschicht-widerstand-1-k-axial-bedrahtet-0207-06-w-1-1-st.pdf> (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt Widerstände True Components (Seite 2)


Anlage 4:

Metal Film Resistors

YAGEO CORPORATION LEADED RESISTORS

Professional Type

Miniature Style [MF0 Series]



INTRODUCTION

The MF0 Series Metal Film Professional Resistors are manufactured using a vacuum sputtering system to deposit multiple layers of mixed metal alloys and passivative materials onto a carefully treated high grade ceramic substrate. After a helical groove has been cut in the resistive layer, tinned connecting leads of electrolytic copper are welded to the end-caps. The resistors are coated with layers of blue color lacquer.

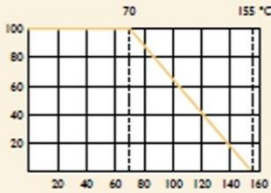
FEATURES

Power Rating	0.4W, 0.6W
Resistance Tolerance	$\pm 0.5\%$, $\pm 1\%$, $\pm 5\%$
T.C.R.	$\pm 50\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$

DERATING CURVE

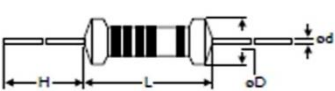
For resistors operated in ambient temperatures above 70°C, power rating must be derated in accordance with the curve below.

Rated Load (%)



Ambient Temperature (°C)

DIMENSIONS



STYLE	DIMENSION			
	L	øD	H	ød
MF0204	3.4±0.3	1.9±0.2	28±2.0	0.45±0.05
MF0207	6.3±0.5	2.4±0.2	28±2.0	0.55±0.05

Unit: mm

Abbildung 24: Conrad.com. Online verfügbar unter <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001417613DS01/datenblatt-1417613-yageo-mf0207fte52-33k-metallschicht-widerstand-33-k-axial-be-drahtet-0207-06-w-1-1-st.pdf> (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt Widerstände Yageo (Seite 1)



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STYLE	MF0204	MF0207
Power Rating at 70°C	0.4W	0.6W
Maximum Working Voltage	250V	350V
Maximum Overload Voltage	500V	700V
Voltage Proof	300V	500V
Resistance Range	1 Ω - 10M Ω & 0 Ω for E24 & E96 series value	
Operating Temp. Range	-55°C to +155°C	
Temperature Coefficient	±50ppm/°C	

Note: Special value is available on request

ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS


PERFORMANCE TEST	TEST METHOD	APPRAISE
Short-Time Overload	IEC 60115-1 4.13 2.5 times RCWV for 5 Sec.	±0.25%+0.05 Ω
Voltage Proof	IEC 60115-1 4.7 in Vblock for 60 Sec, test voltage by type	By type
Temperature Coefficient	IEC 60115-1 4.8 -55°C to +155°C	By type
Insulation Resistance	IEC 60115-1 4.6 in Vblock for 60 Sec.	>10,000M Ω
Solderability	IEC 60115-1 4.17 235±5°C for 3±0.5 Sec.	95% Min. coverage
Solvent Resistance of Marking	IEC 60115-1 4.30 IPA for 5±0.5 Min. with ultrasonic	No deterioration of coatings and markings
Robustness of Terminations	IEC 60115-1 4.16 Direct load for 10 Sec. in the direction of the terminal leads	≥2.5kg (24.5N)
Periodic-pulse Overload	IEC 60115-1 4.39 4 times RCWV 10,000 cycles (1 Sec. on, 25 Sec. off)	±1.0%+0.05 Ω
Damp Heat Steady State	IEC 60115-1 4.24 40±2°C, 90-95% RH for 56 days, loaded with 0.1 times RCWV	±1.5%+0.05 Ω
Endurance at 70°C	IEC 60115-1 4.25 70±2°C at RCWV for 1,000 Hrs. (1.5 Hrs. on, 0.5 Hrs. off)	±1.5%+0.05 Ω
Temperature Cycling	IEC 60115-1 4.19 -55°C ⇌ Room Temp. ⇌ +155°C ⇌ Room Temp. (5 cycles)	±0.75%+0.05 Ω
Resistance to Soldering Heat	IEC 60115-1 4.18 260±3°C for 10±1 Sec., immersed to a point 3±0.5mm from the body	±0.25%+0.05 Ω

Note: Rated Continuous Working Voltage (RCWV) = $\sqrt{\text{Power Rating} \times \text{Resistance Value}}$

Abbildung 25: Conrad.com. Online verfügbar unter <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001417613DS01/datenblatt-1417613-yageo-mf0207fte52-33k-metallschicht-widerstand-33-k-axial-be-drahtet-0207-06-w-1-1-st.pdf> (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt Widerstände Yageo (Seite 2)

Anlage 5:

WIMA FKP 2



Impulsfeste Polypropylen (PP) - Film/Folien-Kondensatoren im Rastermaß 5 mm.
Kapazitätswerte von 33 pF bis 0,033 µF. Nennspannungen von 63 V- bis 1000 V-.

Spezielle Eigenschaften

Elektrische Daten

- Impulsbelastbar
- Enge Toleranzen bis $\pm 2,5\%$ ($\pm 1\%$ auf Anfrage)
- Sehr niedriger Verlustfaktor
- Negative Kapazitätsänderung über Temperatur
- Sehr niedrige dielektrische Absorption
- Konform RoHS 2011/65/EU

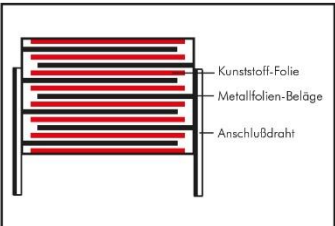
Anwendungsgebiete

Einsatz in frequenzbelasteten Applikationen wie z.B.

- Sample and Hold
- Timing
- LC-Filter
- Schwingkreise
- Audio-Bereich

Aufbau

Dielektrikum: Polypropylen (PPI) Folie
Beläge: Metallfolie
Innerer Aufbau:



Umhüllung: Lösungsmittelresistentes, flammhemmendes Kunststoffgehäuse mit Epoxidharzverguss, UL 94 V-0
Anschlüsse: Verzinnter Draht.
Kennzeichnung: Farbe: Rot. Aufdruck: Schwarz.

Kapazitätsspektrum: 33 pF bis 0,033 µF (E12-Werte auf Anfrage)
Nennspannungen: 63 V-, 100 V-, 250 V-, 400 V-, 630 V-, 800 V-, 1000 V-
Kapazitätstoleranzen: $\pm 20\%$, $\pm 10\%$, $\pm 5\%$, $\pm 2,5\%$ (als Präzisionskondensatoren mit $\pm 2\%$, $\pm 1,5\%$ oder $\pm 1\%$ auf Anfrage)
Betriebstemperaturbereich: -55°C bis $+100^\circ\text{C}$
Prüfungen: Nach IEC 60384-13
Klimaprüfklasse: 55/100/56 nach IEC
Isolationswerte bei $+20^\circ\text{C}$: $\geq 3 \cdot 10^5\text{ M}\Omega$
 Meßspannung:
 $U_N = 63\text{ V}$: $U_{\text{meß}} = 50\text{ V}/1\text{ min.}$
 $U_N \geq 100\text{ V}$: $U_{\text{meß}} = 100\text{ V}/1\text{ min.}$
Verlustfaktoren bei $+20^\circ\text{C}$: $\tan \delta$

Gemessen bei	$C \leq 1000\text{ pF}$	$1000\text{ pF} < C \leq 4700\text{ pF}$	$C > 4700\text{ pF}$
1 kHz	$\leq 5 \cdot 10^{-4}$	$\leq 5 \cdot 10^{-4}$	$\leq 5 \cdot 10^{-4}$
10 kHz	$\leq 6 \cdot 10^{-4}$	$\leq 6 \cdot 10^{-4}$	$\leq 6 \cdot 10^{-4}$
100 kHz	$\leq 8 \cdot 10^{-4}$	$\leq 8 \cdot 10^{-4}$	-
1 MHz	$\leq 10 \cdot 10^{-4}$	-	-

Mechanische Prüfungen

Verpackung

Zugtest Anschlußdrähte: 10 N in Drahrichtung nach IEC 60068-2-21
Schwingen: 6 h bei 10...2000 Hz und 0,75 mm Auslenkung bzw. 10 g nach IEC 60068-2-6.
Unterdruck: 1 kPa = 10 mbar nach IEC 60068-2-13
Stoßtest: 4000 Stöße mit 390 m/s^2 nach IEC 60068-2-29.

Gegurtet lieferbar.

 Detaillierte Gurtungsangaben und Maßzeichnungen am Ende des Hauptkataloges.

 Weitere Angaben siehe Technische Information.

01:19

Abbildung 26: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_FKP_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA FKP2 (Seite 1)

WIMA FKP 2



Fortsetzung

Wertespektrum

Kapazität	63 V-/40 V~*					100 V-/63 V~*				
	B	H	L	RM**	Bestellnummer	B	H	L	RM**	Bestellnummer
100 pF	4,5	6	7,2	5	FKP2C001001D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2D001001D00_
150 "	4,5	6	7,2	5	FKP2C001501D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2D001501D00_
220 "	4,5	6	7,2	5	FKP2C002201D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2D002201D00_
330 "	4,5	6	7,2	5	FKP2C003301D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2D003301D00_
470 "	4,5	6	7,2	5	FKP2C004701D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2D004701D00_
680 "	4,5	6	7,2	5	FKP2C006801D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2D006801D00_
1000 pF	4,5	6	7,2	5	FKP2C011001D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2D011001D00_
1500 "	4,5	6	7,2	5	FKP2C011501D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2D011501D00_
2200 "	4,5	6	7,2	5	FKP2C012201D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2D012201D00_
3300 "	4,5	6	7,2	5	FKP2C013301D00_	5,5	7	7,2	5	FKP2D013301G00_
4700 "	4,5	6	7,2	5	FKP2C014701D00_	5,5	7	7,2	5	FKP2D014701G00_
6800 "	4,5	6	7,2	5	FKP2C016801D00_	5,5	7	7,2	5	FKP2D016801G00_
0,01 µF	5,5	7	7,2	5	FKP2C021001G00_	6,5	8	7,2	5	FKP2D021001J00_
0,015 "	6,5	8	7,2	5	FKP2C021501J00_	7,2	8,5	7,2	5	FKP2D021501J00_
0,022 "	7,2	8,5	7,2	5	FKP2C022201J00_	8,5	10	7,2	5	FKP2D022201L00_
0,033 "	8,5	10	7,2	5	FKP2C023301L00_					

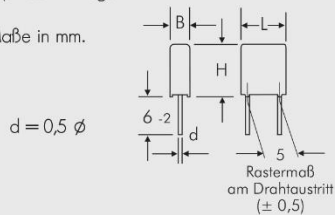
Kapazität	250 V-/160 V~*					400 V-/220 V~*				
	B	H	L	RM**	Bestellnummer	B	H	L	RM**	Bestellnummer
100 pF	4,5	6	7,2	5	FKP2F001001D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2G001001D00_
150 "	4,5	6	7,2	5	FKP2F001501D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2G001501D00_
220 "	4,5	6	7,2	5	FKP2F002201D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2G002201D00_
330 "	4,5	6	7,2	5	FKP2F003301D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2G003301D00_
470 "	4,5	6	7,2	5	FKP2F004701D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2G004701D00_
680 "	4,5	6	7,2	5	FKP2F006801D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2G006801D00_
1000 pF	4,5	6	7,2	5	FKP2F011001D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2G011001D00_
1500 "	4,5	6	7,2	5	FKP2F011501D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2G011501D00_
2200 "	4,5	6	7,2	5	FKP2F012201D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2G012201D00_
3300 "	5,5	7	7,2	5	FKP2F013301G00_	5,5	7	7,2	5	FKP2G013301G00_
4700 "	6,5	8	7,2	5	FKP2F014701J00_	6,5	8	7,2	5	FKP2G014701J00_
6800 "	6,5	8	7,2	5	FKP2F016801J00_	7,2	8,5	7,2	5	FKP2G016801J00_
0,01 µF	7,2	8,5	7,2	5	FKP2F021001J00_	8,5	10	7,2	5	FKP2G021001L00_
0,015 "	8,5	10	7,2	5	FKP2F021501L00_					

* Wechselspannungen: $f \leq 1000 \text{ Hz}$; $1,4 \cdot U_{\text{eff}} \sim + U_{-} \leq U_N$

** RM = Rastermaß.

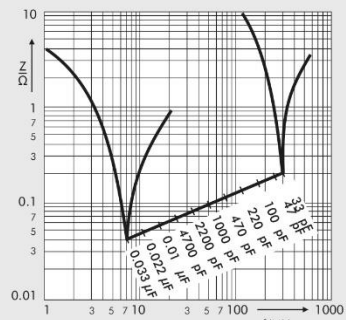
Individuelle Werte sowie Werte der E12-Reihe ab 27 pF auf Anfrage.

Alle Maße in mm.



Abweichungen und Konstruktionsänderungen vorbehalten.

Bestellnummer-Ergänzung:	
Toleranz:	20 % = M
	10 % = K
	5 % = J
	2,5 % = H
	2 % = G
	1,5 % = F
	1 % = E
Verpackung:	lose = S
Drahtlänge:	6-2 = SD
Gurtungsangaben Seite 149	



Scheinwiderstand in Abhängigkeit von der Frequenz (Richtwerte).

Fortsetzung Seite 36

01.19

Abbildung 27: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_FKP_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA FKP 2 (Seite 2)

WIMA FKP 2



Fortsetzung

Wertespektrum

Kapazität	630 V-/250 V~*					800 V-/250 V~*				
	B	H	L	RM**	Bestellnummer	B	H	L	RM**	Bestellnummer
100 pF	4,5	6	7,2	5	FKP2J001001D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2L001001D00_
150 "	4,5	6	7,2	5	FKP2J001501D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2L001501D00_
220 "	4,5	6	7,2	5	FKP2J002201D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2L002201D00_
330 "	4,5	6	7,2	5	FKP2J003301D00_	4,5	6	7,2	5	FKP2L003301D00_
470 "	4,5	6	7,2	5	FKP2J004701D00_	5,5	7	7,2	5	FKP2L004701G00_
680 "	4,5	6	7,2	5	FKP2J006801D00_	5,5	7	7,2	5	FKP2L006801G00_
1000 pF	4,5	6	7,2	5	FKP2J011001D00_	5,5	7	7,2	5	FKP2L011001G00_
1500 "	4,5	6	7,2	5	FKP2J011501D00_	5,5	7	7,2	5	FKP2L011501G00_
2200 "	5,5	7	7,2	5	FKP2J012201G00_	6,5	8	7,2	5	FKP2L012201I00_
3300 "	6,5	8	7,2	5	FKP2J013301I00_	7,2	8,5	7,2	5	FKP2L013301J00_
4700 "	6,5	8	7,2	5	FKP2J014701I00_	8,5	10	7,2	5	FKP2L014701L00_
6800 "	7,2	8,5	7,2	5	FKP2J016801J00_					
0,01 µF	8,5	10	7,2	5	FKP2J021001L00_					

Kapazität	1000 V-/250 V~*				
	B	H	L	RM**	Bestellnummer
33 pF	4,5	6	7,2	5	FKP2O100331D00_
47 "	4,5	6	7,2	5	FKP2O100471D00_
68 "	4,5	6	7,2	5	FKP2O100681D00_
100 pF	4,5	6	7,2	5	FKP2O101001D00_
150 "	4,5	6	7,2	5	FKP2O101501D00_
220 "	4,5	6	7,2	5	FKP2O102201D00_
330 "	4,5	6	7,2	5	FKP2O103301D00_
470 "	5,5	7	7,2	5	FKP2O104701G00_
680 "	5,5	7	7,2	5	FKP2O106801G00_
1000 pF	6,5	8	7,2	5	FKP2O111001I00_
1500 "	7,2	8,5	7,2	5	FKP2O111501J00_
2200 "	8,5	10	7,2	5	FKP2O112201L00_

Individuelle Werte sowie Werte der E12-Reihe ab 27 pF auf Anfrage.

Alle Maße in mm.

Bestellnummer-Ergänzung:	
Toleranz:	20 % = M
	10 % = K
	5 % = J
	2,5 % = H
	2 % = G
	1,5 % = F
	1 % = E
Verpackung:	lose = S
Drahtlänge:	6-2 = SD
Gurtungsangaben Seite 149	

* Nennspannungen: $f \leq 1000 \text{ Hz}$; $1,4 \cdot U_{\text{eff}} \sim + U_{-} \leq U_N$

** RM = Rastermaß.

Abweichungen und Konstruktionsänderungen vorbehalten.

Zulässige Wechselfspannung in Abhängigkeit von der Frequenz bei 10° C Eigenerwärmung (Richtwerte).

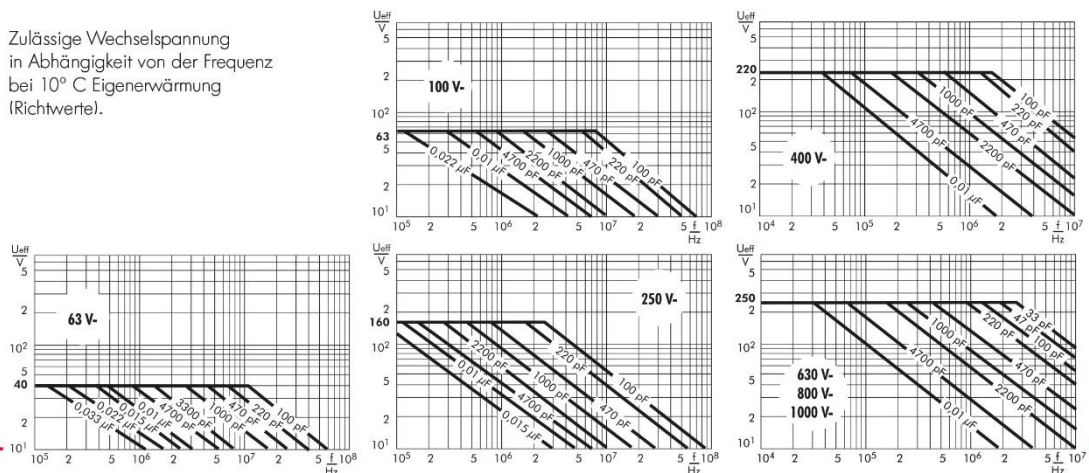


Abbildung 28: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_FKP_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA FKP2 (Seite 3)

Anlage 6:

WIMA MKP 2



**Metallisierte Polypropylen (PP)- Kondensatoren im Rastermaß 5 mm.
Kapazitätswerte von 1000 pF bis 1,0 µF. Nennspannungen von 63 V- bis 1000 V-.**

Spezielle Eigenschaften

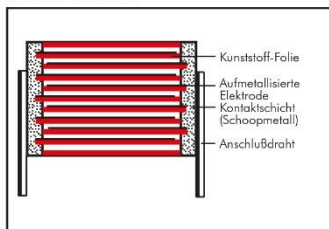
- Hohe Volumenkapazität
- Ausheißfähig
- Erhöhte Impulsbelastbarkeit ab 250 V- Nennspannung
- Sehr niedriger Verlustfaktor
- Negative Kapazitätsänderung über Temperatur
- Sehr niedrige dielektrische Absorption
- AEC-Q200 qualifiziert AEC-Q200
- Konform RoHS 2011/65/EU

Anwendungsgebiete

- Einsatz in frequenzbelasteten Applikationen wie z. B.
- Sample and Hold
 - Timing
 - Schwingkreise
 - Hochfrequenz-Koppeln und -Entkoppeln

Aufbau

Dielektrikum:
Polypropylen (PP) Folie
Beläge:
Aufmetallisiert
Innerer Aufbau:



Umhüllung:
Lösungsmittelresistentes, flammhemmendes Kunststoffgehäuse mit Epoxidharzverguss, UL 94 V-0
Anschlüsse:
Verzinnter Draht.
Kennzeichnung:
Farbe: Rot. Aufdruck: Schwarz.

Elektrische Daten

Kapazitätsspektrum:
1000 pF bis 1,0 µF (E12-Werte auf Anfrage)
Nennspannungen:
63 V-, 100 V-, 250 V-, 400 V-, 630 V-, 800 V-, 1000 V-
Kapazitätstoleranzen:
± 20%, ±10%, ±5%
Betriebstemperaturbereich:
-55° C bis +100° C
Prüfungen:
Nach IEC 60384-16
Klimaprüfklasse:
55/100/56 nach IEC
Isolationswerte bei +20° C:
≥ 1 · 10⁵ MΩ
Meßspannung:
U_N = 63 V: U_{meß} = 50 V/1 min.
U_N ≥ 100 V: U_{meß} = 100 V/1 min.
Prüfspannung:
1,6 U_N, 2s.
Impulsbelastung:

Dielektrische Absorption:
0,05 %

Verlustfaktoren bei +20° C: tan δ

Gemessen bei	C ≤ 0,1 µF	0,1 µF < C ≤ 1,0 µF
1 kHz	≤ 5 · 10 ⁻⁴	≤ 5 · 10 ⁻⁴
10 kHz	≤ 8 · 10 ⁻⁴	≤ 8 · 10 ⁻⁴
100 kHz	≤ 25 · 10 ⁻⁴	-

Spannungsderating:

Die zulässige Spannung vermindert sich gegenüber der Nennspannung bei Gleichspannungsbetrieb ab +85° C, bei Wechselspannungsbetrieb ab +75° C um 1,35% je 1 K

Zuverlässigkeit:

Betriebszeit > 300 000 h
Ausfallrate < 2 fit (0,5 · U_N und 40° C)

C-Wert pF/µF	max. Flankensteilheit V/µs						
	63 V-	100 V-	250 V-	400 V-	630 V-	800 V-	1000 V-
1000 ... 2200	-	-	-	300	400	450	500
3300 ... 6800	-	-	-	300	400	450	500
0,01 ... 0,022	100	100	250	300	400	450	500
0,033 ... 0,068	100	100	250	300	400	450	-
0,1 ... 0,22	100	100	250	250	-	-	-
0,33 ... 0,68	100	100	250	-	-	-	-
1,0	70	70	-	-	-	-	-

bei vollem Spannungshub

Mechanische Prüfungen

Zugtest Anschlußdrähte:
10 N in Drahrichtung nach IEC 60068-2-21
Schwingen:
6 h bei 10 ... 2000 Hz und 0,75 mm Auslenkung bzw. 10 g nach IEC 60068-2-6
Unterdruck:
1kPa = 10 mbar nach IEC 60068-2-13
Stoßtest:
4000 Stöße mit 390 m/s² nach IEC 60068-2-29

Verpackung

Gegutet lieferbar.
Detaillierte Gurtungsangaben und Maßzeichnungen am Ende des Hauptkataloges.
Weitere Angaben siehe Technische Information.

01.19

Abbildung 29: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKP_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKP2 (Seite 1)

WIMA MKP 2



Fortsetzung

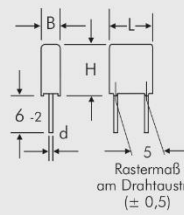
Wertespektrum

Kapazität	63 V-/40 V~*					100 V-/63 V~*				
	B	H	L	RM**	Bestellnummer	B	H	L	RM**	Bestellnummer
0,01 µF	3	7,5	7,2	5	MKP2C021001B00_____	3	7,5	7,2	5	MKP2D021001B00_____
0,015 "	3	7,5	7,2	5	MKP2C021501B00_____	3	7,5	7,2	5	MKP2D021501B00_____
0,022 "	3	7,5	7,2	5	MKP2C022201B00_____	3	7,5	7,2	5	MKP2D022201B00_____
0,033 "	3	7,5	7,2	5	MKP2C023301B00_____	3	7,5	7,2	5	MKP2D023301B00_____
0,047 "	3,5	8,5	7,2	5	MKP2C024701C00_____	3,5	8,5	7,2	5	MKP2D024701C00_____
0,068 "	4,5	9,5	7,2	5	MKP2C026801E00_____	4,5	9,5	7,2	5	MKP2D026801E00_____
0,1 µF	5	10	7,2	5	MKP2C031001F00_____	5	10	7,2	5	MKP2D031001F00_____
0,15 "	5,5	11,5	7,2	5	MKP2C031501H00_____	5,5	11,5	7,2	5	MKP2D031501H00_____
0,22 "	7,2	13	7,2	5	MKP2C032201K00_____	7,2	13	7,2	5	MKP2D032201K00_____
0,33 "	8,5	14	7,2	5	MKP2C033301M00_____	8,5	14	7,2	5	MKP2D033301M00_____
0,47 "	8,5	14	7,2	5	MKP2C034701M00_____	8,5	14	7,2	5	MKP2D034701M00_____
0,68 "	8,5	14	7,2	5	MKP2C036801M00_____	8,5	14	7,2	5	MKP2D036801M00_____
1,0 µF	11	16	7,2	5	MKP2C041001N00_____	11	16	7,2	5	MKP2D041001N00_____

Kapazität	250 V-/160 V~*					400 V-/200 V~*				
	B	H	L	RM**	Bestellnummer	B	H	L	RM**	Bestellnummer
1000 pF						3	7,5	7,2	5	MKP2G011001B00_____
1500 "						3	7,5	7,2	5	MKP2G011501B00_____
2200 "						3	7,5	7,2	5	MKP2G012201B00_____
3300 "						3	7,5	7,2	5	MKP2G013301B00_____
4700 "						3	7,5	7,2	5	MKP2G014701B00_____
6800 "						3	7,5	7,2	5	MKP2G016801B00_____
0,01 µF	3	7,5	7,2	5	MKP2F021001B00_____	3,5	8,5	7,2	5	MKP2G021001C00_____
0,015 "	3	7,5	7,2	5	MKP2F021501B00_____	3,5	8,5	7,2	5	MKP2G021501C00_____
0,022 "	3	7,5	7,2	5	MKP2F022201B00_____	4,5	9,5	7,2	5	MKP2G022201E00_____
0,033 "	3	7,5	7,2	5	MKP2F023301B00_____	5,5	11,5	7,2	5	MKP2G023301H00_____
0,047 "	3,5	8,5	7,2	5	MKP2F024701C00_____	7,2	13	7,2	5	MKP2G024701K00_____
0,068 "	4,5	9,5	7,2	5	MKP2F026801E00_____	7,2	13	7,2	5	MKP2G026801K00_____
0,1 µF	5	10	7,2	5	MKP2F031001F00_____	8,5	14	7,2	5	MKP2G031001M00_____
0,15 "	7,2	13	7,2	5	MKP2F031501K00_____	11	16	7,2	5	MKP2G031501N00_____
0,22 "	7,2	13	7,2	5	MKP2F032201K00_____					
0,33 "	8,5	14	7,2	5	MKP2F033301M00_____					
0,47 "	11	16	7,2	5	MKP2F034701N00_____					

Kapazität	630 V-/250 V~*				
	B	H	L	RM**	Bestellnummer
1000 pF	3	7,5	7,2	5	MKP2J011001B00_____
1500 "	3	7,5	7,2	5	MKP2J011501B00_____
2200 "	3	7,5	7,2	5	MKP2J012201B00_____
3300 "	3	7,5	7,2	5	MKP2J013301B00_____
4700 "	3	7,5	7,2	5	MKP2J014701B00_____
6800 "	3,5	8,5	7,2	5	MKP2J016801C00_____
0,01 µF	4,5	9,5	7,2	5	MKP2J021001E00_____
0,015 "	5	10	7,2	5	MKP2J021501F00_____
0,022 "	5,5	11,5	7,2	5	MKP2J022201H00_____
0,033 "	7,2	13	7,2	5	MKP2J023301K00_____
0,047 "	8,5	14	7,2	5	MKP2J024701M00_____
0,068 "	11	16	7,2	5	MKP2J026801N00_____

** RM = Rastermaß.
Alle Maße in mm.



Bestellnummer-Ergänzung:	
Toleranz:	20 % = M
	10 % = K
	5 % = J
Verpackung:	lose = S
Drahtlänge:	6-2 = SD
Gurtungsangaben Seite 149	

$d = 0,5 \phi$

* Wechselspannungen: $f \leq 400 \text{ Hz}$; $1,4 \cdot U_{\text{eff}} \sim + U_- \leq U_N$

Abweichungen und Konstruktionsänderungen vorbehalten.

6:10

Abbildung 30: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKP_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKP2 (Seite 2)

WIMA MKP 2



Fortsetzung

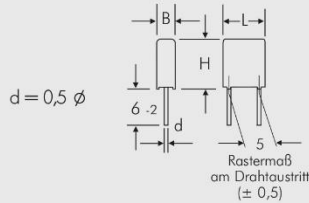
Wertespektrum

Kapazität	800 V-/250 V-~*					1000 V-/250 V-~*				
	B	H	L	RM**	Bestellnummer	B	H	L	RM**	Bestellnummer
1000 pF	3	7,5	7,2	5	MKP2L011001B00_	3	7,5	7,2	5	MKP2O111001B00_
1500 "	3	7,5	7,2	5	MKP2L011501B00_	3	7,5	7,2	5	MKP2O111501B00_
2200 "	3	7,5	7,2	5	MKP2L012201B00_	3	7,5	7,2	5	MKP2O112201B00_
3300 "	3	7,5	7,2	5	MKP2L013301B00_	3,5	8,5	7,2	5	MKP2O113301C00_
4700 "	3,5	8,5	7,2	5	MKP2L014701C00_	4,5	9,5	7,2	5	MKP2O114701E00_
6800 "	4,5	9,5	7,2	5	MKP2L016801E00_	5	10	7,2	5	MKP2O116801F00_
0,01 µF	5	10	7,2	5	MKP2L021001F00_	7,2	13	7,2	5	MKP2O121001K00_
0,015 "	5,5	11,5	7,2	5	MKP2L021501H00_	8,5	14	7,2	5	MKP2O121501M00_
0,022 "	7,2	13	7,2	5	MKP2L022201K00_	11	16	7,2	5	MKP2O122201N00_
0,033 "	8,5	14	7,2	5	MKP2L023301M00_					
0,047 "	11	16	7,2	5	MKP2L024701N00_					

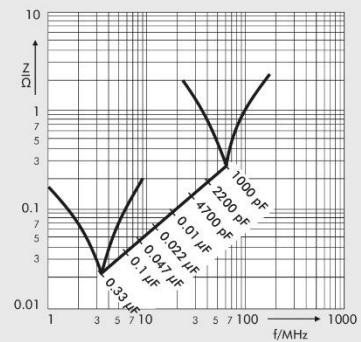
* Wechselspannungen: $f \leq 400 \text{ Hz}$; $1,4 \cdot U_{\text{eff}} \sim + U_- \leq U_N$

** RM = Rastermaß.

Alle Maße in mm.

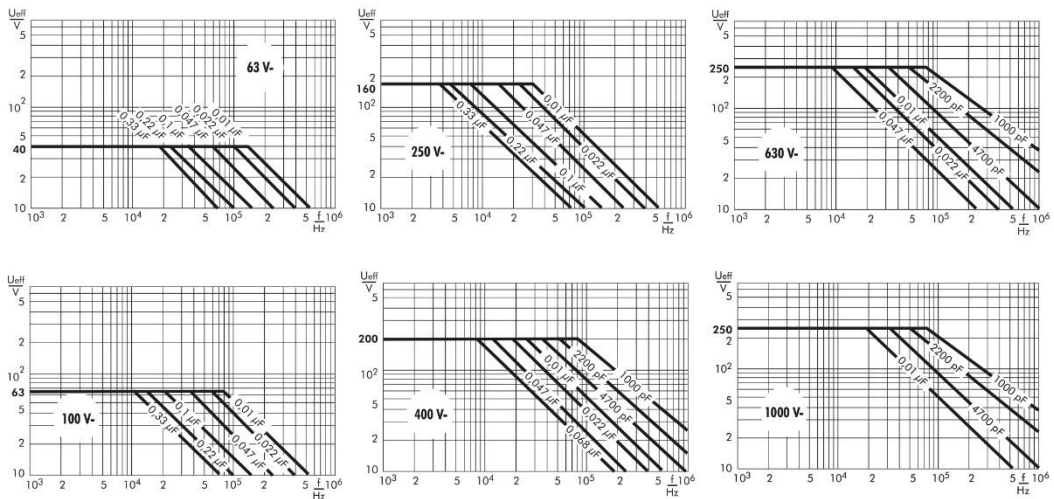


Bestellnummer-Ergänzung:
 Toleranz: 20 % = M
 10 % = K
 5 % = J
 Verpackung: lose = S
 Drahtlänge: 6-2 = SD
 Gurtungsangaben Seite 149



Scheinwiderstand in Abhängigkeit von der Frequenz (Richtwerte).

Zulässige Wechselspannung in Abhängigkeit von der Frequenz bei 10° C Eigenwärnung (Richtwerte).



01.19

Abbildung 31: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKP_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKP2 (Seite 3)

Anlage 7:

WIMA MKP 4



**Metallisierte Polypropylen (PP) -
Kondensatoren in den Rastermaßen
7,5 mm bis 52,5 mm**

Spezielle Eigenschaften

- Hohe Volumenkapazität
- Ausheilfähig
- Sehr niedriger Verlustfaktor
- Negative Kapazitätsänderung über Temperatur
- Sehr niedrige dielektrische Absorption
- Konform RoHS 2011/65/EC

Anwendungsgebiete

Einsatz in frequenzbelasteten

Applikation wie z.B.

- Sample and Hold
- Timing
- Schwingkreise
- Hochfrequenz-Koppeln und -Entkoppeln

Aufbau

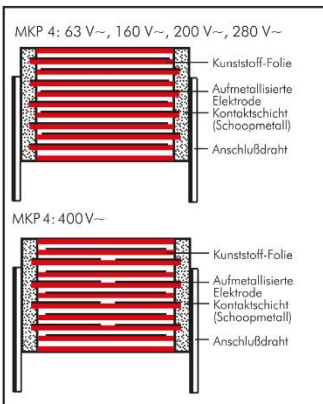
Dielektrikum:

Polypropylen (PP) Folie

Beläge:

Aufmetallisiert

Innerer Aufbau:



Umhüllung:

Lösungsmittelresistentes, flammhemmendes Kunststoffgehäuse mit Epoxidharzverguß, UL 94 V-0

Anschlüsse:

Verzinnter Draht.

Kennzeichnung:

Farbe: Rot. Aufdruck: Schwarz. Epoxidharzverguß: Rot

Elektrische Daten

Kapazitätsspektrum:

0,01 µF bis 150 µF (E12-Werte auf Anfrage!)

Nennspannungen:

100 V~, 250 V~, 400 V~, 630 V~, 1000 V~

Kapazitätstoleranzen:

±20%, ±10%, ±5%

Betriebstemperaturbereich:

-55° C bis +100° C

Klimaprüfklasse:

55/100/56 nach IEC

Isolationswerte bei +20° C:

$C \leq 0,33 \mu\text{F}: \geq 1 \cdot 10^5 \text{ M}\Omega$

(Mittelwert: $5 \cdot 10^5 \text{ M}\Omega$)

$C > 0,33 \mu\text{F}: \geq 30000 \text{ s (M}\Omega \cdot \mu\text{F)}$

(Mittelwert: 100000 s)

Meßspannung: 100 V/1 min.

Verlustfaktoren bei +20° C:

$\tan \delta \leq 10 \cdot 10^{-4}$ bei 1kHz (IC $\leq 50 \mu\text{F}$)

$\tan \delta \leq 15 \cdot 10^{-4}$ bei 1kHz (IC $> 50 \mu\text{F}$)

Impulsbelastung:

C-Wert µF	max. Flankensteilheit V/µs bei T _A < 40° C				
	100 V~	250 V~	400 V~	630 V~	1000 V~
0,01 ... 0,022	450	450	450	500	550
0,033 ... 0,068	250	250	300	350	400
0,1 ... 0,22	150	150	200	250	300
0,33 ... 0,68	100	100	150	200	200
1,0 ... 2,2	75	100	100	150	150
3,3 ... 4,7	60	100	100	120	140
6,8 ... 10	40	50	60	85	100
15 ... 33	35	50	18	36	-
47 ... 150	10	13	-	-	-

bei vollem Spannungshub

Mechanische Prüfungen

Zugtest Anschlußdrähte:

$d \leq 0,8 \phi$: 10 N in Drahrichtung

$d > 0,8 \phi$: 20 N in Drahrichtung

nach IEC 60068-2-21

Schwingen:

6 h bei 10...2000 Hz und 0,75 mm

Auslenkung bzw. 10 g nach IEC 60068-2-6

Unterdruck:

1 kPa = 10 mbar nach IEC 60068-2-13

Stoßtest:

4000 Stöße mit 390 m/s² nach

IEC 60068-2-29

Prüfungen:

Nach IEC 60384-16

Prüfspannung: 1,6 U_N, 2s

Dielektrische Absorption: 0,05%

Spannungsderating:

Die zulässige Spannung vermindert sich gegenüber der Nennspannung bei Gleichspannungsbetrieb ab +85° C, bei Wechselspannungsbetrieb ab +75° C um 1,35% je 1K

Zuverlässigkeit:

Betriebszeit > 300.000 h

Ausfallrate < 2 fit (0,5 · U_N und 40° C)

Spezifische Verlustleistung:

Baufom* BxHxL in mm	Spezifische Verlustleistung in W für 1 K über Umgebungstemperatur
35 x 50 x 57	0,132
45 x 55 x 57	0,164
45 x 65 x 57	0,184

* Angaben für kleinere Bauformen siehe Seite 10

Verpackung

Gegurtet lieferbar bis einschließlich Bauform 15 x 26 x 31,5 / RM 27,5 mm.

Detaillierte Gurtungsangaben und Maßzeichnungen am Ende des Hauptkataloges.

Weitere Angaben siehe Technische Information.

Abbildung 32: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKP_4.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKP4 (Seite 1)

WIMA MKP 4



Fortsetzung

Wertespektrum

Kapazität	100 V-/63 V~*					250 V-/160 V~*				
	B	H	L	RM**	Bestellnummer	B	H	L	RM**	Bestellnummer
0,01 µF	3	8,5	10	7,5	MKP4D021002B	3	8,5	10	7,5	MKP4F021002B
0,015 "	3	8,5	10	7,5	MKP4D021502B	3	8,5	10	7,5	MKP4F021502B
0,022 "	3	8,5	10	7,5	MKP4D022202B	3	8,5	10	7,5	MKP4F022202B
0,033 "	3	8,5	10	7,5	MKP4D023302B	3	8,5	10	7,5	MKP4F023302B
0,047 "	4	9	13	10	MKP4D023303C	4	9	13	10	MKP4F023303C
	4	9	10	7,5	MKP4D024702C	4	9	10	7,5	MKP4F024702C
	4	9	13	10	MKP4D024703C	4	9	13	10	MKP4F024703C
0,068 "	4	9	10	7,5	MKP4D026802C	4	9	10	7,5	MKP4F026802C
	4	9	13	10	MKP4D026803C	4	9	13	10	MKP4F026803C
0,1 µF	4,5	9,5	10,3	7,5	MKP4D031002D	4,5	9,5	10,3	7,5	MKP4F031002D
	4	9	13	10	MKP4D031003C	4	9	13	10	MKP4F031003C
0,15 "	5	10,5	10,3	7,5	MKP4D031502E	5	10,5	10,3	7,5	MKP4F031502E
	5	11	13	10	MKP4D031503F	5	11	13	10	MKP4F031503F
0,22 "	6	12	13	10	MKP4D032203G	6	12	13	10	MKP4F032203G
	5	11	18	15	MKP4D032204B	5	11	18	15	MKP4F032204B
0,33 "	6	12,5	18	15	MKP4D033304C	6	12,5	18	15	MKP4F033304C
0,47 "	7	14	18	15	MKP4D034704D	7	14	18	15	MKP4F034704D
0,68 "	8	15	18	15	MKP4D036804F	8	15	18	15	MKP4F036804F
	6	15	26,5	22,5	MKP4D036805B	6	15	26,5	22,5	MKP4F036805B
1,0 µF	7	16,5	26,5	22,5	MKP4D041005D	7	16,5	26,5	22,5	MKP4F041005D
1,5 "	10,5	19	26,5	22,5	MKP4D041505G	10,5	19	26,5	22,5	MKP4F041505G
2,2 "	11	21	26,5	22,5	MKP4D042205I	11	21	26,5	22,5	MKP4F042205I
	11	21	31,5	27,5	MKP4D042206B	11	21	31,5	27,5	MKP4F042206B
3,3 "	13	24	31,5	27,5	MKP4D043306D	13	24	31,5	27,5	MKP4F043306D
4,7 "	13	24	31,5	27,5	MKP4D044706D	15	26	31,5	27,5	MKP4F044706F
6,8 "	15	26	31,5	27,5	MKP4D046806F	17	29	31,5	27,5	MKP4F046806G
	13	24	41,5	37,5	MKP4D046807C	15	26	41,5	37,5	MKP4F046807D
10 µF	17	29	41,5	37,5	MKP4D051007E	19	32	41,5	37,5	MKP4F051007F
15 "	19	32	41,5	37,5	MKP4D051507F	20	39,5	41,5	37,5	MKP4F051507G
22 "	20	39,5	41,5	37,5	MKP4D052207G	24	45,5	41,5	37,5	MKP4F052207H
33 "	24	45,5	41,5	37,5	MKP4D053307H	35	50	41,5	37,5	MKP4F053307J
47 "	35	50	41,5	37,5	MKP4D054707J	35	50	57	52,5	MKP4F054709F
68 "	40	55	41,5	37,5	MKP4D056807K	45	65	57	52,5	MKP4F056809J
	35	50	57	52,5	MKP4D056809F					
100 µF	45	55	57	52,5	MKP4D061009H					
150 "	45	65	57	52,5	MKP4D061509J					

* Wechselspannungen: $f \leq 400 \text{ Hz}$; $1,4 \cdot U_{\text{eff}} \sim + U_- \leq U_N$

Neue Werte

** RM = Rastermaß

Alle Maße in mm.

Bestellnummer-Ergänzung:	
Versions-Code:	2-Draht = 00 4-Draht = D4
Toleranz:	20 % = M 10 % = K 5 % = J
Verpackung:	lose = S
Drahtlänge:	6-2 = SD
Gurtungsangaben Seite 148	

Abweichungen und Konstruktionsänderungen vorbehalten.

Fortsetzung Seite 53

Abbildung 33: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKP_4.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKP4 (Seite 2)

WIMA MKP 4



Fortsetzung

Wertespektrum

Kapazität	400 V-/220 V~*					630 V-/280 V~*				
	B	H	L	RM**	Bestellnummer	B	H	L	RM**	Bestellnummer
0,01 µF	3	8,5	10	7,5	MKP4G021002B_	3	8,5	10	7,5	MKP4J021002B_
0,015 "	3	8,5	10	7,5	MKP4G021502B_	4	9	13	10	MKP4J021003C_
	4	9	13	10	MKP4G021503C_	4	9	10	7,5	MKP4J021502C_
0,022 "	4	9	10	7,5	MKP4G022202C_	4	9	13	10	MKP4J021503C_
	4	9	13	10	MKP4G022203C_	4,5	9,5	10,3	7,5	MKP4J022202D_
0,033 "	4	9	13	10	MKP4G023302D_	4	9	13	10	MKP4J022203C_
	4,5	9,5	10,3	7,5	MKP4G023303C_	5	10,5	10,3	7,5	MKP4J023302E_
0,047 "	4	9	13	10	MKP4G024702E_	4	9	13	10	MKP4J023303C_
	5	10,5	10,3	7,5	MKP4G024703C_	5,7	12,5	10,3	7,5	MKP4J024702F_
0,068 "	4	9	13	10	MKP4G026802F_	5	11	13	10	MKP4J024703F_
	5,7	12,5	10,3	7,5	MKP4G026803F_	6	12	13	10	MKP4J026803G_
0,1 µF	5	11	13	10	MKP4G026803F_	6	12,5	18	15	MKP4J026804C_
	6	12	13	10	MKP4G031003G_	7	14	18	15	MKP4J031004D_
0,15 "	5	11	18	15	MKP4G031004B_	8	15	18	15	MKP4J031504F_
	6	12,5	18	15	MKP4G031504C_	6	15	26,5	22,5	MKP4J031505B_
0,22 "	7	14	18	15	MKP4G032204D_	9	16	18	15	MKP4J032204J_
						7	16,5	26,5	22,5	MKP4J032205D_
0,33 "	8	15	18	15	MKP4G033304F_	8,5	18,5	26,5	22,5	MKP4J033305F_
	6	15	26,5	22,5	MKP4G033305B_	10,5	19	26,5	22,5	MKP4J034705G_
7	16,5	26,5	22,5	MKP4G034705D_						
0,47 "	8,5	18,5	26,5	22,5	MKP4G036805F_	11	21	31,5	27,5	MKP4J034706B_
						11	21	31,5	27,5	MKP4J036806B_
1,0 µF	11	21	26,5	22,5	MKP4G041005I_	13	24	31,5	27,5	MKP4J041006D_
	11	21	31,5	27,5	MKP4G041006B_	15	26	31,5	27,5	MKP4J041506F_
1,5 "	11	21	31,5	27,5	MKP4G041506B_					
2,2 "	15	26	31,5	27,5	MKP4G042206F_	17	29	41,5	37,5	MKP4J042207E_
3,3 "	17	29	31,5	27,5	MKP4G043306G_	19	32	41,5	37,5	MKP4J043307F_
	17	29	41,5	37,5	MKP4G043307E_	20	39,5	41,5	37,5	MKP4J044707G_
4,7 "	19	32	41,5	37,5	MKP4G044707F_					
6,8 "	20	39,5	41,5	37,5	MKP4G046807G_	24	45,5	41,5	37,5	MKP4J046807H_
10 µF	24	45,5	41,5	37,5	MKP4G051007H_	35	50	41,5	37,5	MKP4J051007J_
15 "	31	46	41,5	37,5	MKP4G051507I_	35	50	57	52,5	MKP4J051509F_
22 "	40	55	41,5	37,5	MKP4G052207K_	45	65	57	52,5	MKP4J052209J_
33 "	35	50	57	52,5	MKP4G052209F_	45	65	57	52,5	MKP4J052209J_
	45	65	57	52,5	MKP4G053309J_					

* Wechselspannungen: $f \leq 400 \text{ Hz}$; $1,4 \cdot U_{\text{eff}} \sim + U_- \leq U_N$

Neue Werte

** RM = Rastermaß

Alle Maße in mm.

Bestellnummer-Ergänzung:	
Versions-Code:	2-Draht = 00 4-Draht = D4
Toleranz:	20 % = M 10 % = K 5 % = J
Verpackung:	lose = S
Drahtlänge:	6-2 = SD
Gurtungsangaben Seite 148	

Abweichungen und Konstruktionsänderungen vorbehalten.

Fortsetzung Seite 54

11.12

Abbildung 34: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKP_4.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKP4 (Seite 3)

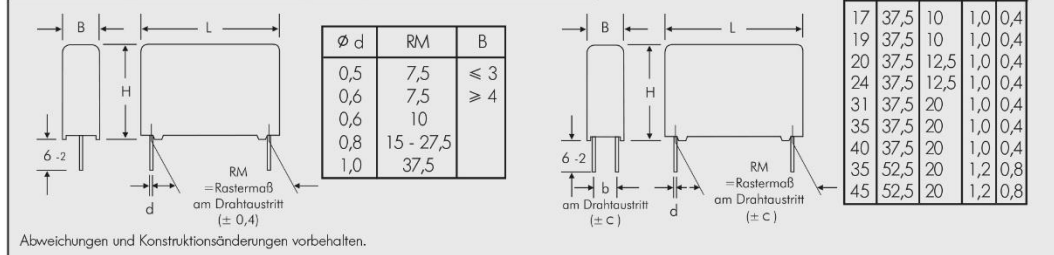
WIMA MKP 4



Fortsetzung

Wertespektrum

Kapazität	1000 V-/400 V~*				Bestellnummer	* Wechselspannungen: $f \leq 400 \text{ Hz}; 1,4 \cdot U_{\text{eff}} \sim + U_{-} \leq U_N$
	B	H	L	RM**		
0,01 μF	5,7	12,5	10,3	7,5	MKP4O121002F	Neue Werte ** RM = Rastermaß Alle Maße in mm. Bestellnummer-Ergänzung: Versions-Code: 2-Draht = 00 4-Draht = D4 Toleranz: 20 % = M 10 % = K 5 % = J Verpackung: lose = S Drahtlänge: 6-2 = SD Gurtungsangaben Seite 148
	5	11	13	10	MKP4O121003F	
	5	11	18	15	MKP4O121503F	
0,015 "	5	11	18	15	MKP4O122204B	
	6	12,5	18	15	MKP4O123304C	
0,022 "	5	11	18	15	MKP4O124704D	
0,033 "	6	12,5	18	15	MKP4O126804F	
0,047 "	7	14	18	15	MKP4O126805B	
0,068 "	6	15	26,5	22,5	MKP4O131004J	
0,1 μF	9	16	18	15	MKP4O131005D	
	7	16,5	26,5	22,5	MKP4O131505F	
0,15 "	8,5	18,5	26,5	22,5	MKP4O132205I	
0,22 "	11	21	26,5	22,5	MKP4O132206B	
	11	21	31,5	27,5	MKP4O133306B	
0,33 "	11	21	31,5	27,5	MKP4O134706D	
0,47 "	13	24	31,5	27,5	MKP4O136806G	
0,68 "	17	29	31,5	27,5	MKP4O141007E	
1,0 μF	17	29	41,5	37,5	MKP4O141507G	
	20	39,5	41,5	37,5	MKP4O142207H	
1,5 "	24	45,5	41,5	37,5	MKP4O143307I	
2,2 "	31	46	41,5	37,5	MKP4O144707J	
3,3 "	35	50	41,5	37,5	MKP4O146809F	
4,7 "	35	50	57	52,5	MKP4O151009J	
6,8 "	45	65	57	52,5		



Zulässige Wechselspannung in Abhängigkeit von der Frequenz bei 10° C Eigenerwärmung (Richtwerte).

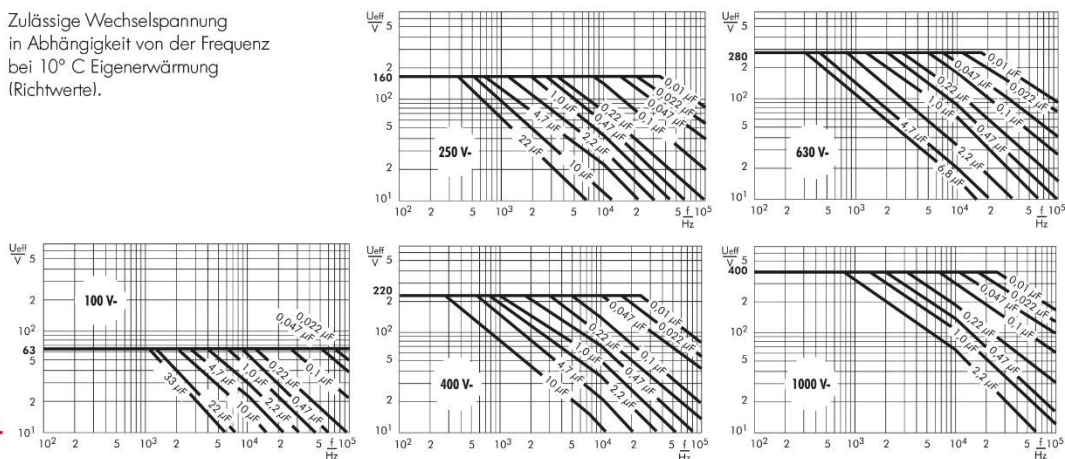


Abbildung 35: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKP_4.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKP4 (Seite 4)

Anlage 8:

WIMA MKS 2



**Metallisierte Polyester (PET)-
Kondensatoren im Rastermaß 5 mm**

Spezielle Eigenschaften

- Hohe Volumenkapazität
- Ausheilfähig
- Konform RoHS 2011/65/EC

Anwendungsgebiete

Für allgemeine Gleichspannungsanwendungen wie z. B.

- Bypass
- Abblocken
- Koppeln und Entkoppeln
- Timing

Aufbau

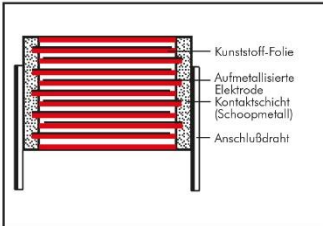
Dielektrikum:

Polyethylenterephthalat (PET) Folie

Beläge:

Aufmetallisiert

Innerer Aufbau:



Umhüllung:

Lösungsmittelresistentes, flammhemmendes Kunststoffgehäuse mit Epoxidharzverguß, UL 94 V-0

Anschlüsse:

Verzinnter Draht.

Kennzeichnung:

Farbe: Rot. Aufdruck: Silber/Weiß.

Epoxidharzverguß: Rot

Elektrische Daten

Kapazitätsspektrum:

0,01 µF bis 10 µF IET2-Werte auf Anfrage!

Nennspannungen:

50 V-, 63 V-, 100 V-, 250 V-, 400 V-, 630 V-

Kapazitätstoleranzen:

±20%, ±10%, ±5%

Betriebstemperaturbereich:

-55° C bis +100° C (+125° C auf Anfrage)

Klimaprüfklasse:

55/100/21 nach IEC

Isolationswerte bei +20° C:

U_N	$U_{meß}$	$C \leq 0,33 \mu F$	$0,33 \mu F < C \leq 10 \mu F$
50 V-	10V	$\geq 5 \cdot 10^3 M\Omega$ (Mittelwert: $3 \cdot 10^4 M\Omega$)	$\geq 1000 s (M\Omega \cdot \mu F)$ (Mittelwert: 3000 s)
63 V-	50V	$\geq 1 \cdot 10^4 M\Omega$ (Mittelwert: $5 \cdot 10^4 M\Omega$)	$\geq 1250 s (M\Omega \cdot \mu F)$ (Mittelwert: 3000 s)
$\geq 100 V-$	100V	$\geq 1,5 \cdot 10^4 M\Omega$ (Mittelwert: $1 \cdot 10^5 M\Omega$)	$\geq 3000 s (M\Omega \cdot \mu F)$ (Mittelwert: 6000 s)

Meßzeit: 1 min.

Verlustfaktoren bei +20° C: $\tan \delta$

Gemessen bei	$C \leq 0,1 \mu F$	$0,1 \mu F < C \leq 1,0 \mu F$	$C > 1,0 \mu F$
1 kHz	$\leq 8 \cdot 10^{-3}$	$\leq 8 \cdot 10^{-3}$	$\leq 10 \cdot 10^{-3}$
10 kHz	$\leq 15 \cdot 10^{-3}$	$\leq 15 \cdot 10^{-3}$	-
100 kHz	$\leq 30 \cdot 10^{-3}$	-	-

Impulsbelastung: bei vollem Spannungshub

C-Wert µF	Flankensteilheit V/µs max. Betrieb/Prüfung					
	50 V-	63 V-	100 V-	250 V-	400 V-	630 V-
0,01 ... 0,022	-	35/350	35/350	50/500	80/800	110/1100
0,033 ... 0,068	-	20/200	25/250	50/500	80/800	90/900
0,1 ... 0,47	10/100	15/150	20/200	50/500	80/800	-
0,68 ... 1,0	8/80	12/120	15/150	25/250	-	-
1,5 ... 3,3	8/80	7,5/75	10/100	-	-	-
4,7	5/50	5/50	-	-	-	-
6,8	3/30	3/30	-	-	-	-
10	2,5/25	-	-	-	-	-

Mechanische Prüfungen

Zugtest Anschlußdrähte:

10 N in Drahrichtung nach IEC 60068-2-21

Schwingen:

6 h bei 10...2000 Hz und 0,75 mm

Auslenkung bzw. 10 g nach IEC 60068-2-6.

Unterdruck:

1kPa = 10 mbar nach IEC 60068-2-13

Stoßtest: 4000 Stöße mit 390 m/s² nach IEC 60068-2-29

Verpackung

Gegurtet lieferbar.

Detaillierte Gurtungsangaben und Maßzeichnungen am Ende des Hauptkataloges.

Weitere Angaben siehe Technische Information.

Abbildung 36: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKS_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKS2 (Seite 1)

WIMA MKS 2



Fortsetzung

Wertespektrum

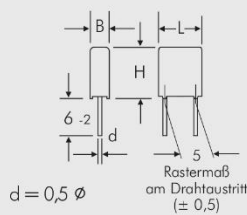
Kapazität	50 V-/30 V~*					63 V-/40 V~*				
	B	H	L	RM**	Bestellnummer	B	H	L	RM**	Bestellnummer
0,01 µF						2,5	6,5	7,2	5	MKS2C021001A00_
0,015 "						2,5	6,5	7,2	5	MKS2C021501A00_
0,022 "						2,5	6,5	7,2	5	MKS2C022201A00_
0,033 "						2,5	6,5	7,2	5	MKS2C023301A00_
0,047 "						2,5	6,5	7,2	5	MKS2C024701A00_
0,068 "						2,5	6,5	7,2	5	MKS2C026801A00_
0,1 µF						2,5	6,5	7,2	5	MKS2C031001A00_
0,15 "						2,5	6,5	7,2	5	MKS2C031501A00_
0,22 "						3	7,5	7,2	5	MKS2C032201B00_
0,33 "	2,5	6,5	7,2	5	MKS2B033301A00_	3,5	8,5	7,2	5	MKS2C033301C00_
0,47 "	3	7,5	7,2	5	MKS2B034701B00_	3,5	8,5	7,2	5	MKS2C034701C00_
0,68 "	3,5	8,5	7,2	5	MKS2B036801C00_	4,5	9,5	7,2	5	MKS2C036801E00_
1,0 µF	3,5	8,5	7,2	5	MKS2B041001C00_	5	10	7,2	5	MKS2C041001F00_
1,5 "	4,5	9,5	7,2	5	MKS2B041501E00_	5,5	11,5	7,2	5	MKS2C041501H00_
2,2 "	5	10	7,2	5	MKS2B042201F00_	7,2	13	7,2	5	MKS2C042201K00_
3,3 "	5,5	11,5	7,2	5	MKS2B043301H00_	7,2	13	7,2	5	MKS2C043301K00_
4,7 "	7,2	13	7,2	5	MKS2B044701K00_	8,5	14	7,2	5	MKS2C044701M00_
6,8 "	8,5	14	7,2	5	MKS2B046801M00_	11	16	7,2	5	MKS2C046801N00_
10 µF	11	16	7,2	5	MKS2B051001N00_					

Kapazität	100 V-/63 V~*					250 V-/160 V~*				
	B	H	L	RM**	Bestellnummer	B	H	L	RM**	Bestellnummer
0,01 µF	2,5	6,5	7,2	5	MKS2D021001A00_	2,5	6,5	7,2	5	MKS2F021001A00_
0,015 "	2,5	6,5	7,2	5	MKS2D021501A00_	2,5	6,5	7,2	5	MKS2F021501A00_
0,022 "	2,5	6,5	7,2	5	MKS2D022201A00_	2,5	6,5	7,2	5	MKS2F022201A00_
0,033 "	2,5	6,5	7,2	5	MKS2D023301A00_	3,5	8,5	7,2	5	MKS2F023301C00_
0,047 "	2,5	6,5	7,2	5	MKS2D024701A00_	3,5	8,5	7,2	5	MKS2F024701C00_
0,068 "	2,5	6,5	7,2	5	MKS2D026801A00_	3,5	8,5	7,2	5	MKS2F026801C00_
0,1 µF	2,5	6,5	7,2	5	MKS2D031001A00_	4,5	9,5	7,2	5	MKS2F031001E00_
0,15 "	3,5	8,5	7,2	5	MKS2D031501C00_	5	10	7,2	5	MKS2F031501F00_
0,22 "	3,5	8,5	7,2	5	MKS2D032201C00_	5,5	11,5	7,2	5	MKS2F032201H00_
0,33 "	4,5	9,5	7,2	5	MKS2D033301E00_	7,2	13	7,2	5	MKS2F033301K00_
0,47 "	4,5	9,5	7,2	5	MKS2D034701E00_	8,5	14	7,2	5	MKS2F034701M00_
0,68 "	5	10	7,2	5	MKS2D036801F00_	11	16	7,2	5	MKS2F036801N00_
1,0 µF	7,2	13	7,2	5	MKS2D041001K00_					
1,5 "	8,5	14	7,2	5	MKS2D041501M00_					
2,2 "	11	16	7,2	5	MKS2D042201N00_					

* Nennspannungen: $f \leq 50 \text{ Hz}$; $1,4 \cdot U_{\text{eff}} \sim + U_- \leq U_N$

** RM = Rastermaß.

Alle Maße in mm.



Bestellnummer-Ergänzung:	
Toleranz:	20 % = M
	10 % = K
	5 % = J
Verpackung:	lose = S
	Drahtlänge: 6-2 = SD
Gurtungsangaben Seite 148	

Abweichungen und Konstruktionsänderungen vorbehalten.

Fortsetzung Seite 35

Abbildung 37: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKS_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKS2 (Seite 2)

WIMA MKS 2



Fortsetzung

Wertespektrum

Kapazität	400 V-/200 V~*					630 V-/220 V~*				
	B	H	L	RM**	Bestellnummer	B	H	L	RM**	Bestellnummer
0,01 µF	2,5	6,5	7,2	5	MKS2G021001A00_	5,5	11,5	7,2	5	MKS2J021001H00_
0,015 "	2,5	6,5	7,2	5	MKS2G021501A00_	7,2	13	7,2	5	MKS2J021501K00_
0,022 "	3,5	8,5	7,2	5	MKS2G022201C00_	7,2	13	7,2	5	MKS2J022201K00_
0,033 "	4,5	9,5	7,2	5	MKS2G023301E00_	7,2	13	7,2	5	MKS2J023301K00_
0,047 "	4,5	9,5	7,2	5	MKS2G024701E00_	8,5	14	7,2	5	MKS2J024701M00_
0,068 "	5,5	11,5	7,2	5	MKS2G026801H00_					
0,1 µF	7,2	13	7,2	5	MKS2G031001K00_					
0,15 "	8,5	14	7,2	5	MKS2G031501M00_					
0,22 "	11	16	7,2	5	MKS2G032201N00_					

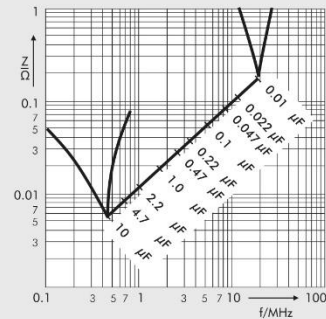
* Nennspannungen: $f \leq 50 \text{ Hz}$; $1,4 \cdot U_{\text{eff}} \sim + U_- \leq U_N$

** RM = Rastermaß.

Alle Maße in mm.

Die Werte der Reihen WIMA MKM 2 und WIMA MKI 2 gemäß Hauptkatalog 2009 sind weiterhin auf Anfrage lieferbar.

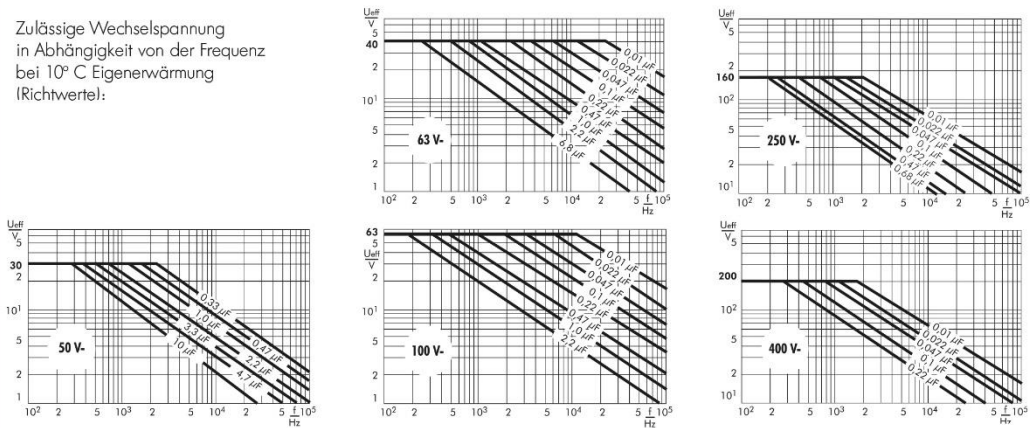
Bestellnummer-Ergänzung:	
Toleranz:	20 % = M
	10 % = K
	5 % = J
Verpackung:	lose = S
Drahtlänge:	6-2 = SD
Gurtungsangaben Seite 148	



Scheinwiderstand in Abhängigkeit von der Frequenz (Richtwerte).

Abweichungen und Konstruktionsänderungen vorbehalten.

Zulässige Wechselfspannung in Abhängigkeit von der Frequenz bei 10° C Eigenwärnung (Richtwerte):



11.12

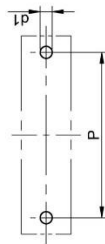
Abbildung 38: WIMA.de. Online verfügbar unter https://www.wima.de/wp-content/uploads/media/d_WIMA_MKS_2.pdf (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt WIMA MKS2 (Seite 3)

Anlage 9:

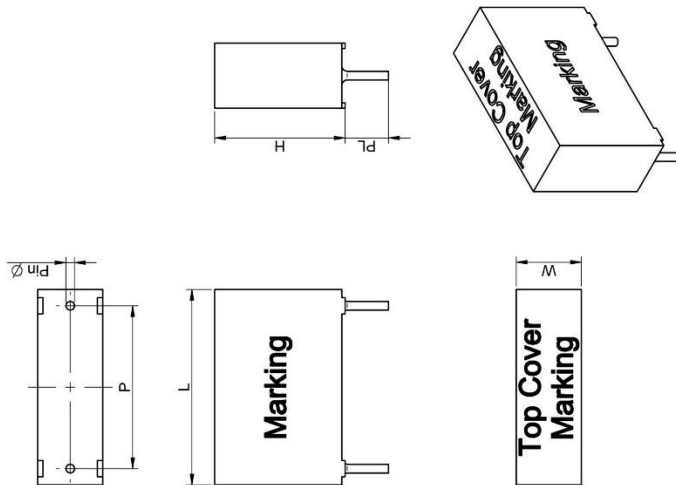
more than you expect



B Recommended hole pattern: [mm]



A Dimensions: [mm]



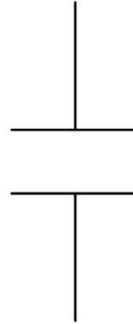
P ±0.5	15.0
L ±0.5	18.0
H ±0.5	11.0
W ±0.5	5.0
PL min.	4.0
Pin Ø ±0.05	0.8
d1	1.1

The electronic component has been designed and developed for use in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability standard is especially required or where a failure of the product is reasonably expected to cause severe personal injury or death, unless the parties have executed an agreement specifically governing such use. Moreover Würth Elektronik eSoc GmbH & Co KG products are neither designed nor intended for use in areas such as military, aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation (automotive control, train control, ship control), transportation signal, disaster prevention, medical, public information network etc. Würth Elektronik eSoc GmbH & Co KG must be informed about the intent of such usage before the design-in stage. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

D1 Electrical Properties:

Properties	Test conditions	Value	Unit	Tol.
Capacitance	1 V/1 kHz ± 0.2 kHz	C	0.0270	µF ± 10%
Rated voltage		U _R	275	V (AC)
Isolation Resistance	1 min @ 100V (DC)	R _{iso}	> 30000	MΩ min.
Dissipation factor	@ 1 kHz	DF	< 0.10	% max.
Dissipation factor	@ 10 kHz	DF	< 0.10	% max.
Dissipation factor	@ 100 kHz	DF	< 0.50	% max.
Rate of Voltage Rise		dV/dt	300	V/µs max.
Dielectric strength Pin to Pin	1 minute		1333	V (DC)
Dielectric strength Pin to Case	1 minute		2000	V (AC)

C Schematic:



E General information:

X2-Safety Class Capacitor
 Storage Conditions: 35°C, <45% RH
 Operating Temperature: -40°C to +105°C
 Climate category: 40/ 105/ 56/ B
 Maximum Selfheating (rated): 7°C
 Test conditions of Electrical Properties: 20°C, 33% RH
 if not specified differently
 FIT according to separate documentation

DESCRIPTION	
WCAP-FTX2 Foil Capacitors	
Order - No.	890324025004CS
Size	A4
Size: Pitch 15.0 mm - PL 4	

Abbildung 39: Conrad.com. Online verfügbar unter <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001279971DS01/datenblatt-1279971-wuerth-elektronik-wcap-ftx2-890324025004cs-1-st-entstoer-kondensator-x2-radial-bedrahtet-27-nf-275-vac-10-15-mm-l-x.pdf> (zuletzt geprüft am 05.02.2020), Datenblatt Kondensator Würth Elektronik

CD-Track Verzeichnis

Track Nummer	Inhalt
1	Gitarre clean
2	EarthQuaker Devices The Warden
3	BOSS CS-3 (Stock)
4	BOSS CS-3 (Mod 1)
5	BOSS CS-3 (Mod 2)
6	BOSS CS-3 (Mod 3)
7	BOSS CS-3 (Mod 4.1)
8	BOSS CS-3 (Mod 4.2)
9	BOSS CS-3 (Mod 5)
10	BOSS CS-3 (Mod 6.1)
11	BOSS CS-3 (Mod 6.2)
12	BOSS CS-3 (Mod 6.3)
13	BOSS CS-3 (Mod 7.1)
14	BOSS CS-3 (Mod 7.2)
15	BOSS CS-3 (Mod 7.3)
16	BOSS CS-3 (Mod 8.1)
17	BOSS CS-3 (Mod 8.2)
18	BOSS CS-3 (Mod 8.3)
19	BOSS CS-3 (Mod 9.1)
20	BOSS CS-3 (Mod 9.2)
21	BOSS CS-3 (Mod 9.3)
22	BOSS CS-3 (Mod 10.1)
23	BOSS CS-3 (Mod 10.2)
24	BOSS CS-3 (Mod 10.3)
25	BOSS CS-3 (finaler Mod)

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