Das Hammond-Technikhandbuch

Informationen zur Restauration und Wartung von Hammond-Orgeln wie B-3, C-3, RT-3, A-100

von Marc Michalzik
Restauration, Wartung, Technik und Gehäuse

und Monika Michalzik
Restauration, Gehäuse

Hammond® und Leslie® sind eingetragene Warenzeichen von Hammond Suzuki Inc.

© 2004 Marc und Monika Michalzik

Sämtliche Rechte an Text und Bildern vorbehalten. Fotomechanische und elektronische Vervielfältigungen nur mit schriftlicher Genehmigung der Urheber. Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, und jede Wiedergabe der Abbildungen, auch in verändertem Zustand, sind verboten. Es gilt das Urhebergesetz in der jeweils aktuellen Fassung.

Printed in Germany – Imprimé en Allemagne.

basierend auf 1.Auflage, Rev. 1.99abcde51h; Erweiterung um Disclaimer auf online-Version

Vorwort

Als wir im Frühling 2002 unsere Hammond C-3 mit einem 142er Leslie erwarben, war uns von vorneherein klar, dass wir uns für viel Geld zwangsläufig auch viel Arbeit mit erkaufen würden. Die Herausforderung manifestierte sich zudem in gleich zweierlei Ausprägungen: sowohl in der musikalischen als auch in der technisch-handwerklichen.

Stück für Stück arbeiteten wir also Orgel und Leslie auf, immer auf der Suche nach dem optimalen klanglichen (aber auch optischen) Ergebnis. Viele Stunden mühevoller Arbeit hat uns das gekostet, aber nach jeder einzelnen Restaurationsphase ermutigte uns das erhaltene Resultat für den nächsten Schritt: immer ein Stückchen näher an unser persönliches Orgel-Ideal.

Dieses Handbuch dokumentiert den Weg einer kompletten Orgel-Restauration und richtet sich an alle, die sich -über das Musikalische hinaus- auch für die Technik einer elektromagnetischen Hammond interessieren. Denn nur eine sauber gewartete und technisch einwandfreie Orgel wird auch im Alltag (auf der Bühne, im Studio oder zu Hause) zuverlässig funktionieren und so über viele Jahrzehnte klaglos ihren Dienst tun. In diesem Dokument beschreiben wir etliche Reparatur/Instandsetzungs-, Wartungs- und Abgleicharbeiten am Beispiel unserer Hammond C-3 (Baujahr ca. 1955) amerikanischer Herkunft. Über den gesamten Restaurationszeitraum von etwa einem halben Jahr begleitet und dokumentiert dieses Buch alle angefallenen Arbeiten rund um die Hammond-Orgel.

Große Hilfe und fachliche Unterstützung erhielten wir dabei von den Mitgliedern des "Hammond Nostalgie Clubs". Hier findet man viele Gleichgesinnte, die -als Freunde der elektromagnetischen Hammond-Orgel - über ein enorm fundiertes Wissen verfügen. Schon nach kurzer Zeit schlossen wir uns diesem Club an und lernten die verschiedenen Fassetten kennen, die eine Hammond-Orgel bietet. Die verschiedensten Sichtweisen und Standpunkte eröffnen Stoff für Diskussionen und Fachgespräche. Schon bald wird der Hammond-Neuling erkennen, wer Spezialist für welches Fachgebiet ist (Tischlerei, Klavierbau, Technik, Elektronik, Akustik,...) und sachkundigen Rat geben kann. Es soll auch tatsächlich Leute geben, die eine Hammond "einfach nur" als Möbelstück "schön" finden. Ja, warum denn eigentlich nicht....

Wir haben es uns nun zur Aufgabe gemacht, unser bislang erworbenes technisches Wissen in diesem Buch zu bündeln, damit dieses Know-how jedem (ernsthaft) interessierten Hammond-Freund zugänglich werden kann. Dies ist unser persönlicher Beitrag zur Erhaltung der Hammond-Orgel!

Natürlich sind wir uns dessen bewusst, dass es viele Blickwinkel gibt, unter denen man auf eine „Hammond“ schauen kann. Der Nostalgiker mag das Wegschleifen des Rosts und das neue Oberflächenfinish des Gehäuses schlichtweg als "Sakrileg" betrachten; der Techniker hingegen sieht es - im Sinne der Erhaltung der Grundsubstanz- als absolut notwendiges „Muss"; und ein Geschäftsmann schließlich, der mit dem Aufarbeiten der Instrumente seinen Lebensunterhalt verdient, vielleicht als "wenig lukrativ". All diesen verschiedensten Ansprüchen gemeinsam können wir nicht genügen. Wo immer ein nostalgischer Gedanke aufkommt, haben wir uns bemüht, diesen zu respektieren, und weisen auch konkret darauf hin, Handsignierungen oder Fabrikations-Stempel nicht unbedingt gleich mit Zinkspray zu übersprühen, sondern weiterhin der Nachwelt zu erhalten, indem man es z.B. vorher - wie ein Malermeister - mit Klebeband abklebt.

Damit liefert dieses Buch "so ganz nebenbei" sicherlich auch einen Haufen Diskussionsstoff, möglicherweise auch einige Kritik, aber bestimmt ebenso viele wertvolle Tipps, die letztendlich zum Erhalt dieser Orgeln beitragen können (damit wäre unser Ziel erreicht). Denn selbst dem puristischsten Nostalgiker mag einleuchten, dass ein verrostetes Instrument vom langsamen Verfall ("Marasmus") bedroht ist, wenn man nicht zwischendurch mal kurzzeitig die "Techniker-Brille" aufsetzt und - mit angemessenen Restaurationsarbeiten- dagegen ankämpft. Wer nicht einmal diese Meinung mit uns teilen kann, sollte sich Folgendes fragen:

Haben Sie im Fernsehen schon mal einen total verrosteten Oldtimer gesehen?

Die Autoren im November 2004

Marc Michalzik
Monika Michalzik

Wichtige Hinweise

- Dieses Buch wurde vom Autoren-Team nach bestem Wissen und Gewissen sorgfältig zusammengestellt. In einigen Artikeln nehmen wir Bezug auf die Aussagen bekannter Hammond-Techniker, beschreiben unsere eigenen Erfahrungen oder greifen Gedanken oder Tipps anderer auf. **Für die Richtigkeit sämtlicher Beschreibungen, Tipps und Anleitungen (unabhängig von deren Herkunft) können wir natürlich keinerlei Gewähr übernehmen!** Ebenso übernehmen wir keine Haftung für Erfolg (oder Misserfolg) von Arbeiten, die auf Grundlage dieses Buches ausgeführt werden!

- Wir betrachten dieses Dokument primär als einen Erfahrungsbericht, den wir um Tipps, Hinweise und Quellen ergänzt haben; um die Technik, das Innenleben und die Faszination der Hammond-Orgel zu dokumentieren.

- Eine kommerzielle Nutzung dieses Wissens ist ausdrücklich untersagt. Der Nachdruck dieses Buches -auch auszugsweise- bedarf der schriftlichen Zustimmung des Autoren-Teams. Das Anfertigen von Kopien für den privaten Gebrauch (z.B. Checkliste für Instrumenten-Check) ist jedoch zulässig. Es greift in jedem Fall das deutsche Urheberrecht in der jeweils aktuellen Fassung.

- Wir machen uns die Inhalte von abgedruckten Internet-Quellen (Links), nicht zu eigen. Sofern sich auf diesen Seiten wider Erwarten Inhalte befinden oder befunden haben, die gegen geltendes Recht oder gegen die guten Sitten verstoßen, distanzieren wir uns ausdrücklich davon.

Aufruf an die Hammond-Gemeinde:

Wenn auch Sie noch einen interessanten Beitrag haben oder etwas zur Technik, zur Restauration oder einfach "nur" einen Tipp wissen, so zögern Sie nicht und teilen Sie ihn uns bitte mit.

Autoren-Kontakt:
Marc.Michalzik@bymm.de

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1
2 Kauf-Entscheidungshilfe 4
2.1 Modellauswahl 4
2.2 Packliste 6
2.3 „Instrumenten-Check“ 7
2.4 Erläuterungen zum „Instrumenten-Check“ 8
2.5 Hörtest und die Folgen 15
2.6 Baujahr 18
2.7 Schwachstelle Schaumstoff 19
3 Grundwissen 20
3.1 Prinzipieller Aufbau 22
3.2 Aussehen im Original 26
4 Sounderzeugung und Abgleich 27
4.1 Aufbau des ToneWheel-Generators 27
4.2 „Sound-Messverfahren“ 29
4.2.1 Schnittstellen im Signalfluss-Diagramm 29
4.3 Der Zugriegelfrequenzgang 33
4.3.1 Benötigtes Equipment 33
4.3.2 Messbedingungen 34
4.3.3 Messaufbau „Zugriegelfrequenzgang“ 35
4.3.4 Durchführung einer Zugriegelfrequenzgangs-Messung 36
4.3.5 Auswertung und Umrechnung 37
4.3.6 Excel-Tool „Zugriegelfrequenzgang“ 39
4.3.7 Reference-Zugriegelfrequenzgang 41
4.3.8 Systematiken beim Zugriegelfrequenzgang 44
4.3.9 Zugriegelfrequenzgang in der Praxis 45
4.3.10 Andere Zugriegelfrequenzgänge 46
4.4 Der Generatorfrequenzgang 47
4.4.1 Benötigtes Equipment 47
4.4.2 Messbedingungen 47
4.4.3 Messaufbau und Durchführung „Generatorfrequenzgang“ 48
4.4.4 Auswertung 50
4.4.5 Excel-Tool „Generatorfrequenzgang“ 51
4.4.6 Referenztabelle „Generatorfrequenzgang“ 53
4.4.7 verschiedene Generator-Referenztabellen 54
4.5 Der Generatorabgleich 56
4.5.1 Verschiedene Referenztabellen möglich 56
4.5.2 Roadmap "Generatorabgleich" 57
4.5.3 Anwendung von Generatorfrequenzgangsmessungen beim Abgleich 58
4.6 Elektrischer Generatorabgleich 60
4.6.1 Benötigtes Werkzeug 60
4.6.2 Theorie 64
4.6.3 Bauteileselektion 66
4.6.3.1. Ausmessen und Sortieren 67
4.6.4 Durchführung 68
4.6.5 Wichtige Hinweise zur Durchführung 70

4.6.6 Troubleshooting „Tonrad“ 75
4.7 Mechanischer Generatorabgleich 76
4.7.1 Theorie 76
4.7.2 Durchführung 78
4.7.3 Referenztabelle Generatorfrequenzgang 81
4.7.4 Hinweise zur Durchführung 83
4.7.5 Magnetstift aufmagnetisieren 84
4.7.6 Endkontrolle 86
4.7.7 Kontrolle des Generatorblechs 86
4.7.8 Effektivwert oder „Spitze-Spitze“ ? 87
4.7.9 Weitere Literaturstellen 87
4.7.10 Reproduzierbarkeit der Messungen 88
5 Zerlegen einer Hammond C-3 89
5.1 Sicherheitshinweise 89
5.2 Vorbereitungen 90
5.2.1 Roadmap 91
5.3 Der Ausbau 92
5.3.1 Pre-Amplifier ausbauen 92
5.3.1.1. Schweller-Hebel abschrauben 93
5.3.1.2. Anschlussdrähte ablöten/ abschneiden 94
5.3.1.3. Halteschrauben abschrauben 95
5.3.2 Generatorverbindungen lösen 97
5.3.2.1. Anschlüsse "Betriebsspannung" 97
5.3.2.2. Manual-Kabelbaum 98
5.3.2.3. Pedal-Kabelbaum 99
5.3.2.4. Scanner-Kabelbaum 100
5.3.2.5. Kabelbaum der LineBox 100
5.3.2.6. Kabelbaum Filterplatine 101
5.3.2.7. Holzleisten unterschieben 101
5.3.3 Manualbaugruppe lösen und hochkippen 102
5.3.3.1. Befestigungsschrauben 102
5.3.3.2. Notenpultleiste 103
5.3.3.3. Halteblech 104
5.3.3.4. Manualbaugruppe hochkippen 105
5.3.3.5. Generatorfedern aushängen 106
5.3.3.6. Generator entnehmen 109
5.3.4 Manualbaugruppe entnehmen 111
5.3.4.1. Manualbaugruppe Richtung Gehäuserückwand schieben 111
6 Die Antriebseinheit 113
6.1 Synchronmotoren 113
6.1.1 Startup- und Shutdown-Zeiten 113
6.1.2 Laufgeräusche 113
6.1.3 Schmierung und Hammond-Öl 114
6.1.4 Start-Motor 114
6.1.5 RUN-Motor 116
6.1.6 „Bertram“-Motor 119
6.2 Schalterplatte 121
6.2.1 Schaltertypen 121
6.2.2 Prinzipschaltbild 122
6.2.3 Funktionsweise 123
6.2.4 Reale Verdrahtung 124

6.3 Masseverbindungen ... 125
7 Der Scanner ... 126
7.1 Funktionsweise ... 126
7.1.1 Fehlerquellen ... 127
7.2 Reinigen des Scanners ... 128
7.2.1 Ausbau des Scanners ... 128
7.2.2 Öffnen des Scanners ... 132
7.2.3 Reinigung der Isolatoren ... 139
7.2.4 Zusammenbau ... 141
7.2.5 Weitere Literaturstellen ... 142
7.3 Messwerte ... 143
7.3.1 Kapazität eines Stators gegen Gehäuse ... 143
7.3.2 Ader gegen Masse ... 145
7.3.3 Auskoppelkapazität ... 146
7.3.4 Übersicht: Scanner-Innenleben ... 148
7.3.5 Weitere Literaturstellen ... 148
7.3.6 Scanner-Antriebseinheit ... 149
7.4 Funktionsweise des Scanner-Vibratos ... 150
7.5 Prüfung im eingebauten Zustand ... 152
7.5.1 Konzept ... 152
7.5.2 Durchführung der Scannermessung ... 154
7.5.3 Weiteres Wissenswertes über das Scannervibrato ... 156
7.5.4 Oszillogramme ... 157
7.5.5 Stellung „V1“ bzw. „C1“ ... 161
7.5.6 Stellung „V2“ bzw. „C2“ ... 162
7.5.7 Stellung „V3“ bzw. „C3“ ... 162
8 Die LineBox ... 163
8.1 Funktionsprinzip ... 163
8.2 Messungen ... 164
8.2.1 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.3 ... 166
8.2.2 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.4 ... 167
8.2.3 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.5 ... 168
8.2.4 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.6 ... 169
8.2.5 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.7 ... 170
8.2.6 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.8 ... 171
8.2.7 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.9 ... 172
8.2.8 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.10 ... 173
8.2.9 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.11 ... 174
8.2.10 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.12 ... 175
8.2.11 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.13 ... 176
8.2.12 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.14 ... 177
8.2.13 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.15 ... 178
8.2.14 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.16 ... 179
8.2.15 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.17 ... 180
8.2.16 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.18 ... 181
8.2.17 Bauteilewerte-Tabelle: Widerstände ... 182
8.2.18 Bauteilewerte-Tabelle: Spulen ... 183
8.2.19 Bauteilewerte-Tabelle: Kondensatoren ... 184
8.2.20 Pegelplan und Phasengang ... 185
8.2.21 Aufbau (alte Bauform) ... 187
8.2.22 Schaltplan LineBox ... 189

8.2.23 Ausblick 189
9 Der Pre-Amplifier (AO-28) 190
9.1 Messungen 191
9.1.1 Reference 191
9.1.2 AO28-Eingangskanal „A“ 193
9.1.3 AO28-Eingangskanal „B“ 194
9.1.4 Messverfahren AO-28 nach U. Zwarg 195
9.1.4.1. Pegelpläne, lineare Darstellung 197
9.1.4.2. Pegelpläne, logarithmische Darstellung 198
9.1.4.3. Amplitudenfrequenzgänge 199
9.2 Percussion 203
9.2.1.1. Klemme H: der NF-Eingang 204
9.2.1.2. Klemme J: der NF-Ausgang 204
9.2.1.3. Klemme K: der Trigger-Eingang 204
9.2.2 Signalpfad „Percussion OFF“ 205
9.2.3 Signalpfad “Percussion SECOND” 206
9.2.4 Signalpfad “Percussion THIRD” 207
9.2.5 Sonstige Umschalter 207
9.3 AO28-Modifikation: 6kHz-Hochtonanhebung 208
9.3.1 Vergleich Eingang „A“ mit Eingang „B“ 209
9.3.2 Standard-Vorlage 209
10 Die Manualbaugruppe 211
10.1 Aufarbeitung der Spieltastatur 212
10.2 Aufbau des Manuals 213
10.3 Zerlegen der Spieltastatur (Untermanual) 214
10.4 Reinigen und Aufarbeiten 225
10.4.1 Entrosten und Lackieren 225
10.4.2 Sammelschienen reinigen und konservieren 227
10.4.3 Warnung vor dem Gebrauch des Busbar-Shifters 230
10.4.4 Preset-Tastenblock fetten 231
10.5 Tastaturkämme aufarbeiten 232
10.5.1 Theorie 232
10.5.2 Unterlage 232
10.5.3 Drappstoffläppchen 234
10.5.4 alten Drappstoff entfernen 237
10.5.5 neuen Drappstoff einnieten 238
10.5.6 Drappstoffläppchen anpassen 242
10.5.7 endgültige Ausrichtung der Spieltasten 244
10.5.8 Fazit 245
10.5.9 Werkzeug 245
10.5.9.1. Material 245
10.5.10 Alternative zu den Drappstoffläppchen 246
10.6 Obermanual 247
10.6.1 Besonderheiten des Obermanuals (Unterschiede zum UM) 247
10.7 Bedienelemente 248
10.7.1 Zugriegelbaugruppe: abschrauben 248
10.7.1.1. Demontage 248
10.7.2 Zugriegelbaugruppe: reinigen 251
10.7.2.1. Reinigung 255
10.7.2.2. Die Sammelschienen 258
10.7.2.3. Zusammenbau 260

10.7.3 Zugriegelbaugruppe: Wiederanbau an Manualblock 263
10.7.4 Zugriegelbaugruppe: Modifikation 266
10.7.5 Linke Rocker-Switches 270
10.7.6 Rechte Rocker-Switches 271
10.7.6.1. Reinigung und Konservierung 273
10.7.7 Chorus/Vibrato Umschalteinheit 275
10.8 Hilfsmittel „LED-Platine“ 279
11 Der Pedalkasten 281
11.1 Instandsetzung 282
11.1.1 Pedalschlaufen 283
11.1.1.1. Theorie 283
11.1.1.2. Instandsetzung 285
11.2 Zusammenbau 290
12 Das Orgelgehäuse 297
12.1 Bestandsaufnahme 298
12.2 Behandlung der Oberfläche 299
12.2.1 Vorbereitung 299
12.2.2 Abbeizen 299
12.2.3 Schleifen 303
12.2.4 innere Seitenteile beizen 304
12.2.5 Schnellschliffgrund auftragen 305
12.2.6 Ballenmattierung 307
12.2.7 Fazit 309
12.2.8 Verwendete Materialien: 309
13 Materialien 310
13.1 Schrauben (zöllige Abmessungen) 310
13.1.1 Schraubentypen - Übersicht 311
13.2 Transformator 315
14 Modifikationen 316
14.1 Bekannte Modifikationen 316
14.1.1 Die 6kHz-Modifikation im PreAmplifier AO-28 316
14.1.2 veränderlicher Widerstand beim Vibrato/ Chorus 317
14.1.3 Einbau von 10µF-Kondensatoren in Zugriegel 318
14.1.4 Celeste-Vibrato 318
14.1.5 MIDI-fizierung 318
14.1.6 unsymmetrischer Line-Out 318
14.1.7 symmetrischer Line-out 319
14.1.8 Einbau RC-Netzwerke in Tongenerator 320
14.2 Umbau von 50 Hz auf 60 Hz 322
14.2.1 Rechteckwandler 322
14.2.2 Sinuswandler 325
14.2.3 Einplatinen-Sinuswandler 327
15 Wartung und Pflege 328
15.1 Orgel ölen 328
15.1.1 Abschätzung der notwendigen Ölmenge 328
15.1.2 Anderer Ansatz 331
15.1.3 Technical Bulletin zum Thema „Ölmenge“ 333
16 Fourier-Analyse und -Synthese 334
16.1 Fourier-Reihe 335
16.1.1 Definitionsgleichungen 336

16.2 Anwendungsbeispiel 337
16.2.1 Berechnung der Fourier-Reihe 337
16.2.2 Die ersten Fourier-Glieder berechnet 344
16.2.3 Darstellung der Rechteck-Zeitfunktion im Frequenzbereich 345
16.2.4 Rechteckfunktion im Zeit- u. Frequenzbereich: Übersicht 347
16.3 Erkenntnisse und der Bezug zur „Hammond“ 349
16.3.1 Verschiedene Registrierungen als Zeitfunktion 350
16.4 Einfluss auf die Messtechnik 353
17 Zusammenfassung 354
18 Anhang 357
18.1 Referenztabelle Generatorfrequenzgang 357
18.2 Referenztabelle „Zugriegelfrequenzgang $2^2/_3$ Fuß 359
18.3 Referenztabelle AO28-Frequenzgang, Eingang „A“ 360
18.4 Preamplifier AO-28 Messwerte nach U. Zwarg 361
18.4.1 mit f= 60Hz 361
18.4.2 mit f=600Hz 362
18.4.3 mit f=6kHz 362
18.5 Zuordnung Spieltaste zu Tonradnummer (1/2) 363
18.6 Zuordnung Spieltaste zu Tonradnummer (2/2) 365
18.7 Übersicht Magnetstifte im ToneWheel-Generator 367
18.7.1 Schnellsuche 368
18.8 Generator-Lötösenleiste 369
18.9 Auszug aus original B3/C3-Service-Manual 370
19 Literaturverzeichnis 374
20 Schlusswort 376

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: die B-3 der Autoren 1
Abbildung 2: portable M-3 2
Abbildung 3 ein typischer Orgeltransport 3
Abbildung 4: eine strahlende Hammond A-100 "on stage" 3
Abbildung 5: Hickok TV-2/U 13
Abbildung 6: Neuberger RPM 370 13
Abbildung 7: Hickok TV-7/U 13
Abbildung 8: Verharfungs-Drähtchen 19
Abbildung 9: leeres Orgelgehäuse während Restauration 20
Abbildung 10: Tongenerator auf dem Messplatz 21
Abbildung 11: Prinzipieller Aufbau einer Hammond-Orgel 22
Abbildung 12: Matching-Trafo 24
Abbildung 13: Hammond C-3 mit geöffneter Rückwand [21] 26
Abbildung 14: ToneWheel-Generator [21] 27
Abbildung 15: ToneWheel-Generator (Prinzipbild) 28
Abbildung 16: Schnittstellen 30
Abbildung 17: Rückführkondensator C22 ganz hereindrehen 34
Abbildung 18: C-3 mit geöffneter Rückwand- "Klemme G" 35
Abbildung 19: Messaufbau "Zugriegelfrequenzgang" 36
Abbildung 20: Zugriegelfrequenzgang Messwerttabelle (Beispiel) 37
Abbildung 21: Excel-Tool "Zugriegelfrequenzgang": Eingabemaske 39
Abbildung 22: Excel-Tool "Zugriegelfrequenzgang": Auswertung 40
Abbildung 23: Zugriegelfrequenzgang "Reference" 41
Abbildung 24: Zugriegelfrequenzgänge als Basis für "Reference" 42
Abbildung 25: Reference-Frequenzgang (schematisiert) 44
Abbildung 26: Vorher/Nachher-Vergleich Zugriegelfrequenzgang 45
Abbildung 27: Referenz-Frequenzgang aus dem Internet 46
Abbildung 28: Messaufbau "Generatorfrequenzgang" 48
Abbildung 29: Messung des Generatorfrequenzgangs in der Praxis 49
Abbildung 30: Eingabemaske Generatorfrequenzgang 51
Abbildung 31: Messprotokoll "Generatorfrequenzgang" 52
Abbildung 32: Beispiel: Generatorfrequenzgang C-3, Originalzustand 53
Abbildung 33: ToneWheel-Generator von unten 56
Abbildung 34: Roadmap "Generatorabgleich" 57
Abbildung 35: Übersicht Generatorfrequenzgänge Hammond C-3 59
Abbildung 36: Oszilloskop 60
Abbildung 37: Kapazitätsmessgerät 60
Abbildung 38: Kapazitätsdekade 61
Abbildung 39: Verdrahtungsplan Kapazitätsdekade 61
Abbildung 40: Maulschlüssel 62
Abbildung 41: Trenn(stell)trafo 63
Abbildung 42: Fluke 87 III T-RMS Multimeter 63
Abbildung 43: Schwingkreise am ToneWheel-Generator 64
Abbildung 44: Kondensatoren in Schachteln einsortieren 67
Abbildung 45: Tongenerator waagerecht ausrichten und Kondensatoren rausknipsen 68
Abbildung 46: Resonanzfall bestimmen 69
Abbildung 47: neue Kondensatoren auf dem Generator 71

Abbildung 48: ToneWheel-Paare 76
Abbildung 49: Klemmschraube vorsichtig lösen 78
Abbildung 50: Magnetstift festhalten 79
Abbildung 51: Magnetstift justieren 80
Abbildung 52: Magnetstift mit Hilfswicklung 84
Abbildung 53: Schraube auf Generatorblech 86
Abbildung 54: Vergleich Messverfahren 88
Abbildung 55: Ausbau-Roadmap 91
Abbildung 56: Blick ins Orgelinnere 92
Abbildung 57: Schwellergestänge 93
Abbildung 58: Schwellergestänge hochklappen 93
Abbildung 59: linke Blechhaube des AO-28 94
Abbildung 60: rechte Blechhaube des AO-28 94
Abbildung 61: Beschriftung mit Klebeschildchen 95
Abbildung 62: Halteschrauben herausdrehen 95
Abbildung 63: Pre-Amp herausnehmen 96
Abbildung 64: Orgelinneres mit ausgebautem AO-28 96
Abbildung 65: Blechhaube des Generators und Anschlusfeld 97
Abbildung 66: Netzanschlussleiste Tongenerator 98
Abbildung 67: Abknipsen der Kabelbäume mit dem Seitenschneider 98
Abbildung 68: Vornschneider 99
Abbildung 69: Kabelbäume abgetrennt 99
Abbildung 70: Scanner-Kabelbaum 100
Abbildung 71: Kabelbaum LineBox 100
Abbildung 72: Ausgänge der Pedal-Sammelschienen 101
Abbildung 73: Pedalkabelbaum: auch hier bitte immer beschriften! 101
Abbildung 74: Befestigungsschrauben der Manualbaugruppe 102
Abbildung 75: Schraubenlöcher 102
Abbildung 76: Notenpultleiste lösen 103
Abbildung 77: Notenpultleiste abnehmen 103
Abbildung 78: Notenpultleiste auf das Orgelgehäuse ablegen 104
Abbildung 79: Halteplatte abschrauben 104
Abbildung 80: Manualbaugruppe ankippen 105
Abbildung 81: Pappstreifen als Schutz 105
Abbildung 82: handbreit großer Spalt 106
Abbildung 83: Manualbaugruppe hochgekippt 106
Abbildung 84: vordere Generatorfeder (links) 107
Abbildung 85: vordere Generatorfeder (rechts) 107
Abbildung 86: hintere Generatorfeder (links) 108
Abbildung 87: hintere Generatorfeder (rechts) 108
Abbildung 88: Tongenerator auf Schienen 109
Abbildung 89: Hinwegziehen über Pedalkabelbaum 110
Abbildung 90: Entnehmen des Manualblocks nach hinten 111
Abbildung 91: Manualblock kann entnommen werden 112
Abbildung 92: Manualbaugruppe im Bastelkeller 112
Abbildung 93: Start-Motor [21] 114
Abbildung 94: angeflanschter Start-Motor 115
Abbildung 95: RUN-Motor (Vorderseite) 116
Abbildung 96: RUN-Motor (Rückseite) 117
Abbildung 97: Antriebseinheit 118
Abbildung 98: „Bertram“-Synchronmotor (230V/50Hz) 119

Abbildung 99: Schalterplatte (von oben) 121
Abbildung 100: Schalter für "Start-" und "Run"-Motor" 121
Abbildung 101: Prinzipschaltbild Schalterplatte 122
Abbildung 102: verkabelte Schalterplatte 123
Abbildung 103: Reale Verdrahtung 124
Abbildung 104: Masseverbindungen 125
Abbildung 105: links:Scanner (geöffnet); rechts: Schleifkontakte 126
Abbildung 106: Antriebseinheit 128
Abbildung 107: Spiralfedern aushaken 129
Abbildung 108: Run-Motor abschrauben 129
Abbildung 109: Schwungrad abziehen 130
Abbildung 110: Antriebswelle 130
Abbildung 111: Ölwanne und Schmierfäden 131
Abbildung 112: Run-Motor (Bertram-Nachbau) 131
Abbildung 113: Metallkappe abhebeln 132
Abbildung 114: Anschluss ablöten 132
Abbildung 115: Schleifkontakte 133
Abbildung 116: Ringkohlen abnehmen 133
Abbildung 117: Ringkohlen-Halterung abschrauben 134
Abbildung 118: Ringkohlen-Halterung 134
Abbildung 119: Deckel abnehmen 135
Abbildung 120: Scannerdeckel weglegen 135
Abbildung 121: geöffneter Scanner 136
Abbildung 122: einzelne Statorpakete 136
Abbildung 123: Toilettenpapier-Halterung 137
Abbildung 124: Isolierplättchen hinter jedem Blechpaket 137
Abbildung 125: vordere Isolierplättchen 138
Abbildung 126: Scanner leergeräumt 138
Abbildung 127: Statoren und Isolierscheiben 139
Abbildung 128: Ölfadenschutz 140
Abbildung 129: Zahnräder und mech. Verspannungen 141
Abbildung 130: zu fettende Punkte 142
Abbildung 131: Messaufbau Statorkapazität 143
Abbildung 132: Kapazitäten gegen Gehäuse (Kreisdiagramm) 144
Abbildung 133: Interpretation von Kreisdiagrammen 145
Abbildung 134: Messaufbau Auskoppelkapazität 146
Abbildung 135: Auskoppelkapazität (grafisch dargestellt) 147
Abbildung 136: alle Scannerteile im Überblick 148
Abbildung 137: innerer Ölfaden 149
Abbildung 138: Scannerantrieb 149
Abbildung 139: Funktionsweise Scannervibrato 150
Abbildung 140: Scanner-Schaltkreis [21] 152
Abbildung 141: schematischer Aufbau der Scannermessung 153
Abbildung 142: realer Aufbau der Scannermessung 154
Abbildung 143: 100kOhm-Abschluss 155
Abbildung 144: Sinus-Bursts (Oszi Schirmbild; Y:10mv/div) 157
Abbildung 145: ein einzelner Burst 158
Abbildung 146: Doppel-Burst 159
Abbildung 147: Doppel-Burst mit Minimum 159
Abbildung 148: klassischer Doppel-Burst 160
Abbildung 149: Stator inaktiv 160

Abbildung 150: LineBox (altes Modell) im Originalzustand 163
Abbildung 151: neue Kondensatoren in der LineBox (alte Ausführung) 164
Abbildung 152: LineBox, neue Ausführung [21] 165
Abbildung 153: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 3 166
Abbildung 154: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 3 166
Abbildung 155: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 4 167
Abbildung 156: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 4 167
Abbildung 157: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 5 168
Abbildung 158: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 5 168
Abbildung 159: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 6 169
Abbildung 160: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 6 169
Abbildung 161: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 7 170
Abbildung 162: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 7 170
Abbildung 163: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 8 171
Abbildung 164: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 8 171
Abbildung 165: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 9 172
Abbildung 166: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 9 172
Abbildung 167: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 10 173
Abbildung 168: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 10 173
Abbildung 169: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 11 174
Abbildung 170: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 11 174
Abbildung 171: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 12 175
Abbildung 172: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 12 175
Abbildung 173: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 13 176
Abbildung 174: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 13 176
Abbildung 175: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 14 177
Abbildung 176: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 14 177
Abbildung 177: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 15 178
Abbildung 178: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 15 178
Abbildung 179: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 16 179
Abbildung 180: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 16 179
Abbildung 181: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 17 180
Abbildung 182: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 17 180
Abbildung 183: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 18 181
Abbildung 184: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 18 181
Abbildung 185: Pegelplan LineBox 185
Abbildung 186: Phasenplan LineBox 186
Abbildung 187; LineBox (alte Ausführung) neu bestückt 187
Abbildung 188: Anschlüsse einer Spulenwicklung 188
Abbildung 189: Schaltplan LineBox [21] 189
Abbildung 190: AO28-Preamplifier [21] 190
Abbildung 191: AO-28 von unten [21] 190
Abbildung 192: 7 Amplitudenfrequenzgänge AO28 191
Abbildung 193: "Reference" Amplitudenfrequenzgang AO-28 192
Abbildung 194: Amplitudenfrequenzgang Eingang "A" 193
Abbildung 195: Amplitudenfrequenzgang Eingang "B" 194
Abbildung 196: Messpunkte am AO-28 196
Abbildung 197: Pegelpläne AO-28, lineare Darstellung 197
Abbildung 198: Pegelpläne AO-28, logarithmische Darstellung 198
Abbildung 199: Amplitudenfrequenzgang AO-28, Messpunkt "1" 199
Abbildung 200: Amplitudenfrequenzgang AO-28, Messpunkt "Z" 199

Abbildung 201: Amplitudenfrequenzgang AO-28, Messpunkt "D" 200
Abbildung 202: Amplitudenfrequenzgang AO-28, Messpunkt "4.2" 200
Abbildung 203: Amplitudenfrequenzgang AO-28, Messpunkt "4.1" 201
Abbildung 204: Amplitudenfrequenzgang AO-28, Messpunkt "E" 201
Abbildung 205: Amplitudenfrequenzgang AO-28, Messpunkt "G" 202
Abbildung 206: Amplitudenfrequenzgang AO-28, Vergleichsmessung C-3 Michalzik 202
Abbildung 207: Percussion-Schalter [21] 203
Abbildung 208: Signalpfad "Percussion OFF" 205
Abbildung 209: Signalpfad "Percussion SECOND" 206
Abbildung 210: Signalpfad "Percussion THIRD" 207
Abbildung 211: Amplitudenfrequenzgang mit Höhenanhebung 208
Abbildung 212: Amplitudenfrequenzgänge Eingang "A" und Eingang "B" 209
Abbildung 213: Screenshot Excel-Auswertungstool "AO28", Eingabemaske 210
Abbildung 214: Screenshot Excel-Auswertungstool "AO28", Diagramme 210
Abbildung 215: Manualbaugruppe [21] 211
Abbildung 216: Manualbaugruppe, nummeriert [21] 211
Abbildung 217: Spieltastatur [21] 213
Abbildung 218: Bus-Bar-Shifter [21] 213
Abbildung 219: die Realität: Küchenarbeitsplatte auf Metallböcken 214
Abbildung 220: Manuale voneinander trennen 215
Abbildung 221: Manualschrauben (Schlitz) 215
Abbildung 222: Beschriftung mit Klebeschildchen 216
Abbildung 223: Spieltasten lösen 217
Abbildung 224: Spieltaste abnehmen 217
Abbildung 225: "nacktes" Manualchassis ohne Tasten 218
Abbildung 226: Betätigungsstangen 219
Abbildung 227: Vergaser-Schraubendreher 219
Abbildung 228: Kabelaustritte der Preset-Tasten 220
Abbildung 229: Blechstreifen am Kabelaustritt 220
Abbildung 230: Schlitzschrauben längs des Blechwinkels 221
Abbildung 231: Sechskant-Schrauben lösen 221
Abbildung 232: Blechwinkel abnehmen 221
Abbildung 233: Manualblende abnehmen 222
Abbildung 234: die Kontaktzungen! 222
Abbildung 235: Tastaturkämme abschrauben 223
Abbildung 236: Einzel-Zinken abschrauben 223
Abbildung 237: schmaler Filz 224
Abbildung 238: schmaler Filz (Längsansicht) 224
Abbildung 239: breiter Filz (unterhalb Manualblende) 224
Abbildung 240: Roststellen schleifen; dann abkleben 225
Abbildung 241: Lackieren / Sprühen 226
Abbildung 242: Endergebnis 226
Abbildung 243: Service-Klappe Sammelschienen 227
Abbildung 244: Bakelitstreifen nach unten drücken 227
Abbildung 245: Entnahme einer Sammelschiene 228
Abbildung 246: Sammelschiene (Mikroskopaufnahme) 229
Abbildung 247: Fetten des Preset-Tastenblocks 231
Abbildung 248: Tastaturkamm mit aufgesteckten Tasten 232
Abbildung 249: Tastaturkamm: Drappstoff abhebeln 233
Abbildung 250: Bestandteile eines Tastaturkamms 233
Abbildung 251: Schneideplatte 234

Abbildung 252: Drappstoffläppchen zuschneiden 234
Abbildung 253: Tastaturkamm (Makroaufnahme) 235
Abbildung 254: Schneideplatte und Messer 236
Abbildung 255: Stanzen der Löcher in den Drappstoff 237
Abbildung 256: alte Nieten ausbohren und abhebeln 237
Abbildung 257: neue Drappstoffläppchen 238
Abbildung 258: geeignete Nietunterlage 239
Abbildung 259: Tastaturkamm auf der Nietplatte 239
Abbildung 260: manuelles Nieten mit "Körner" 240
Abbildung 261: Niet formen 240
Abbildung 262: Nietkranz plätten 241
Abbildung 263: Drappstoffläppchen beschneiden 242
Abbildung 264: Sitz-Probe mit Spieltasten 243
Abbildung 265: fertig aufgearbeiteter Tastaturkamm 243
Abbildung 266: Einsetzen der Spieltasten 244
Abbildung 267: Ausrichten der Spieltasten 244
Abbildung 268: Werkzeug (Tastaturkamm-Erneuerung) 245
Abbildung 269: Manualbaugruppe 248
Abbildung 270: Anschlüsse Sammelschienen 249
Abbildung 271: Kabelschlaufen an den Zugriegeln 249
Abbildung 272: Zugriegelbaugruppe abschrauben 250
Abbildung 273: Zugriegelbaugruppe abgenommen 250
Abbildung 274: Einzelteile der Zugriegelbaugruppe 251
Abbildung 275: Abschrauben der Zugriegelkappen 252
Abbildung 276: vordere Zugriegelschablone entnehmen 252
Abbildung 277: einzelne Zugriegel aushaken und entnehmen 253
Abbildung 278: Kontaktschleifer abschrauben 254
Abbildung 279: Kontaktschleifer abnehmen 254
Abbildung 280: Zugriegel abwaschen 255
Abbildung 281: Kontaktschleifer reinigen 256
Abbildung 282: Widerstandsdrähtchen 256
Abbildung 283: Einzelteile einer 9er Zugriegelgruppe 257
Abbildung 284: Schienensystem 258
Abbildung 285: Schienensystem im Detail 258
Abbildung 286: Sammelschiene fetten 259
Abbildung 287: Einsetzen der Isolierplatten 260
Abbildung 288: Einfädeln der Sammelschienen 260
Abbildung 289: Kapazität messen 261
Abbildung 290: 9er Zugriegelgruppen in die Wanne drücken 262
Abbildung 291: Widerstandsdrähtchen (Mikroskopaufnahme) 263
Abbildung 292: Manualbaugruppe auf dem "Rücken" 264
Abbildung 293: Schraubenloch zentrieren 265
Abbildung 294: Schraube "über Kopf" festdrehen 265
Abbildung 295: Laborkabel und Lötstützpunkte 266
Abbildung 296: Lötstützpunkte eingeschraubt 267
Abbildung 297: Farbreihenfolge an den Lötstützpunkten 268
Abbildung 298: neue Anschlusskabel an den Zugriegeln 269
Abbildung 299: Abnehmen des Blechdeckels 270
Abbildung 300: Blick ins Innere 270
Abbildung 301: Aufschrauben des Blechdeckels 271
Abbildung 302: Abheben des Blechdeckels 271

Abbildung 303: Blick in die geöffnete Einheit 272
Abbildung 304: Aushaken einer Kupferschlinge 273
Abbildung 305: Reinigung der Kontakte mit Spiritusstreifen 273
Abbildung 306: Konservierung mit Zugriegelfett 274
Abbildung 307: Fetten der Kupferschlingen 274
Abbildung 308: Umschalteinheit aufschrauben 275
Abbildung 309: Umschalteinheit: Deckel abnehmen 275
Abbildung 310: Blick in die Umschalteinheit 276
Abbildung 311: Einfetten der Plastiknocken 277
Abbildung 312: Abschrauben der Kontaktstreifen und R44 278
Abbildung 313: LED-Platine 279
Abbildung 314: Pedalkasten ausgebaut 281
Abbildung 315: Orgel von unten 281
Abbildung 316: Pedalkasten im Originalzustand 282
Abbildung 317: Pedalkasten nach dem Lackieren 282
Abbildung 318: Pedalstößel (einzeln) 283
Abbildung 319: Pedalstößel (eingebaut) 283
Abbildung 320: Pedalkasten (Originalzustand) 284
Abbildung 321: Pedalkasten (von unten) 284
Abbildung 322: Kasimir-Streifen ausschneiden 285
Abbildung 323: Kasimir-Streifen (geschnitten) 285
Abbildung 324: Kasimir-Streifen anzeichnen 286
Abbildung 325: Kasimir-Streifen lochen 287
Abbildung 326: Kasimir-Streifen (Gürtellochzange) 287
Abbildung 327: Kasimir-Pedalschlaufe (fertig) 288
Abbildung 328: Pedalschlaufen aufstecken 288
Abbildung 329: Pedalschlaufen anschrauben 289
Abbildung 330: Pedalkasten demontiert 290
Abbildung 331: Einsetzen der Pedalstößel 291
Abbildung 332: Kontaktsystem festschrauben (1/2) 291
Abbildung 333: Kontaktsystem festschrauben (2/2) 292
Abbildung 334: Seitenteile anschrauben (Pedalkasten) 292
Abbildung 335: Busbar-Shifter anschrauben 293
Abbildung 336: Filze am Pedalkasten 293
Abbildung 337: unteren Filz auflegen 294
Abbildung 338: beide Filzstreifen aufgelegt 294
Abbildung 339: Metallhaube überstülpen 295
Abbildung 340: Metallhaube festschrauben 295
Abbildung 341: seitliche Bleche festschrauben 296
Abbildung 342: Gehäuse im Rohzustand 297
Abbildung 343: Auseinanderklopfen einer alten Leimverbindung 298
Abbildung 344: Teile abschrauben und einzeln bearbeiten 299
Abbildung 345: molto Abbeizer Universal plus 300
Abbildung 346: Abbeizen mit Spachtel 301
Abbildung 347: alter, abgelöster Lack 301
Abbildung 348: Entfernen der letzten Lackreste 302
Abbildung 349: Orgelgehäuse schleifen 303
Abbildung 350: Schleifen der Ornamentleiste 304
Abbildung 351: Schnellschliffgrund 305
Abbildung 352: Schnellschliffgrund auftragen 306
Abbildung 353: Schnellschliffgrund geschliffen 306

Abbildung 354: Ballenmattierung 307
Abbildung 355: Arbeiten am Notenpult 308
Abbildung 356: Restauriertes Orgelgehäuse 309
Abbildung 357: RoundHead 10-32 UNF x 7/16 " 311
Abbildung 358: Federring No. 10 311
Abbildung 359: Mutter 8-32 UNC 312
Abbildung 360: Federring No. 8 312
Abbildung 361: Pan Head, 5-40 UNC x 3/16" 312
Abbildung 362: RoundHead 10-32 UNF x 1" 313
Abbildung 363: RoundHead 8-32 UNC x 3/4" 313
Abbildung 364: RoundHead 8-32 UNC x 11/4" 313
Abbildung 365: RoundHead 6-32 UNC x 1/4" 314
Abbildung 366: RoundHead 8-32 UNC x 3/8" 314
Abbildung 367: Schaltbild "unsymm. Line-out " 318
Abbildung 368: Schaltbild "symm. Line-out" 319
Abbildung 369: Technical Bulletin Nr. 16 (1/2) 320
Abbildung 370: Technical Bulletin Nr. 16 (2/2) 321
Abbildung 371: Ausgangswellenform eines 60Hz-Rechteckwandlers 322
Abbildung 372: typischer Rechteckwandler 323
Abbildung 373: Schaltflanke ohne Netzfilter 324
Abbildung 374: Schaltflanke mit Netzfilter 324
Abbildung 375: Eigenbau-Sinuswandler von U. Zwarg 325
Abbildung 376: Herzstück des Sinuswandlers: NF-Verstärkerplatine 326
Abbildung 377: Einplatinen-Sinuswandler (Prototyp) 327
Abbildung 378: vom Rechteck zum Sinus 327
Abbildung 379: originale Öl-"Pipelines" 328
Abbildung 380: "manuelle" Ölpunkte 330
Abbildung 381: Oiling instructions 333
Abbildung 382 links: Sinus-Wellenform, rechts: Rechteck-Wellenform 337
Abbildung 383: Rechteck-Frequenzspektrum bis n=11 345
Abbildung 384: Rechteck-Zeitfunktion bis n=11 345
Abbildung 385: Rechteck-Frequenzspektrum bis n=201 346
Abbildung 386: Rechteck-Zeitfunktion bis n=201 346
Abbildung 387: Rechteckfunktion im Zeit- und Frequenzbereich 347
Abbildung 388: Übergang vom Sinus zum Rechteck 348
Abbildung 389: Bezug Oberwellen zu Zugriegeln 350
Abbildung 390: Rechteck-Frequenzspektrum bis n=11 353
Abbildung 391: Generator-Lötösenleiste [21] 369
Abbildung 392: Schematic Diagram [21] 370
Abbildung 393: Wiring Diagram [21] 371
Abbildung 394: Generator Anschlussleiste [21] 372
Abbildung 395: Zahnräder im ToneWheel-Generator [21] 373
Abbildung 396: unser Messplatz 377

1 Einleitung

Sinn dieser Einleitung ist es, etwas Appetit auf das zu machen, was Sie auf den nun folgenden Seiten erwartet. Gleich zu Beginn möchte ich aber mit einem grundlegenden Vorurteil aufräumen:

"Eine B-3 klingt besser als die Modelle C-3, RT-3, A-100,...!"

Dieses Theorem ist schlicht und einfach falsch. Dass einige Orgeln "anders" klingen als andere, ist hinreichend bekannt. Bauteiletoleranzen, Alterungserscheinung von Elektronen-Röhren oder Ungenauigkeiten in Verharfung und Matching-Trafo beeinflussen den Gesamtklang einer Hammond-Orgel. Allen voran der ToneWheel-Generator, dessen elektrischer und mechanischer Zustand schon als "Grundsubstanz" der Orgel angesehen werden kann.

Aber auch wenn es schwer fällt: eine B-3 klingt **nicht** zwangsläufig besser als z.B. eine C-3. Außer dem anders gestalteten Holzgehäuse unterscheidet die beiden Instrumente im Wesentlichen nur der Anschaffungspreis. Auch wenn man zugeben muss, dass man bei einem solchen Anblick (s.u.) schon gerne dazu verleitet wird: "das Auge spielt schließlich mit".

Abbildung 1: die B-3 der Autoren

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Der Unterschied zwischen z.B. einer C-3 und einer B-3 liegt ersteinmal "nur" in der Optik: weil das Modell B früher oft in Kirchen eingesetzt wurde (schließlich wurde es ursprünglich ja mal als Kirchenorgel entworfen) und man den Kirchgängern den Blick auf die Beine der Organistin verwehren (oder ersparen; das war sicher individuell verschieden) wollte, entschloss sich die Firma Hammond, das Innenleben dieser Orgel einfach in ein anderes Gehäuse einzubauen, das nach unten hin geschlossen war: das C-Modell wurde geboren!

Dass das Holzgehäuse hierbei einen entscheidenden Einfluss auf den Klang hat, halte ich persönlich für sehr unwahrscheinlich. Schließlich haben wir es hier nicht mit einem akustischen, sondern mit einem elektro-mechanischen Instrument zu tun, dessen Funktionsprinzip in etwa mit dem eines Fahrradynamos vergleichbar ist.

Abbildung 2: portable M-3

Auch diese alte M-3 (wahrscheinlich als einzige Orgel der Welt verfügt sie doch tatsächlich als besonderes „Feature“ über einen nachträglich eingebauten Aschenbecher!), die ich gerade mit angestrengtem Gesicht zusammen mit meinem Vater aus unserem leicht untermotorisierten Kleinwagen (Seat Arosa 1.0l) aus dem Kofferraum zerre, muss nicht zwangsläufig schlecht klingen, nur weil sie eine M-3 ist, und keine B-3. Das Geheimnis eines wirklich "guten Klangs" kann auch ich nicht komplett ergründen, denn bis heute ist mir kein ernsthaft wissenschaftlich messbares Kriterium bekannt, dass einen "guten Klang" beschreibt. Wohl aber sind die Voraussetzungen für einen „guten Klang“ messbar- und welche genau das sind, werden Sie im Laufe dieses Buches erfahren.

Nur so viel vorneweg: mit der Aufnahme von Zugriegel- und Generatorfrequenzgängen (siehe Kapitel 4.2) erhält man wertvolle Hinweise auf mögliche Stärken und Schwächen der Orgel. Jedoch sagen auch die leider nichts über den subjektiven Klangeindruck auf den Menschen aus. Trotzdem sind sie beide ein unentbehrliches Werkzeug zur qualitativen Bestandsaufnahme einer Hammond.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Der Transport dieser alten Orgel-Dinosaurier lässt in so manchem den Gedanken an die Anschaffung eines gut motorisierten Kombis reifen. Schließlich überzeugen den wahren Hammond-Fan nicht die vielen Annehmlichkeiten und Ausstattungsmerkmale eines modernen Kraftfahrzeugs, sondern schlicht und einfach die Tatsache, ob die Orgel nun in das Wunschauto reinpasst oder nicht. Wir zogen - nicht zuletzt wegen der besseren Möglichkeit des Einladens- jedoch unseren überdachten Anhänger vor. Der Kombi ist also vermutlich erstmal aufgeschoben (ich fürchte aber: nicht aufgehoben....).

Abbildung 3 ein typischer Orgeltransport

Bevor sich unsere frisch "neu" gekaufte 1955er C-3 auf der Bühne so richtig austoben darf wie diese glückliche A-100 im Foto unten, sollte noch ein langer Weg vor uns liegen, den wir hier beschreiben möchten. Diese Bilder mögen dem Leser als Motivation genügen, sich näher mit dem Thema "Technik" und "Hammond" zu befassen.

Abbildung 4: eine strahlende Hammond A-100 "on stage"

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

2 Kauf-Entscheidungshilfe

Meistens beginnt die richtig „ernsthafte“ Liebe zur Hammond-Orgel erst mit dem Kauf eines eigenen Instruments. Gerade für Neulinge oder technisch noch unerfahrene Hammond-Liebhaber stellt sich hier aber schnell die Frage, nach welchen Kriterien er denn solch eine Orgel beurteilen bzw. aussuchen soll- schließlich geht es hier häufig um beträchtliche finanzielle Beträge in der Größenordnung eines gebrauchten Kleinwagens. Die „Probefahrt“ kann ich Ihnen an dieser Stelle leider nicht abnehmen; jedoch kann ich Ihnen eine mögliche Teststrecke dafür nennen, mit deren Hilfe sich eigentlich alle Stärken und Schwächen der Wunschorgel offenbaren sollten: der „Instrumenten-Check“ (Kapitel 2.3)!

Eine quasi „erweiterte Version“ als Restaurations-Leitfaden gibt es zusätzlich in Kapitel 17!

2.1 Modellauswahl

Vorher muss man sich jedoch darüber im Klaren sein, welches Modell man in seine engere Auswahl aufnehmen möchte (Immerhin wurde einem die Wahl des Herstellers schon per Definition abgenommen: „Hammond“ muss es eben sein!) und was genau man damit später vor hat. Ein Berufsmusiker, der ein Instrument für den Umbau in eine Bühnenorgel sucht, wird weniger Wert auf ein passabel erhaltenes Gehäuse legen als jemand, der sich etwas „Nettes“ in sein Wohnzimmer stellen möchte.

Die unangefochtene „Traumorgel“ für den überwiegenden Großteil aller Hammond-Fans ist und bleibt natürlich das Modell „B-3“. Zugegeben- auch auf mich übt das ästhetische Design mit den gedrechselten Beinen und den eleganten Rundungen eine unheimlich starke Anziehungskraft aus (der ja auch wir letztendlich nicht widerstehen konnten, wie Abbildung 1 beweist), jedoch stehen ihnen klanglich die anderen Modelle (z.B. C-3, RT-3, A-100, D-100) in nichts nach und auch einige Spinett-Orgeln haben uns persönlich schon vom Sound einfach „überzeugt“ (M-3, M-100).

Für die meisten mag aber sicherlich auch der Anschaffungspreis oder die zur Verfügung stehende Stellfläche ein Entscheidungskriterium sein. Ein günstiger Kosten-Nutzen-Faktor sind zumeist die Orgeln der A-100-Reihe- sie verfügen bereits über ein integriertes Tonkabinett und besitzen denselben „amtlichen B-3-Sound“. Weil die A-100’s auch erst recht spät auf den Markt kamen, sind von diesen Modellen auch noch relativ „junge“ Instrumente erhältlich, bei denen sich notwendige Restaurations- und Instandsetzungsarbeiten zudem meist in Grenzen halten. Trotzdem gibt es hier Stimmen, die sich dennoch lieber für frühere Instrumente entscheiden würden (vgl. hierzu unbedingt Kapitel 2.4 und 2.7)!

Wer dann aber doch lieber näher am „de-facto-Standard B-3“ festhalten möchte, für den wäre eine C-3 vielleicht eine Alternative. Sie ist meist um etliches günstiger zu haben und das Innenleben technisch zu 100% identisch zur B-3. An alle der genannten Modelle sollte man aber unbedingt ein Leslie anschließen, denn nur damit ist das Klangerlebnis erst wirklich perfekt.

Hinweis:
Es gibt allerdings auch (einige wenige) professionelle Organisten, die gänzlich ohne Leslie auskommen, also nur das Standard-Hammond-Tonkabinett auf der Bühne einsetzen! Mir persönlich (und das entspricht eigentlich auch der Aufassung der allgemeinen Mehrheit) gefällt das Dynmische „Verquirlen des Hammond-Sounds in der Raumakustik“ durch ein Leslie aber wesentlich besser.

 © 2004 Marc u. Monika Michalzik

Egal, welches Modell man nun auch für sich persönlich favorisiert- vor dem Instrumentenkauf gehört ein „Instrumenten-Check“ meiner Meinung nach einfach zum Pflichtprogramm.

Wir jedenfalls hatten an dem lang ersehnten Tag im Mai 2002 die Qual der Wahl zwischen einer nahezu neuwertig anmutenden RT-3 und einer -von außen- ziemlich ramponiert aussehenden C-3. Die Entscheidung fiel nicht leicht, wurde aber nicht zuletzt wegen der damaligen noch arg beengten Platzverhältnisse in unserer 3-Zimmer-Mietswohnung zugunsten der C-3 gefällt.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

2.2 Packliste

Der Auto- gegenüber dem Orgelkauf hat i.d.R. einen großen Vorteil: die Fahrt zur nächsten Tankstelle mit der Bitte an den dortigen Automechaniker, sich den neuen fahrbaren Untersatz in spe mal schnell auf der Hebebühne anzuschauen, und ein sachkundiger Kommentar zu Bremsen, Motor und Reifen, ist schnell und kostengünstig eingeholt. Beim Orgelkauf muss man die notwendige Sachkenntnis entweder schon selbst mitbringen (die erwirbt man aber meistens erst am eigenen Instrument, womit der Teufelkreis perfekt wäre) oder sich einen erfahrenen Hammond-Techniker „ausborgen". Das Ergebnis der Beurteilung der Wunschorgel ist nämlich auch ein den Preis bestimmender Faktor.

Welches Modell man auch immer auf die „Musikalische Hebebühne" schickt- grundsätzlich sollte der Instrumenten-Check eine –weitestgehend Modell-unabhängige- Hilfe sein. Wer sich beim Kauf unsicher ist, kann sich von diesem Blatt eine Kopie anfertigen und sie während der Orgelbesichtigung Schritt für Schritt abarbeiten und abhaken. So ist man sich wenigstens sicher, dass man nichts vergessen hat. Weitergehende Erläuterungen zu den einzelnen Testschritten sind dann in Kapitel 2.4 zu finden.

Damit man vor Ort dann auch reibungslos seinen Instrumenten-Check durchführen kann, ist es ratsam, folgende Dinge für den Besichtigungstermin mit einzupacken:

Artikel	**Näheres dazu....**
• Kopie des Blatts „Instrumenten-Check"	Kapitel 2.3
• ggfs. die Erläuterungen dazu	Kapitel 2.4
• Referenztabelle Zugriegel-Frequenzgang	Tabelle 16
• Multimeter, Oszilloskop, Messleitungen	Kapitel 4.6.1
• Laptop mit Excel-Tool oder Millimeterpapier	Kapitel 4.3.6
• Netzkabel; ggfs. 115V-Trafo	
• Stoppuhr	für Messung Generator-Nachlauf
• Röhrenprüfgerät, Ersatzröhren	Kapitel 2.4
• Schaltplan, bzw. Service-Manual	siehe Anhang
• Taschenlampe	Roststellen im Pedalkasten
• ggfs. Hammond-Techniker	
• Orgel-Transporthilfe („Dollies"), Spanngurte	
• Ext. Verstärker und Lautsprecher (falls beim Verkäufer kein Tonkabinett oder Leslie zum Probespielen angeschlossen werden kann)	

Hinweis:
Es ist –insbesondere bei Hammond-Neulingen, denen die gesamte Materie noch neu ist- sinnvoll, die Checkliste vorab an einem anderen Instrument mindestens einmal durchzutesten, sodass man mit den einzelnen Tests besser vertraut ist und so das Testergebnis (z.B. beim „Brummtest") für sich besser beurteilen kann. Wer niemanden kennt, der eine eigene Hammond besitzt, der sollte sich um Kontaktaufnahme zu einem lokalen Hammond-Club bemühen (z.B. unser „Hammond Nostalgie Club"). Hier findet man in der Regel zahlreiche hilfsbereite Gleichgesinnte, die meistens auch über eigene Instrumente verfügen.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

2.3 „Instrumenten-Check“

Diese Checkliste dient dazu, beim Orgelkauf nichts Wichtiges zu vergessen. Am besten hakt man die einzelnen Testpunkte nacheinander ab und schreibt sich die dabei erkannten Mängel stichwortartig auf.

Test Nr.	Testinhalt	Ergänzende Hinweise	Testergebnis (ok/nok)
1	**Alles komplett?**	Orgelbank, Notenpult, Lesliekabel, Oiling Chart, Netzkabel, Leslie-/ und Hammond-Öl	
2	**Optischer Eindruck**	Risse, Kratzer, Verleimungen, Beschädigungen, Stabilität	
3	**Innenansicht**	Allgemeiner Eindruck im Innern der Orgel	
4	**Orgel starten**	Startvorgang <= 8+4 Sekunden	
5	**Tastaturkontakte**	Alle Tasten mit allen Zugriegeln durchspielen	
6	**Brummtest**	Orgel ein, Tongenerator im Stillstand, nacheinander Spieltasten drücken bei 008000000	
7	**Zugriegeltest**	Alle Zugriegel ein- und ausschieben; auf akustische Aussetzer und mechanisches Haken achten	
8	**Seitl. Tastenspiel**	Spieltasten quer zum Manual hin- und her wackeln. Tastenspiel dabei beobachten (Klappern).	
9	**Scannertest**	Alle Vibrato-Stellungen ausprobieren, auf Störgeräusche achten.	
10	**Percussion**	Alle Percussion-Einstellungen durchspielen.	
11	**Nachlaufzeit**	Orgel abschalten und Zeit bis zum Stillstand messen. Soll: > 20 Sekunden	
12	**Zugriegelfrequenzgang**	Mit Multimeter, bzw. Oszilloskop ausmessen und mit Referenztabelle vergleichen.	
13	**Röhrenprüfung**	Röhrenprüfgerät mit Tabellen und ggfs. einen Satz Reserveröhren zur Fehlersuche.	

Erkannte Mängel:

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

2.4 Erläuterungen zum „Instrumenten-Check“

Präambel:
Diese Checkliste wurde Kaufpreis-unabhängig erstellt und geht in allen Punkten vom absoluten 100%-Maximum (dem Idealfall also) aus: Das Instrument soll technisch tadellos sein, alle nur irgendwie möglichen Ausrüstungen (Bank, Notenpult, Oiling-Chart usw.) beinhalten, das Gehäuse möglichst keine Kratzer besitzen, natürlich komplett restauriert und aufgearbeitet daherkommen, und der Sound muss einen natürlich bereits beim ersten Ton komplett „vom Stuhl hauen“.

Das alles zusammen in der Kombination macht ein Instrument natürlich „unbezahlbar“, und ich bin mir auch noch nicht einmal sicher, ob es solch eine Hammond heutzutage eigentlich überhaupt noch so in diesem „Idealzustand“ gibt. Selbst das einzig mir bekannte, noch original verpackte (!) Instrument, das neulich im Internet für einen horrenden Preis angeboten wurde, wird wohl kaum mehr alle diese Punkte noch zu 100% erfüllen können. Damit liegt die Messlatte des Instrumenten-Checks im vorneherein eigentlich schon unerreichbar hoch, sodass sich eigentlich nur eine Frage stellt, um wieviel dieses virtuelle 100%-Ziel denn von dem jeweiligen Kandidaten verfehlt wird. Trotzdem ist es jedoch äußerst wichtig, die genaue Höhe dieser 100%-Messlatte zu kennen, denn nur mit diesem Wissen ist die persönliche Entscheidung und Abwägung überhaupt erst möglich, wieviel tiefer man mit seinem Instrument durch’s Ziel springen will und was einem dieser „Flachsprung“ in barer Münze am Ende denn bringen soll.

Aus dieser Perspektive heraus sind also alle nun folgenden Punkte zu sehen!

1. Alles komplett?
Wenn man ein „Komplettgerät“ kaufen möchte, dann sollte man zu allererst zusammenzählen, ob bei der Wunschorgel auch alles dabei ist. Denn zu einer „echten“ Hammond gehört nicht nur allein die Orgel an sich (auch „Konsole“ genannt), sondern ebenfalls das Basspedal und die zum Instrument passende Sitzbank. Einen vorhandenen Schlüssel für die Verriegelung des Tastaturabdeckungs-Schlosses wird man nur noch sehr selten erhalten. Wenigstens aber das Notenpult sollte noch an der Orgel vorhanden sein. Nützliche Dinge (aber nicht zwingend erforderlich) sind das 115V- bzw. 230V-Netzkabel, ggfs. der Leslie-Halbmondschalter (original oder Nachbau?) und das Leslie-Anschlusskabel. Handelt es sich um eine Orgel aus amerikanischer Produktion, so sollte ein entsprechender 115V/60Hz-Schaltwandler zum Betrieb des Instruments an europäischen Steckdosen (230V/50Hz) zum „Lieferumfang“ gehören. Ein Sinuswandler erntet hier zusätzliche Bonuspunkte, da durch seine besonders saubere Ausgangsspannung so gut wie keine Brumm- und Störeinstrahlungen in die Orgel zu erwarten sind. Ist in dem Instrument ein „üblicher“ Rechteckwandler verbaut, sollte man unbedingt vorher prüfen, ob er auch zufriedenstellend arbeitet, denn unsere Erfahrungen mit derartigen Wandlern sind leider nicht immer durchweg positiv (siehe in Kapitel 14.2.1). Hier hilft nur: Orgel einschalten, ausprobieren und genau hinhören!

2. Optischer Eindruck
Ob die Orgel Kratzer, Risse, Bruchstellen hat, das Furnier irgendwo abplatzt oder das Gehäuse total aus dem Leim gegangen ist (=> Bühneninstrument?), kann man durch eine kurze „Sicht- und Wackelprüfung“ schnell feststellen. Wichtig dabei: auch die Sitzbank, das Pedal, das Notenpult und ggfs. das dazugehörige Leslie nicht bei der Begutachtung vergessen! Aufpassen: ob das Instrument oft im feuchten Keller gestanden hat, erkennt man mei-

 © 2004 Marc u. Monika Michalzik

stens daran, wie viel Rost sich in der Zwischenzeit gebildet hat. Dieser entsteht besonders „gerne“ im Bereich des Pedalkastens (da sehr nahe zum Fußboden; entsprechend viel feuchtem Dreck und Staub ausgesetzt). Also die Pedaleinheit aus dem Orgelgehäuse herausziehen und mit einer Taschenlampe in den Spalt leuchten. Ist dort recht viel Rost zu sehen (siehe z.B. Abbildung 320), sollte man später die Entrostung der Manualbaugruppe in Betracht ziehen (denn dort wird der Rost dann mit hoher Wahrscheinlichkeit auch entstanden sein; vgl. Abbildung 233 und Abbildung 239f).

Bei der Gelegenheit bitte gleich einen Blick auf die Pedalschlaufen werfen (siehe auch Kapitel 11.1.1): bei viel bespielten Orgeln kann es vorkommen, dass die Filze „durchgetreten“ sind. Das erkennt man daran, dass die metallenen Pedelstößel durch die Schlaufen durchgestochen sind und nun oben durchgucken. Das ist kein Beinbruch; die Funktionalität ist weiterhin gegeben. Jedoch können dadurch unschöne Klappergeräusche beim Betätigen des Basspedals auftreten. Wir raten in diesem Fall zur Instandsetzung, zumal die Reparatur nicht sonderlich aufwändig ist (siehe entsprechend in Kapitel 11).

3. Innenansicht

Bitten Sie den Verkäufer, die Rückwand abzunehmen, um auch in das Innere der Orgel sehen zu können. Hat er ein reines Gewissen, sollte er keinerlei Bedenken dagegen äußern. Eine „unaufgeräumt“ wirkende Verkabelung oder allgemein ein optisch schlechter Eindruck, der von unprofessionell umgesetzten Umbauten oder durchgeführten Modifikationen herrühren kann, sollte skeptisch machen! Man kann dann nämlich davon ausgehen, dass alle anderen Reparaturen auch mit derselben „Sorgfalt“ ausgeführt wurden! Weiterhin wichtig: Ist das originale Blech-Typenschild mit eingeprägter Seriennummer im Innern der Orgel zu finden? Hängt der originale Stoffbeutel mit den Reserveschrauben noch rechts an den Preset-Metallschienen? Ist ggfs. noch ein originales Oiling-Sheet im Innern der Orgel angeheftet? All das sind für einen wahren Nostalgiker wichtige Merkmale!

4. Orgel starten

Etwas nüchterner ist der nun folgende Test: Starten Sie den Tongenerator der Orgel. Bringt der Start-Motor den Generator zügig auf Drehzahl (viel mehr als max. 15 Sekunden sollte es insgesamt nicht dauern; laut Hammond-Manual 8 Sekunden für den Start-Motor plus weitere 4 Sekunden für das Einrasten des Run-Motors = 12 Sekunden!)? Wie lange ist der Nachlauf nach dem Ausschalten (viel weniger als ca. 20 Sekunden bis zum absoluten Stillstand deutet evtl. auf eine Schwergängigkeit des Generators hin). Erzeugt der Tongenerator beim Betrieb starke Laufgeräusche (Quietschen, "Schreien", Rattern)? Falls ja, dann ist Vorsicht geboten: in den meisten Fällen sind dann die Lager des Generators durch mangelnde Ölung irreparabel beschädigt, sodass wahrscheinlich nur ein kompletter Austausch des Generators hilft. Um bei der Analogie mit dem Auto zu bleiben: Beim Kolbenfresser hilft meist auch nur ein Austauschmotor....

Übrigens passiert es hin und wieder, dass bereits das Antriebsritzel des Startmotors nicht richtig in das Antriebszahnrad des Generators einspurt und die Orgel dementsprechend gar nicht startet. Da das Starter-Antriebsritzel aus einem relativ weichen Material gebaut wurde, kann sich hier im Laufe der Zeit ein leichter Grad bilden. Die Abhilfe: den Grad mit einer kleinen Schlosserfeile entfernen und eine leichte Fase anfeilen. Danach funktioniert der Startvorgang meist wieder ohne Probleme.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

mögliche Fehlerquellen: Unter-Ölung der Lager, festsitzende Lager (beides gefährlich! Erfolg ungewiss!), Antriebsritzel des Start-Motors (meist reparabel).

5. Tastaturkontakte

Spielen Sie nacheinander mit jedem einzelnen Zugriegel die komplette Tastatur Ton für Ton durch (ich weiß, es ist ein wenig zeitaufwändig, aber die sollten Sie sich nehmen) um zu überprüfen, ob noch alle Tastaturkontakte in Ordnung sind. Fehlt ein Ton, so kann es mehrere Ursachen haben. Entweder, ist ein einzelner Tastenkontakt gebrochen, eine Leitung in der Verharfung defekt, ein Anschlussdraht am Generator abgerissen oder der Ton des Generators selbst geht gar nicht. In fast allen Fällen ist das normalerweise reparabel.

Achtung: das Pedal dabei nicht vergessen!
mögliche Fehlerquellen: Tastaturkontakte gebrochen, Verharfungsdraht abgerissen, Anschlussdraht am Generator abgerissen, Anschlussdraht des Zugriegels abgerissen (alles reparabel)

6. Brummtest

Manche Tongeneratoren brummen, sodass es das Spielvergnügen doch schon stark einschränkt. Der passende Test dafür: Zugriegel auf 008000000 einstellen (also nur 8'-Zugriegel herausziehen), Lautstärkeschweller recht weit durchtreten und eine einzige Spieltaste in mittlerer Tonlage drücken (z.B. G3). Ist Brumm aus dem Lautsprecher hörbar? (ganz leiser Brumm ist okay)

Jetzt zusätzlich noch eine zweite, dann eine dritte Spieltaste dazu drücken (A3, B3,C4)...

Wird der Brumm mit jeder gedrückten Spieltaste lauter?

Falls ja, dann haben wir es wahrscheinlich mit einer sehr unangenehmen Brummschleife zu tun, die es zu beseitigen gilt. Das ist wirklich -wenn überhaupt möglich- etwas für Fachleute. Ein generelles Patentrezept gibt es dabei nicht. Eine mögliche Ursache sind schlechte (=gealterte) Masseverbindungen aller Tonspulen zum Generatorgehäuse. Für deren Reinigung wäre die komplette Demontage des Tonrad-Generators erforderlich- ein Unterfangen, das zumindest für einen Hammond-Neuling recht zeitaufwändig ist- mit ungewissem Erfolg! Daher würde ich von so einem Instrument unbedingt abraten wollen. Hier sollten nur Profis „ran“, die jedoch im Allgemeinen von so etwas ebenfalls Abstand nehmen.

Übrigens: der Test funktioniert auch bei stehendem Tongenerator (nur RUN-Schalter einschalten und eingeschaltet lassen; solange man die Orgel nur kurzzeitig (wenige Minuten) so betreibt, nimmt der Motor dadurch keinen Schaden!).

mögliche Fehlerquellen: Brummschleife im Generator und Verkabelung; die Brummschleife im Generator ist fast gar nicht reparabel

7. Zugriegeltest

Betätigen Sie nacheinander alle Zugriegel. Klemmen oder haken sie irgendwo? Ist zwischen den einzelnen Lautstärkeschritten eine kurze Tonunterbrechung zu hören?

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Falls ja: auch alles reparabel.
mögliche Fehlerquellen: Kontaktschleifer der Zugriegel abgenutzt, Widerstandsdrähtchen unterbrochen (siehe hierzu Kapitel 10.7.2)

8. seitliches Tastenspiel
Die Spieltasten quer zur Gehäusefront hin und her bewegen. Haben sie starkes Spiel? Stoßen sie sogar gegen ihren Tasten-Nachbarn an, sodass ein Klappern hörbar wird?

Reparabel, aber aufwändig.
mögliche Fehlerquellen: Tastaturfilze ausgeschlagen (Reparatur siehe Kapitel 10.5)

9. Scannertest
Probieren Sie alle Vibrato-Einstellungen durch. Ist auch in jeder Position ein Unterschied hörbar? Wenn ein zyklisches "Pumpen" (ca. 7Hz) auch dann aus den Lautsprechern hörbar ist, obwohl keine Taste gedrückt ist, dann ist wahrscheinlich der Scanner verölt. Das ist reparabel, bedeutet aber den Ausbau der Einheit „Run-Motor&Scanner“ (siehe Kapitel 5). Dazu ist der komplette Ausbau des ToneWheel-Generators zwar nicht unbedingt erforderlich, jedoch gehört diese Arbeit eher zu den „fummeligeren“ seiner Art.
Wenn in der Vibrato-Stellung kein Ton hörbar ist, so ist wahrscheinlich der Fehler im Umfeld der Röhren V2 oder V3 des Vorverstärkers zu suchen, weil für aktiviertes Vibrato teils ein anderer Signalpfad verwendet wird als bei deaktiviertem Vibrato.

mögliche Fehlerquellen: Kondensatoren der LineBox (siehe Kapitel 8); Überölung des Scanners (siehe Kapitel 7); Röhrenvorstufen im Vorverstärker. Alles reparabel, teils jedoch aufwändig.

10. Percussion-Sektion
Percussion einschalten und ausprobieren. Muss sich in Intensität und Zeitkonstante umschalten lassen. Funktioniert die Percussion gar nicht, ist der Fehler zuerst bei defekten Röhren im Vorverstärker zu suchen. In seltenen Ausnahmefällen kann auch einer der Trafos T4, T5 oder T6 defekt sein (vgl. dazu Schaltplan im Anhang; Abbildung 392).

mögliche Fehlerquellen: Masseschluss der Percussion-Steuerleitung (mehr dazu in Kapitel 9.2); hin und wieder sind Röhren im Vorverstärker defekt. Beides im Allgemeinen reparabel. Wenn einer der Trafos im Vorverstärker defekt sein sollte, hilft nur ein Ersatzteil (äußerst schwer erhältlich!).

11. Nachlaufzeit
Orgel aus vollem Betrieb abschalten und mittels Stoppuhr die Zeit bis zum vollständigen Stillstand des Tongenerators abmessen. Einwandfrei geölte und leichtgängige Generatoren laufen teilweise noch mehr als 25 Sekunden nach. Erheblich kürzere Zeiten deuten auf Schwergängigkeit und Unterölung hin. Hier ist Vorsicht geboten! Wurde der Generator über längere Zeit mit erheblich zu wenig Öl betrieben, sind Lagerschäden nicht auszuschließen (meist irreparabel).

mögliche Fehlerquellen: Unterölung, Lagerschaden

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

12. Zugriegelfrequenzgang

Hat man bei der Besichtigung der Orgel auch die Gelegenheit, einen Zugriegelfrequenzgang aufzunehmen, so verschafft man sich eine hohe Gewissheit darüber, wie es um den elektrischen Gesundheitszustand der Orgel steht. Alles, was man dafür braucht, ist ein wechselspannungstaugliches Multimeter (oder Oszilloskop), etwa eine halbe Stunde Zeit und ein Blatt Papier mit Bleistift. Wer einen Laptop sein Eigen nennt, verkürzt den aufwändigsten Teil der Messung (Umrechnung der Messergebnisse in „dB“ und grafische Auswertung) auf einen Bruchteil der Zeit.

Die Ermittlung des Zugriegelfrequenzgangs ist eigentlich „die“ erste Messung, die man an seiner Hammond vornehmen sollte. Zur Durchführung muss nämlich lediglich die Orgelrückwand abgenommen und das Multimeter auf den Anschluss „G“ des Pre-Amplifiers geklemmt werden. Mit der Aufnahme von 61 Messwerten des $2^2/_3$-Zugriegels lassen sich fast alle Komponenten von Anfang (=ToneWheel-Generator) bis zum Ende (=Pre-Amplifier) in einem „Rutsch“ messen. Daher halte ich die Zugriegelfrequenzgangsmessung beim Orgelkauf für die allererste Notwendigkeit!

Mehr dazu siehe in Kapitel 4.3!

13. Röhrenprüfung

Die ganz „Gewissenhaften“ unter uns machen die Geduldsprobe und testen vor dem Kauf sämtliche Röhren von Orgel und Leslie mit einem speziellen Röhrenprüfgerät. Ich habe hier allerdings Verständnis für jeden Verkäufer, dem dies dann doch zu weit geht und die Bitte nach einem eingehenden Röhrentest kopfschüttelnd ablehnt. Immerhin besteht hier –trotz aller routinierter Vorsicht und Erfahrung bei Bedienung und Handhabung- grundsätzlich die Gefahr, z.B. bei einer falschen Einstellung des Prüfgerätes auch Schaden an den Elektronenröhren anzurichten.

Wer jedoch diese Prüfungen durchführen mag und darf, kann anhand von Vergleichen mit Herstellerangaben (vorher besorgen!) auf mögliche Lebenserwartung von Röhren schließen oder so gar defekte Röhren ermitteln. In der Praxis würde ich den Verkäufer um seine Zustimmung zu solchen Testmethoden allerdings nur bitten, wenn ich den begründeten Verdacht einer defekten Röhre hätte; z.B. in dem Fall, wenn sich herausstellt, dass die Percussion defekt ist, ich einen defekten Trafo ausschließen möchte und daher in einer defekten Röhre V5, V6 oder V7 die Fehlerquelle vielleicht sogar vor Ort finden kann. (In diesem Fall hat der Verkäufer sicherlich schon ein eigenes Interesse, den Fehler genauer lokalisiert zu wissen, und wird dem Einsatz des Röhrenprüfgeräts sehr wahrscheinlich zustimmen.)

 © 2004 Marc u. Monika Michalzik

Hinweis:
Wer sich mit Röhrenprüfgeräten näher beschäftigen möchte, der wird den Einstieg unter [14] sicher finden. Der Autor selber benutzt aktuell ein Neuberger RPM370 als stationäres Prüfgerät (z.B. zum Aufnehmen von Kennlinien gut geeignet), ein etwas „tragbareres“ Gerät für den mobilen Einsatz (Modell TV-7/U) aus amerikanischer Produktion, sowie den „großen Bruder“ TV-2/U. Grundsätzlich sind aber auch viele andere Röhrenprüfgeräte mit vielen unterschiedlichen Eigenschaften auf dem Gebrauchtmarkt erhältlich.

Abbildung 5: Hickok TV-2/U

Abbildung 6: Neuberger RPM 370

Abbildung 7: Hickok TV-7/U

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Zusammenfassung:
de facto ist eigentlich fast alles instandsetzbar, wenn man den notwendigen Reparaturaufwand nicht scheut. Lediglich ein Tongenerator mit Lagerschaden (als Folge von längerer Unterölung) würde mich vom Kauf einer Orgel letztendlich abhalten oder wenigstens einen entsprechenden Preisnachlass für den notwendigen Austausch-Generator einfordern!

Apropos Preisnachlass: jeder gefundene Fehler dient natürlich als Aufpunkt dafür, nocheinmal über den Kaufpreis zu sprechen. Eventuell mit den geschätzten Reparaturkosten inklusive Lohn und Material gegenrechnen (das kann ein Hammond-Techniker sicher am besten einschätzen). Dabei sollte klar sein, dass ein abgebrochener Draht am Zugriegel weniger schwer wiegt als das Aufarbeiten der kompletten Spieltastatur.

Findet man Probleme im Bereich der Signalverarbeitung (Fehler im Vorverstärker, Vibrato, nicht funktionierende Percussion, usw.), so wird man sich mit dem elektronischen Umfeld der Orgel (Vorverstärker) näher befassen müssen.

Sollte sich die Möglichkeit bieten, einen Zugriegelfrequenzgang aufnehmen zu können, erhält man weitere wertvolle Informationen zum „Gesundheitszustand“ der Orgel und der Fachmann sieht aus diesem individuellen „elektrischen Fingerabdruck“ ggfs. auch noch klangliches Potenzial, das es –durch Restauration und Neuabgleich- auszuschöpfen gilt.

Apropos Klang...“Und der Hörtest“?

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

2.5 Hörtest und die Folgen

Viele werden jetzt sicherlich fragen, wo denn das "Eigentliche" beim Probespielen bleibt: der Klangeindruck! Soll der denn gar nicht bewertet werden?

Doch, aber das macht eigentlich erst nur dann so richtig Sinn, nachdem die elektronischen/ elektro-mechanischen Innereien der Orgel ihren „Endzustand“ (Definition siehe weiter unten!) erreicht haben!

Hier auch gleich die Erklärung dazu:
Wie wir im Laufe dieses Buches noch erfahren werden, kann sich der Klang einer Hammond im Laufe der Jahrzehnte erheblich verändern. Sehr stark beteiligt an diesem Phänomen ist in erster Linie der eingebaute Tonradgenerator*. Dessen elektrische Filterkreise „laufen“ durch Bauteilealterung zunehmend aus der Toleranz und der Magnetismus der verwendeten Magnetstift-Tonabnehmer kann im Laufe der Zeit ebenfalls nachlassen. Das in Summe führt dazu, dass dieser heute nicht mehr dieselben Ausgangsspannungen liefert, die früher in der Hammond-Fabrikhalle beim Endabgleich eingestellt wurden: Der Gesamt-Klang des Instruments hat sich dadurch also (teilweise sogar ganz massiv) verändert!

* Vorwiegend bei älteren Modellen zu beobachten, bei denen noch die alten Wachskondensatoren verwendet wurden. Neuere Modelle (=späte Orgeln aus den letzten Produktionsjahren, meist zu erkennen an den gravierten Zugriegelkappen) besitzen teilweise vergossene Folienkondensatoren neuerer Bauart, die erheblich beständiger gegenüber Alterungseffekten sind.

Da diese Klangveränderung aber leider eher zunehmend zu negativeren als zu positiveren Klangerlebnissen führt, fühlen sich viele Hammond-Liebhaber schließlich doch dazu berufen, ihre Instrumente aufzuarbeiten und ihnen damit (zumindest einen Großteil) des Ursprungsklanges wieder abzuringen, den es wohl kurz nach der Produktion gehabt haben muss. Dass das ohne Weiteres möglich ist und was genau man dazu tun muss, beschreibt dieses Buch in Kapitel 4. Dort beschäftigt man sich eingehend mit dieser Thematik, und es soll nicht zuletzt auch technisch eher Unerfahreneren zusätzlich Mut machen, sich an dieses Projekt heranzuwagen!

Sehr hilfreich ist aber jedoch, bereits vor einem Orgelkauf zu erkennen, ob solch eine Aufarbeitung wohl notwendig sein wird oder nicht! Stellt man sich also einen Hammond-Freund vor, der gerade vor einer Kaufentscheidung steht, gibt es für ihn zwei denkbare Szenarien, um Antworten auf diese Frage zu finden:

a) Man spielt auf dem Instrument und bildet sich sein eigenes persönliches Urteil über den Klangeindruck. Ist man damit zufrieden, entsteht vielleicht gar kein Handlungsbedarf und –aus eigener Sicht- gar keine Notwendigkeit, hier noch irgendetwas aufarbeiten zu müssen. Ohne diese Entscheidung zusätzlich mit intensiven Messungen stützen zu können, wäre mir persönlich diese Erkenntnis zwar auf etwas schwache Beine gestellt und damit zu vage, aber ich respektiere durchaus, dass nicht jeder die Möglichkeit und zugleich die Neugierde besitzt, sein Instrument gleich bis auf die letzte Schraube hin technisch analysieren zu wollen.

b) Weitaus systematischer aber kann man vorgehen, indem man durch Aufnahme von Zugriegel- und Generatorfrequenzgang messtechnisch die Notwendigkeit zur Aufarbeitung des Instruments reproduzierbar nachweist; z.B. durch klar erkennbare Pegelsprünge,

 © 2004 Marc u. Monika Michalzik

allgemeine Unregelmäßigkeiten im Verlauf oder erhebliche Abweichungen zu allen anderen aus der Praxis bekannten Referenzkurven.

Kommt man also durch das eine oder das andere Szenario (welches der beiden zur Entscheidung führt, ist letztendlich egal) für sich selber zu der Erkenntnis, dass hier Handlungsbedarf herrscht, tun sich dem Hammond-Freund zwei neue Möglichkeiten auf, über die er anschließend entscheiden muss:

1. Er kauft das Instrument trotzdem und arbeitet die Orgel anschließend auf (bzw.lässt aufarbeiten).

oder

2. Er kauft das Instrument nicht und macht sich stattdessen auf die Suche nach einer anderen Orgel, bei der diese Arbeiten nicht notwendig sind.

Und hier macht dann der weitere Hörtest absolut keinen Sinn mehr, denn wie sich der Neuabgleich des Tongenerators schließlich klanglich auf das Endergebnis auswirkt, ist vorher natürlich nicht absehbar! Erst hinterher (=nach durchgeführter Restauration, also der oben angesprochene **„Endzustand“**) wird man den individuellen und originalen Klangcharakter des Instruments wieder zum ersten Mal hören, den es wahrscheinlich damals kurz nach der Produktion in der Hammond-Fabrikhalle hatte und dem letzten Vorbesitzer Jahre (vielleicht sogar Jahrzehnte?) lang vorenthalten hat. Eine Neuentdeckung quasi. So ist das eben...

Einige Hammond-Fans lehnen die Überarbeitung und Restauration des Tongenerators aber grundsätzlich strikt ab. Dass dieser Standpunkt etwas mit Faulheit oder Ignoranz zu tun habe, will ich damit aber weder glauben noch suggerieren; vielmehr argumentieren diese meist aus der Überzeugung heraus, dass die Orgel in ihrem jetzigen Zustand „sehr gut“ klänge und man an dieser Konstellation auf gar keinen Fall etwas verändern wolle. Nunja- dieser Auffassung kann weder als Musiker noch durch die nostalgische Brille betrachtet etwas Sinnvolles entgegnet werden. Schließlich haben wir es in erster Linie immernoch mit einem Musikinstrument zu tun, das (mindestens) seinem Besitzer Freude und musikalischen Genuss bieten soll, und wenn das in dem aktuellen Zustand restlos gegeben ist, muss man diese Entscheidung letztendlich respektieren.

Aber auch (=gerade!) für diese Hammond-Freunde ist die nun folgende Erkenntnis wichtig, denn hier war in Wirklichkeit der „Zahn der Zeit“ der Soundkomponist - und nicht (mehr) „Laurens Hammond“! Vorwiegend die Alterungsprozesse in seiner Orgel haben dazu geführt, dass sich das Klangbild dieses Instruments mehr oder weniger langsam verändert hat und den Hammond-Freund heute trotzdem noch anspricht.

Auch wenn dieser Überzeugungsversuch bei Ihnen nun gefruchtet haben sollte und sie gerade das Telefonbuch auf der Suche nach einem Orgelhaus oder Service-Techniker inhalieren, müssen wir aber auch die Kehrseite der Medaille betrachten. Den (Zeit)aufwand für die Durchführung eines Generator-Neuabgleichs beweist uns Kapitel 4.5. Folglich wird wohl kaum ein Hammond-Techniker oder kommerzielles Orgelhaus Ihnen diese etlichen Arbeitsstunden als Draufgabe einfach so „schenken“ können- verständlich. Dass sich dadurch aber auch ganz zwangsweise der Kaufpreis solcher neu abgeglichenen Instrumente erhöhen muss, erscheint mit diesem Wissen ebenfalls sofort einsichtig und nachvollziehbar.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Nicht jeder potenzielle Kunde will oder kann dieses zusätzliche Geld ausgeben, also haben sich einige Orgelhäuser auf diese Situation eingestellt und bieten einen anderen Ansatz: Man wird als Käufer stattdessen nämlich vor fünf oder sechs Orgelmodelle (jeweils im nicht aufgearbeiteten Grundzustand) gesetzt und soll sich unter denen dasjenige aussuchen, das einem klanglich am besten gefällt.

Wenn Sie sich also irgendwann einmal selber vor eine solche Wahl stellen sollten, so denken Sie aber bitte immer daran, dass Sie sich in dieser Situation –mal etwas provokativ ausgedrückt- eine teilweise „defekte" Orgel aussuchen, deren Fehlerauswirkungen für Sie nur am wenigsten schlimm klingt! Sie beurteilen den aktuellen Klang, nicht den, der ggfs. noch in ihr steckt und darauf wartet, wieder ans Tageslicht zu gelangen! Meine Lieblings-Analogie mit dem alten Auto vergleicht den nicht richtig eingestellten Vergaser und damit Einbußen in der Motorleistung mit einem nicht richtig eingestellten Tonradgenerator und daraus resultierenden Einbußen in der „Klangleistung". So ganz weit hergeholt ist das ja auch nicht: in beiden Fällen funktioniert das Gerät „irgendwie ganz gut", aber für die Erreichung des optimalen Ergebnisses hilft eigentlich nur ein „Neuabgleich"; entweder am Vergaser oder am ToneWheel-Generator. Solang man das aber weiß, damit leben kann und sich alle Fakten verinnerlicht hat, ist die Welt ja eigentlich noch in Ordnung. Kaputt geht dabei schließlich nichts und solange die „Performanceeinbußen" für Sie persönlich tragbar bleiben, entsteht auch kein akuter Handlungsbedarf.

Vorsicht jedoch bei folgenden Artgenossen, die als „Waffe" gegen einen Generatorabgleich aber nicht die dadurch entstehenden Kosten, sondern stattdessen die Nostalgie ins Feld führen. Solch eine Begründung in meinen Augen schnell als „fadenscheinig" zu entlarven, da sich mir hier jedesmal der dringende Verdacht auf aufdrängt, dass solche Personen schlicht und einfach den hohen Aufwand des Generatorabgleichs scheuen und ihre (leider manchmal eindeutig finanziellen) Interessen hinter falschem Nostalgieverständnis zu maskieren versuchen.

Ist der Verkäufer von seinem Argument („Nostalgie") jedoch weiterhin überzeugt und erbringt den doch „einleuchtenden Beweis" durch den individuellen Klangcharakter des Instruments, dann sollte man sich bewusst machen, dass wir es hier in diesem Fall schlicht und einfach im Extremfall mit kaputten Bauteilen zu tun haben- und (noch) nicht mit dem individuellen Klangcharakter einer Hammond-Orgel! Ein 100nF-Kondensator, den man nach 50 oder 60 Jahren im Extremfall zu mehr als 500nF (!!!) ausmisst, ist nicht nostalgisch, sondern defekt. Das hat auch wirklich nichts mehr mit leicht erhöhter Toleranz und schon gar nichts mehr mit Nostalgie zu tun!

Also hier aufgepasst, das Hammond-Spielfeld ist groß und leider sieht man hin und wieder auch Schafe mit „dunklerem Fell" ;-)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

2.6 Baujahr

Unter anderem mag für manche auch das Baujahr der Orgel mit kaufentscheidend sein. Aber auch hier scheiden sich die Geister; einige Hammond-Techniker unseres Clubs schwärmen eher von älteren Modellen, weil dort die Mechanik und die Bauweise im Allgemeinen noch keinen so großen Sparmaßnahmen unterlag wie zu späteren Zeiten. Das spiegele sich angeblich auch in der Qualität des Instruments wieder.

Fragt man andere Clubmitglieder, so bevorzugen sie eher die späteren Modelle (also Baujahr > 1971), weil sie angeblich oft besser klängen. Auch die Ausführung der LineBox (ob neue oder alte Bauform, siehe Kapitel 8) mag für einige wichtig sein, denn nur die neuere Ausführung brächte den richtigen „Sound“. Eine Abwägung dieser Argumente für und wider möge jeder für sich alleine treffen, denn hier kann kein allgemein gültiger Rat gegeben werden. Der subjektiv „bessere Klang“ späterer Modelle kann bei nicht aufgearbeiteten Orgeln (selbst die zuletzt gebaute B-3 dürfte zum jetzigen Zeitpunkt (2004) auch schon etwa 30 Jahre alt sein!) natürlich aber auch damit zusammenhängen, dass sich im Mittel ein 30jähriger Tongenerator noch nicht so stark im Klang verändert hat wie ein 50jähriger (Alterung der Kondensatoren im ToneWheel-Generator, siehe Kapitel 4) und damit die globale Aussage „die späten B-3’s klingen besser“ zumindest in einer Fassette erklärt werden könnte.

Nach erfolgreich durchgeführtem Generatorabgleich wäre dann zwar aber auch dieser Gedankenansatz jeglicher Grundlage beraubt, jedoch besteht besonders bei Orgeln mit gravierten Zugriegeln (ein Indiz für eine spätere Baureihe) eine gute Chance, dass hier bereits eine mechanisch und elektrisch verbesserte Ausführung der Kondensatoren im Tongenerator verwendet wurde. Diese sind nämlich inzwischen komplett vergossen und bieten daher eine entscheidend verbesserte Langzeitstabilität hinsichtlich Alterung und Einhaltung der Bauteiletoleranzen. Das in Kombination mit dem bereits erheblich geringeren Lebensalter der späteren Modelle kann durchaus dazu führen, dass der Arbeitsschritt „Generatorneuabgleich“ tatsächlich komplett eingespart werden kann. Ist man gezwungen, diese Arbeit gegen „bare Münze“ bei einem Orgelhaus oder Hammond-Techniker durchführen zu lassen, so kann sich der Aufpreis für ein späteres Orgelmodell unter Umständen bereits finanziell rechnen.

Wie dem auch sei- oftmals ist es aber so, dass gerade die späten Orgelmodelle besonders begehrt und deshalb auch besonders teuer sind- beim Kauf eines gebrauchten Autos ist das ja im Allgemeinen auch nicht viel anders.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

2.7 Schwachstelle Schaumstoff

Eine Erkenntnis scheint sich aber erst gerade jetzt herausgestellt zu haben: wie die Internet-Quelle [15] berichtet, seien die späteren Hammond-Modelle (also die „neueren“) von einem ernst zu nehmenden Problem betroffen: dem Zerfressen der Verharfung durch Reste alternden aggressiven Schaumstoffs! Diese dünnen Widerstandsdrähtchen befinden sich in der Manualbaugruppe und gleichen die Lautstärken aller spielbaren Töne untereinander an. Das Problem liegt wohl in der Kabeldurchführung: früher wurde hier Filz eingesetzt, das auch bis heute noch problemlos seine Aufgabe in den alten Hammonds erfüllt.

Abbildung 8: Verharfungs-Drähtchen

Leider wurden irgendwann in laufender Produktion diese Filze durch Schaumstoff ersetzt- vermutlich, um Kosten zu sparen. Was man damals aber leider noch nicht wissen konnte, weil das Problem erst Jahrzehnte später auftrat: dieser Schaumstoff wandelt sich nun nach und nach chemisch um. Die verbleibende klebrige Masse ist offensichtlich leicht ätzend und greift die Verharfungsdrähte stark an. [15] berichtet hier sogar von teilweise ganz zerfressenen Drähten, die auch nur äußerst schwer wieder zu reparieren sind!

Zum Glück hat der Autor noch keine solcher Orgeln selber instandsetzen müssen, sodass ich hier nur passiv berichten kann. Falls die Internet-Quelle [15] jedoch Recht hat, haben wir es aber in der Tat mit einem handfesten Problem zu tun- es gibt in einer Hammond nach meiner Rechnung mindestens: 61Tasten * 9 Kontake * 2 Manuale = 1098 Verharfungs-Drähte! Eine Reparatur –selbst wenn an die zerfressenen Enden noch angelötet werden könnte- wäre im „worst-case“ kaum mehr sinnvoll (schon gar nicht mehr wirtschaftlich) durchführbar.

Diesen Hinweis sollte man eventuell im Hinterkopf behalten, wenn man sich für ein neueres Hammond-Modell aus späteren Baujahren entscheidet!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

3 Grundwissen

Als wir uns zu dem Kauf einer „richtigen“ Hammond entschlossen, hatten wir eigentlich ein „Chop-Down“-Projekt im Sinn. Die Orgel sollte abgesägt und an das verbleibende Oberteil Klappgriffe angebaut werden, um sie auch für die Bühne einigermaßen transportabel zu gestalten. Wie so oft im Leben kam aber alles anders: Schon als wir das erste Mal „unsere“ C-3 beim Verkäufer stehen sahen, zweifelten wir unsere Säge-Pläne doch erheblich an. Wir erkannten recht schnell, dass sich unter dem ramponierten Äußeren ein hochwertiges Echtholzfurnier versteckte, das es wiederzuentdecken galt. Auf der langen Rückfahrt mit Anhänger gen Heimat (siehe Abbildung 3) hatten wir genug Zeit, zu dem Schluss zu gelangen, dass man es eigentlich nicht übers Herz bringen konnte, dieses Stück Nostalgie kurzerhand abzusägen. „Außerdem würde meine Lucy“ (der Name entstand auf der Autobahnfahrt aufgrund des Nummernschildes eines vorausfahrenden Pferde-Transporters LU-CY ...) „auch wunderbar in unser Wohnzimmer passen“, sah mich meine Frau mit großen Augen an. Ab dieser Minute war meine Pflicht mit dem Bezahlen des Instruments offensichtlich getan und die C-3 ging nun offziellen in den Besitz meiner Frau über.

(Übrigens nur solange, bis es ans Ausladen der Orgel ging: „...und wer hilft dir mit deiner Orgel beim Ausladen?“ ;-).

Nun ja, jeder verheiratete Mann kennt wohl das Phänomen des spontanen Besitzerwechsels- wenn es z.B. um das Reparieren, Auftanken oder Aussaugen des Zweitwagens geht. Wie dem auch sei- letztendlich sind also auch die hübschen Ornamentleisten des Orgelgehäuses daran schuld, dass wir unser geplantes Chop-Down-Projekt verwarfen und die Säge im Schrank bleiben musste. Heute bin ich sehr froh um diese Entscheidung, denn gerade die Instrumente älteren Baujahrs (unsere C-3 ist etwa Baujahr 1955) verfügen meist noch über höher wertige Holzgehäuse, die es im Allgemeinen zu restaurieren lohnt.

Abbildung 9: leeres Orgelgehäuse während Restauration

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Zur Erlangung der Wohnzimmer-Tauglichkeit war jedoch –trotz hübscher Ornamentleisten- noch einiges an Aufarbeitung notwendig und so war die Idee der Komplett-Restauration schnell geboren. Bei einem erfahrenen Hammond-Techniker fragten wir um Rat, mit welchem Arbeitsschritt man denn eine Restauration eigentlich in der Regel beginnt.

Ein gestandener Ingenieur wie Ulrich Zwarg denkt da natürlich zuerst an die technischen Innereien und so ist es nicht weiter verwunderlich, dass wir den Vorschlag erhielten, zu allererst den Tongenerator-Frequenzgang (Theorie dazu siehe Kapitel 4.3; Durchführung siehe Kapitel 4.4.3) aufzunehmen*. Das macht zum einen noch relativ wenig Arbeit und zum anderen ist es nicht notwendig, die Orgel dafür gleich komplett zu zerlegen. Aus dem bekannten Generatorfrequenzgang lässt sich eine Menge ableiten. Auf dieser Basis ist z.B. die Entscheidung möglich, ob der Tongenerator neu abgeglichen werden muss oder nicht.

Der Generatorfrequenzgang war natürlich niederschmetternd (siehe Abbildung 32) und so folgte der schrittweise Ausbau aller Komponenten aus der Orgel. Man beginnt mit dem Entfernen des Vorverstärkers, dem Ablöten der Kabelbäume, kommt dann zum Verrücken der Manualbaugruppe (damit der Generator aus den Federn gehängt werden kann) und endet schließlich beim Entnehmen des kompletten Manualblocks.

Jede einzelne Baugruppe kann eigentlich für sich selbst geprüft und aufgearbeitet werden. Weil das Auseinandernehmen der Orgel in den allermeisten Fällen notwendig ist, wollen wir in Kapitel 5 auch die dazu notwendigen Arbeitsschritte dokumentieren.

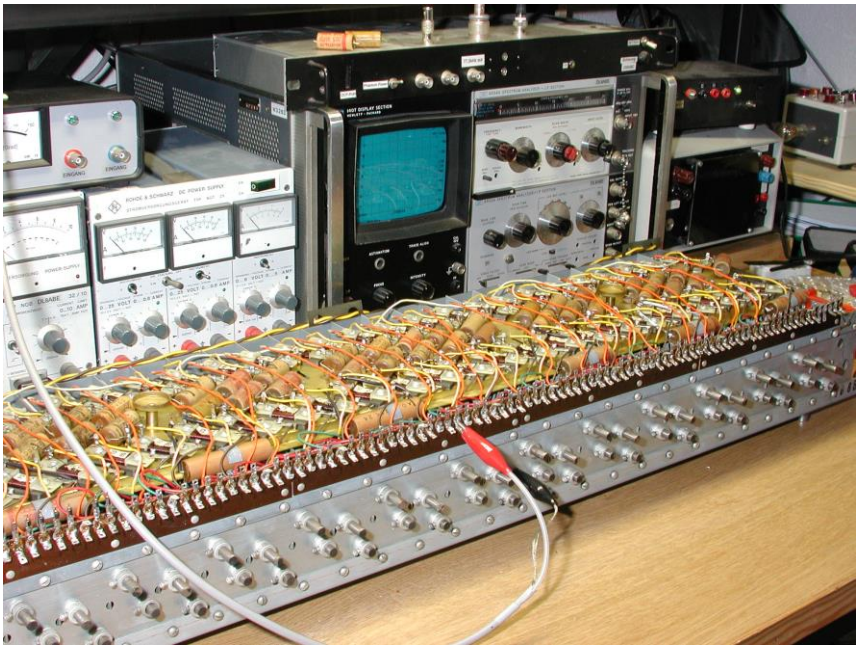


Abbildung 10: Tongenerator auf dem Messplatz

Abbildung 10 zeigt den ausgebauten Tongenerator während einer Kontrollmessung (Generatorfrequenzgang) auf dem Labortisch des Autors. Für diese Messungen reicht ein einfaches Oszilloskop aus. Wer nur ein spartanisches "Baumarkt-Multimeter" besitzt, das nicht bis mindestens 6kHz Wechselspannungs-tauglich ist, muss mit erheblichen Messfehlern rechnen und sollte sich unbedingt Gedanken über den Kauf eines Oszilloskops machen!

* der Zugriegelfrequenzgang sollte ja bereits schon vor dem Instrumenten-Kauf aufgenommen worden sein (siehe Kapitel 2) und wird daher als bekannt vorausgesetzt

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

3.1 Prinzipieller Aufbau

Bevor man sein Instrument jedoch komplett auseinander schraubt, sollte man aber vorher den prinzipiellen Aufbau der Hammond-Orgel unbedingt verstanden haben! Das nun folgende Schaubild soll dabei helfen:

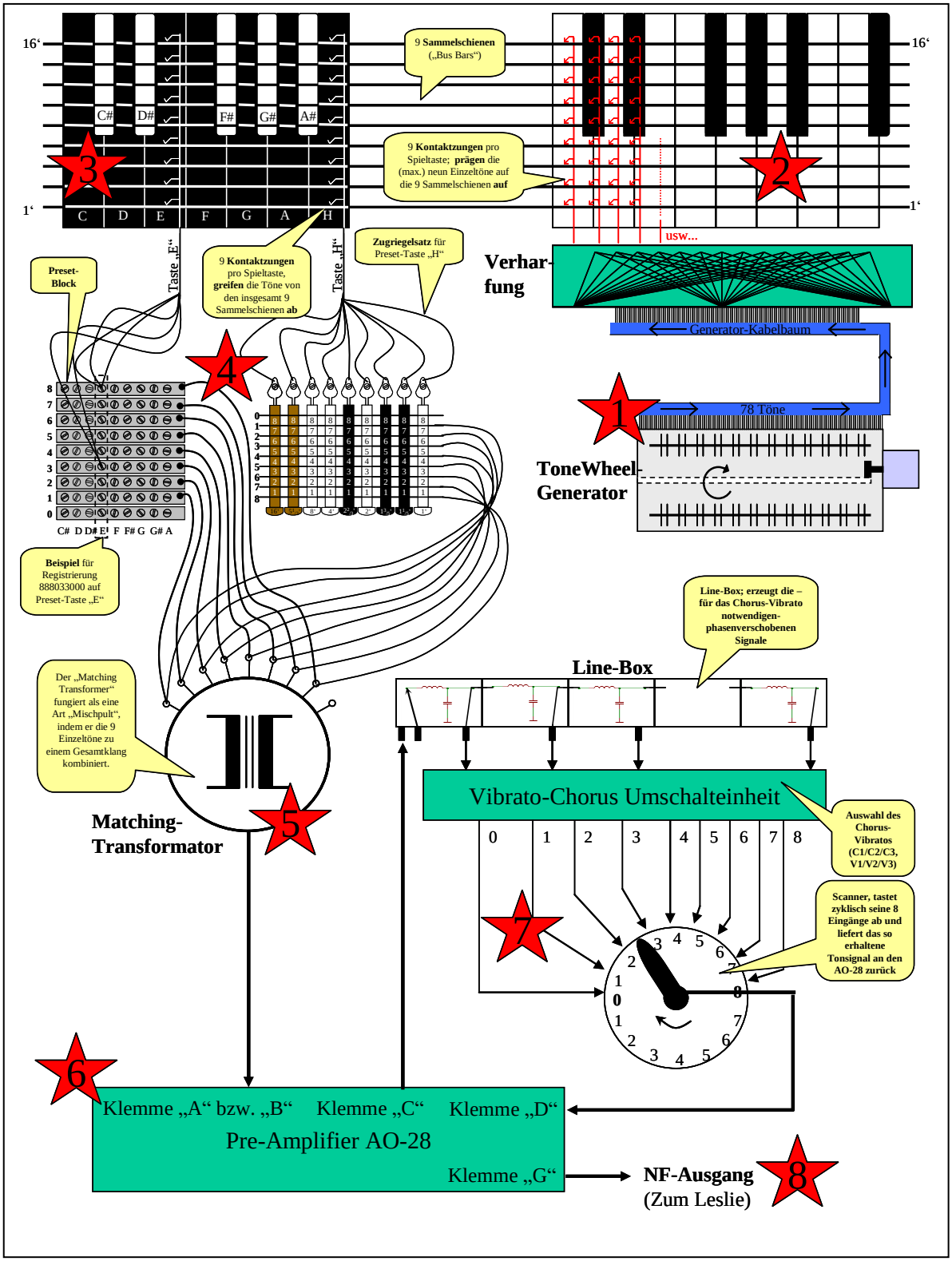


Abbildung 11: Prinzipieller Aufbau einer Hammond-Orgel

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Sehen wir uns Abbildung 11 also einmal genauer an.

Im Tonewheel (=Tonrad)-Generator werden alle 91 Töne, die auf der Orgel in irgendeiner Form spielbar sind, permanent erzeugt. Davon sind 78 über das Manual und die restlichen 13 nur über das Fußpedal spielbar (die tieferen Töne braucht man nur für den Bass). Über einen dicken Kabelbaum gelangen die 78 Töne zur Manualbaugruppe (der Einfachheit halber wird der Fußbass hier nicht weiter betrachtet).

Dort angekommen, verteilt ein „Gewirr“ an dünnen Widerstandsdrähten (wegen seines ästhetischen Aussehens in Hammond-Fachkreisen auch „Verharfung“ genannt) diese 78 Töne auf alle möglichen Spieltasten. Da der Klang einer jeden gedrückten Spieltaste ja aus bis zu max. 9 einzelnen Teiltönen bestehen kann, liegen unter jeder einzelnen Taste auch insgesamt 9 Tastenkontakte!

Neun so genannte „Sammelschienen“ (oder auch „Busbars“ genannt) sorgen für die korrekte Weiterleitung der Tonsignale. Mit jeder gedrückten Spieltaste werden immer alle neun möglichen Einzeltöne (quasi) gleichzeitig auf die Busbars aufgeprägt.

Durch den selben Kontaktmechanismus werden diese so gesammelten Tonspannungen von den neun Busbars am anderen Ende auch wieder abgegriffen: entgegen den normalen Spieltasten, die nach dem Drücken wieder in die Ausgangsposition hochfedern, bleiben die invers gefärbten „Preset keys“ am linken Rand der Tastatur jedoch in der gedrückten Stellung eingerastet. Dadurch sind deren neun Kontaktzungen unter der jeweiligen Preset-Taste permanent auf die Sammelschienen aufgedrückt und greifen so die dort aufgeprägten Tonspannungen ab.

---

und

Erst der sogenannte „Matching Trafo“ führt alle neun Teiltöne zu einem Gesamtklang zusammen. Er ist so etwas wie ein kleines Mischpult, bei dem man pro „Kanal“ zwischen acht verschiedenen Lautstärkeeinstellungen wählen kann (Stufe 1: ganz leise; bis Stufe 8: ganz laut).Hierfür benötigt die Hammond-Orgel jedoch keine komplizierte Verstärkertechnik- ein einfacher Tonfrequenz-Übertrager mit 8 Spulenanzapfungen genügt: je nachdem, welchen Anschluss man beschaltet, erhält man das Ausgangssignal in einer der 8 Lautstärke-Abstufungen. Auf welche der 8 Spulenanzapfungen die einzelnen Teiltöne nun geschaltet werden, bestimmt vorher der Preset-Block (im Innern der Orgel) bzw. die Zugriegelsektion (beide sind parallel geschaltet). Dort wird also die Lautstärke eines jeden Teiltons im Verhältnis zum Gesamtklang eingestellt.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Der Preset-Block ist eigentlich auch „nur“ eine mechanisch etwas veränderte Ausführung der Zugriegel. Während nämlich bei den Zugriegeln ein Schleifer im Innern die gespielten Töne auf die „verschieden lauten“ Eingänge des Matching-Trafos schaltet, stellt beim Preset-Block eine einfache Schlitz-Schraube den elektrischen Kontakt her. Einziger Unterschied dabei: die Veränderung der Klangfarbe kann nicht durch bequemes Ziehen und Schieben eines Zugriegels erfolgen, sondern erfolgt durch Umklemmen der Anschlusskabel auf den „verschieden lauten“ Metallstreifen (9 Stück für die äquivalenten Zugriegelstellungen „0“ bis „8“). Dazu muss die Orgel aufgeschraubt werden; das macht aber nichts, denn seine Preset-Einstellungen ändert man normalerweise ja auch nicht jeden Tag.

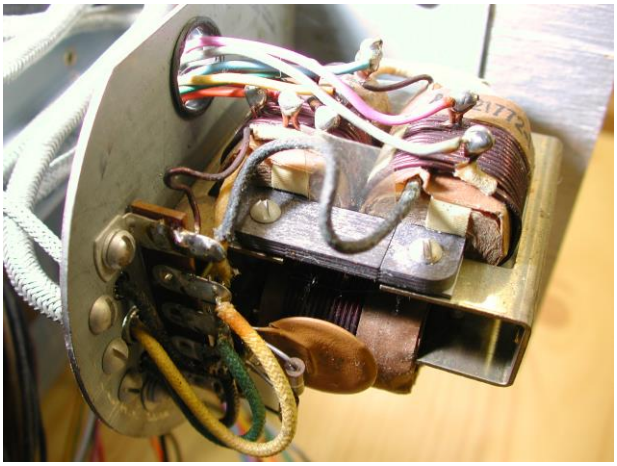


Abbildung 12: Matching-Trafo

Hat der Matching-Trafo nun aus den 9 Einzeltönen den Gesamtklang gebildet, muss dieser noch vom Vorverstärker (Modell „AO-28“) verstärkt werden, weil es sich bis dahin nur um extrem kleine Tonspannungen von wenigen Milli-Volt handelt („Milli“ = $^{1}/_{1000}$ Volt). Für diese Aufgabe besitzt der Vorverstärker den Eingang „A“ (Non-Vibrato), sowie den Eingang „B“ (Vibrato).

Der AO-28 erfüllt aber noch einen weiteren sehr wichtigen Zweck: er steuert ebenfalls die LineBox mit ausreichend Pegel an (Ausgang „C“), so dass der dahinter geschaltete Scanner das Effektsignal aufnehmen und dem AO-28 erneut zur Weiterverstärkung zuführen kann. Dafür ist der „Eingang D“ vorgesehen.

Die Funktionsweise ist wie folgt: das Eingangssignal von „Eingang A“(bzw. "B") wird verstärkt und –via Ausgang „C“- auf eine Kettenschaltung achtzehn elektrischer Tiefpässe geleitet (die so genannt „Line-Box“). Dabei erzeugt jeder einzelne für sich eine kleine Phasenverschiebung von wenigen Grad; d.h. das Tonsignal wird minimal zeitlich verzögert. Dabei ist am Ende der Line-Box natürlich die Summe aller einzelnen Phasenverschiebungen zum Originalsignal zu messen.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Die Line-Box besitzt zwischen den einzelnen Tiefpässen jedoch insgesamt 16 Abgriffe, sodass sich dort Tonspannungen mit verschiedenen Phasenverschiebungen messen lassen: nämlich von 0° bis ca. 370° in Schritten von ca. 20° (1kHz-Testton*). Das Vibrato der Hammond-Orgel wird nun so erzeugt, dass diese 16 Abgriffe zyklisch nacheinander zum Ausgang durchgeschaltet werden. Dadurch ändert sich hinter dem verwendeten rotierenden Umschalter permanent die Phasenlage des Effektsignals zum Originalsignal. Das bedeutet: Phasenvibrato!

Der Umschalter ist bei der Hammond-Orgel sehr raffiniert ausgeführt. Er nennt sich „Scanner“ und wird direkt durch die Antriebswelle des Tone-Wheel-Generators mit angetrieben. Sein rundumlaufender „Tonabnehmer“ arbeitet rein kapazitiv- damit also verschleißfrei! Der Nachteil: die so erhaltene Spannung des Effektsignals ist nur sehr klein und muss danach durch den AO-28 wieder entsprechend hoch verstärkt werden („Eingang D“) bevor sie die Orgel verlassen und in einem angeschlossenen Leslie oder Tonkabinett hörbar gemacht werden kann.

Der Ausgang des Vorverstärkers ist „Klemme G“. Diese findet sich gleich zweimal, weil sich nämlich im Innern des AO-28 ein richtiger Ausgangsübertrager befindet. Das bewirkt eine echte elektrische Symmetrierung des Ausgangssignalss, das zusätzliche Brummeinstreuungen in das angeschlossene Leslie-Kabel wirksam verhindert.

* Es gibt zwei Stellen, an denen ein doppeltes und ein dreifaches Tiefpassfilter eingesetzt werden. Dementsprechend ist dort die Phasenverschiebung 2*20°=40° bzw. 3*20°=60°. Mehr dazu in Kapitel 8.2.20.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

3.2 Aussehen im Original

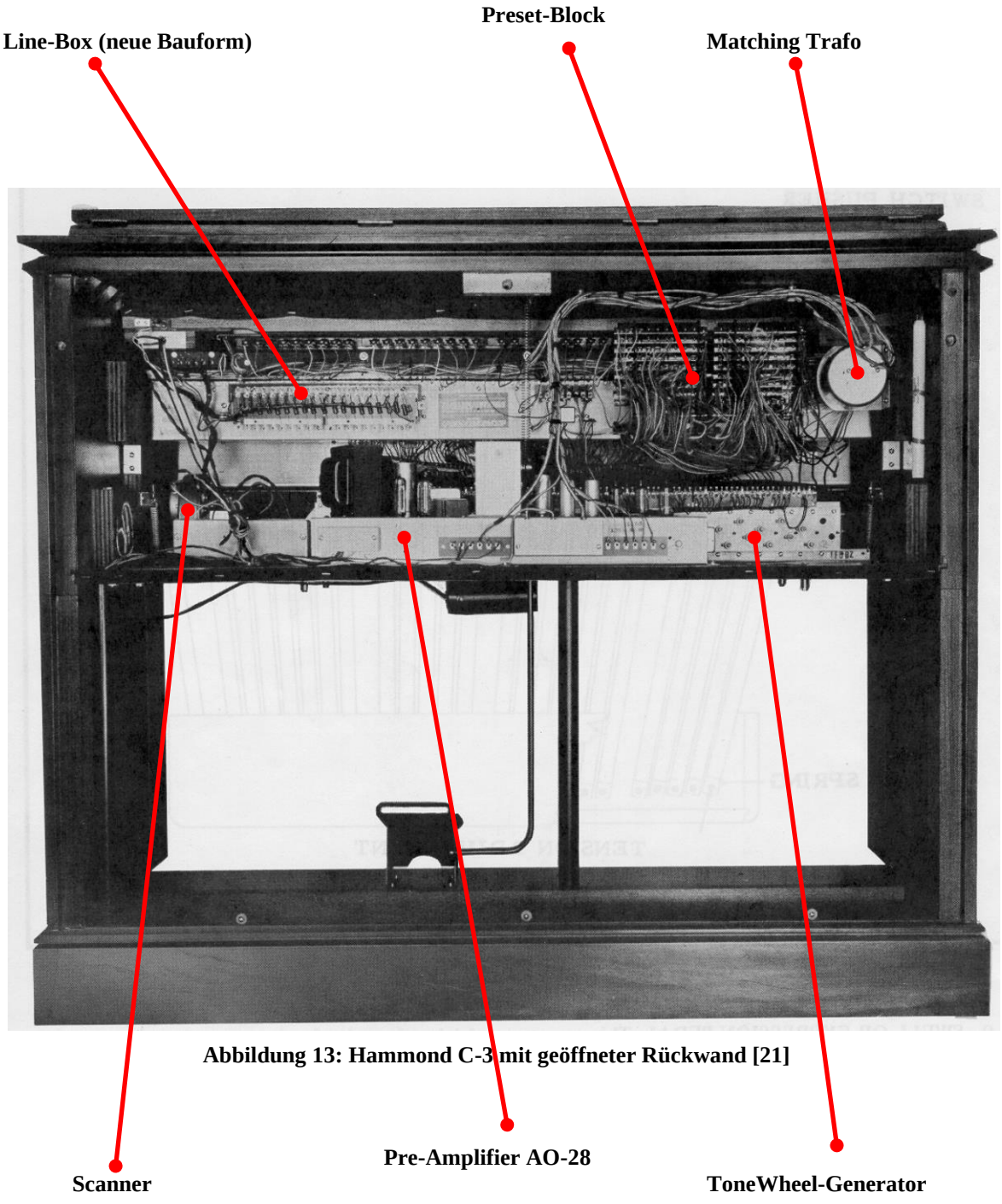


Abbildung 13: Hammond C-3 mit geöffneter Rückwand [21]

In Abbildung 13 ist ein Teil der in Abbildung 11 eingeführten Komponenten der Hammond-Orgel im Original zu sehen. Es wird das Modell C-3 mit geöffneter Rückwand gezeigt. Gut zu erkennen sind z.B. der Preset-Tastenblock mit seinen Klemmschienen, der Matching-Transformator (besitzt eine Metallkappe zwecks Abschirmung), ein Teil des Scanners und der davor liegende Pre-Amplifier AO-28. Der ToneWheel-Generator ist direkt dahinter angeordnet, sodass im Bild nur ein Teil davon sichtbar ist.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4 Sounderzeugung und Abgleich

Als das "Herzstück" einer jeden Hammond-Orgel verdient der "ToneWheel-Generator" natürlich eine besonders große Aufmerksamkeit. Eines der großen Themengebiete, die sich um den Generator ranken, ist dabei der "Neuabgleich". Darauf möchte ich später unbedingt näher eingehen. Doch zuvor einige Grundgedanken und etwas Theorie.

4.1 Aufbau des ToneWheel-Generators

Wir beschäftigen uns ersteinmal mit der Frage, was genau ein ToneWheel-Generator überhaupt ist und wie er funktioniert. Das originale B3/C3 Service Manual bildet ihn so ab:

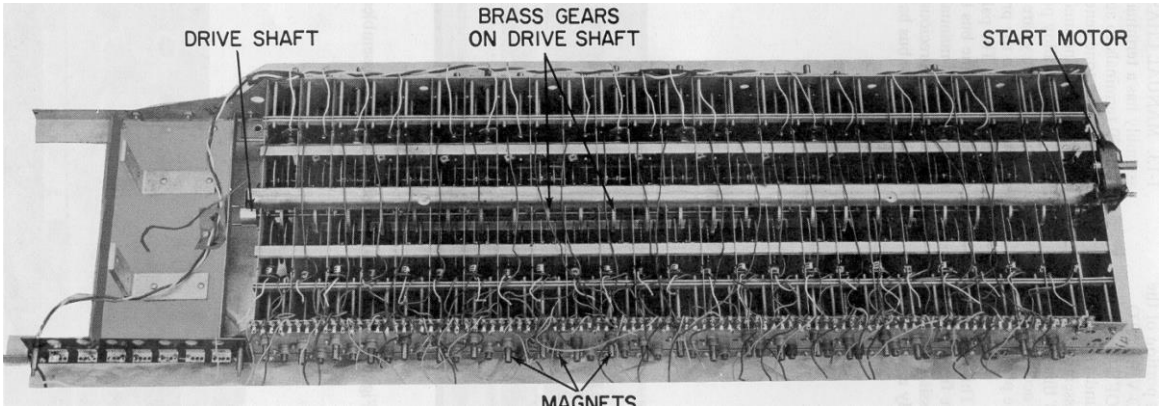


Abbildung 14: ToneWheel-Generator [21]

Wie wir schnell sehen, haben wir es hier mit einem mechanischen Gebilde hoher Präzision zu tun, bei dem selbst erfahrene Werkzeugmechaniker oft ins Schwärmen kommen. Der ToneWheel-Generator ist ein Metallkasten, bei dem ein Elektromotor über eine Vielzahl von Zahnrädern und Schlingfeder-Rutschkupplungen insgesamt 91 so genannte „ToneWheels“ antreibt. Diese „ToneWheels“ sind Metallscheiben, die auf ihrem äußeren Rand ein Wellenprofil eingeschliffen haben.

Dreht sich dieses Wellenprofil kontinuierlich vor einem elektromagnetischen Tonabnehmer, so wird in dessen Spulenwicklung eine kleine elektrische Tonspannung induziert. Wird die dann noch entsprechend elektrisch verstärkt, so ist durch einen angeschlossenen Lautsprecher dann ein sinusähnlicher Ton hörbar. Bei der Hammondorgel baute man so viele ToneWheels in den Generator ein, dass der komplette Tonumfang des Instruments erzeugt werden kann*. Danach schaltet man einfach mittels einer Tastatur (=Keyboard) die gedrückten Töne zum Verstärker hin durch und gibt sie mittels eines Lautsprechers wieder.

* Hammond erzeugt hier noch mehr Töne als erforderlich, um mittels Obertönen einen komplexeren Gesamtklang nachbilden zu können. Dazu aber später mehr!.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Die Elektrogitarre funktioniert übrigens nach demselben Prinzip: nur mit dem Unterschied, dass dort –statt des sich drehenden ToneWheels- eine Stahlsaite vor dem Tonabnehmer schwingt! Diese Idee der Tonerzeugung unterscheidet die alten, „wahren" Hammonds von den neueren Modellen: wir sprechen hier von einem elektromagnetischen Tongenerator!

Das nun folgende Bild veranschaulicht noch einmal das Aufbauprinzip des ToneWheel-Generators. Der so genannte „Run-Motor" ist der eigentliche Elektroantrieb. Weil er aber konstruktionsbedingt nicht von selber starten kann (es ist eine spezielle Form des Synchronmotors!), braucht er einen „Start-Motor" (rechts im Bild), der den ganzen Kasten beim Einschalten erst mal richtig „auf Schwung bringt".

Der Run-Motor treibt –über eine Rutschkupplung- die Hauptwelle des Generators an. (Bei einem Automotor würde man hier wohl quasi von der Kurbelwelle reden.) Über viele Zahnräder und zusätzliche weitere Rutschkupplungen werden von ihr letztendlich alle ToneWheels angetrieben.

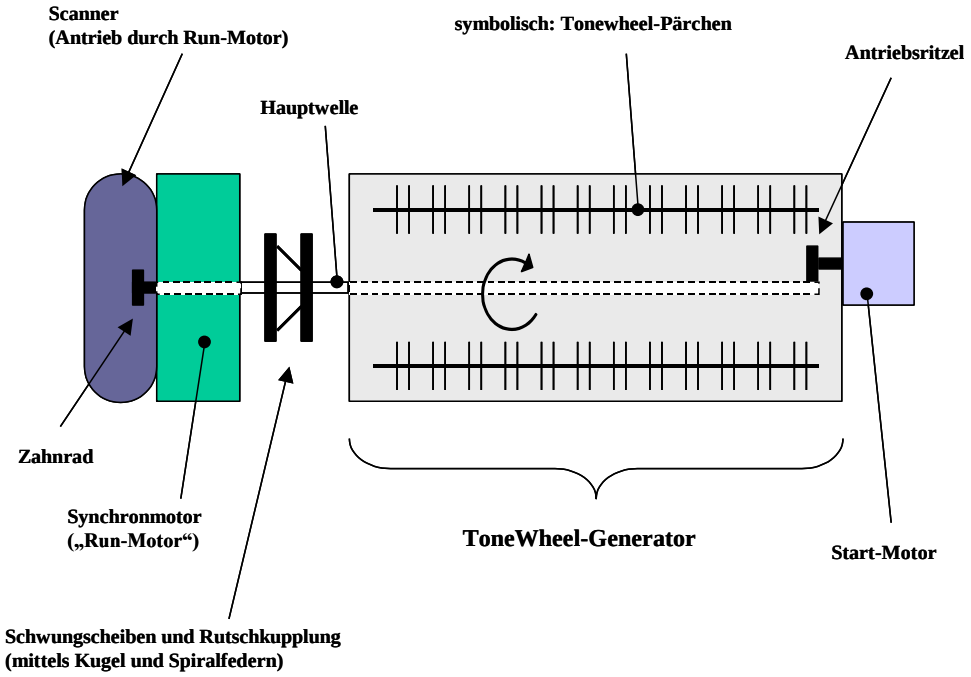


Abbildung 15: ToneWheel-Generator (Prinzipbild)

Am ToneWheel-Generator links angeflanscht ist ein Bauteil, das mit der eigentlichen Tonerzeugung gar nichts zu tun hat: der „Scanner". Wie wir in Kapitel 7 noch genauer sehen werden, wird der Scanner für die Erzeugung des Vibratos benötigt. Damit man für ihn nicht noch einen weiteren Elektro-Motor in die Orgel einbauen muss (das wäre dann der dritte!), wurde er von den Hammond-Ingenieuren pragmatisch an den ToneWheel-Generator links angeschraubt und bedient sich ebenfalls der Drehung der Haupt-Antriebswelle.

Soweit ersteinmal zur Konstruktion des Tongenerators. In Kapitel 6 wird die Antriebseinheit (Start- und Run-Motor) übrigens nochmals genauer betrachtet.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.2 „Sound-Messverfahren“

Die "klangliche" Beurteilung einer Orgel bietet sicherlich genügend Stoff für lange Diskussionen und konträre Meinungen. Bis heute bleibt es in erster Linie eine Geschmacksfrage, ob eine Orgel als "gut" oder "schlecht" klingend eingestuft werden kann. Dennoch kann die Messtechnik helfen, den "Gesundheitszustand" der Orgel zu beurteilen und eine Basis zu definieren, auf der verschiedene Instrumente überhaupt miteinander vergleichbar sind. Meiner Meinung nach ist ein direkter Vergleich zweier Orgeln, die nicht über denselben elektrischen Grundzustand verfügen, nicht legitim. Hier kommt man sonst schnell zu dem viel zitierten Vergleich zwischen Äpfeln und Birnen.

In diesem Abschnitt soll es nun in erster Linie um die messtechnische Erfassung wichtiger elektrischer Kenngrößen gehen. Dabei sollten wir uns dieser Aufgabenstellung systematisch nähern und erst mal genauer untersuchen, was an einem solchen Instrument denn überhaupt alles gemessen werden kann. Dazu verdeutlichen wir uns den Aufbau der elektromagnetischen Hammond-Orgel anhand eines Signalfluss-Diagrammes (siehe Abbildung 16) auf der nächsten Seite.

4.2.1 Schnittstellen im Signalfluss-Diagramm

Schnittstelle „A“
Die Tonerzeugung aller verfügbaren Einzeltöne geschieht zentral im „ToneWheel-Generator“. Dessen Ausgänge bieten gleich die erste Möglichkeit einer elektrischen Messung. Misst man an der Schnittstelle „A“ sämtliche Ausgangsspannungen mit einem Oszilloskop und stellt diese Messwerte anschließend in einem Diagramm grafisch dar, so sprechen wir von der Aufnahme des **„Generatorfrequenzganges“**. Kapitel 4.3 beschäftigt sich mit der Durchführung einer solchen Messung.

Schnittstelle „B“
Bevor die Töne über die gedrückten Tasten der Spieltastatur weiter durchgeschaltet werden, durchlaufen sie die so genannte „Verharfung“. Hier sorgen meterlange Widerstandsdrähte unterschiedlicher Länge für eine Pegelanpassung aller Töne untereinander. Diese Lautstärkeanpassung ist ebenfalls stark klangbestimmend und wurde in [10] bereits näher untersucht.

Schnittstelle „C“
Schnittstelle „C“ benötigt man meistens nur, um die Funktion aller Tastenkontakte zu überprüfen (Einsatz einer LED-Platine, siehe Kapitel 10.8).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

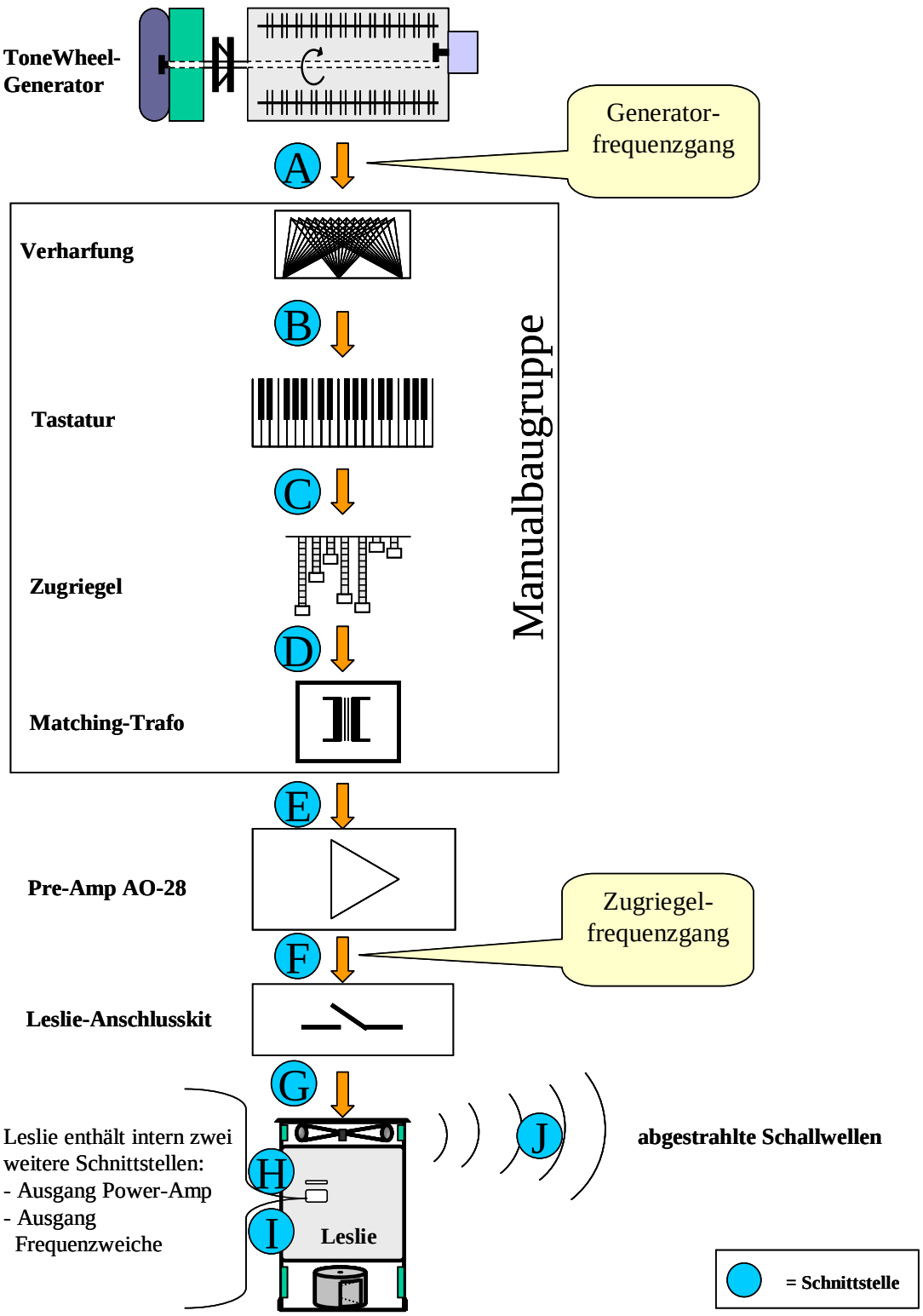


Abbildung 16: Schnittstellen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Schnittstelle „D“
Die Messung an Schnittstelle „D“ dient auch primär eher Reparaturzwecken als der Beurteilung des Gesamtklanges.

Schnittstelle „E“
Messtechnisch interessanter ist da schon eher der Punkt „E“. Es handelt sich dabei um den Ausgang des so genannten „Matching-Trafos“, der die Aufgabe hat, alle einzelnen gespielten Töne aufzusummieren*. Er ist ebenfalls ein klangbestimmendes Bauteil, das in [4] bereits näher untersucht wurde.

*Hinweis:
Technisch korrekter Begriff; er ist im normalen Sprachgebrauch aber eher unüblich: dort redet man eher von „mischen“ (was aber strenggenommen nicht richtig ist). Beim „Misch-Vorgang“ entstehen nämlich –im Gegensatz zum „Überlagern“ oder „Aufsummieren“- zusätzliche Anteile im Frequenzspektrum, die als starke Verzerrungen deutlich hörbar wären. Dieser physikalischen Tatsache zum Trotz redet man aber dennoch z.B. von einem „Mischpult“ und nicht von einem „Überlagerungspult“.

Schnittstelle „F“
Der Ausgang des Matching-Trafos führt direkt zum Eingang des Vorverstärkers. Dessen Ausgang wiederum ist Schnittstelle „F“ und messtechnisch sehr interessant. Hier setzt der so genannte **„Zugriegelfrequenzgang“** an, dessen Durchführung in Kapitel 4.3 beschrieben ist. Hier werden ebenfalls die Ausgangsspannungen gemessen, die jedoch durch das Spielen aller verfügbaren Töne auf der Tastatur durch Benutzung des $2\,^{2}/_{3}$-Zugriegels möglich sind. Der Unterschied zum Generatorfrequenzgang besteht darin, dass hier nicht nur der Generator, sondern sämtliche anderen elektrischen Komponenten (wie z.B. Vorverstärker, Verharfung, Matching-Trafo, usw...) im Signalweg mit erfasst werden! Siehe dazu auch die Schnittstelle „F“ in Abbildung 16.

Der Zugriegelfrequenzgang ist also der "Gesamt-Frequenzgang" der Orgel (einschließlich Generator), während der Generatorfrequenzgang (als grund legender Teil) ausschließlich die elektrischen Parameter des ToneWheel-Generators an sich beschreibt.

Schnittstelle G:
Viele Instrumente sind (nachträglich) mit einer Ansteuerschaltung für ein Leslie ausgerüstet worden. Diese sogenannten „Leslie-Anschlusskits“ bestehen u.A. aus einem weiteren Tonfrequenz-Übertrager, dessem Ausgangssignal eine Schaltgleichspannung überlagert wird, damit das angeschlossene Leslie zwischen den beiden Drehgeschwindigkeiten SLOW und FAST umgeschaltet werden kann. Diese Schnittstelle schaut man sich eigentlich nur intensiver zu Reparaturzwecken an.

Schnittstelle H:
Liegt am Ausgang des internen Leslie-Leistungsverstärkers. Für Frequenzgangsmessungen wieder sehr bedeutsam; jedoch nicht im Rahmen dieses Buches ;-)

Schnittstelle I:
Das verstärkte Tonsignal durchläuft –bevor es an die Lautsprecher weitergegeben wird- im Leslie vorher eine passive Frequenzweiche. Das ist wieder ein tolles Gebiet, denn hier können prima Frequenzgänge aufgenommen und bewertet werden.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Schnittstelle „J“
Bei Schnittstelle „J“ bewegen wir uns schließlich im Bereich der akustischen Messungen, die vom Handling her meist sowohl sehr hohe Anforderungen an die Messumgebung (reflexionsarmer Raum, hochwertige Messmikrofone, teure Messgeräte) als auch den Anwender (theoretisches/praktisches Knowhow im Bereich Akustik) stellen. Da der Autor über beides nur im stark eingeschränkten Rahmen verfügt, werden diese Messungen hier nicht weiter verfolgt. Die Quellen [17] und [13] sind hier aber offensichtlich in beiderlei Hinsicht erheblich besser „ausgerüstet“ und wagen sich an diese Thematik heran.

Zusammenfassung

Wir erkennen, dass es mehrere Schnittstellen in der elektromagnetischen Hammond-Orgel gibt, die messtechnisch erfasst werden können. **Zwei** der wichtigsten möchte ich nun hier vorstellen. Beide liefern eine Aussage über die Ausgangsspannungen (also die "Lautstärke") der spielbaren Einzeltöne.

Üblicherweise ist die Messung des Zugriegelfrequenzgangs das Erste, was man macht, wenn man eine Orgel technisch/elektrisch restaurieren will, weil man hier mit der Durchführung der Messung an einer einzigen Schnittstelle bereits den Einfluss fast aller wesentlichen Komponenten mit erfasst. Daher sollte die Zugriegelfrequenzgangsmessung bereits beim Kauf des Instruments durchgeführt werden.

Den Generatorfrequenzgang misst man üblicherweise erst, wenn man sich Gedanken darüber macht, ob ein Neuabgleich des ToneWheel-Generators notwendig ist.

Es ist daher unangebracht, eine der beiden Messungen als "besser" oder "schlechter" zu bewerten. Im Gegenteil: in der Praxis ergänzen sich beide, um in der Schlussbetrachtung zu einer objektiven Qualitätsaussage über den technischen Zustand der Orgel zu gelangen. Durch Vergleich mit definierten Referenzkurven können die erhaltenen Messwerte gedeutet werden.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.3 Der Zugriegelfrequenzgang

Wie bereits im vorherigen Abschnitt beschrieben, ist der Zugriegelfrequenzgang das "elektrische Aushängeschild" (bzw. „Fingerabdruck“) einer jeden Hammond-Orgel. Weil er ziemlich am Ende der Signalkette angesiedelt ist (vgl. Abbildung 16) erfasst man mit seiner Durchführung quasi „in einem Rutsch“ den Einfluss fast aller Signal führender Einzelkomponenten. Daher möchte ich diese Messung allen voran zu Beginn vorstellen.

Dank der Arbeit von Christoph Klug besitzen wir inzwischen für den $2^2/_3$' Zugriegelfrequenzgang eine gut praxiserprobte Referenzkurve, die man getrost als Vergleichsgrundlage für eigene Messungen verwenden sollte.

Doch zuvor soll beschrieben werden, wie man die Messung des Zugriegelfrequenzgangs überhaupt durchführt.

4.3.1 Benötigtes Equipment

MESSUNG
Als Ausrüstung für die Messung des Zugriegel-Frequenzgangs benötigt man kein komplettes Messlabor. Ein übliches, tonfrequenz-taugliches Voltmeter oder ein einfaches Oszilloskop sind zur Durchführung der Messung schon ausreichend. Die Anforderung an die NF-Bandbreite von ca. 6kHz erfüllen heutzutage bereits auch günstigere Digitalmultimeter. Ist man sich über die Verwendung diesbezüglich unsicher, so klärt ein Blick in die Bedienungsanleitung meistens schnell über Tauglichkeit oder Nicht-Tauglichkeit auf. Hier sollten Angaben über den zulässigen Frequenzbereich zu finden sein.

Da wir es in diesem Tonbereich mit überwiegend sehr Sinus-ähnlichen Wellenformen zu tun haben, (im Bassbereich von Ton-Nr.1 bis einschließlich Ton-Nr.12 wäre das anders!) dürfen wir hier auch das „einfache“ NF-Millivoltmeter einsetzen. Ein Oszilloskop ist natürlich grundsätzlich auch für das Messen nicht-sinusförmiger Spannungen verwendbar, ist aber meist im Ablesen etwas umständlicher und konstruktionsbedingt etwas ungenauer als ein Audio-Voltmeter (wobei es hier auch nicht so genau drauf ankäme...).

AUSWERTUNG
Zur Auswertung der dann aufgenommenen Messreihe ist im einfachsten Fall bereits ein Blatt Papier mit Stift und Taschenrechner ausreichend. Ungleich komfortabler geht es allerdings unter Verwendung eines Computers mit Tabellen-Kalkulations-Programm (z.B. Microsoft Excel) oder gar dem vorbereiteten Excel-Tool des Autors (mehr dazu in Kapitel 4.3.6).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.3.2 Messbedingungen

Ganz wichtig bei der Messung der Zugriegelfrequenzgänge ist jedoch vorher das Herstellen der korrekten Messbedingungen! Folgender Zustand muss an der Orgel zwingend eingestellt werden:

- Volume-Schalter auf "NORM"
- Volume-Pedal voll durchgetreten (maximale Lautstärke)
- Percussion ist ausgeschaltet
- Vibrato/Chorus ist ausgeschaltet
- ToneControl-Regler am Pre-Amplifier auf rechts-Anschlag
- Registrierung: nur der 2 $^{2}/_{3}$ Zugriegel ist maximal ausgezogen, alle anderen auf "0"
- sonstige Modifikationen (z.B. 6kHz-Anhebung (siehe 14.1.1), Hallverstärker, Klangregelungen, usw.) **unwirksam** machen (bzw. deaktivieren)!
- Abgriff der Ausgangsspannung (Messsignal) an Klemme "G" des Pre-Amplifiers gegenüber GND (=Gehäusemasse)
- Betrieb der Orgel spannungs- und frequenzrichtig an 230V/50Hz bzw. 115V/60Hz
- C22 Rückführkondensator ganz reindrehen, bis die Schraube fest sitzt*

* Es handelt sich dabei um einen kleinen Trimmkondensator, der mit einem einfachen Schlitzschraubendreher für die Messung ganz eingedreht werden sollte (siehe Abbildung 17).

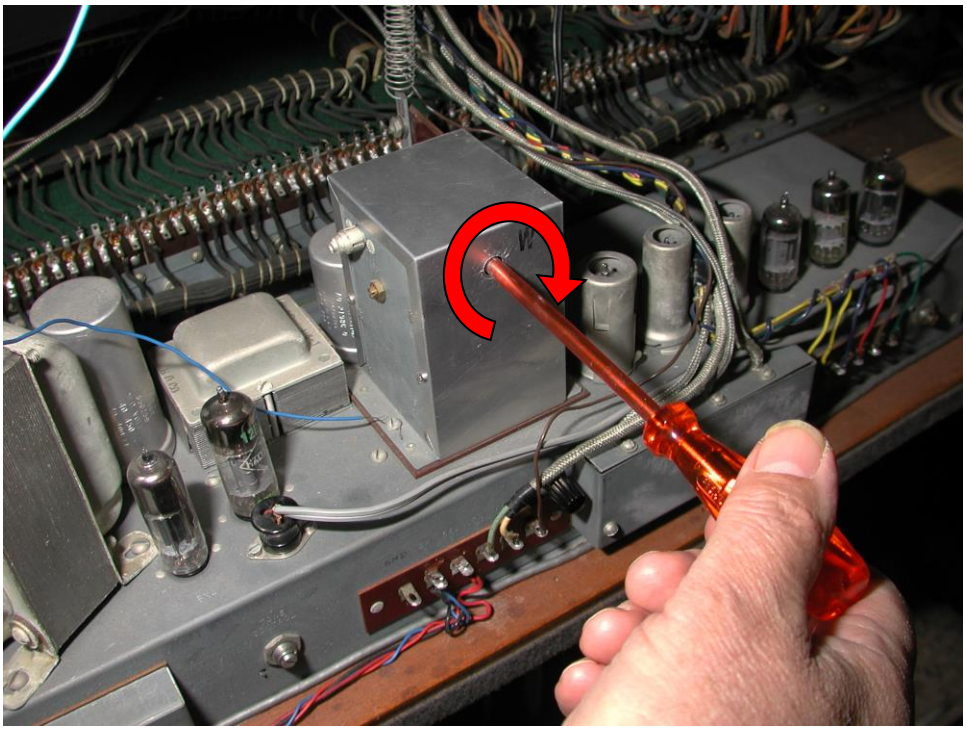


Abbildung 17: Rückführkondensator C22 ganz hereindrehen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.3.3 Messaufbau „Zugriegelfrequenzgang“

Die Messung des Zugriegelfrequenzgangs ist an sich relativ schnell vorbereitet und durchgeführt. Sind die korrekten Messbedingungen hergestellt (siehe 4.3.2), schraubt man lediglich die Orgelrückwand ab und sucht am –nun zugänglichen- Vorverstärker die Ausgangsklemmen „G“.

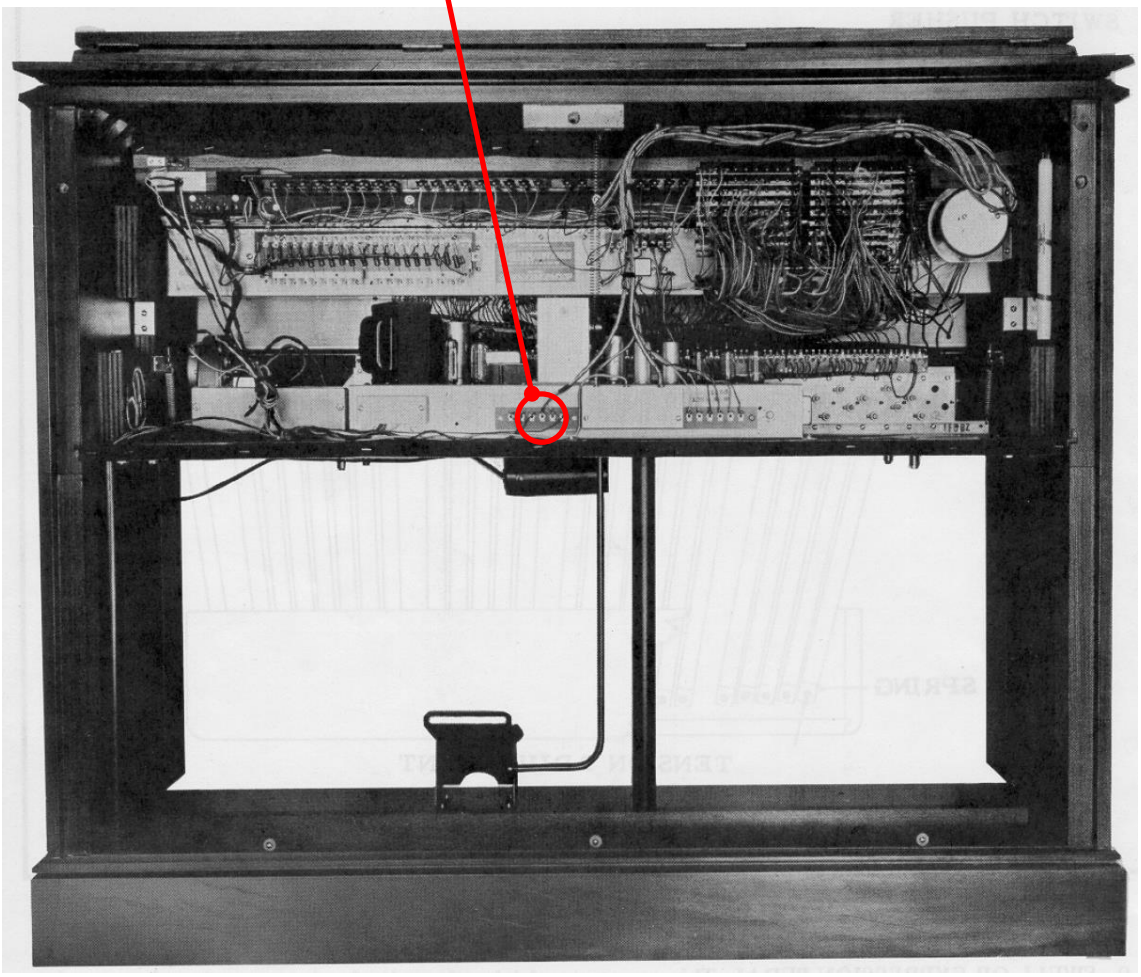


Abbildung 18: C-3 mit geöffneter Rückwand- "Klemme G"

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Sie sind –wie Abbildung 18 zeigt- an der Stirnseite des PreAmplifiers zu finden. Dort werden die Messleitungen des Multimeters (oder Oszilloskops) angeklemmt.

Abbildung 19 zeigt noch einmal eine Detailansicht des Vorverstärkers mit seinen Anschlüssen (im Bild zu Demonstrationszwecken in ausgebautem Zustand zu sehen; der Zugriegelfrequenzgang wird natürlich mit eingebautem Preamplifier in der Orgel aufgenommen!).

Da wir es hier mit einem vollsymmetrischen Ausgang zu tun haben, gibt es „Klemme G“ gleich zweimal. Für unsere Messung ist es unerheblich, an welchen der beiden Anschlüsse wir anklemmen.

Wichtig ist dabei nur eine gute Masseverbindung des Messgerätes mit dem Vorverstärker. Das kleine Winkelblech an der Vorderfront bietet sich als Massepunkt „GND“ hier geradezu an.

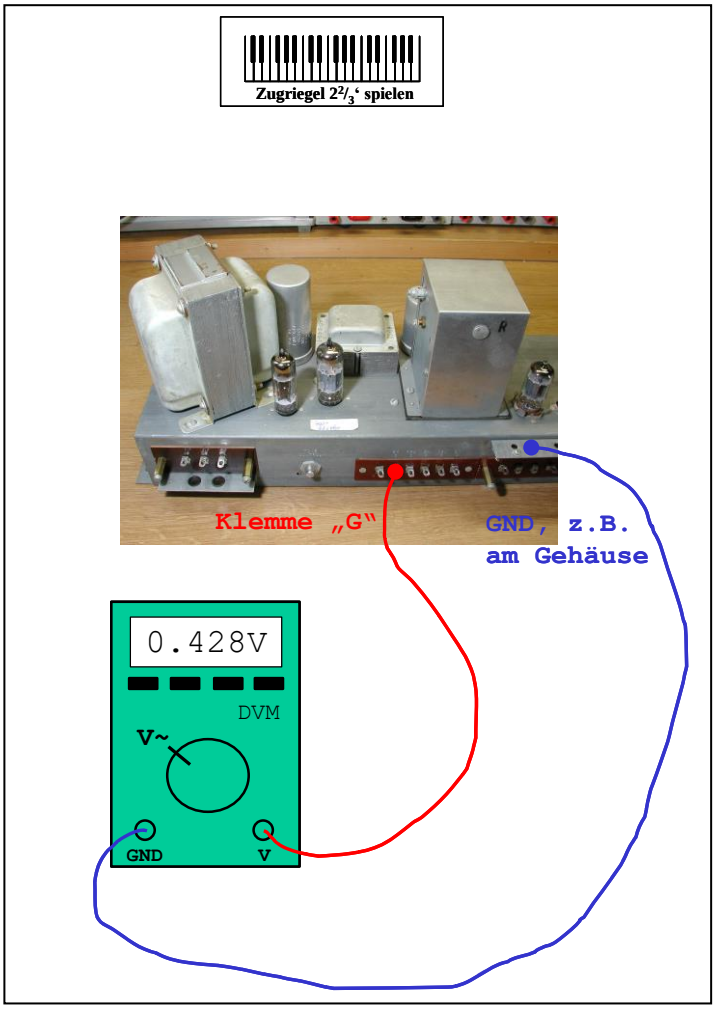


Abbildung 19: Messaufbau "Zugriegelfrequenzgang"

Die nun folgende Durchführung der Messung ist wirklich einfach:

4.3.4 Durchführung einer Zugriegelfrequenzgangs-Messung

Bitte mit ausgezogenem $2^2/_3$-Zugriegel nacheinander jede Taste auf der Spieltastatur (beginnend mit Taste C-1) einzeln nacheinander durchspielen und dabei die jeweils gemessenen Ausgangsspannungen (Voltmeter an Klemme „G“ des PreAmplifiers) auf einem Blatt Papier aufschreiben. Das ist schon alles.

Am Ende hat man so 61 Messwerte untereinander stehen, die man nun –am besten per Computerprogramm, es geht aber natürlich auch „von Hand“- grafisch auswertet und in Bezug zu der bereits oben beschriebenen „Referenz“ setzt. Man tut gut daran, sie vorher in „dB“ umzurechnen, damit der Vergleich auch praxisgerecht wird (Taschenrechner).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Das nachfolgende Bild zeigt die ersten Messwerte einer typischen Zugriegel-Frequenzgangsmessung.

Zugriegelfrequenzgang 2_2_3'		
Tonrad Nr.	Spannung [Veff]	Spannung [dB]
32	1,084	0,00
33	1,049	-0,29
34	1,064	-0,16
35	1,024	-0,49
36	1,065	-0,15
37	0,994	-0,75
38	0,976	-0,91
39	0,965	-1,01
40	0,967	-0,99
41	0,947	-1,17
42	0,920	-1,42
43	0,892	-1,69
44	0,568	-5,61
45	0,577	-5,48
46	0,532	-6,18
47	0,525	-6,30

Abbildung 20: Zugriegelfrequenzgang Messwerttabelle (Beispiel)

Die Spannung, die ich beim Drücken der Taste „C1“ (entspricht Tonrad Nr. 32) mit dem NF-Voltmeter messen konnte, ist in dem Beispiel von Abbildung 20 genau 1,084Volt. Der nächste Ton (C#1) liefert 1,049Volt auf der Anzeige; der nächste Ton (D1) 1,064Volt, usw....

Sind alle die 61 Messwerte gemessen und ist man bei der letzten Spieltaste angekommen, so ist die eigentliche Messung bereits beendet. Nun folgt die Auswertung.

4.3.5 Auswertung und Umrechnung

Der Teil, für den man einen Taschenrechner braucht, ist das praxisgerechte Umrechnen der gemessenen Spannungen in „dB“. Das beschreibt das logarithmische Verhältnis jeweils zweier Messwerte zueinander.

Zuerst sucht man sich aus der Messwerttabelle unter den 61 Messwerten den höchsten, ermittelten Spannungswert heraus (meistens findet man den gleich unter den ersten Messwerten am Anfang). In unserem Beispiel aus Abbildung 20 ist das gleich der allererste Messwert bei Tonrad Nr.32: nämlich 1,084Volt.

Dieser Wert ist nun ab sofort der Bezugspunkt und beschreibt für diese Messreihe unsere „0dB“.

Alle folgenden 60 Messwerte werden nun zu diesen 1,084V (= 0dB) in Bezug gesetzt und logarithmisch ausgedrückt gemäß der bekannten Formel

$$a_{(x)} = 20 \cdot \log\left(\frac{x}{x_0}\right)$$

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Ich zeige das mal am Beispiel von Tonrad Nr. 33:
Dort haben wir laut Messwerttabelle eine Spannung von 1,049V gemessen. Unser Maximum für die gesamte Messreihe war ja 1,084V.

Damit haben wir:

x_0=1,084V (unverändert)
x=1,049V

Und wir berechnen: $a_{(TonNr.33)} = 20 \cdot \log\left(\frac{1{,}049}{1{,}084}\right) \approx -0{,}29dB$

Für Tonrad Nr. 34 gilt dann:

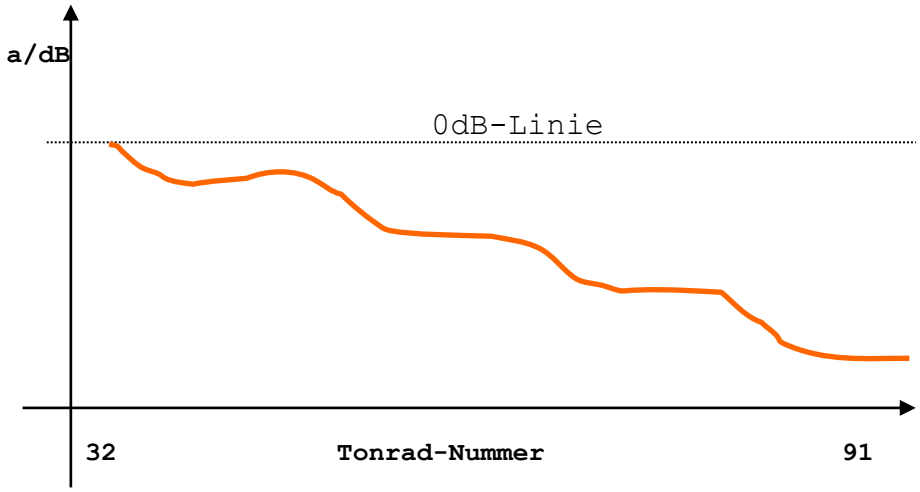
x_0=1,084V (unverändert)
x=1,064V

Und wir berechnen: $a_{(TonNr.34)} = 20 \cdot \log\left(\frac{1{,}064}{1{,}084}\right) \approx -0{,}16dB$

---

usw....

Diesen Rechenschritt führen Sie nun bitte für sämtliche 61 Messwerte aus und notieren sich die Ergebnisse. Diese werden dann anschließend in einem Diagramm dargestellt gemäß der Form:



© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.3.6 Excel-Tool „Zugriegelfrequenzgang“

Wer die Auswertung eines Zugriegelfrequenzgangs einmal per Hand gemacht hat, lernt die Vorteile des Computereinsatzes für die Berechnung und Darstellung schnell schätzen. Der Autor hat dafür ein kleines Excel-Tool zusammengestellt, mit dessen Hilfe die Umrechnung und grafische Darstellung automatisch geschieht.

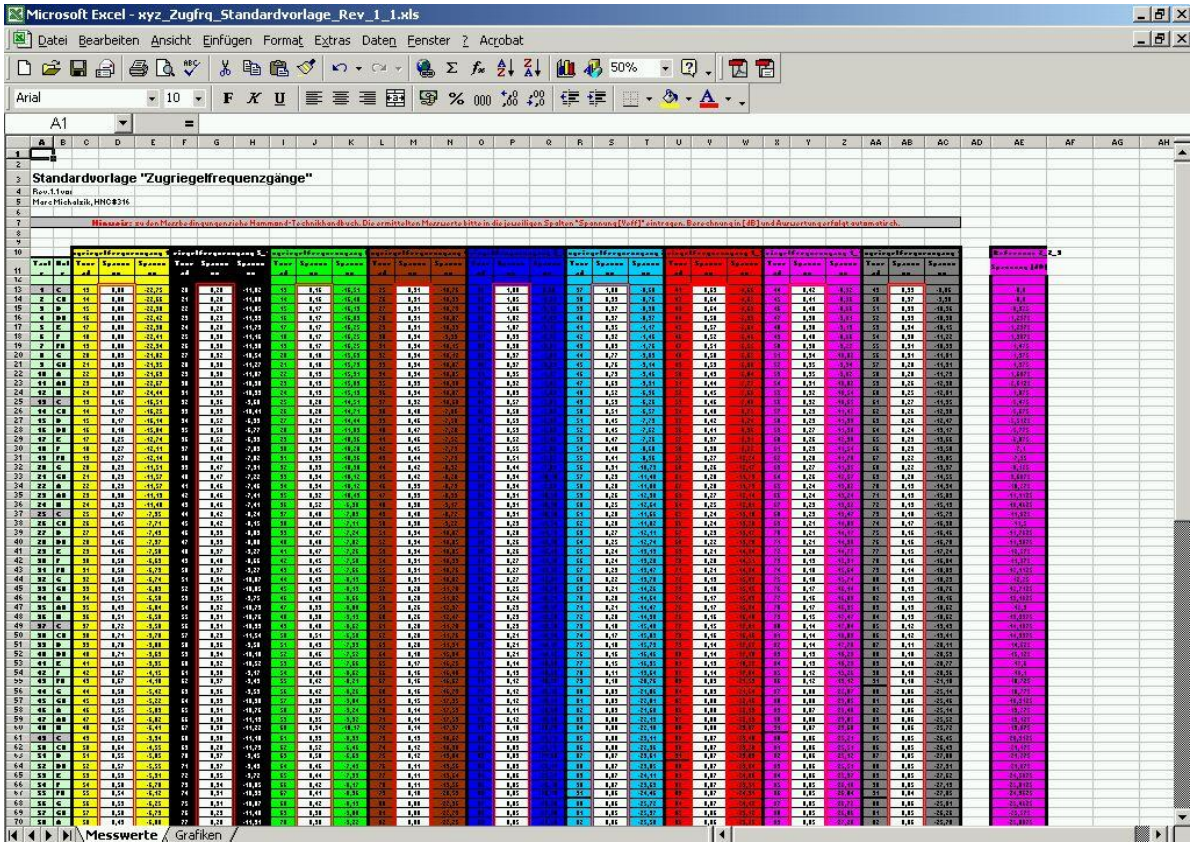


Abbildung 21: Excel-Tool "Zugriegelfrequenzgang": Eingabemaske

Abbildung 21 zeigt die –auf den ersten Blick etwas „umfangreiche“- Eingabemaske des Excel-Tools. Der Grund dafür liegt darin, dass man mit diesem Programm nicht nur den $2^2/_3$’-Zugriegelfrequenzgang, sondern alle neun möglichen Zugriegelfrequenzgänge (16’, $5^1/_3$’, 8’, 4’, $2^2/_3$’, 2’, $1^3/_5$’, $1^1/_3$’, 1’) berechnen kann.

Hinweis:
Selbstverständlich müssen alle neun Zugriegelfrequenzgänge einzeln für sich gemessen und in die Eingabemaske eingegeben werden. Also 9 Frequenzgänge à 61Messwerte = 549 Messwerte! Bei mir bewerkstellige ich das mittels eines computergesteuerten Messsystems; bestehend z.Zt. aus einem Rohde&Schwarz Funkmessplatz SMFP2 mit –vom Autor entwickelter- Steuersoftware. Auf diese Art und Weise erspart man sich auch noch das Ablesen, Abschreiben und Eintippen der Messwerte.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Dementsprechend schnell erstellt ist auch die grafische Ausgabe (siehe Abbildung 22). Hier sind alle neun Zugriegelfrequenzgänge einzeln dargestellt; sowie zum Vergleich untereinander dazu auch in einem gemeinsamen Diagramm.

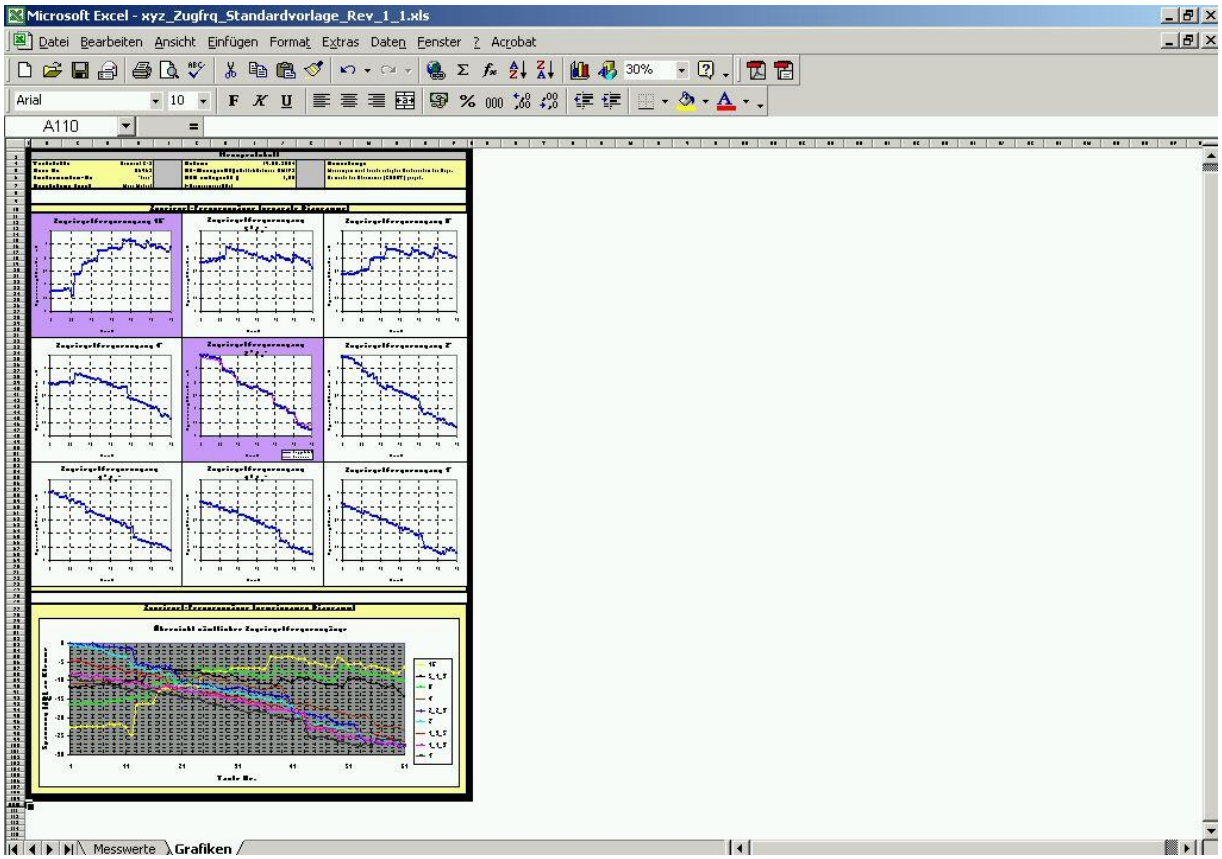


Abbildung 22: Excel-Tool "Zugriegelfrequenzgang": Auswertung

Natürlich kann man eine $2^2/_3$tel-Messung auch einzeln und unabhängig von dem Rest durchführen. Löschen Sie dazu einfach alle weiß hinterlegten Felder in der Eingabemaske und füllen nur die Spalte für „$2^2/_3$“ aus.

Im Rahmen eines kurzen „Instrumenten-Checks“ (siehe Kapitel 2.3) kann ich dieses Excel-Tool nur empfehlen. Gerade die Umrechnung in „dB“ und die grafische Auswertung kostet „von Hand“ sehr viel Zeit, und genau das wird einem hier sehr komfortabel abgenommen.

Das Tool ist auf Nachfrage beim Autor kostenlos (logisch!) erhältlich.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.3.7 Reference-Zugriegelfrequenzgang

Wie schon eingangs angedeutet, besitzen wir einen sehr guten Referenz-Verlauf des Zugriegelfrequenzgangs für den $2^2/_3$'-Zugriegel. Er sieht wie folgt aus:

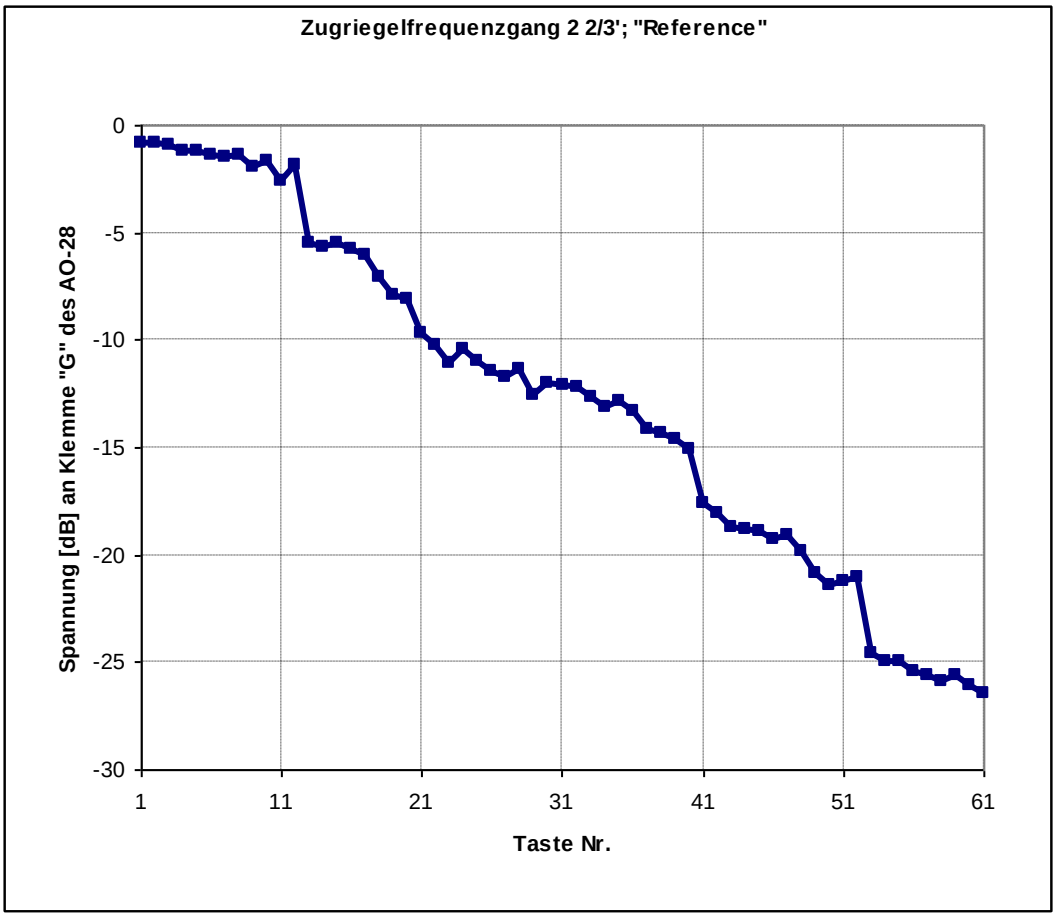


Abbildung 23: Zugriegelfrequenzgang "Reference"

Die „Reference"-Kurve ist von Clubmitglied Christoph Klug als der Mittelwert aus den Messwerten von 9 Hammond-Orgeln mit **–nach Tabelle 2- (Das ist wichtig! Es gibt auch andere Tongenerator-Referenztabellen!)** abgeglichenem Tongenerator gebildet worden.

Einen Eindruck davon, wie stark das Prädikat „gut klingend" messtechnisch variieren kann, zeigen die gesammelten Frequenzgänge von Christoph Klug. Er war so freundlich, mir einige seiner gesammelten Original-Daten zur Verfügung zu stellen.

In Abbildung 24 sieht man die Zugriegelfrequenzgänge von insgesamt 9 Großorgeln (Typ C-2,C-3, B-3, A-100), woraus sich dann schließlich als Mittelwert aller die oben gezeigte „Reference"-Kurve ergibt.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

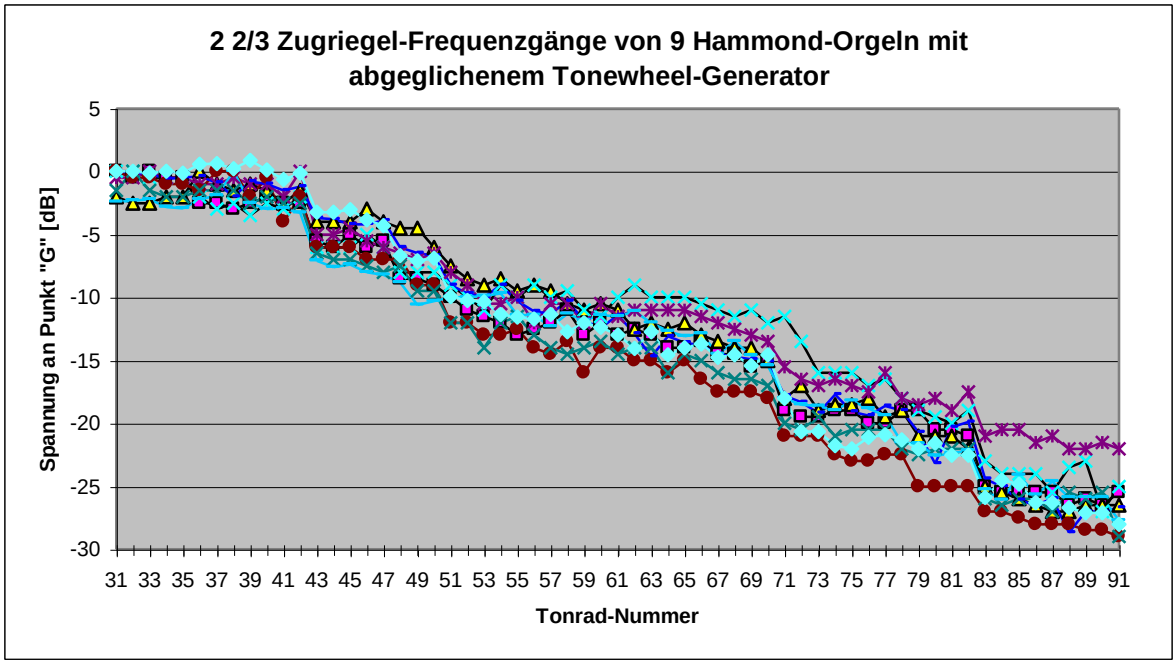


Abbildung 24: Zugriegelfrequenzgänge als Basis für "Reference"

Oben: die Ausgangsdaten für den Reference-Zugriegelfrequenzgang im Diagramm; unten: die ihr zugrunde liegende (anonymisierte) Messwerttabelle.

	Zugriegelfrequenzgänge in [dB]									Reference
										Mittelwert
Ton	Orgel Nr. 1	Orgel Nr. 2	Orgel Nr. 3	Orgel Nr. 4	Orgel Nr. 5	Orgel Nr. 6	Orgel Nr. 7	Orgel Nr. 8	Orgel Nr. 9	(dB)
31	0	-2	0	-0,5	0	-1,5	0	-2,4	0,0	**-0,8**
32	-0,5	-2,5	0	-0,5	-0,5	0	-0,1	-2,3	0,0	**-0,8**
33	0	-2,5	-0,5	0	-0,5	-1,5	-0,2	-2,2	-0,1	**-0,9**
34	-0,5	-2	-0,5	-0,5	-1	-2	-0,6	-2,8	0,0	**-1,2**
35	-0,5	-2	-0,5	-0,5	-1	-2	-0,5	-2,9	-0,1	**-1,2**
36	-2,5	0	-2	-1	-1,5	-1,5	-0,4	-2,2	0,6	**-1,4**
37	-2,5	-1	-3	-1	0	-1,5	-0,9	-1,9	0,6	**-1,5**
38	-3	-1,5	-2,5	-0,5	0	-1,5	-2	0	0,2	**-1,4**
39	-2,5	-1	-3,5	-1	-2	-2,5	-0,8	-2,5	0,9	**-2,0**
40	-2	-1,5	-2,5	-1	-0,5	-2	-1	-3	0,1	**-1,7**
41	-2,5	-2,5	-3	-2	-4	-2,5	-1,5	-2,9	-0,6	**-2,6**
42	-2,5	-1,5	-2	0	-2	-2,5	-1,2	-3,3	-0,1	**-1,9**
43	-5,5	-4	-6	-5	-6	-6,5	-3,7	-7,1	-3,2	**-5,5**
44	-6	-4	-6	-5	-6	-7	-3,8	-7,6	-3,2	**-5,7**
45	-5	-4	-6	-4,5	-6	-7	-4,2	-7,4	-3,0	**-5,5**
46	-6	-3	-5	-5,5	-7	-7,5	-4,2	-8	-3,8	**-5,8**
47	-5,5	-4	-6	-6	-7	-8	-3,9	-8,2	-4,3	**-6,1**
48	-8,5	-4,5	-8	-6,5	-7	-7,5	-6	-8,8	-6,7	**-7,1**
49	-8,5	-4,5	-8	-7	-9	-9,5	-6,5	-10,6	-7,1	**-8,0**
50	-9	-6	-8	-6,5	-9	-9,5	-6,7	-10,3	-6,9	**-8,1**
51	-10	-7,5	-9	-8	-12	-12	-9	-10	-9,9	**-9,7**
52	-11	-8,5	-10	-9	-12	-12	-9,7	-10	-10,2	**-10,3**

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

53	-11,5	-9	-11	-10,5	-13	-14	-10	-9,9	-10,3	**-11,1**
54	-12	-8,5	-9	-10,5	-13	-12	-9	-9,7	-11,3	**-10,5**
55	-13	-9,5	-10	-10	-12,5	-11,5	-10,3	-11,4	-11,6	**-11,0**
56	-12,5	-9	-9	-12	-14	-13	-11,1	-11,4	-11,7	**-11,5**
57	-12	-9,5	-10	-10,5	-14,5	-14	-11,3	-12,3	-11,3	**-11,8**
58	-11	-10,5	-9,5	-10,5	-13,5	-14,5	-10,3	-11,3	-12,7	**-11,4**
59	-13	-11	-11	-12	-16	-14	-11,8	-11,8	-12,0	**-12,6**
60	-12	-10,5	-11,5	-10,5	-14	-13,5	-12,4	-11,4	-12,4	**-12,0**
61	-13	-11	-10	-11,5	-14	-14,5	-11,4	-11,5	-13,0	**-12,1**
62	-12,5	-12,5	-9	-11	-15	-14	-12,9	-11,1	-14,1	**-12,3**
63	-13	-12	-10	-11	-15	-14	-14,7	-12	-12,7	**-12,7**
64	-14	-12,5	-10	-11	-16	-16	-13,1	-12,7	-14,6	**-13,2**
65	-14	-12	-10	-11	-15	-14,5	-13,6	-13,1	-14,0	**-12,9**
66	-13,5	-13	-10,5	-11,5	-16,5	-15	-13,8	-12,9	-13,7	**-13,3**
67	-14,5	-13,5	-11	-12	-17,5	-16	-14,5	-14,5	-14,8	**-14,2**
68	-14,5	-14	-11,5	-12,5	-17,5	-16,5	-14,7	-13,5	-14,6	**-14,3**
69	-15,5	-14	-11	-13	-17,5	-16,5	-14,9	-14,6	-15,4	**-14,6**
70	-15	-15	-12	-13,5	-18	-17	-15,1	-15,4	-14,6	**-15,1**
71	-19	-18	-11,5	-15,5	-21	-20	-17,8	-18	-18,0	**-17,6**
72	-19,5	-17	-13,5	-16,5	-21	-20,5	-18,3	-18,5	-20,7	**-18,1**
73	-19,5	-19	-16	-17	-21	-19,5	-19,2	-18,6	-20,7	**-18,7**
74	-19	-18,5	-16	-16,5	-22,5	-21	-17,7	-19	-21,8	**-18,8**
75	-19	-18,5	-16	-17	-23	-20,5	-19,1	-18,2	-22,0	**-18,9**
76	-20	-18	-17	-17,5	-23	-20,5	-19,4	-18,8	-21,1	**-19,3**
77	-20	-19,5	-16,5	-16	-22,5	-20,5	-18,6	-19,4	-20,9	**-19,1**
78	-19	-19	-18	-18	-22,5	-22	-19	-21,5	-21,3	**-19,9**
79	-19	-21	-19	-18,5	-25	-22,5	-20,7	-21,6	-22,0	**-20,9**
80	-20,5	-21	-19,5	-18	-25	-22	-23,2	-22,6	-21,5	**-21,5**
81	-20,5	-21	-20	-19	-25	-22	-20,3	-22,4	-22,5	**-21,3**
82	-21	-22	-19	-17,5	-25	-22	-19,9	-22,2	-22,5	**-21,1**
83	-25	-25	-23	-21	-27	-26	-24,4	-25,3	-25,9	**-24,6**
84	-25,5	-25,5	-24	-20,5	-27	-26,5	-25	-26,1	-24,5	**-25,0**
85	-25,5	-26	-24	-20,5	-27,5	-26	-26,1	-24,1	-24,8	**-25,0**
86	-25,5	-26,5	-24	-21,5	-28	-26	-26,5	-25,7	-26,3	**-25,5**
87	-25,5	-27	-25,5	-21	-28	-27	-26	-24,6	-26,3	**-25,6**
88	-26,5	-27	-23,5	-22	-28	-25,5	-28,7	-25,9	-26,7	**-25,9**
89	-26	-26,5	-23	-22	-28,5	-26	-27	-25,9	-27,1	**-25,6**
90	-26,5	-26,5	-27	-21,5	-28,5	-25,5	-27	-25,9	-27,1	**-26,1**
91	-25,5	-26,5	-25	-22	-29	-29	-26,7	-27,7	-28,0	**-26,4**

Tabelle 1: Messwerttabelle Zugriegelfrequenzgänge nach C.Klug

Hinweis:
Die Spalte „Reference“ findet man weiterhin im Anhang des Buches in Tabelle 16.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.3.8 Systematiken beim Zugriegelfrequenzgang

Offensichtlich kann man den "Reference"- Frequenzgang auch schematisieren. In Abbildung 25 wird der Versuch gewagt: generell lässt sich erstmal eine kontinuierliche Pegelabsenkung im Verlauf der gespielten Töne (=negative Steigung) von etwa 4dB pro Oktave erkennen. Zu höheren Tönen hin werden die gespielten Noten also "leiser". Weiterhin findet zum Beginn einer neuen Oktave -im Vergleich zu der vorhergehenden- offensichtlich zusätzlich noch ein Pegelsprung von etwa 3dB statt!

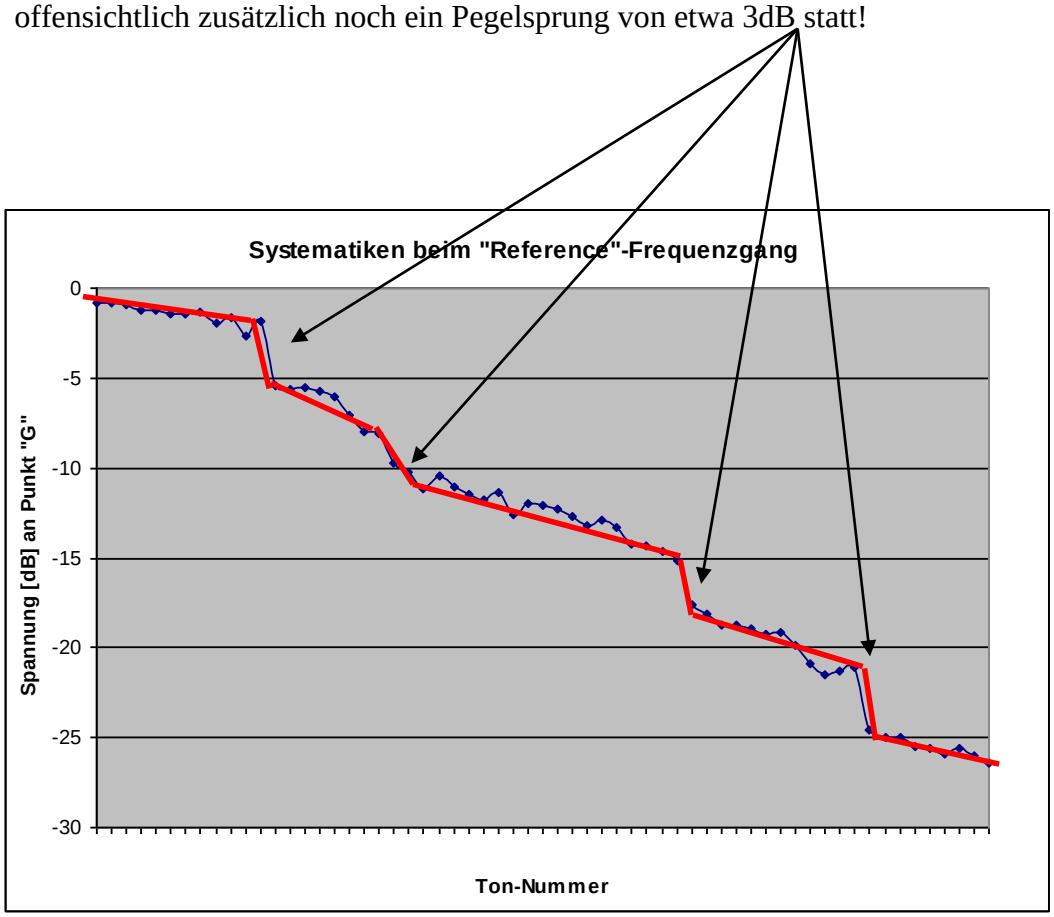


Abbildung 25: Reference-Frequenzgang (schematisiert)

Wie wir inzwischen wissen, ist dieses Verhalten in erster Linie auf die Verharfung zurückzuführen und offenbart an dieser Stelle ohne Zweifel eine gewollte Systematik der Firma Hammond.

Weiterhin lässt sich insbesondere aus Abbildung 24 eine „Aufweitung“ der Kurvenschaar zu hohen Tönen hin erkennen. Dieses Phänomen kann nur durch eine zunehmende Toleranz und durch entsprechend größere Streuung der Messwerte erklärt werden. Ein wirksames Mittel, diesen Exemplarstreuungen -entsprechend des persönlichen Geschmacks- entgegenzuwirken, ist eine Modifikation, die in Kapitel 14.1.1 beschrieben wird. Die dort vorgestellte 6kHz-Hochtonanhebung gestattet einen zusätzlichen Abgleich des PreAmps AO-28 und damit ggfs. eine Annäherung an die Referenzkurve des Zugriegelfrequenzgangs (Abbildung 23).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.3.9 Zugriegelfrequenzgang in der Praxis

Wie wertvoll all die durchgeführten Messungen letztendlich sind, zeigt der Vorher/Nachher-Vergleich in Abbildung 26. Er zeigt eine reale Messung vor und nach erfolgter Restauration (= inkl. Abgleich des Generators) unserer Hammond C-3.

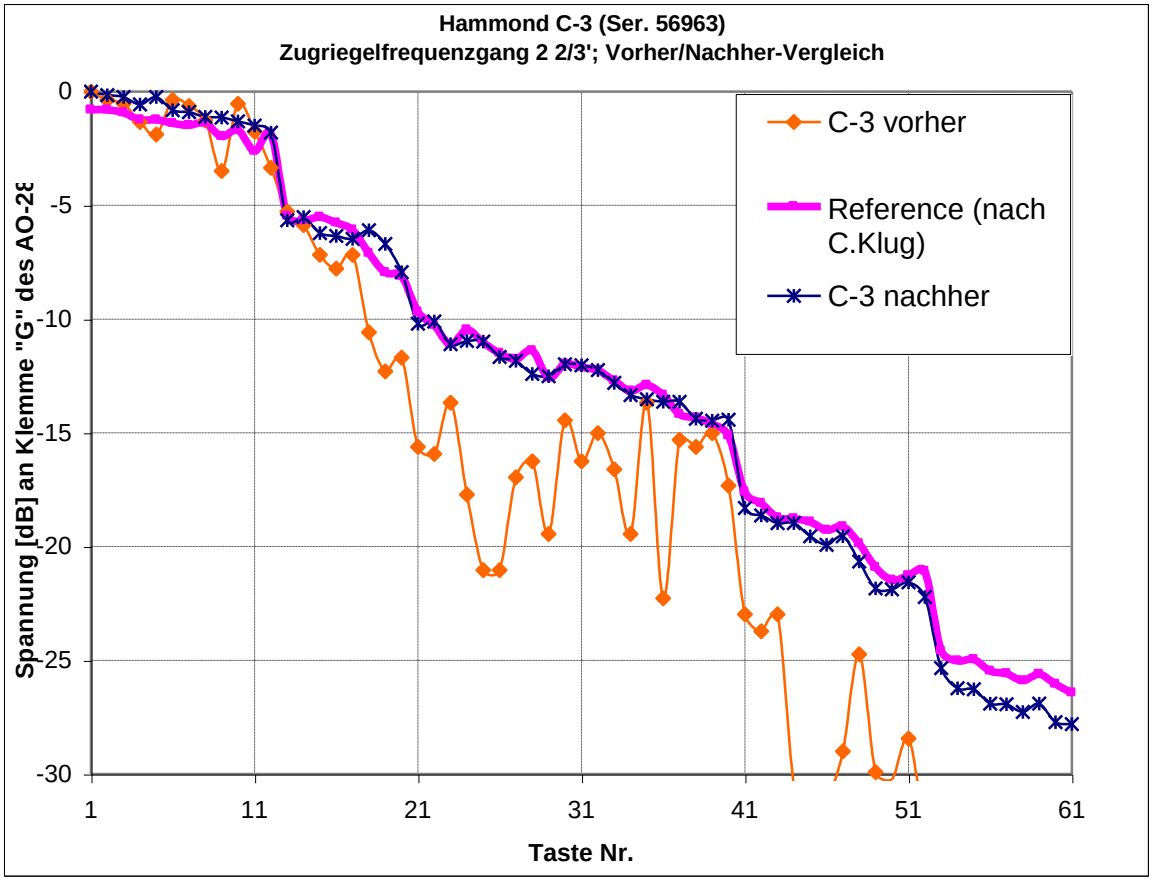


Abbildung 26: Vorher/Nachher-Vergleich Zugriegelfrequenzgang

Die einzelnen Messkurven sprechen für sich. Sieht man sich die Kurve „C-3 vorher“ an, so lässt sich hier bereits dringender Handlungsbedarf erkennen. Dass der ganze Aufwand des Generatorabgleichs schließlich auch Wirkung zeigte, beweist die Messung „C-3 nachher“. Sehr nahe am Verlauf der Reference-Kurve zeigen sich hier auch die charakteristisch-gewollten Pegelsprünge nach jeder Oktave (siehe hierzu auch Kapitel 4.3.8), die vorher noch nicht einmal zu erahnen waren. Natürlich schlug hier der ehemals sehr schlechte Generatorfrequenzgang voll auf die Messung „C-3 vorher“ durch. Erst nach dem erfolgten Abgleich werden die (gewollten) Einflüsse der Verharfung richtig hör- und messbar.

Wie man sich leicht vorstellen kann, macht so eine Messung direkt vor dem Orgelkauf absolut Sinn. Es ist sofort erkennbar, ob das Instrument elektrisch aufgearbeitet werden muss oder ob der Verkäufer sich bereits selber mit dem Instrument beschäftigt hat. Siehe hierzu auch die Kaufentscheidungshilfe in Kapitel 2.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.3.10 Andere Zugriegelfrequenzgänge

Der Vollständigkeit halber möchte ich auf ein Bild aufmerksam machen, das ich im Internet [16] fand. Es beschreibt offensichtlich ebenfalls einen Zugriegelfrequenzgang; aufgenommen mit den Zugriegeln 16', $5^1/_3$' und 1'.

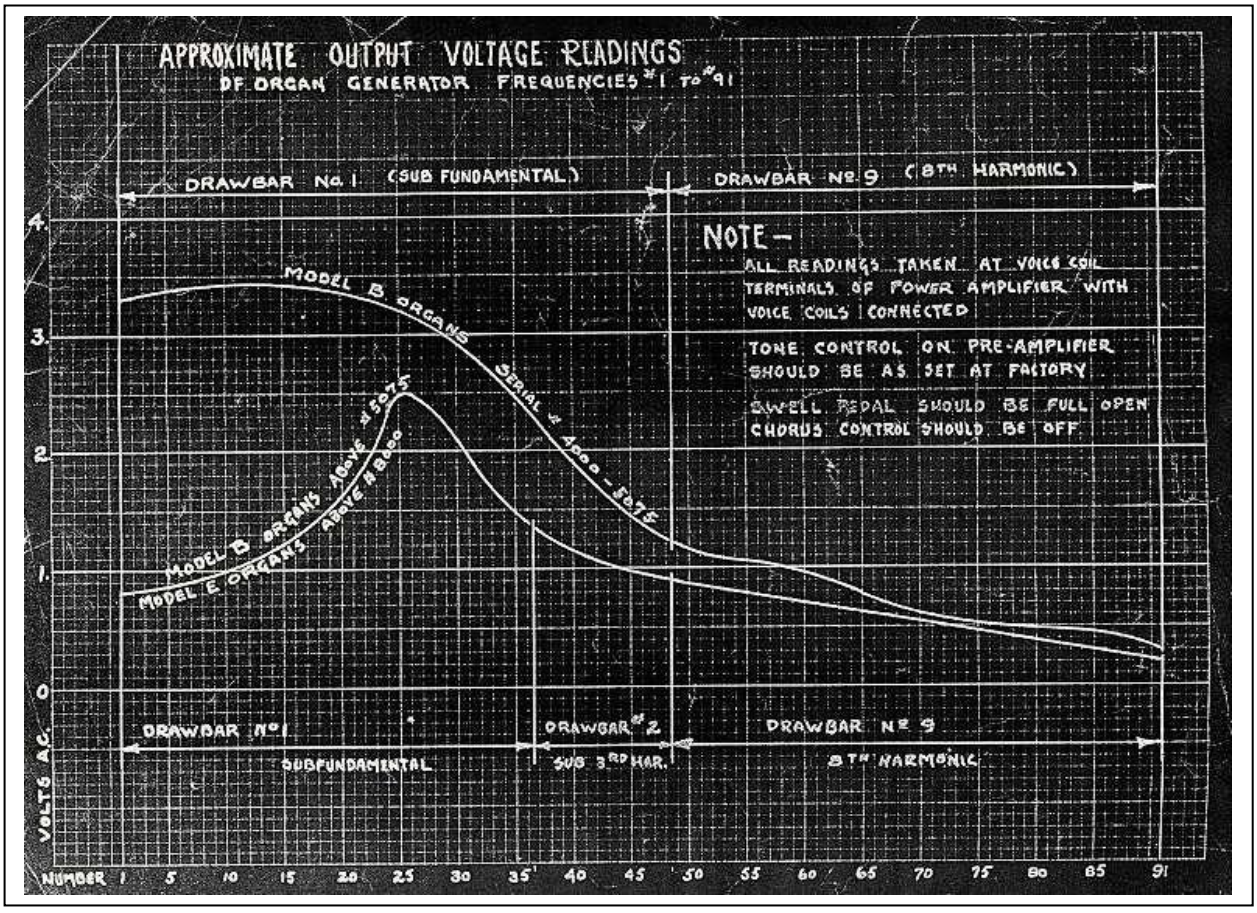


Abbildung 27: Referenz-Frequenzgang aus dem Internet

Leider scheiterte eine Kontaktaufnahme mit dem Autor dieser Internet-Präsenz, sodass ich Ihnen hierzu keine weiteren Informationen liefern kann. Soweit ich aber erkennen kann, handelt es sich hierbei um einen Zugriegelfrequenzgang, der an dem Ausgang eines Leistungsverstärkers –vermutlich mit angeschlossenen Lautsprechern- aufgenommen wurde. Da es sich hierbei dann um einen anderen Messaufbau handelt, bei dem nicht zuletzt auch die Lautsprecherimpedanz einen Einfluss auf den Verlauf hat, ist diese Grafik mit unseren Messungen leider nicht vergleichbar.

Vielleicht weiß eine(r) der Leser/innen mehr dazu?

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.4 Der Generatorfrequenzgang

Hier möchte ich nun das zweite, sehr wichtige Beurteilungsverfahren aus dem letzten Kapitel vorstellen: die Messung des Generatorfrequenzgangs! Wie wir aus der Einleitung wissen, beschäftigt sich der „Generatorfrequenzgang“(im Gegensatz zum Zugriegelfrequenzgang) mit den elektrischen Eigenschaften einer einzelnen Baugruppe: nämlich dem ToneWheel-Generator.

Auf diesem Gebiet hat sich Ulrich Zwarg ganz besonders hervorgetan. Durch seine Messungen und Untersuchungen besitzen wir auch hier -ähnlich wie beim Zugriegelfrequenzgang- einen Referenzverlauf, den ich nachher zeigen will.

Generatorfrequenzgänge nimmt man immer dann auf, wenn man wissen möchte, wie es um den „Gesundheitszustand“ des ToneWheel-Generators bestellt ist- ob z.B. ein Neuabgleich notwendig ist, ein paar Einzeltöne ausgefallen sind oder man ein bestimmtes Klangverhalten der Orgel ergründen will. Im nachfolgenden Abschnitt wird man auf diese Messmethode verstärkt zurückgreifen, wenn es um das Thema „Generatorabgleich“ geht!

4.4.1 Benötigtes Equipment

Zur Aufnahme des Generatorfrequenzgangs benötigt man prinzipiell genau dieselben Messinstrumente wie zum Ermitteln des Zugriegelfrequenzgangs (siehe dort: Kapitel 4.3.1). Für das Beurteilen der nicht-sinusförmigen Töne 1..12 des Basspedals ist allerdings ein Oszilloskop sehr hilfreich, da ein „normales“ Multimeter i.d.R. nur für sinusförmige Tonspannungen korrekte Messwerte anzeigt (Begründung dazu: siehe Kapitel 16.4). Verfügt man über kein „Oszi“, so kann man den Generatorfrequenzgang dennoch aufnehmen- man lässt beim Multimeter-Messen eben die Töne 1..12 einfach weg.

4.4.2 Messbedingungen

Der ToneWheel-Generator kann sowohl in eingebautem (=in der Orgel) als auch in ausgebautem (auf dem Labortisch) Zustand vermessen werden. Er muss lediglich frequenz- und spannungsrichtig angeschlossen sein und im „normalen Betrieb“ laufen.

In allen Fällen ist auf das Ausschalten von besonders „aggressiven“ elektromagnetischen Störquellen zu achten (z.B. manche Leuchtstofflampen, Röhrenbildschirme, Handys, manche Rechner,...!), da wir es hier mit sehr geringen Spannungen von wenigen Millivolt zu tun haben, die eine elektrisch besonders saubere Messumgebung voraussetzen.

Hinweis:
Der Autor hat daher aus schmerzlicher Erfahrung enttäuscht seine Energiesparlampe am Laborplatz ausgebaut und benutzt seitdem nun wieder „ganz normale“ Glühlampen....

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.4.3 Messaufbau und Durchführung „Generatorfrequenzgang“

Durchgeführt wird die Generatorfrequenzgangsmessung wie folgt:

Man schließt an ein handelsübliches Oszilloskop eine gewöhnliche, abgeschirmte Messleitung an und tastet damit nacheinander alle Lötösen an der Generator-Anschlussleiste ab.

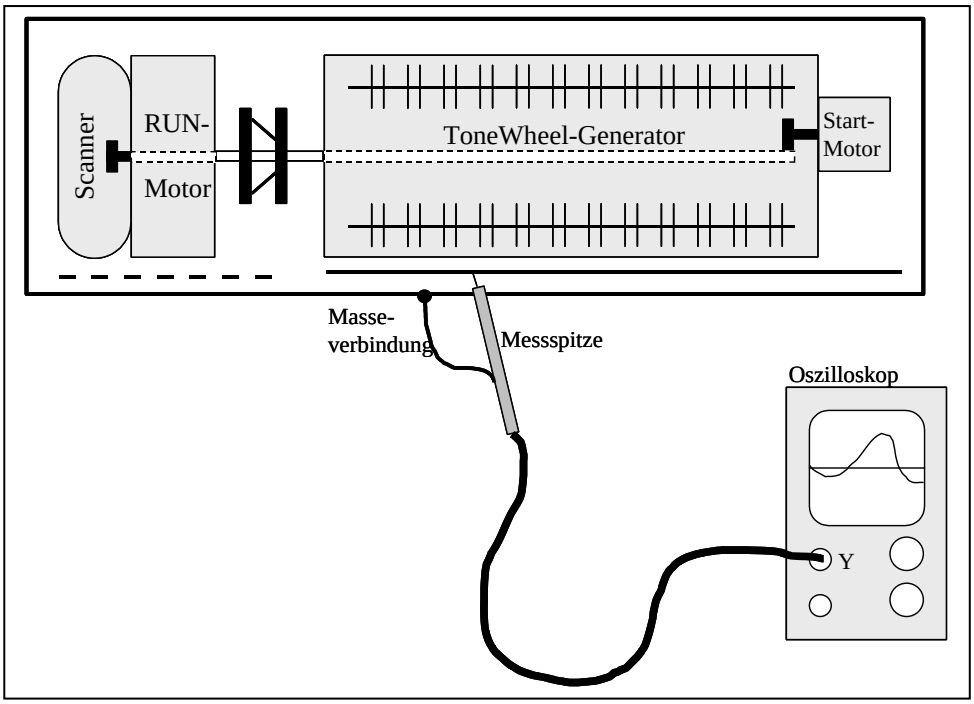


Abbildung 28: Messaufbau "Generatorfrequenzgang"

Wie schon erwähnt, kann die Messung des Generatorfrequenzganges auch in eingebautem Zustand des Generators direkt in der Orgel erfolgen. Nachdem die Orgelrückwand entfernt wurde, kann man hinter dem Pre-Amplifier eine sehr lange Lötösen-Leiste erkennen. Dies sind die Ausgänge aller einzelnen Tonradspulen (Ausgangsspannungen) des Generators. Nun wird nacheinander jede einzelne Tonspannung gemessen und als Messwert in „mV-Spitze-Spitze“ (=mV_{ss}) abgelesen- insgesamt 91. (Zugegeben- das ist schon eine mühselige Arbeit...)

Man notiert sich alle so ermittelten Messwerte in einer Tabelle untereinander. Es treten hierbei Spannungen von ein paar Millivolt (bis ca. 15mV_{ss}, je nach Orgel und Zustand) auf. In regelmäßigen Abständen gibt es immer "Ausreißer" mit höherer Ausgangsspannung (ca. 60mV_{ss}): das sind dann die Töne 1..12 für das Basspedal.

Zur Pinbelegung der Lötösen-Leiste siehe Abbildung 391 und Abbildung 394 im Anhang dieses Buches!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Abbildung 29 zeigt noch einmal die Messung in der Praxis. Zu sehen sind die beiden Krokodilklemmen (eine normale Tastspitze geht auch), mit denen das Messsignal abgegriffen wird.

Als Masseverbindung wurde hier die Arretierschraube eines Magnetstiftes gewählt. Die Lötösenleiste, auf der die ganzen Töne in "ungeordneter" Reihenfolge vorliegen, ist gut zu erkennen.

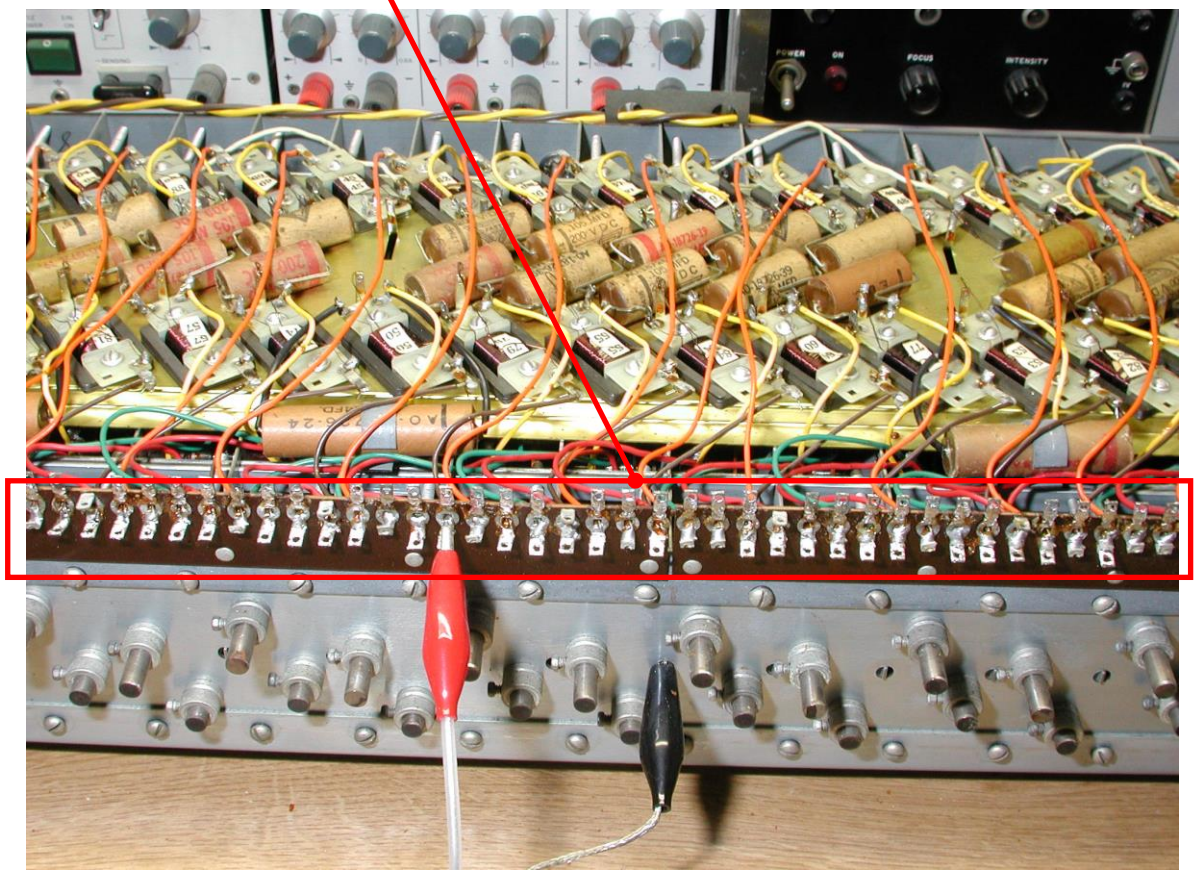


Abbildung 29: Messung des Generatorfrequenzgangs in der Praxis

Warum eigentlich "ungeordnet"?
Wie vielleicht der eine oder andere weiß, sind die Ton-Nummern an der Lötösenleiste des Generators nicht einfach in aufsteigender Reihenfolge angeordnet, sondern wurden nach technischen Gesichtspunkten anders verteilt (u.a. Minimierung von Übersprech-Effekten des Nachbar-Tonrades). Erst das Diagramm aus dem B-3/C-3-Service Manual zeigt, welche Lötöse welcher Tonrad-Nummer entspricht (siehe dazu Abbildung 391 sowie Abbildung 394).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

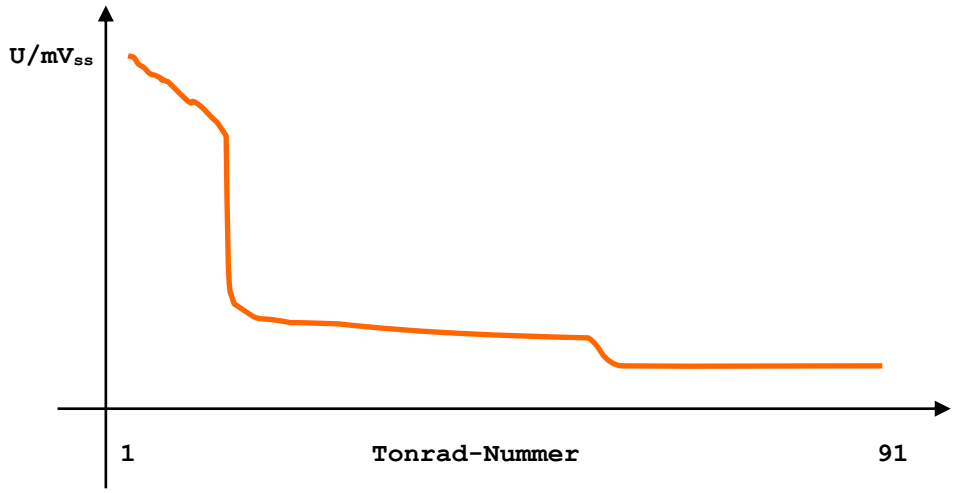
4.4.4 Auswertung

Haben Sie sämtliche Tonradspannungen auf diese Weise ermittelt, so haben Sie nun eine Tabelle mit 91 Messwerten im Millivolt-Bereich vor sich liegen. Ähnlich wie schon vorher beim Zugriegelfrequenzgang werden diese Messwerte nun auch grafisch dargestellt.

Üblicherweise entfällt hierbei zwar die Umrechnung der Messwerte in „dB“, jedoch gibt es an dieser Stelle leider eine andere Besonderheit: das „Ordnen“ der Messwerte nach aufsteigender Tonradnummer. Wie schon auf der letzten Seite angedeutet, wurden die Töne im Tongenerator nach technischen Kriterien geordnet, sodass Ton Nr. 1 nicht gleich neben Ton Nr. 2 liegt usw...

Die Zuordnung der Tonnummern an der Generator-Lötösenleiste zeigt z.B. das Service-Manual (siehe im Anhang 18.8).

Mit dem Sortieren und Darstellen der Messwerte gemäß folgender Systematik...



...erhalten wir die grafische Darstellung des Generatorfrequenzgangs.

Laut [9] besitzt der Generator einen charakteristischen Frequenzgang. Wer will, kann sich diese Referenzkurve mit seinen Toleranzgrenzen (-10% / +10%) ebenfalls in das Diagramm eintragen und sieht dann gleich, wie gut die einzelnen Töne im Toleranzschlauch liegen.

Aus praktischen Gründen verfolge ich den „händischen“ Ansatz der Auswertung jedoch nicht weiter, denn auch zur Erstellung des „Generatorfrequenzgangs“ hat der Autor hier ein praktisches Excel-Tool parat. Mehr dazu gleich auf der nächsten Seite.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.4.5 Excel-Tool „Generatorfrequenzgang“

Um uns die Arbeit an dieser Stelle etwas zu erleichtern, habe ich –wie schon eingangs erwähnt- ein kleines Excel-Tool entworfen, das eine automatische Umrechnung, Sortierung und anschließend die grafische Darstellung der eingegebenen Messwerte automatisch durchführt (zu sehen in Abbildung 30). So kann man bereits während der Messung im Tabellenblatt „Grafik“ sehen, wie sich der Generatorfrequenzgang „entwickelt“.

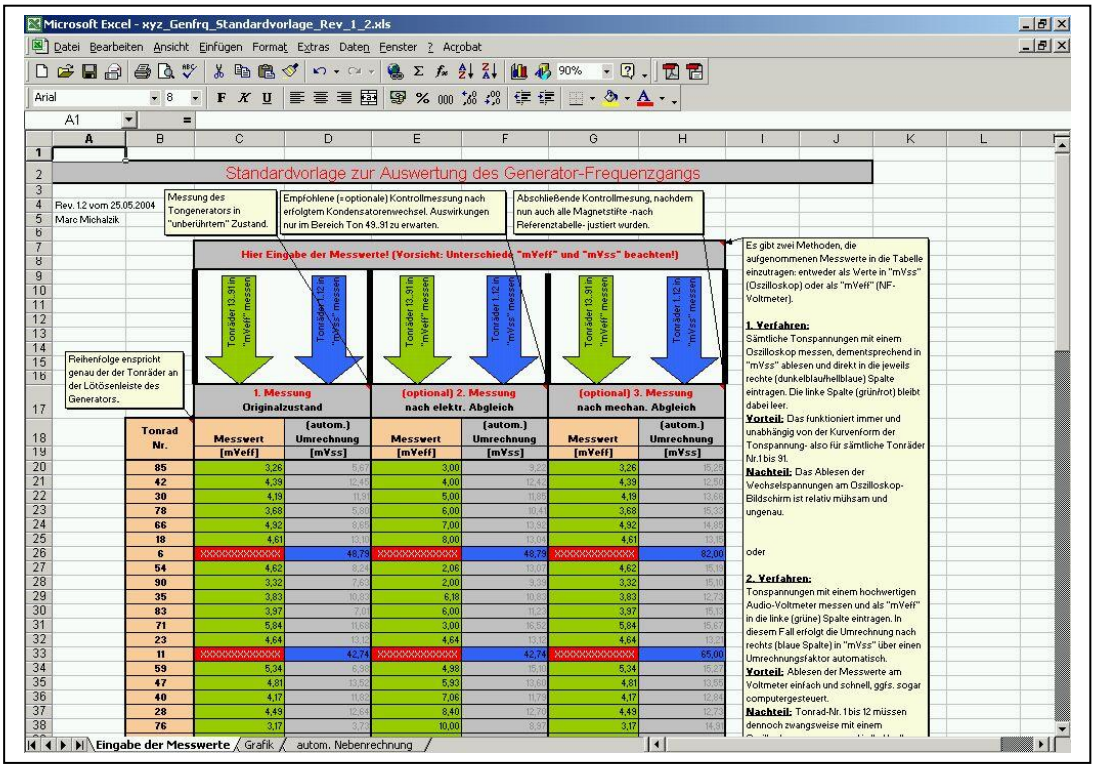


Abbildung 30: Eingabemaske Generatorfrequenzgang

Die entscheidende Arbeitserleichterung liegt sowohl im automatischen Sortieren nach Tonrad-Nummer (Eingabe erfolgt praxisorientiert in der Reihenfolge der Anschlüsse an der Generator-Lötösenleiste) als auch in der grafischen Ausgabe (+/- 10% Toleranzschlauch als Referenz ist in der Grafik mit eingezeichnet). Abbildung 30 zeigt die Eingabemaske des Excel-Tools.

Hinweis:
Als Referenztabelle benutzt das Tool –wie überall hier in diesem Buch- die Werte nach [9] von Ulrich Zwarg (siehe Tabelle 15).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Auf einem zweiten Tabellenblatt (siehe Abbildung 31) werden die anfangs eingegebenen Daten grafisch aufbereitet und in Protokollform zur Anzeige gebracht. Wer möchte, kann sich dieses Diagramm so „eins zu eins“ ausdrucken und mit zu seinen Orgel-Unterlagen legen. Gerade bei einem eventuellen späteren Wiederverkauf des Instruments kann der systematisch durchgeführte Neuabgleich des Generators jederzeit belegt werden. So etwas schafft auch Vertrauen in die Restaurationsanstrengungen.

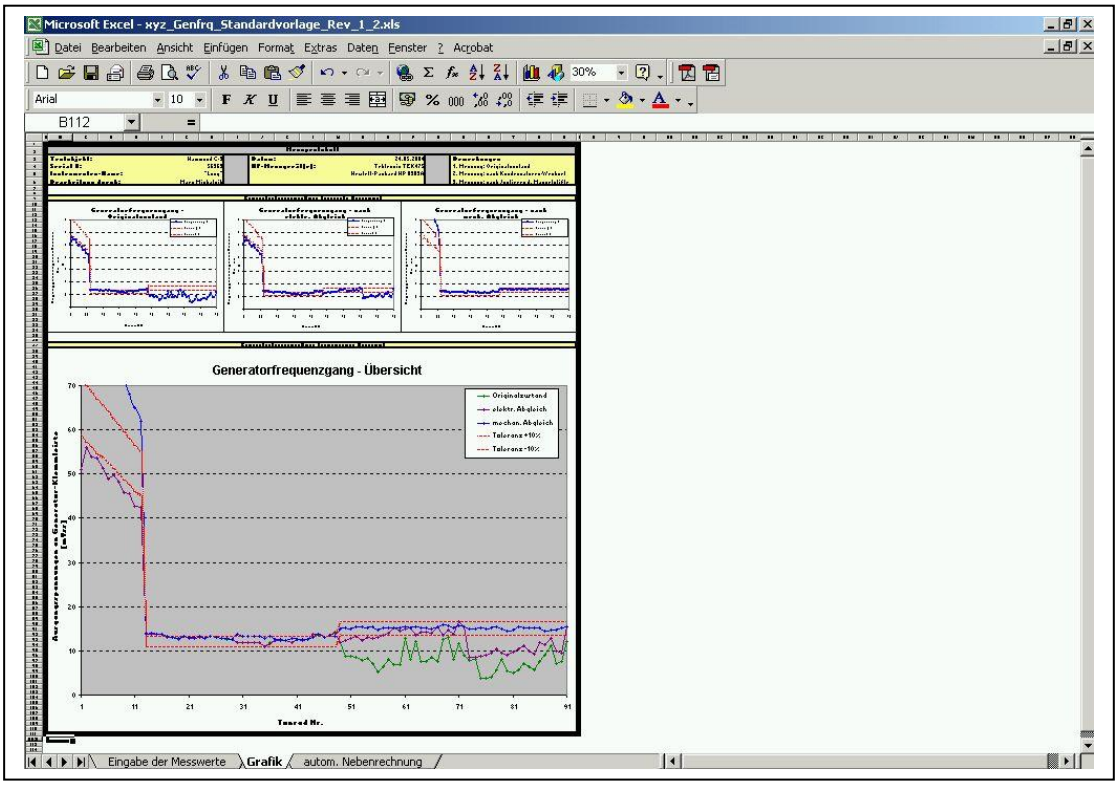


Abbildung 31: Messprotokoll "Generatorfrequenzgang"

Das Programm ist ebenfalls für die –im Folgenden beschriebene- Aufarbeitung des Tongenerators ausgelegt, sodass der Generatorfrequenzgang auch in den drei Stadien des Neuabgleichs des Tongenerators dokumentiert werden kann:

1. im Originalzustand der Orgel (also noch keine Aufarbeitung erfolgt)
2. nach erfolgtem elektrischen Abgleich (Kondensatorenwechsel)
3. nach erfolgtem mechanischen Abgleich (Magnetstifte justieren)

So ist es möglich, den Einfluss eines jeden Arbeitsschrittes auf den Generatorfrequenzgang sauber zu dokumentieren.

Das Tool (Excel-Datei) ist natürlich beim Autor auf Anfrage kostenlos erhältlich.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.4.6 Referenztabelle „Generatorfrequenzgang“

Wie ich bereits eingangs schrieb, besitzen wir heute auch für den Generatorfrequenzgang eine hinreichend gute Referenztabelle, an der man sich bei den eigenen Messungen orientieren kann und die ich hier in diesem Buch ausnahmslos verwende.

Abbildung 32 zeigt die grafische Darstellung eines aufgenommenen Generatorfrequenzgangs, wie bereits zuvor beschrieben. Die beiden Toleranzgrenzen markieren eine +/-10%-Abweichung von der Referenztabelle und definieren so eine Art „Toleranzschlauch“, in dem der aufgenommene Generatorfrequenzgang liegen sollte.

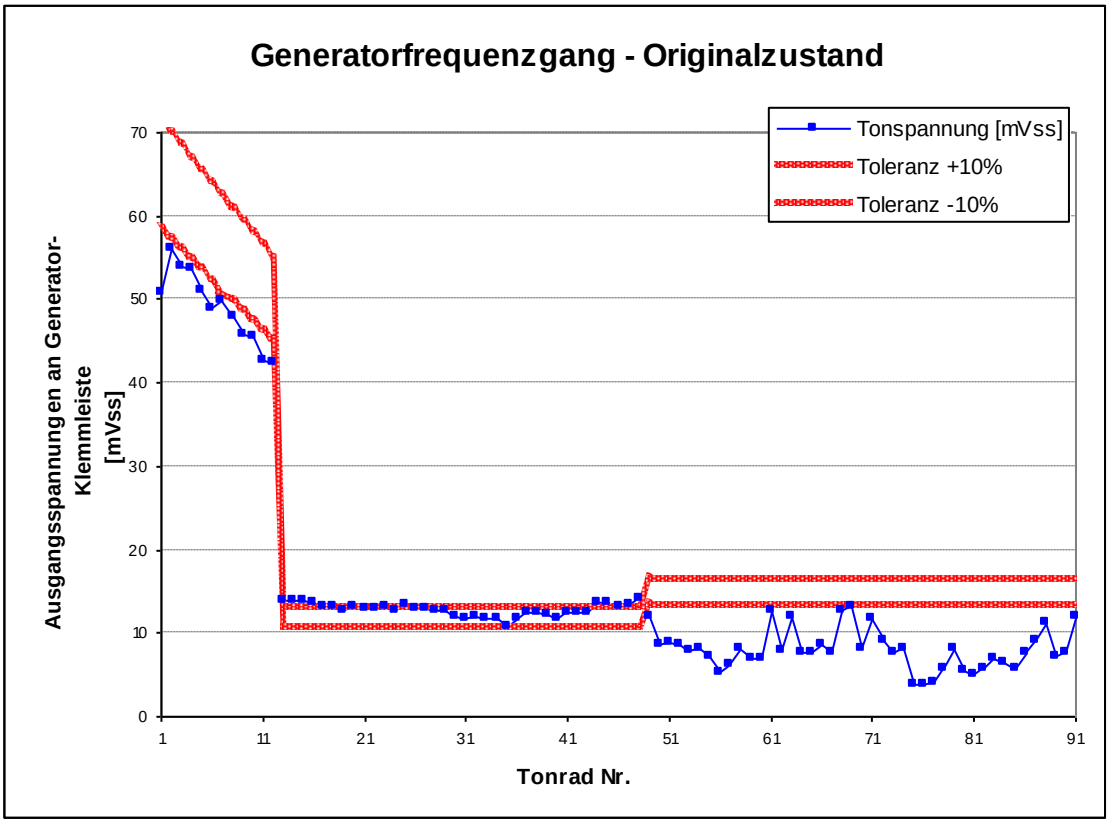


Abbildung 32: Beispiel: Generatorfrequenzgang C-3, Originalzustand

Hinweis:
Die Ursprungsdaten dieses Toleranzschlauchs (=Referenztabelle) findet man im Anhang in Tabelle 15 und wurden ursprünglich der Quelle [9] entnommen!

Ein technisch sauber arbeitender und optimal abgeglichener Generator läge mit sämtlichen aufgenommenen Messpunkten zwischen den beiden Toleranz-Linien (+/- 10%-Toleranzschlauch). An diesem Beispiel wird deutlich, in welch schlechtem (elektrischen) Zustand sich der hier betrachtete Tongenerator befindet.

Mit Ton Nr. 49 beginnend sind die gelieferten Ausgangsspannungen durchweg zu gering, was sich bereits im Hörtest in einem matten Klang (wenig hohe Obertöne) bemerkbar machte. Ein sehr schönes Beispiel, wie die objektive Messtechnik den bereits damals schon subjektiv gemachten Klangeindruck („dumpfer, inhomogener Klang“) untermauert!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.4.7 verschiedene Generator-Referenztabellen

Nachdem wir nun die theoretischen Grundlagen kennen, einige Zugriegel- und Generatorfrequenzgänge gesehen haben und wissen, dass man den Generator nach einer Referenztabelle abgleicht, lassen wir die Katze aus dem Sack:

Bis heute ist keine offizielle Hammond-Referenztabelle bekannt!

Will heißen: niemand weiß bislang so richtig, wie genau die Hammond-Orgeln damals abgeglichen wurden! Es spricht einiges dafür, dass der Abgleich damals mit angeschlossenem Endverstärker und Lautsprecher erfolgte und ziemlich am Ende der Signalkette gemessen wurde. Diese Vermutung wird durch die Beobachtung gestützt, dass bei Orgeln, deren Vorverstärker einen sehr „matten“ Frequenzgang hat (wenig Bässe und Höhen), der Tongenerator entsprechend „bissig“ abgeglichen wurde, um dies im Gesamtklangbild zu kompensieren. Aber auch das ist bis heute nicht vollkommen zweifelsfrei geklärt.

Um Antwort auf die der Frage, wie der Referenz-Frequenzgang damals wirklich aussah und an welcher Stelle im Instrument er gemessen wurde, etwas näher zu kommen, wäre folgender Ansatz denkbar:

Man vermisst so viele „neue“ Orgeln wie möglich und versucht, anhand der Messergebnisse offensichtliche Systematiken und Gemeinsamkeiten herauszuarbeiten!

Wie man heute weiß, besitzen die späteren Orgeln mit gravierten Zugriegelkappen nämlich bereits meist vergossene Kondensatoren auf den ToneWheel-Generatoren. Im Gegensatz zu den früher benutzten Papierkondensatoren wirken sich Umwelteinflüsse auf diese neuere Bauart längst nicht mehr so gravierend aus, sodass davon ausgegangen werden kann, dass sie ihre Ursprungskapazität weitaus besser erhalten haben als sehr frühe Hammonds. Gemeinsam mit der Hoffnung, dass sich auch der Magnetismus der Magnetstifte in der Zeit nicht übermäßig stark verändert hat, könnten jedes dieser Instrumente für sich ein kleines Puzzleteil liefern, dass man wieder zu einem Gesamtbild zusammensetzen kann. Damit wäre ein Teil des Rätsels gelöst.

Allerdings hätte man damit noch nicht bewiesen, ob alle Hammond nach einheitlichen Vorgaben abgeglichen wurden, oder ob es auch hier zwischenzeitlich Änderungen gab. In diesem Fall wäre nicht nur auf der Suche nach *dem* amtlichen Referenzfrequenzgang, sondern gleich nach mehreren! Spätestens hier wird die Suche dann aussichtslos; geschweige denn, dass man vorher erst einmal genug verschiedene Orgeln neueren Datums zu Messzwecken finden müsste, damit man diese Untersuchung überhaupt beginnen kann!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Somit wird diese Untersuchung vielleicht für immer nur eine theoretische Überlegung bleiben und man tut in der Zwischenzeit sicher gut daran, sich stattdessen lieber eine eigene Referenztabelle zu überlegen, anhand derer man seine Orgeln solange abgleicht.

Diesen Gedankengang hatte auch U.Zwarg, der im Rahmen seiner langjährigen praktischen Tätigkeit als Hammond-Techniker seine eigene „Generator-Referenztabelle“ entwickelte. Wie wir alle nun wissen, verläuft sie linear bei $12mV_{ss}$ bis Ton Nr.48 und macht beginnend mit Ton Nr.49 einen kleinen Sprung auf $15mV_{ss}$. (Nachzulesen in Tabelle 15).

Diesen Ball nahm dann Clubmitglied C.Klug auf und gründete auf dieser Basis alle seine Zugriegel-Frequenzgangsmessungen, für die er ebenfalls eine „Zugriegelfrequenzgang-Referenz“ ermittelte. (Nachzulesen in Tabelle 2 sowie Tabelle 16).

Ob die originale Referenztabelle von Laurens Hammond aber nun wirklich genauso ausgesehen hat wie die Messwerttabellen von Klug/Zwarg, ist rein spekulativ. Glaubt man den Aussagen von Besitzern solcher „späten Orgelmodelle“, so haben die dort nachgemessenen Generatorfrequenzgänge im unveränderten Originalzustand einen weniger linearen, sondern eher kurvenhaften Charakter (also eher sowas wie in Abbildung 27).

Unsere derzeit im Umlauf befindlichen Referenzkurven sind also das Produkt jahrelanger Erfahrung, Forschung und subjektiver Bewertung einzelner Hammond-Techniker und bilden wahrscheinlich nicht die Originalreferenzkurve von Laurens Hammond nach.

Ohne der Ketzerei angeklagt zu werden, muss jedoch die Frage erlaubt sein, ob diese Referenzkurve (wenn man sie denn hätte) überhaupt den persönlichen Geschmack eines jeden Musikers träfe? Sicher bin ich mir nur, dass einige Clubmitglieder sich deshalb auch bereits ihre "Lieblings-Orgel" exemplarisch vermessen haben und nun alle alle weiteren Orgeln auf diesen persönlichen Referenz-Frequenzgang hin abgleichen. Warum nicht, alles ist erlaubt!

Wichtig ist also die Erkenntnis, dass es viele mögliche Frequenzgänge gibt, auf die man einen Hammond-Tongenerator hin "züchten" kann und die hier vorgestellten nicht zwangsläufig den „Stein des Weisen“ darstellen müssen. Trotzdem ist man -besonders als Neuling- gut bekanten, sich an diesen durchaus fundierten Erfahrungswerten zu orientieren, zumal sich alle hier in diesem Buch gezeigten Diagramme und Frequenzgänge auf diese Basis beziehen!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.5 Der Generatorabgleich

Die ultimative Waffe gegen „inhomogenen“ und „dumpfen Klang“ heißt also zweifellos „Neuabgleich des ToneWheel-Generators“. Zu Recht, denn dieser hat erheblichen Einfluss auf den Gesamtklang der Orgel! Zu viele Varianten, "Geheimnisse" und –auf Halbwissen basierende- Mythen habe ich schon darüber gehört, sodass ich dieses Thema für alle hier etwas "entzaubern" möchte. Es gibt eigentlich nur ein einziges, technisch fundiertes und daher auch sauberes Verfahren, einen Generatorabgleich durchzuführen: und zwar nach der Methode des Resonanzabgleichs!

4.5.1 Verschiedene Referenztabellen möglich

Aus dem letzten Abschnitt wissen wir, dass wir uns vorher für eine eine der bekannten Referenz-Frequenzgänge entscheiden müssen. In diesem Buch benutzen wir allerdings ausnahmslos die Referenzkurven nach Zwarg/Clug (siehe Tabelle 2, Tabelle 15 sowie Tabelle 16).

Bitte bedenken: Sollten Sie sich für eine andere Generator-Referenztabelle entscheiden, sind alle gezeigten Referenz-Zugriegelfrequenzgänge aus Kapitel 4.3 für Sie "wertlos" (bzw. nicht aussagefähig), weil sie einen anderen Generatorfrequenzgang voraussetzen!

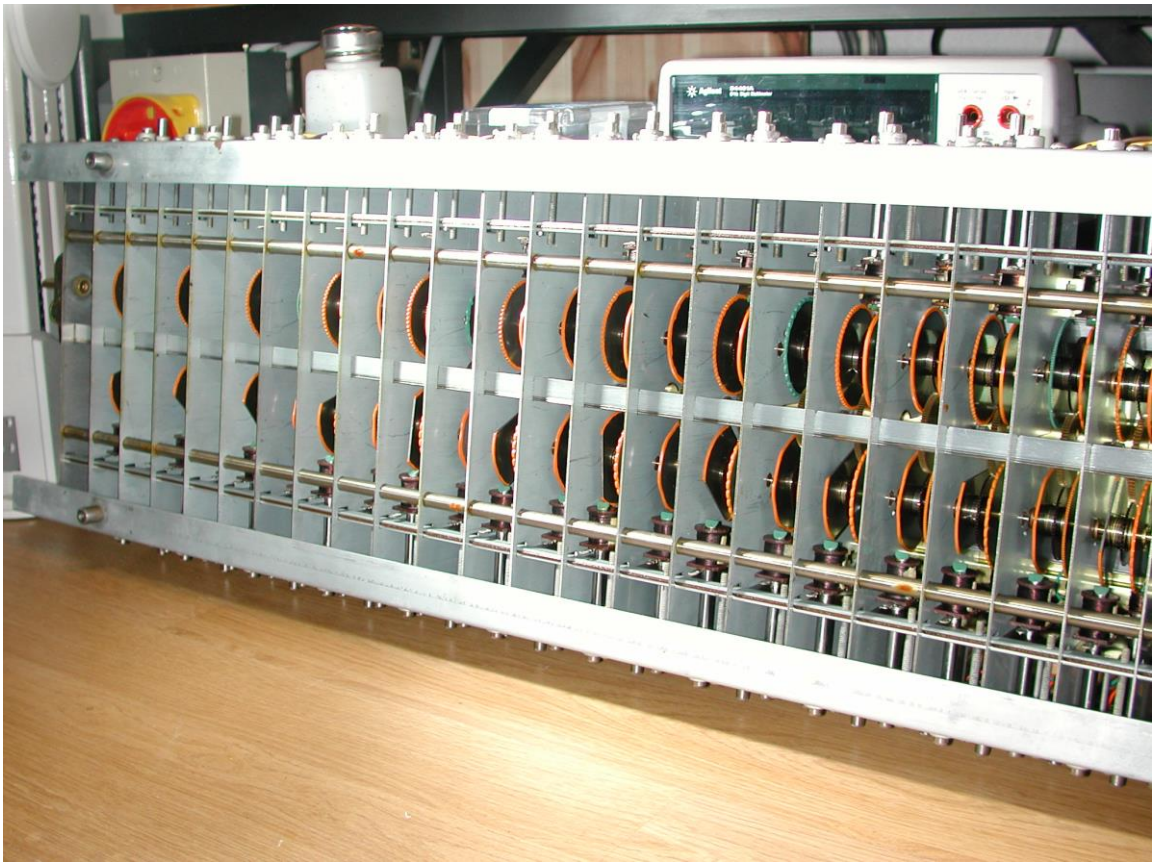


Abbildung 33: ToneWheel-Generator von unten

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.5.2 Roadmap "Generatorabgleich"

Aus den generellen Erfahrungen beim Generatorabgleich heraus kann ich Ihnen folgenden Ablauf empfehlen (Abbildung 34). Wenn wir eine "neue" Orgel bekommen, die hinsichtlich des Tongenerators beurteilt werden soll, vermessen wir zuerst den Generator, indem wir den Generatorfrequenzgang aufnehmen.

Sollten wir uns danach zum Ausbau des Generators entschließen, so wird zuerst der elektrische Abgleich durchgeführt (alle Kondensatoren wechseln).

Im Anschluss daran nehmen wir erneut den Generatorfrequenzgang auf.

Danach erfolgt der mechanische Abgleich mittels Verstellen der ganzen Tonabnehmer (Magnetstifte).

Als Erfolgskontrolle nehmen wir den Generatorfrequenzgang schließlich ein drittes Mal auf.

Jetzt stellt sich heraus, ob alle Tonspannungen entsprechend meinen Vorstellungen im Pegel stimmen oder ob einige Töne noch ein wenig im Pegel korrigiert werden müssen ("Präzisionsabgleich").

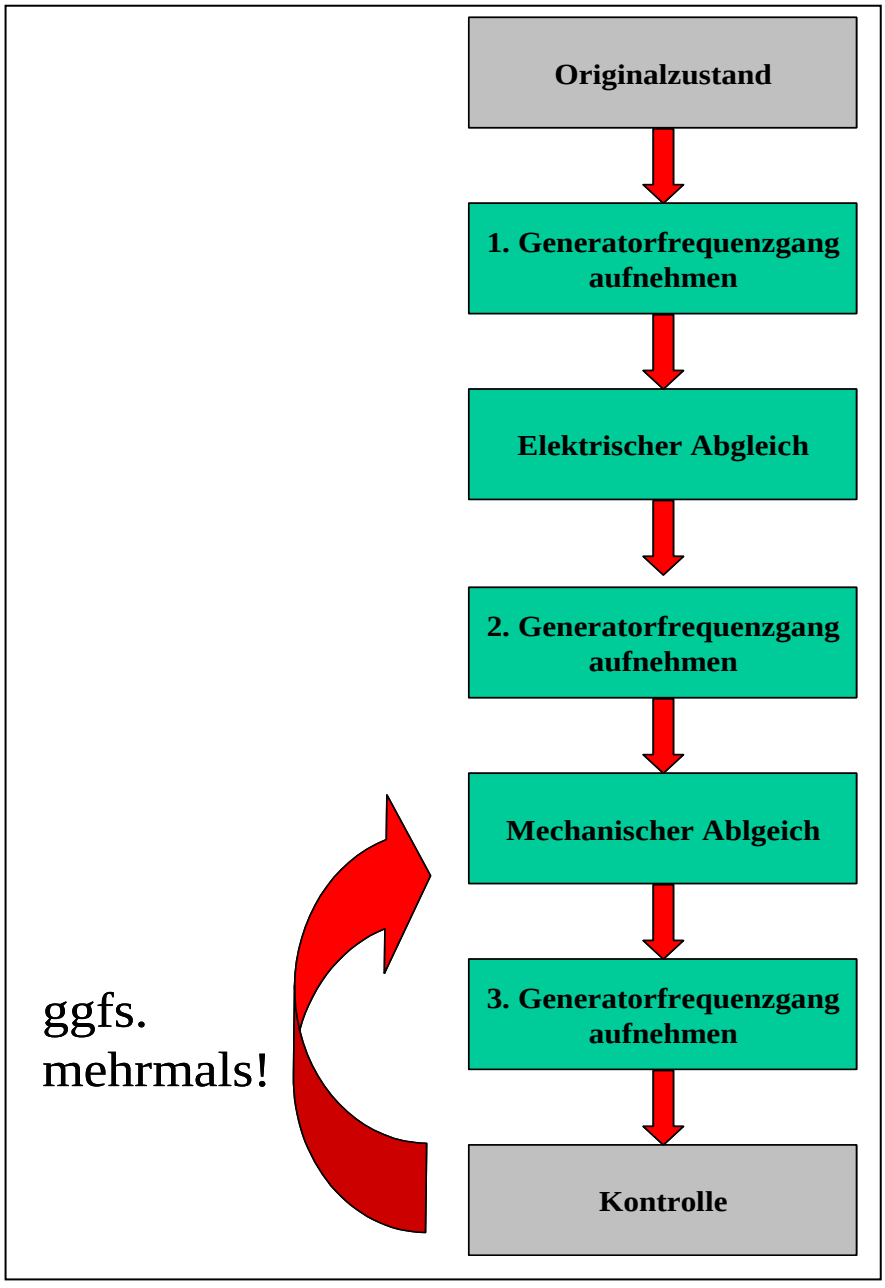


Abbildung 34: Roadmap "Generatorabgleich"

Erst wenn alle Töne mittig im +/-10% Toleranzschlauch liegen, sind wir mit dem Abgleich zufrieden.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.5.3 Anwendung von Generatorfrequenzgangsmessungen beim Abgleich

In dem Zusammenhang mit „Generatorabgleich“ ist uns das Werkzeug „Generatorfrequenzgang“ von sehr großem Nutzen. Egal, ob mit Excel-Tool am Computer oder „manuell“ per Hand erstellt, man muss aber in beiden Fällen kompetent interpretieren, sonst nützen sie einem nichts. Zur Übung möchte ich hier –anhand eines realen Beispiels- die Anwendung der Generatorfrequenzgangsmessung beim Generatorabgleich zeigen!

Einen realen Generatorfrequenzgang haben wir ja bereits in Abbildung 32 gesehen. Es handelte sich um einen Frequenzgang im Originalzustand unserer Hammond C-3. In Abbildung 35 auf der nächsten Seite sind allerdings nicht nur der Frequenzgang im Originalzustand, sondern zusätzlich noch zwei weitere Frequenzgänge aufgenommen worden. Zu sehen ist –gemäß vorhin gezeigter Roadmap- :

a) der Originalzustand (identisch mit Abbildung 32)
b) nach dem erfolgten elektrischen Abgleich
c) nach dem erfolgten elektrischen und mechanischen Abgleich

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Die folgende Übersicht zeigt den **Generatorfrequenzgang** der Hammond C-3 (Ser. 56963) zu den drei verschiedenen Zeitpunkten.

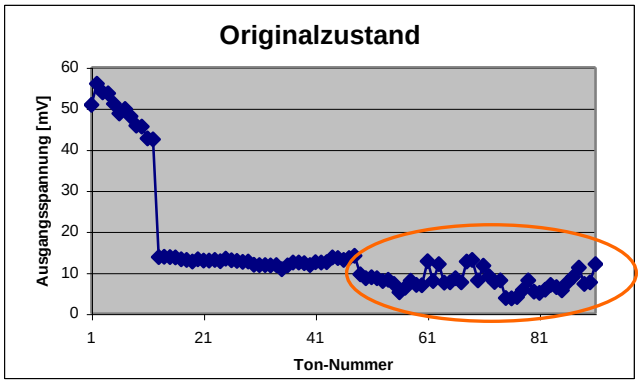
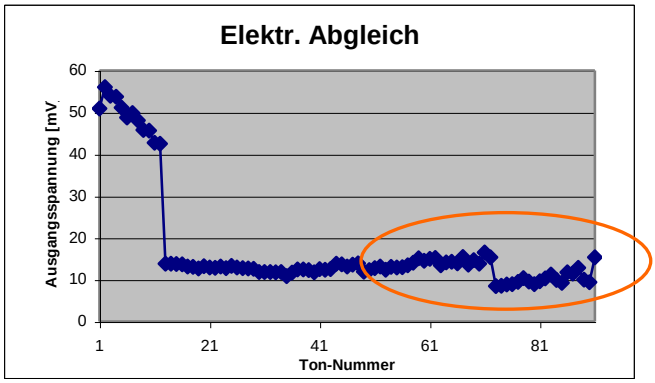
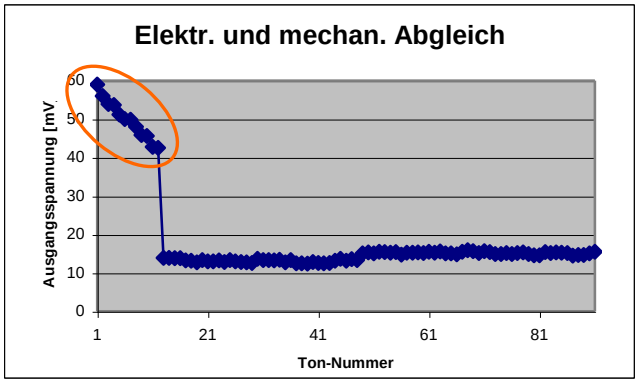
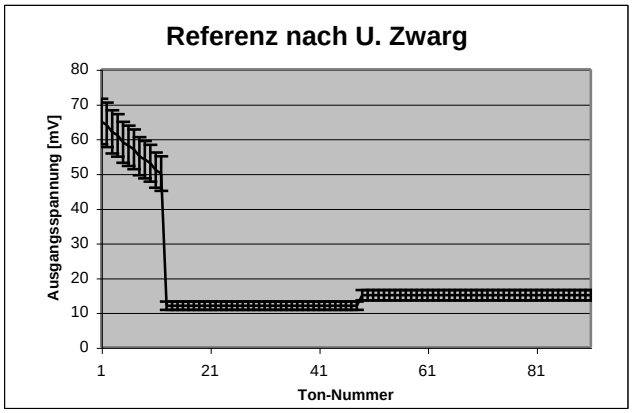
Zuerst der Generatorfrequenzgang der Orgel im **Rohzustand**. Man erkennt, dass die unteren Tonlagen eigentlich noch im Sollbereich liegen; aber beginnend mit Ton 49 „stimmt“ hier eigentlich gar nichts mehr. Ein matter Klang der Orgel war schon vor Durchführung der Messung subjektiv beobachtet worden.	
Die rechte Kurve repräsentiert den Generatorfrequenzgang nach erfolgtem **elektrischen Abgleich** (Neuabgleich aller Schwingkreise; Töne 49..91). Wie man sieht, hatte das natürlich nur Auswirkungen auf den Tonrad-Bereich 49..91. Rein subjektiv wäre hier sicher schon eine Klangverbesserung hörbar gewesen, auch wenn das nun erhaltene Resultat noch nicht das Ziel aller Bemühungen ist (ab Ton 72 immer noch nicht im Toleranzbereich)!	
Erst jetzt sollte sich der engagierte Messtechniker zufrieden geben: der **mechanische Abgleich** (Verschieben der Magnetstifte) ist ein unbedingtes „Muss“ im Hinblick auf einen optimal abgestimmten ToneWheel-Generator! Hier liegen nun endlich sämtliche Ausgangsspannungen mittig im Toleranzschlauch!	
Anhand dieser **Referenzkurve** (Darstellung hier mit +/- 10% Toleranzschlauch) orientierten wir uns bei unseren Arbeiten am ToneWheel-Generator. Wie bereits an mehreren Stellen bereits angesprochen: Es handelt sich dabei um <u>eine</u> mögliche Variante, einen Tongenerator abzugleichen! Die hier verwendete begründet sich auf Erkenntnisse von U.Zwarg und ist in Tabelle 2 nachzulesen.	
	Alle Ausgangsspannungen in mV_{SS}!

Abbildung 35: Übersicht Generatorfrequenzgänge Hammond C-3

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.6 Elektrischer Generatorabgleich

Wie Sie einen Generatorfrequenzgang aufnehmen und auswerten, wissen Sie jetzt. Das ist eine wichtige Voraussetzung für den sinnvollen Abgleich. Es gibt aber noch weitere Anforderungen an die Ausrüstung eines Hammond-Bastlers, der sich an den elektrischen Generatorabgleich wagt. Dazu kommen wir jetzt.

4.6.1 Benötigtes Werkzeug

Folgende Werkzeuge benötigen Sie, um den Abgleich überhaupt korrekt durchführen zu können:

a) ein Oszilloskop

Hier reicht durchaus ein einfaches Gerät mit einer Bandbreite von vielleicht 10MHz oder weniger. Es muss kein Tektronix oder Agilent sein. Wichtig ist nur, dass es auch Spannungen von wenigen Millivolt gut darstellen kann (Y: mindestens 5mV/div; besser 2mV/div). Abbildung 36 zeigt ein altes, analoges Oszilloskop der Firma "Philips".

Abbildung 36: Oszilloskop

b) ein Kapazitätsmessgerät

Ein absolutes "Muss" ist ein digitales Kapazitätsmessgerät. Für den Tongenerator müssen die einzelnen Kondensatoren exakt ausgemessen und bestimmt werden. Daher ist es für die Durchführung des Resonanzabgleichs unverzichtbar! Geräte dieser Art kosten derzeit ca. 100 Euro. Erhältlich z.B. bei Conrad Electronic. Mein gutes altes "Monacor CM-350" leistet bis heute gute Dienste (siehe Abbildung 37).

Eine Funktion zur Bestimmung von Spulengüte und Kondensator-Verlustfaktor besitzt dieses einfache Gerät jedoch natürlich nicht (braucht man aber in der Regel auch nicht).

Abbildung 37: Kapazitätsmessgerät

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

c) Kapazitätsdekade

Auch dieses Gerät ist "Pflicht". Man kann so etwas kaufen; sich aber auch selber bauen (wie geschehen in Abbildung 38). Den entsprechenden Verdrahtungsplan sehen Sie im unteren Bild. Für das Ausmessen der Kondensatoren C1..C12 benötigen Sie unbedingt das o.a. Kapazitätsmessgerät!

Abbildung 38: Kapazitätsdekade

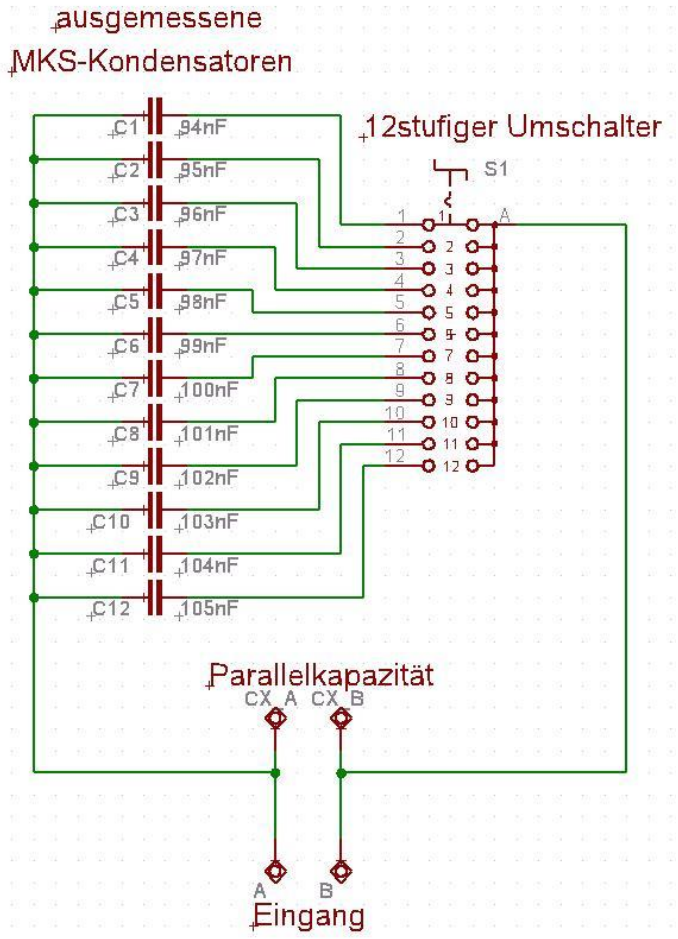


Abbildung 39: Verdrahtungsplan Kapazitätsdekade

Wie wir noch später sehen werden, muss beim "elektrischen Abgleich" für jeden einzelnen Ton (Nr. 49..91) ein kleiner elektrischer Schwingkreis auf Resonanz abgeglichen werden. Das hört sich schwieriger an als es ist. Die oben gezeigte Kapazitätsdekade macht diesen "Abgleich" sehr einfach.

Wenn Sie sich so ein Gerät selber bauen möchten, benötigen Sie lediglich einen 12stufigen Drehschalter, 12 ausgemessene(!) MKS-Kondensatoren (94nF..105nF) und zwei Bananen-Buchsen (Punkte "A" und "B"). Damit der Kapazitätsbereich durch Einstecken einer Zusatz-Kapazität nach oben hin jederzeit erweitert werden kann, baute ich mir eine weitere Steckmöglichkeit mit in das kleine Plastikgehäuse ("Parallelkapazität; Punkte CX_A und CX_B).

Eine Zusatz-Steckmöglichkeit für einen Parallelkondensator erweitert den Wertebereich nach oben hin. Besitzt die Kapazitätsdekade beispielsweise einen Wertebereich von 94nF..105nF, so erweitert ein parallel dazu gesteckter 15nF-Kondensator den Bereich auf 109nF..120nF. Entsprechend ein 22nF auf 116..127nF usw...

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

d) Maulschlüssel

Beim mechanischen Abgleich müssen die Magnetstifte des Tongenerators verschoben werden. Dafür muss man jeweils die kleinen Sechskant-Schrauben an den Klemmringen lösen. Man benötigt dazu einen speziellen (zöllischen) Maulschlüssel!

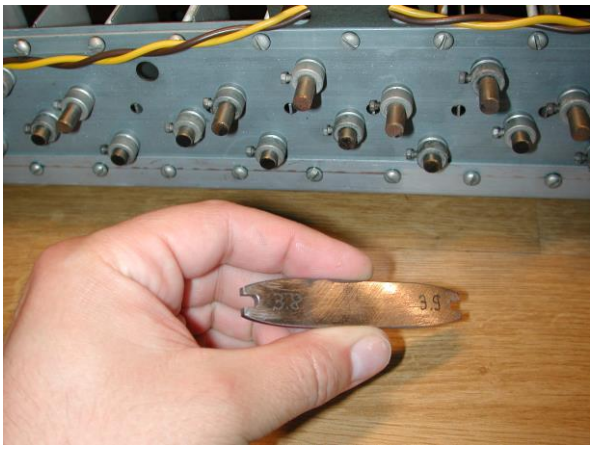


Abbildung 40: Maulschlüssel

Prinzipiell hat man folgende Möglichkeiten:

a) einen Satz kleiner zöllischer Maulschlüssel kaufen (meistens Import aus den USA)

oder

b) eine Sonderanfertigung mit 3,8 bzw. 3,9mm Maulweite (siehe Abbildung 40)

oder

c) einen handelsüblichen 4mm-Maulschlüssel umarbeiten.

Ich selber hatte das Glück, mir von einem befreundeten Mechaniker ein Stück Stahl mit zwei entsprechend großen Nuten fräsen lassen zu können. Das kostete mich lediglich eine Flasche Cola und das Resultat funktionierte hervorragend! Wer jedoch niemanden aus der Branche kennt, dem empfehle ich Möglichkeit c):

Kaufen Sie sich einen handelsüblichen 4mm-Maulschlüssel und hauen sie dem guten Stück mit einem dicken Hammer kräftig eins "aufs Maul". Der Schlüssel leidet zwar optisch etwas unter dieser Prozedur, jedoch wird die Maulweite dabei auch etwas kleiner und passt irgendwann sehr gut auf die Schraubenköpfe (nach jedem Schlag probieren).

Wichtig dabei ist, dass die Maulweite nicht zu groß ist, denn dann rutscht der Maulschlüssel einfach durch und ruiniert den Schraubenkopf, indem er abgerundete Ecken bekommt. Hinterher greift dann auch der richtige Schlüssel nicht mehr...

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

e) Trenntrafo

Um auch 110V-Geräte (z.B. Leslie-Motoren, Endstufen) vorsichtig von Null Volt an hochfahren zu können, benutze ich einen alten RFT Trennstelltrafo. Auch wenn (oder: gerade weil?) dieses Gerät aus östlicher Produktion stammt, so ist es ein äußerst zuverlässiges und robustes Produkt, das mir nun schon viele Jahre treue Dienste leistet! Unbedingt notwendig für den "Hammond-Schrauber" ist es zwar nicht; jedoch insbesondere beim Reparieren defekter Endstufen eine unschätzbare Hilfe.

Durch die elektrische Potentialtrennung (Trenntrafo) kann er sogar Leben retten!

Abbildung 41: Trenn(stell)trafo

Trenntrafos bzw. Trennstelltrafos sind oft noch auf Elektronik-Flohmärkten erhältlich. Derzeit sind Preise um etwa 50..100 Euro üblich. Da an diesen Geräten so gut wie kein "Vergang" ist, lohnt sich der Neukauf eigentlich nicht. **Wichtig:** beim Flohmarkt-Kauf mit einem Multimeter nachmessen, ob Ein- und Ausgang wirklich elektrisch voneinander getrennt sind (kein ohmscher Durchgang!), sonst ist es kein **Trenn**trafo und er bietet dadurch keine Schutzfunktion!

f) Multimeter

Ein gutes Multimeter ist das A und O beim Basteln an elektrischen Geräten. Zugegeben, ein derart teures Modell wie das rechts gezeigte, muss es nicht gleich sein (Preisklasse: ca. 500 Euro), obwohl diese Geräte den großen Vorteil bieten, dass sie meistens nicht nur Spannung, Strom und Widerstand, sondern zusätzlich auch Kapazitäten recht genau messen können. Die Anschaffung des zusätzlichen Kapazitätsmessgerätes kann u.U. also sogar entfallen.

Außerdem halten Multimeter dieses "Kalibers" allen gängigen Prüf- und Sicherheitsnormen stand- wichtig bei der Arbeit mit hohen Spannungen (z.B. an Röhrenverstärkern!)!

(Für den reinen elektrischen Tongeneratorabgleich benötigt man ein Multimeter jedoch nicht.)

Abbildung 42: Fluke 87 III T-RMS Multimeter

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.6.2 Theorie

Wie bereits angekündigt, möchte ich in diesem Teil des Buches das Thema "Generatorabgleich" für möglichst viele Leser verständlich machen, denn es ist im Grunde ganz einfach:

Beim elektrischen Abgleich des Tongenerators werden sämtliche Kondensatoren ausgewechselt und durch neue ersetzt. Diese neuen Kondensatoren müssen aber vorher exakt bestimmt (=eingemessen) werden, damit sie sowohl zum Ton (=Frequenz) als auch zur jeweiligen Spule passen! Das Kriterium, nach dem man das Einmessen vornimmt, heißt "Resonanzmaximum"!

Was aber ist ein "Resonanzmaximum"?

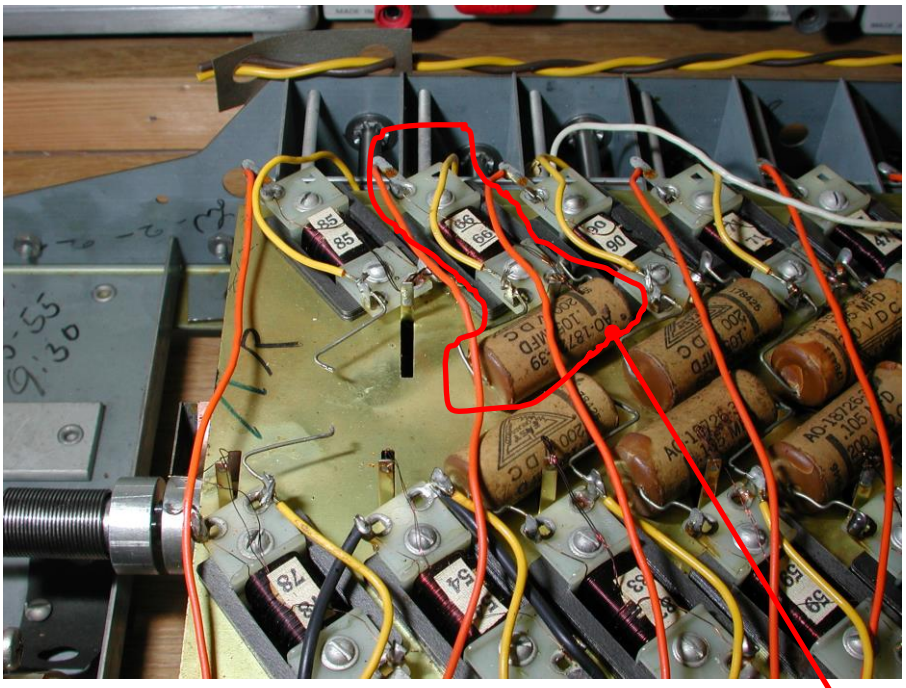


Abbildung 43: Schwingkreise am ToneWheel-Generator

Ein Resonanzmaximum entsteht immer dann, wenn ein elektrischer Schwingkreis (Spule und Kondensator) mit genau seiner Resonanzfrequenz angeregt wird (durch das Tonrad). Die Resonanzfrequenz eines elektrischen Schwingkreises kann man berechnen (siehe weiter unten). Sie ist abhängig von der Größe der verwendeten Spule und des verwendeten Kondensators. Zusammen bilden sie den "elektrischen Schwingkreis". Bei Resonanz geschieht der Austausch von magnetischer und elektrostatischer Energie so "reibungslos", dass sich eine Spannungsüberhöhung (-> das Resonanzmaximum) ausbilden kann. Salopp gesagt: **Das ist der Zustand, wenn das Oszilloskop beim Messen an diesem Schwingkreis die größte Spannung zeigt, die man durch Drehen an der Kapazitätsdekade irgendwie erreicht.**

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Ich möchte nun etwas weiter ausholen. Wie wir sehen werden, erhalten wir am Ende eine Resonanzformel, anhand derer man vieles zum Abgleich erklären kann.

Bei "Resonanz" sind der Blindwiderstand von Spule und Kondensator exakt gleich. Wenn wir diese Forderung mathematisch formulieren und nach der Resonanzfrequenz umformen, ergibt sich:

$\underline{X}_L = j \cdot \omega \cdot L$ allgemeiner komplexer Widerstand der Spule

$\underline{X}_C = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}$ allgemeiner komplexer Widerstand des Kondensators

$\underline{X}_L \overset{!}{=} \underline{X}_C$ Resonanzbedingung soll erfüllt sein

$j \cdot \omega \cdot L \overset{!}{=} \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}$ Einsetzen....

mit $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

$\left| j \cdot \omega \cdot L \right| = \left| \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C} \right|$ ...Betrag bilden...

$\sqrt{\omega^2 \cdot L^2} = \frac{1}{\sqrt{\omega^2 \cdot C^2}}$ ...gemäß Pythagoras...

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$ umgeformt: fertig!

Die Formel nennt man -gemäß seines Entdeckers- die "Thompson'sche Schwingungsformel". Sie ist für unseren Hammond-Abgleich sehr wichtig, denn sie beschreibt, bei welcher Frequenz ein elektrischer Schwingkreis -bestehend aus Spule und Kondensator- in Resonanz ist!

Keine Angst, großartig rechnen müssen wir nicht, um einen elektrischen Abgleich an der Hammond-Orgel durchzuführen. Berechnungen dieser Art hat uns der Herr Hammond bereits in der Entwicklungsphase abgenommen. Denn der musste für jeden einzelnen Ton (im Bereich Nr. 49..91), den seine Orgel später produzieren konnte, ein Kondensator-Spulen-Pärchen finden, das diese Resonanzbedingung erfüllt!

Wie wir alle wissen, fiel seine Wahl auf Kondensatoren mit den Werten 105nF und 255nF.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Wenn Hammond also damals nur zwei verschiedene Kondensator-Werte benutzte, musste er -um die Resonanzformel für jeden einzelnen Ton seiner Orgel erfüllen zu können- also die Spulen an die Kondensatoren anpassen. Und genauso war es auch: zu einer bestehenden Charge Kondensatoren wurden die dazu passenden Spulen angefertigt.

Heute drehen wir den Spieß um. Wir sehen, dass es -laut Theorie- nämlich nicht nur eine, sondern **zwei** Möglichkeiten gibt, eine Resonanzfrequenz zu "treffen". Hammond "drehte" damals an den Spulen ("L" in der Formel); wir machen es jetzt anders: denn wir "drehen" stattdessen an den Kondensatoren ("C" in der Formel).

Wie uns der Herr Thompson mit seiner Formel beweist, sind beide Vorgehensweisen absolut gleichwertig! Wir wählen nun heutzutage den zweiten Weg, weil es vom Arbeitsaufwand her schlichtweg ungleich einfacher ist, einen Beutel Kondensatoren auszumessen und den jeweils passenden für eine Spule zu finden, als sich einen Kondensator einzulöten und die Spule so weit abzuwickeln (bzw. anzuflicken), bis die Resonanzbedingung erfüllt ist.

Da wir uns für den Weg des "Kondensator variieren" (genau dazu brauchen wir die Kapazitätsdekade aus Abbildung 38!) entschieden haben, benötigen wir also eine große Auswahl an verschiedenen Kondensator-Werten.

4.6.3 Bauteileselektion

Sie sind sicher schon neugierig darauf zu wissen, wie man den Abgleich nun letztendlich durchführt. Leider muss ich Sie noch etwas bremsen, denn erstmal benötigen wir einen Haufen neuer Kondensatoren. Zu allem Überfluss müssen wir diese alle auch noch einzeln ausmessen und nach den tatsächlich gemessenen Werten in verschiedene Schachteln sortieren!

Laut [9] besorgt man sich -pro Orgel- also etwa folgende Kondensatoren:

ca. 120 Stück MKS-4-630 100nF, 630V, Rastermaß 22,5mm
ca. 25 Stück MKS-4-630 150nF, 630V, Rastermaß 22,5mm

Der Autor aus [9] verwendet hier Wima MKS-Kondensatoren, die es z.B. bei Reichelt Elektronik [13] zu kaufen gibt. Ich empfehle, gleich zusätzlich noch folgende Kondensatoren desselben Typs mit zu bestellen (mechanisch etwas kleinere Ausführung):

- **20 Stück 4,7nF**
- **20 Stück 6,8nF**
- **20 Stück 10 nF**
- **20 Stück 15 nF**
- **20 Stück 22 nF**

Diese Kondensatoren eignen sich sehr gut als Parallelkondensatoren, falls die 100nF-Kondensatoren in der Qualität zu "gut" sind und die 100nF zu genau treffen (normalerweise haben sie +/- 10% Toleranz). Dazu später mehr.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.6.3.1. Ausmessen und Sortieren

Nun beginnt eine sehr mühselige Arbeit. Mit Hilfe eines Kapazitätsmessgerätes (siehe Abbildung 37) werden sämtliche 100nF und 150nF-Kondensatoren exakt ausgemessen, beschriftet und sortiert. Die tatsächlich gemessene Kapazität schreibt man am besten mit einem wasserfesten Stift auf die Rückseite des Bauteils. Es ist ratsam, sich die ganzen Bauteile in verschiedene Schächtelchen zu sortieren.

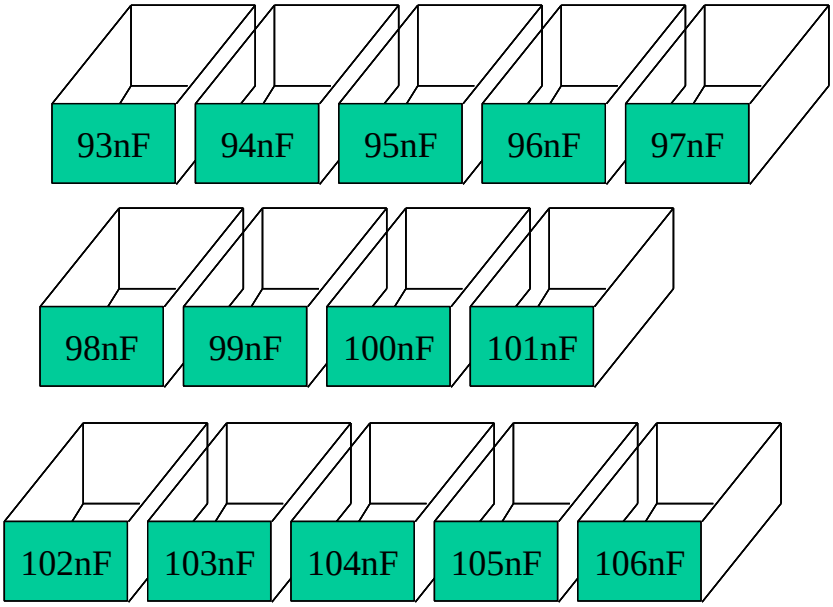


Abbildung 44: Kondensatoren in Schachteln einsortieren

Gemäß den Gesetzen der Statistik (die Gauß'sche Glockenkurve und die Ermittlung der Standardabweichung will ich Ihnen nun aber wirklich ersparen) wird man die Schachtel "100nF" am vollsten haben, von 99nF und 101nF gibt es auch noch viele, 98nF und 102nF schon etwas weniger, 97nF und 103nF noch weniger, usw..

Am wenigsten "Ausreißer" dürften nun in den Schachteln "93nF" und "106nF" liegen.

Hinweis:
Falls noch nicht geschehen, können Sie sich nun aus jeder Schachtel jeweils einen Kondensator herausnehmen und daraus prima Ihre Kapazitätsdekade (Abbildung 38) bauen!

Wenn Sie auch diese -etwas monotone- Arbeit hinter sich gebracht haben, geht es nun endlich an den elektrischen Generatorabgleich!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.6.4 Durchführung

Ich gehe nun davon aus, dass sämtliche Vorarbeiten erledigt sind; Sie haben also einen großen Vorrat an Kondensatoren, die alle ausgemessen, sortiert und beschriftet sind. Weiterhin haben Sie die weiter oben beschriebene Kapazitätsdekade, ein Oszilloskop und einen Maulschlüssel für die Generatorschrauben. Den Generatorfrequenzgang siehe Kapitel 4.3) haben Sie vorher gewiss auch schon aufgenommen, oder?

Beim Abgleichvorgang gehen wir von folgenden Voraussetzungen aus:

a) der Generator liegt waagerecht auf dem Tisch (Wasserwaage). Das ist wichtig, damit auch alle Tonräder mittig in ihrer Führung laufen! Schon eine kleine Schieflage bewirkt, dass die Tonräder leicht aus der Mitte des Magnetstiftes laufen und sich die Ausgangsspannung ändert. Schließlich haben wir es hier z. T. mit extrem kleinen Signalspannungen zu tun, die teilweise sogar durch das Erdmagnetfeld beeinflusst werden (!).

b) er ist keinen störenden magnetischen, elektrischen oder elektromagnetischen Feldern ausgesetzt (z.B. Leuchtstofflampen, Schaltnetzteile, Mobiltelefone usw...)

c) er wird spannungs- und frequenzrichtig betrieben (also ein USA-Generator auch mit entsprechend 60Hz!) und läuft ordnungsgemäß ruhig.

=> Folglich muss auch die "Stimmung" des Tongenerators passen! Das ist für den nun folgenden Abgleich von entscheidender Bedeutung. Die Filter müssen nämlich auf exakt die Tonhöhen eingemessen werden, die später auch beim normalen Betrieb erzeugt werden (Kammerton "A"= 440Hz).

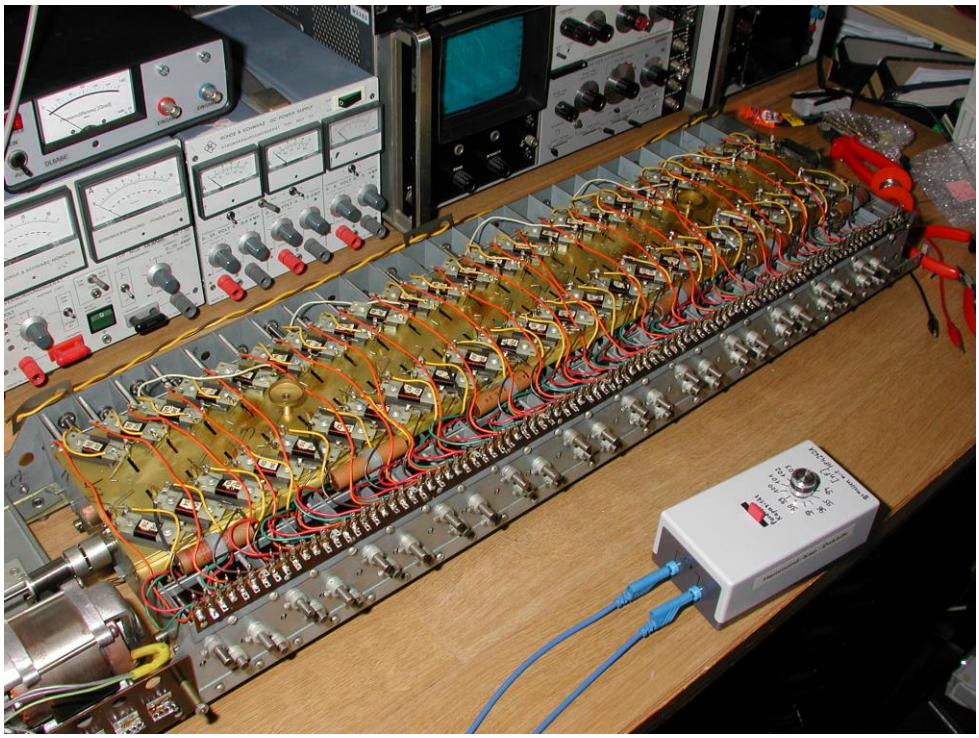


Abbildung 45: Tongenerator waagerecht ausrichten und Kondensatoren rausknipsen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Knipsen Sie aus dem Tongenerator alle alten Kondensatoren mit einem Seitenschneider heraus. Lassen Sie von den originalen Anschlussdrähtchen so viel wie möglich stehen, damit Sie die neuen Kondensatoren daran dann später festlöten können.

Nun starten Sie den Generator und lassen ihn eine halbe Minute auf die korrekte Drehzahl "einschwingen".

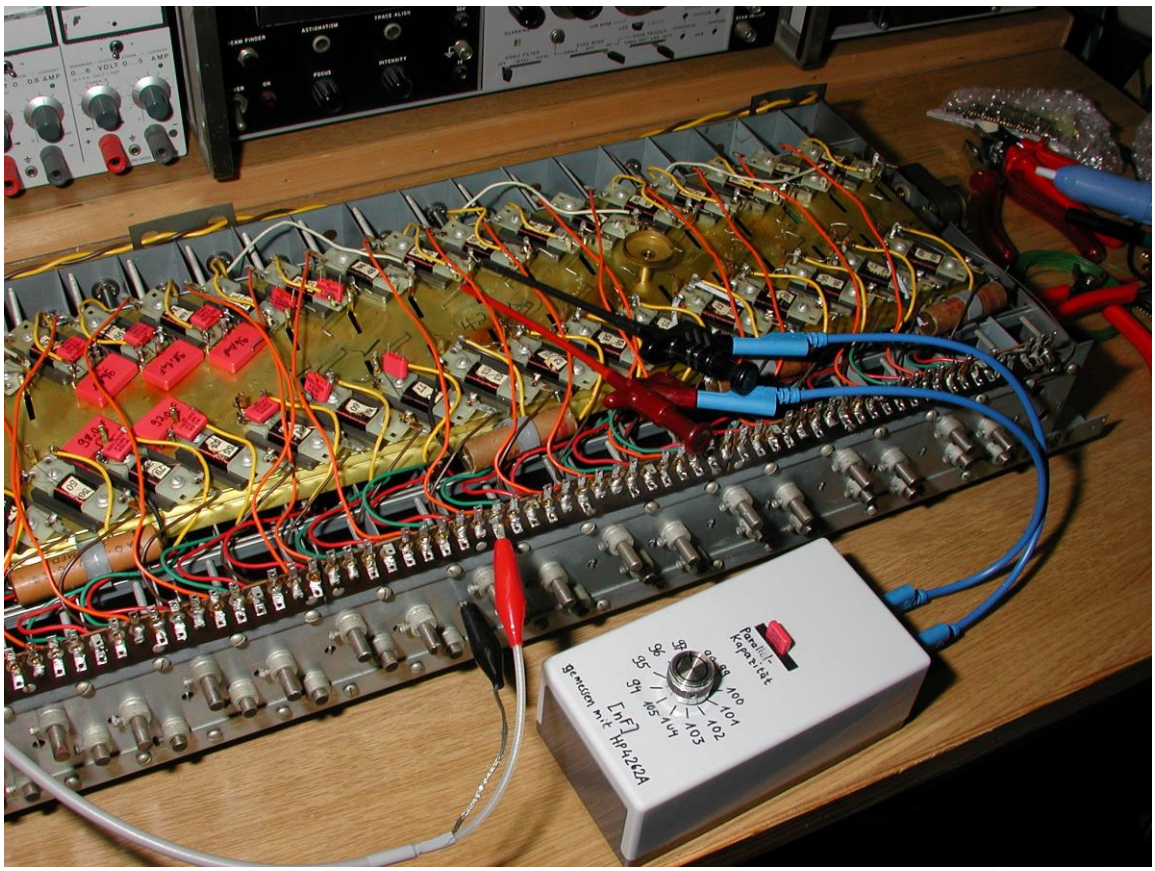


Abbildung 46: Resonanzfall bestimmen

Beginnen Sie mit dem ersten Schwingkreis (z.B. dem ganz links). Schließen Sie nun die Kapazitätsdekade an die Stelle des herausgeknipsten (alten) Kondensators an. Greifen Sie dann die Ausgangsspannung dieses Tons an der Lötösen-Klemmleiste ab und beobachten ihn mit dem Oszilloskop (Messaufbau exakt wie bei der Ermittlung des Generatorfrequenzgangs; siehe Kapitel 4.4.3).

Sie erkennen eine ganz kleine, sinusähnliche Tonspannung von wenigen Millivolt Amplitude auf dem Bildschirm des Oszilloskops.

Nun steppt man alle möglichen Werte der Kapazitätsdekade durch und beobachtet dabei die Tonspannung. In irgendeiner Stellung der Kapazitätsdekade wird die Spannung am größten; weiter nach links wird sie wieder kleiner; weiter nach rechts wird sie auch wieder kleiner.

Der Punkt, in dem die Spannung am größten wird, ist der Resonanzfall! Der Schwingkreis ist nun korrekt auf den Ton abgestimmt. Damit haben Sie das Resonanzmaximum bereits gefunden! Simpel, oder?

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Nun lesen Sie auf Ihrer Kapazitätsdekade ab, welchen Wert Sie ermittelt haben. Nehmen wir mal beispielsweise 103nF an. Sie klemmen die Kapazitätsdekade ab und löten stattdessen einen 103nF-Kondensator aus der 103nF-Schachtel (Abbildung 44) in den Tongenerator ein.

Zur Sicherheit können Sie die Spannung abschließend noch einmal mit dem Oszilloskop überprüfen. Sie muss jetzt ziemlich genau dieselbe Amplitude haben wie das ermittelte Maximum mit der Kapazitätsdekade.

Damit wäre dieser Ton fertig und Sie können sich den nächsten vornehmen. Wiederholen Sie diesen Vorgang für sämtliche Töne 49 bis einschließlich 91!

4.6.5 Wichtige Hinweise zur Durchführung

- Sie müssen in diesem Schritt noch nicht die endgültig gewünschte Spannung - gemäß Referenztabelle- erhalten!! Dieser Abgleich erfolgt dann erst durch den anschließenden mechanischen Abgleich. Beim elektrischen Abgleich gilt das Prinzip: "holen Sie das Maximum an Spannung raus, das geht!"

- Kann ein Maximum beim Durchsteppen jedoch **nicht** beobachtet werden, dann überstreicht die Kapazitätsdekade mit ihren Kodensatorwerten eben nicht den Bereich, den dieser Schwingkreis für den Resonanzfall braucht. Meistens muss man in diesem Fall einen kleinen Parallelkondensator mit zusätzlich parallel anschließen, um den verfügbaren Kapazitätsbereich nach oben hin zu verschieben (siehe Kapitel 4.6.1). Ob man mehr oder weniger Kapazität braucht, erkennt man daran, zu welcher Richtung hin die gemessenen Amplituden auf dem Bildschirm anwachsen.

  Wichtig ist dabei nur, den jeweils gesteckten Parallel-Kondensator gleich eindeutig dem gemessenen Tonrad zuzuordnen, denn auch die kleineren Kondensatoren haben Toleranzschwankungen. Am besten also nach der erfolgreichen Ermittlung des Resonanzfalles gleich Parallel- und Hauptkondensator als Pärchen zusammenlegen und einlöten.

  Übrigens ist bei Kondensatoren das Parallel-Schalten ähnlich unkompliziert wie bei Widerständen das Hintereinander-Schalten. Damit man die ggfs. benötigten Parallel-Kondensatoren in die Messung mit einbeziehen kann, besitzt meine Kapazitätsdekade ein kleines Steckfeld (siehe auch Abbildung 39), in das man die Parallelkondensatoren zur Messung gleich mit einsetzen kann.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

- Wie die neuen Kondensatoren letztendlich mechanisch auf dem Tongenerator befestigt/angelötet werden, ist Geschmackssache und hat keinen hörbaren Einfluss auf den Klang.

  Je nach Aufbau des Generators zeigt Abbildung 47 eine mögliche Variante.

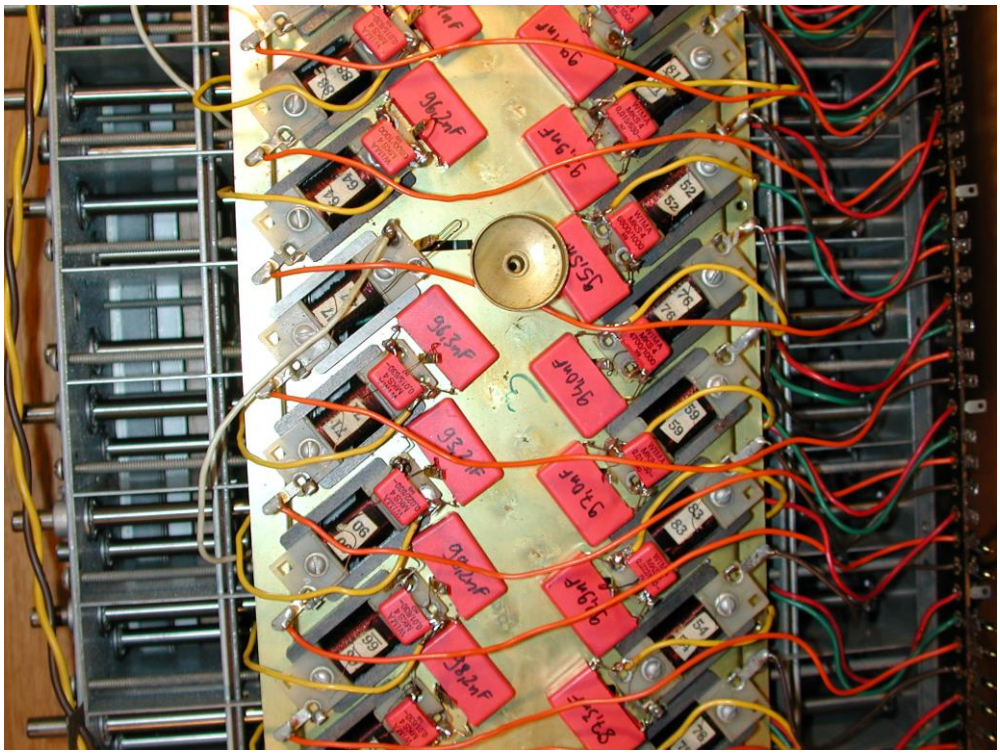


Abbildung 47: neue Kondensatoren auf dem Generator

- In meinem Fall stellte sich bei den ersten Abgleichtests schnell heraus, dass in unserer Orgel oftmals Kondensatoren mit weitaus höherer Kapazität als 105nF erforderlich waren, um den Resonanzfall zu erreichen (bis zu 120nF). Das liegt daran, dass die Kondensatoren von damals im Allgemeinen höheren Fertigungstoleranzen unterlagen als heute und die Spulen passend zu jedem einzelnen Kondensator individuell ausgesucht (ausgemessen) wurden. Erhielt die Hammond-Fertigung also gerade mal eine Charge Kondensatoren mit durchschnittlich leicht erhöhten Kapazitätswerten, wurden die entsprechenden (dazu passenden) Spulen mit etwas weniger Induktivität herausgesucht, sodass sich im Zusammenspiel wieder die gewünschte Resonanzfrequenz einstellte. Und eben zu exakt diesen (damals ausgesuchten) Spulen müssen nun die heute neu eingesetzten Kondensatoren passen. Nahm man damals (als Folge von größeren Kondensatoren) kleinere Spulen, müssen wir heute durch die kleineren Spulen wieder größere Kondensatoren einbauen. Und umgekehrt. Klingt logisch, oder?

  Leider können MKS-4-Kondensatoren von Reichelt derzeit nur in den Abstufungen 100nF oder 150nF bestellt werden (120nF ist zum heutigen Zeitpunkt nicht im Lieferprogramm). Daher kann man sich in diesen Fällen nur damit helfen, zwei Kondensatoren parallel zu schalten ("Parallelkondensator"), um die benötigte Kapazität zu erhalten (gut zu sehen in Abbildung 47).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

- Solange Sie nicht eine Zange in den Generator fallen lassen, können Sie ihn nicht -zumindest nicht elektrisch- beschädigen. Sie dürfen also getrost Bauteile herausknipsen und einlöten, während der Generator in Betrieb ist. Bitte achten Sie jedoch auf Lötspritzer und Kabelenden, die in die rotierenden Zahnräder fallen und sie damit blockieren können!

- Die saubere Masseverbindung vom Generator zum Oszilloskop ist bei diesen kleinen Spannungen sehr wichtig und kann z.B. von einer der vielen Klemmschrauben (Magnetstifte) bezogen werden.

- Bitte mit der Oszilloskoptastspitze vor den Messungen auf das Metallgehäuse des ToneWheel-Generators tippen (Kurzschluss gegen Masse). Ist nun auf dem Oszilloskop eine größere Brummspannung zu sehen, haben Sie entweder eine Brummschleife (z.B. über die Erde-Leitung des Oszilloskops) oder sonstige Einstreuungen in den Tastkopf oder den gesamten Messaufbau. Hier können bessere Abschirmungen, zusätzliche Masseverbindungen oder auch der Einsatz eines Trenntrafos helfen. Gerade bei der Messung so kleiner Tonspannungen im mV-Bereich ist unbedingt auf einen sauberen Messaufbau zu achten, um keine Fehlmessungen zu erhalten. Aus diesem Grund musste ich auf dem heimischen Messplatz sogar eine Energiesparleuchte abbauen und "verschrotten". Die eingebaute Elektronik (Schaltwandler) erzeugte so viel elektromagnetische Störungen, dass der saubere Abgleich des ToneWheel-Generators unmöglich wurde!

- Das Einlöten der neuen Kondensatoren geschieht abhängig von der mechanischen Ausführung der Spulen auf dem Generator. Bei meiner Version lagen die originalen Kondensatoren ursprünglich alle quer vor den Spulen auf dem Messingblech. Daher habe ich alle herausgeknipst und an deren Stelle die neuen eingelötet (siehe Abbildung 47). Den Parallelkondensator habe ich direkt zwischen die Anschlussbeinchen der Spule gelötet. Es gibt aber auch andere Versionen, bei denen der Resonanzkondensator direkt über den Spulen in Längsrichtung liegt. Hier biegt man am besten nur ein Beinchen des neuen Kondensators winklig ab, verlötet es in einer Lötöse und verlängert das andere Beinchen mit Silberdraht zur anderen Lötöse. Hier gibt es sicher viele verschiedene Möglichkeiten, die technisch zumindest alle als gleichwertig anzusehen sind. Sie unterscheiden sich eher in Aufwand und optischem Ergebnis (es soll am Ende ja auch irgendwie "schön" aussehen).

- Ich persönlich kontrolliere die Ausgangsspannung des zu messenden Tonrades jedoch nicht nur mit einem Oszilloskop, sondern gleichzeitig noch mit einem hochwertigen Audio-Analyzer. Hier kann man seine puristischen Neigungen auf der Jagd nach dem letzten Mikrovolt noch so richtig ausleben. Auf einem Oszilloskop sind solch geringe Spannungen in der Regel nicht mehr sinnvoll ablesbar. Zugegeben- ich bin allerdings sehr skeptisch, ob so ein Feinabgleich in der Praxis überhaupt als Klangveränderung gehört werden würde, wenn wir eine minimale Unterscheidungsschwelle von etwa 3dB (entspricht immerhin ca. 30 % mehr Ausgangspannung!) annehmen, die das Ohr überhaupt noch auflösen kann (und wir subjektiv als Lautstärke-Erhöhung noch wahr nehmen können).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Schaden tut's jedenfalls nicht, den Resonanzpunkt so genau wie möglich treffen zu wollen. Je besser man ausgemessen hat, umso länger dauert es, bis sich der Schwingkreis -in ein paar Jahrzehnten vielleicht- dann wieder so doll verstimmt hat, dass man Lautstärke-Unterschiede einzelner Töne hört.

- Nicht alle Filter sind gleich "steil": bei einigen Filtern ist kaum ein definiert ausgeprägtes Maximum zu finden, bei anderen jedoch sehr deutlich. Das ist normal!

- Die 255nF-Kondensatoren (bei mir waren sie seitlich mit Stahl-Haltelaschen befestigt) werden ebenfalls herausgeknipst und die Haltelaschen entfernt. Dann einen neuen 150nF-MKS-4-Kondensator einlöten und den Abgleich nicht anders durchführen als mit den 105nF-Schwingkreisen auch. Es ändert nichts am eigentlichen Abgleichvorgang, nur dass man eben 150nF parallel geschaltet hat und sich der Abgleich auf einer "anderen Ebene" abspielt. Im schlimmsten Fall hat man dort also drei Kondensatoren parallel: einmal 150nF, dann denn ausgemessenen 100nF und evtl. noch einen kleinen Parallelkondensator (4,7nF/6,8nF/10nF/15nF/22nF).

- Einige Tongeneratoren haben eine Spulenbauform mit etwas dichter sitzenden Anschlussösen. Hier können auch kleinere Kondensatorbauformen (z.B. MKS-3 von Reichelt Elektronik) eingesetzt werden, sodass man die Kondensatoren direkt an die Lötösen löten kann. Sowohl technisch als auch klanglich macht das jedoch keinen Unterschied. Das Anlöten ist nur vielleicht etwas einfacher.

- Manche Lötstellen sind derart alt und oxidiert, dass man sie kaum mit dem Lötkolben erwärmt bekommt. Hier hilft ein ganz wenig Lötfett, das man vorher auf die Anschlussöse pinselt. Nur ganz wenig, denn das Lötfett ist säurehaltig und greift das Material an. Dadurch löst es aber auch die Oxidschicht auf der Lötstelle und man kann sie prima erwärmen und das alte Lot mit der Entlötsaugpumpe entfernen. Lötfett gibt es immer noch im Baumarkt; meistens im Installationsbereich für Kupferrohre und Gas-Lötgeräte.

- Die Tonabnehmerspule, die vorne auf dem Magnetstift fixiert ist, besitzt artgemäß zwei Anschlüsse, von dem man allerdings nur einen sehen kann: das so genannte "heiße Ende" kann an einer Lötöse direkt vor der Spule abgegriffen werden; der andere Pol ist am Magnetstift auf das Generator-Metallgehäuse geklemmt, um so eine Masse-Verbindung herzustellen. Elektrisch gesehen ist diese Art der Erdung allerdings nicht allererste Wahl! Ein anerkannter Hammond-Techniker unseres Clubs redet hier sogar zu Recht von einem "Brummkasten", denn die Gefahr von (Masse-) Brummschleifen ist generell gegeben, wenn nicht alle Masseleitungen zu einem einzigen Erdungspunkt geführt, sondern individuell an verschiedenen Stellen gegen das Blechgehäuse geerdet werden. Dies ist übrigens eine mögliche Erklärung für die Brummneigung einiger alter Tongeneratoren. Besonders gefährdet sind Generatoren, bei denen diese Kontaktstellen oxidiert oder verschmutzt sind.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

- Wer den Ausbau-Aufwand des Generators scheut, kann auch nur die Manualbaugruppe hochklappen (siehe Abbildung 83ff) und mit zwei Holzleisten abstützen, so dass man mit den Armen (und dem Lötkolben) von vorne durchgreifen und am Generator arbeiten kann. Ich habe diesen Ratschlag im Internet gelesen, möchte Ihnen diese Arbeitsweise jedoch nicht empfehlen. Zum einen ist es unter diesen Umständen ein recht beengtes Arbeiten, zum anderen ist die Verletzungsgefahr sehr groß (wehe, man reißt versehentlich die abstützenden Holzleisten mit dem Ellenbogen um, dann fällt einem ggfs. die komplette Manualbaugruppe auf die Finger)! Außerdem ist der mechanische Abgleich (siehe Kapitel 4.7) in diesem eingebauten Zustand nahezu unmöglich.

- Einige Firmen bieten z.B. im Internet so genannte "handselektierte Hochleistungskondensatoren" zum Einlöten in den ToneWheel-Generator an. Hier rate ich zu Vorsicht! Möglich, dass es sich hierbei um erstklassige Qualität und damit auch hochwertige Kondensatoren handelt, jedoch hat man bei solch einem "Umrüst-Kit" nicht die Möglichkeit, die Kondensatoren **individuell** auf die einzelnen Schwingkreise auszumessen (es sei denn, Sie bestellen gleich 10 von diesen Kits und messen die Kondensatoren wie oben beschrieben einzeln aus; das dürfte jedoch bereits aus finanziellen Gründen nicht mehr interessant sein)! Ich mag die Kriterien dieser Firmen für ihre "Handselektion" nicht kennen, jedoch kann kein Hersteller der Welt wissen, welche Kondensatorwerte Sie exakt für Ihre Orgel zur jeweiligen Erfüllung der Resonanzbedingung der ganzen Schwingkreise brauchen. Daher also bitte aufpassen bei solchen "Umrüst-Kits"! Ich behaupte, dass unsere Resonanzmess-Methode mit handelsüblichen, jedoch einzeln ausgemessenen (also auch "handselektierten"!) MKS-Kondensatoren auf jeden Fall die technisch sauberere Variante ist.

  Trotzdem: ehe Sie die Kondensatoren überhaupt nicht wechseln, weil Sie den Aufwand scheuen oder die benötigten Messgeräte für das Resonanzmessverfahren nicht besitzen, **dürfen Sie solche "Kondensatoren-Umrüst-Kits" natürlich uneingeschränkt einsetzen, wenn Sie mit ein wenig verstimmten Schwingkreisen leben können** (Die Stimmung des Instrumentes auf A=440Hz beeinflusst das ja nicht, sondern nur die Pegel der einzelnen Töne!). Denn selbst ein wenig verstimmter Resonanzkreis ist immer noch besser als gar kein aufgearbeiteter Tongenerator!

  (Die etwas ketzerische Frage ist nur, ob es in diesem Fall "billige" MKS-Kondensatoren von Reichelt nicht genauso gut tun...???). Wer hier objektive Vergleiche liefern kann, den bitte ich um Kontaktaufnahme mit mir (Kontaktadresse siehe Einleitung)!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.6.6 Troubleshooting „Tonrad“

Lässt sich nun trotz aller Bemühungen absolut kein Resonanzmaximum geschweige denn überhaupt eine messbare Tonspannung finden, so sollten Sie in Betracht ziehen, dass dieser „Ton“ des Generators defekt ist. Das kann durchaus mehrere Gründe haben (auch mechanische). Wir gehen erstmal davon aus, dass das betreffende Tonrad korrekt dreht und auch der Tonabnehmer keinerlei mechanische Beschädigungen zeigt. Kann das bestätigt werden und ist man sich auch wirklich sicher, dass man die Oszilloskop-Messspitze nicht gerade am „falschen“ Tonrad angeklemmt hat (auch das ist uns schoneinmal passiert), dann sollte man nun Schritt für Schritt folgendes ganz systematisch kontrollieren:

- Prüfen Sie zuerst mit einem Multimeter, ob die Tonabnehmerspule noch korrekten ohmschen Durchgang hat, also nicht irgendwo ein Draht abgerissen ist oder die Spulenwicklung des Tonabnehmers durch irgendeinen Grund elektrisch unterbrochen ist. Achtung: das eine Ende der Tonabnehmerspule ist zwischen Magnetstift und Generatorchassis geklemmt! Auch hier mal nachprüfen...

- Ist der Fehler dort nicht zu finden, muss die Außenbeschaltung des Tonabnehmers überprüft werden. Je nach Tonrad gibt es da drei verschiedene (siehe Abbildung 392).

    - Laut dort gezeigtem Schaltplan haben wir es bei Tonrad Nr.1 bis einschließlich Nr.43 mit einem einfachen Widerstand gegen Masse zu tun. Den kann man einfach nachmessen.

    - Die Töne Nr.44 bis einschl. 48 benutzen einen einfachen Übertrager (=Trafo in Sparschaltung) zur Auskopplung des Tonsignals. Hier können beide Spulenwicklungen auf Durchgang gemessen werden.

    - Beginnend mit Ton Nr.49 bis einschl. Ton Nr. 91 erhält jedes Tonrad den berühmten Schwingkreis; bestehend aus Übertrager (=Trafo in Sparschaltung) mit davorgeschaltetem Kondensator. Grundsätzlich gilt hier: Kondensatoren verhalten sich bei einer reinen Gleichstrommessung hochohmig, Trafospulen sehr niederohmig. Das bitte auch nachprüfen.

Anhand dieser einfach durchzuführenden Tests mit einem Multimeter im Widerstandsmessbereich sollte ziemlich schnell Klarheit über die Fehlerursache herrschen. Hat auch das nicht geholfen, so gibt es nur eine letzte Möglichkeit: Der Magnetstift hat sich aus irgendeinem Grunde ent-magnetisiert (auch das ist schon vorgekommen!). In diesem Fall kann er mit Hilfe ein paar Windungen starken Kupferdrahtes und einer kräftigen Autobatterie auch wieder aufmagnetiesiert werden! Wie das genau geht, steht in Abschnitt 4.7.5.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.7 Mechanischer Generatorabgleich

Nach unserer Roadmap "Generatorabgleich" (siehe 4.5.2) erfolgt -nach dem elektrischen- nun der mechanische Generatorabgleich. Während beim elektrischen Abgleich alle elektrischen Schwingkreise exakt eingemessen und auf Resonanz gebracht wurden, geht es in diesem Schritt nun endlich um das richtige Einstellen aller Tongenerator-Ausgangsspannungen nach einer Referenztabelle (zu finden in Kapitel 4.7.3).

Wer es nicht ganz so eilig hat, sollte vor diesem Arbeitsgang noch einmal einen Generatorfrequenzgang (siehe Kapitel 4.3) aufnehmen. Dabei sieht man sehr schön, welch positive Auswirkungen der Neuabgleich aller Filter bereits jetzt hatte.

4.7.1 Theorie

Um ein wenig Theorie kommen wir auch hier nicht herum. Für alle die, die einen ToneWheel-Generator noch niemals von unten gesehen haben, soll Abbildung 48 dessen Aufbau verdeutlichen. Zu sehen sind einige ToneWheel-Räder, die jeweils zu einem Pärchen zusammengefasst sind. Ganz dicht vor jedem Rad sitzt der Tonabnehmer, dessen Magnetstift-Ende wir von außen sehen können. Insgesamt gibt es 91 dieser Tonabnehmer (für jeden Ton einen).

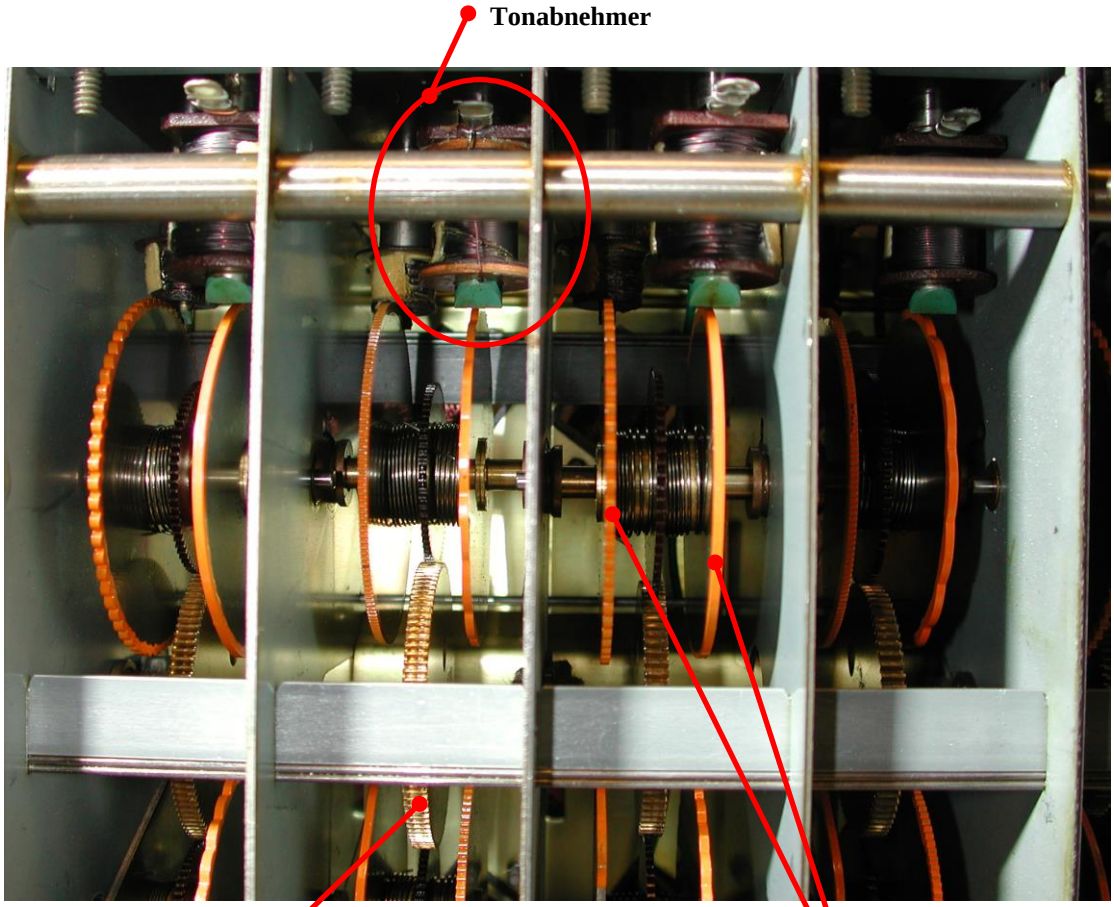


Abbildung 48: ToneWheel-Paare

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Nun gibt es wieder ein physikalisches Gesetz, das bei der Tonerzeugung greift. Das Induktionsgesetz:

$$U_{ind} = -n \cdot \frac{d\phi}{dt}$$ (Induktionsgesetz)

mit $\phi = B \cdot A$

folglich: $$\frac{d\phi}{dt} = \dot{B} \cdot A + B \cdot \dot{A}$$

In Worten ausgedrückt besagt es, dass in einem Tonabnehmer eine Spannung induziert wird (ähnlich wie beim Fahraddynamo), wenn sich entweder das Magnetfeld oder die wirksame Querschnittsfläche der Induktionsspule zeitlich verändert. Die Querschnittsfläche des Magnetstiftes und der vom magnetischen Fluss durchströmten Induktionsspule ändert sich nicht- wohl aber das Magnetfeld, das durch das davor rotierende Tonewheel beeinflusst wird! So entsteht eine Wechselspannung- wir nennen sie nun "Tonspannung"!

Hier möchte ich den physikalischen Ausflug aber schon wieder beenden; denn eine theoretische Berechnung und Herleitung der induzierten Spannung traue ich mir einfach nicht zu. Dass damit auch "ganz andere" ihre Schwierigkeiten haben, bezeugen so manche nur mittelmäßig gut klingenden digitalen Bühnen-Orgeln, die als "Hammond-Kopie" verkauft werden.

Wichtig ist für uns, dass die Beeinflussung des Magnetfelds desto stärker wird, je näher man den Tonabnehmer an das ToneWheel schiebt. Das bedeutet für uns: drücken wir den Magnetstift (vorsichtig!) ein wenig näher in den Generatorkasten hinein, wird der erzeugte Ton lauter; ziehen wir ihn etwas heraus, wird der Ton leiser. Damit wird es möglich, alle Töne des gesamten Tongenerators auf einen gewünschten Frequenzgang hin zu "züchten"!

Und noch etwas ist wichtig:

Schieben wir den Magnetstift zu weit hinein, stößt er an das ToneWheel an!

Glücklicherweise geht in diesem Fall in der Regel nichts kaputt, denn jedes ToneWheel-Pärchen ist mittels einer eigenen Rutschkupplung (Schlingfederkupplung) so gelagert, dass ein zu weit hineingetriebener Magnetstift nicht viel Schaden anrichten kann. Mir selbst ist das auch schon einmal passiert; außer leichter Schleifspuren am Korrosionsschutzlack (der orangefarbene Rand eines ToneWheels) konnte ich keine weitere Beschädigung erkennen.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.7.2 Durchführung

Die Theorie haben wir verstanden und nun geht es also an die Durchführung des mechanischen Generatorabgleichs. Wie bereits schon erwähnt: Ziel ist es, alle Tonspannungen auf bestimmte Pegel nach einer Referenztabelle (siehe 4.7.3) abzugleichen. Diese Referenztabelle ist eine Richtschnur, entlang der alle Töne im Pegel justiert werden müssen, damit der Generator einen ganz bestimmten Generatorfrequenzgang bekommt (dementsprechend auch einen ganz bestimmten Klang).

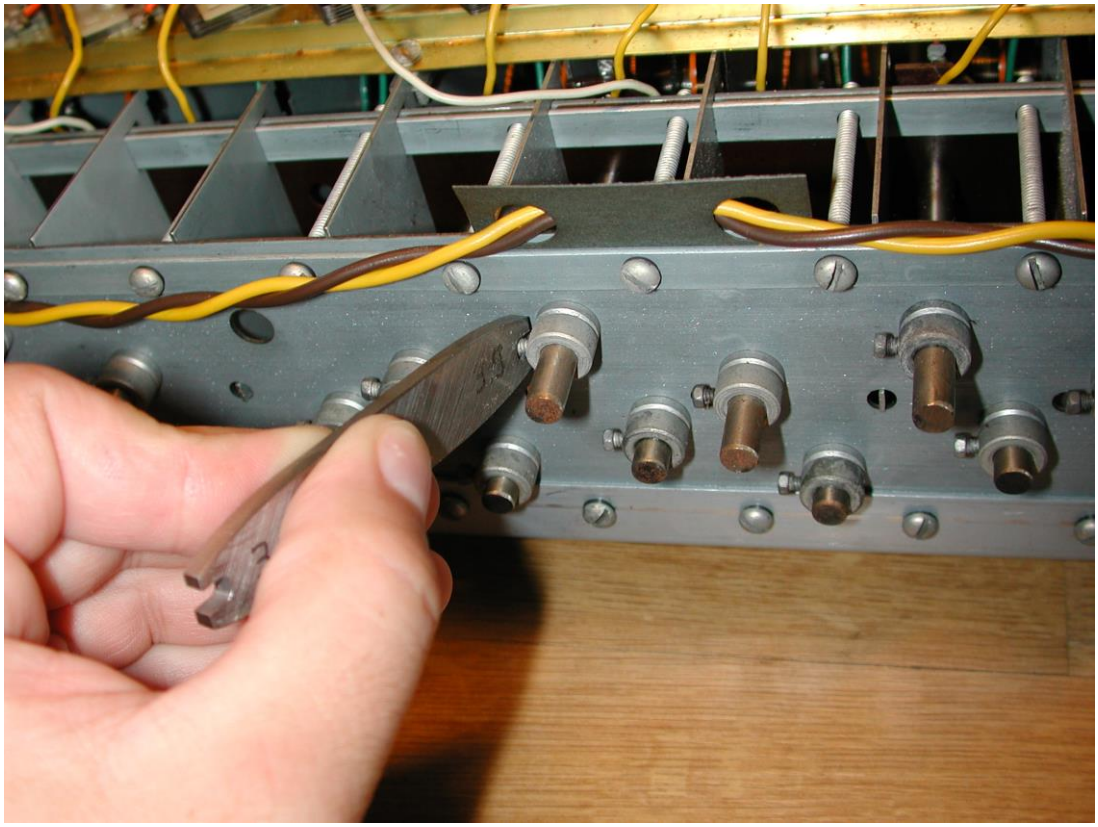


Abbildung 49: Klemmschraube vorsichtig lösen

Um den Generator auf unseren Wunschfrequenzgang (nach [9]) abzugleichen, benötigt man wieder den uns inzwischen gut bekannten Messaufbau nach Abbildung 28. Während für den mechanischen Abgleich hinsichtlich waagerechter Lagerung, sauberer Laborumgebung usw. natürlich identische Randbedingungen wie beim elektrischen Abgleich (siehe 4.6.4) gelten, benötigt man hier noch ein Zusatzwerkzeug: nämlich den Maulschlüssel für die Generator-Klemmschrauben (siehe 4.6.1).

Wenn Sie nun einen Ton ermittelt haben, der nachgeglichen werden muss (meistens ist die Ausgangsspannung zu klein), dann setzen Sie den Generator-Maulschlüssel auf die Klemmschraube und lösen sie (vorsichtig!).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Sie tun gut daran, den Magnetstift während des Lösens mit der anderen Hand gleichzeitig fest zu halten (Abbildung 50)! Manche Stifte sind sehr leichtgängig und so besteht die Gefahr, dass sie sonst von alleine in den Generator (und das ToneWheel) rutschen!

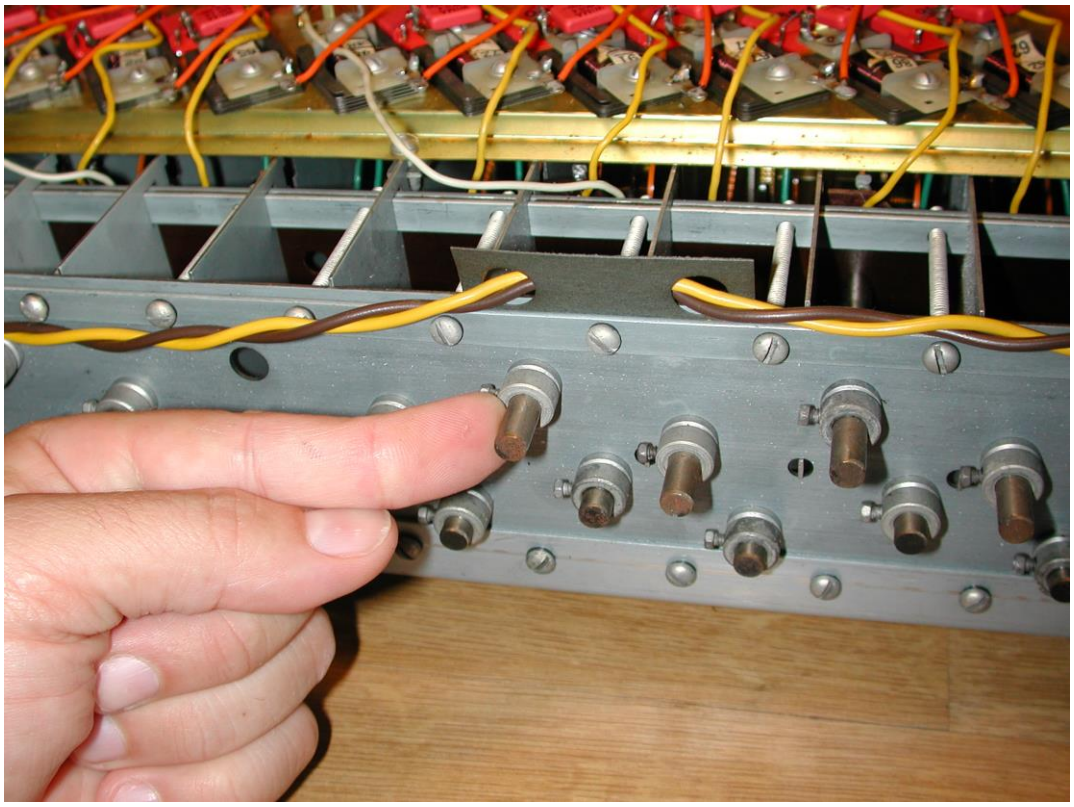


Abbildung 50: Magnetstift festhalten

Nun schieben Sie den Magnetstift sehr vorsichtig (und nur ganz wenig) in das Generatorgehäuse hinein (vorausgesetzt, Sie brauchen mehr Spannung); oder ziehen ihn aus dem Gehäuse heraus (wenn sie die Ausgangsspannung kleiner machen wollen).

Beobachten Sie dabei ständig die Ausgangsspannung mit einem Oszilloskop. Zum Ende hin geht's sehr schnell (vermutlich logarithmischer Verlauf), und schon gleich darauf klemmt's, weil der Magnetstift an das ToneWheel anstößt. Also nochmals: bitte ganz vorsichtig, es geht hier nur um wenige Zehntelmillimeter!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Ich empfehle Ihnen dafür das Greifen des Magnetstiftes mit zwei Fingern (siehe Abbildung 51), nahe des Klemmrings sodass Sie ihn sicher führen und den Klemmring selber als "Tiefenanschlag" benutzen können.

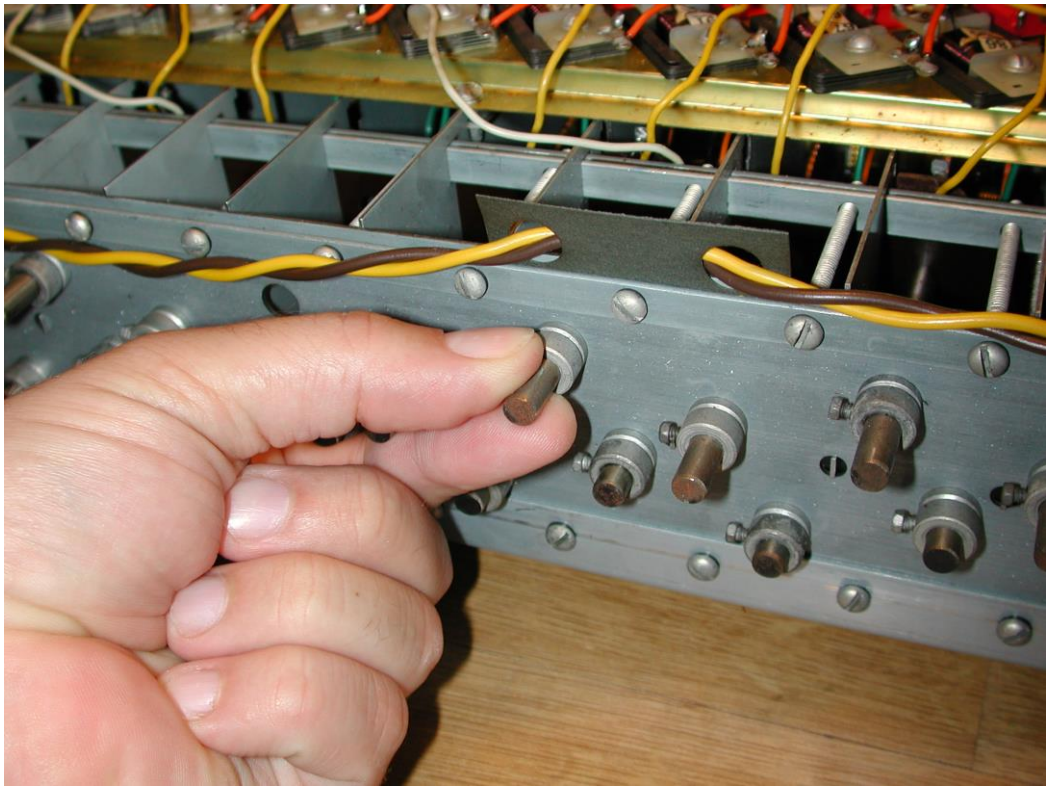


Abbildung 51: Magnetstift justieren

Jetzt verstellen Sie den Stift bitte so lange, bis die gewünschte Ausgangsspannung (nach Referenztabelle z.B.: $12mV_{ss}$ bzw. $15mV_{ss}$) erreicht ist. Dann ziehen Sie die Klemmschraube vorsichtig wieder fest. Hin und wieder ändert sich die Spannung beim Festziehen auch noch etwas, das also berücksichtigen. Abschließend die Ausgangsspannung erneut mit dem Oszilloskop kontrollieren.

Auch dieses Verfahren ist in [9] nochmals beschrieben.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.7.3 Referenztabelle Generatorfrequenzgang

Hier die Referenztabelle, wie sie in [9] empfohlen wird. Ich habe sie um die Töne des Basspedals 1..12 erweitert. Diese sind eigentlich unkritisch, denn sie sind mittels Zugriegel sowieso in der Gesamtintensität als Ganzes regelbar. Daher müssen sie eigentlich nicht in einem bestimmten festen Verhältnis zum Rest der Tonräder stehen. Nur wichtig dabei: so genannte „Ausreißer“ (siehe dazu Ton Nr.1 in Abbildung 32) sollte man korrigieren, sodass sich ein gleichmäßiger Generatorfrequenzgang ergibt. Ich habe hier exemplarisch die von mir damals gemessenen Spannungen eingesetzt.

Ton-Nummer	Ausgangsspannung [mV_{ss}]	Bemerkung
1	65	Tonrad für Basspedal; unkritisch
2	64	Tonrad für Basspedal; unkritisch
3	62	Tonrad für Basspedal; unkritisch
4	61	Tonrad für Basspedal; unkritisch
5	59	Tonrad für Basspedal; unkritisch
6	58	Tonrad für Basspedal; unkritisch
7	57	Tonrad für Basspedal; unkritisch
8	55	Tonrad für Basspedal; unkritisch
9	54	Tonrad für Basspedal; unkritisch
10	53	Tonrad für Basspedal; unkritisch
11	51	Tonrad für Basspedal; unkritisch
12	50	Tonrad für Basspedal; unkritisch
13	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
14	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
15	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
16	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
17	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
18	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
19	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
20	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
21	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
22	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
23	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
24	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
25	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
26	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
27	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
28	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
29	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
30	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
31	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
32	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
33	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
34	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
35	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
36	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
37	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
38	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
39	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
40	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
41	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
42	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
43	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
44	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
45	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
46	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
47	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
48	12	Kein Schwingkreis, nur mech. Abgleich möglich
49	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
50	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
51	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
52	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
53	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
54	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

55	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
56	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
57	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
58	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
59	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
60	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
61	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
62	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
63	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
64	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
65	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
66	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
67	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
68	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
69	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
70	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
71	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
72	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
73	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
74	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
75	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
76	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
77	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
78	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
79	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
80	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
81	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
82	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
83	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
84	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
85	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
86	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
87	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
88	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
89	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
90	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich
91	15	mech. und elektrischer Abgleich möglich

Tabelle 2: Referenztabelle

Von den hier abgedruckten Spannungen ist eine Toleranz von +/- 10% zulässig, was etwa +/- 0,83dB entspricht.

Hinweis:
In der Praxis geht man davon aus, dass Lautstärkeunterschiede von Testpersonen erst ab ca. 3dB wahrgenommen werden. Insofern halte ich die hier 2*0,83dB = 1,66dB Toleranz für technisch absolut sinnvoll gewählt!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.7.4 Hinweise zur Durchführung

- Zu erwähnen wäre, dass die Magnetstifte nicht alle gleich stark in den Führungen klemmen. Einige sind so einfach zu verstellen, dass man sie schon mit dem bloßen Finger bewegen kann, andere bekommt man kaum mit vorsichtigen Hammerschlägen bewegt. Hier ist übrigens besondere Vorsicht geboten: ein jeder weiß wohl, dass sich Dauermagnete durch kräftige Hammerschläge wieder ent-magnetisieren! Es darf zwar vorsichtig gegen das Hinterteil der Magnetstifte geklopft, jedoch nicht mit roher Gewalt dagegengeschlagen werden!

- Richtig interessant wird es übrigens, wenn ein Magnetstift mit dem Hammer in den Tongenerator hinein"getrieben" wurde, man hinterher aber feststellt, dass er wieder etwas herausgezogen werden muss, weil die Ausgangsspannung jetzt ein wenig zu groß ist. Das geht dann in diesen Fällen meist nur noch mit Rohrzange, viel "fein dosierter Muskelkraft" und etwas Hin- und Herwackeln.

- In den meisten Fällen wird die Ausgangsspannung des Tonrades eher zu klein als zu groß sein; d.h. der Magnetstift muss etwas näher an das Tonrad drangerückt werden. Hier besteht natürlich generell die Gefahr, dass man mit dem Magnetstift an das sich drehende Tonrad anstößt. Das ist zwar ärgerlich, aber meistens nicht so schlimm, wie man meinen könnte. Alle Tonrad-Pärchen besitzen eine eigene Rutschkupplung, die in diesem Fall durchrutscht und den Tongenerator vor weiterem Schaden schützt. Mit ist das leider auch einmal passiert, als ich mich beim Anschluss des Oszilloskops in der Lötösenleiste verzählt und den falschen Ton gemessen habe. Das merkt man dann aber (hoffentlich) frühzeitig, wenn sich trotz Bewegen des Magnetstiftes nichts an der Ausgangsspannung ändert! Dann also lieber nochmal kontrollieren, ob man auch gerade den richtigen Magnetstift "bearbeitet" und nicht gerade den "Nachbarn" ins Tonrad hineinklopft.

- Übrigens sollte man beim vorsichtigen Hineintreiben den Magnetstift mit der anderen Hand unbedingt fest mit Daumen und Zeigefinger umklammern (quasi als "Bremse", wie in Abbildung 51 gezeigt). Ist der Magnetstift nämlich leichter gängig als gedacht, könnte er in der Tat auch gleich ins Tonrad hineinrutschen und es blokkieren. Ich selber habe auch die Erfahrung gemacht, dass auch der letzte Magnetstift nicht zwangsläufig so fest sitzen muss wie alle 90 anderen zuvor (mechanische Streuungen in den Abmessungen der Bohrlöcher und Magnetstifte, Korrosion usw.). Daher nicht gleich jedes mal routiniert den Hammer bemühen, sondern immer erst vorher mit dem gummierten Handgriff eines Schraubendrehers oder einem kleinen Stück Holz vorsichtig gegenklopfen und erst dann den kleinen Eisenhammer ausprobieren. Wie ich bereits schrieb: Es geht hier nur um wenige Zehntelmillimeter!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

- Sollte es übrigens doch einmal passiert sein, dass ein Tonrad blockiert, so ziehen Sie den Magnetstift natürlich sofort wieder zurück. Geht das nicht, weil er zu sehr klemmt, schalten Sie den Generator bitte sofort aus, warten den Stillstand ab und ziehen den Magnetstift dann mit einer geeigneten Zange wieder zurück. Anschließend drehen wir den Generator auf die Seite und untersuchen das Tonrad auf Beschädigungen. Meist wird nur etwas von dem orangefarbenen Schutzlack abgeschabt sein. Je nach Größe und Art der Beschädigung ist diese Schutzschicht durch Überpinseln wieder zu reparieren. Geeignet ist dafür ein dünner Klarlack, der einigermaßen dünnflüssig ist. Darauf achten, dass sich keine Nasen bilden, denn der Luftspalt zwischen Tonrad und Tonabnehmer (Magnetstift) ist in der Regel sehr klein! Viel wichtiger ist übrigens, dass die Spitze des Magnetstiftes den "Körperkontakt" mit dem Tonrad unbeschadet überstanden hat. Das merkt man aber spätestens dann schon selbst, wenn sich der betreffende Ton nicht mehr auf Sollspannung abgleichen lässt.

4.7.5 Magnetstift aufmagnetisieren

In Einzelfällen wurde tatsächlich beobachtet, dass sich der Magnetstift im Laufe der Zeit entmagnetisiert hatte. Es ist grundsätzlich möglich, diesen wieder aufzumagnetisieren. Dazu beschreibt Clubmitglied Ulrich Zwarg in [9] eine Methode, die wir zwar nicht ausprobiert haben (eher „nicht ausprobieren mussten“), jedoch unbedingt an dieser Stelle wiedergegeben werden sollte.

Ich gehe nun davon aus, dass der zu geringe Magnetismus des Magnetstiftes als Fehlerursache für eine zu geringe Ausgangsspannung zweifelsfrei festgestellt wurde (alle Prüfungen nach Abschnitt 4.6.6 sind ohne Befund durchgeführt worden). Als Nachweis dieses Verdachts kann man auch mit einem Metallschraubendreher auf das Ende des Magnetstifts tippen und die (nicht mehr vorhandene) Anziehungswirkung beobachten.

Das Aufmagnetisieren erfolgt in folgenden Schritten:

1. **Hilfswicklung auf den Magnetstift aufwickeln**
   Man besorgt sich ein isoliertes Stück starren Klingeldraht mit ausreichendem Querschnitt (möglichst Querschnittsfläche von 1,5mm^2 oder mehr) und wickelt es mit ein paar Windungen auf den Magnetstiftkörper in der jeweiligen Blechkammer des Tongenerators (schematisch dargestellt in Abbildung 52). Das ist eine sehr diffizile Arbeit, für die man etwas Fingerspitzengefühl braucht (beengte Platzverhältnisse). Je mehr Windungen man schafft, desto besser. Mit etwa 5 bis 10 Windungen sollte es aber funktionieren.

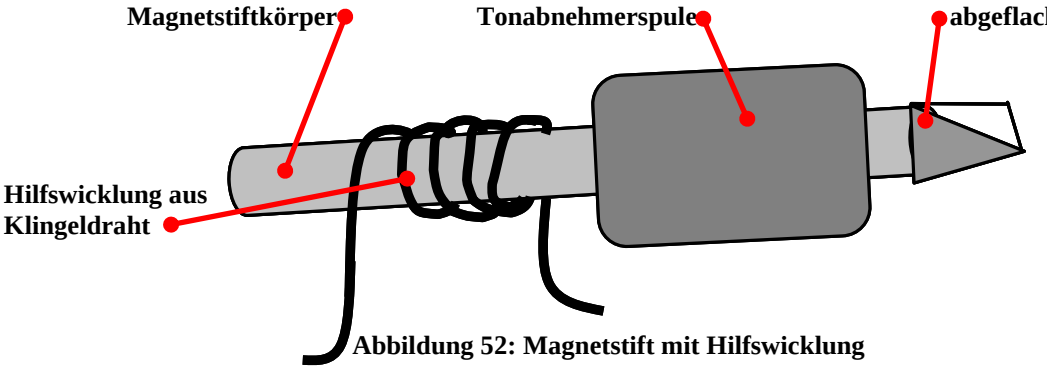


Abbildung 52: Magnetstift mit Hilfswicklung

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

2. mit Netzgerät Magnetisierungsrichtung (=Polarität) ermitteln
Jetzt schickt man durch diese Wicklung etwas Gleichstrom aus einem regelbaren (und kurzschlussfesten) Labornetzteil. Langsam von Null an hochregeln und dabei – bei laufendem Generator- die Tonspannung auf dem Oszilloskop kontrollieren. Wird bei steigendem Strom die Ausgangsspannung kleiner, dann stimmt die Polarität des Magnetfelds noch nicht (Nord-Süd-Richtung) und man muss am Anschluss der Hilfswicklung Plus und Minus miteinander vertauschen. Bei korrekter Polarität verstärkt sich die Tonspannung mit zunehmendem Spulenstrom. Diese Polarität (=Anschluss von „Plus“ und „Minus) bitte nun für den nächsten Schritt unbedingt merken!

3. mit selber Polarität mit mehreren kurzen Stromstößen aufmagnetisieren
Jetzt benötigt man eine kräftige Autobatterie, um mit der Klingeldraht-Hilfsspule ein ausreichend starkes Magnetfeld zu erzeugen, damit der Magnetstift wieder aufmagnetisiert wird. Das nun folgende Verfahren ist wirklich nichts für schwache Nerven und „Schwachstrom-Amateure“: man tippt nämlich die Anschlüsse der Hilfswicklung (polaritätsrichtig) **ganz kurz** (Zehntelsekunden!) auf die Anschlüsse der Autobatterie! Dadurch fließt durch die Spule zwar nur ein sehr kurzer, aber extrem kräftiger Stromstoß (je nach Stärke der Batterie bis zu mehreren hundert Ampère!!!). Das wiederum erzeugt –nicht nur Funken, sondern auch- ein so starkes Magnetfeld, dass der Magnetstift wieder auf Dauer magnetisiert wird.

Vorsicht: einmal zu lange an der Batterie gehalten, wird der Anschlussdraht sofort aufglühen und man zieht sich unter Umständen böse Verbrennungen zu! Bitte niemals den Kurzschlussstrom einer geladenen Autobatterie unterschätzen (mal ganz abgesehen davon, dass siche eine Blei-Säure-Batterie bei länger anhaltendem Kurzschluss stark erhitzen und im Extremfall sogar explodieren kann)!

4. Hilfswicklung wieder entfernen
Hat bis jetzt alles „unfallfrei“ geklappt, lässt man die Hilfswicklung kurz abkühlen und wickelt sie schließlich wieder vom Magnetstift ab. Danach gleicht man den entsprechenden Ton dann ganz normal auf Soll-Ausgangsspannung gemäß Referenztabelle ab.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.7.6 Endkontrolle

Nachdem man den elektrischen und mechanischen Abgleich erfolgreich gemeistert hat, erfolgt eine erneute Messung des Generatorfrequenzgangs. Man kann nun sehr gut sehen, welchen Einfluss die ganzen Arbeiten auf die Messkurven hatten.

Beim Abgleich meiner C-3 schrieb ich damals in mein "Tagebuch":

"Während beim Originalzustand im oberen Tonbereich so ziemlich nichts mehr richtig passte, lagen durch den elektrischen Abgleich bereits sämtliche Töne des Mittenbereichs schon einmal im 10%-Toleranzschlauch. Nach dem ersten mechanischen Abgleich lagen nun auch die hohen Töne in der Toleranz. Dieses Messdiagramm wurde ausgedruckt und die auffälligsten Töne noch einmal markiert. Bei einigen hatte ich es beim ersten mechanischen Abgleich doch etwas "zu gut" gemeint, sodass ich sie -im Vergleich zu anderen- wieder etwas im Pegel drosseln musste (also Magnetstift etwas rausziehen); einige andere mussten noch etwas mehr Ausgangsspannung liefern (also Magnetstift reindrücken).

Nach dem zweiten Abgleich nahm ich die ganzen Tonspannungen noch ein drittes Mal auf. Das nun ermittelte Amplitudendiagramm stellte mich endlich zufrieden. Fast alle Ausgangsspannungen sämtlicher Tonräder liegen mittig im Toleranzschlauch, es gab keine nennenswerten "Ausreißer" oder "Buckel" mehr im Frequenzgang."

Mit diesem letzten Schritt ist der Abgleich des Tongenerators beendet und er kann wieder in die Orgel eingebaut werden.

4.7.7 Kontrolle des Generatorblechs

Bevor der Generator wieder in die Orgel eingebaut wird, sollte das obere Generatorblech (hier sind alle Schwingkreise drauf angebracht) auf gute Schraubbefestigung hin kontrolliert werden! Lose Schrauben und schlechte Kontakte fördern Übersprech-Phänomene zwischen den einzelnen Tönen. Also hier bitte nochmals kontrollieren (4 Schrauben an den Ecken, sie auch Abbildung 53) und ggfs. nachziehen!

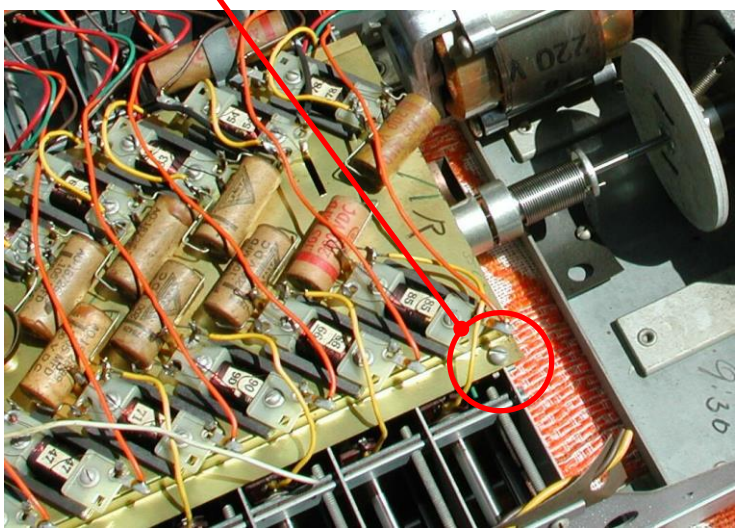


Abbildung 53: Schraube auf Generatorblech

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.7.8 Effektivwert oder „Spitze-Spitze“ ?

Noch einiges zur Messtechnik:

Das Ausmessen der Tonrad-Ausgangsspannungen bei einem Generatorabgleich erfolgt in meinen Augen wirklich am zweckmäßigsten mit einem Oszilloskop, bei dem die Scheitelspannungen (mV_{ss}) abgelesen werden. Der Perfektionist könnte hier wieder das NF-Audiovoltmeter bemühen und die Spannungen bis zur zweiten Nachkommastelle hin abgleichen. Hier sei jedoch erwähnt, dass das Umrechnen von Scheitelspannungen (in diesem Format sind die Referenz-Messwerte angegeben) in Effektivwert (das zeigt das Audiovoltmeter üblicherweise an) über die bekannte Formel

$$U_{ss} = U_{eff} \cdot 2 \cdot \sqrt{2}$$

nur für sinusförmige Ausgangsspannungen gilt! Für die Töne >12 mag das überwiegend zutreffen, spätestens bei den tiefen Basstönen 1..12 versagt hier aber das normale Audio-Voltmeter. Wenigstens hier muss zwingend das Oszilloskop verwendet werden.

Wer trotzdem für die Töne 13..91 effektiv messen und abgleichen möchte; dem seien hier die Umrechnungen gegeben:

U_{ss}= 12mV -> U_{eff} = 4,243 mV (Töne 13..48)
U_{ss}= 15mV -> U_{eff} = 5,303 mV (Töne 49..91)

In Kapitel 16.4 wird das Thema „Warum misst ein einfaches Multimeter nur sinusförmige Wechselspannungen richtig?“ noch einmal aufgegriffen und erläutert!

4.7.9 Weitere Literaturstellen

Zum Thema „Tonradgenerator“ habe ich gleich mehrere Literaturverweise gefunden. [3] beschreibt grundsätzliche mechanische und elektrische Eigenschaften von Hammond ToneWheel-Generatoren.

[9] beschäftigt sich in erster Linie mit dem Abgleich.

In [11] sind u.a. viele Fotos und Detailaufnahmen der Antriebsmechanik zu finden.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4.7.10 Reproduzierbarkeit der Messungen

In Abbildung 54 fragte ich mich, wie gut die gesamten Zugriegel- und Generatorfrequenzgangsmessungen an sich überhaupt wiederholbar sind. Zur Beantwortung dieser Frage führte ich drei Messreihen des Zugriegelfrequenzgangs an der frisch restaurierten C-3 durch.

Die erste Messung wurde mit einem NF-Audioanalyzer HP8903A der Firma Hewlett-Packard durchgeführt. Zur Kontrolle wurde direkt danach ein zweites Mal gemessen und alle Werte in eine Tabelle eingetragen.

Die dritte Messreihe diente als Test meines soeben fertig gestellten Messprogrammes für einen IEC-Bus-steuerbaren Funkmessplatz „SMFP2“ von Rohde&Schwarz. Durch weitestgehende Fernsteuerung per Rechner wird das Aufnehmen eines Zugriegelfrequenzgangs somit sehr vereinfacht. Die hier gewonnenen Messwerte werden automatisch in Tabellenform auf Diskette abgespeichert und können hinterher sofort als Zahlenwerte weiter verwendet werden, ohne sie per Hand erst nachträglich in den Rechner eintippen zu müssen. Lediglich die Spieltasten auf dem Manual der Orgel sind dabei noch nacheinander von Hand zu drücken.

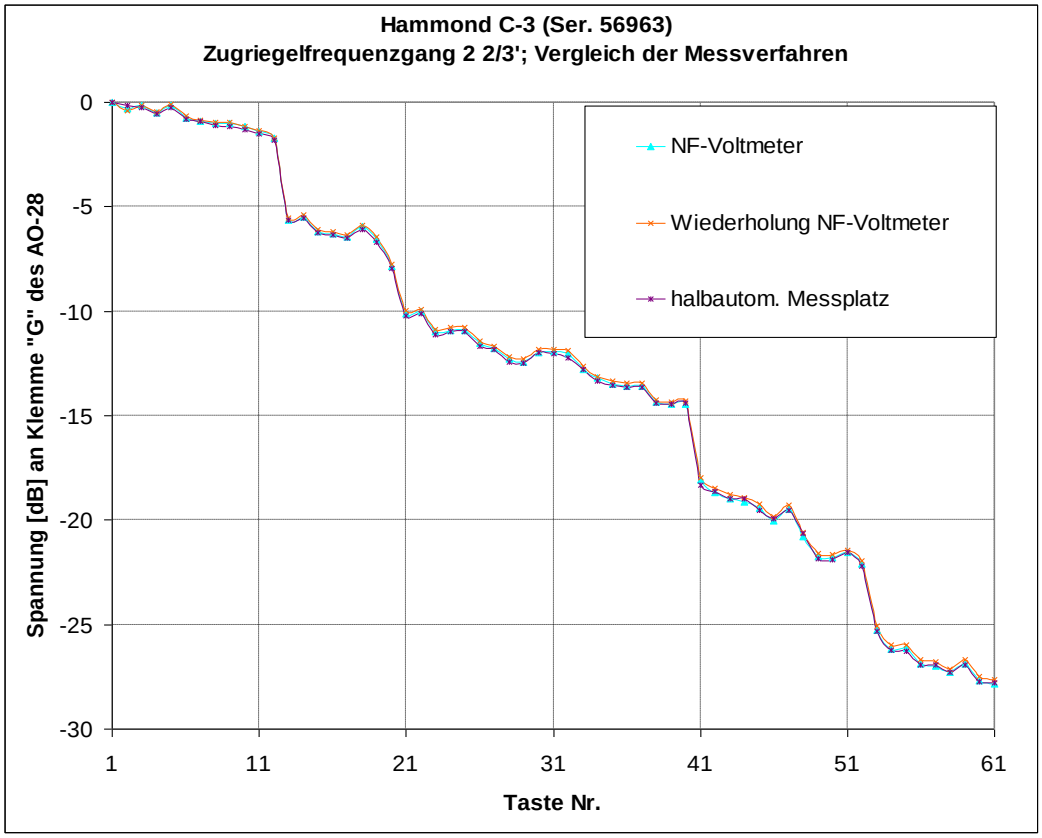


Abbildung 54: Vergleich Messverfahren

Alle drei Messreihen wurden grafisch und rechnerisch ausgewertet. Es wurde eine mittlere Wiederholungenauigkeit von **0,12dB** ermittelt. Das spricht nicht nur für die Genauigkeit der verwendeten Messtechnik, sondern ebenfalls für die Reproduzierbarkeit der Messung an sich.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

5 Zerlegen einer Hammond C-3

Sind Sie schon soweit? Bitte nicht erschrecken- in diesem Kapitel „rupfen“ wir eine Hammond C-3 wirklich komplett auseinander! Die nun folgenden Bilder sollen aber nicht ent-, sondern ermutigen: so schwierig ist es nämlich gar nicht. Wichtig ist dabei eigentlich nur, mit Ruhe und Systematik vorzugehen und nichts „mal eben schnell“ zu tun. Meistens verliert man dabei dann irgendwann die Übersicht und der anschließende Zusammenbau wird ein großes Ratespiel.

Genau dem soll dieses Kapitel entgegenwirken. Obwohl die Hammond-Orgel auf den ersten Blick aus einem unübersichtlichen Chaos von Drähten und Baugruppen zu bestehen scheint, so waren wir bestrebt, die technischen Komponenten ihrer Funktion nach zu gliedern und einzeln zu behandeln. Hier also die Beschreibung der fachgerechten Demontage der Komponenten aus der Hammond-Orgel!

5.1 Sicherheitshinweise

An dieser Stelle sei aber der Vollständigkeit halber dennoch vorher auf die üblichen Gefahren hingewiesen, die im Allgemeinen von elektrischen Geräten ausgehen! Besonders bei Röhrenverstärkern (wie hier im Einsatz) haben wir es mit Spannungen von mehreren hundert Volt zu tun, die keinen Fehler verzeihen! Auch im ausgeschalteten Zustand müssen Sie damit rechnen, dass die Kondensatoren von Röhrenverstärkern noch nach mehreren Tagen (!) auf extrem hohe Spannungen aufgeladen sind und Ihnen bei Unachtsamkeit einen lebensgefährlichen Stromschlag verpassen können.

Daher gilt bei allen solchen Geräten besondere Vorsicht. Sieb-Elkos entladen Sie bitte vor der Arbeit mit einem dicken 1kOhm-Widerstand (isoliert!) und messen hinterher die Spannung zur Kontrolle noch einmal nach. Der Einsatz eines Trenntrafos (1:1-Trafo, zu sehen in Abbildung 41) ist überdies äußerst sinnvoll. Wer elektrisch zwei "linke Hände" hat, überlässt diese Arbeiten lieber einem erfahrenen (Hammond)-Techniker!

Bitte nehmen Sie sich diese Sicherheitshinweise unbedingt zu Herzen!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

5.2 Vorbereitungen

Für die Demontage benötigen Sie zuerst einen geeigneten, trockenen Stellplatz. Ob es nun unbedingt das heimische Wohnzimmer sein muss, sei mal dahingestellt. Ich nahm das Angebot meiner Eltern zur Nutzung Ihres Werkschuppens dankbar an.

An Werkzeugen wird eigentlich nicht viel benötigt:

Ein Satz üblicher Schraubendreher und zwei Unterleg-Leisten (ca. 2cm x 2cm) für den Generator (zum späteren Einsatz als Gleitkufen gedacht) reichen eigentlich schon für einen fachgerechten Ausbau aus.

Wenn Sie in die Verlegenheit kommen sollten, zöllige Schraubenköpfe lösen zu müssen (z.B. bei den langen Schrauben im Manualblock, siehe Abbildung 74), so benötigen Sie streng genommen auch einen zölligen Maulschlüsselsatz. Wer nicht unbedingt mit der Wasserpumpenzange die Schraubenköpfe beschädigen möchte, kann sonst auch auf einen guten Steckschlüsselsatz zurückgreifen, der in den Flanken ballig (=rund) geschliffen ist. Mit der Werbung "Kraftübertragung über die Flanken, nicht über die Ecken" werden solche Knarrenkästen inzwischen sogar im Baumarkt angeboten. Durch diese spezielle Bauart gestatten die Nüsse einem Schraubenkopf mehr Spiel, ohne sie gleich zu beschädigen. Auch wenn der gelernte Profi-Mechaniker nun laut aufstöhnen mag, möchte ich diese Art Knarrenkasten jedem empfehlen, der zöllige Sechskant-Schrauben lösen muss und die Ausgabe für einen extra Maulschlüsselsatz in Zoll-Maßen scheut.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

5.2.1 Roadmap

Um ein grundlegendes Verständnis davon zu bekommen, in welcher Reihenfolge der Ausbau der einzelnen Baugruppen vorgenommen werden sollte, dient die nun folgende Roadmap. In den jeweils angegebenen Kapiteln werden die einzelnen Themengebiete ausführlicher behandelt (siehe dort).

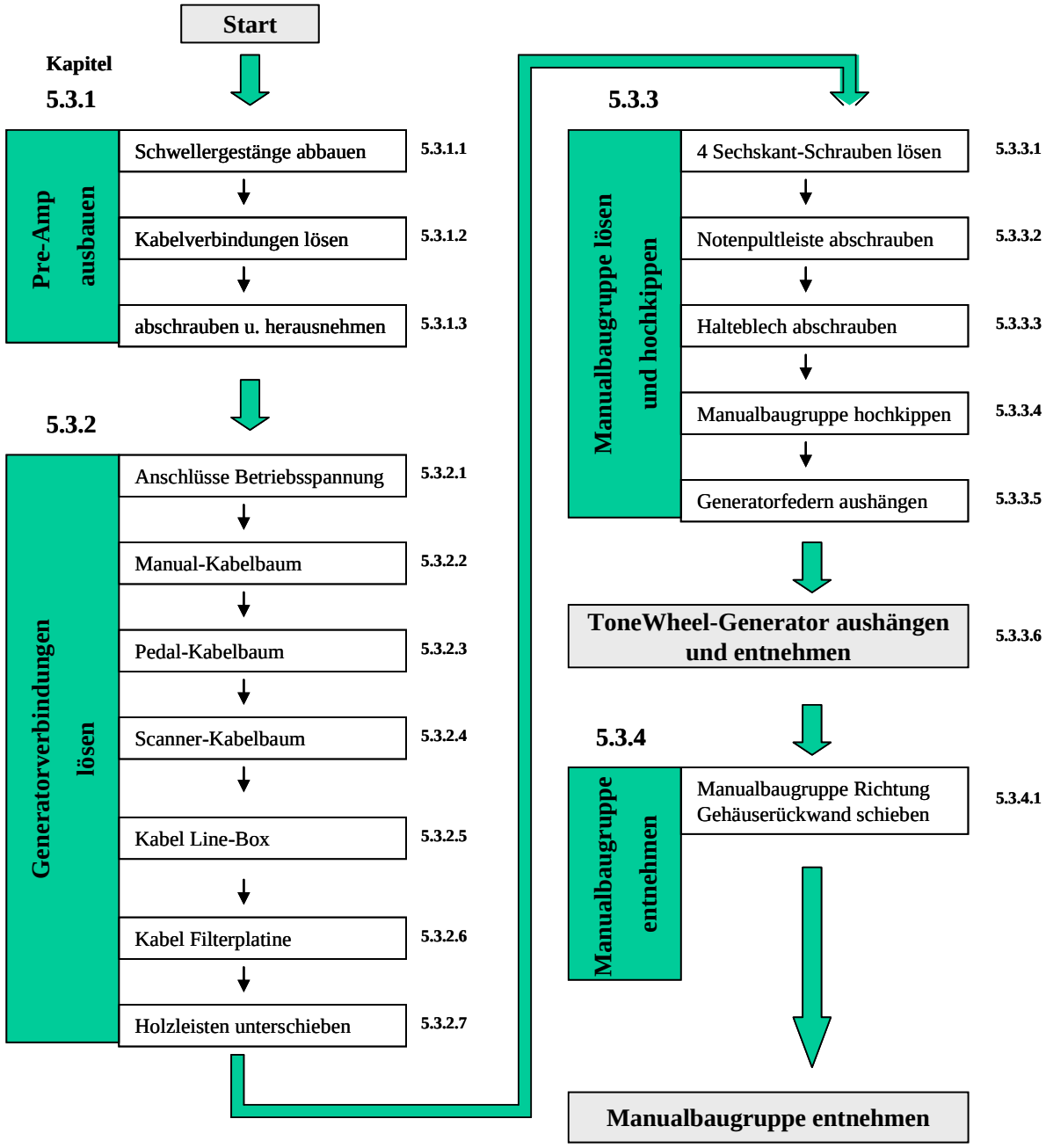


Abbildung 55: Ausbau-Roadmap

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

5.3 Der Ausbau

Wie schon bereits eingangs erähnt: Das Zerlegen einer Hammond-Orgel ist nicht so schwierig wie es auf den ersten Blick aussehen mag. Es ist nur ziemlich aufwändig. Ich schätze den Aufwand für einen routinierten Hammond-Techniker jedoch auf nicht mehr als etwa 2 Stunden. Ein Laie kann durchaus das ganze Wochenende damit zubringen, die vielen "wirr" herumliegenden Kabel zu beschriften und alle Schräubchen sauber in bereitgestellte Schälchen zu legen. Wenn Sie das erste Mal eine Orgel demontieren: lassen Sie sich Zeit und beschriften Sie alles. Wenn Sie eine Digitalkamera besitzen: fotografieren Sie jede Ecke und jeden Winkel mehrmals. Auch wenn sich - wider meines Erwartens!- herausstellen sollte, die Aufnahmen später beim Zusammenbau nicht mehr zu brauchen, so haben Sie doch wenigstens ein schönes Andenken! (Für uns waren diese Bilder der Grundanstoß zum Schreiben dieses Buches ;-)

5.3.1 Pre-Amplifier ausbauen

Zu allererst zieht man natürlich den Netzstecker aus der Steckdose!

Dann entfernt man die Orgelrückwand, nachdem die zwei Rändelschrauben von Hand herausgedreht wurden. Man sieht nun das Orgel-Innere (Abbildung 56):

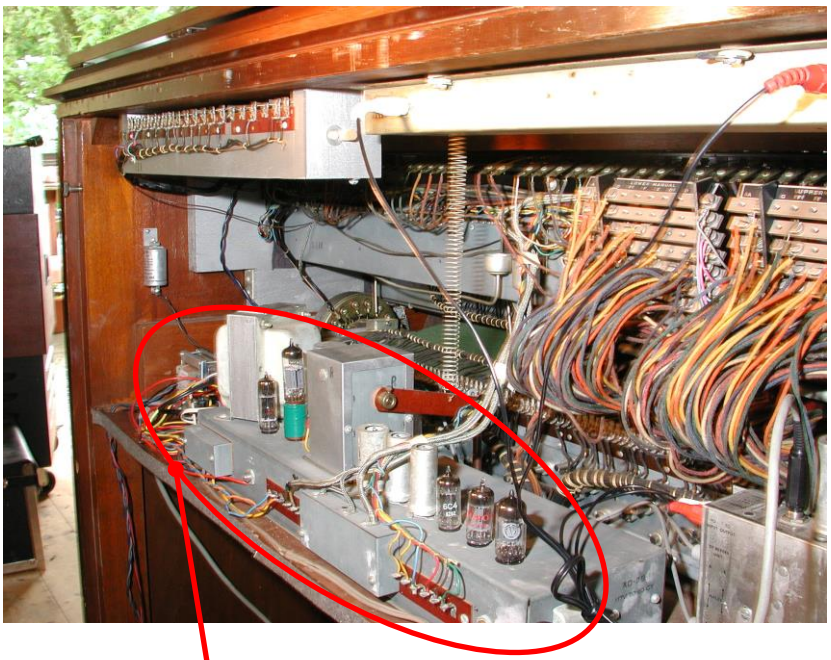


Abbildung 56: Blick ins Orgelinnere

Der große Metallkasten mit den vielen "Aufbauten" drauf (man könnte auch sagen: "mit der interessanten Skyline") ist der Vorverstärker; auch "Pre-Amplifier" genannt. Eine C-3 (bzw. B-3, RT-3,...) besitzt das Modell "AO-28" und ist ausschließlich mit Röhren als aktiven Bauelementen bestückt.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Unser Ausbau beginnt also mit dem Entfernen dieses Vorverstärkers. Das ist relativ einfach, es sind genau drei Sachen zu tun:

5.3.1.1. Schweller-Hebel abschrauben

Die Schraube direkt am Schweller-Hebel lösen und seitlich von der Metallachse schieben.

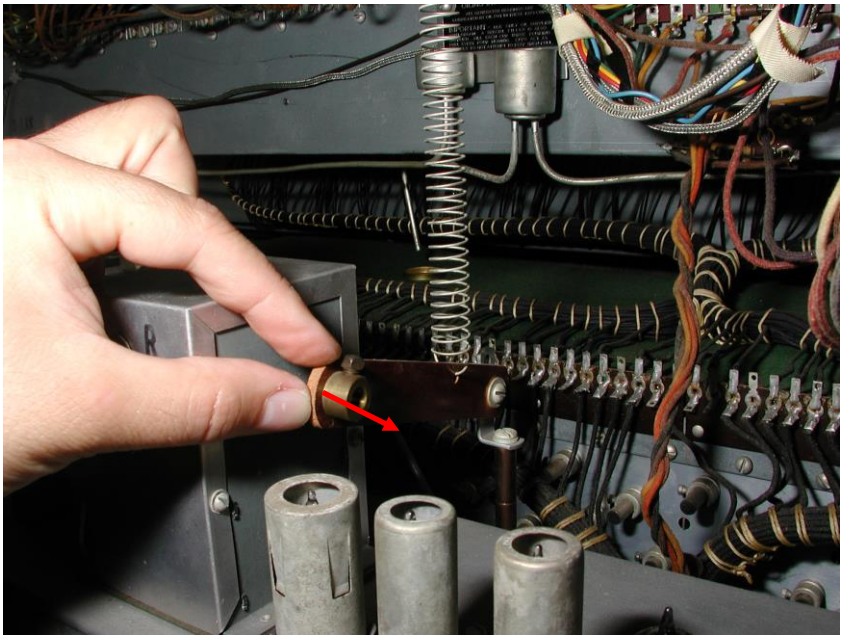


Abbildung 57: Schwellergestänge

... und dann hochklappen.
Mit dieser Konstruktion steuert /dreht der Organist einen Drehkondensator (im Innern der Blechhaube) und verstellt somit die Lautstärke der Orgel ("Swell").

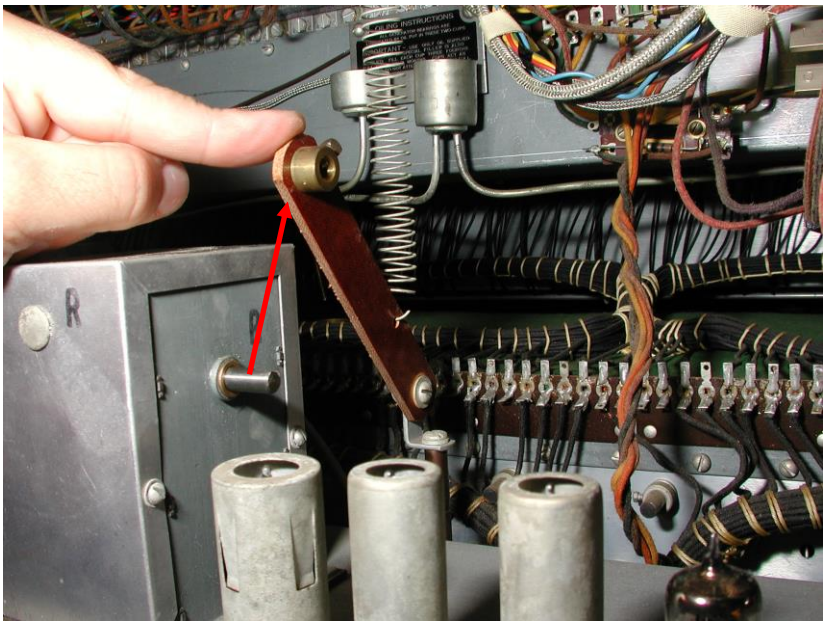


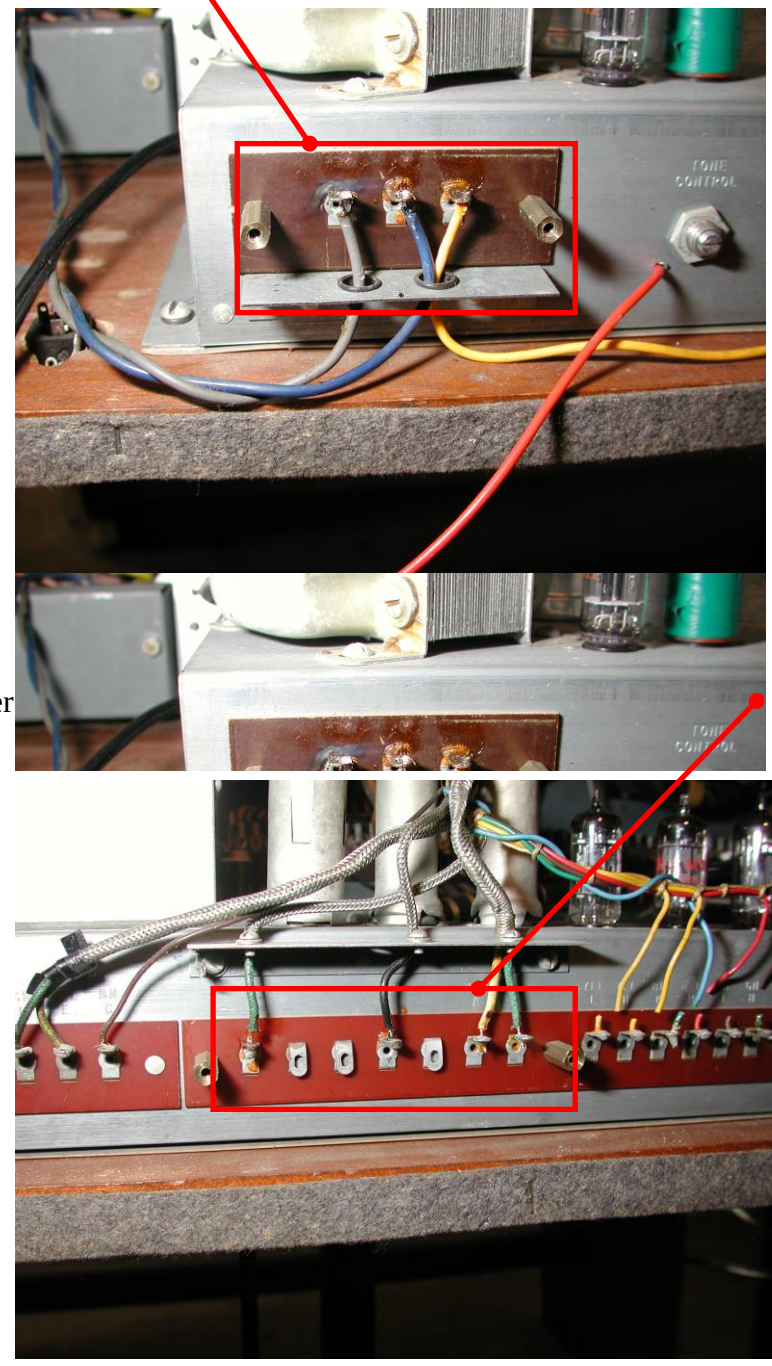
Abbildung 58: Schwellergestänge hochklappen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

5.3.1.2. Anschlussdrähte ablöten/ abschneiden

Es befinden sich zwei Metall-Hauben an der Frontseite des Pre-Amplifiers. Beide Hauben muss man abschrauben und die Kabel dort ablöten.

Unter der linken befindet sich der Netzanschluss für den Pre-Amp (Achtung: hier ist richtig "Saft" drauf!). Je nach Herstellungsland wird der Vorverstärker mit 117V/60Hz (USA) oder 230V/50Hz (Europa) betrieben.



Hinter der Signalleitungen.

Abbildung 60: rechte Blechhaube des AO-28

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Bitte die Kabel mit Klebeschildchen beschriften, damit man sie hinterher wieder an der richtigen Stelle anlötet!

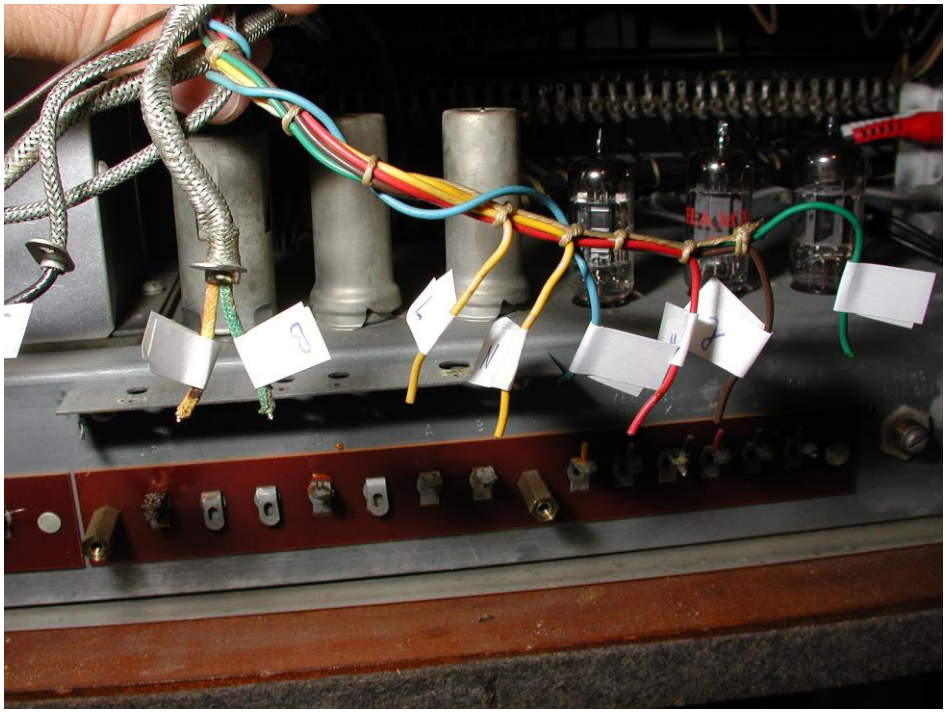


Abbildung 61: Beschriftung mit Klebeschildchen

5.3.1.3. Halteschrauben abschrauben

Danach kann man den Pre-Amp mittels eines Schlitz-Schraubendrehers an den vier Schrauben (jeweils an den Ecken) losschrauben...

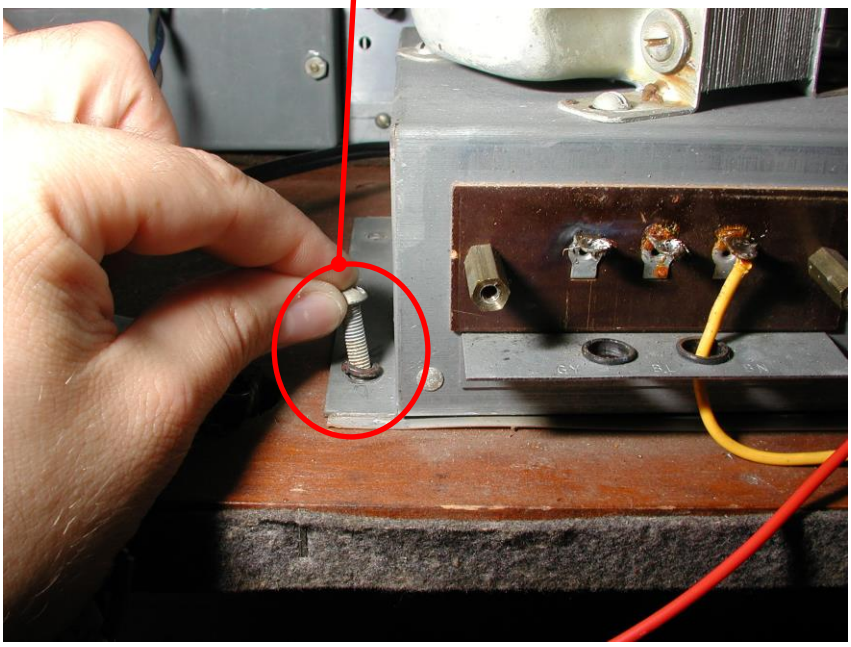


Abbildung 62: Halteschrauben herausdrehen

Hinweis: diese Schrauben entsprechen der amerikanischen Norm RoundHead, verzinkt, 10-32 UNF x 1".

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

...und vorsichtig nach vorne herausnehmen.

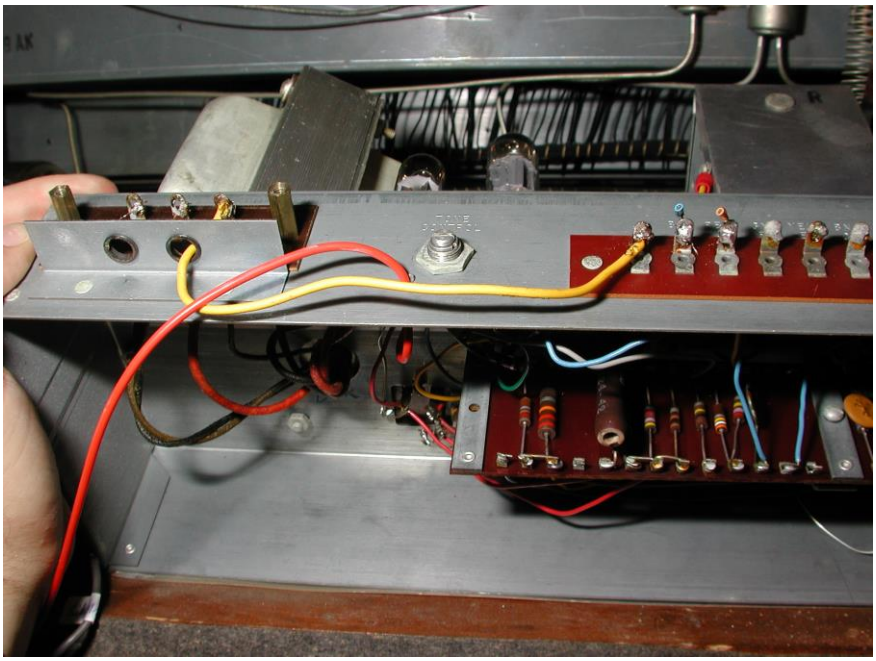


Abbildung 63: Pre-Amp herausnehmen

Hat man das geschafft, sieht die Orgel schoneinmal erheblich übersichtlicher aus (siehe Abbildung 64)!

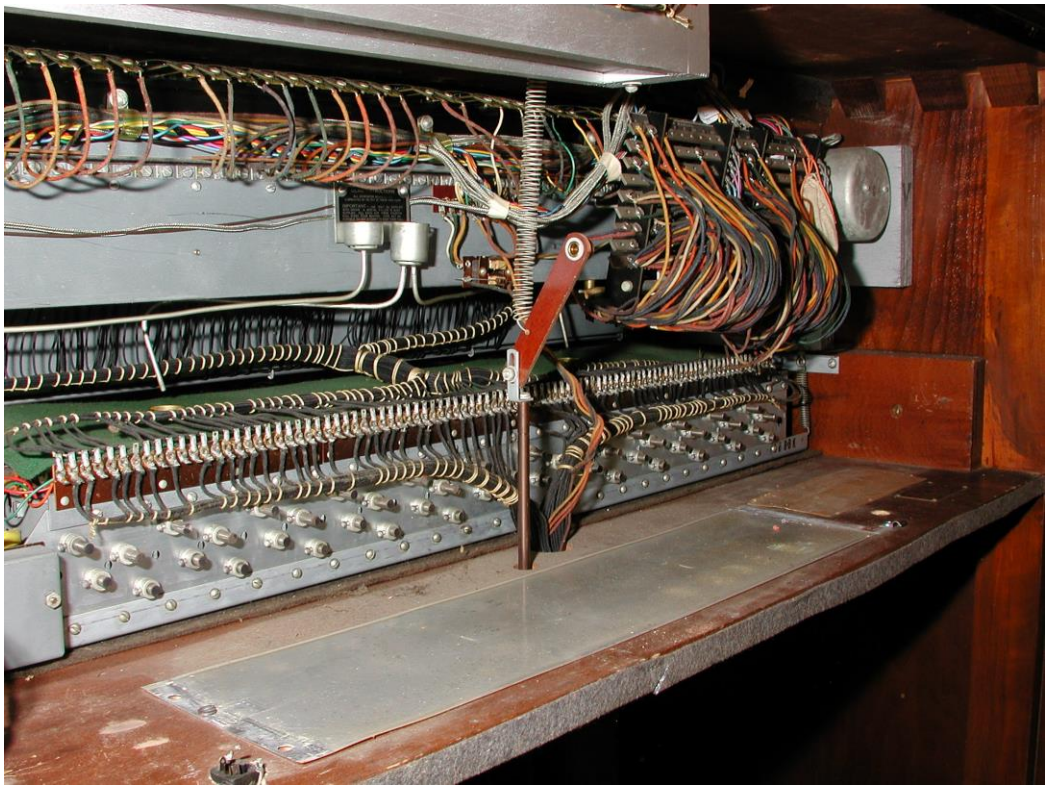


Abbildung 64: Orgelinneres mit ausgebautem AO-28

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Sind in dem Instrument noch zusätzliche Teile verbaut, so sollte man sie ebenfalls ausbauen und für den Wieder-Einbau sauber beschriften. Bei mir wurde zum Beispiel irgendwann ein Hallverstärker und ein Leslie-Anschlusskit sowie ein Kopfhörerausgang nachgerüstet. Um nicht unnötig zu verwirren, gehe ich in dieser Beschreibung darauf vorerst nicht näher ein.

Wenn man den Pre-Amp schoneinmal ausgebaut hat, schadet übrigens eine Reinigung und Säuberung seiner Anschluss-Lötösen nichts. Mit Entlötpumpe und ggfs. einem Pinsel mit etwas Spiritus oder Reinigungsalkohol (Tipp: das Spray „Kontakt 60“ sowie „Kontakt WL“ des Herstellers „Kontakt Chemie“) werden die Anschlüsse meistens wieder blank. Falls die Lötösen im Laufe der Zeit allerdings zu stark oxidiert sind (bzw. sich chemisch so verändert haben, dass man sie mit dem Lötkolben nicht richtig aufgeschmolzen bekommt), hilft ein klein wenig Lötfett (Achtung, leicht ätzend; Reste danach mit Spiritus oder Reinigungsalkohol entfernen).

5.3.2 Generatorverbindungen lösen

Das Herzstück der Orgel (der ToneWheel-Generator) ist durch viele Kabelanschlüsse mit dem Rest des Instruments verbunden. Man muss leider sämtliche dieser Verbindungen lösen, um den Generator dann schließlich entnehmen zu können.

5.3.2.1. Anschlüsse "Betriebsspannung"

Nach dem Ausbau des Pre-Amplifiers kommt man schon erheblich besser an den Tongenerator heran. Der nächste Arbeitsschritt ist das "Abnabeln", also das Lösen der am Tongenerator angelöteten Kabelbäume und Betriebsspannungen. Es sind insgesamt drei Kabelbäume (zwei am Generator, einer am Scanner), die gelöst werden müssen. Generator: einer für die Manuale, einer für den Fußbass. Der Scanner-Kabelbaum führt zur Manualbaugruppe. Alle drei müssen abgelötet werden. Doch zuerst beginnen wir mit den Betriebsspannungen.

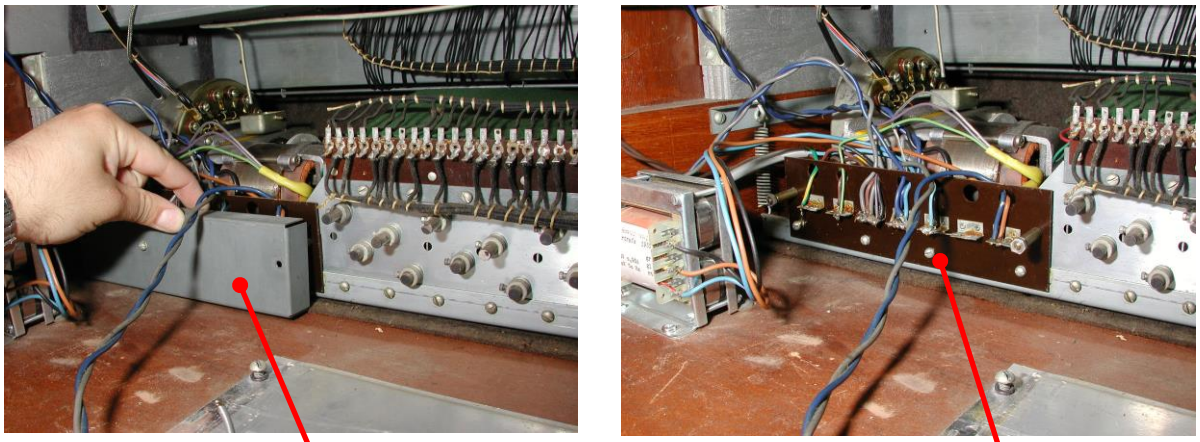


Abbildung 65: Blechhaube des Generators und Anschlusfeld

Also die Blechhaube abschrauben und die dort angeschlossenen Kabel (Stromversorgung; Achtung! 230V Netzspannung!) ablöten.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Die Anschlussleiste für die Betriebsspannung des Motors ist nun frei (siehe Abbildung 66).

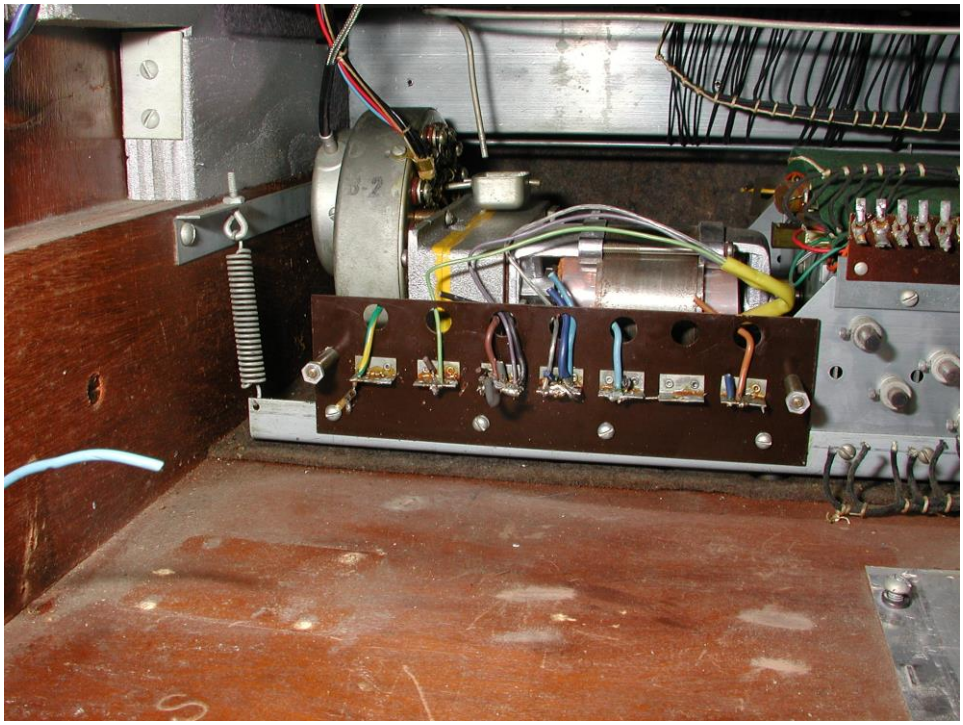


Abbildung 66: Netzanschlussleiste Tongenerator

5.3.2.2. Manual-Kabelbaum

Ein eher pragmatischer Ansatz ist es, die Kabelverbindungen des Manual-Kabelbaums einfach abzuknipsen. Ich habe auch diese Art des "Ablötens" gewählt, weil sie erheblich einfacher ist. Normalerweise sind die Anschlussdrähte hier ausreichend lang, um sie später neu abisolieren und beim Einbau wieder anlöten zu können. Wenn der Tongenerator ausgebaut ist und auf dem Labortisch steht, lassen sich nämlich die Lötösen hinterher viel bequemer mit Entlötpumpe und Entlötlitze säubern als noch in eingebautem Zustand.

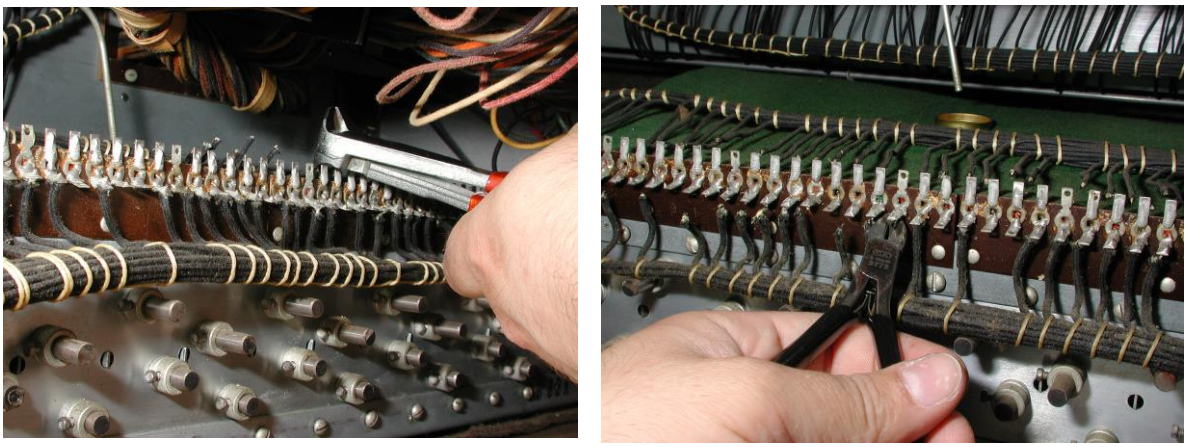


Abbildung 67: Abknipsen der Kabelbäume mit dem Seitenschneider

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Um die Drähte direkt hinter den Lötösen abknipsen zu können, lohnt sich der Einsatz eines so genannten "Vornschneiders".

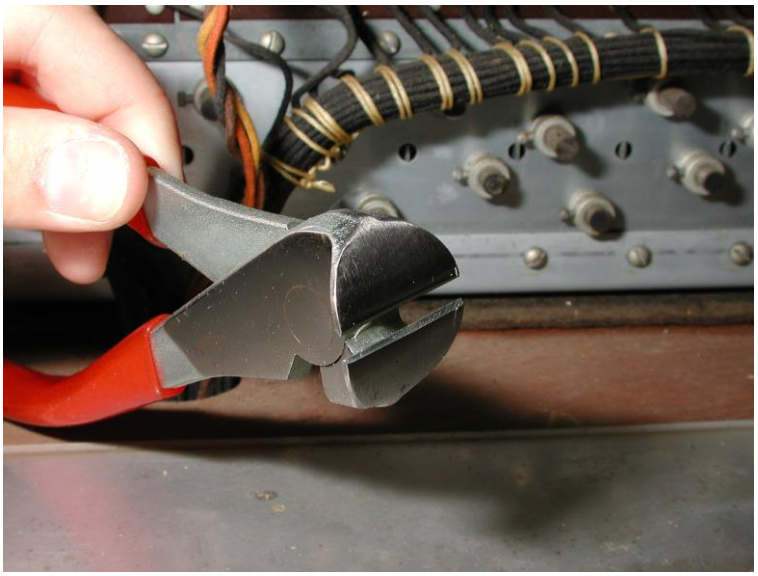


Abbildung 68: Vornschneider

5.3.2.3. Pedal-Kabelbaum

Und so sieht es dann etwa aus, wenn ein Kabelbaum gelöst wurde (in Abbildung 69 ist der abgetrennte Pedal-Kabelbaum zu sehen).

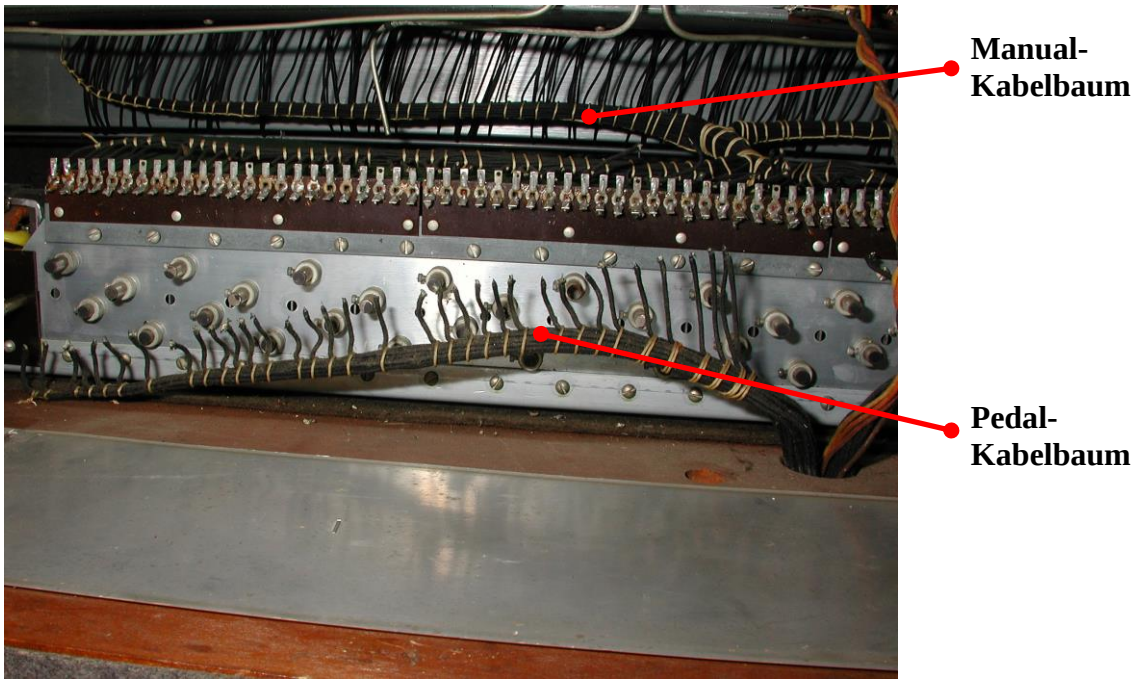
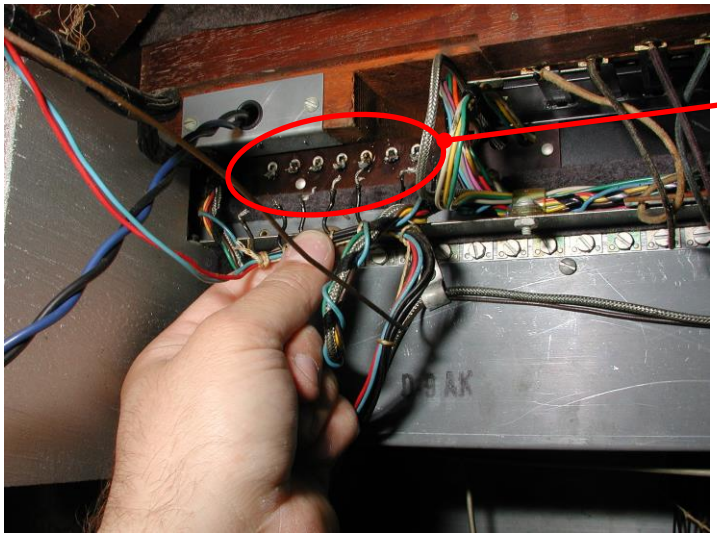


Abbildung 69: Kabelbäume abgetrennt

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

5.3.2.4. Scanner-Kabelbaum

Nun muss der -bereits angesprochene- Scanner-Kabelbaum von der Manualbaugruppe abgelötet werden. Bitte die Anschlussreihenfolge des Kabelbaums unbedingt für den späteren Wiedereinbau kennzeichnen (z.B. mit Klebeschildchen).



Der **Scanner-Kabelbaum** führt zu der hier gezeigten Lötösen-Leiste an der Manualbaugruppe. Diese Verbindungen bitte alle lösen.

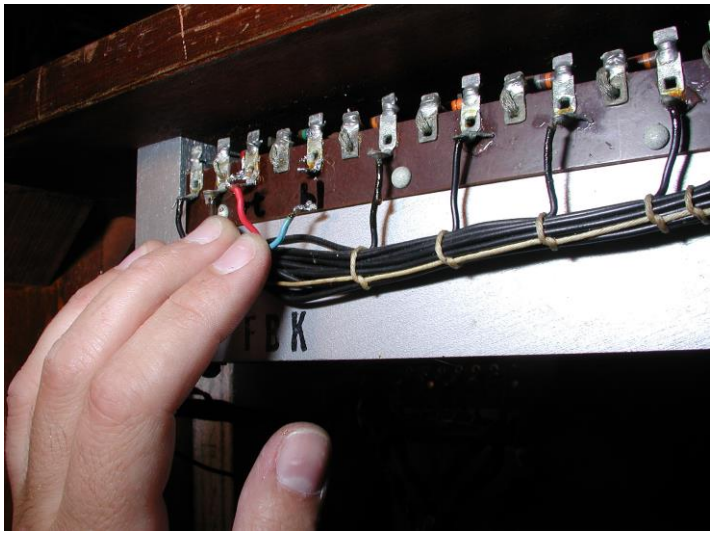
Technischer Hintergrund: es handelt sich hierbei um ein "Set" phasenverschobener Tonsignale, die nachher vom Scanner kontinuierlich abgetastet werden. Mehr dazu siehe in Kapitel 7.4.

Abbildung 70: Scanner-Kabelbaum

5.3.2.5. Kabelbaum der LineBox

Falls die Manualbaugruppe später aus dem Orgelgehäuse entnommen werden soll, muss ein weiterer Kabelbaum abgelötet werden. Es handelt sich dabei um den Kabelbaum der Linebox. Er führt zur Manualbaugruppe und leitet die 16 phasenverschobenen Ausgangssignale der LineBox zu der Vibrato-Umschalteinheit (Wahlschalter V1/C1, V2/C2, V3/C3).

Wer "nur" den Tongenerator ausbauen möchte und keine weiteren Arbeiten an der Manualbaugruppe vorhat, kann diesen Arbeitsschritt überspringen.

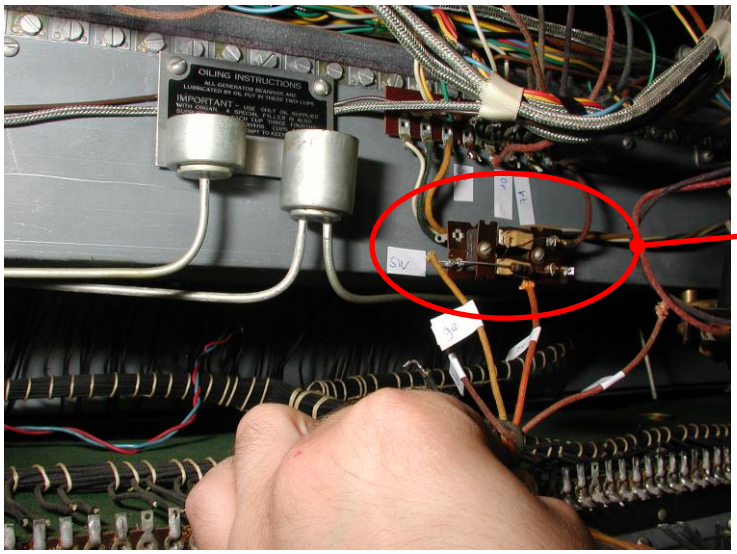


Bei unserer C-3 wurde noch die alte Bauart der LineBox verwendet. Sie ist unter dem Deckel (kopfüber) angeschraubt (siehe Abbildung 71). Die Lötösen lassen sich allesamt gut erreichen und alle dort angeschlossenen Kabel werden abgelötet. Es ist ratsam, sich –für den späteren Wiedereinbau- den Anschluss der roten und blauen Ader mit Filzstift an der LineBox zu kennzeichnen.

Abbildung 71: Kabelbaum LineBox

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

5.3.2.6. Kabelbaum Filterplatine



Die Ausgänge der Sammelschienen des Fußpedals treten auch aus dem großen Pedal-Kabelbaum aus (siehe Abbildung 72) und sind an eine kleine Filterschaltung angeschlossen, die an der Manualbaugruppe angeschraubt ist. Die vielen bunten Kabel bitte an der Filterplatine ablöten und mittels Aufklebern beschriften.

Abbildung 72: Ausgänge der Pedal-Sammelschienen

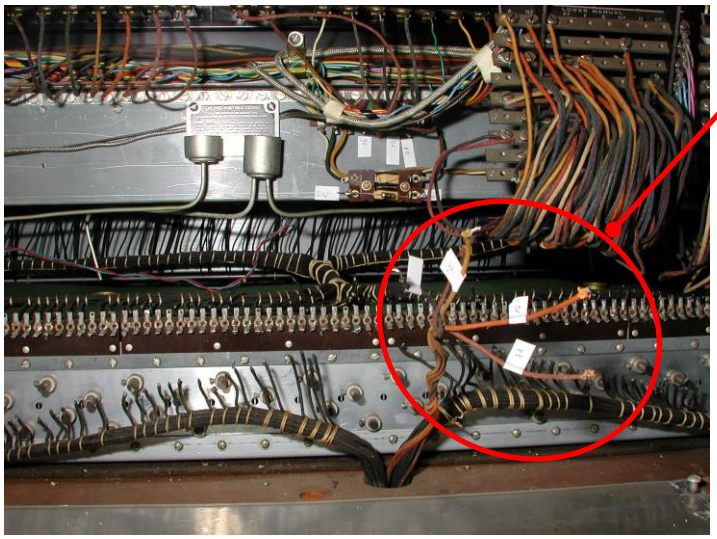


Abbildung 73: Pedalkabelbaum: auch hier bitte immer beschriften!

5.3.2.7. Holzleisten unterschieben

Nun ist der Generator frei von allen elektrischen Verbindungen. Jetzt ist ein guter Zeitpunkt, zwei (ca. 2cm hohe) Holzleisten unter den Generator zu schieben, sodass man ihn später quasi auf "Schienen" nach hinten hin (Richtung Orgelrückwand) herausziehen kann. Diese Holzleisten sind auch notwendig, damit man den Generator auch über den Kabelbaum des Pedals drüber hinwegziehen kann (siehe dazu ggfs. auch Abbildung 88). Der liegt nämlich direkt davor und versperrt sonst den Weg.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

5.3.3 Manualbaugruppe lösen und hochkippen

Um mechanische Erschütterungen und Mikrofonie-Effekte vom ToneWheel-Generator fernzuhalten, hat man ihn damals an vier Spiralfedern (an jeder Ecke eine) aufgehängt, sodass er einen knappen Zentimeter über dem Holzboden "schwebend" frei schwingen kann. Diese Federn müssen nun ausgehakt werden und schon hätte man seine Arbeit beendet. Leider kommt man momentan nur an die vorderen beiden Federn dran. Damit man auch die beiden hinteren aushaken kann, verschieben wir die gesamte Manualbaugruppe ein Stück nach vorne (also in Richtung des normalerweise davor sitzenden Organisten). Dadurch bildet sich ein kleiner Spalt, durch den man von vorne durchgreifen und auch die letzten beiden Generatorfedern aushängen kann.

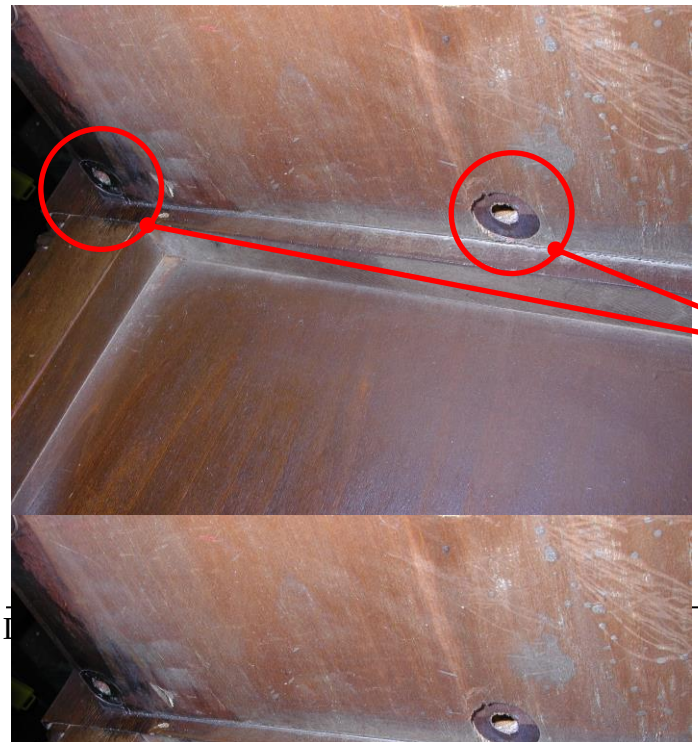
5.3.3.1. Befestigungsschrauben

Das hört sich alles schwieriger an als es ist. Wir beginnen mit der Demontage der dicken Befestigungsschrauben der Manualbaugruppe:

Abbildung 74: Befestigungsschrauben der Manualbaugruppe

Zuerst löst man die dicksten vier Sechskant-Schrauben, die man an der Orgelunterseite von außen finden kann. Wenn man sie vollständig herausgeschraubt und der Länge nach betrachtet hat, ist man meistens schon recht beeindruckt.

Zur Beruhigung aller: diese Schrauben wurden von dem Wiedereinschrauben von mir natürlich sorgfältig entrostet und eingeölt...



Die o.a. Schrauben findet man, wenn man sich unter die Orgel legt und gegen die Unterwand des Instruments schaut.

Im Bild links wurden die Schrauben bereits entfernt.

Die Abdrücke der Schraubenköpfe sind im Holz aber noch gut zu erkennen.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

5.3.3.2. Notenpultleiste

Dann schraubt man vorsichtig die Notenpultleiste ab. Hierzu braucht man nur einen kleinen Schlitz-Schraubendreher. Die vier Schrauben befinden sich -jeweils zwei links und zwei rechts- an den Enden der Notenpultleiste.

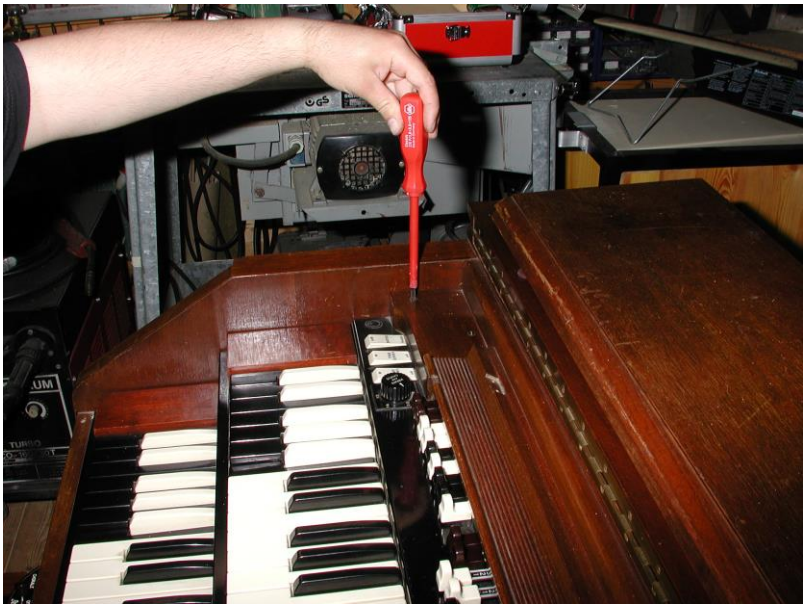


Abbildung 76: Notenpultleiste lösen

Abbildung 77: Notenpultleiste abnehmen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Die Leiste abnehmen und vorsichtig auf das Orgelgehäuse legen (die Kabel sind normalerweise lang genug).

Abbildung 78: Notenpultleiste auf das Orgelgehäuse ablegen

Soll die Manualbaugruppe später ganz herausgenommen werden, so sind noch zusätzlich die Anschlusskabel der Start/Run-Schalter abzulöten.

5.3.3.3. Halteblech

Zuletzt muss noch ein kleines Halteblech von der Manualbaugruppe abgeschraubt werden. Es befindet sich in etwa dort, wo man -als Organist vor der Orgel sitzend- mit dem Bauch an die Orgel anstößt (wer dick ist, ist klar im Vorteil). Diese Platte verbindet die vordere Holzabschlussleiste und die Manualbaugruppe (siehe Abbildung 79) und wird von unten(!) mit einem Schraubendreher gelöst (4 Schrauben).

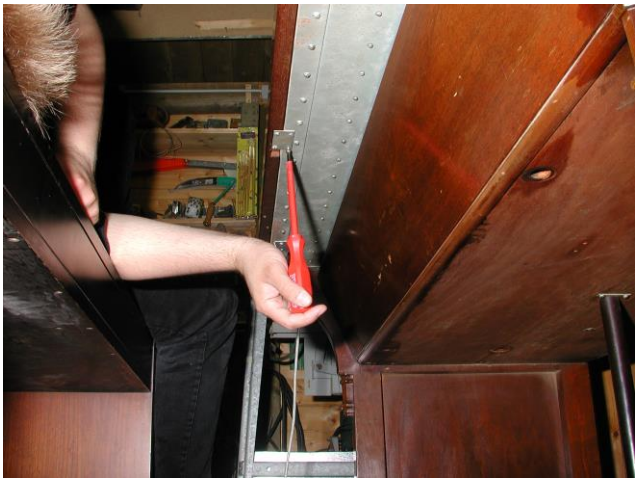


Abbildung 79: Halteplatte abschrauben

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

5.3.3.4. Manualbaugruppe hochkippen

Nun kann die Manualbaugruppe bewegt werden. Dazu vor die Orgel stellen und den gesamten Manualblock schräg nach vorne/oben zu sich hin ziehen (erfordert etwas Kraft, er ist sehr schwer). Durch seine Konstruktion kann er nicht umfallen oder wegrutschen, sondern bleibt in der Schrägstellung –wie in Abbildung 80 gezeigt- liegen.

Abbildung 80: Manualbaugruppe ankippen

Damit man die seitlichen Holzwangen des Orgelgehäuses beim Herausziehen nicht beschädigt, sollte man an beiden Seiten eine dünne Pappe dazwischenlegen (auf dem Bild nicht sichtbar).

Abbildung 81: Pappstreifen als Schutz

Hinweis: Teilweise werden zu diesem Zweck im "Fachhandel" (z.B. von TREK-II) auch kommerziell gefertigte Produkte angeboten. Es handelt sich dabei um dünne Blätter aus Fiber- oder Plexiglas, die mechanisch auch sehr strapazierfähig sein sollen. Wer öfter Orgeln auseinander baut, kann dieses Produkt sicherlich gut einsetzen. Es geht aber auch ohne; man muss nur entsprechend dünne Pappe finden (z.B. Tonpapier).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Die Manualbaugruppe nun bitte so weit von unten hochdrücken und herausziehen (=ankippen), dass sich zwischen Manualabschlussleiste (da, wo vorher das kleine Halteblech abgeschraubt wurde) und Manualbaugruppe ein Spalt bildet.

Abbildung 82: handbreit großer Spalt

5.3.3.5. Generatorfedern aushängen

Nun mit einer Hand (oder Hilfsperson) den Manualblock so weit hochkippen,...

Abbildung 83: Manualbaugruppe hochgekippt

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

...dass man mit der anderen Hand bequem durchgreifen und die Spiralfedern des Generators aushängen kann. Erst links...

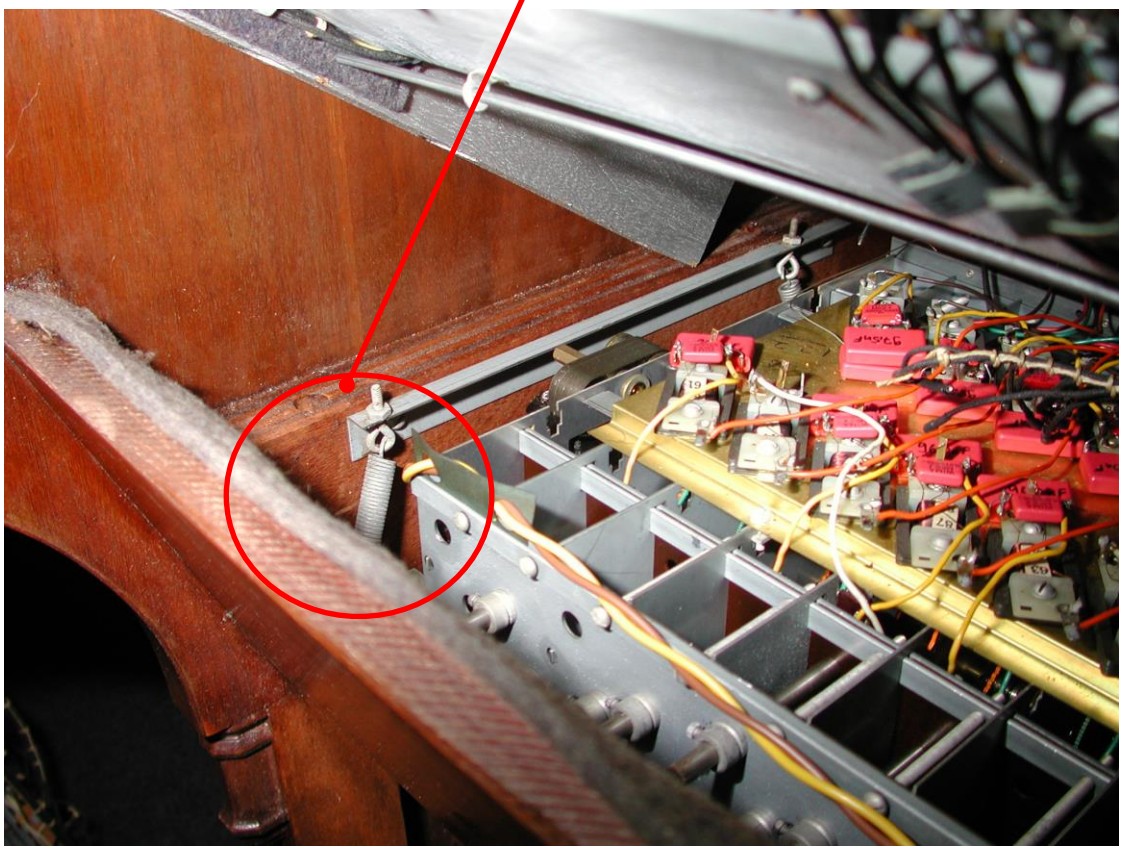


Abbildung 84: vordere Generatorfeder (links)

...dann rechts (in etwa hier...).

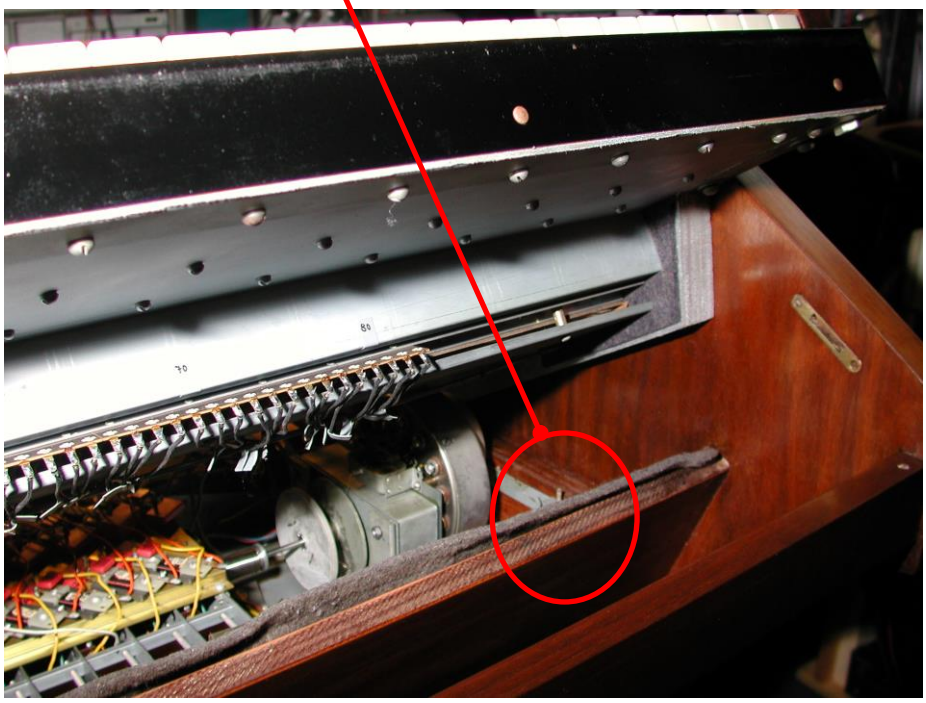


Abbildung 85: vordere Generatorfeder (rechts)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Dann die Manualbaugruppe wieder vorsichtig ablegen.

Nun die beiden anderen Spiralfedern auf der Rückseite der Orgel ebenfalls aushängen (das geht einfacher).

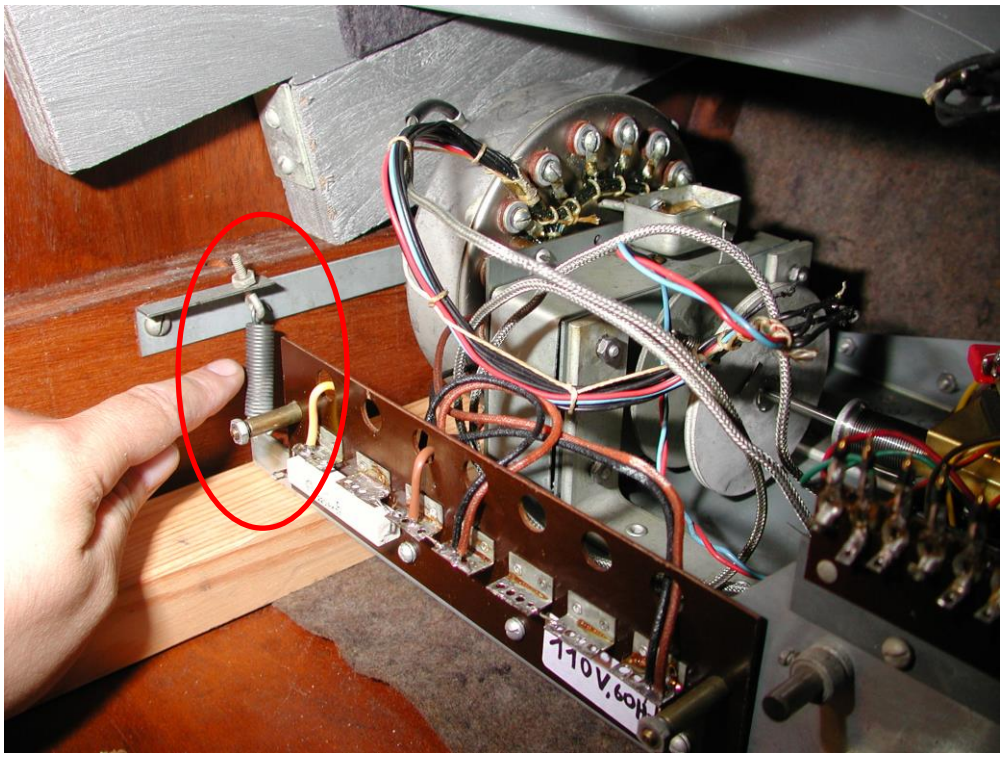


Abbildung 86: hintere Generatorfeder (links)

Abbildung 87: hintere Generatorfeder (rechts)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Hinweis:
Das gesamte Aushaken der Federn geht übrigens erheblich einfacher, wenn man – wie bereits beschrieben- zuvor zwei lange Holzleisten unter den Generator schiebt und damit die Federn vorher entlastet/ entspannt (siehe Abbildung 88).

5.3.3.6. Generator entnehmen

Nun zieht man den Generator -auf den beiden Holzleisten rutschend- vorsichtig nach hinten aus dem Orgelgehäuse heraus. Dabei darauf achten, dass sich die gelösten Kabelbäume nicht im Generator verhaken.

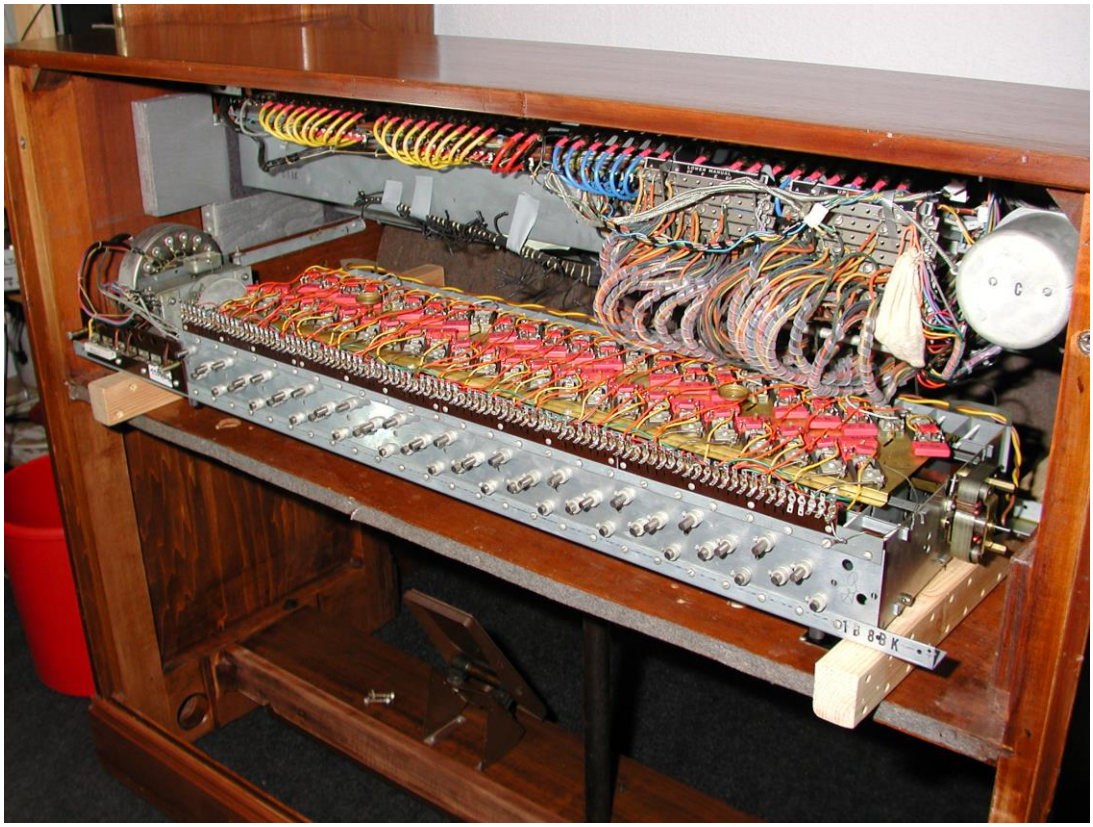


Abbildung 88: Tongenerator auf Schienen

Hinweis:
Wie Sie sicher bereits bemerkt haben, zeigen die letzten Bilder nicht mehr die ursprüngliche, sondern die bereits fertig restaurierte Orgel (es liegen etwa 3..4 Monate dazwischen). Inzwischen steht das Instrument auch nicht mehr im Werkschuppen meiner Eltern, sondern in unserem Arbeitszimmer. Hier sind die Fotografier-Möglichkeiten natürlich weitaus besser (Beleuchtung, Aufstellung der Blitzgeräte usw.) und so nutzte ich die Gelegenheit, einige Situationen erneut zu fotografieren, in denen der eigentliche Arbeitsablauf nun besser als damals zu sehen ist.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Das Unterschieben der Holzleisten hat übrigens noch einen weiteren Vorteil: der von unten kommende Kabelbaum (Pedalkabelbaum) stört nicht, weil man den Generator knapp über ihn hinwegziehen kann (siehe Abbildung 89).

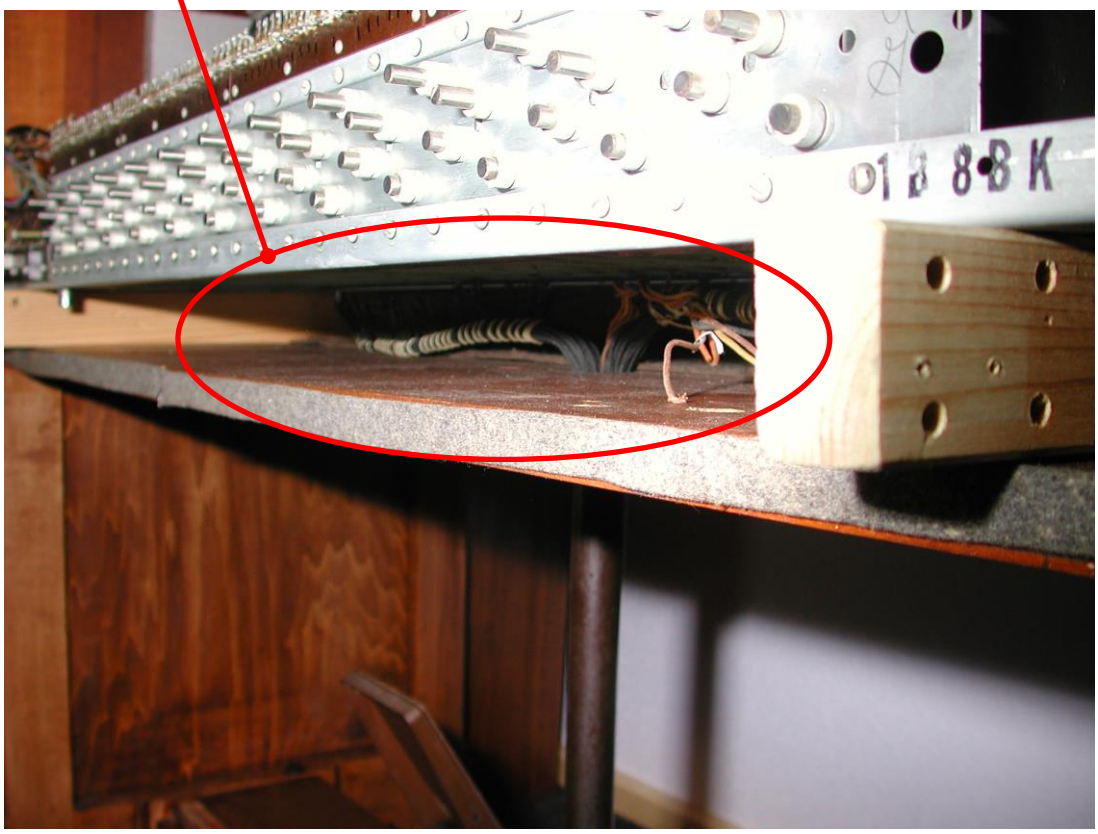


Abbildung 89: Hinwegziehen über Pedalkabelbaum

Der letzte Arbeitsschritt ist geschafft: der Generator ist nun frei und kann entnommen werden!

Will man „nur“ den Tongenerator neu abgleichen, ist man jetzt bereits mit dem Ausbau fertig. Nur wer noch Arbeiten an der Manualbaugruppe vorhat (z.B. Tastaturfilze erneuern, Sammelschienen reinigen, Tastenkontakte auswechseln), für den sind die nun folgenden zwei Seiten noch wichtig.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

5.3.4 Manualbaugruppe entnehmen

Für das Herausheben der kompletten Manualbaugruppe gibt es zwei Möglichkeiten:

- a) Herausheben des Manualblocks nach vorne

oder

- b) Herausziehen nach hinten*.

Lösungsweg a) funktioniert prinzipiell, man muss dabei aber sehr gut aufpassen, dass die seitlichen Wangen des Orgelgehäuses beim Herausheben nicht beschädigt (verkratzt) werden! Man kann hier etwas Pappe oder Tonpapier zwischenlegen, um das Furnier zu schützen.

5.3.4.1. Manualbaugruppe Richtung Gehäuserückwand schieben

Ich bevorzuge hier eindeutig Lösungsweg b): die Manualbaugruppe kann –statt nach vorne- lieber nach hinten herausgezogen werden. Der Vorteil: man beschädigt dabei nichts und kann die Baugruppe auch besser greifen (das Orgelgehäuse ist ja jetzt leer). Trotzdem ist für diese Arbeit eine Hilfsperson zu empfehlen, der Manualblock ist irre schwer!

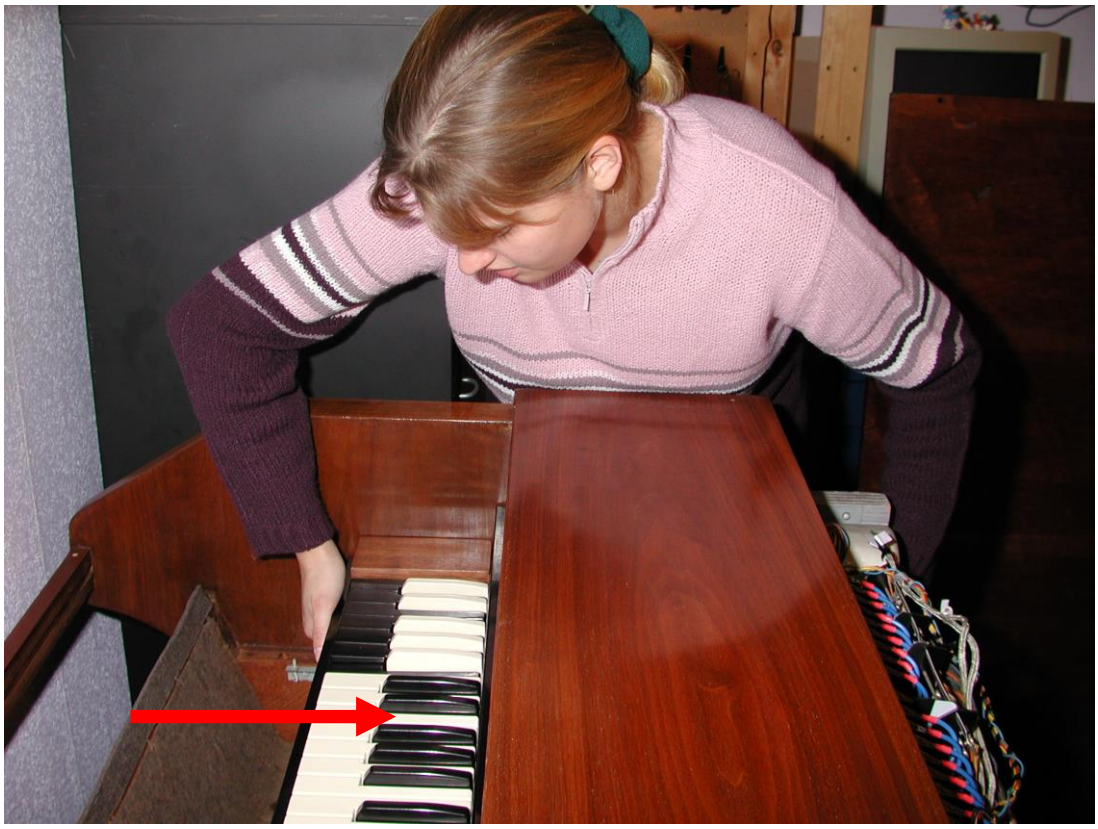


Abbildung 90: Entnehmen des Manualblocks nach hinten

* Nur möglich, wenn Tongenerator bereits ausgebaut ist.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Den Manualblock so weit nach hinten herausziehen, dass er nun entnommen werden kann.

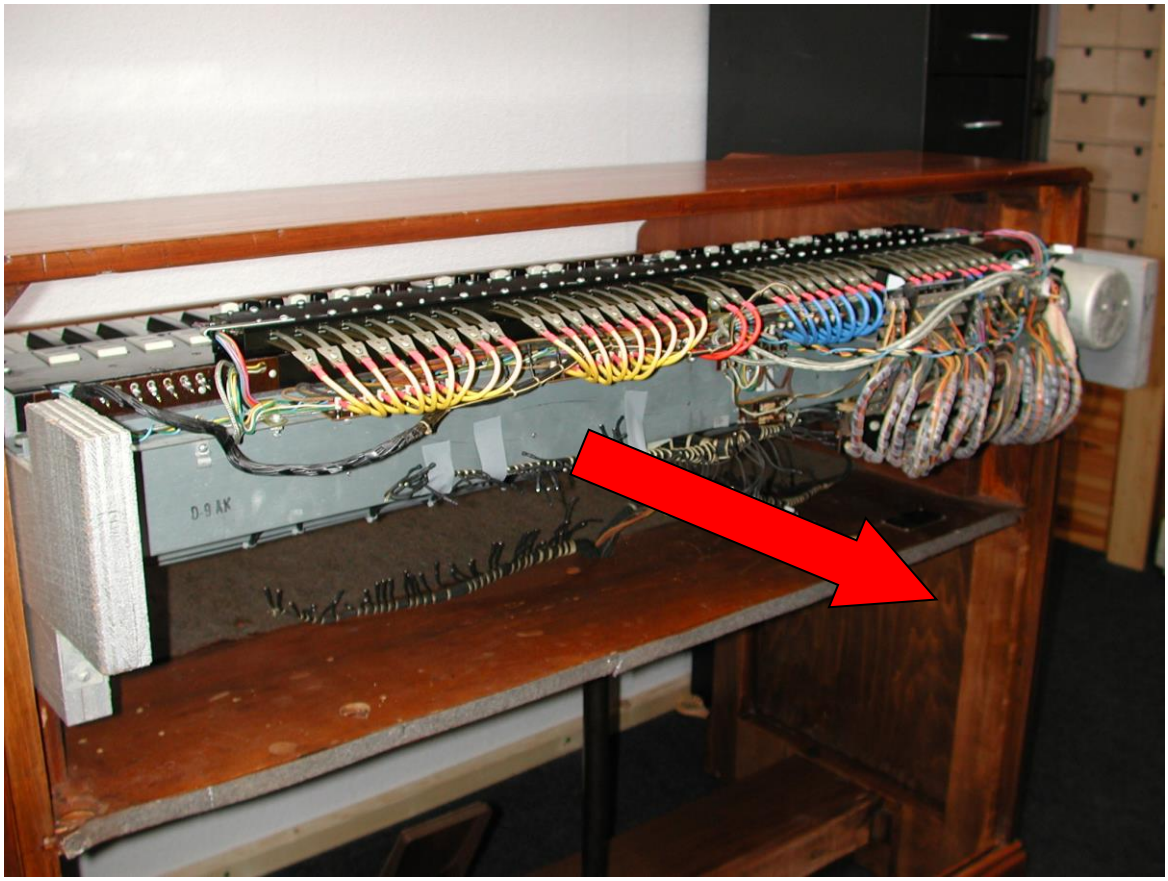


Abbildung 91: Manualblock kann entnommen werden

Abbildung 92: Manualbaugruppe im Bastelkeller

Geschafft: die Manualbaugruppe liegt sicher auf der Werkbank im Bastelkeller! HNC #318 freut sich, dass die "dreckigen" Arbeiten nun nicht mehr im Wohnzimmer stattfinden müssen, sondern "eine Etage tiefer" in den Keller verlagert werden können ;-)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

6 Die Antriebseinheit

Ein wesentlicher Bestandteil des ToneWheel-Generators ist die Antriebseinheit. Ich halte sie für so wichtig, dass ich ihr hier ein komplettes Kapitel widmen möchte.

6.1 Synchronmotoren

Der (originale und unmodifizierte) Tongenerator einer großen Hammond wird von insgesamt zwei Motoren angetrieben. Zum einen vom so genannten „Startmotor“, dessen Zweck es ist, die gesamte Mechanik erst einmal auf Nenndrehzahl zu bringen; und zum anderen vom „Run-Motor“, dessen Aufgabe es ist, die so aufgebaute Drehung dann zu übernehmen und konstant mit der Netzfrequenz (50Hz bzw. 60Hz) weiterzuführen. Erst später wurden auch Synchronmotoren entwickelt, bei denen der zusätzliche Startmotor entfallen kann; also auch von alleine loslaufen können. Einer dieser speziellen Motoren ist der so genannte „Bertram“-Motor (siehe Kapitel 6.1.6), der auch in zahlreichen Bühnenorgeln verwendet wird. Auch einige kleine Hammond-Modelle neueren Datums haben ähnliche selbststartende Run-Motoren. In Abbildung 15 des vorherigen Kapitels ist der prinzipielle Aufbau des ToneWheel-Generators nochmals wiedergegeben.

6.1.1 Startup- und Shutdown-Zeiten

Ein gut gewarteter und sauber laufender ToneWheel-Generator benötigt nach dem Abschalten aus dem Betriebszustand noch etwa 22..25 Sekunden bis zum endgültigen Stillstand. Je schlechter er geschmiert und gewartet wurde, desto schneller läuft er aus (höhere Reibungsverluste). Dasselbe gilt für den Startvorgang: je leichter der Generator läuft, desto schneller wird er beim Starten die Nenndrehzahl erreichen. Bei Recherchen im Internet stieß ich auf eine Firma, die ToneWheel-Generatoren lt. eigenen Angaben komplett demontiert, reinigt und wieder zusammenbaut. Nach dieser Prozedur sollen diese Generatoren derart leicht laufen, dass sie angeblich innerhalb von 2..3 Sekunden (!) durch den Startmotor auf Nenndrehzahl beschleunigt werden. Nach meiner Erfahrung benötigt ein normaler, vernünftig gewarteter (= aber nicht speziell gereinigter) Tonradgenerator etwa 5..6 Sekunden fürs „Anspringen“.

Hinweis:
Laut offiziellen Hammond-Angaben benötigt eine B-3/C-3/RT-3/A100 etwa 8 Sekunden Anlaufzeit für den Start-Motor und weitere 4 Sekunden für den RUN-Motor.

6.1.2 Laufgeräusche

Sobald beim Betrieb eines Generators ungewöhnliche Laufgeräusche hörbar werden, ist Skepsis angebracht. Ein Rattern, Jaulen oder Quietschen deutet auf einen defekten (oder nicht geölten) Antrieb hin. Ich würde allenfalls ein sehr leises zyklisches Klicken akzeptieren (ähnlich dem einer alten Wanduhr), das ich inzwischen bei einigen Orgeln gehört habe.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

6.1.3 Schmierung und Hammond-Öl

Das Thema „Hammond-Öl“ ist sicher umstritten. Ich habe hier bislang keine definitiven Untersuchungen angestellt, sodass ich hier keine ultimativen Ratschläge geben kann. Fest steht für mich lediglich, dass Ballistol Waffenöl auf gar keinen Fall zur Schmierung verwendet werden darf! Laut Auskunft des Herstellers (auf meine Nachfrage hin) verringert sich die Kriechfähigkeit des Öls, sobald es über längere Zeit der Luft ausgesetzt wird. Das ist bei Hammond’s der Super-GAU, denn alle Lager werden durch eine so genannte „Fadenschmierung“ geölt. Dabei transportieren Dutzende dünner Baumwollfäden das Öl jeweils bis zur Schmierstelle (ähnlich wie der Trick mit dem Blumengießen per Bindfaden im Urlaub). Verliert das Öl jedoch auf dem Weg dorthin seine Kriecheigenschaften und „trocknet aus“, so wird der Ölfluss für immer (!) unterbrochen! Selbst das Nachgießen eines geeigneten Öls hilft dann nicht mehr. Hier müssen dann sämtliche Ölfäden gewechselt werden. Sie können sich vorstellen, was das an Aufwand bedeutet.

Daher meine Empfehlung: bitte nur originales Hammond-Öl verwenden (es sei denn, man weiß es durch umfangreiche Untersuchungen besser). Zur kurzfristigen Gangbarmachung eines alten eingestaubten Tongenerators darf auch „Sprühöl 88“ des Herstellers „Kontakt Chemie“ direkt auf die Lager gesprüht werden.

6.1.4 Start-Motor

Wie schon eingangs erwähnt, ist es die Aufgabe des Start-Motors, den gesamten Tongenerator erst einmal in Schwung zu bringen, bevor der Run-Motor die so erreichte Drehzahl übernehmen und netzsynchron weiterführen kann. Dazu besitzt der Start-Motor ein kleines Antriebsritzel auf seiner Achse, das in die Hauptwelle des Generators eingreift (Zahnrad) und sie so antreibt. Ein Federblech bewirkt, dass die komplette Startmotorachse samt Antriebsritzel im Ruhezustand von der Generator-Hauptwelle weg-federt und so im normalen Betrieb nicht mitlaufen muss.

Vom Start-Ablauf her passiert also folgendes:
Betätigt man den Start-Taster auf der Schalterplatte (siehe Kapitel 6.2), so wird der Start-Motor mit Strom versorgt. Dadurch läuft dieser an und dessen Anker wird durch sein Magnetfeld aus dem Gehäuse –entgegen der Federkraft des Federblechs- herausgedrückt. Dadurch erreicht das Antriebsritzel die Hauptwelle des Zahnrads und stellt den Kraftschluss her.

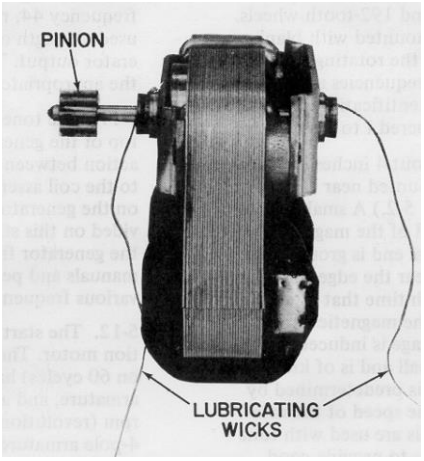


Abbildung 93: Start-Motor [21]

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Genau hier kann es aber manchmal Probleme geben. Das Antriebsritzel des Start-Motors kann im Laufe der Zeit abnutzen. Dadurch kann es passieren, dass es irgendwann nicht mehr richtig in die Zähne des Zahnrads der Generator-Hauptwelle eingreifen kann und dadurch zu keinem Kraftschluss mehr kommt (das Ritzel rattert vor dem Hauptwellen-Zahnrad herum, nimmt es aber nicht mehr mit). Abhilfe schafft hier eine kleine Feile, mit der man die Zähne des Antriebsritzels leicht nachschleift. Sind alle Scharten ausgeschliffen, spurt das Ritzel normalerweise auch wieder richtig aus und rastet wunschgemäß in das gegenüberliegende Zahnrad ein. Ein klein wenig Staufer-Fett kann auch hier wahre Wunder bewirken.

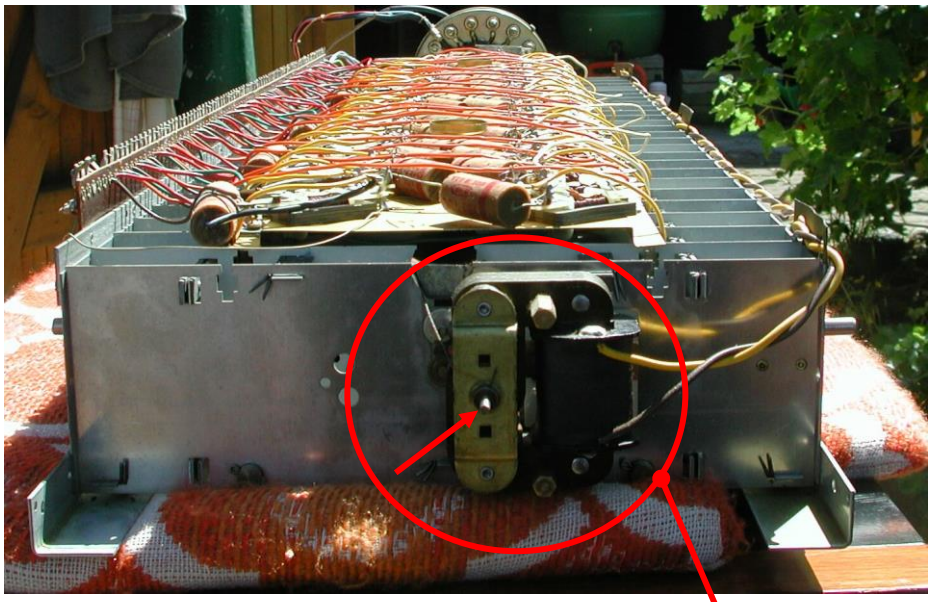


Abbildung 94: angeflanschter Start-Motor

Abbildung 94 zeigt den seitlich angeflanschten Start-Motor am ToneWheel-Generator. Die Pfeilspitze deutet auf die Achse des Motors, auf deren anderem Ende das Antriebsritzel angebracht ist (auf dem Bild nicht sichtbar).

Übrigens hat ein normaler Start-Motor üblicherweise eine Leistungsaufnahme von guten 100 Watt, was beim Betrieb mit zu schwach dimensionierten Frequenzumrichtern (siehe dazu auch Kapitel 6.1.5 sowie 14.2) zu Problemen führen kann. Meist wird dann die notwendige Übernahmedrehzahl nur sehr knapp (und bei kaltem Wetter manchmal gar nicht!) erreicht, sodass der Run-Motor nicht mehr in die Drehung einrasten kann. Insbesondere bei Bühnen-Orgeln, bei denen ein Betrieb außerhalb des heimischen Wohnzimmers stets gewährleistet sein muss, ist dies mitunter aber sehr wichtig. Abhilfe schafft dann entweder ein gut dimensionierter Frequenzumrichter, der auch für einen Startmotor genügend Leistungsreserven bereit hält, oder der Umbau auf einen selbststartenden Bertram-Motor (siehe Kapitel 6.1.6). Aus nostalgischen Gründen allerdings ziehe ich persönlich immer einen originalen Hammond-Motor vor.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

6.1.5 RUN-Motor

Der so genannte "Run"-Motor sieht von außen recht unscheinbar aus, sodass man eigentlich kaum glauben kann, dass diese Erfindung von Laurens Hammond eigentlich die Initialzündung zum Bau seiner Orgeln war.

Abbildung 95: RUN-Motor (Vorderseite)

Auf der in Abbildung 95 gezeigten Vorderseite erkennt man die große Schwungscheibe mit einer angeflanschten Metallkugel. Die Kraftübertragung geschieht hier über eine raffiniert ausgetüftelte Kombination aus Rutschkupplung und Federkraftübertragung; besser zu sehen in Abbildung 107.

Der RUN-Motor ist ein so genannter "Synchronmotor", der phasenstarr mit der Netzfrequenz läuft. So ist es wichtig, dass Motor und Netzfrequenz zusammenpassen: ein 60Hz-Motor an einem 50Hz-Stromnetz betrieben- läuft zu langsam und dementsprechend klingt die Orgel in diesem Fall auch eine Terz zu tief!

Hinweis:
Bitte stellen Sie stets sicher, dass die Orgel nie über längere Zeit mit stehendem Tongenerator eingeschaltet bleibt (z.B. unbeabsichtigt eingeschaltet durch spielende Kinder, die den RUN-Schalter eingeschaltet, die Orgel aber nicht gestartet haben)! Der so durch den RUN-Motor fließende Strom führt im Stillstand nämlich dazu, dass sich dieser im Laufe der Zeit entmagnetisiert und so später nicht mehr genügend Drehmoment für eine einwandfreie Funktion der Orgel aufbringen kann. Nach [20] könne ein entmagnetisierter RUN-Motor allerdings auch wieder aufmagnetisiert werden.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Auch auf der anderen Seite des Motors wird etwas angetrieben: nämlich der Vibrato-Scanner. Hier allerdings nicht über eine Rutschkupplung, sondern direkt über ein Zahnrad.

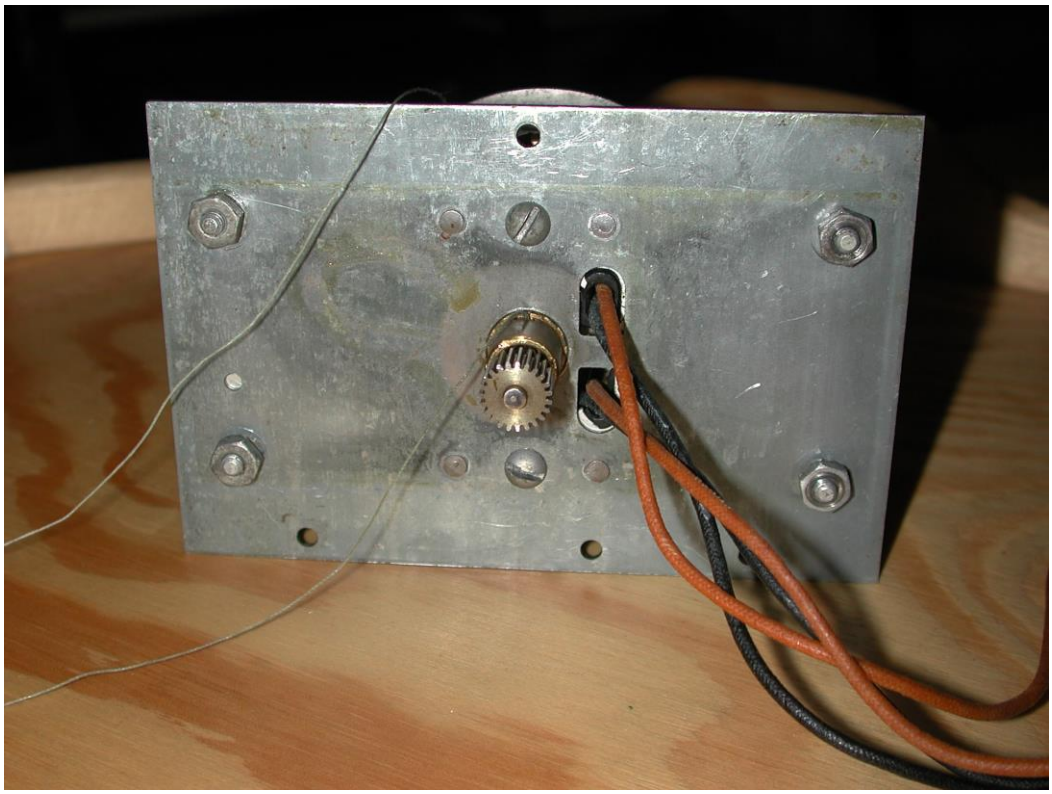


Abbildung 96: RUN-Motor (Rückseite)

Man erkennt sowohl die Ölfäden, die zur Schmierung des Motors dienen, als auch die Anschlüsse zur Stromversorgung des Motors. Sie führen später zum Anschlussfeld des Tongenerators.

Wie in Abbildung 97 zu sehen ist, führen diese Leitungen extrem dicht am Scanner vorbei. Hier manifestiert sich dann auch gleich ein Problem: um 60Hz- Orgeln auch am europäischen Stromnetz mit 50Hz betreiben zu können, bauen sich viele Orgelfans so genannte Wechselrichter bzw. Frequenzumrichter ein. Diese erzeugen aus einer 50Hz-Eingangsspannung die benötigten 117V/60Hz, damit die Orgel auch in der richtigen Tonhöhe läuft.

Diese Umrichter haben aber leider ihre Tücken: gerade die einfachen Modelle (wie sie u.a. auch oft im Internet angeboten werden) im normalen Einplatinen-Format arbeiten meist nicht als Sinus-, sondern als Rechteck-Wandler! Diese Art der Spannungserzeugung ist zwar effektiver und technisch erheblich einfacher zu realisieren, doch leider führt das auch oft dazu, dass die "agressive" (=obertonreiche) Rechteck-Spannung in den Scanner einstreut. Mehr und Ausführlicheres dazu in Kapitel 14.2.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

An dieser Stelle das Bild einer "normalen" Antriebseinheit!

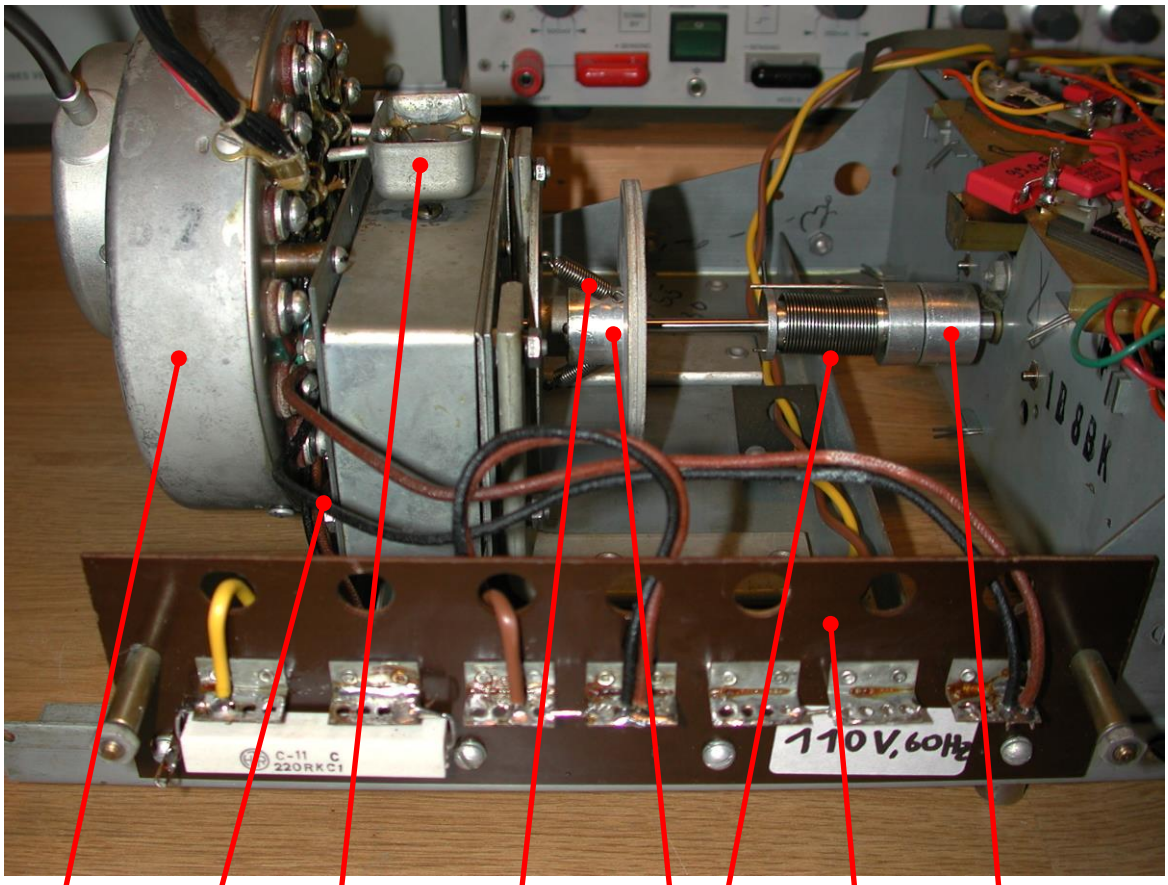


Abbildung 97: Antriebseinheit

Scanner **Ölwanne** **Rutschkupplungen** **Antriebswelle**

Anschlüsse **Federn** **Anschlussfeld**

Weitere Informationen über Verdrahtung und Beschaltung des Anschlussfelds siehe in Kapitel 6.2.4!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

6.1.6 „Bertram“-Motor

Als früher die elektronische Umsetzung von 50Hz nach 60Hz noch teuer und aufwändig war, wurden verstärkt die originalen Hammond-Synchronmotoren gegen andere (50Hz)-Exemplare ausgetauscht!

Eine Besonderheit auf dem Gebiet der Synchronmotoren ist zweifellos der so genannte „Bertram-Motor“. Es handelt sich dabei um einen 50Hz-Synchronmotor mit angeflanschtem Getriebe, das von der Firma „Bertram“ aus Freiburg früher oft in Orgeln eingebaut wurde, die aus USA importiert wurden. Da dieser Motor –im Gegensatz zum originalen Hammond-Synchronmotor- selbststartend ist, wird der Start-Motor (siehe dazu 6.1.4) nach dem Umbau nicht mehr benötigt. Leider wurden deshalb bei vielen derartig umgerüsteten ToneWheel-Generatoren die Start-Motoren einfach kurzerhand abgebaut.

Glücklicherweise erfolgte der Umbau damals aber immer so, dass der Start-Motor i.d.R. nur abgeklemmt, jedoch nicht mechanisch entfernt worden wurde! Da wir einen originalen 60Hz-Hammond-Synchronmotor auftreiben konnten (was im Allgemeinen gar nicht so leicht ist!), konnten wir den Ursprungszustand wieder herstellen. Der Betrieb dieser Orgel erfolgt dann über einen 60Hz-Wechselrichter (siehe dazu Kapitel 14.2).

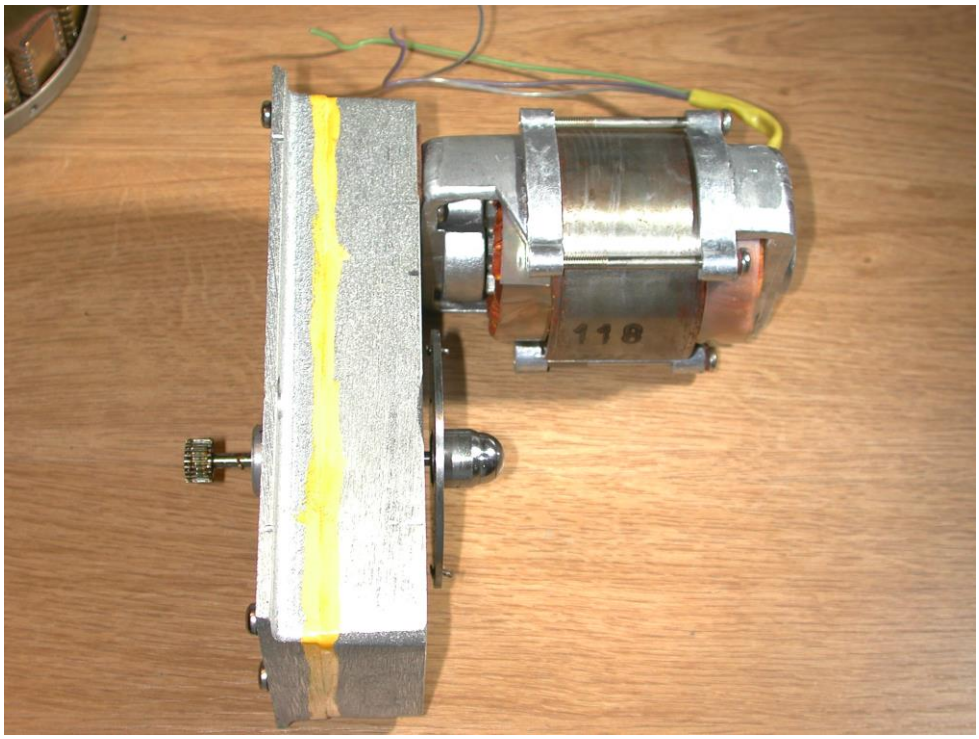


Abbildung 98: „Bertram“-Synchronmotor (230V/50Hz)

Wir entschieden uns jedoch vorwiegend aus Gründen der Laufruhe (der Bertram-Motor ist wegen des Getriebekastens meist etwas lauter) und Nostalgie, unsere Orgel wieder mit einem originalen Synchron-Motor auszustatten und die benötigten 60Hz elektronisch zu erzeugen.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Allerdings sind die Bertram-Motoren besonders für den Einsatz in Bühnenorgeln sehr beliebt! Weil gerade diese Instrumente großen mechanischen und klimatischen Ansprüchen ausgesetzt sind und der Einbau zudem noch sehr einfach ist (der Motor passt ohne mechanische Umbauten oder sonstige Umkonstruktionen), bietet er im Kaltstart-Verhalten gegenüber dem originalen Hammond-Motor große Vorteile. Oftmals könne beim Originalmotor die Orgel in der kalten Jahreszeit nicht sicher in Betrieb genommen werden, weil der Generator beim Starten seine Nenndrehzahl nicht erreicht (siehe dazu auch 6.1.4, Start-Motor), berichten hier verschiendene mündliche Quellen.

Ich vermute allerdings, dass ggfs. auch unterdimensionierte Wechselrichter mit an diesem Phänomen beteiligt sind. Ein Startmotor benötigt eine Leistung von ca. 100 W während der Startphase, um den Generator auf die erforderliche Drehzahl zu beschleunigen. Kann der Wechselrichter diesen benötigten Strom nicht liefern, bricht dessen Ausgangsspannung beim Starten zusammen, daher wird die Übernahmedrehzahl für den RUN-Motor nicht erreicht und er kann folglich nicht in die korrekte Generatordrehzahl einrasten.

Beliebt sei es auch, nur den Run-Motor mit den elektronischen 60Hz zu versorgen und den Startmotor weiterhin mit 50Hz aus dem Trafo zu versorgen. Auch dies kann eigentlich nur schief gehen: beim Startmotor handelt es sich um einen Reihenschlussmotor, dessen Umdrehungszahl u.a. von der Versorgungsspannung abhängt. Er ist so berechnet, dass er im Normalbetrieb etwa 130% der benötigten Drehzahl des Run-Motors erzeugt. Wird er allerdings nur mit 50Hz versorgt, erreicht er in diesem Fall die notwendige Übernahmedrehzahl nur sehr knapp (oder gar nicht) und der Startvorgang der Orgel schlägt u.U. fehl. Wir lernen daraus: wenn schon Umbau auf 117V/60Hz, dann bitte richtig!

(siehe dazu auch Kapitel 14.2)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

6.2 Schalterplatte

6.2.1 Schaltertypen

Die Schalter sowohl für den Start- als auch für den Run-Motor befinden sich auf einem kleinen Blechschild; der Schalterplatte.

Abbildung 99: Schalterplatte (von oben)

Obwohl sie für den Organisten erst einmal nahezu identisch aussehen, haben wir es hier hinter dem Blech jedoch mit zwei verschiedenen Schaltertypen zu tun.

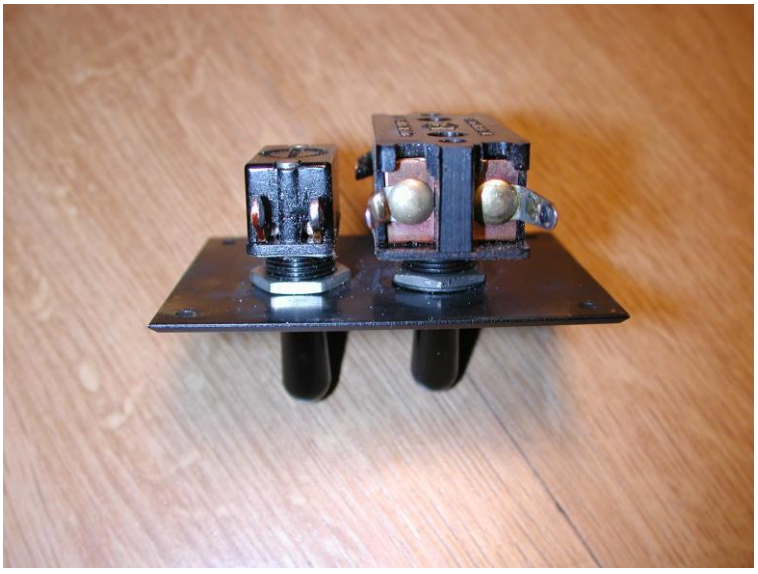


Abbildung 100: Schalter für "Start-" und "Run"-Motor"

Der Schalter für den Start-Motor ist eigentlich eher ein Taster, der einfach einen elektrischen Kontakt schließt und danach wieder zurückfedert. Der Schalter für den Run-Motor hingegen ist ein echter Wechselschalter mit 4 Anschlüssen.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

6.2.2 Prinzipschaltbild

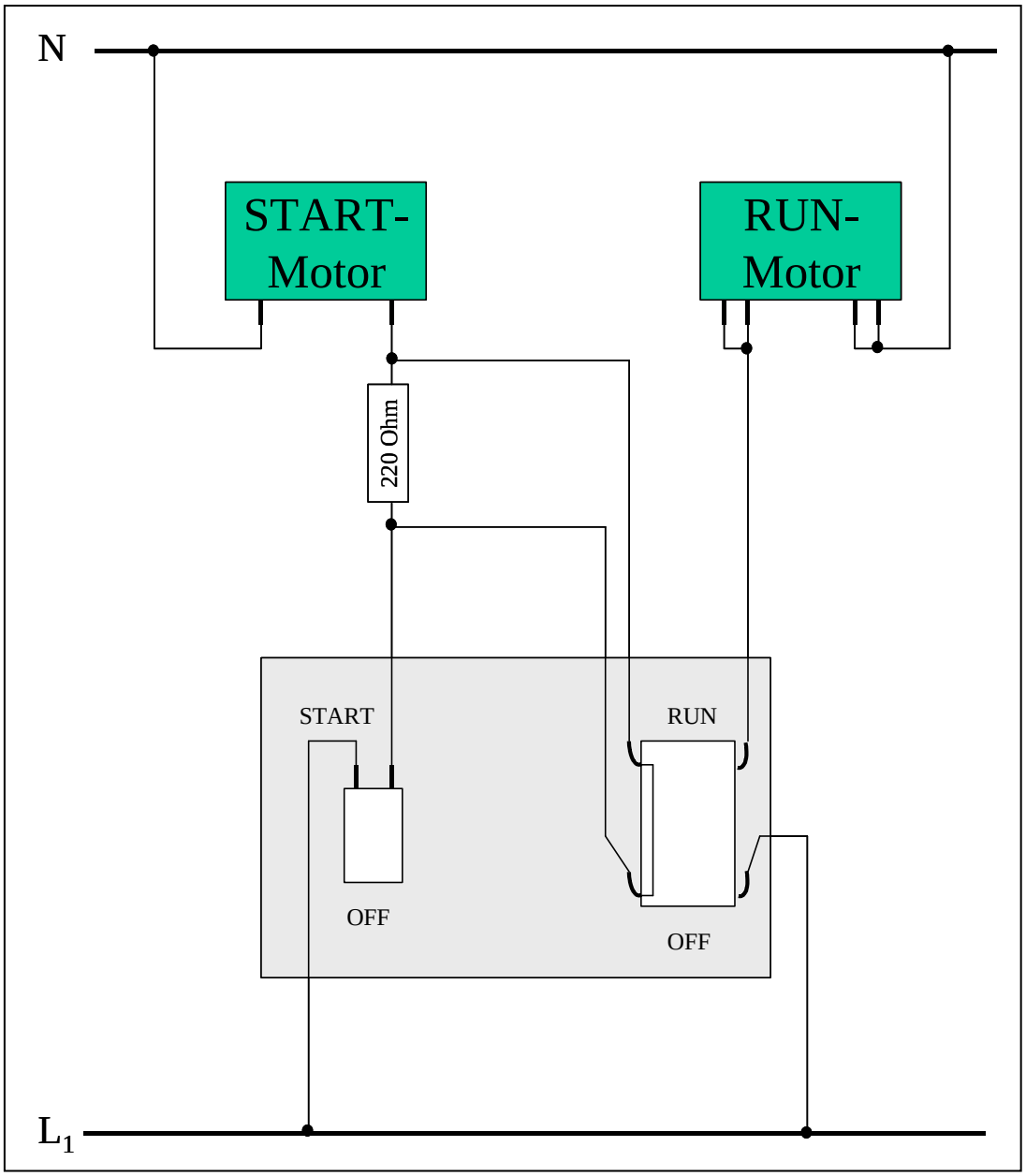


Abbildung 101: Prinzipschaltbild Schalterplatte

Hinweis:
„L_1“ ist hier natürlich die Phase des 230V bzw. 117V-Stromnetzes (je nach Ausführung der Orgel).
„N“ der Neutralleiter.

Der Wert des Reihenwiderstandes ist im Originalschaltplan mit 250Ohm angegeben. Heutige Widerstände sind in Normreihen (E12, E24,usw.) eingeteilt. Am häufigsten werden Lastwiderstände in der E12-Normreihe hergestellt. Der nächste Wert zu 250Ohm ist laut dieser Reihe 220Ohm. Daher wurde er hier im Schaltbild verwendet. Die Belastbarkeit eines solchen Widerstandes sollte mindestens 11 Watt betragen (axiale Bauform).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

6.2.3 Funktionsweise

Die Schaltung lässt sich in ihrer Funktion wie folgt beschreiben:

1. Im Ruhezustand liegen beide Schalter auf „OFF“. Dadurch ist der erste Kontakt des Run-Schalters geschlossen und überbrückt den 220Ohm-Widerstand, sodass dieser (noch) nicht wirksam ist. Drückt man nun den Start-Taster hoch, gelangt der volle Anlasserstrom zum Start-Motor, wodurch der dann anläuft und den gesamten Tone-Wheel-Generator auf Drehzahl bringt.

2. Im zweiten Schritt schaltet man den „Run-Schalter“ dazu, während man den Start-Taster weiterhin in der „Start“-Stellung festhält. Elektrisch passiert nun Folgendes:

Zum einen bekommt nun auch der Run-Motor die volle Betriebsspannung, so dass er nun auch betriebsbereit ist. Zum anderen wird gleichzeitig die Überbrückung des 220Ohm-Widerstandes gelöst, das heißt, dass er nun wirksam wird! Der Start-Motor wird also in seiner Antriebsleistung etwas gedrosselt, weil sein Betriebsstrom durch den –nun in Reihe liegenden- Widerstand begrenzt wird. Dadurch fällt er in der Drehzahl ab, bis die „synchrone Drehzahl“ erreicht wird und der Synchronmotor den Antrieb übernimmt.

3. Nun lässt man den Start-Taster los, sodass der Start-Motor vollständig abgeschaltet wird und der Antrieb des gesamten Generators komplett vom Run-Motor übernommen wird.

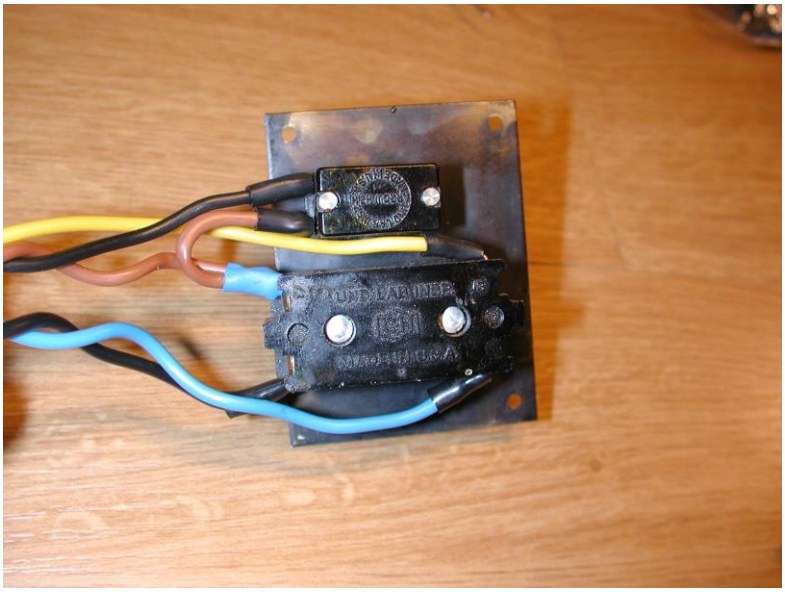


Abbildung 102: verkabelte Schalterplatte

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

6.2.4 Reale Verdrahtung

Die „richtige“ Verdrahtung in der Orgel sieht etwas anders aus. In Abbildung 103 ist die Verkabelung zwischen Anschlussfeld am ToneWheel-Generator und der Schalterplatte in der Notenpultleiste zu sehen. Die Leitungen „braun-schwarz“ und „schwarz-blau“ sind jeweils miteinander verdrillt.

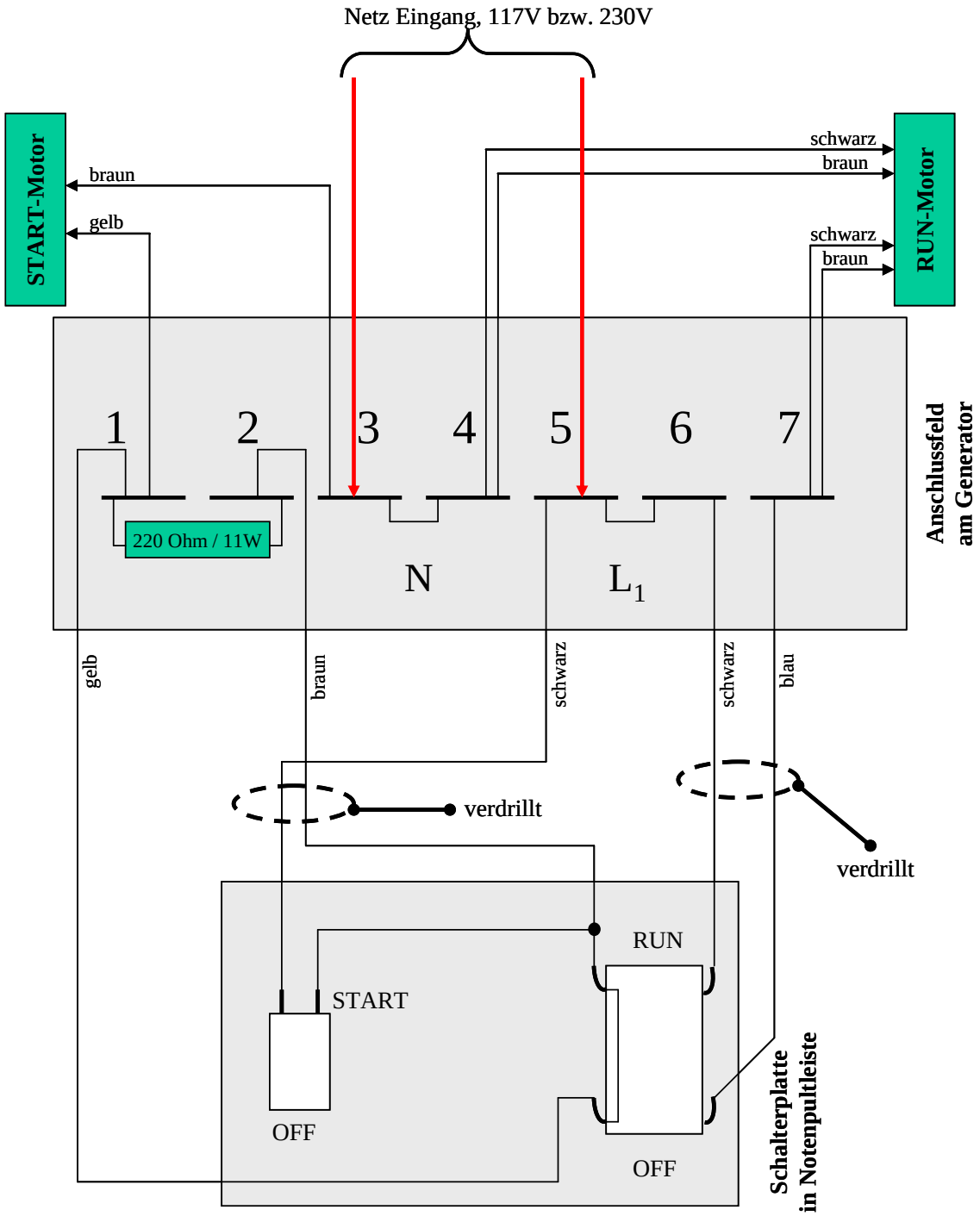


Abbildung 103: Reale Verdrahtung

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

6.3 Masseverbindungen

In diesem Zusammenhang erscheint es mir sinnvoll, den Verlauf der Masseverbindungen in der Hammondorgel kurz zu beschreiben.

Es zeigt sich immer wieder, dass insbesondere nach Umrüstungen von 117V- auf 230V-Betrieb und der damit verbundenen teilweisen Neuverkabelung des Instruments Probleme mit Netzbrummen auftreten. Auch bei uns kämpften wir anfangs mit diesen Dingen, sodass eine Grundlagenforschung folgenden Verlauf der Massekabel als Optimum erbrachte (und weitestgehend auch der originalen Kabelführung entspricht!):

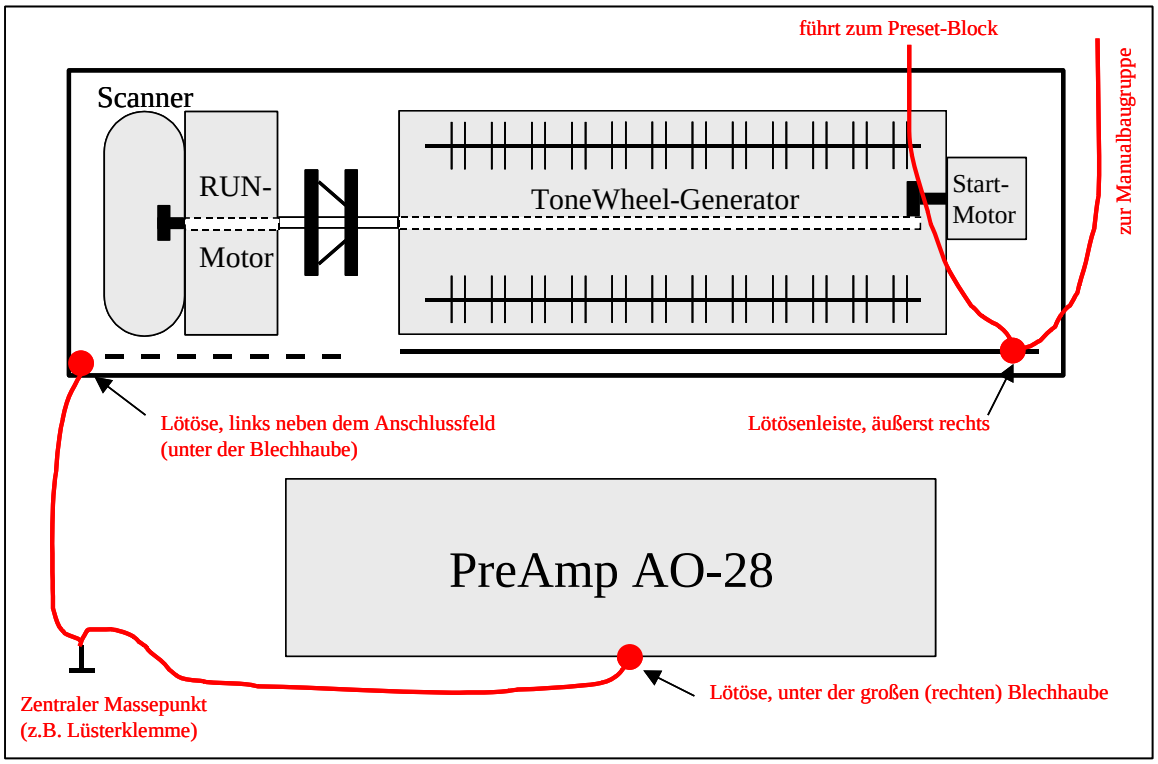


Abbildung 104: Masseverbindungen

An dieser Stelle erneut der Hinweis, unbedingt den korrekten und festen Sitz der vier Schrauben zu kontrollieren, mit denen das Blech, das alle Generatorschwingkreise trägt, auch fest mit dem Generatorgehäuse verbunden ist (jeweils an den vier Ecken)! Ein schlechter Kontakt und der damit verbundene mögliche Potentialunterschied bewirkt das „chaotische“ Verschieben des Massepunktes aller Tonspannungen gegenüber Massepotential des Vorverstärkers: jede noch so kleine entstehende (unerwünschte) Kontaktspannung wird durch den Vorverstärker genauso mitverstärkt wie die Tonspannung an sich! Das heißt, dass bereits ein sporadischer Übergangswidestand (Wackelkontakt) mit einer –daraus resultierenden- sich ausbildenen Kontaktspannung von wenigen huntert Mikrovolt (Millionstelvolt!) ausreicht, um deutlich hörbare Krach- /Knack- und Brummgeräusche im Lautsprecher hervorzurufen!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

7 Der Scanner

Der Scanner ist ein mechanischer, rundlaufender Plattenkondensator, der vom Run-Motor mit angetrieben wird. Vom Prinzip her sehr ähnlich dem Zündverteiler eines Automotors, läuft ein Abtastfinger ("Rotor") zwischen mehreren Blechpaketen ("Stator") hindurch und tastet so nacheinander fortwährend alle Ausgänge der dort angeschlossenen LineBox ab.

7.1 Funktionsweise

Der Zündverteiler im Auto besitzt meist einen Schleifkontakt, der über einen Kohlestift den elektrischen Kontakt herstellt. Beim Hammond-Scanner übernehmen zwei kleine, jeweils über eine Feder leicht vorgespannte Ring-Kohlen diese Aufgabe. Man kann sich diese Kohlen wie eine Linse mit einem kleinen Loch in der Mitte vorstellen, die auf die sich drehende Achse gesteckt sind und so das elektrische Signal dort abgreifen (siehe Abbildung 105 f).

Abbildung 105: links:Scanner (geöffnet); rechts: Schleifkontakte

Der drehende Rotor besteht beim Hammond-Scanner aus einem schmalen Streifen Epoxyd/Bakelit, der an der einen Seite einen Metallplattenkamm aus Messing, auf der anderen Seite zwei kleine Gegengewichte enthält, sodass er beim ständigen Herum-Rotieren keine Unwucht erhält (siehe Abbildung 105).

Das Wesentliche am Scanner ist, dass die Abtastung der Eingänge kapazitiv und verschleißfrei (da Abtastung von elektrischen Feldern!) funktioniert. Jeder einzelne der 16 Eingänge des Scanners ist im Innern an ein kleines Metallpaket -bestehend aus jeweils 7 parallel übereinander liegenden Metallplättchen- angeschlossen, das gegenüber dem Gehäuse (=Masse) elektrisch isoliert ist.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

7.1.1 Fehlerquellen

Es ist angebracht, an dieser Stelle lieber zu schreiben "...isoliert sein SOLLTE!", denn leider sind die Scanner durch jahrelangen Gebrauch oft verschmutzt. Besonders häufig sind verölte Scanner zu finden, denn das Öl, das per Baumwollfaden für die Schmierung der Welle in das Scanner-Innere wandert, kann dort heruntergeschleudert werden und sich im gesamten Innenraum des Scanners verteilen. Meistens ist dies eine Folge von "Über-Ölung". Daher wird in Fachkreisen empfohlen, den Scanner nur einmal im Jahr (und dann auch nur etwa mit der Hälfte der empfohlenen Menge) zu ölen. Eine Über-Dosierung und als Folge davon die Verölung des Scanners äußert sich zum Teil daran, dass er eine deutlich hörbare Brummspannung erzeugt. Das kann wie folgt erklärt werden:

Normalerweise besitzt jeder einzelne Stator eines jeden Signal-Eingangs eine Kapazität von etwa 19pF* gegenüber dem Metallgehäuse. Dreht sich jetzt ein ständig herumlaufender Rotor durch diese ganzen "Kondensatoren von 19pF gegen Masse", so sieht er innerhalb einer kompletten Umdrehung 16 mal kleine Änderungen des elektrischen Feldes und es entsteht eine minimal kleine Wechselspannung. Bei 19pF Kapazität ist diese so klein, dass man sie nicht als störend wahrnimmt bzw. hört. Anders sieht es aus, wenn infolge starker Verölung die Isolierplättchen ihre Isoliereigenschaften verändern, weil sie sich mit Öl voll saugen. Dadurch steigt dann die Dielektrizitätskonstante und damit auch die Kapazität der Statoren gegenüber Masse (auf vielleicht 70..80pF). Als Folge davon wird nun der eigentliche Abtastvorgang hörbar, ohne dass eine Signalspannung an den Eingängen anliegen muss. Es entsteht eine Art "pulsierendes“, bzw. „kratzendes Brummen", das besonders intensiv hörbar wird, wenn sich die einzelnen Kapazitäten stark voneinander unterscheiden (einige Statoren verölt, andere nicht).

In der Literatur wird dieser Effekt auch -wohl in besonders schlimmen Fällen- als "Motorboating" bezeichnet. Ich selber war in der glücklichen Situation, meinen verölten Scanner noch nicht also hörbare Beeinträchtigung wahrzunehmen, jedoch wollte ich das Öl in diesem Bauteil keinesfalls dulden; schließlich ist das ein Scanner und keine Ölwanne.

1. Hinweis:
Bei Internet-Recherchen entdeckte ich einen versteckten Tipp, wie man der Überölung angeblich vorbeugen könne. Dort wird angedeutet, dass ein zusätzlicher Baumwollfaden, den man auf dem Boden des Scanners einlegt und dann nach außen führt, das dort sich ansammelnde, überschüssige Öl aufnehmen und aus dem Gehäuse herausleiten würde. Ob das wirklich so funktioniert, ist mir aber leider nicht bekannt.

2. Hinweis:
Eine weitere Maßnahme gegen Überölung sei angeblich das komplette Lackieren des Scanners mittels zähflüssigen Klarlacks. Von dessen sicherer Wirkungsweise ist man im Club allerdings nicht überzeugt.

* Aussage von Clubmitglied Ulrich Zwarg. Ich selber habe hier Kapazitäten von ca. 11..12pF gemessen (siehe hierzu Kapitel 7.3.1). Unterschiede in diesem Picofarad-Bereich können durch Materialeigenschaften, Exemplarstreuungen, Messaufbau und nicht zuletzt verschieden kalibrierte Messgeräte begründet sein und sind schnell möglich.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

7.2 Reinigen des Scanners

7.2.1 Ausbau des Scanners

Zuerst empfiehlt es sich, die gesamte Einheit "Run-Motor&Scanner" abzuschrauben und danach erst Motor und Scanner voneinander zu trennen. Wer geschickt ist, kann die Einheit ggfs. auch ausbauen, ohne vorher den Tongenerator aus der Orgel gelötet zu haben. Wer die gesamte Tongenerator-Baugruppe bereits für einen Generatorabgleich ausgebaut hat, der sollte die nun beschriebene Scanner-Reinigung (zumindest eine Kontrolle!) auf jeden Fall vornehmen. So leicht wie jetzt ist dieses Bauteil später nämlich nicht mehr zu erreichen!

Grundsätzlich geht man beim des Scanners wie folgt vor:
Zuerst löst man also die drei bzw. vier (je nach Ausführung: Original-Motor oder z.B. Bertram-Umbau, wie bei mir) Sechskant-Schrauben bzw. Muttern (Größe 8-UNC) an den beiden dicken Haltewinkeln.

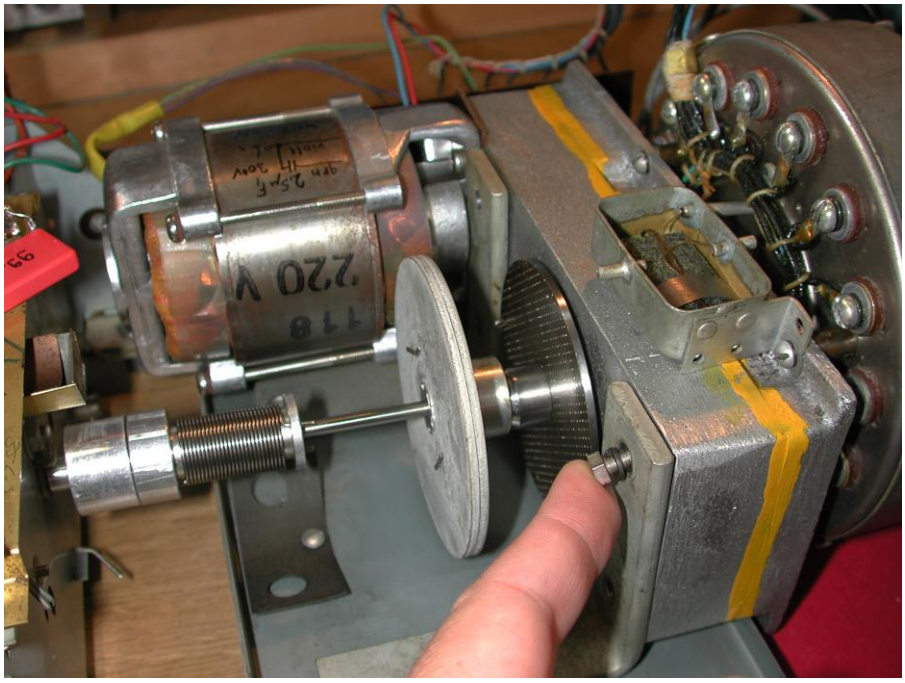


Abbildung 106: Antriebseinheit

Danach kann man die komplette Motor&Scanner-Einheit abnehmen (die Verbindung an der Haupt-Antriebswelle des Tongenerators ist nur gesteckt) und unabhängig von dem Rest des Generators weiter bearbeiten.

Die einzelnen Schritte des Ausbaus sind nun wie folgt beschrieben:

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Um die Einheit Motor&Scanner freizubekommen, hakt man zu allererst die beiden Spiralfedern an der Rutschkupplung aus.

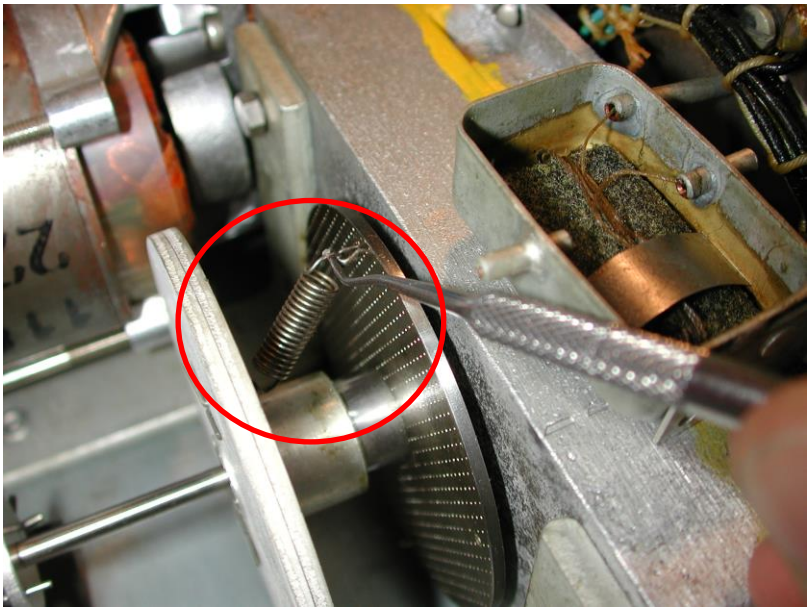


Abbildung 107: Spiralfedern aushaken

Danach kann die komplette Motor-Scanner-Einheit durch Lösen der vier Sechskant-Muttern (Größe 8-UNC, siehe Pfeile) an den Haltewinkeln abgeschraubt und abgenommen werden.

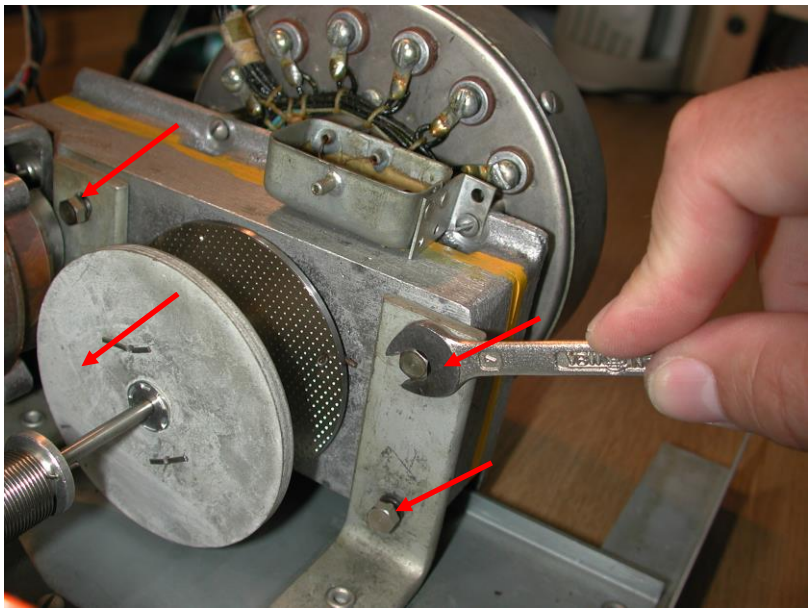


Abbildung 108: Run-Motor abschrauben

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Das Schwungrad mit der Rutschkupplung ist nur gesteckt und kann dann auch abgezogen werden.

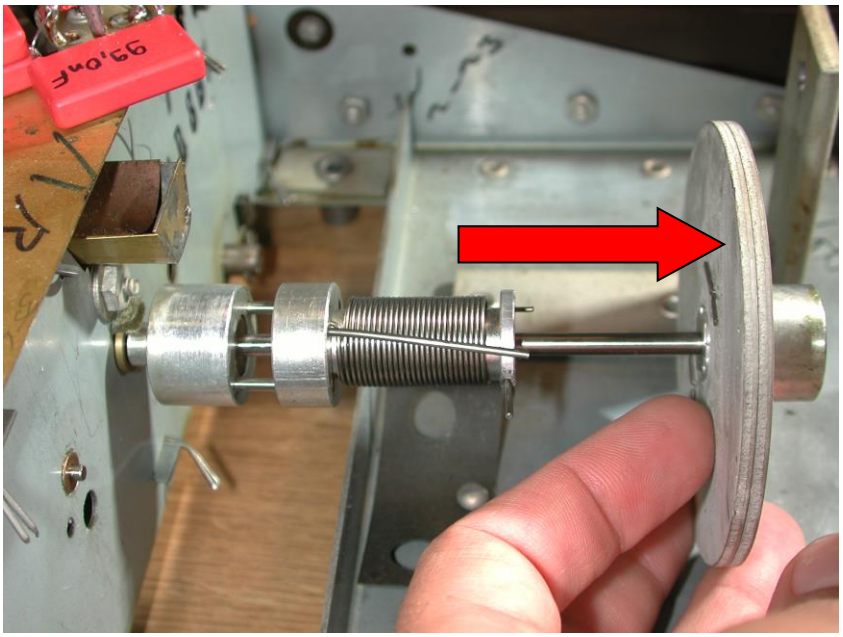


Abbildung 109: Schwungrad abziehen

Ist die komplette Antriebseinheit ausgebaut, sieht man auf die Hauptantriebswelle des ToneWheel-Generators.

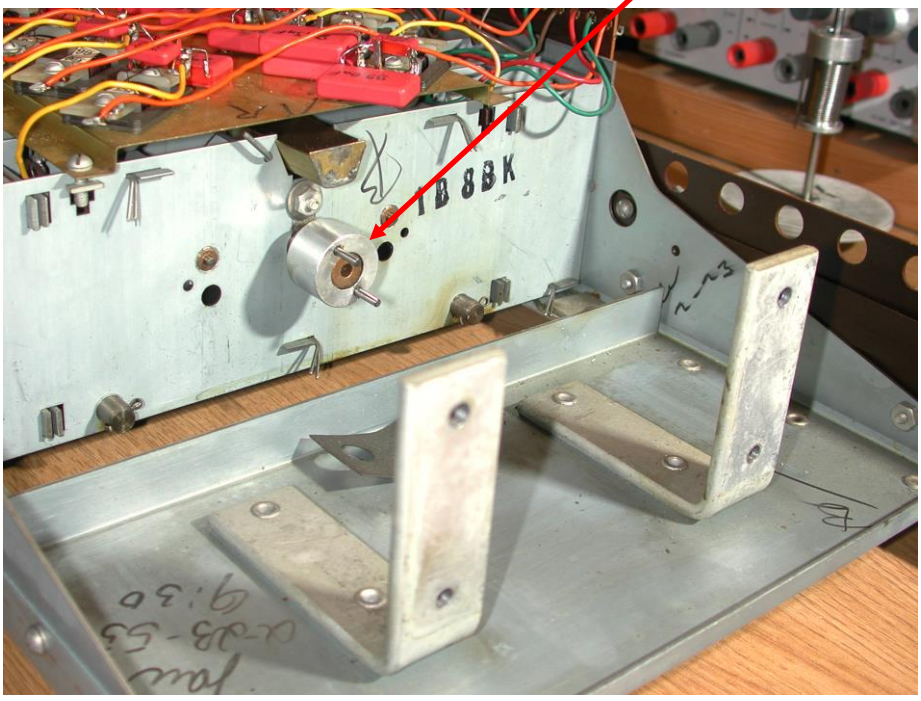


Abbildung 110: Antriebswelle

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Bevor der Scanner durch Lösen der drei Schlitzschrauben vom Synchronmotor getrennt wird, müssen die Ölfäden aus der kleinen Ölwanne gezogen und schließlich die Ölwanne selbst entfernt werden. Die Ölfäden sind meist um ein Stück Stoff oder Filz gewickelt und mit einem Blechstreifen verklemmt, sodass der mit Öl getränkte Filz beim Transport nicht herausfallen kann.

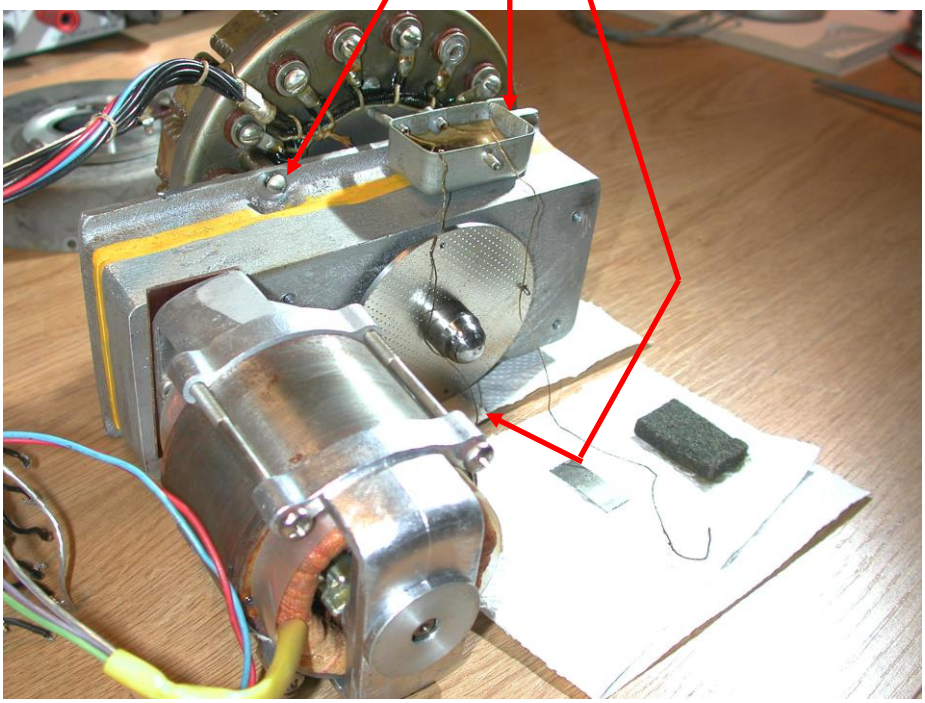


Abbildung 111: Ölwanne und Schmierfäden

Von dieser Ölwanne gehen drei Ölfäden ab: einer zum Synchronmotor, einer in das Innere des Scanners und der dritte zum außen gelegenen Lager der Scanner-Achse.

Sind alle Ölfäden (sehr vorsichtig!) vom Filz abgewickelt und ist die Ölwanne entfernt, kann der Scanner vom Motorgehäuse abgeschraubt und schließlich seitlich abgenommen werden.

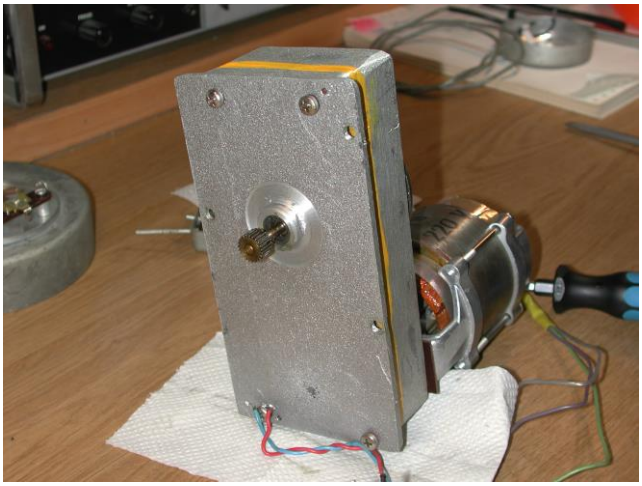


Abbildung 112: Run-Motor (Bertram-Nachbau)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

7.2.2 Öffnen des Scanners

Zuerst öffnet man die kleine seitliche Metallkappe (dort, wo das abgeschirmte Kabel hineingeht) und zieht sie vorsichtig ab (evtl. mit einem Messer etwas abhebeln). (Verwendete Schrauben: Binding Head, V2A, 5-UNC x $^{3}/_{16}$)

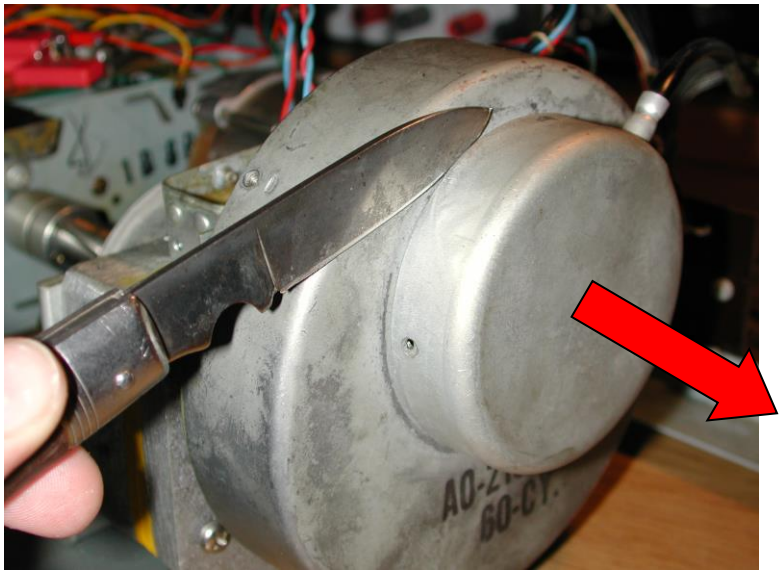


Abbildung 113: Metallkappe abhebeln

Nun kommt der Schleifkontakt mit den beiden Federn und Ring-Kohlen zum Vorschein. Das dort angeschlossene Kabel wird jetzt abgelötet und die Kappe zur Seite gelegt.

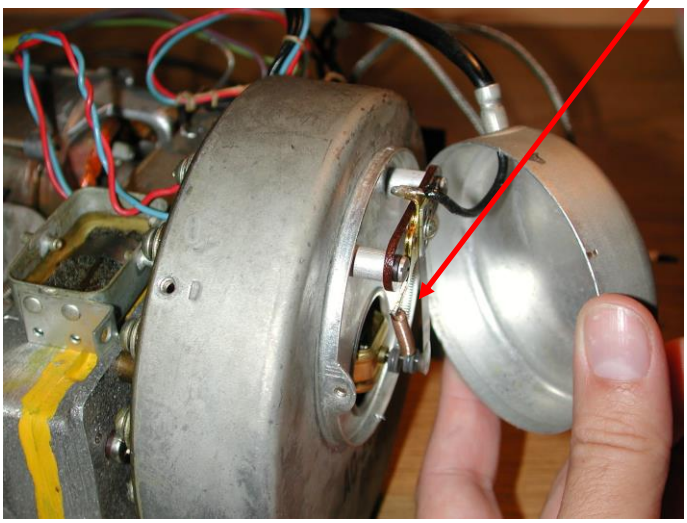


Abbildung 114: Anschluss ablöten

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Nun bitte vorsichtig die aufgesteckten Schleifkontakte von dem dünnen Pin abziehen. Dazu die Federzunge etwas wegbiegen (oder abschrauben, geht auch).

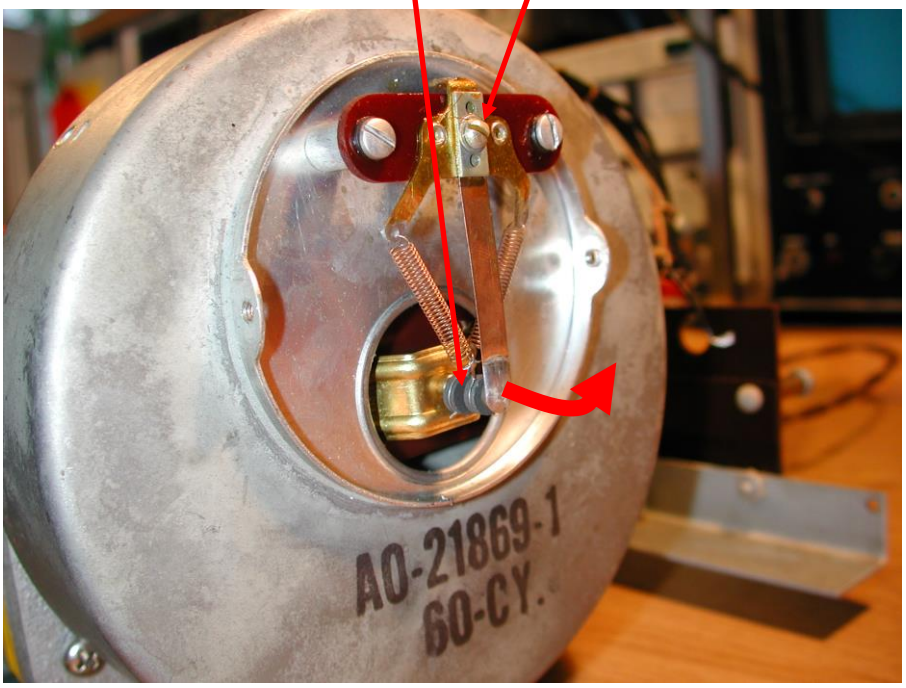


Abbildung 115: Schleifkontakte

Abbildung 116 zeigt, wie ich gerade eine der –an Federn aufgehängte- Ringkohle mit der Pinzette von der dünnen „Achse“ gezogen habe.

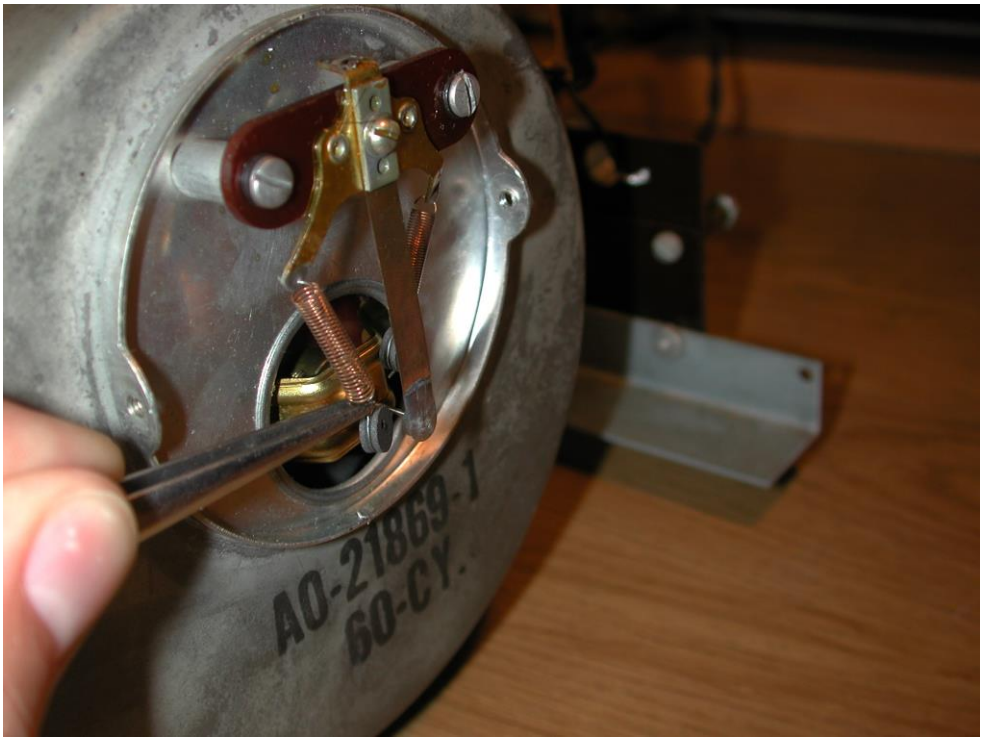


Abbildung 116: Ringkohlen abnehmen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Wer nun mag, kann auch die Halterung der Ringkohlen komplett abschrauben. Dazu einfach die beiden Schrauben auf der Halteplatte lösen.

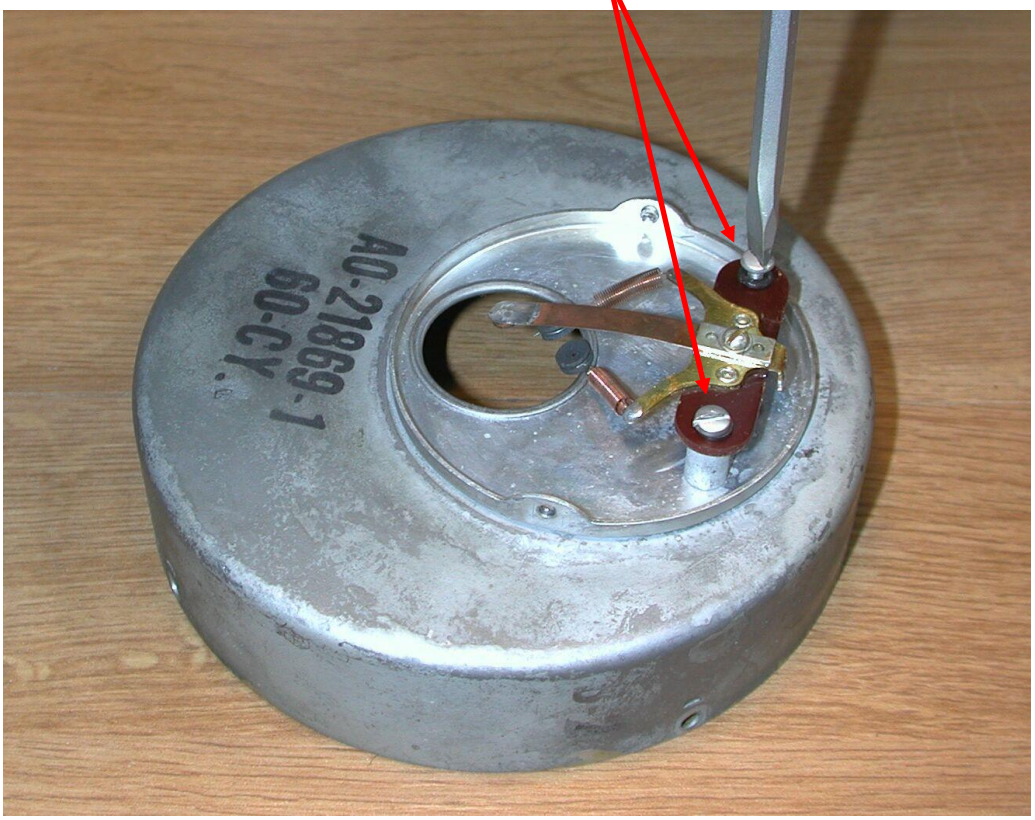


Abbildung 117: Ringkohlen-Halterung abschrauben

Nun kann man die Halterung komplett abheben. Sie sieht dann so aus:

Abbildung 118: Ringkohlen-Halterung

Ganz wichtig: Die Ringkohlen dürfen nie in den Kontakt im Öl kommen, weil sie sonst aufweichen und sich langsam auflösen! In diesem Fall hat sich bereits ein Clubmitglied aus Innereien alter Taschenlampenbatterien „neue“ Ringkohlen nachgebaut!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Doch weiter im Text: Nachdem die Ringkohlen-Halterung ausgehakt (oder gleich ganz ausgebaut) worden ist, kann die große Deckelhaube abgenommen werden. Dazu die vier Schrauben (ebenfalls 5-UNC x $^{3}/_{16}$) des großen Metallgehäuses lösen und den Deckel nach hinten abziehen....

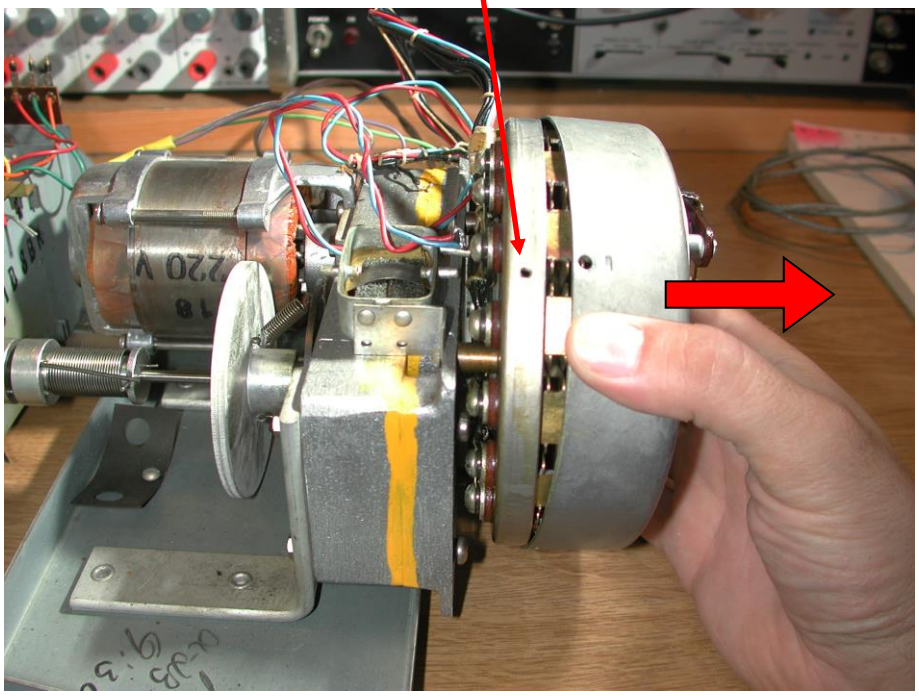


Abbildung 119: Deckel abnehmen

...und weglegen.

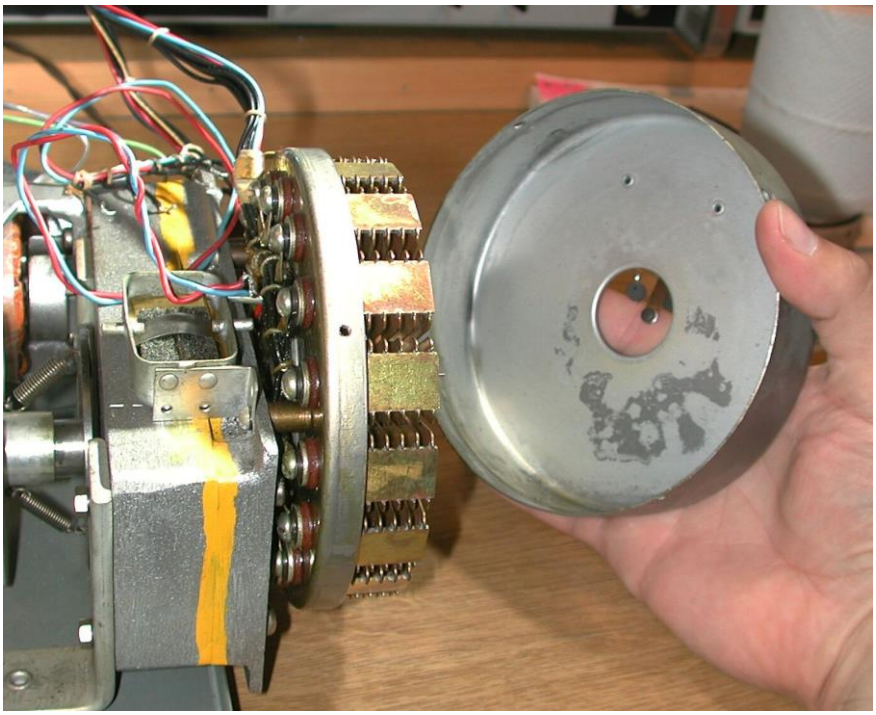


Abbildung 120: Scannerdeckel weglegen

Hinweis:
In den nun folgenden Bildern wurde der Scanner noch nicht vom Motor getrennt. Bitte davon nicht verwirren lassen!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Ist das geschafft (auch hier evtl. mit einem kleinen Messer vorsichtig hebeln), sehen wir in das Innere des Scanners. Man erkennt den drehenden Rotor, wie er sich durch die 16 Statoren (Blechpakete) hindurchdreht. Jetzt auch gut erkennbar: der dünne Metallstift, auf den man ab sofort nun sehr genau aufpassen muss (verbiegt sehr leicht!)

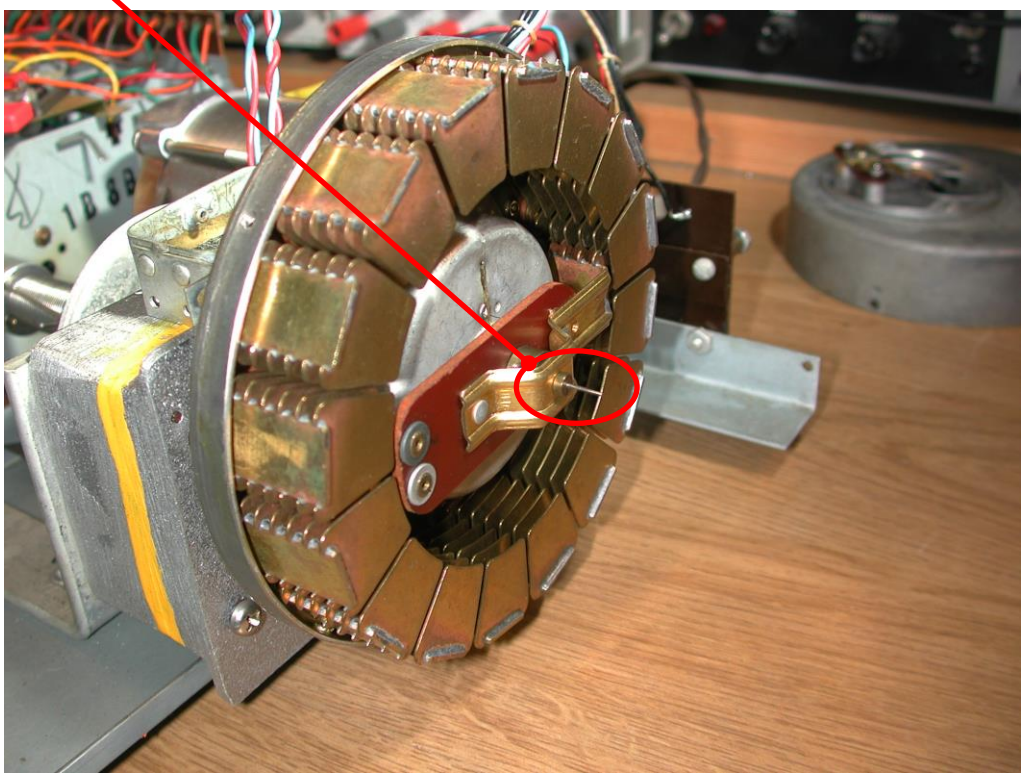


Abbildung 121: geöffneter Scanner

Nun können endlich die einzelnen Stator-Blechpakete nacheinander Stück für Stück durch die dahinterliegenden Schrauben abgeschraubt werden. Dabei löst sich auch gleichzeitig der Kabelbaum. Daher: Einbaulage gut beschriften!

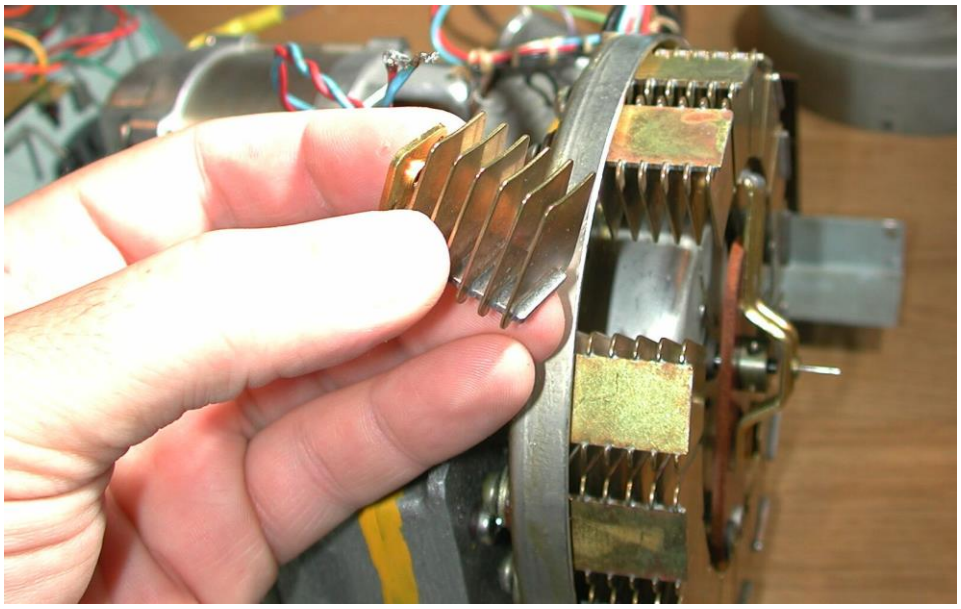


Abbildung 122: einzelne Statorpakete

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Das Abschrauben der gesamten Stator-Blechpakete funktioniert am besten, wenn man den kompletten Scanner kopfüber auf eine dicke Rolle Toilettenpapier legt (dünner Pin nach unten in die Öffnung)! Zum Einen ist der dünne Metallstift des Rotors gut geschützt und zum Anderen fallen die ganzen Blchpakete beim Auseinanderschrauben nicht gleich aus dem Gehäuse. Dann kann man ohne jedes Risiko mit einem Schraubendreher die 16 Schrauben endgültig herausdrehen. Danach sind alle Stator-Pakete frei und können entnommen werden.

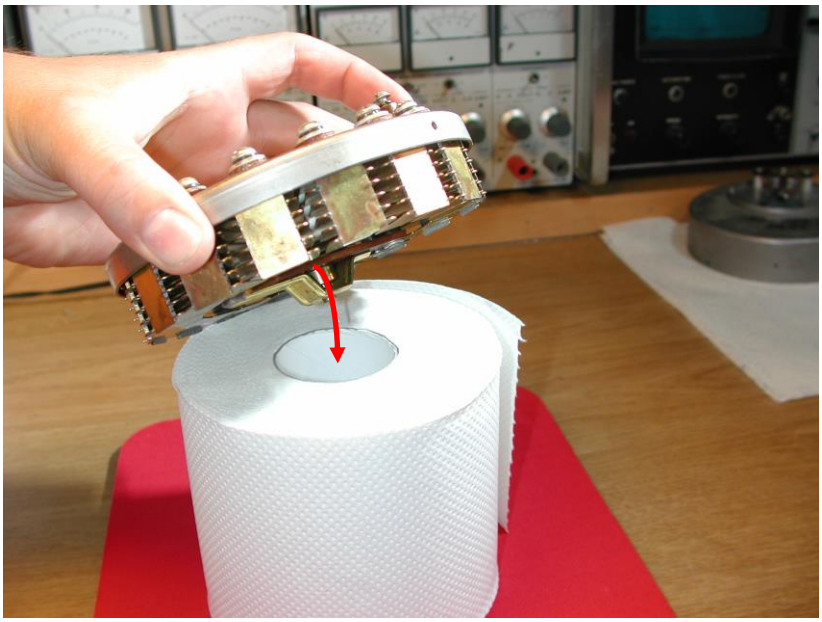


Abbildung 123: Toilettenpapier-Halterung

Ist das geschehen, finden jetzt die Isolierplättchen unsere besondere Beachtung. Hinter jedem abgeschraubtem Blechpaket kommt nämlich immer eins zum Vorschein.

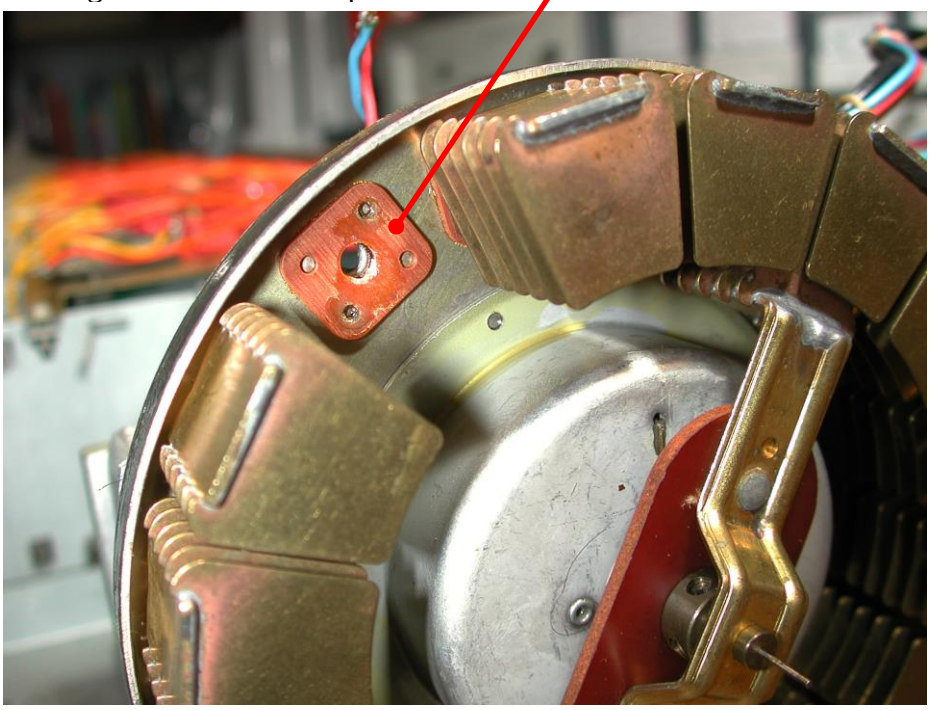


Abbildung 124: Isolierplättchen hinter jedem Blechpaket

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Je nach Alter der Orgel sind die Isolierplättchen aus Hartpapier oder einem Material gefertigt, das an Epoxyd erinnert (Platinenmaterial). Diese Plättchen müssen komplett ölfrei sein, damit sie ihre Isoliereigenschaften behalten. Ist der Scanner jedoch verölt, so ist mit Sicherheit davon auszugehen, dass sich die Isolatoren mit Öl vollgesaugt haben und gereinigt werden müssen.

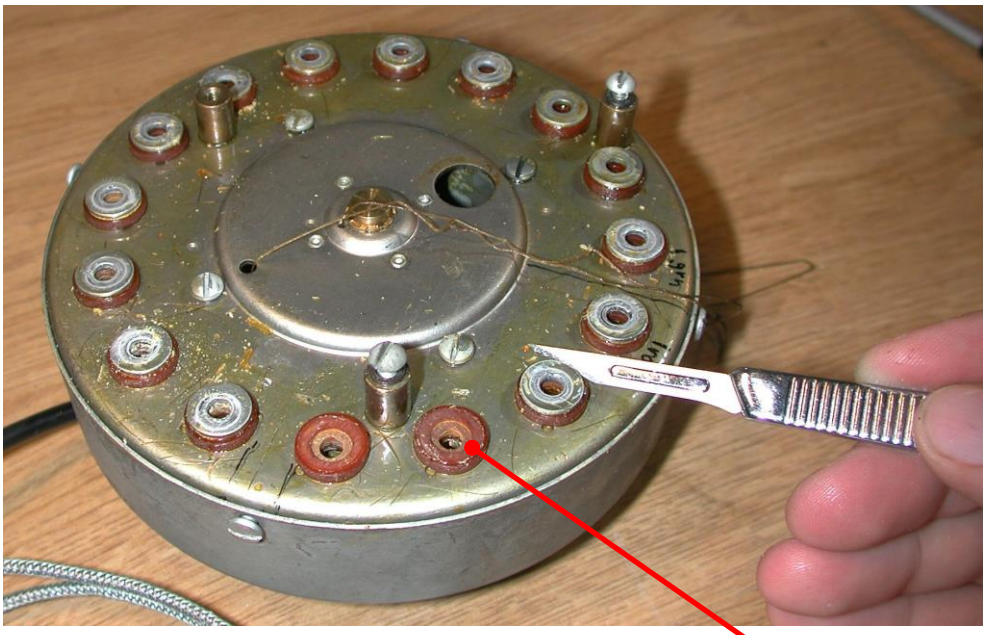


Abbildung 125: vordere Isolierplättchen

Es gibt zwei Arten der Isolierplättchen (also insgesamt 32 Stück): 16 viereckige zwischen jedem Stator und dem Gehäuse (Abbildung 124), sowie 16 runde, die von außen in die Schraubenlöcher gedrückt sind und die Schrauben selber elektrisch vom Gehäuse isolieren. Zum Abheben der Unterlegscheiben ist ein Skalpell gut geeignet.

In Abbildung 126 sehr schön zu sehen: der drehbare Rotor mit seinem Blechpaket auf der einen und dem Gegengewicht auf der anderen Seite.

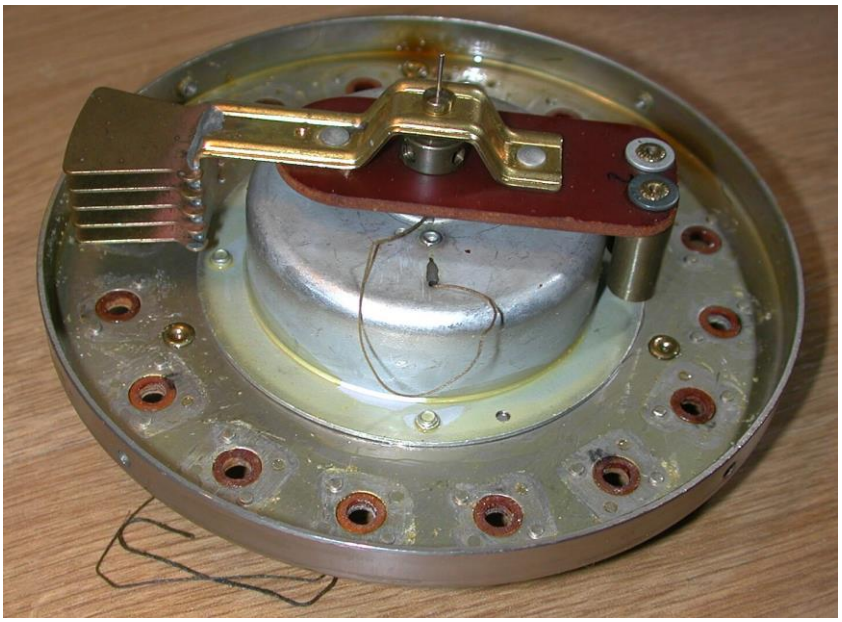


Abbildung 126: Scanner leergeräumt

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

7.2.3 Reinigung der Isolatoren

Wie bereits oben beschrieben, beeinflusst das Öl die Isoliereigenschaften in negativer Weise. Im Laufe der Zeit haben sich die Plättchen wahrscheinlich mit Öl vollgesaugt, so dass sie eine speckig glänzende, dunkelbraune Farbe angenommen haben. In diesem Fall reicht es nicht aus, das Öl einfach nur von der Oberfläche abzuwischen. Stattdessen müssen die Isolatoren mindestens eine Stunde lang in ca. 1 Liter Reinigungsbenzin gebadet werden! Öl "verschwindet" nicht, sondern verdünnt sich nur, deshalb reicht ein kleines Schälchen Reiniger nicht aus, um das Öl so weit zu "strecken", dass die Isolierplättchen als "gereinigt" angesehen werden können. Ist kein Reinigungsbenzin vorhanden, kann man übrigens auch Terpentin oder Universalverdünnungsmittel verwenden.

Beim Reinigen ist besonders darauf zu achten, dass die kleinen Bohrungen (ca. 2mm) in den vier Ecken nicht durch Ölrückstände zugesetzt sind! Je nach verwendetem Öl können Salze beim Verdunsten zurückbleiben, die sehr gut elektrisch leiten! Da das nicht erwünscht ist, also mit einem dünnen Bohrer und/oder kleiner Rundfeile diese kleinen Löcher gut auskratzen bzw. akribisch säubern.

Abbildung 127: Statoren und Isolierscheiben

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Wenn das Reinigungsbad angesetzt ist, dann bitte hin und wieder umrühren und erst nach mindestens 1 Stunde (länger baden schadet aber auch nicht) die Isolierplättchen herausnehmen. Dann eine Nacht lang trocknen lassen. Hat alles gut geklappt, hat sich die Färbung der Plättchen in Richtung sandig-hellbraun verändert. Wenn nicht, dann den Spülvorgang erneut durchführen. Achtung: dazu bitte immer frisches Reinigungsmittel benutzen; aufgrund des nun darin gelösten Öl-Anteils nicht mehrmals verwenden!

Übrigens können auch die Statoren und deren Befestigungsschrauben (inkl. Unterlegscheiben) auf diese Art und Weise behandelt werden. Dabei jedoch bitte aufpassen, dass die empfindlichen Statoren nicht verbiegen. Eine Reinigung per Ultraschall ist sicher auch möglich, jedoch von uns nicht erprobt.

Zuletzt noch ein kleiner Trick, wie man den Ölfaden während der Arbeiten vor Beschädigung schützt: man besorgt sich einen dicken Trinkhalm (z.B. aus einem Fastfood-Restaurant) und fädelt den Ölfaden dort vorsichtig ein. Danach fixiert man den gesamten Strohhalm mit Klebestreifen so am Gehäuse, dass keinerlei mechanische Spannung auf ihn ausgeübt wird. Der Strohhalm ist meistens lang genug, dass der komplette Ölfaden darin verschwindet. So ist er mechanisch gut geschützt und kann auch keine anderen Flüssigkeiten aufsaugen, die man evtl. während der Scanner-Reinigung verwendet! Wenn der Faden nicht richtig in den Strohhalm will, dann einfach am anderen Ende mit dem Mund ansaugen (und aufhören, wenn man den Faden dann irgendwann im Mund hat ;-)).

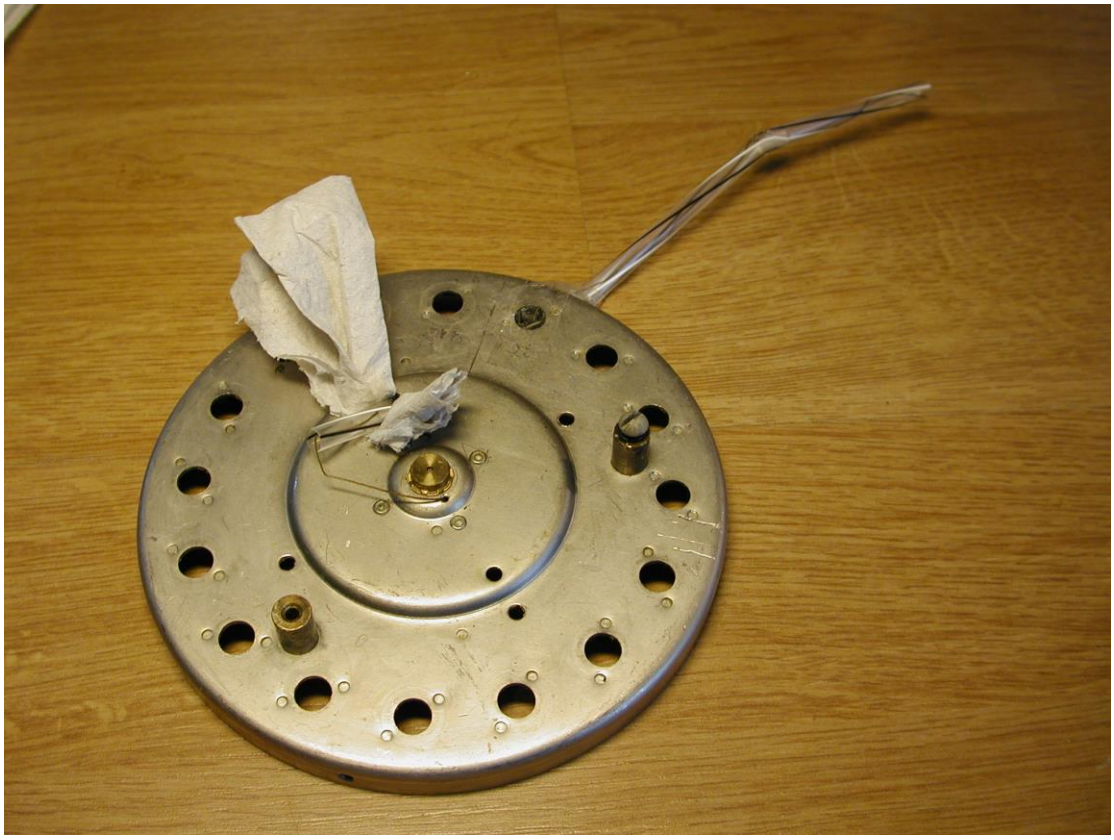


Abbildung 128: Ölfadenschutz

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

7.2.4 Zusammenbau

Ist der Scanner wieder instand gesetzt und sind zur Verifikation alle Messungen durchgeführt, geht es wieder an den Zusammenbau. Dabei gibt es folgendes zu beachten:

Das Antriebszahnrad des Motors wird ganz vorsichtig (!) wieder in die Öffnung der Scanners geführt. Danach werden Scanner und Motor mittels der drei Schrauben miteinander zu einer Einheit verschraubt. Nun die Achse des Motors vorsichtig drehen. Sie muss sich ganz gleichmäßig und sanft bewegen lassen. Bitte mehrere Umdrehungen lang drehen. Fällt einem während der Bewegung ein leichtes Ruckeln oder Haken auf, dann bitte den Scanner wieder abschrauben und das Antriebszahnrad des Motors überprüfen sowie das Zahnrad des Scanners auf Verschmutzung oder (noch schlimmer) abgenutzte Zähne begutachten. Oft haben sich hier Verharzungen oder verklumptes Öl/Fett abgelagert und verhindern so einen einwandfreien, gleichmäßigen Lauf. Ist nach der Reinigung sämtlicher Zähne und deren Zwischenräume immer noch ein „unrunder“ Lauf zu beobachten, dann lösen Sie bitte wieder die drei Schrauben, justieren den Motor in einer leicht anderen Stellung (die Schraubenlöcher gestatten ja ein ganz minimales Spiel) und ziehen ihn dann wieder fest.

Bei mir trat dieses Problem selber auf. Wird das Antriebsritzel des Motors zu dicht (bzw. zu fest) an das Zahnrad des Scanners gepresst und dann festgeschraubt, macht sich jeder noch so kleine Höhenschlag in Form von Rattern oder ungleichmäßigem Lauf bemerkbar. Ich justierte dann den Motor so, dass die beiden Zahnräder untereinander minimal mehr Spiel erhielten. Danach war das Problem gelöst.

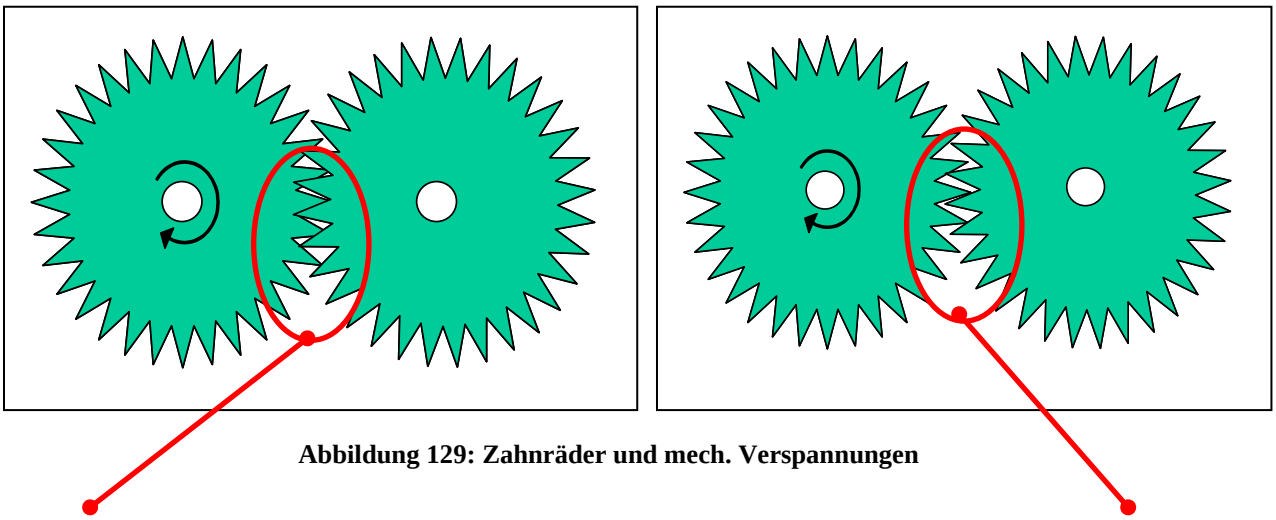


Abbildung 129: Zahnräder und mech. Verspannungen

Falsch: Die beiden Zahnräder sind zu dicht gegeneinander gepresst, sodass sie nicht sauber und ruhig laufen.

Richtig: Antriebszahnrad des Motors und Zahnrad des Scanners greifen sauber und locker ineinander, sind nicht verspannt und laufen daher verschleißarm und ruhig.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

- Die Ölfaden müssen wieder vorsichtig in die Ölwanne eingefädelt und um den Filz gewickelt werden

Wird der komplette Motor/Scanner-Block wieder an den Generator geschraubt und die Rutschkupplung eingebaut, so sind zwei Stellen unbedingt zu mit Staufer-Fett zu schmieren:

- die Steckverbindung mittels zwei Metallstiften direkt am Generatorgehäuse
- die große Metallkugel am Motor bzw. der Becher auf der Gegenseite, in den die Kugel nachher hineingedrückt wird

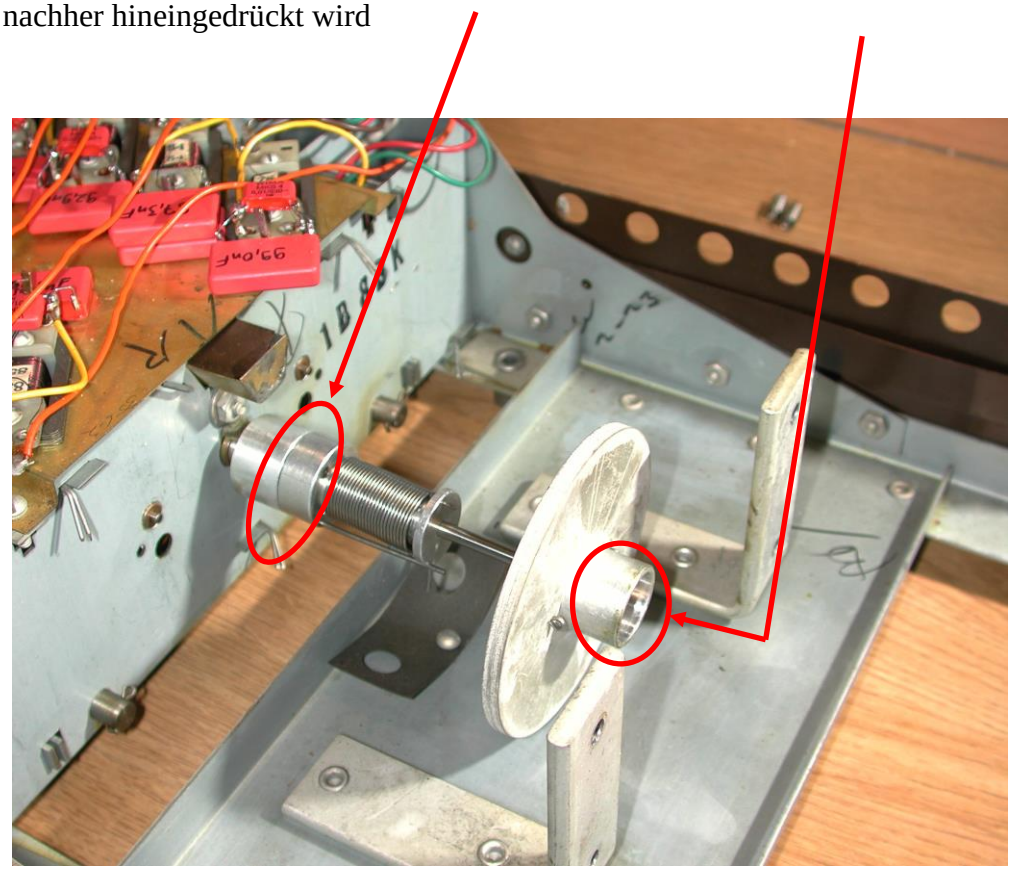


Abbildung 130: zu fettende Punkte

7.2.5 Weitere Literaturstellen

Zum Thema „Scanner-Reparatur“, „Überölung“ und „Verschmutzung“ rate ich außerdem zu der Lektüre des Artikels in [2].

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

7.3 Messwerte

Da es sich beim Scanner eigentlich um nichts anderes als einen großen, beweglichen Kondensator handelt, können auch verschiedene Kapazitäten ausgemessen werden.

7.3.1 Kapazität eines Stators gegen Gehäuse

Ein einzelnes Blechpaket (Stator) inkl. Befestigungsschraube und Unterlegscheibe hat gegenüber Masse (Blechgehäuse) ohne angeschlossenen Kabelbaum eine Kapazität von etwa 11..12pF.

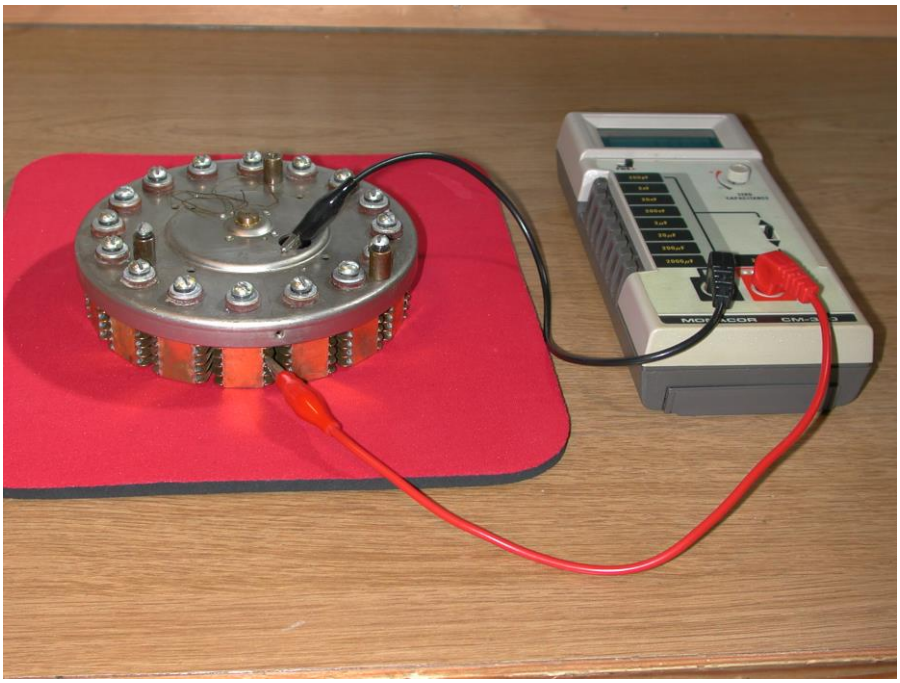


Abbildung 131: Messaufbau Statorkapazität

Hierbei ist zu beachten, dass bei dieser Messung ALLE Statoren eingebaut sein müssen, denn es findet auch eine gegenseitige Beeinflussung der Statoren untereinander statt (macht ca. 1..2pF aus). Natürlich spielt bei der Messung derartig kleiner Kapazitäten der Messaufbau bereits eine große Rolle. Allein die Anschlusskabel des Kapazitätsmessgerätes und deren Verlegung auf dem Labortisch haben Einfluss auf das Messergebnis. Daher ist es nicht verwunderlich, wenn Clubmitglied Ulrich Zwarg hier Kapazitäten von 19pF nennt, ich selber bei meinen Messungen aber auf Werte von um die 11..12pF komme.

Das ist jedoch nicht weiter schlimm; wichtig ist nur, dass die gemessenen Kapazitäten alle irgendwo zwischen 10 und 20pF liegen und nirgendwo ein grober "Ausreißer" zu finden ist. Das würde dann auf eine schlechte bzw. verschmutzte/verölte Isolierscheibe deuten; in diesem Fall stellen sich immerhin Kapazitäten von 70pF und mehr ein! So ist der „gut-“ und „schlecht“-Fall eindeutig zu erkennen.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Sehr anschaulich stellen Kreisdiagramme die rundherum gemessenen Kapazitäten des Scanners dar. So auch Abbildung 132. Hier sind die Messwerte aus Tabelle 3 in Form eines Spinnennetzes aufgetragen. Die innere Fläche ist annähernd kreisförmig; das spricht für ziemlich gleichmäßige und einheitliche Messwerte.

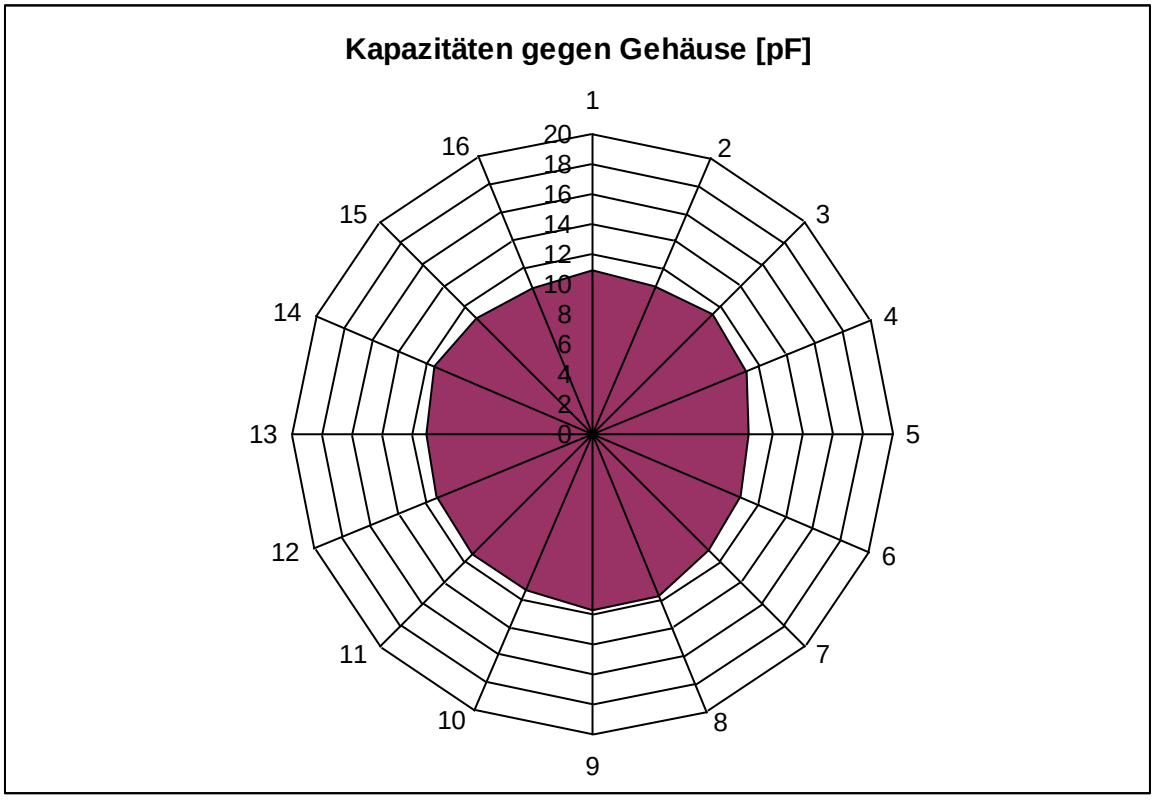


Abbildung 132: Kapazitäten gegen Gehäuse (Kreisdiagramm)

Zur Beschriftung in Abbildung 132: die senkrechte Achse (0..20) stellt die jeweils gemessene Kapazität in [pF] dar. Die Zahlen "1" bis "16" repräsentieren die Anschlüsse des Scanners. Beginnend mit dem Anschluss mit dem roten Anschlusskabel (=Anschluss Nr.1) wurden die Kapazitäten im Uhrzeigersinn ausgemessen und aufgenommen.

Stator Nr.	Kapazität [pF]	Anschluss
1	10,9	rot
2	10,6	schwarz
3	11,2	schwarz
4	11	schwarz
5	10,3	schwarz
6	10,6	schwarz
7	10,9	schwarz
8	11,5	schwarz
9	11,6	schwarz
10	11,2	schwarz
11	11,3	schwarz
12	11,1	schwarz
13	11	schwarz
14	11,4	schwarz
15	10,9	schwarz
16	10,5	grün

Tabelle 3: Kapazitäten gegenüber Gehäuse

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Zur besseren Veranschaulichung der Kreisdiagramme dient Abbildung 133. Hier wurde das Kreisdiagramm über das Foto eines Scanners gelegt.

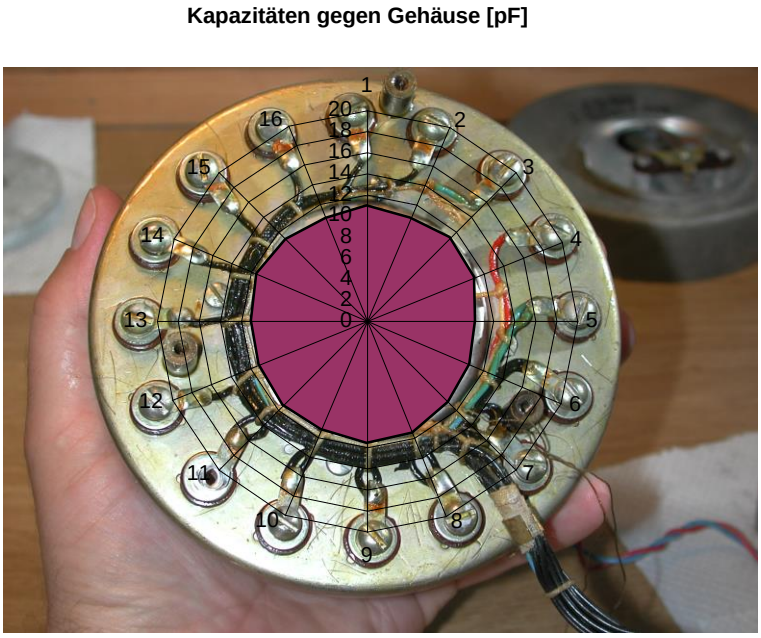


Abbildung 133: Interpretation von Kreisdiagrammen

Dieses Verfahren kann man auf alle hier gezeigten Kreisdiagramme anwenden.

7.3.2 Ader gegen Masse

Eine einzelne Ader des Kabelbaums gegenüber Masse: ca. 23pF.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

7.3.3 Auskoppelkapazität

Die Kapazität zwischen Rotor und einem beliebigen Stator (=Auskoppelkapazität) beträgt laut HNC-Wissen: 47..48pF.
Die Auskoppelkapazität wird ebenfalls mit allen eingebauten Statoren gemessen. Ich selber erhielt Messwerte von knapp 30pF, die um ca. +/-1pF streuten (siehe Tabelle 4).

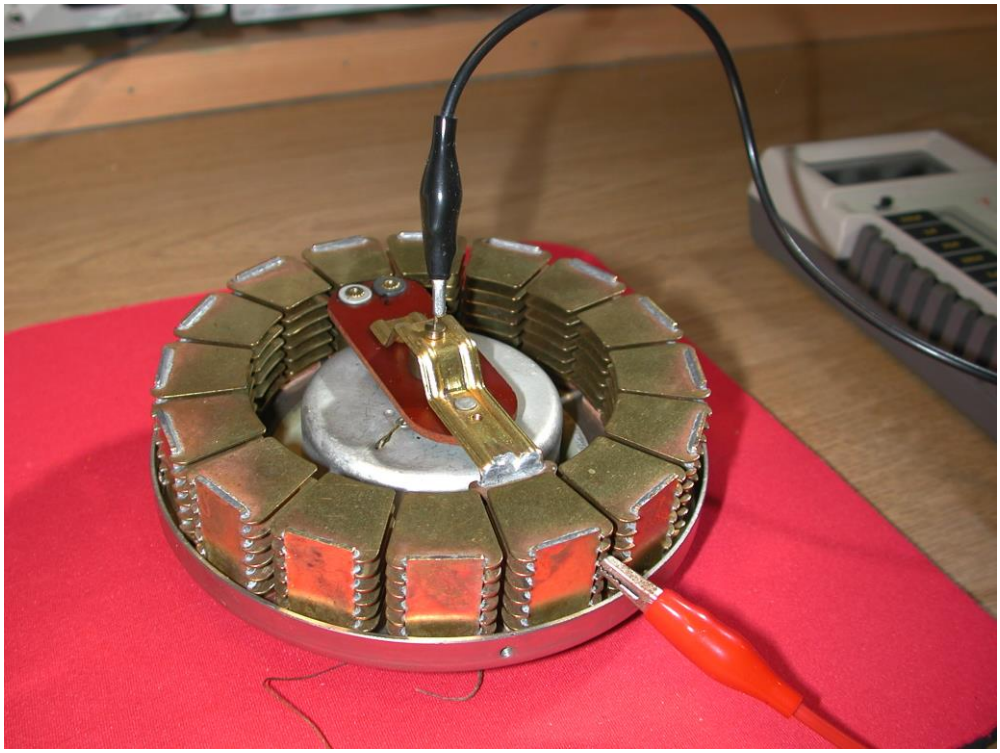


Abbildung 134: Messaufbau Auskoppelkapazität

Wer es also ganz genau machen will, sollte alle 16 Auskoppelkapazitäten nachmessen. Verbogene Kondensatorplatten machen sich nämlich dadurch bemerkbar, dass die gemessene Einkoppelkapazität stark von allen anderen Messwerten abweicht. Da auch bei dieser Messung der komplette Scanner-Kabelbaum abgeschraubt sein muss, sind also später all diese Schrauben nochmals zu lösen und der Kabelbaum danach anzuschließen. Wer diesen Mehraufwand nicht scheut, weiß hinterher aber auch sicher, dass alle Plattenabstände stimmen und der Scanner elektrisch einwandfrei funktioniert!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Die folgende Abbildung 135 zeigt die Messwerte aus Tabelle 4 wieder in einem Kreisdiagramm. Die (maximalen) Auskoppelkapazitäten wurden im Uhrzeigersinn aufgenommen und mit einem Monacor CM-350 Kapazitätsmessgerät ermittelt. Der Messaufbau entsprach Abbildung 134.

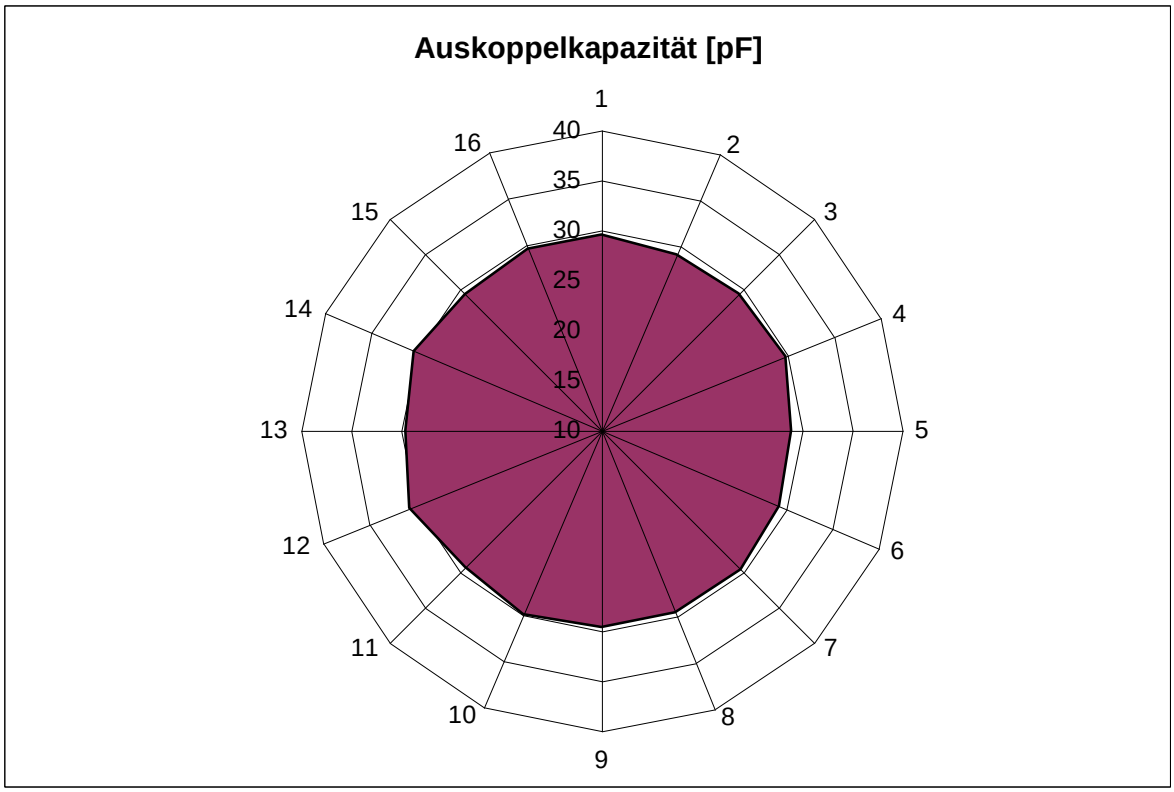


Abbildung 135: Auskoppelkapazität (grafisch dargestellt)

Erneut ist eine sehr schöne Kreisfläche zu erkennen, was auf durchgehend gleichmäßige Auskoppelkapazitäten schließen lässt.

Ein Scanner mit Einbrüchen oder "Zacken" in dem Diagramm wäre defekt und müsste elektrisch/mechanisch repariert werden!

Stator Nr.	Kapazität [pF]	Anschluss
1	29,5	rot
2	29,1	schwarz
3	29,3	schwarz
4	29,8	schwarz
5	28,9	schwarz
6	29,2	schwarz
7	29,6	schwarz
8	29,5	schwarz
9	29,6	schwarz
10	29,9	schwarz
11	29,2	schwarz
12	30,7	schwarz
13	29,5	schwarz
14	30,3	schwarz
15	29,2	schwarz
16	29,5	grün

Tabelle 4: Auskoppelkapazitäten

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

7.3.4 Übersicht: Scanner-Innenleben

Ich bin der Meinung, dass der Zusatzaufwand für die elektrischen Messungen auf jeden Fall lohnt. Immerhin kann man sich danach auch sicher sein, dass der Scanner ordnungsgemäß gereinigt und zusammengebaut wurde. Dieses angenehme, sichere Gefühl hat man sicher nicht, wenn man die Orgel gleich wieder komplett zusammengebaut hat und erst beim Spielen feststellt, dass das Scannervibrato nicht richtig „klingt“!!!

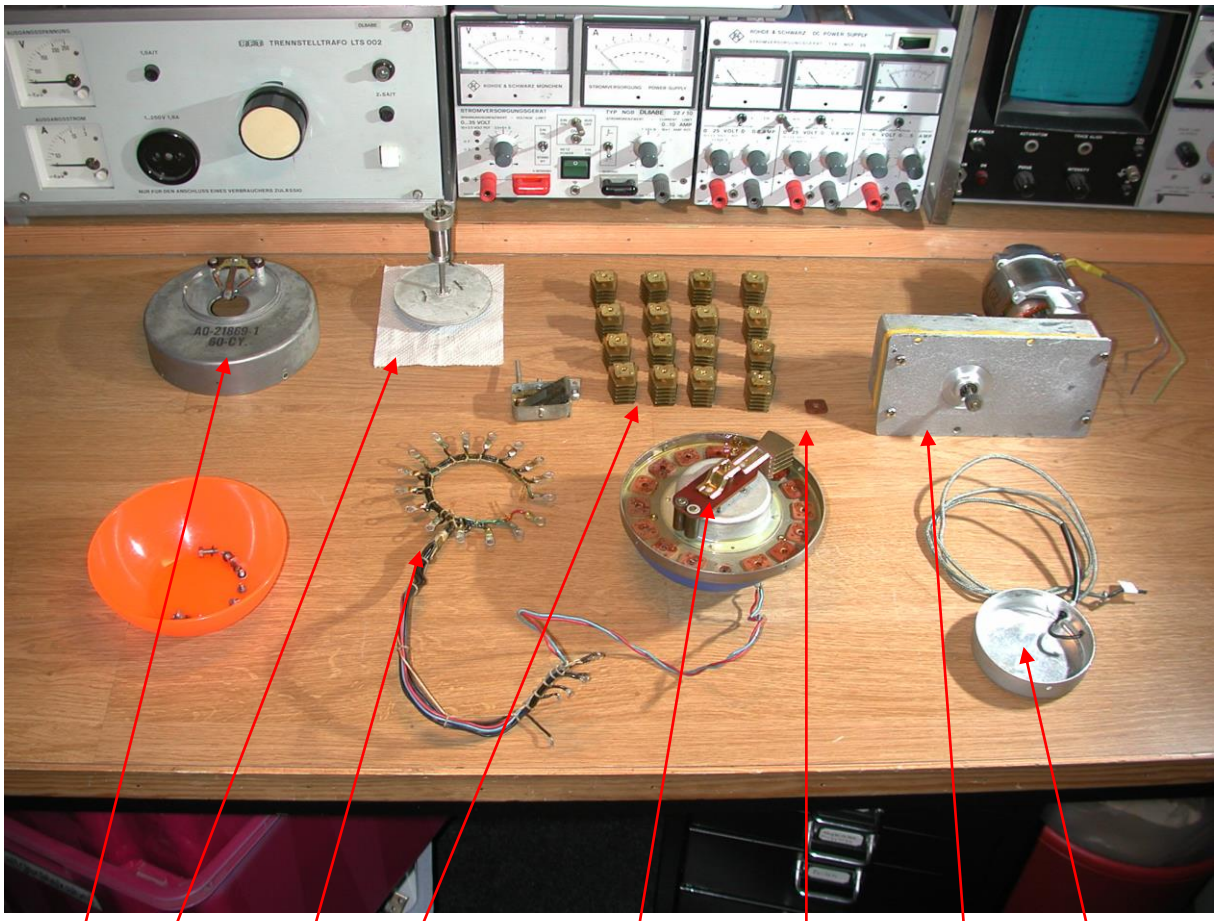


Abbildung 136: alle Scannerteile im Überblick

7.3.5 Weitere Literaturstellen

Eine interessante Betrachtung der theoretischen Berechnung der Scannerkapazität findet man in [12].

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

7.3.6 Scanner-Antriebseinheit

Die Antriebseinheit braucht man normalerweise nicht zu zerlegen.

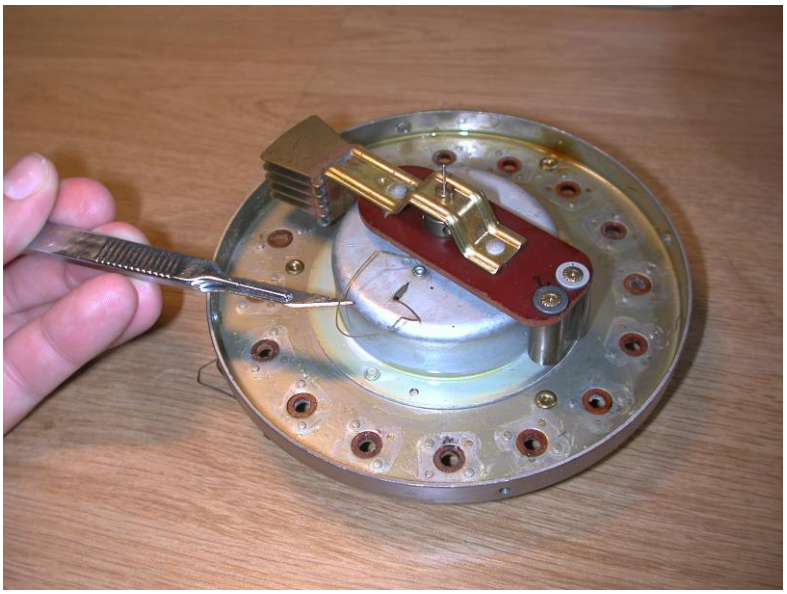


Abbildung 137: innerer Ölfaden

Wen es aber dennoch interessiert...so sieht es drinnen aus:

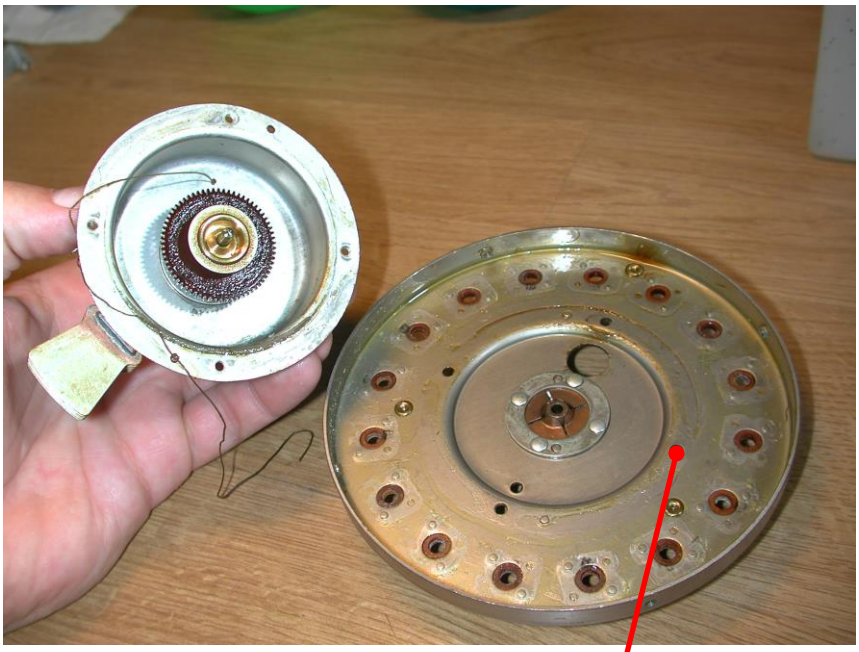


Abbildung 138: Scannerantrieb

Hinweis: eine Quelle berichtet hier von einer Unterlegscheibe, die zwischen Kappe und Gehäuseunterteil zwischengelegt worden sei. Vermutlich sollte sie dazu dienen, einen kleinen Spalt zu erzeugen, durch den bei Überölung der Ablauf des überschüssigen Öls aus der Kappe in den Scanner-Innenraum ermöglicht wird. Allerdings konnte eine solche Unterlegscheibe weder im Scanner unserer C-3 noch in einem weiteren Scanner (als Ersatzteil gekauft) nachgewiesen werden.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

7.4 Funktionsweise des Scanner-Vibratos

Um die Funktions- und Wirkungsweise des Scanner-Vibratos am besten zu verstehen, sollte man sich Abbildung 139 genauer ansehen:

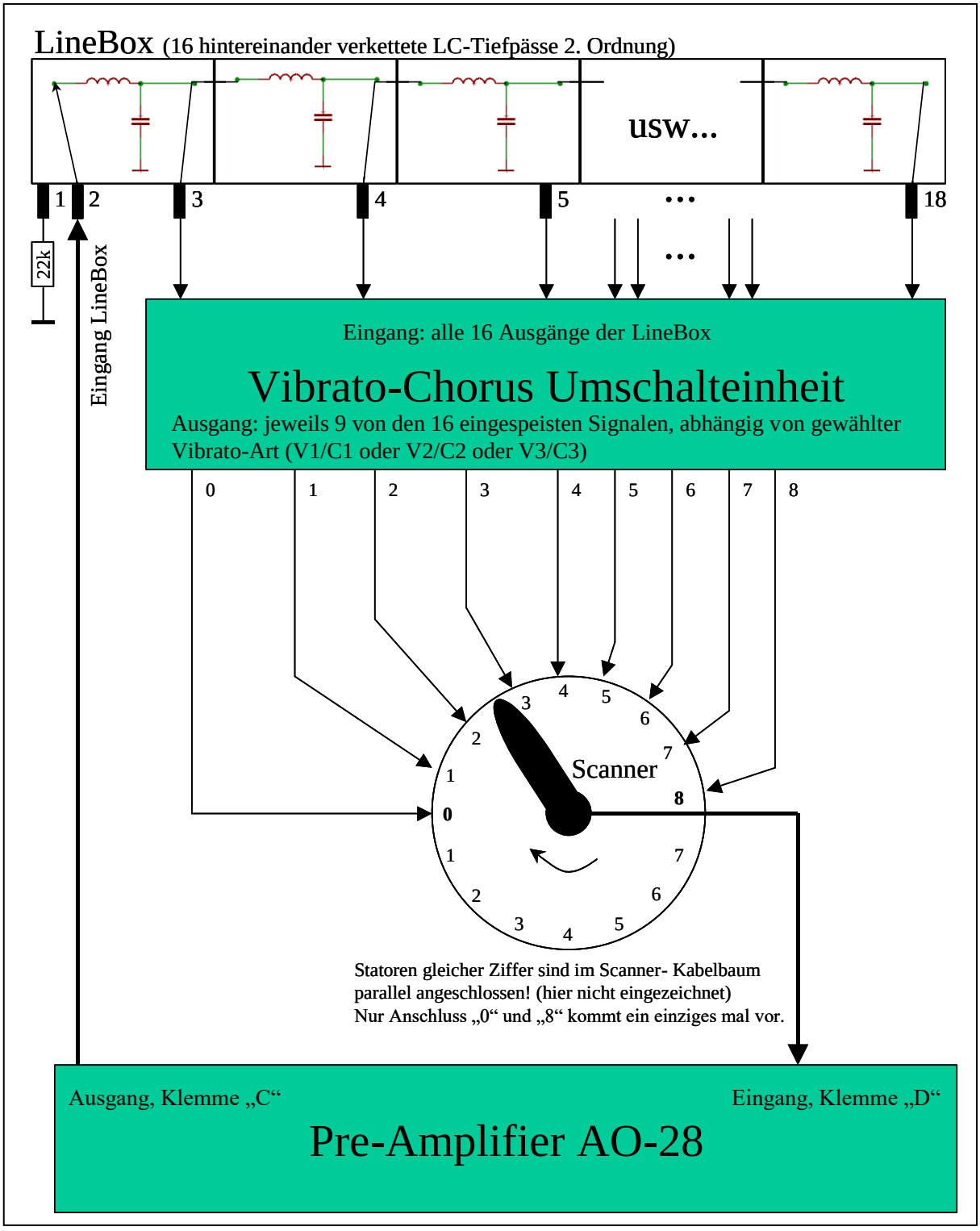


Abbildung 139: Funktionsweise Scannervibrato

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Das Herz des Scanner-Vibratos ist eigentlich nicht der Scanner, sondern eine mehrstufige Phasenschieberkette (genannt „LineBox“), die in der Lage ist, ein eingespeistes Tonsignal zeitlich zu verzögern. Die Verzögerung ist aber sehr klein, sodass wir hier eigentlich „nur“ von „Phasenverschiebungen“ im Bereich von wenigen Millisekunden sprechen können.

Trotzdem ist das menschliche Ohr aber sehr wohl in der Lage, solch kleine Phasenverschiebungen wahrzunehmen. Dieser Eigenschaft bedient sich das Scanner-Vibrato.

Lenken wir unsere Aufmerksamkeit erstmal auf Abbildung 139. Der Pre-Amplifier speist durch seinen Ausgang „Klemme C“ die LineBox mit dem originalen Hammond-Tonsignal. Diese besteht aus ingesamt 16 Tiefpass-Gliedern, von denen jedes einzelne eine kleine Phasenverschiebung verursacht (wieviel? Siehe dazu Abbildung 186). An jedem einzelnen Ausgang wird das Tonsignal also immer ein kleines Stückchen weiter verzögert (am Ende ist das Signal mit der größten Phasenverschiebung zu finden).

Der Scanner hat nun die Aufgabe, all diese Ausgänge kontinuierlich abzutasten. Er schaltet damit quasi andauernd verschiedene LineBox-Ausgänge mit unteschiedlicher Phasenlage zum Pre-Amplifier-Effekteingang („Klemme D“) durch. Dort liegt dann also ein Tonsignal mit sich dauernd ändernder Phasenlage an: das Phasenvibrato ist geboren!

Die vorgeschaltete Vibrato-Umschalteinheit (siehe dazu auch Kapitel 10.7.7) hat nur die Aufgabe, aus dem Angebot von 16 phasenverschobenen Signalen sich jeweils neun Stück zu einem „Set“ zusammenzustellen und zum Scanner zu schalten. Je stärker die Intensität des Vibrato-Signals sein soll, desto mehr Eingänge mit weit auseinander liegender Phasenlage werden verwendet. Möchte man nur wenig Vibrato, so verwendet man LineBox-Ausgänge, die dichter beieinander liegen und dementsprechend nur wenig Phasenverschiebung untereinander erzeugen.

Da die sechzehn Filter der LineBox nicht nur einen Phasengang erzeugen, sondern dabei ebenfalls auch noch einen Amplitudengang (siehe Kapitel 8.2), entsteht, haben wir es in Wahrheit mit einer Kombination aus Phasen- und Amplitudenvibrato zu tun. Eigenartigerweise empfindet das menschliche Ohr den Amplitudenanteil auch noch als angenehm, so dass bei der Wahl der geeigneten Kondensatoren für die LineBox auch auf eine möglichst geringe (!) Güte der Bauteile geachtet werden muss. Elektrisch höherwertige Bauteile mit höherer Güte erzeugen hier deutlich weniger Amplitudenvibrato- und das klingt nicht für jeden angenehm.

Der Widerstand an Pin1 der LineBox bestimmt übrigens die Auswahl zwischen Chorus und Vibrato. In der reinen Vibrato-Stellung wird er von dem Wahlschalter kurzgeschlossen, sodass er nicht wirksam ist. Eine gängige Modifikation beschäftigt sich damit, diesen Widerstand durch ein regelbares Potentiometer zu ersetzen (bzw. parallel zu schalten) und damit den Übergang zwischen Chorus und Vibrato einstellbar zu machen. (siehe Kapitel 14.1.2).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

7.5 Prüfung im eingebauten Zustand

Die Funktion des Scanners kann auch geprüft werden, wenn die Orgel nicht zerlegt wurde. Dazu ist lediglich das Ablöten des Kabelbaums an der LineBox notwendig.

7.5.1 Konzept

Ziel dieser Prüfung ist es, sicherzustellen, dass sämtliche Statoren des Scanners korrekt angeschlossen sind und die Einkopplung des Nutzsignals auf alle Statorenplatten gleichmäßig und sauber geschieht.

Dazu messen wir jeweils die Einkoppelwirkung eines Messsignals auf alle Scanner-Ausgänge. Das wird bei eingeschalteter Orgel und abgelötetem LineBox-Kabelbaum durchgeführt.

Sie benötigen für diese Messung nur einen NF-Tongenerator und ein einfaches Oszilloskop (ein digitales Speicheroszilloskop ist hier diesmal von Vorteil, aber nicht unbedingt notwendig).

In Abbildung 141 sehen Sie den schematischen Aufbau zur Messung des Scanners. Mit einem beliebigen NF-Tongenerator erzeugt man nun eine 1kHz-Sinusschwingung mit einer Amplitude von $5V_{eff}$. Diese wird -anstelle der sonst üblichen Ansteuerung aus dem PreAmplifier- direkt auf den Ausgangskabelbaum der LineBox geklemmt.

Nacheinander wird dann die Messung für jeden der Eingänge (Anschluss Nummer 3 bis einschl. 18) durchgeführt und dabei das Ausgangssignal auf dem angeschlossenen Oszilloskop beobachtet.

Für jede Vibrato/Chorus-Art (V1/C1 oder V2/C2 oder V3/C3) wird die Messung wiederholt, da bei jeder anderen Intensitätsstufe des Vibratos andere Ausgänge der LineBox benutzt werden. Damit alle einmal "drankommen", muss die Messung insgesamt drei Mal durchgeführt werden (einmal bei V1 oder C1; einmal bei V2 oder C2, einmal bei V3 oder C3).

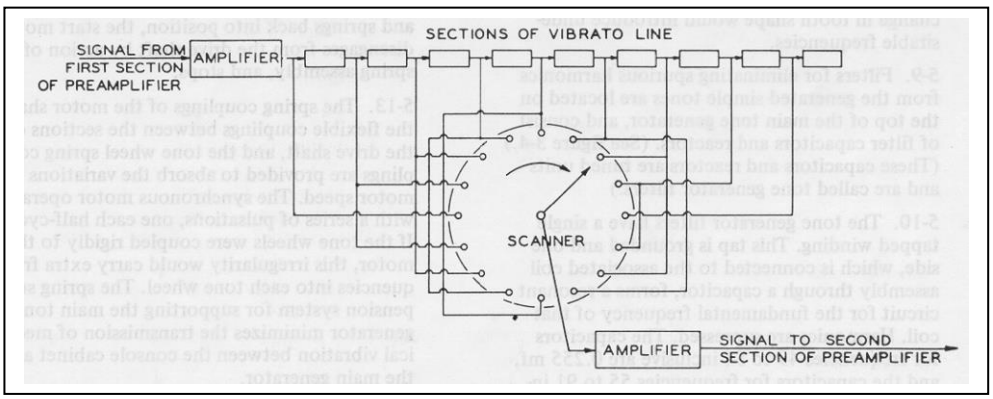


Abbildung 140: Scanner-Schaltkreis [21]

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

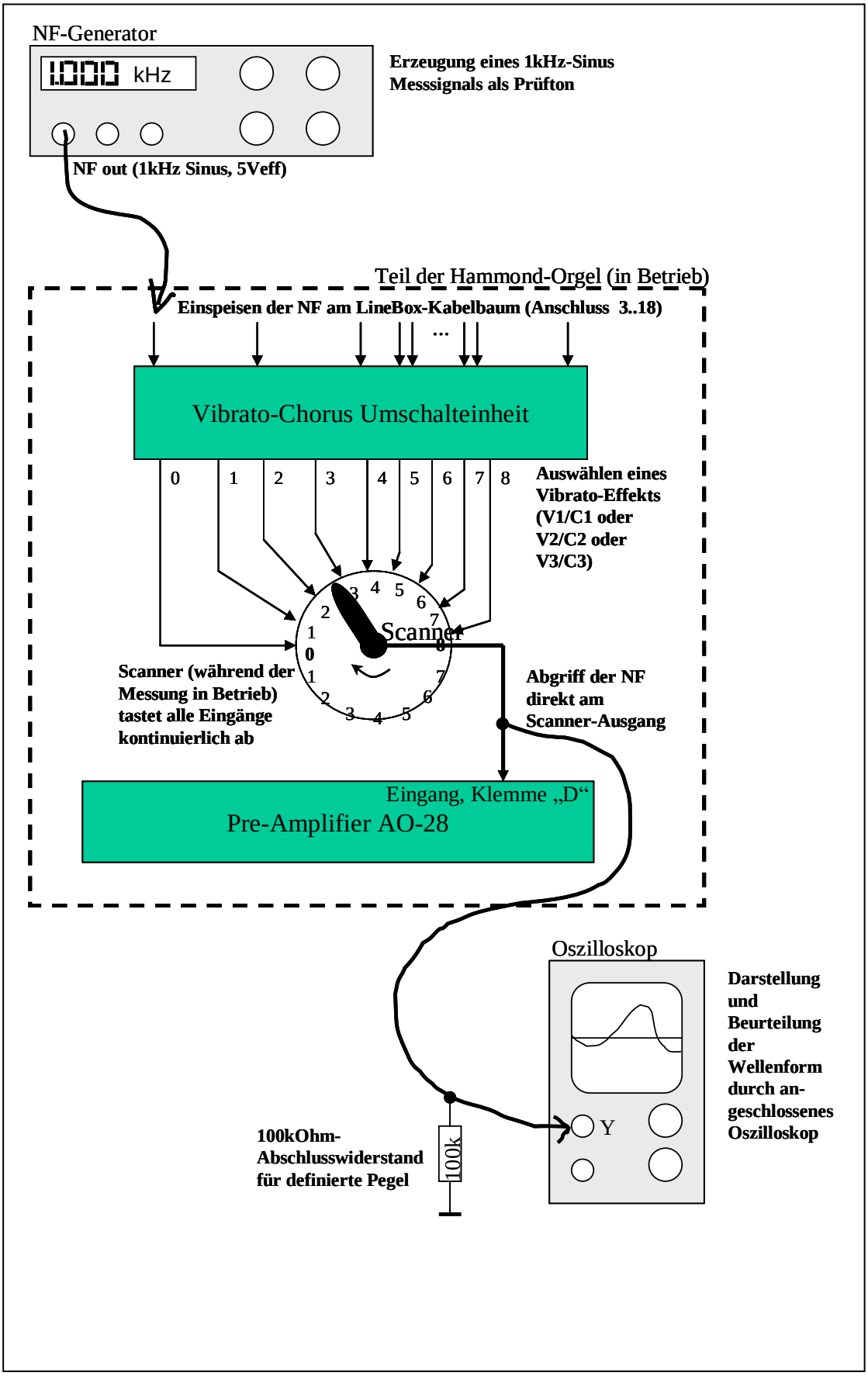


Abbildung 141: schematischer Aufbau der Scannermessung

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

7.5.2 Durchführung der Scannermessung

Bitte stellen Sie Ihren Tongenerator wie folgt ein:

- f=1 kHz
- Wellenform: Sinus
- $U_a = 5V_{eff}$

Hinweis:
Da es sich im Scanner um eine rein kapazitive (hochohmige) Einkopplung handelt, muss der Generator schon eine Menge Ausgangsspannung liefern, damit man am Ende mit dem Oszilloskop saubere Wellenformen sehen kann.

Sobald Sie den kompletten Kabelbaum an der LineBox abgelötet haben, speisen Sie nun zwischen Pin 1 (=GND) und Pin 3 den 1kHz-Sinus des Tongenerators ein.

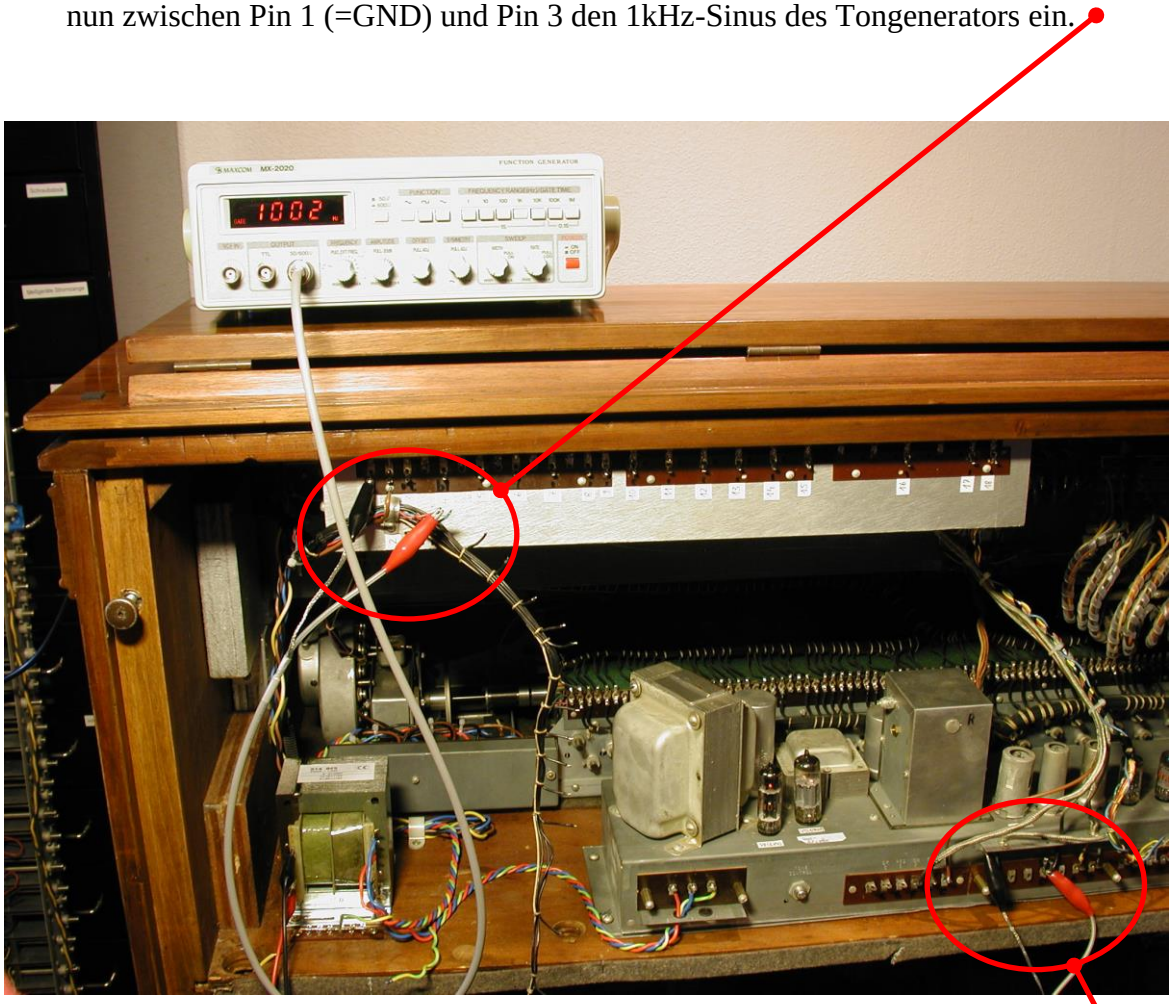


Abbildung 142: realer Aufbau der Scannermessung

Nun überprüfen Sie mit einem beliebigen Oszilloskop die Spannung an Klemme "D" des PreAmps. (Klemme "D" ist der Vibrato-Vorverstärkereingang. Hier liegt das Ausgangssignal des Scanners an.)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Um definierte Spannungsverhältnisse zu erhalten, schließen Sie den Punkt "D" bitte mit einem 100kOhm-Widerstand gegen GND ab. Ich habe mir zu dem Zweck einen kleinen 100kOhm BNC-Abschluss gelötet und parallel am Oszilloskop mit aufgesteckt.

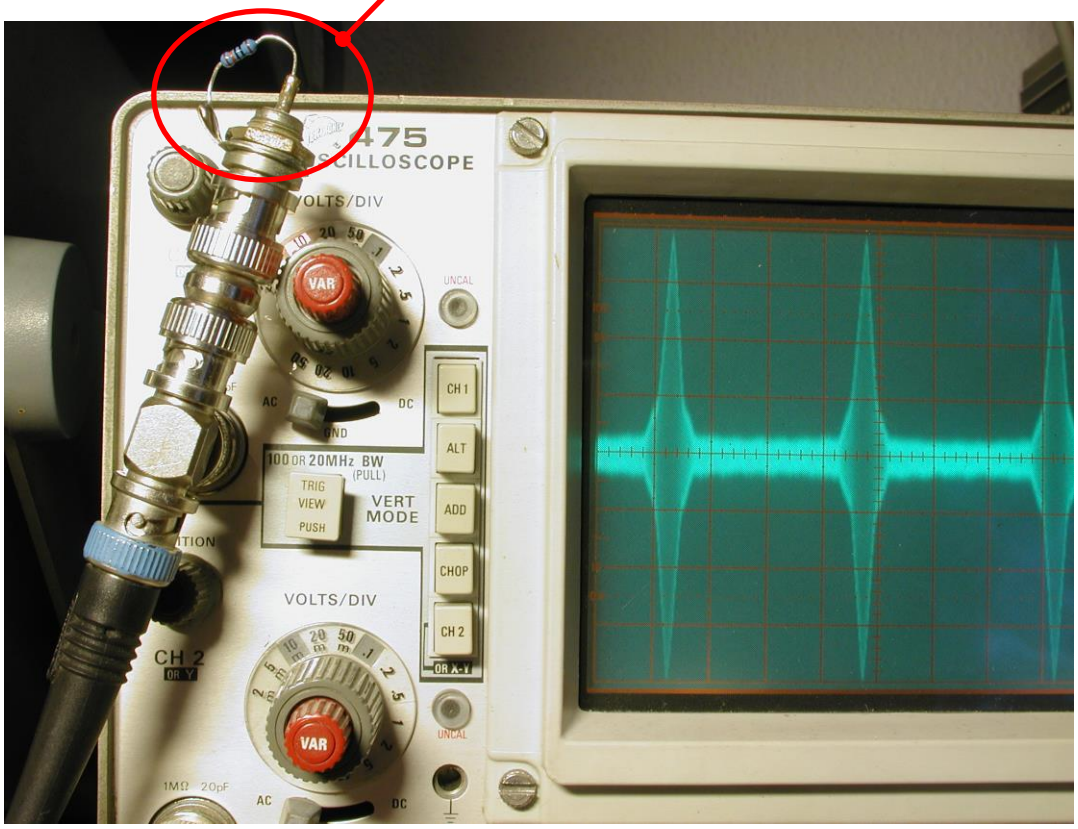


Abbildung 143: 100kOhm-Abschluss

Wie schon in obigem Bild angedeutet, erhält man auf dem Oszilloskop nun Sinus-Bursts. Immer dann, wenn der Rotor des Scanners an der gerade angeschlossenen Statorplatte vorbeikommt, wird die NF des Tongenerators dort eingekoppelt. Die Spitze des Bursts gibt also den Zeitpunkt an, wo Stator und Rotor exakt ineinander greifen und die Einkopplung des Tonsignals auf die angeschlossene Statorplatte maximal ist (vergleiche dazu auch Kapitel 7.3.3)!

Die Anschlüsse "3" und "11" nehmen hier übrigens eine Sonderstellung ein: sie sind (in Stellung V1/C1) nur mit einer einzigen Statorplatte verbunden, sodass pro Scannerumdrehung nur ein einziger Burst zu sehen ist. Wie wir anhand weiterer Oszillogramme noch sehen werden, gibt es auch "Doppel-Bursts".

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Durchführung:
Bitte (falls nicht schon geschehen) starten Sie die Orgel und stellen am Vibrato-Drehschalter das "V1-Vibrato" ein (oder "C1, das ist egal).

Nun speisen Sie nacheinander das 1kHz-Messsignal an allen Stellen des LineBox-Kabelbaums ein (beginnend mit Anschluss Nr.3; letzter Anschluss ist Nr. 18). Das Oszillogramm vergleichen Sie bitte mit den Angaben in Tabelle 5, Tabelle 6 und Tabelle 7.

Sie werden feststellen, dass eine präzise Bestimmung von Maxima, Minima und Ruhelage nicht immer ganz so einfach ist. Besitzer eines digitalen Speicheroszilloskops sind klar im Vorteil (wir können mit sowas leider noch nicht dienen).

Bitte prüfen Sie auch immer die Anschlüsse mit, die NICHT für die gerade eingestellte Vibrato-Art mit verwendet werden. Hier dürfen Sie nicht mehr als ca. 20mV_{ss} Tonspannung mit annähernd gleich bleibender Amplitude messen!

Dasselbe wiederholen Sie bitte auch für die Vibratos "V2" und "V3"!

7.5.3 Weiteres Wissenswertes über das Scannervibrato

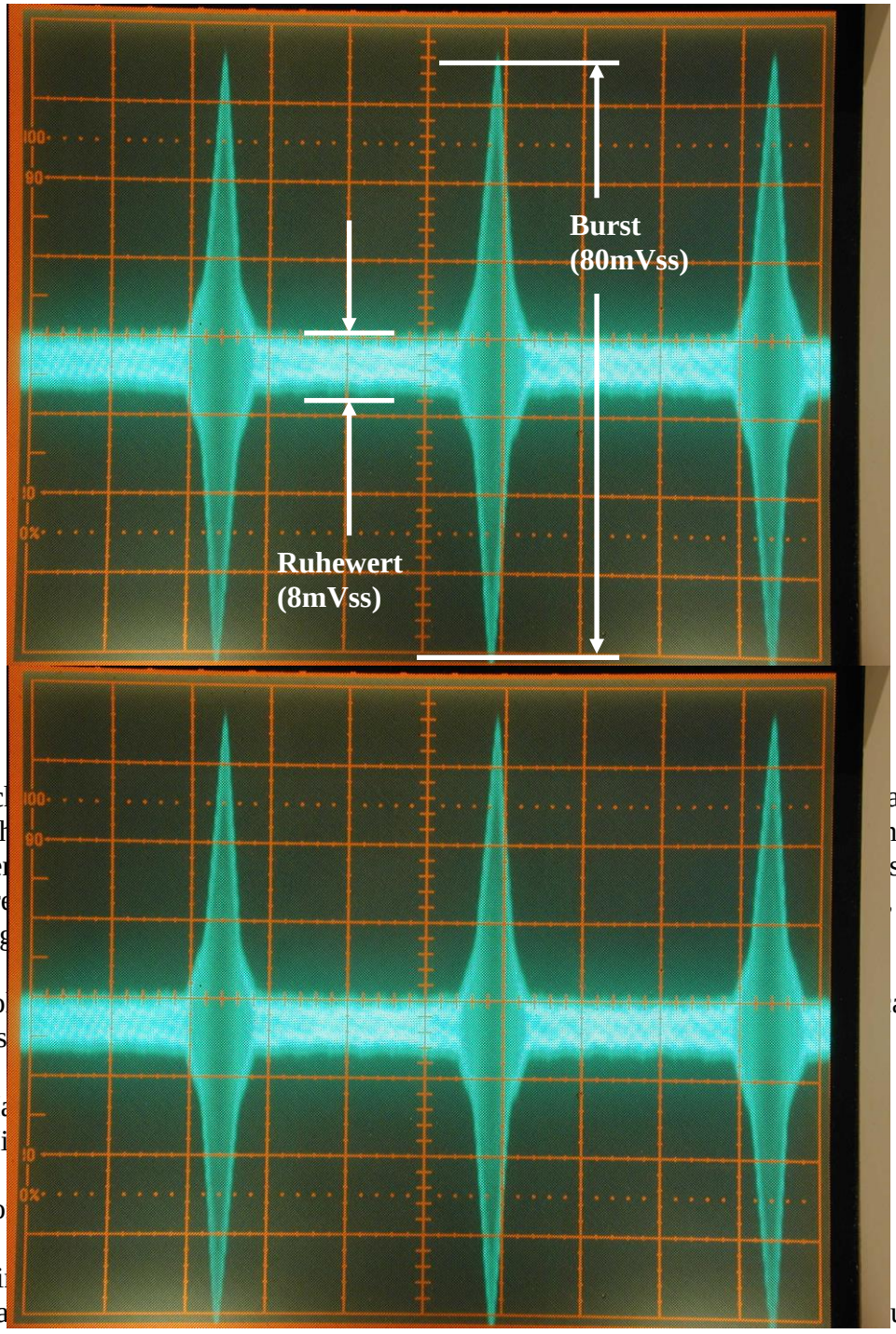
Wichtige Hinweise:

- Es werden jeweils nur 9 Anzapfungen der LineBox für einen Vibrato/Chorus-Effekt genutzt.
- Die Intensität des Vibratos/Chorus' hängt davon ab, welche Abgriffe der Tiefpass-Filter in der LineBox zum Vorverstärker durchgeschaltet werden (insgesamt jedoch immer genau 9).
- Diese Auswahl trifft die „Chorus/Vibrato-Umschalteinheit" (siehe 10.7.7). Dort sind nämlich 3 Kontaktgruppen (à je 3 Konakte) für diesen Zweck eingebaut.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

7.5.4 Oszillogramme

Anhand einiger charakteristischer Oszillogrammfotos möchte ich hier auf die wesentlichen Prinzipien eingehen. Die Aufnahme aller möglichen Schirmbilder halte selbst ich für übertrieben (das wären immerhin 6x 16 = 96 Stück...)



Sc an. Wie
sch nd Stator
ge s in den
Pr , fällt die
Sig

Fo anner) ab-
les

Ma
Mi

So

Hi
Da urde, re-
präsentiert die Zeit zwischen zwei Bursts genau eine Umdrehung des Scanner-Rotors!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

In Abbildung 145 sieht man einen einzelnen Burst in der "Vergrößerung". Die X-Ablenkung betrug bei der Aufnahme hier 5ms/div; die Y-Ablenkung 10mV/div.

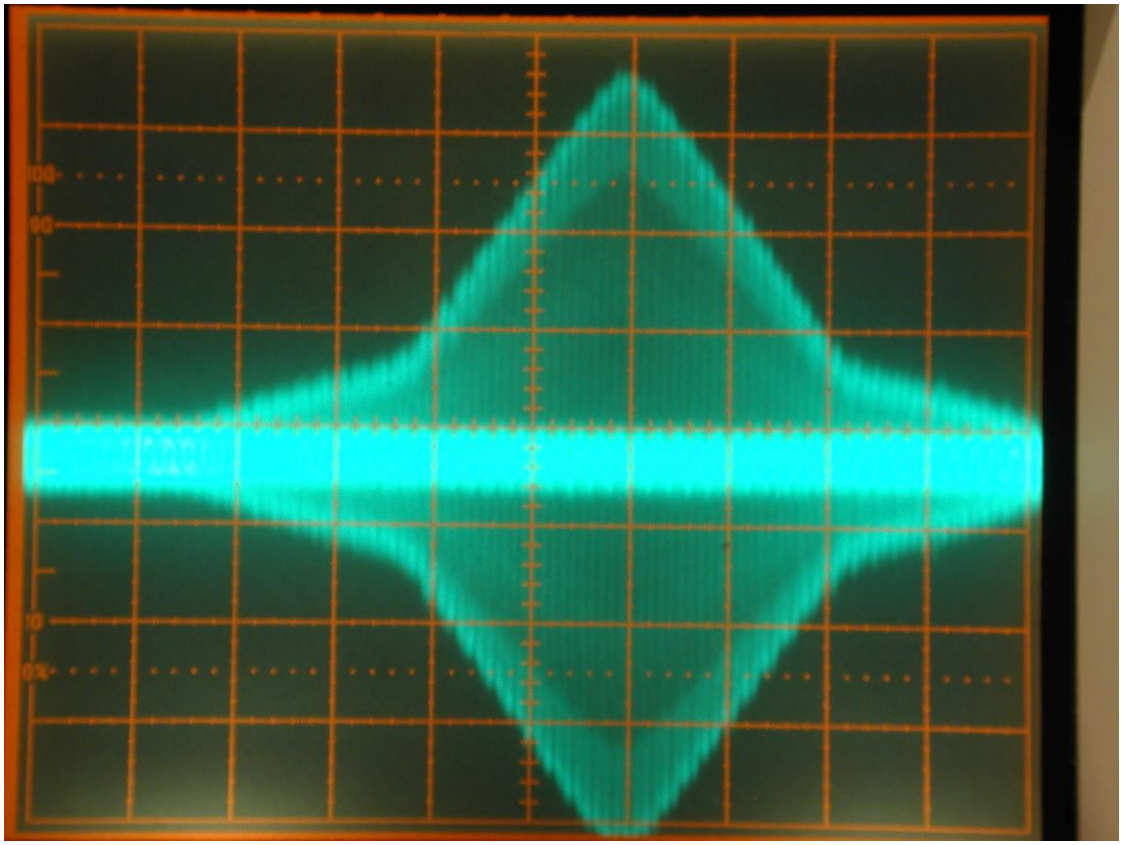


Abbildung 145: ein einzelner Burst

Hinweis:
Eigentlich wollte ich die X-Ablenkung hier gar nicht angeben um nicht zu verwirren. Alle hier angefertigten Oszillogramme wurden von einer amerikanischen (60Hz) Orgel an einem europäischen 50Hz-Netz gemacht, d.h. die Orgel läuft hier zu langsam. Falls Sie an den Bildern hier Zeit ablesen und auf eine "korrekt schnell" laufende Orgel übertragen möchten, so multiplizieren Sie die abgelesenen Zeiten bitte mit $^5/_6$! Leider war der passende Frequenzumrichter zum Zeitpunkt der Messung nämlich noch nicht fertig und die Orgel wurde nicht ganz frequenzrichtig betrieben (hat an dieser Stelle aber keinen Einfluss auf die Scanner-Messung)....

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Speist man das NF-Signal an anderen Punkten des LineBox-Kabelbaums ein, so wird man auch Doppel-Bursts sehen. In allen Fällen, in denen Sie Bilder ähnlich Abbildung 146 sehen, sind immer 2 Kondensatorplatten (Statoren) in Betrieb!

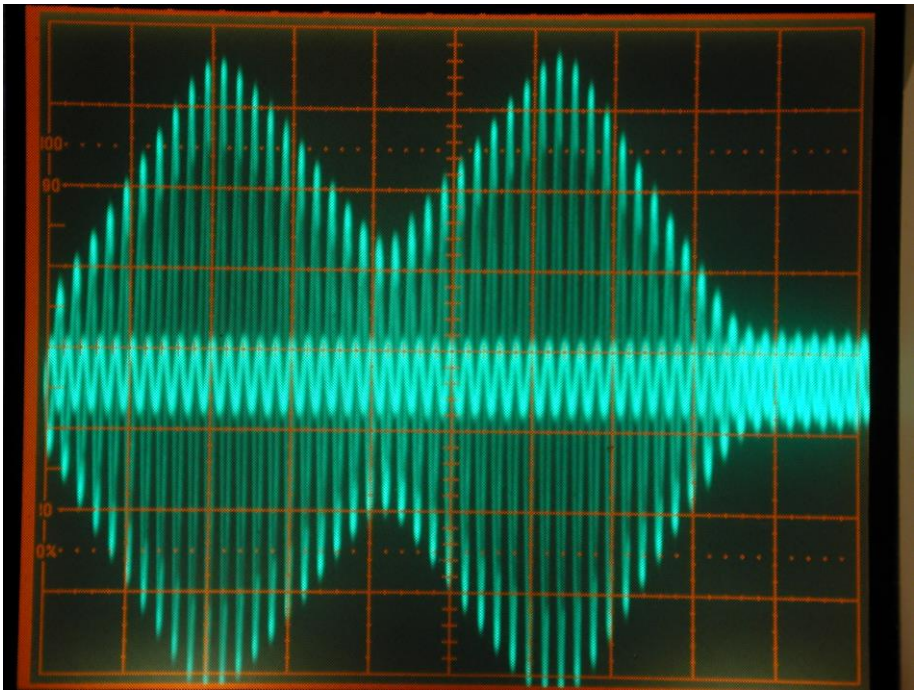


Abbildung 146: Doppel-Burst

Mit einem Blick in den Schaltplan kann man schnell erkennen, bei welcher Vibratoeinstellung und welchem Anschluss des Kabelbaums wie viele Kondensatorplatten aktiv sind.

Um Ihnen einen Eindruck von allen möglichen Burst-Arten zu geben, hier noch ein paar Bildschirmfotos, denn nicht immer sind die erhaltenen Bilder so schön gleichmäßig. Relativ oft sind in den Oszillogrammen -neben dem Ruhewert- noch ausgeprägte Minima zu erkennen. Dort gibt es selbst im Ruhewert noch ausgeprägte Minima!

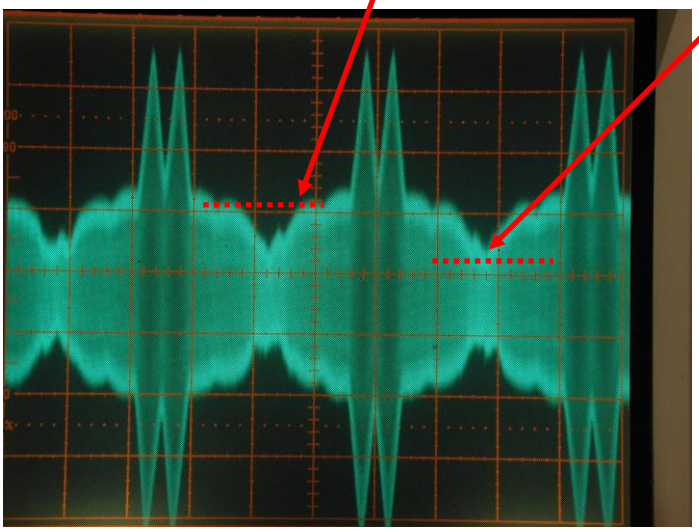


Abbildung 147: Doppel-Burst mit Minimum

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

In Abbildung 148 ein "klassischer Doppelburst" mit eindeutig erkennbarer Ruhelage. (Im Übrigen ist es längst nicht immer so einfach, Doppelbursts von Einfachbursts zu unterscheiden! Liegen sich die verwendeten Statorplatten genau gegenüber, erhält man qualitativ ein Schirmbild wie in Abbildung 144, jedoch nur mit doppelter Burstfrequenz!)

Y: 10mV/div

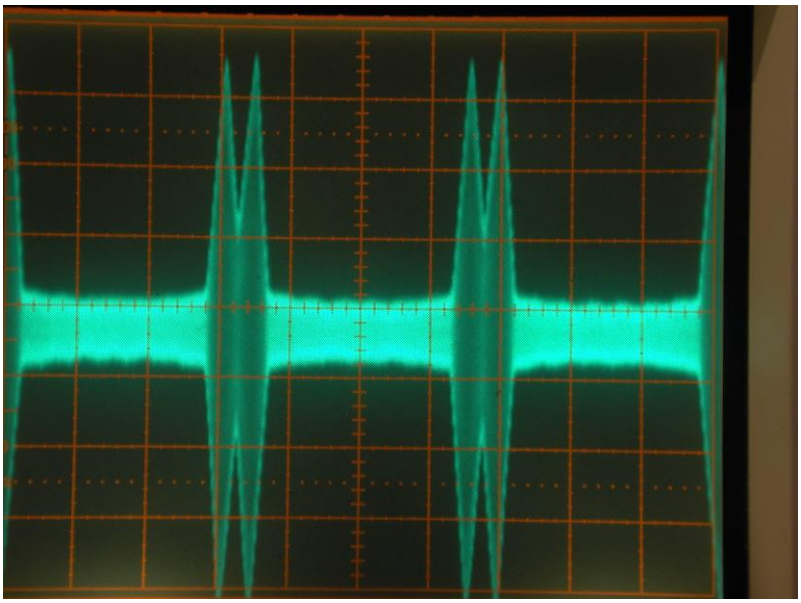


Abbildung 148: klassischer Doppel-Burst

So sieht es aus, wenn der gerade gespeiste Stator für den gerade eingestellten Vibrato-Effekt überhaupt nicht genutzt wird (Abbildung 149).

Y: 10mV/div

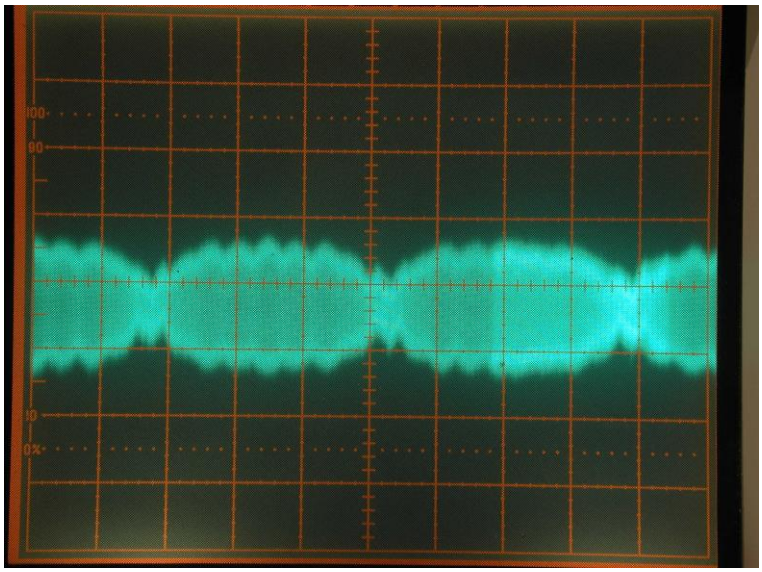


Abbildung 149: Stator inaktiv

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Fazit:

Im Regelfall kann man bei einem einwandfreien Scanner auf nicht benutzten Statoren eine Restspannung von etwa 20mV_{ss} messen.

7.5.5 Stellung „V1“ bzw. „C1“

Folgende Pins der LineBox sind bei dieser Vibratorstellung aktiv geschaltet:
3,4,5,6,7,8,9,10,11

Pin Nr.	Burstart	Maximum (Burst)	Ruhewert	Minimum (falls vor-handen)
3	einfach	80 mV_{ss}	8 mV_{ss}	=Ruhewert
4	doppel	80 mV_{ss}	8 mV_{ss}	=Ruhewert
5	doppel	80 mV_{ss}	30 mV_{ss}	=Ruhewert
6	doppel	80 mV_{ss}	35 mV_{ss}	=Ruhewert
7	einfach	80 mV_{ss}	30 mV_{ss}	20 mV_{ss}
8	einfach	85 mV_{ss}	35 mV_{ss}	20 mV_{ss}
9	doppel	80 mV_{ss}	40 mV_{ss}	20 mV_{ss}
10	doppel	80 mV_{ss}	30 mV_{ss}	25 mV_{ss}
11	einfach	80 mV_{ss}	30 mV_{ss}	20 mV_{ss}

Tabelle 5: Messwerte in Stellung "V1/C1"

Hinweis:
mV_{ss} bedeutet „Millivolt Spitze Spitze“

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

7.5.6 Stellung „V2“ bzw. „C2“

Folgende Pins der LineBox sind bei dieser Vibratorstellung aktiv geschaltet:3,4,5,7,9,11,13,14,15,

Pin Nr.	Burstart	Maximum (Burst)	Ruhewert	Minimum (falls vorhanden)
3	einfach	80 mV_{ss}	15 mV_{ss}	=Ruhewert
4	doppel	80 mV_{ss}	20 mV_{ss}	=Ruhewert
5	doppel	80 mV_{ss}	30 mV_{ss}	25 mV_{ss}
7	doppel	80 mV_{ss}	30 mV_{ss}	=Ruhewert
9	doppel	85 mV_{ss}	40 mV_{ss}	25 mV_{ss}
11	doppel	85 mV_{ss}	40 mV_{ss}	25 mV_{ss}
13	doppel	80 mV_{ss}	40 mV_{ss}	25 mV_{ss}
14	doppel	80 mV_{ss}	35 mV_{ss}	25 mV_{ss}
15	einfach	80 mV_{ss}	30 mV_{ss}	=Ruhewert

Tabelle 6: Messwerte in Stellung "V2/C2"

7.5.7 Stellung „V3“ bzw. „C3“

Folgende Pins der LineBox sind bei dieser Vibratostellung aktiv geschaltet:3,4,6,9,12,15,16,17,18

Pin Nr.	Burstart	Maximum (Burst)	Ruhewert	Minimum (falls vorhanden)
3	einfach	85 mV_{ss}	10 mV_{ss}	=Ruhewert
4	doppel	80 mV_{ss}	15 mV_{ss}	=Ruhewert
6	doppel	85 mV_{ss}	35 mV_{ss}	30 mV_{ss}
9	doppel	85 mV_{ss}	35 mV_{ss}	25 mV_{ss}
12	doppel	85 mV_{ss}	35 mV_{ss}	25 mV_{ss}
15	doppel	85 mV_{ss}	40 mV_{ss}	25 mV_{ss}
16	doppel	85 mV_{ss}	35 mV_{ss}	25 mV_{ss}
17	doppel	85 mV_{ss}	40 mV_{ss}	25 mV_{ss}
18	einfach	90 mV_{ss}	30 mV_{ss}	20 mV_{ss}

Tabelle 7: Messwerte in Stellung "V3/C3"

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8 Die LineBox

8.1 Funktionsprinzip

Eine unspektakuläre, aber sehr wichtige Baugruppe ist die "Line-Box". Sie erzeugt alle notwendigen Signale, die der Scanner benötigt, um das Phasenvibrato bzw. Chorusvibrato zu generieren.

Hinweis: Die Umschaltung zwischen Vibrato und Chorus erfolgt übrigens "nur" durch das Überbrücken des Widerstandes R44. Schließt man jedoch parallel dazu ein Poti an, kann man den Effekt einstellbar machen. Mehr dazu in Kapitel 14.1.2.

Die Line-Box besteht aus einer Kettenschaltung von 18 Tiefpässen (aber nur 16 Anschlüsse; da an zwei Stellen Tiefpässe höherer Ordnung verwendet werden). Dabei bewirkt jeder einzelne Tiefpass eine Phasenverschiebung des Ausgangssignals gegenüber dem Eingangssignal (bei 1kHz Testsignal ca. 20° pro Tiefpass). Hinter jedem weiteren Tiefpass wird die Phasenlage also etwas weiter verschoben, sodass die größte Phasenverschiebung am Ausgang des letzten (16ten) Tiefpass-Anschlusses Nr.18 zu finden ist.

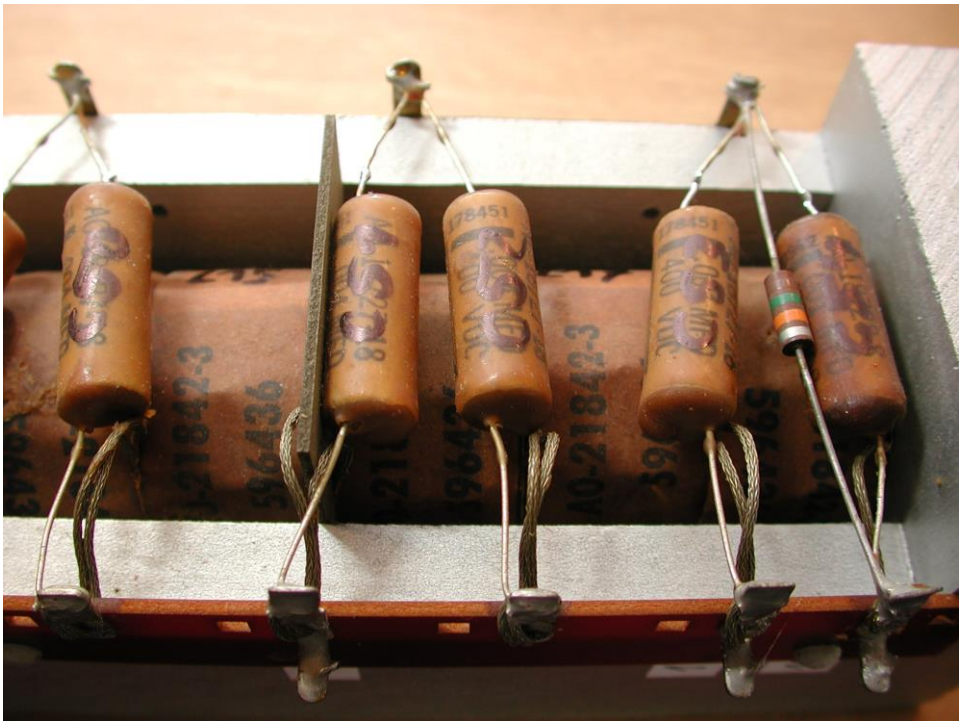


Abbildung 150: LineBox (altes Modell) im Originalzustand

Der Scanner hat lediglich die Aufgabe, alle 16 Ausgänge kontinuierlich abzutasten und das so gewonnene Effeksignal an den Vorverstärker zu liefern. Es handelt sich hierbei um ein so genanntes "Phasenvibrato"; es entsteht durch zyklische Änderung der Phasenlage zum Originalsignal. Wie man messtechnisch auch beweisen kann, wird dabei gleichzeitig auch eine Änderung der Signalamplitude erzeugt; das gesamte Vibrato besteht also sowohl aus einem Phasenvibrato als auch gleichzeitig aus einem Amplitudenvibrato.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2 Messungen

Natürlich unterliegen auch die (Wachs)kondensatoren der LineBox einem Alterungsprozess, sodass die damals ursprünglich berechneten Grenzfrequenzen heute nicht mehr erreicht werden. Um das näher zu untersuchen, wurden die Amplitudenfrequenzgänge aller 16 Ausgänge aufgenommen und mit denen verglichen, die nach erfolgtem Erneuern der Kondensatoren und Widerstände gemessen wurden.

Im Allgemeinen kann nach der "Restauration" durchweg eine Verschiebung der Grenzfrequenz zu höheren Frequenzen hin beobachtet werden (Beispielhaft gezeigt in Abbildung 155f; von ca. 6 auf 8kHz). In der Praxis wirkt sich das dann so aus, dass das Vibratosignal nun nicht mehr so "dumpf" klingt wie früher, sondern auch hochfrequentere Anteile enthält.

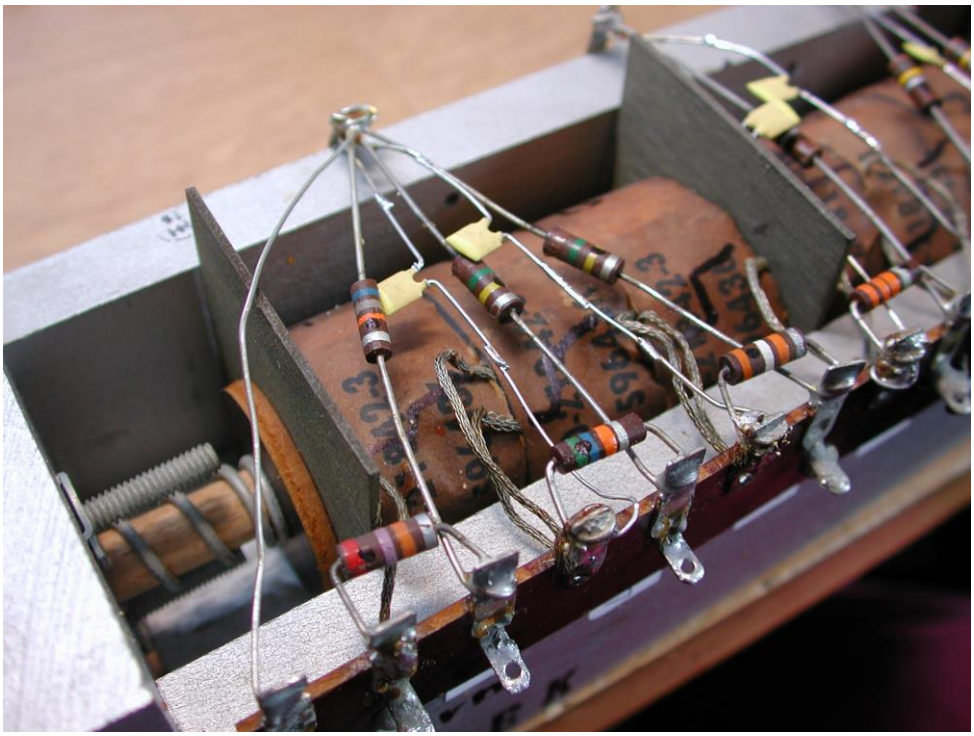


Abbildung 151: neue Kondensatoren in der LineBox (alte Ausführung)

Ich habe mir die Mühe gemacht, sämtliche Bauteile aus meiner LineBox auszumessen, bevor ich sie getauscht habe. Es stellte sich dabei schnell heraus, dass eigentlich nur die Spulen die einzigen Bauteile waren, bei denen offensichtlich kein (oder kaum) ein Alterungsprozess ermittelt werden konnte. Sie besitzen durchweg eine Induktivität von ca. 570mH und eine Spulengüte von ca. 8. Die Kapazitäten der alten Kondensatoren differierten erwartungsgemäß jenseits von Gut und Böse; mit bis zu 100% Abweichung gegenüber Sollwert im Schaltplan sind sie die ersten Kandidaten, die man sich genauer anschauen sollte. Wer die Möglichkeit hat, den Dämpfungsfaktor (bzw. die Kondensator-Güte) zu messen, wird auch hier Überraschungen erleben. Sie differieren nämlich noch stärker als die Kapazitätswerte an sich.

Als Ersatz für die ganzen 4nF-Kondensatoren dienen (heute erhältliche) Keramikkondensatoren billigster Bauart. Sie sind unter der Bezeichnung "Kerko" bei Reichelt Elektronik erhältlich. Man bestellt sich einige mit 3,9nF und (Achtung, Falle!) einen mit 1nF. Das ist

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

nämlich der Kondensator ganz am Ende der Linebox (Anschluss Nr.18). Bitte nicht verwechseln: dort gehört 1nF hinein (und nicht 4nF wie sonst überall)!

Meine Messungen ergaben bei diesen Kondensatoren einen ziemlich konstanten Dämpfungsfaktor von etwa 0,023..0,025; das spricht für eine durchgängige Qualität. Ich suchte mir mittels Kapazitätsmessgerät die Kondensatoren heraus, die möglichst dicht an 4nF dranlagen. Leider hatten meine Kondensatoren leicht "Unterkapazität", sodass ich bereits mit Werten um 3,7nF..3,8nF zufrieden sein musste. Versuche/Messungen mit 4,7nF-Kondensatoren der gleichen Bauart ("Kerko") zeigten aber, dass man mit meinen "schwachbrüstigen" 3,9nF-Exemplaren dennoch dichter an die geforderten 4nF herankommt.

Eine Bemerkung noch zur Dämpfung: man kann die elektrische Qualität von Kondensatoren mit der elektrischen Dämpfung beschreiben. Je niedriger die ist, desto weniger Verluste entstehen im Kondensator. Ein idealer Kondensator (den es in der Praxis natürlich nicht gibt) hat eine Dämpfung von 0. Laut [20] sind ideale Kondensatoren in der LineBox jedoch nicht immer erwünscht! Der Hintergrund: durch die schlechteren elektrischen Eigenschaften ergibt sich im Amplituden-Frequenzgang eine ausgeprägtere Welligkeit. Das beeinflusst das Amplitudenvibrato- es wird desto stärker, je welliger die Frequenzgangsfunktion verläuft! Ideale Kondensatoren würden weniger Welligkeit erzeugen (das, was man in der HiFi-Technik immer anstrebt), das bedeutet aber auch, dass das Amplitudenvibrato weniger intensiv zu hören ist. Testpersonen berichten, dass sie das Vibrato der Orgel als besonders angenehm empfänden, wenn es -neben dem technisch gewollten Phasenvibrato- auch einen gewissen Anteil des Amplitudenvibratos enthält (das entsteht praktisch als "Schmutzeffekt" als Folge der nicht-idealen Phasenschieberkette gleich "nebenbei"). Wir können hier sicher wieder von dem viel zitierten "Salz in der Suppe" reden: auch hier machen die vielen (technisch unzulänglichen) Nebeneffekte erst die Würze des Sounds aus.

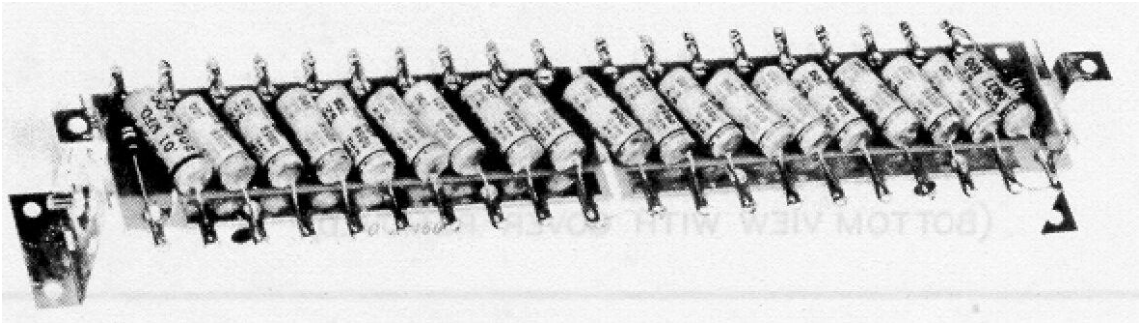


Abbildung 152: LineBox, neue Ausführung [21]

Im Folgenden gebe ich hier die Amplitudenfrequenzgangsmessungen für alle LineBox-Anzapfungen wieder. Weil eine besonders hohe Frequenzauflösung erreicht werden musste (Δf teilweise um die 0,5Hz), um die Welligkeit besser wiedergeben zu können, wurden die Messungen automatisiert mit einer PC-Soundkarte durchgeführt. Ein professionell hoher Anspruch an die (Amplituden)messgenauigkeit ist dabei natürlich nicht zu stellen, dennoch ist es für unsere Zwecke hier ausreichend. Ein „händisches“ Ausmessen der Frequenzgangskurven in dieser feinen Frequenzauflösung hätte wohl Monate gedauert- durch den Einsatz des Rechners konnte das auf zwei Sonntage minimiert werden (na immerhin...).

 © 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.1 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.3

(entspricht dem Eingangssignal)=Kalibriergerade

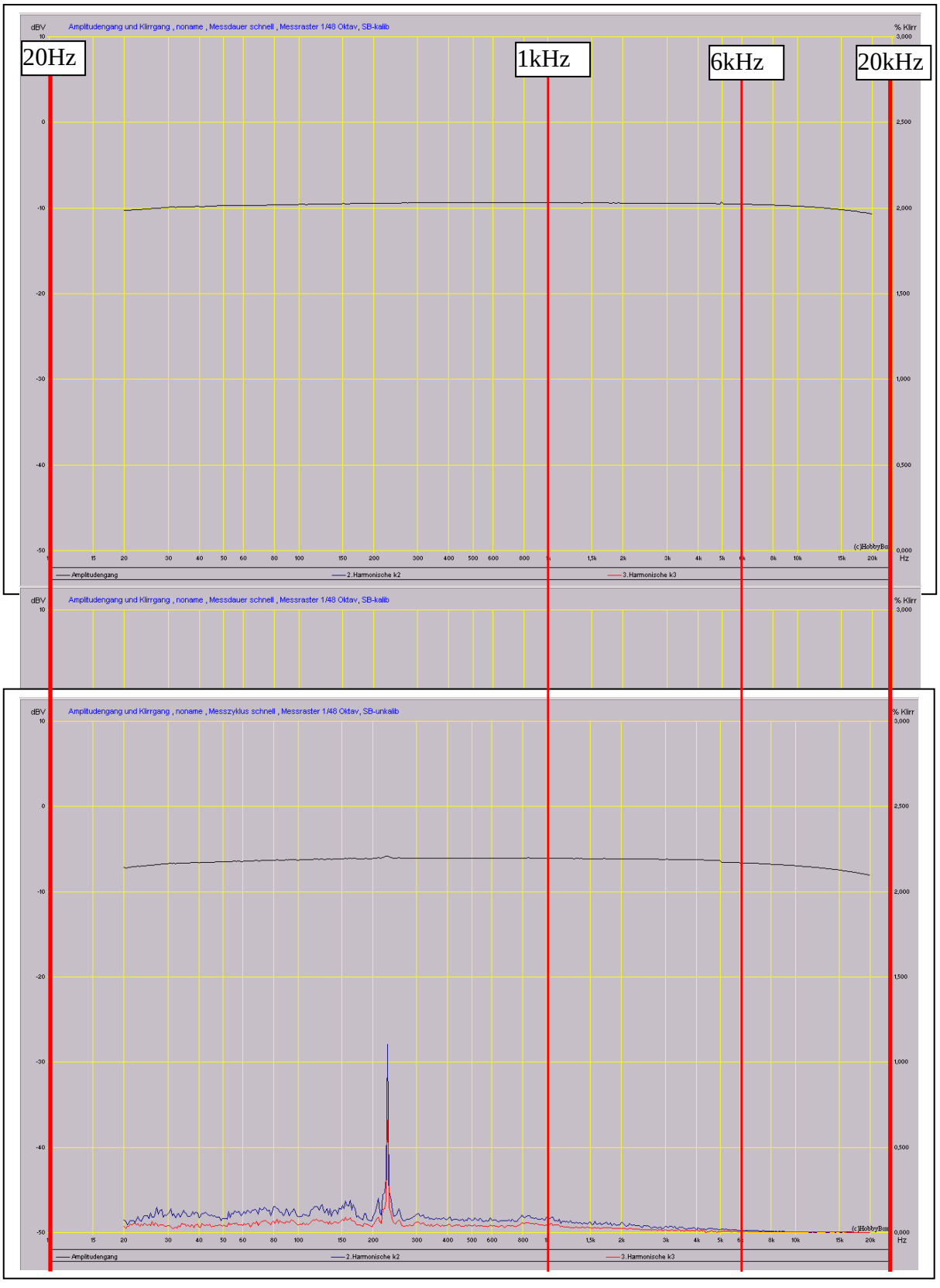


Abbildung 154: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 3

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.2 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.4

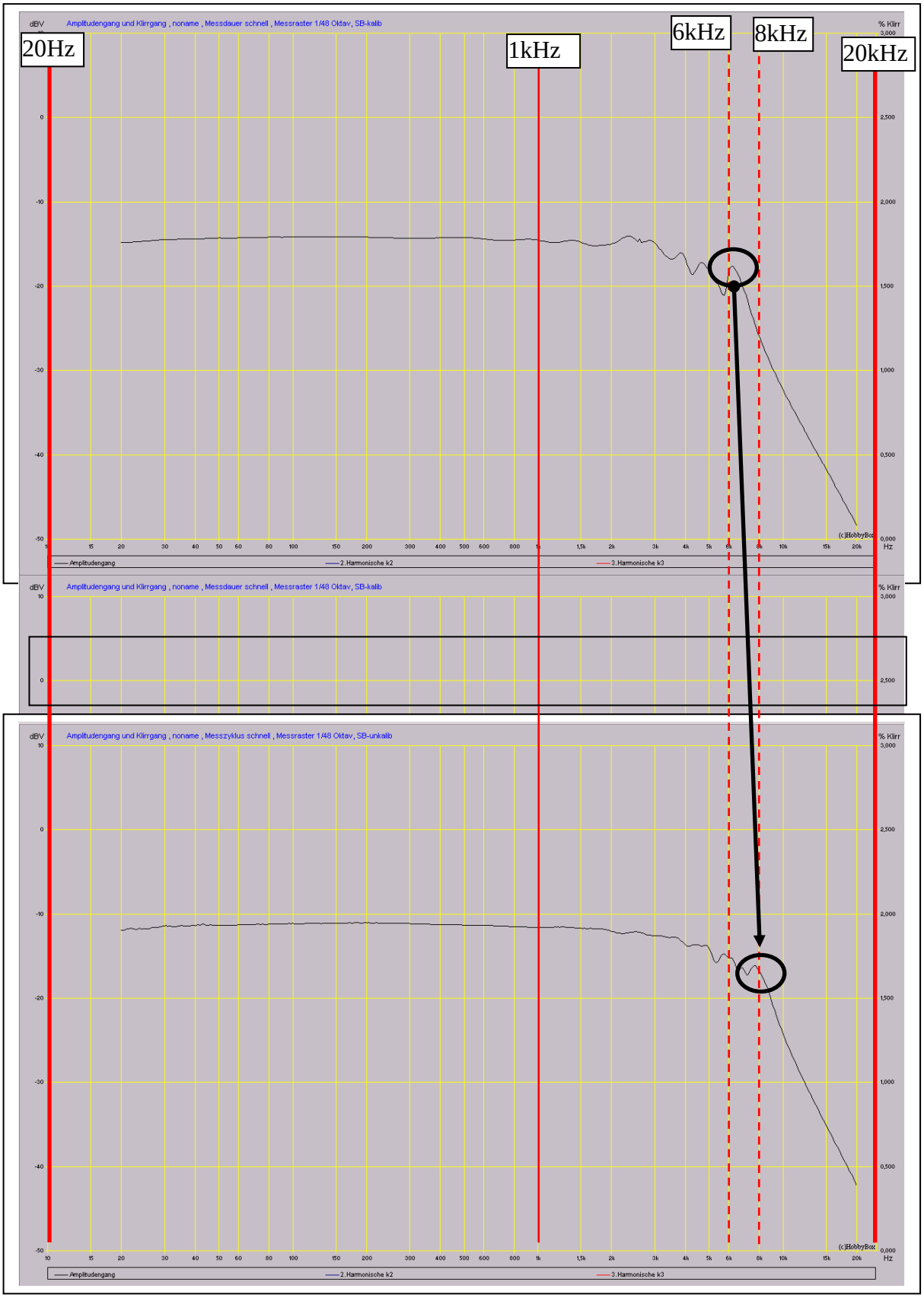


Abbildung 156: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 4

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.3 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.5

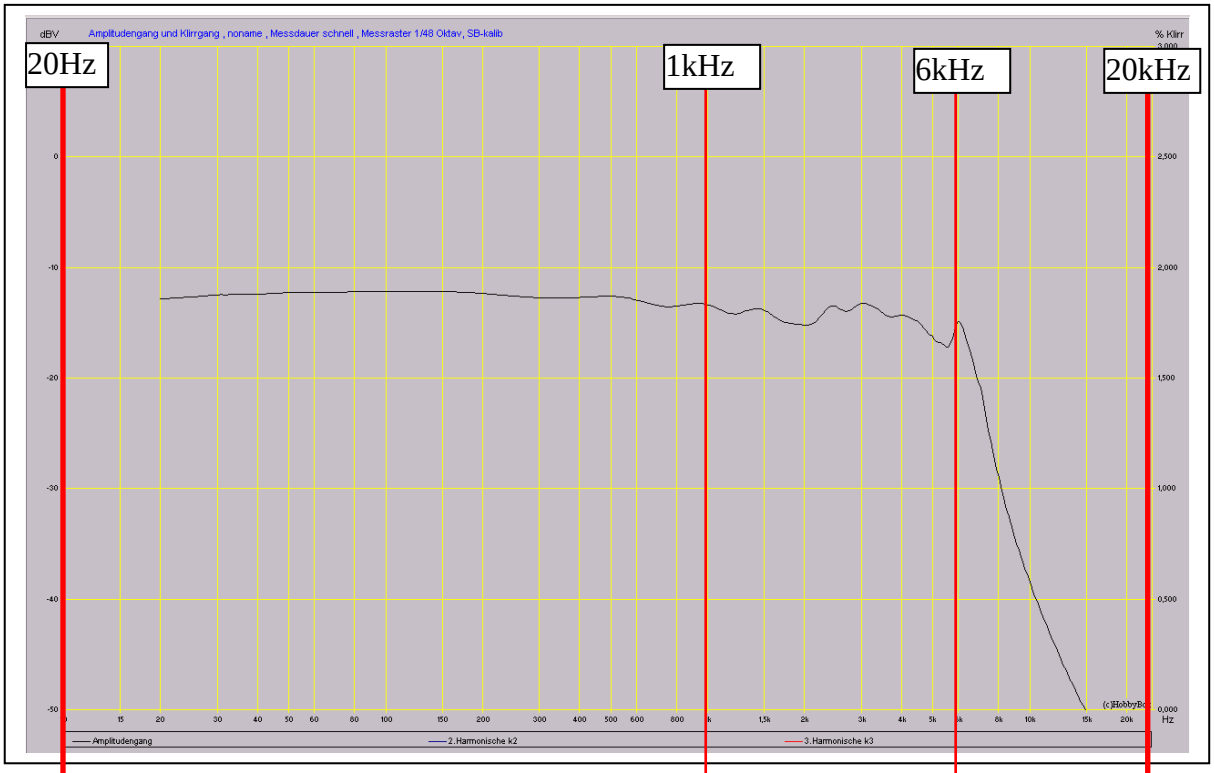


Abbildung 157: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 5

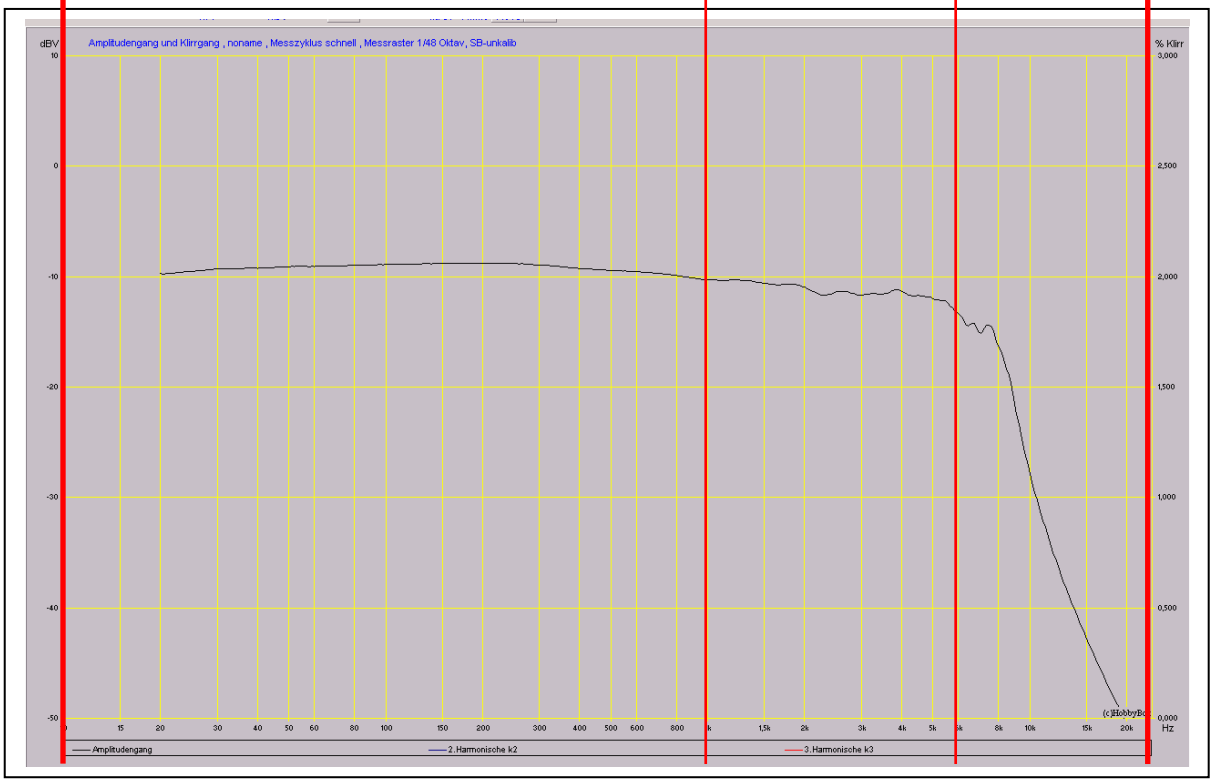


Abbildung 158: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 5

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.4 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.6

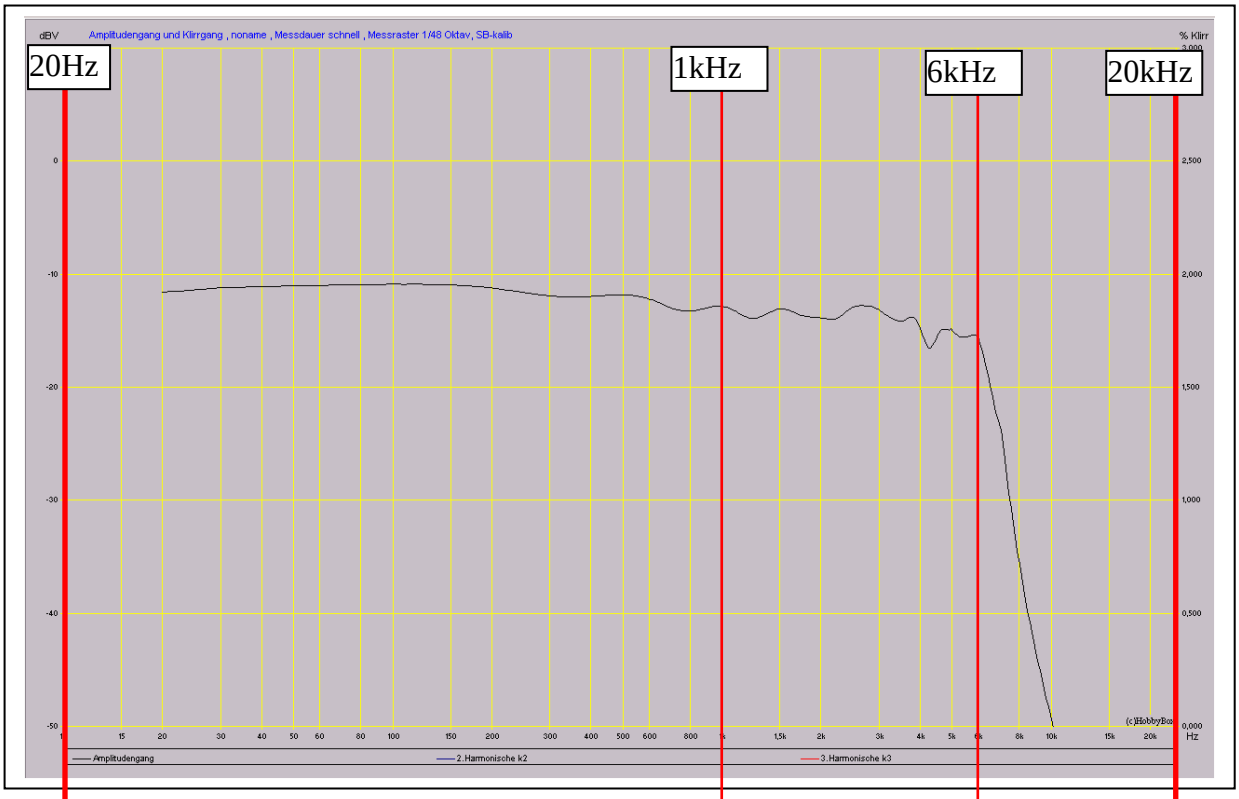


Abbildung 159: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 6

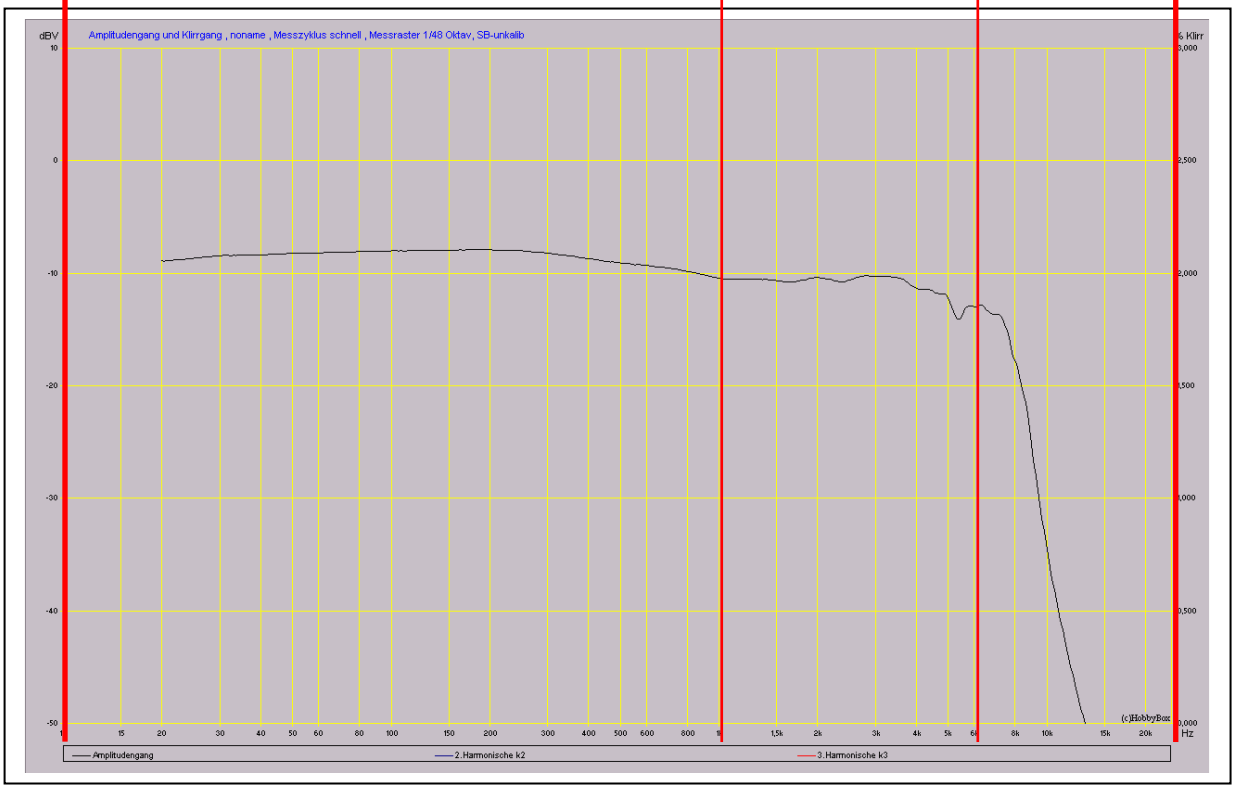


Abbildung 160: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 6

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.5 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.7

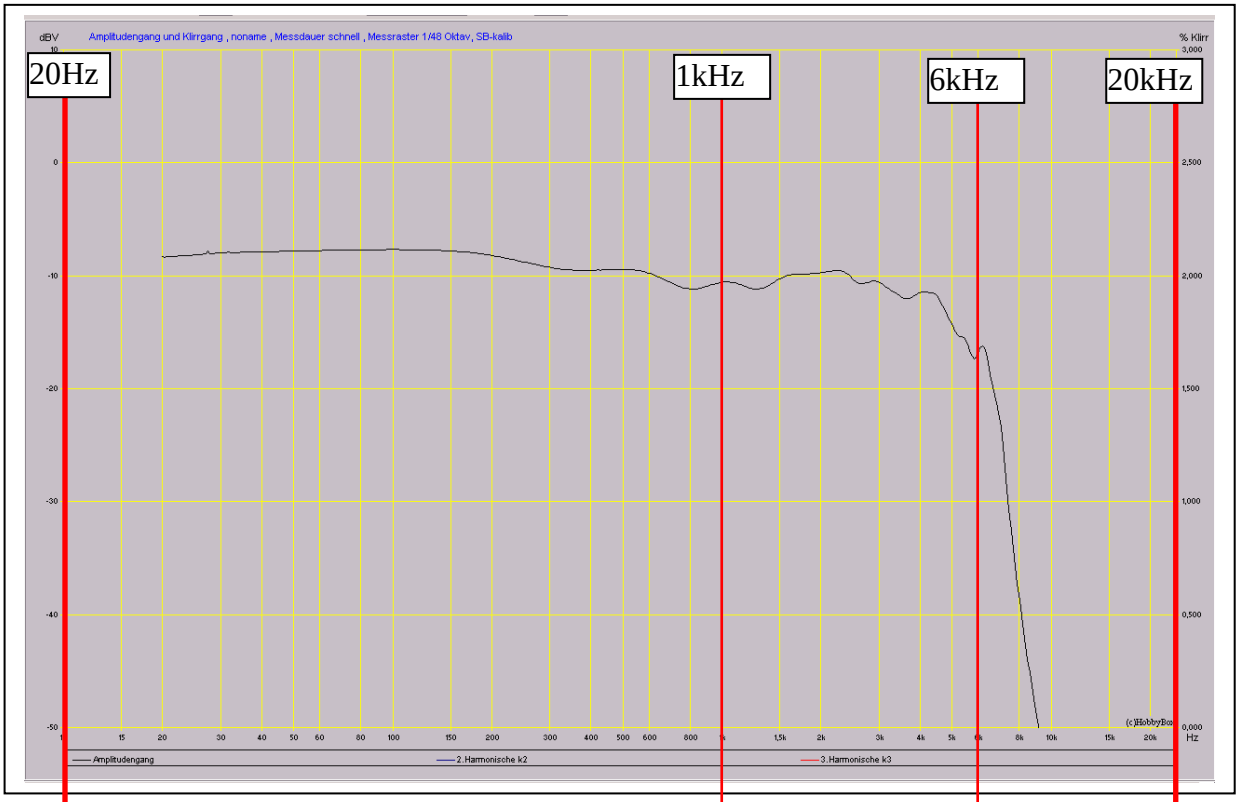


Abbildung 161: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 7

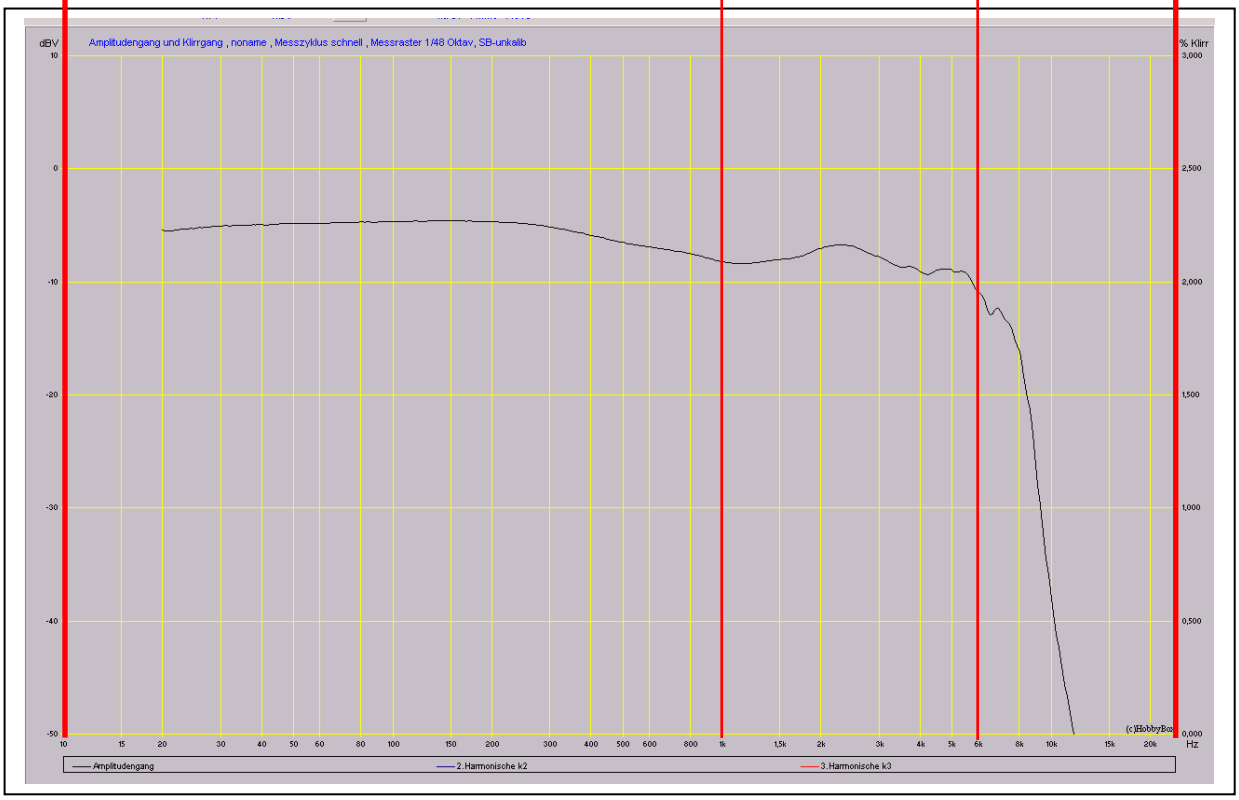


Abbildung 162: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 7

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.6 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.8

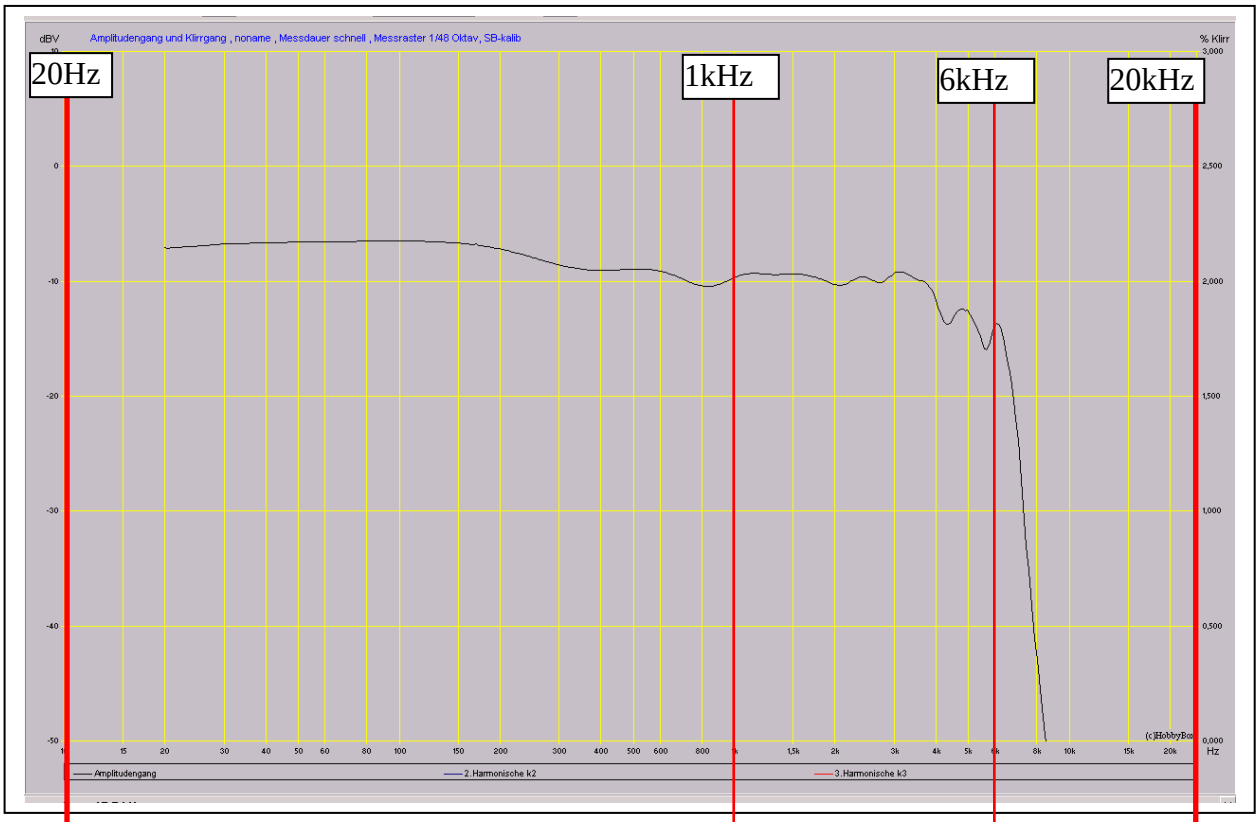


Abbildung 163: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 8

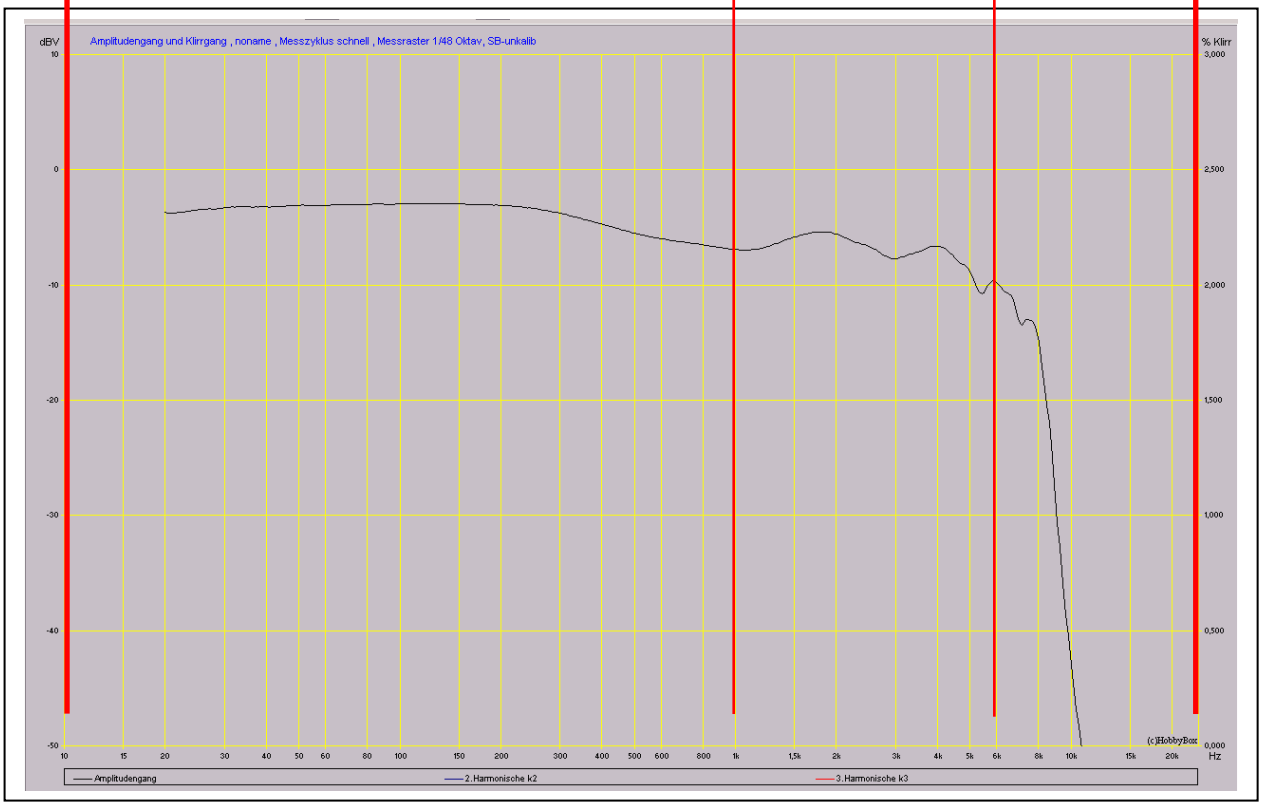


Abbildung 164: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 8

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.7 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.9

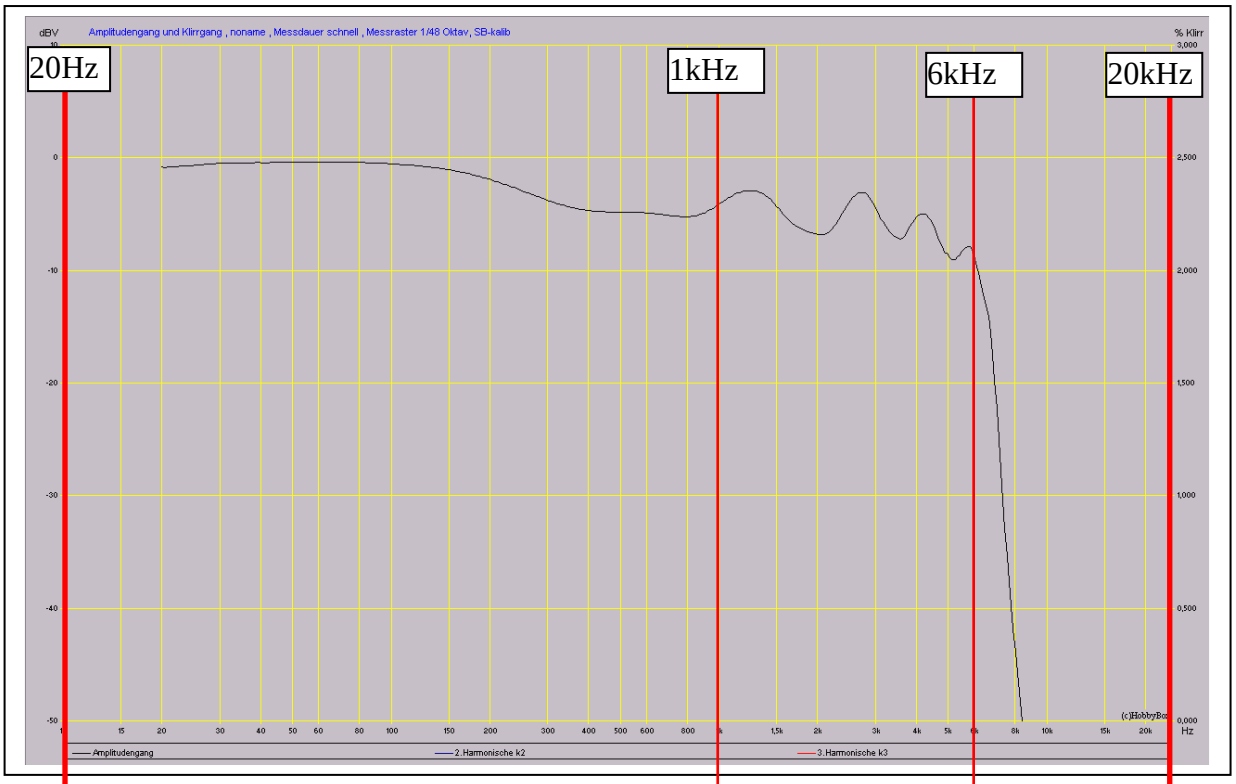


Abbildung 165: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 9

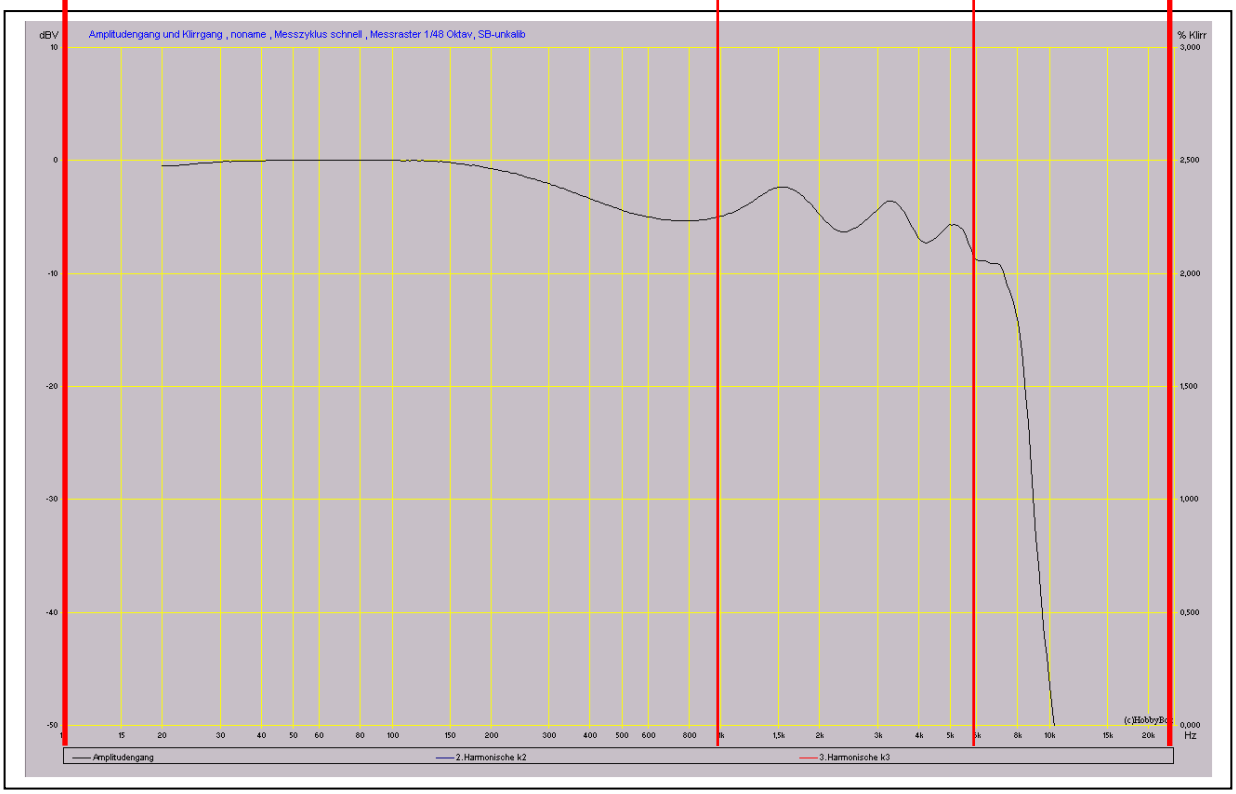


Abbildung 166: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 9

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.8 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.10

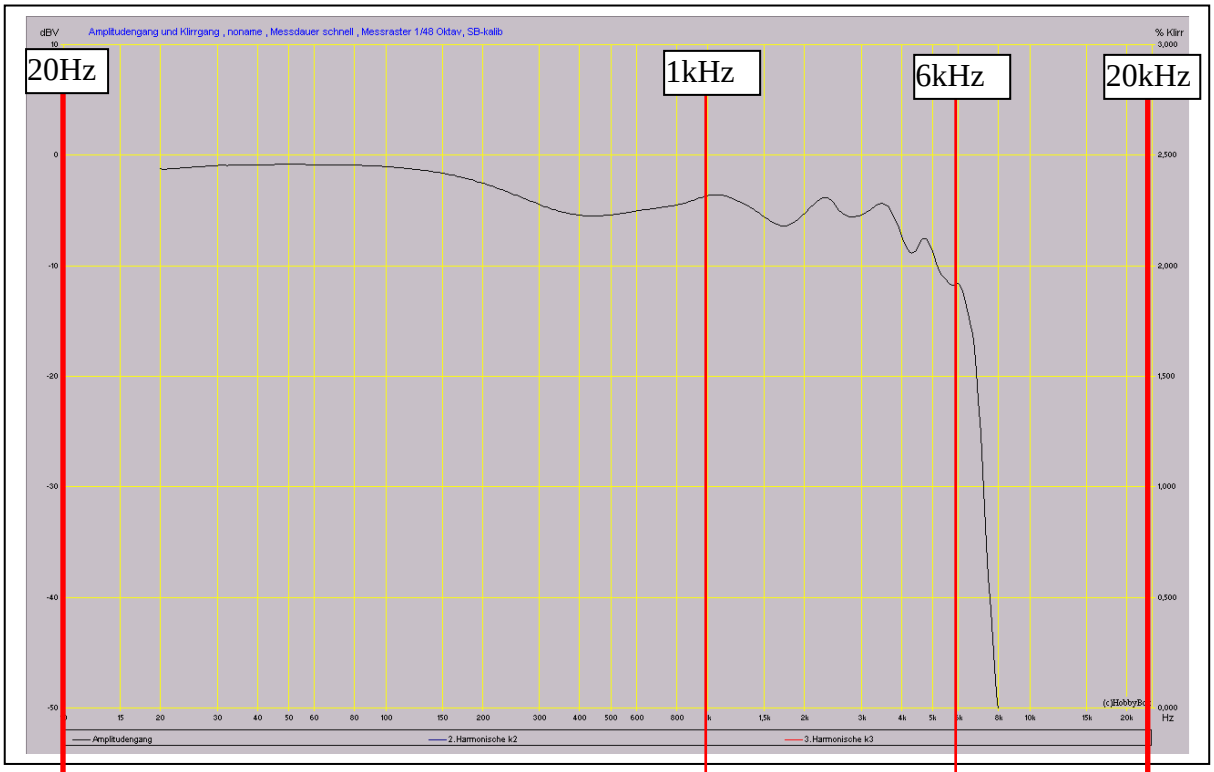


Abbildung 167: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 10

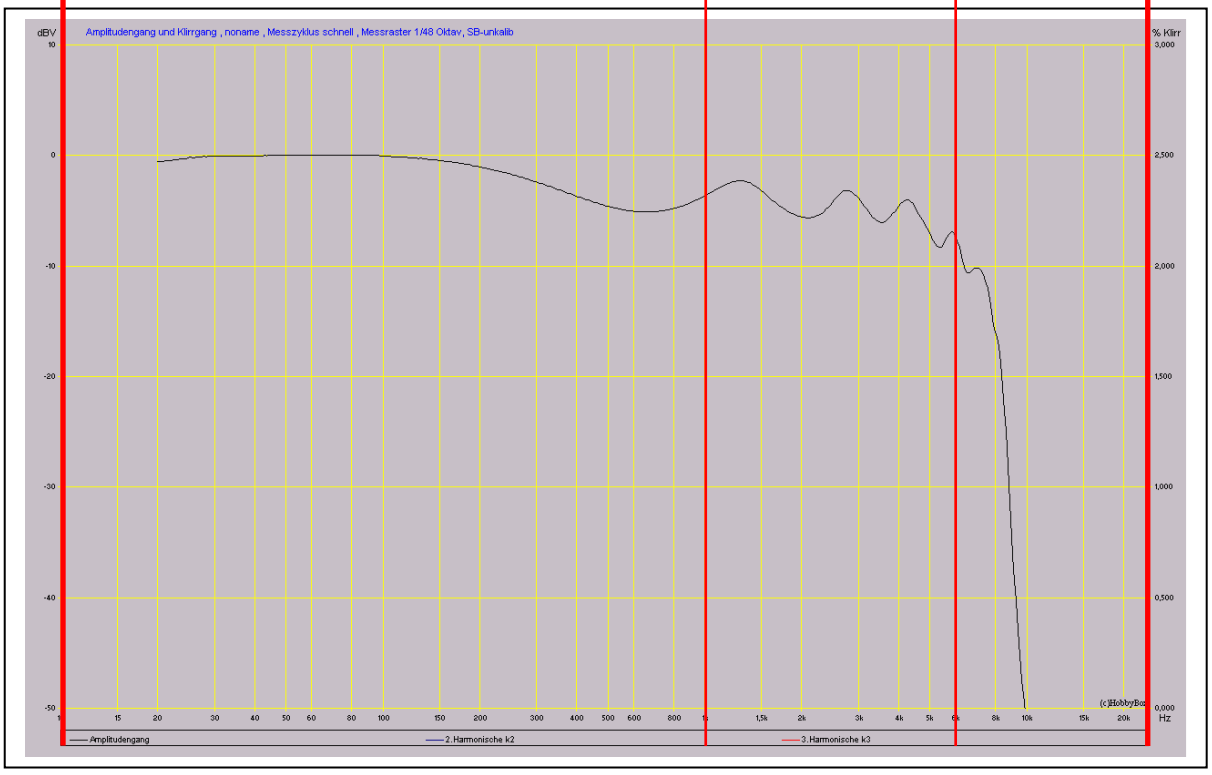


Abbildung 168: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 10

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.9 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.11

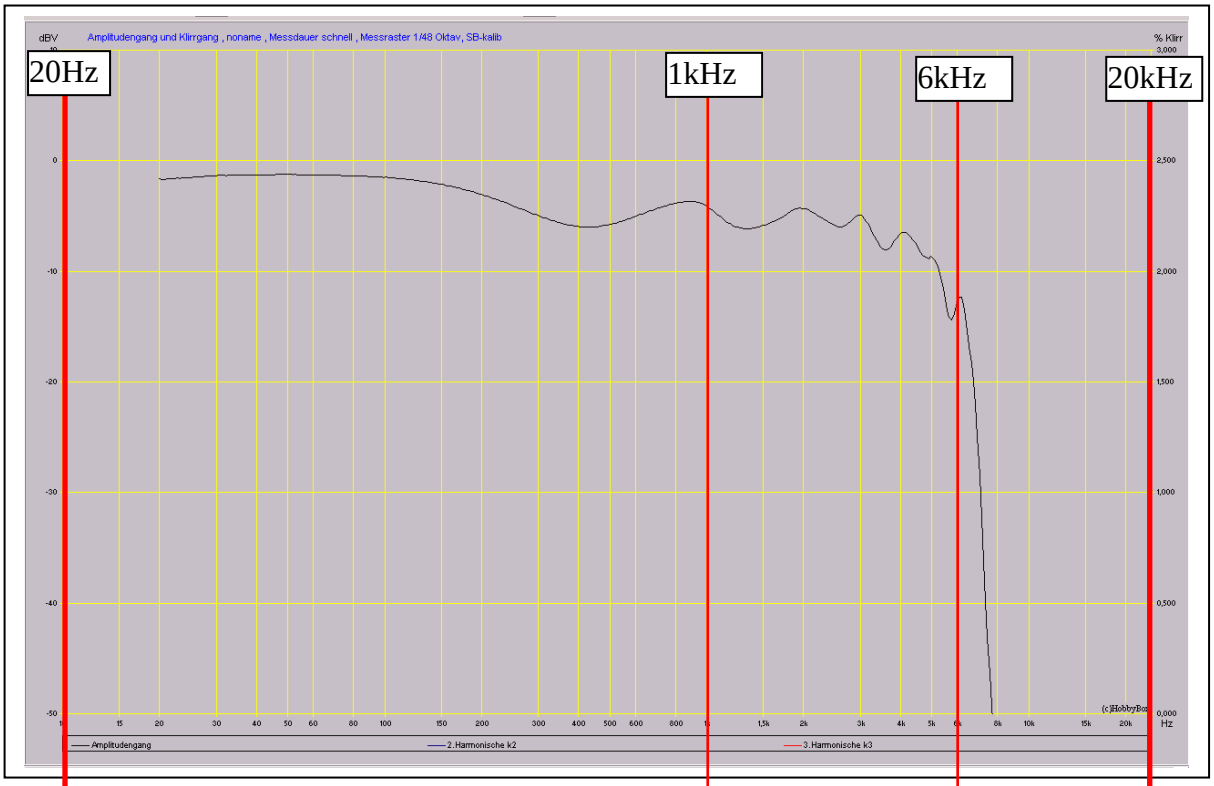


Abbildung 169: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 11

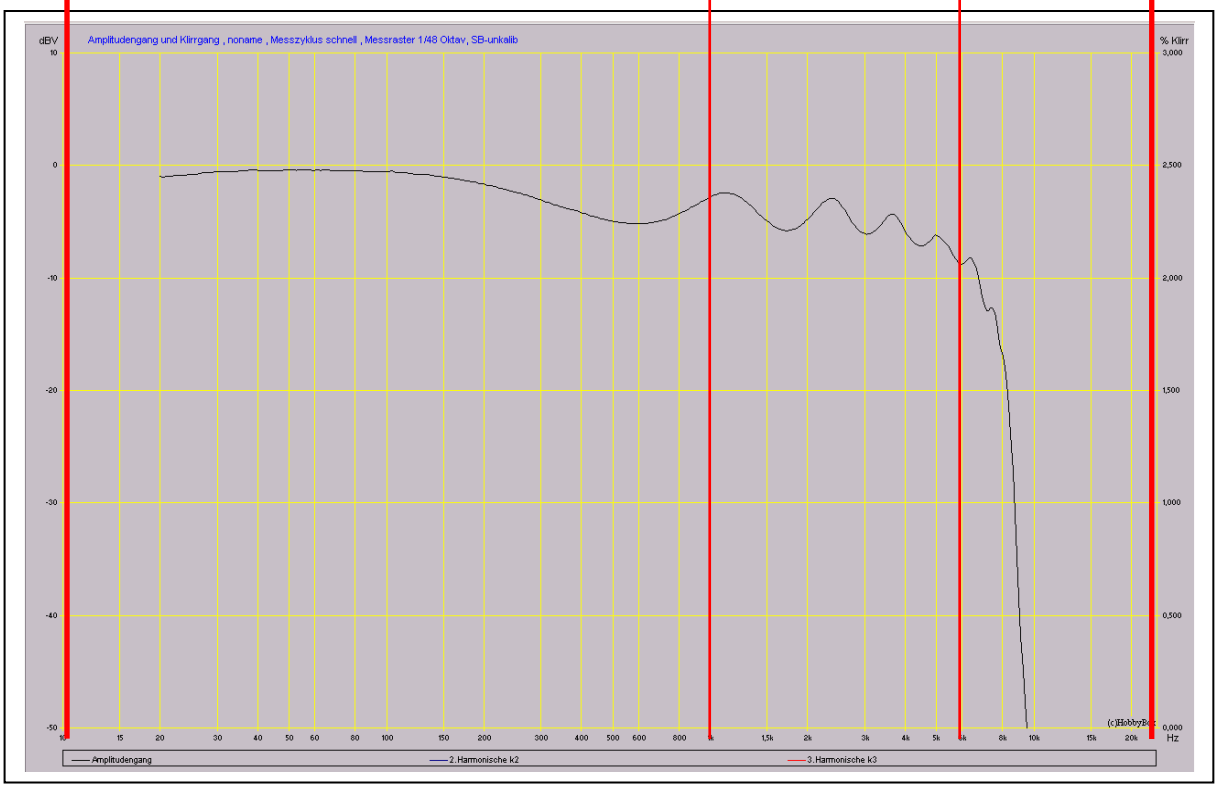


Abbildung 170: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 11

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.10 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.12

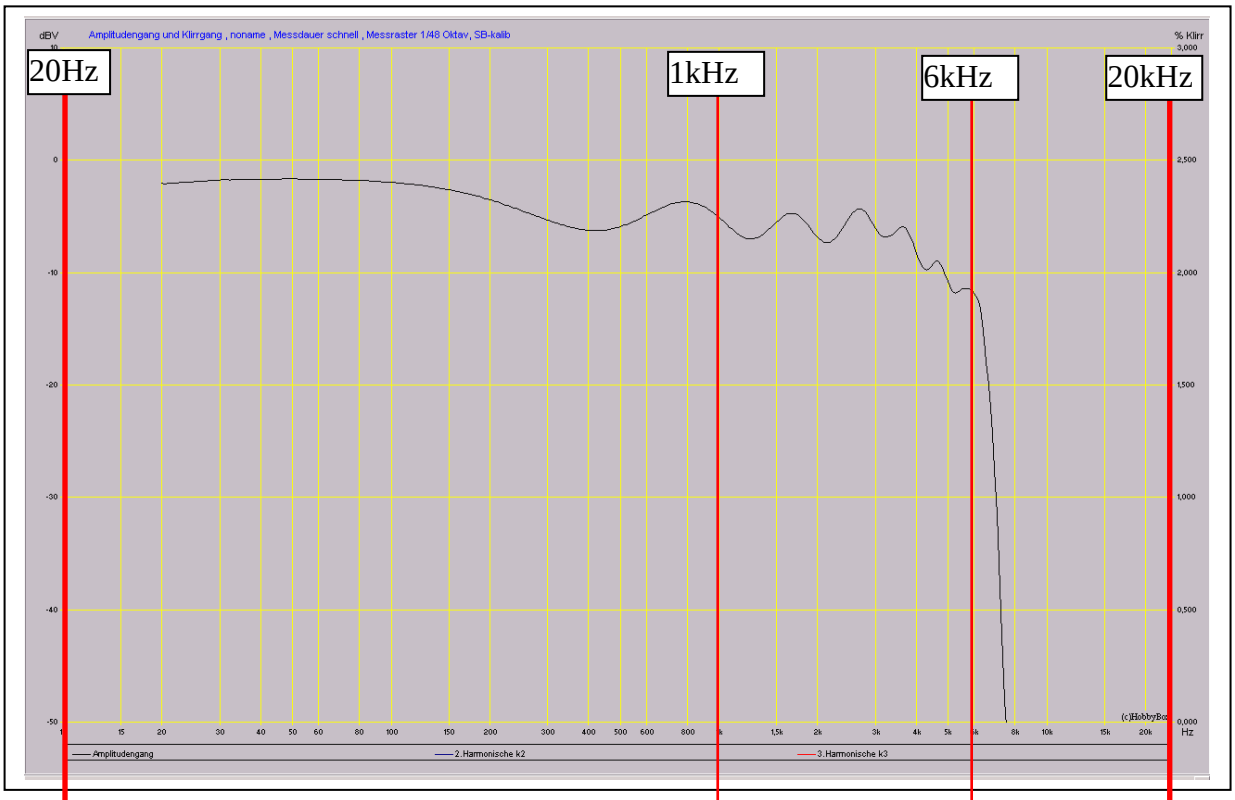


Abbildung 171: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 12

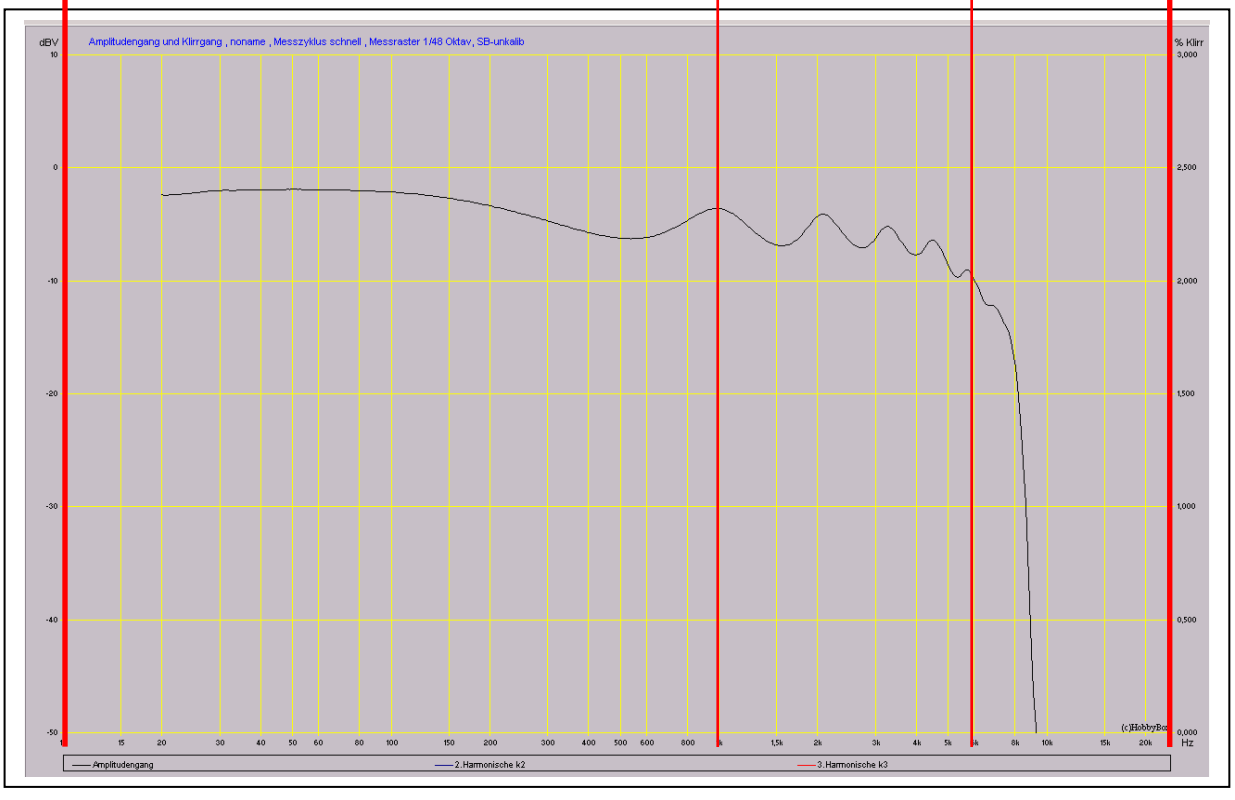


Abbildung 172: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 12

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.11 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.13

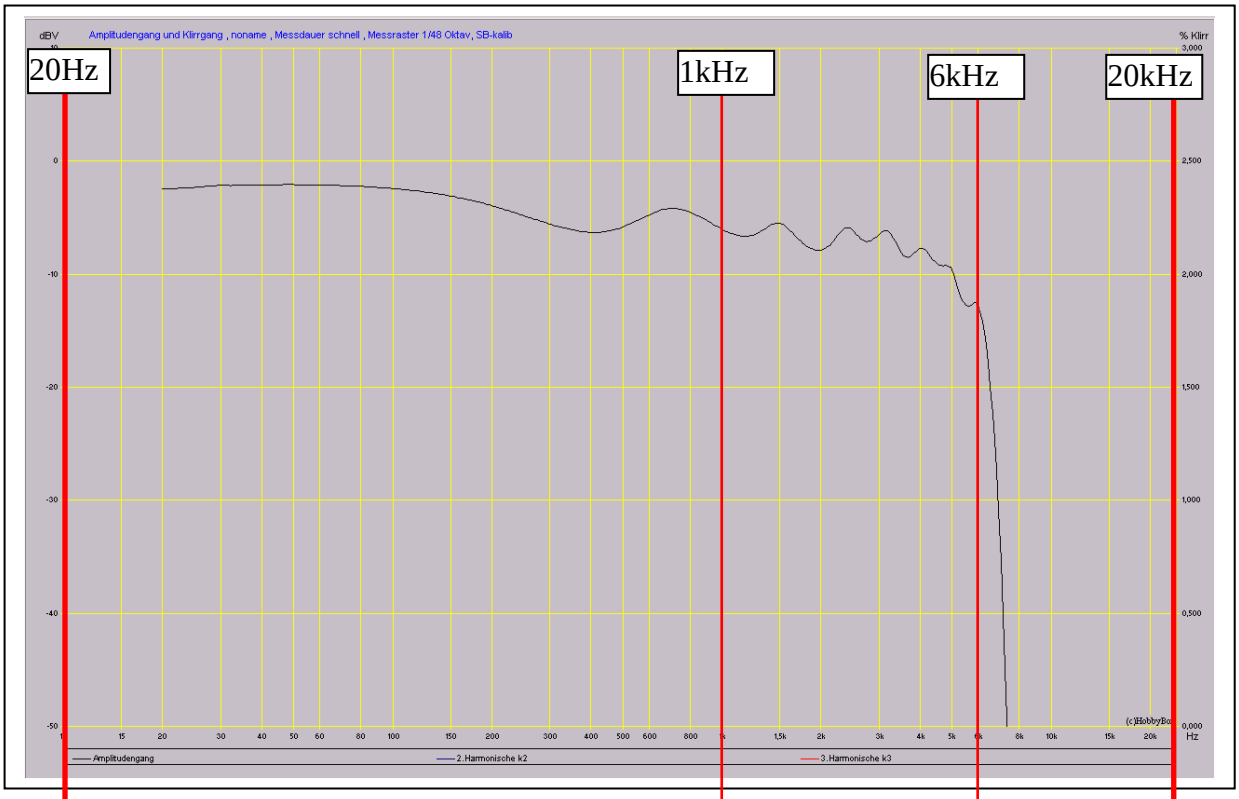


Abbildung 173: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 13

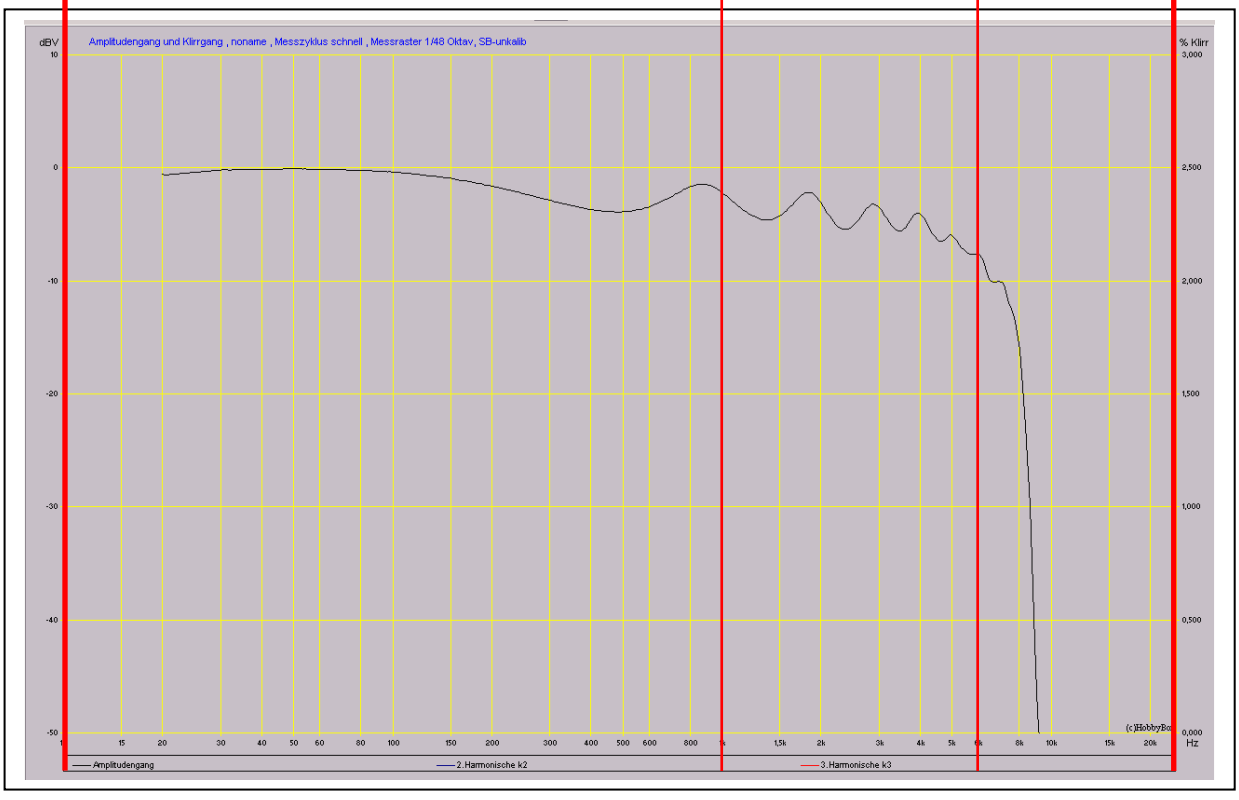


Abbildung 174: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 13

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.12 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.14

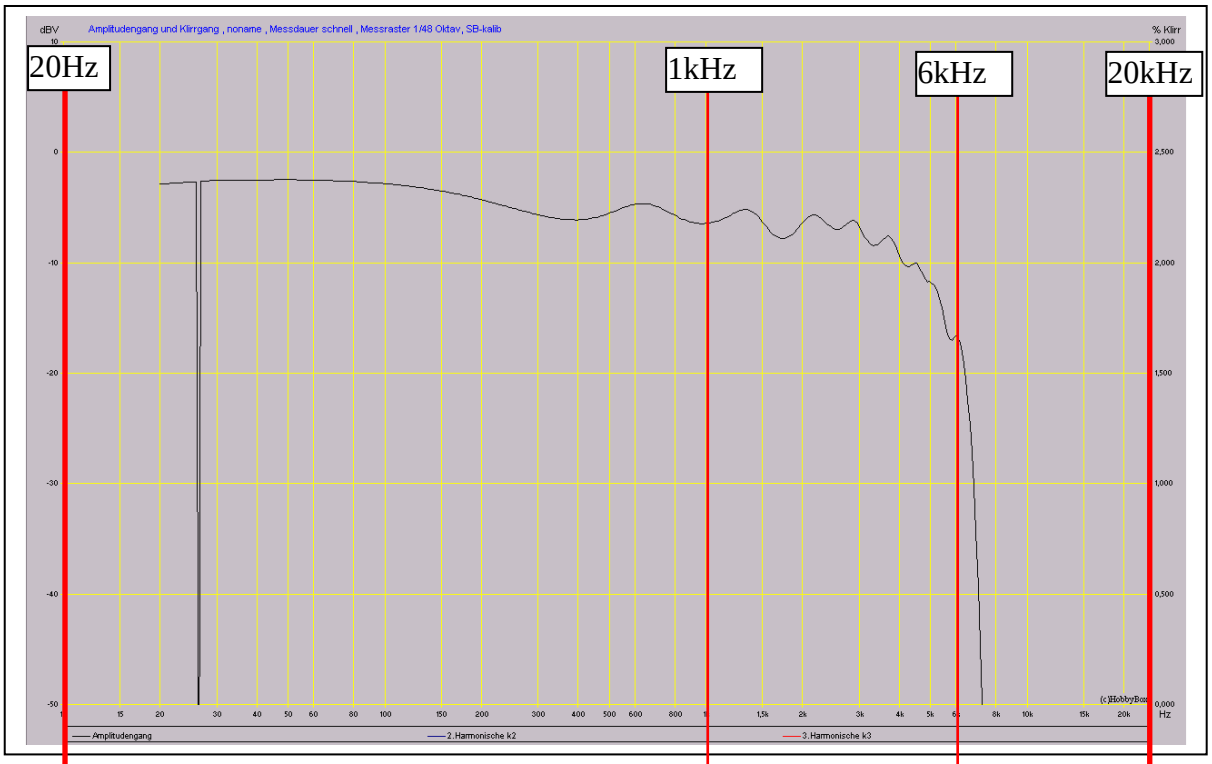


Abbildung 175: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 14

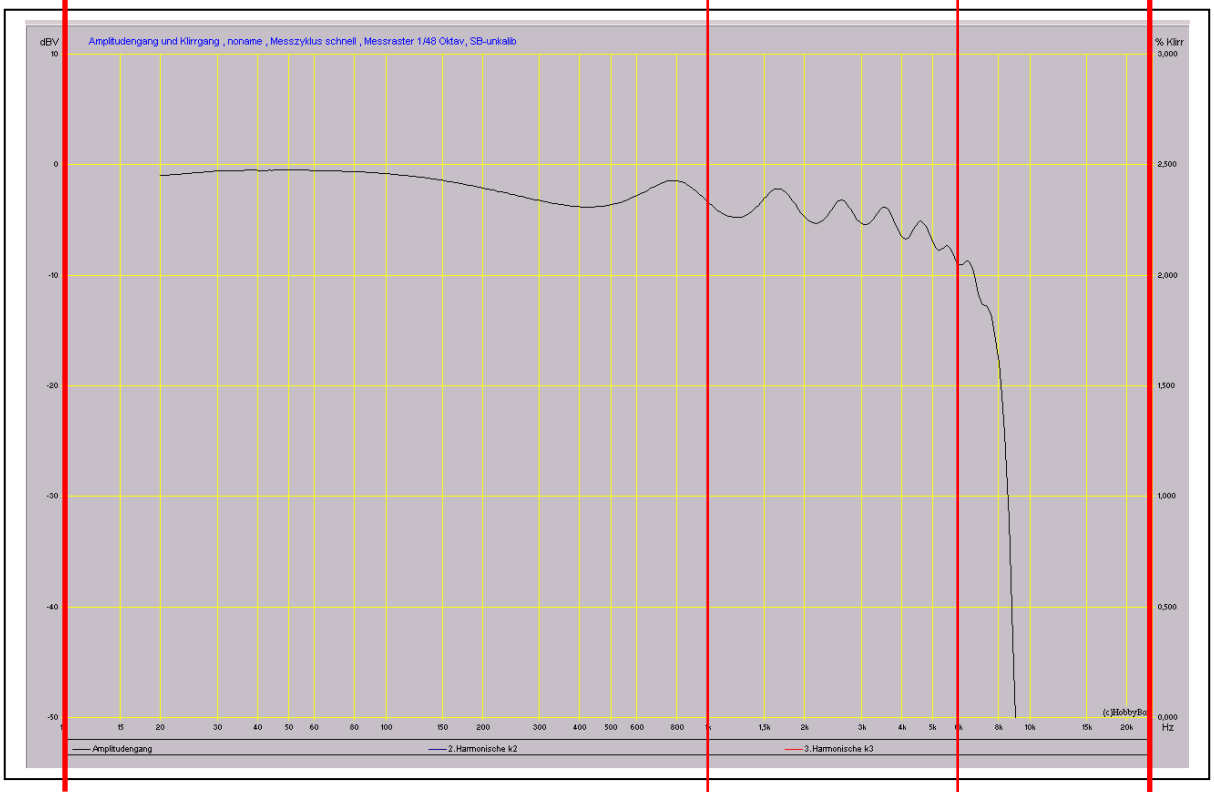


Abbildung 176: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 14

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.13 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.15

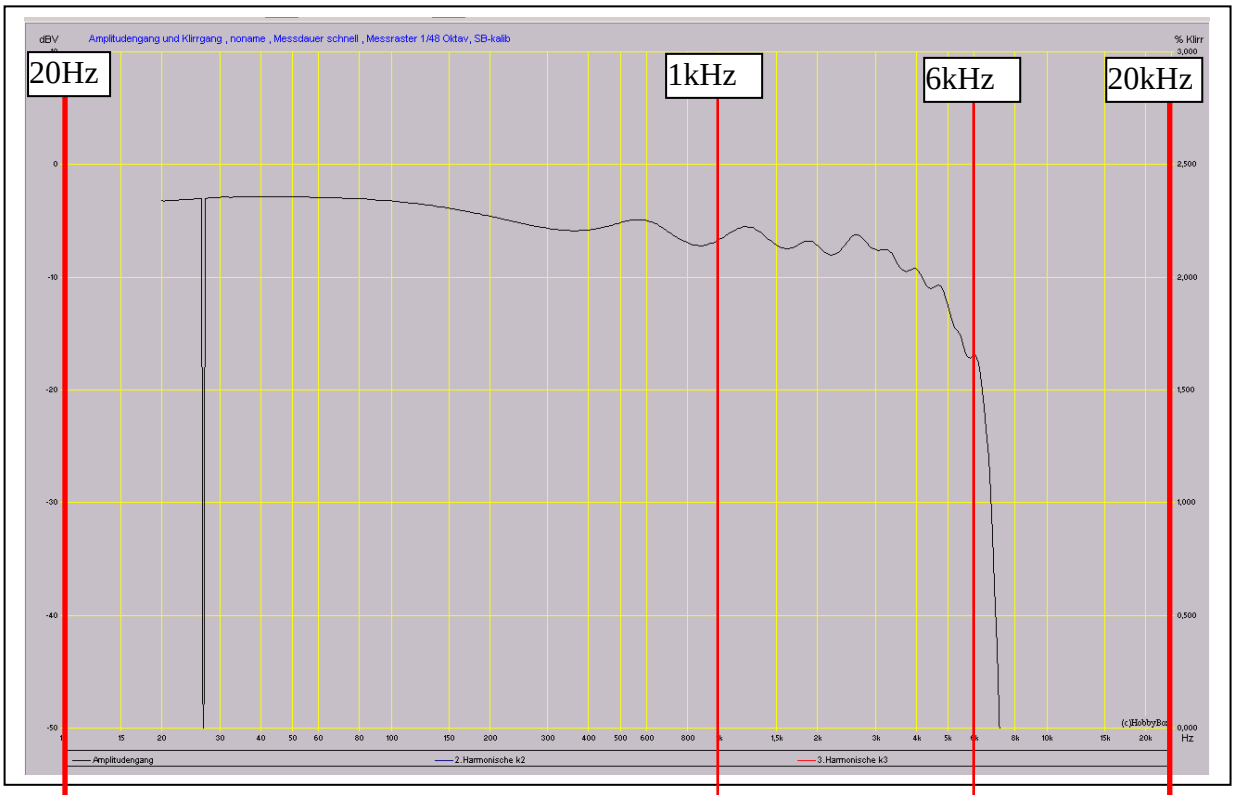


Abbildung 177: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 15

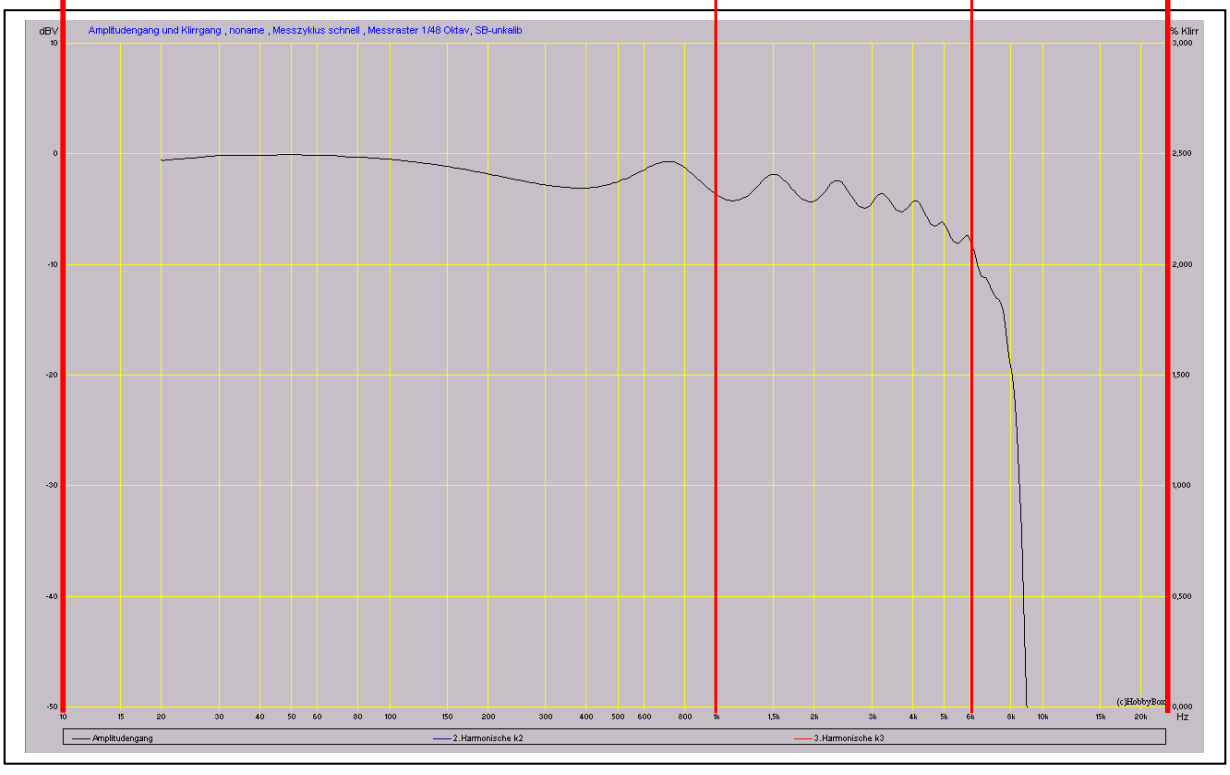


Abbildung 178: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 15

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.14 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.16

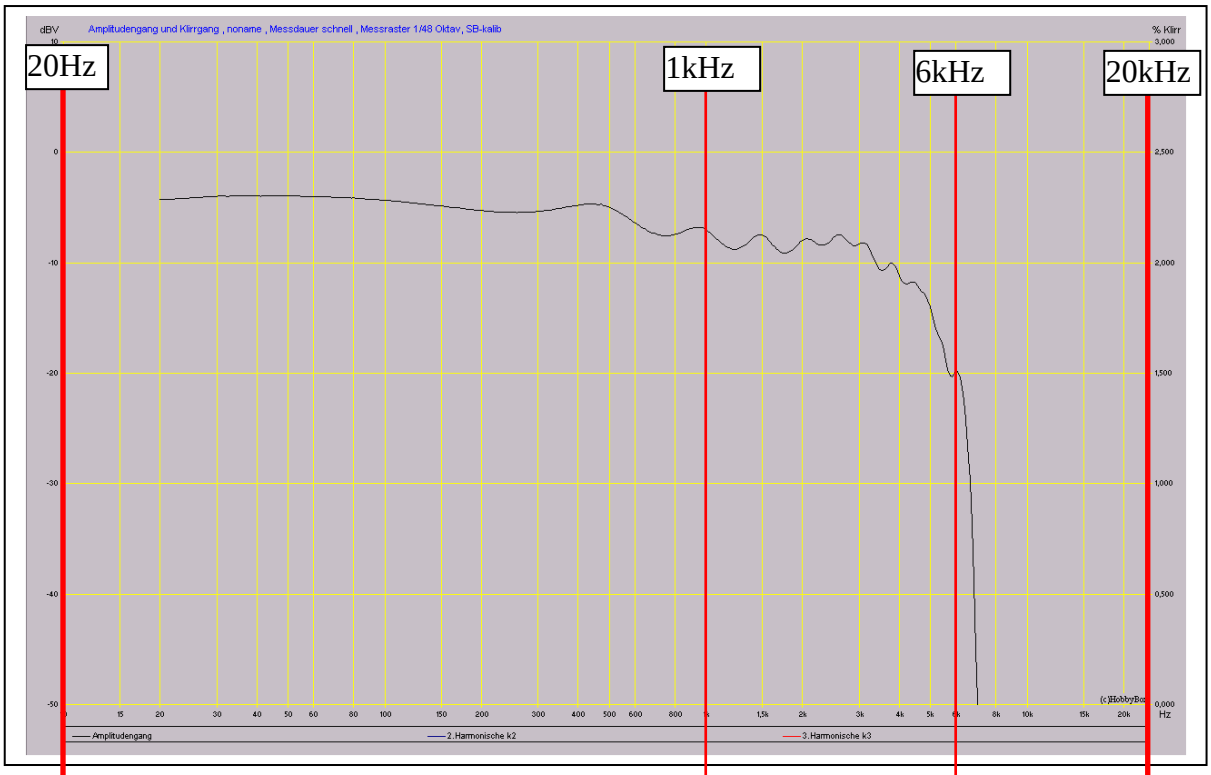


Abbildung 179: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 16

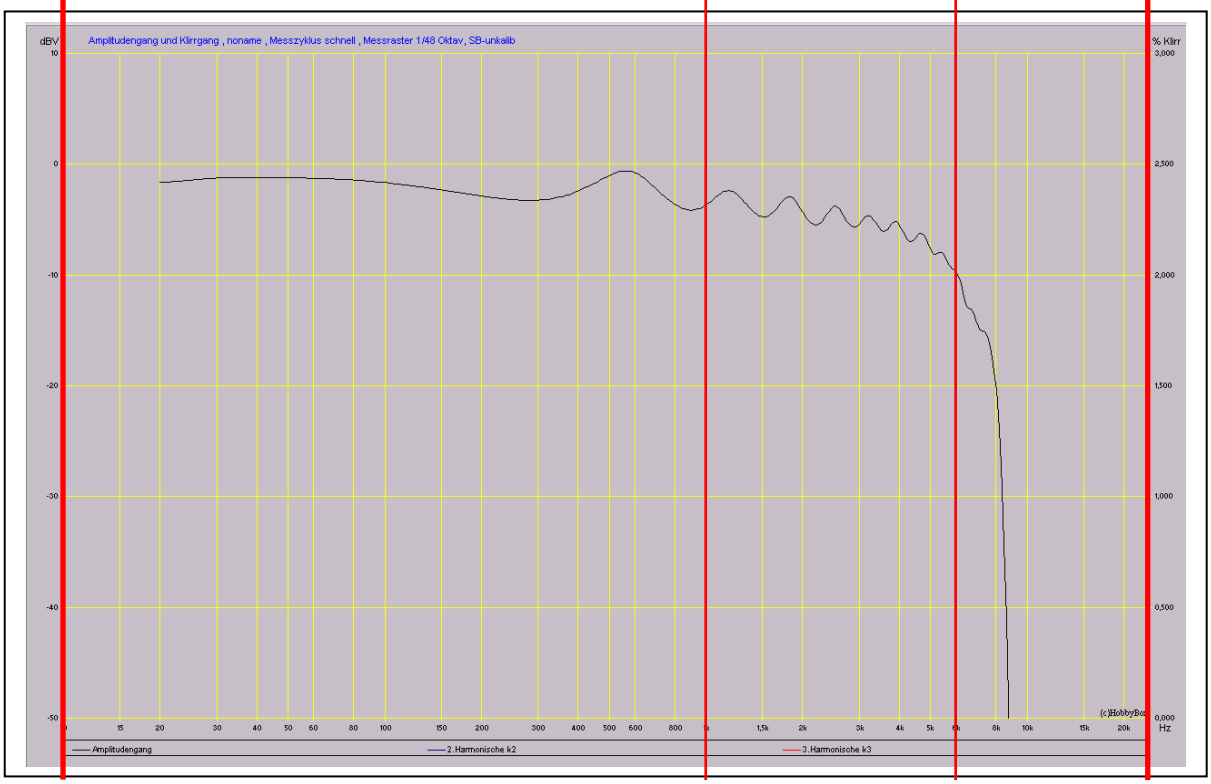


Abbildung 180: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 16

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.15 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.17

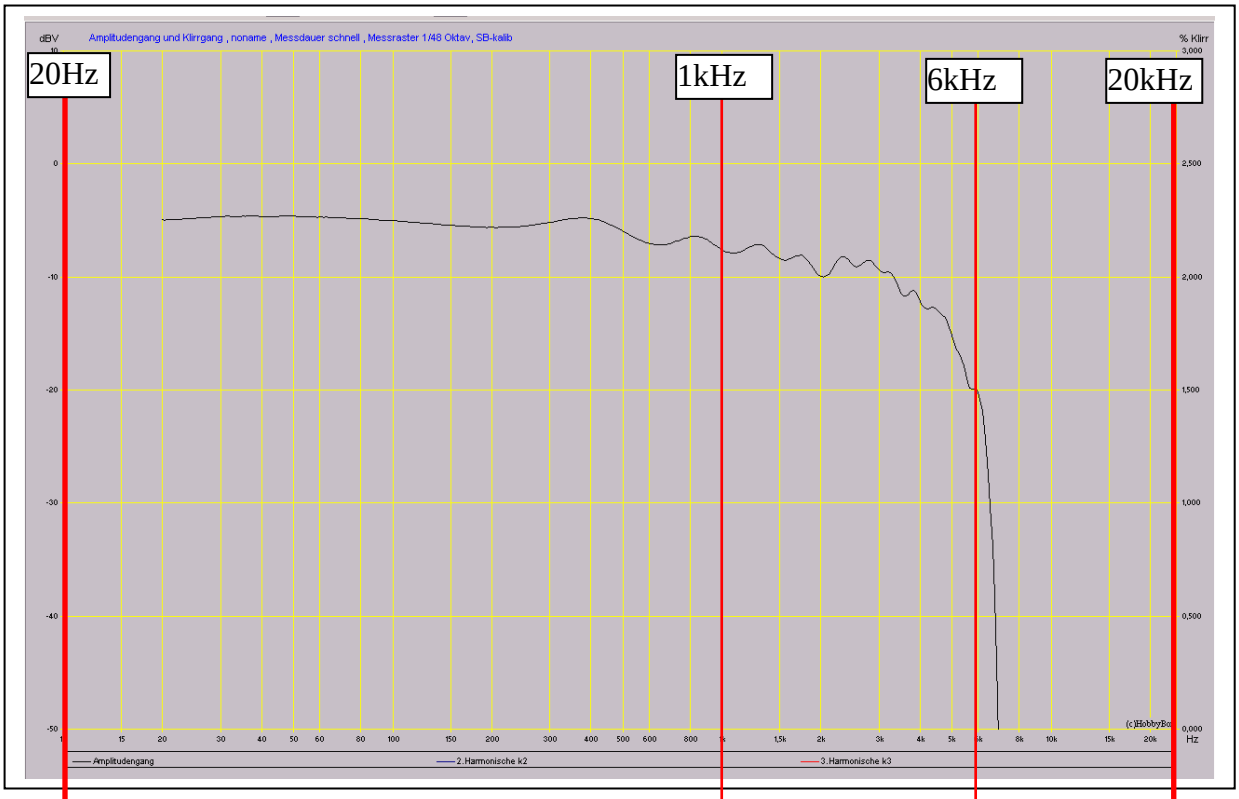


Abbildung 181: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 17

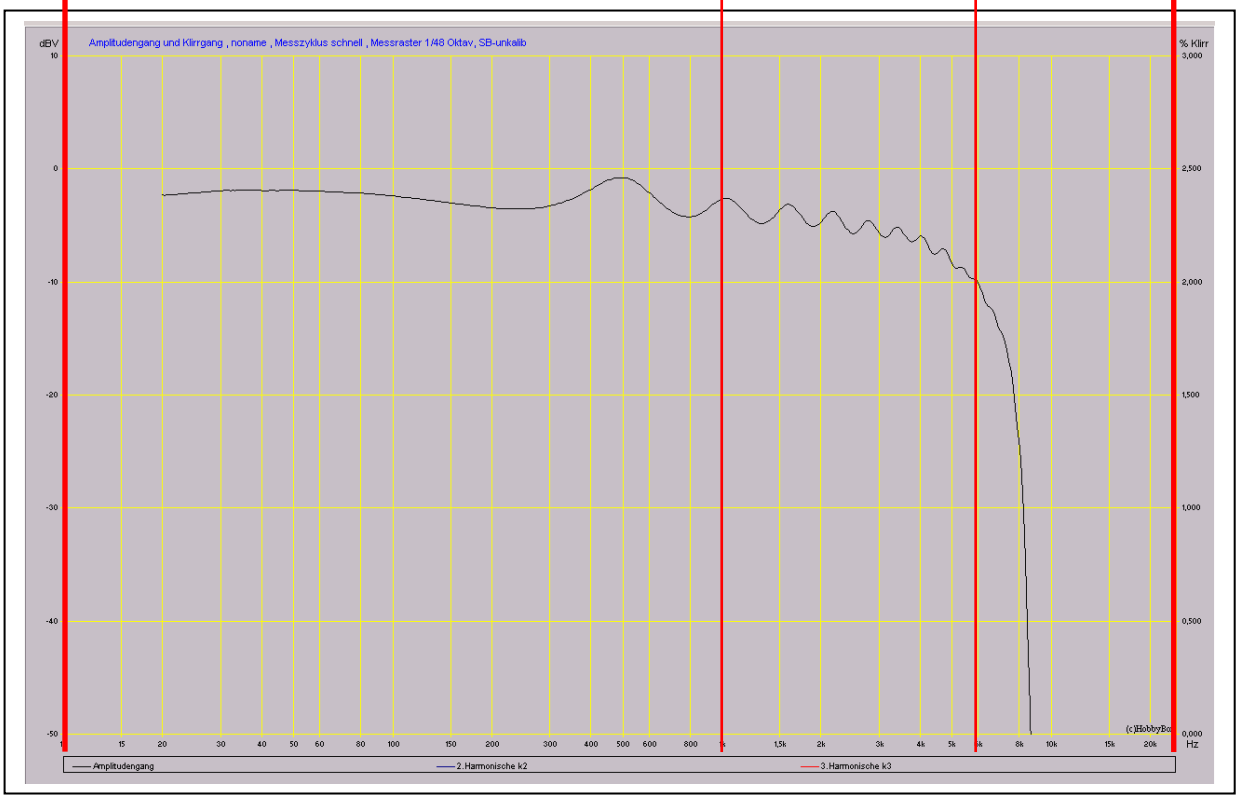


Abbildung 182: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 17

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.16 Amplitudenfrequenzgang: Anschluss Nr.18

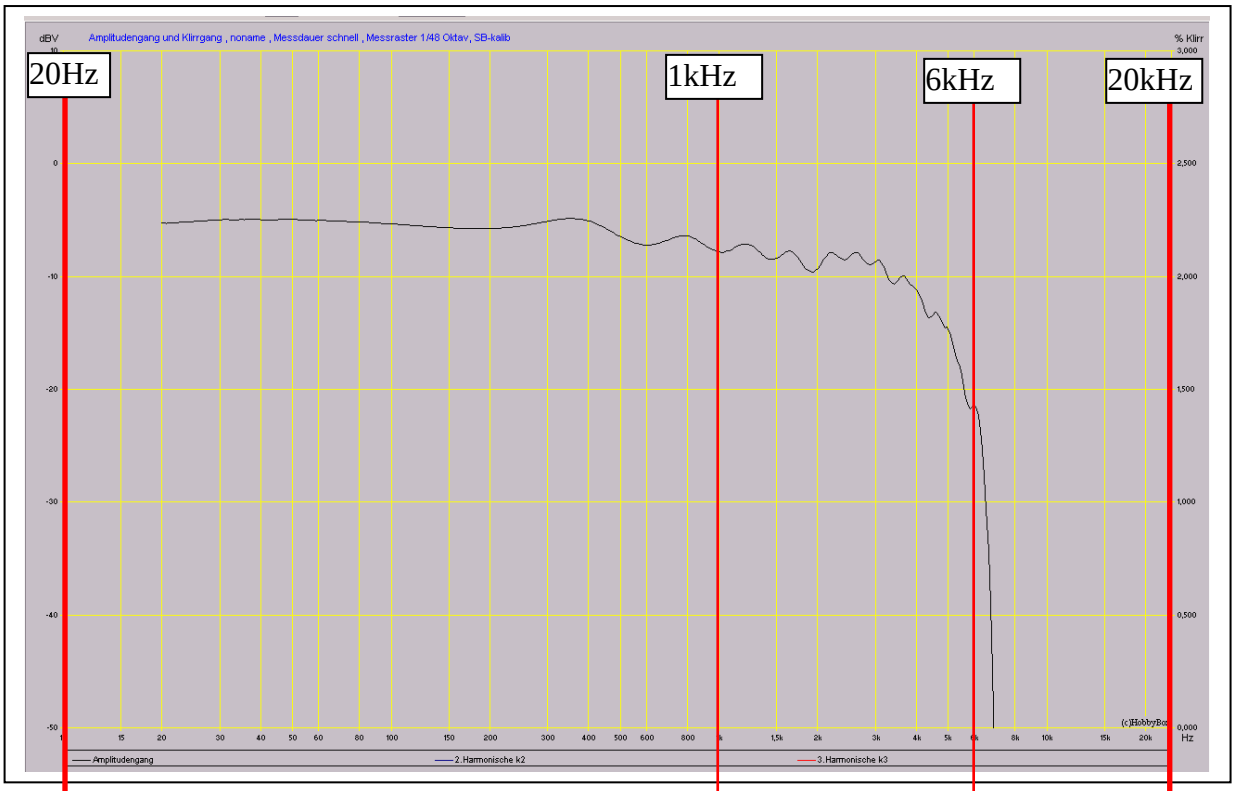


Abbildung 183: Frequenzgang (vor Umbau) Anschluss 18

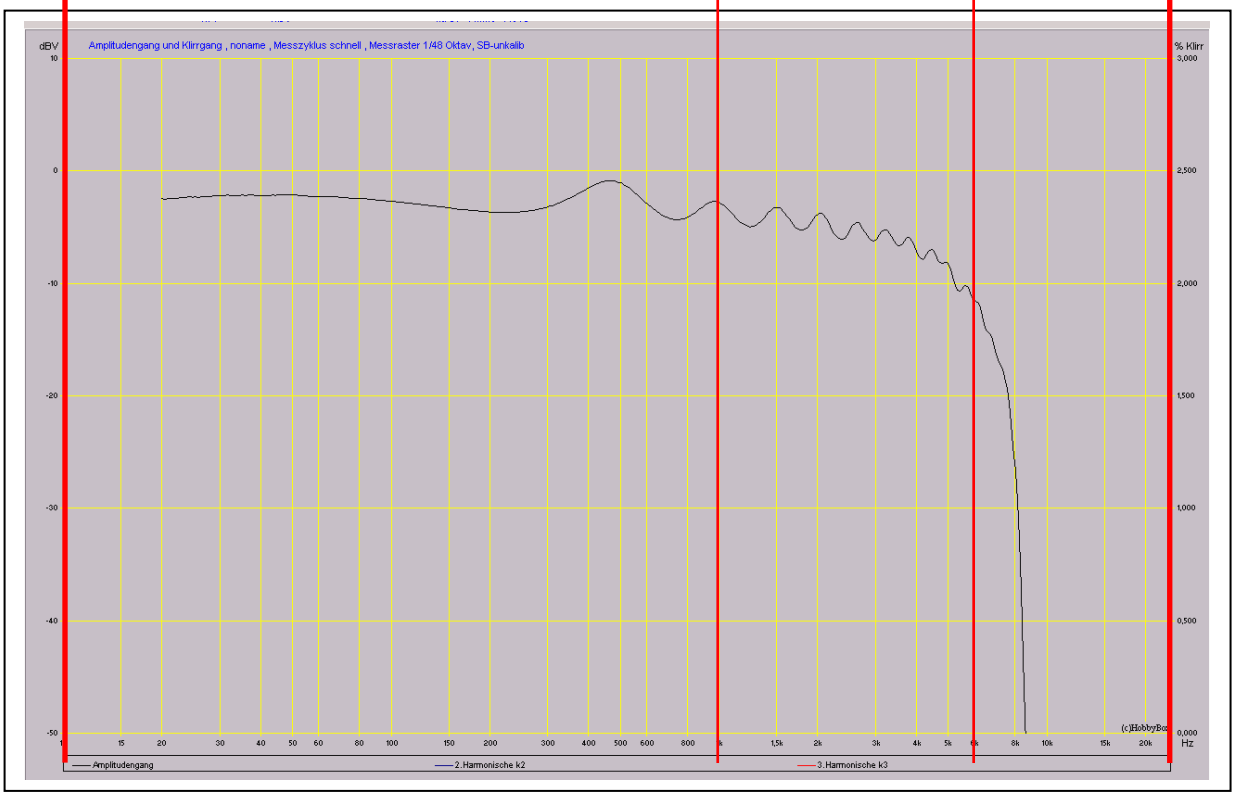


Abbildung 184: Frequenzgang (nach Umbau) Anschluss 18

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.17 Bauteilewerte-Tabelle: Widerstände

Auch die Widerstände wurden gewechselt. Zum Einsatz kamen neue Metallschichtwiderstände, $^1/_4$tel Watt, Genauigkeit:1%.

Bauteil	Wert SOLL laut Schaltplan	Altes Bauteil [gemessen]	Neues Bauteil [gemessen]
R65	27kΩ	29,305kΩ	27,079kΩ
R66	68kΩ	76,898kΩ	68,352kΩ
R67	56kΩ	57,241kΩ	56,192kΩ
R68	150kΩ	148,46kΩ	152,17kΩ
R69	39kΩ	41,749kΩ	38,948kΩ
R70	150kΩ	147,35kΩ	152,49kΩ
R71	33k	32,756kΩ	33,208kΩ
R72	180k	182,17kΩ	181,85kΩ
R73	18k	18,230kΩ	18,049kΩ
R74	180k	185,06kΩ	181,93kΩ
R75	12k	13,454kΩ	11,976kΩ
R76	180k	183,96kΩ	182,18kΩ
R77	15k	15,380kΩ	14,972kΩ

Tabelle 8: Bauelemente LineBox (Widerstände)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.18 Bauteilewerte-Tabelle: Spulen

Bauteil	Wert SOLL	Altes Bauteil [gemessen]	Altes Bauteil [gemessen]
L1	Unbekannt	570mH	Q=7,87 Rs=441,65Ω
L2		575mH	Q=8,06 Rs=438,55Ω
L3		580mH	Q=8,06 Rs=442,09Ω
L4		565mH	Q=7,94 Rs=436,44Ω
L5		566mH	Q=7,87 Rs=442,73Ω
L6		Messung ver-gessen... ;-)	Rs=441,40Ω
L7		567mH	Q=7,94 Rs=438,89Ω
L8		566mH	Q=7,94 Rs=437,67Ω
L9		566mH	Q=7,87 Rs=441,08Ω
L10		567mH	Q=7,87 Rs=440,41Ω
L11		574mH	Q=7,94 Rs=439,82Ω
L12		575mH	Q=8,06 Rs=440,22Ω
L13		568mH	Q=7,94 Rs=441,21Ω
L14		572mH	Q=8,06 Rs=440,05Ω
L15		572mH	Q=8,00 Rs=440,68Ω
L16		571mH	Q=7,94 Rs=445,42Ω
L17		573mH	Q=8,00 Rs=442,84Ω
L18		578mH	Q=8,06 Rs=440,93Ω

Tabelle 9: Bauelemente LineBox (Spulen)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.19 Bauteilewerte-Tabelle: Kondensatoren

Bauteil	Wert SOLL	Altes Bauteil [gemessen]	Altes Bauteil [gemessen]	Neues Bauteil [gemessen]	Neues Bauteil [gemessen]
C37	4nF	6,18nF	D=0,109	3,82nF	D=0,030
C38	4nF	5,49nF	D=0,037	3,71nF	D=0,027
C39	4nF	6,54nF	D=0,161	3,74nF	D=0,024
C40	4nF	6,28nF	D=0,116	3,94nF	D=0,025
C41	4nF	5,49nF	D=0,073	3,77nF	D=0,027
C42	4nF	6,21nF	D=0,090	3,74nF	D=0,023
C43	4nF	6,66nF	D=0,179	3,72nF	D=0,025
C44	4nF	5,92nF	D=0,094	3,71nF	D=0,026
C45	4nF	6,33nF	D=0,089	3,77nF	D=0,020
C46	4nF	6,73nF	D=0,132	3,78nF	D=0,022
C47	4nF	7,02nF	D=0,181	3,76nF	D=0,022
C48	4nF	5,59nF	D=0,090	3,81nF	D=0,029
C49	4nF	6,35nF	D=0,087	3,80nF	D=0,026
C50	4nF	6,29nF	D=0,086	3,78nF	D=0,029
C51	4nF	6,17nF	D=0,130	3,73nF	D=0,025
C52	4nF	5,76nF	D=0,098	3,78nF	D=0,028
C53	4nF	5,68nF	D=0,052	3,80nF	D=0,022
C54	**1nF (!)**	1,63nF	D=0,230	0,936nF	D=0,023

Tabelle 10: Bauelemente LineBox (Kondensatoren)

Verwendete Messgeräte:
Agilent 34401A 6,5digit Multimeter
Hewlett-Packard HP4262A LCR Meter, Messfrequenz = 1kHz

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.20 Pegelplan und Phasengang

Exemplarisch wurde für zwei NF-Frequenzen (1kHz und 100Hz) der Pegelplan und der Phasenplan aufgenommen. Hier kann verfolgt werden, welchen Amplituden- und Phasenverlauf ein eingespeistes 1kHz bzw. 100Hz Sinussignal mit einer Amplitude von $1V_{eff}$ über die ganzen Tiefpassglieder nimmt. Beide Messfrequenzen liegen absichtlich im Durchlassbereich, damit Pegel- und Phasenmessungen noch einigermaßen sinnvoll darzustellen sind.

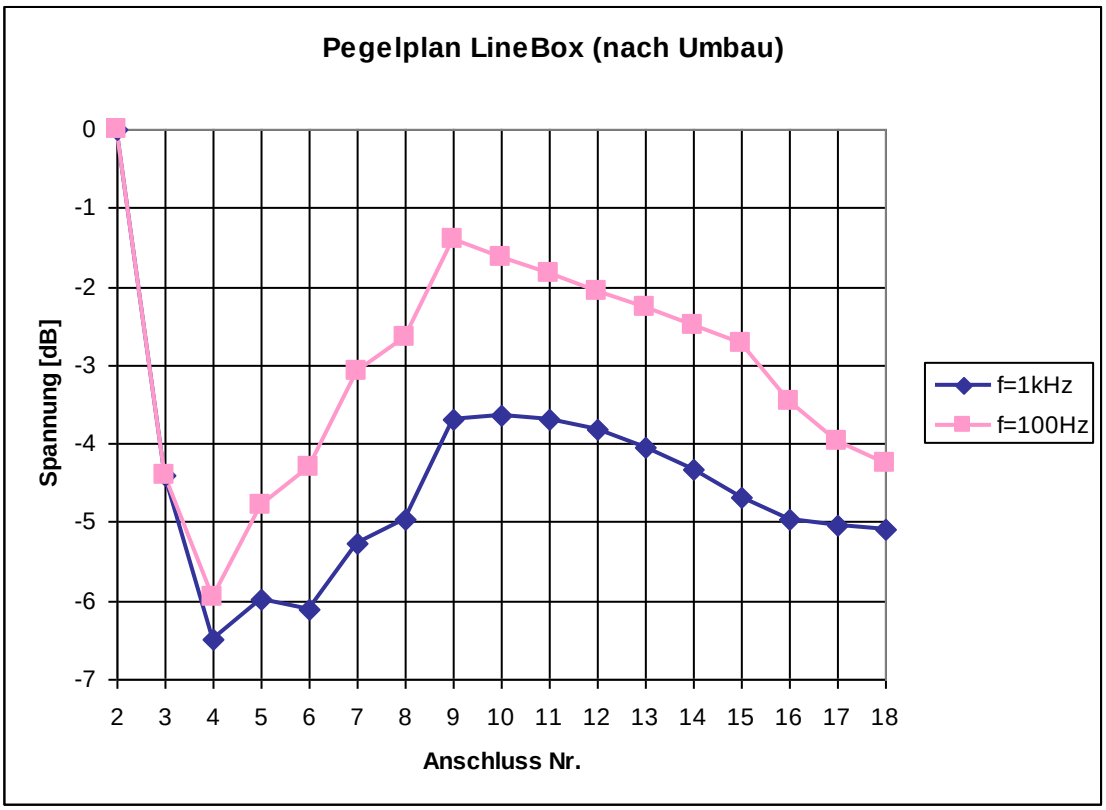


Abbildung 185: Pegelplan LineBox

Eine Testmessung mit 10kHz zeigte (neben Pegeln von -50dB) einen derart komplexen Phasengang, dass es keinen Sinn mehr macht, diesen hier dazustellen. Die Phasenlage ändert sich von Glied zu Glied so eklatant stark, dass ein Diagramm so gut wie keine Aussagekraft mehr besitzt.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Zumindest der Pegelplan und Phasengang im Durchlassbereich mag bei der Reparatur oder Aufarbeitung einer LineBox eine Hilfe sein.

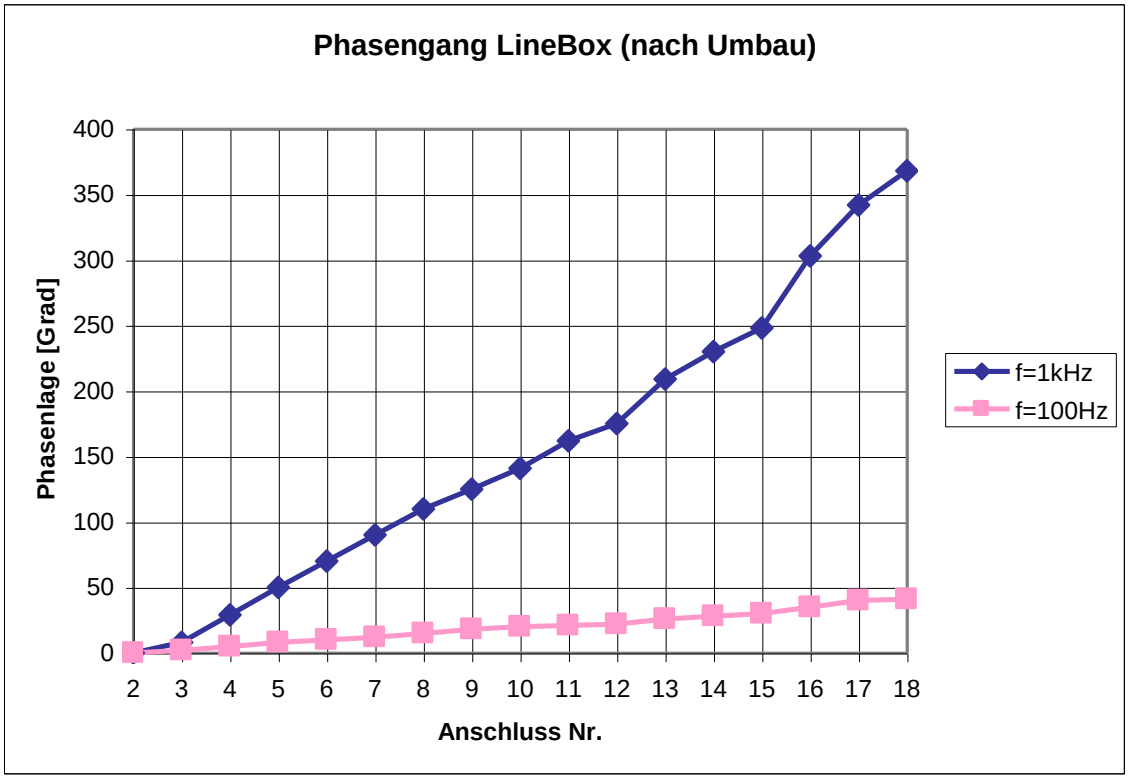


Abbildung 186: Phasenplan LineBox

Wir erkennen insgesamt etwa 360Grad Phasenverschiebung bei einer Prüffrequenz von 1kHz. Entsprechend der real existierenden 18 Tiefpassfilter ziemlich genau 20° Phasenverschiebung pro Filter.

Ulrich Zwarg berichtet in [20]: bei einer Prüffrequenz von 6kHz misst man am Ende der LineBox viermal 360° = 1440°. Tonrad Nr. 85 erfährt dabei eine maximale Phasenverschiebung von 1350°.

Hier übrigens auch gut nachzuweisen: die Einflüsse der beiden Stellen, an denen Tiefpässe höherer Ordnung eingesetzt sind:

- viel mehr Phasenverschiebung (ca. 60°) zwischen Anschluss Nr.15 und Nr.16

(Grund: hier sind in der LineBox gleich drei Tiefpässe zwischengeschaltet: 3x20°=60°)

- immernoch deutlich mehr Phasenverschiebung (ca. 40°) zwischen Anschluss Nr.16 und Nr.17

(Grund: hier sind in der LineBox gleich drei Tiefpässe zwischengeschaltet; 2x20°=40°)

Vergleiche dazu auch den Schaltplan der LineBox (Abbildung 189).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.21 Aufbau (alte Bauform)

Sämtliche Spulen sind auf einen langen Holzdübel aufgefädelt und liegen dicht an dicht nebeneinander. Somit ist auch hier eine gegenseitige Beeinflussung nicht auszuschließen. Misst man eine einzelne Spule in eingebautem Zustand, wird man Werte um die 570mH ermitteln. Der ohmsche Widerstand bei Gleichspannung liegt bei etwa Rs=440 kOhm. Es wurde also offensichtlich ein recht langer und dünner Draht verwendet, um die große Induktivität zu erreichen. Das erkauft man sich natürlich durch ziemlich hohe ohmsche Verluste, die die gesamte Spulengüte beeinflussen.

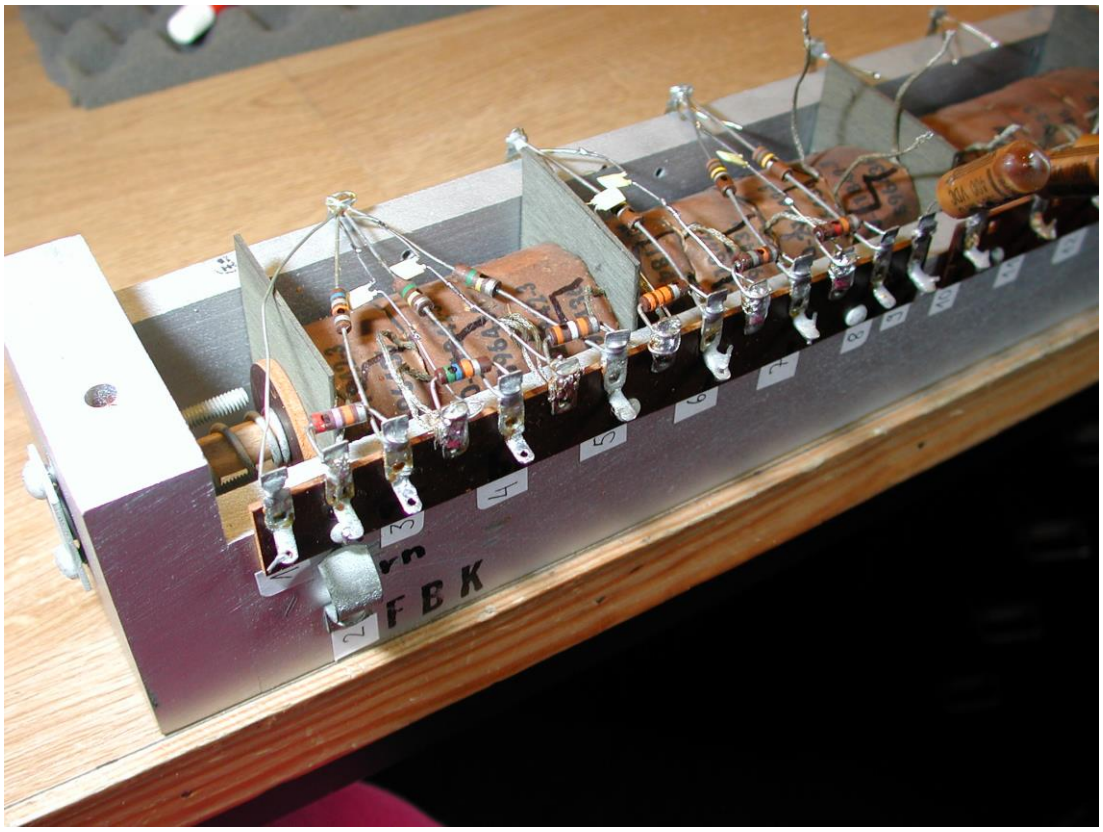


Abbildung 187; LineBox (alte Ausführung) neu bestückt

Nimmt man sich eine einzelne Spule heraus, ist es schwer, die richtigen Anschlussdrähte zu identifizieren. Bei uns war der Anschluss wie folgt:

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

LineBox so vor sich hinlegen, dass man von vorne auf die Lötösenleiste sieht. Die Anschlüsse jeder einzelnen Spulenwicklung liegen "unten links" und "oben rechts" .

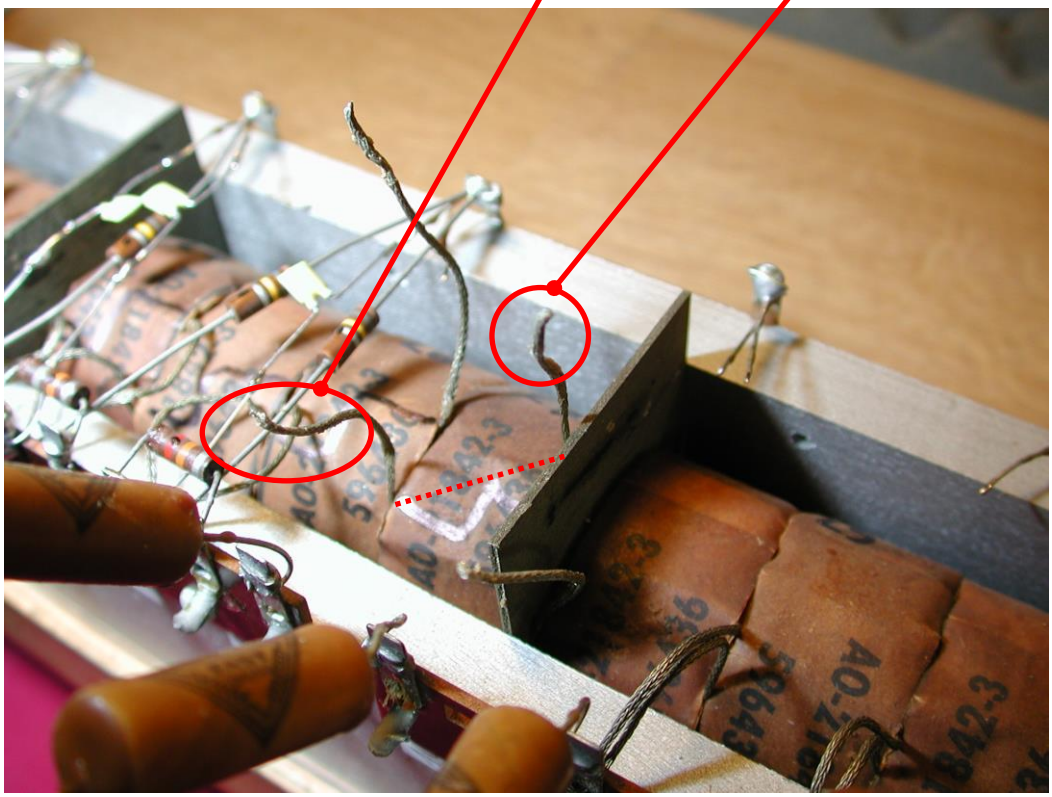


Abbildung 188: Anschlüsse einer Spulenwicklung

Dementsprechend sind die Anschlüsse "unten rechts" bzw. "oben links" die Spulenanschlüsse der jeweiligen Nachbarspulen! Zur Sicherheit sollte man die ermittelten Spulenanschlüsse mit einem Multimeter nachmessen. Wie schon oben beschrieben, kann man bei jeder Spule einen ohmschen Gleichstromwiderstand von etwa 440kOhm messen.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

8.2.22 Schaltplan LineBox

Das originale Hammond B3/C3-Service Manual gibt auch den Schaltplan der LineBox an. Zu beachten ist dabei, dass der letzte Kondensator in der Kette nicht –wie alle anderen- 4nF groß ist, sondern nur 1nF!

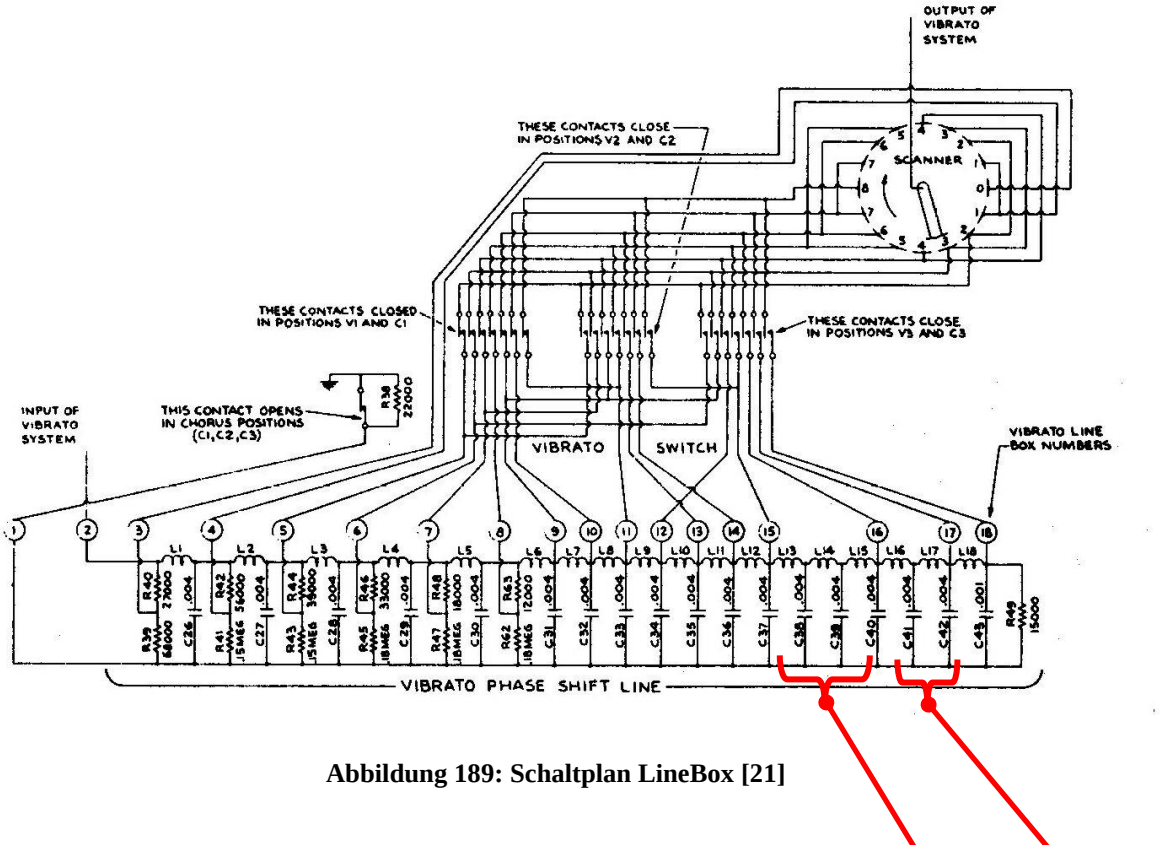


Abbildung 189: Schaltplan LineBox [21]

Hier sind auch die beiden Stellen zu sehen, bei denen ein Tiefpassfilter 3ter und 2ter Ordnung verwendet wurden.

8.2.23 Ausblick

Die LineBox halte ich in der Hammond-Orgel für eine der komplexesten elektrischen Gebilde. Anhand der nun ermittelten Parameter der Bauteile werden nun auch Computersimulationen denkbar, um die Mess-Praxis auch in der Theorie zu bestätigen. Sicher ein interessantes Projekt....

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

9 Der Pre-Amplifier (AO-28)

Aus reiner Neugier machten wir auch ein paar elektrische Untersuchungen am Pre-Amp. In erster Linie interessierte uns der Amplitudenfrequenzgang dieser Baugruppe. Also legten wir den AO28 auf den Laborplatz, schlossen die Betriebsspannung an (bei uns ist es eine amerikanische Type mit 117 V!) und brückten die Klemmen E und F. Dies simuliert den geschlossenen "Volume"-Schalter auf Stellung "NORMAL". Das Drehpoti "TONE CONTROL" stellt man vorher auf Rechtsanschlag; die Achse für das Schwellergestänge dreht man vorher vorsichtig auf maximale Ausgangsspannung (simuliert voll durchgetretenen Schweller) und öffnet den Rückführungskondensator C22 (siehe Abbildung 17).

Der Tongenerator für die Messung wird an den Anschluss "A" geklemmt und ein 1kHz-Sinuston mit 18 mV_{eff} (=50mV_{ss}) Amplitude erzeugt. Am Ausgang "G" (gegen Masse) ist dann das Ausgangssignal mit Oszilloskop bzw. Audio-Voltmeter messbar.

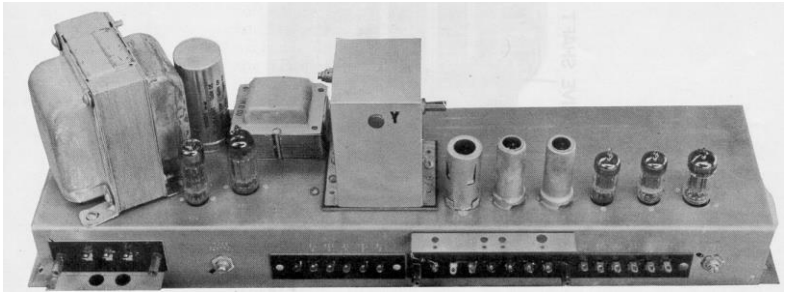
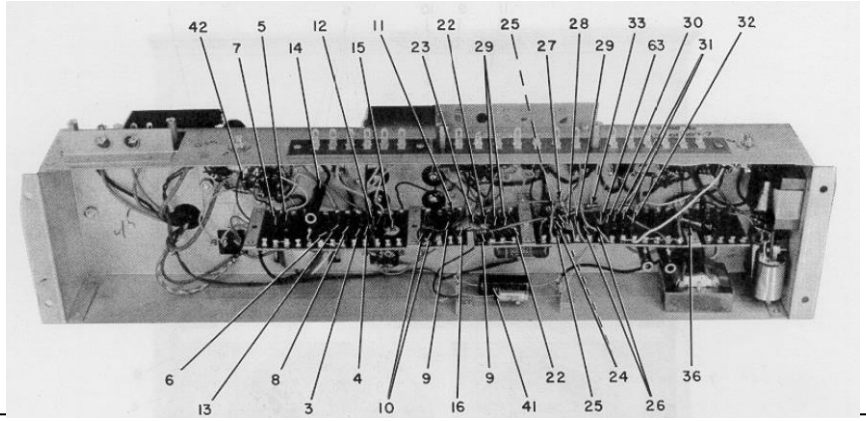


Abbildung 190: AO28-Preamplifier [21]

Allein über den AO28 könnte man sicher ein ganzes Buch schreiben, sodass ich mich hier auf das Wesentlichste beschränken möchte. In Abbildung 190 sehen wir das originale Foto aus dem B3/C3-Servicemanual. Zu erkennen ist im linken Teil der Transformator (um 45° gedreht, um Einstreuungen seines Magnetfelds in hochohmige Signalleitungen zu minimieren); gleich rechts daneben der Sieb-Elko mit Drossel. Ziemlich in der Mitte dann der Drehkondensator für den Fußschweller (unter der Blechhaube) und last but not least: auf der rechten Seite ein Haufen Röhren; zum Teil unter weiteren Blechhauben vor äußeren Störeinflüssen geschirmt.

Im Anhang (Abbildung 392) ist das elektrische Schaltbild dieser Baugruppe zu sehen. Die Literaturquelle [13] beschäftigt sich u.a. mit der technischen Erklärung der Funktionsweise der Percussion-Einheit, die ja ein Bestandteil des AO28 Pre-Amplifiers ist.



© 2004 Marc u. Monika Michalzik

9.1 Messungen

Zum PreAmplifier AO-28 möchte ich hier mehrere Messreihen vorstellen, die im Wesentlichen aus drei Quellen stammen: nämlich von den Clubmitgliedern Christoph Klug, Ulrich Zwarg und Marc Michalzik ;-). In diesem Abschnitt haben wir alle einzelnen Ergebnisse gesammelt und zusammengefasst.

9.1.1 Reference

Auch für diese Baugruppe in der Hammond-Orgel verfügen wir über eine empirisch ermittelte Referenz, die als Mittelwert von 7 ausgemessenen PreAmplifiern gebildet wurde. Christoph Klug stellte mir auch hier freundlicherweise einige seiner Messreihen von AO28-Preamplifiern zur Verfügung. In Abbildung 192 können alle Kurvenverläufe überblickt werden.

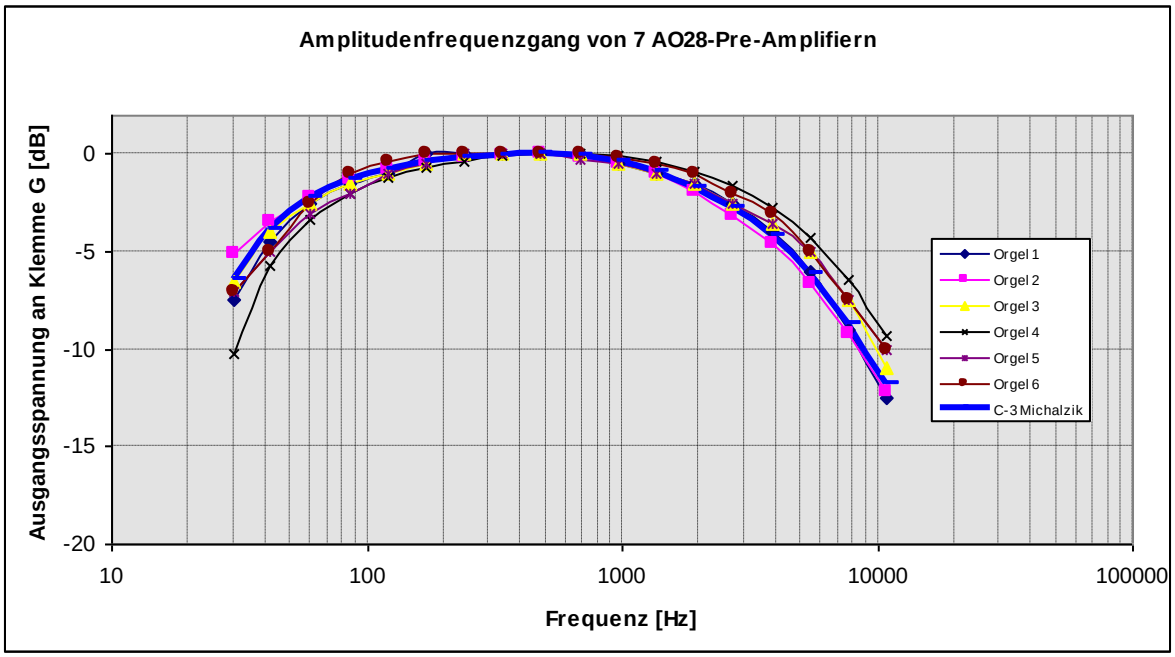


Abbildung 192: 7 Amplitudenfrequenzgänge AO28

Es handelt sich dabei um den Amplitudenfrequenzgang des Pre-Amps vom Eingang (Klemme „A“) zum Ausgang (Klemme „G“). Man erkennt hier bereits erhebliche Streuungen der Messkurven. Diese Tatsache wird bei der Analyse der Messwerte von U. Zwarg bestätigt (siehe Abschnitt 9.1.4).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Nur im mittleren Frequenzbereich (300Hz < f < 1kHz) erkennt man einen recht eng abgegrenzten Bereich, in dem sich alle der 7 gemessenen Preamplifier aufhalten. Zur unteren Frequenzgrenze hin (ca. 30 Hz) weiten sich die Messreihen jedoch immerhin um ca. 5dB auf. Ebenso im Hochtonbereich bei ca. 10kHz: die Exemplarstreuungen der betrachteten Geräte bewirken eine Aufweitung um etwa 3dB.

Der AO28 unserer C-3 scheint hier also recht gut im „Mittelfeld“ mitzuspielen- wenngleich er auch zu höheren Frequenzen hin leicht „dumpfer“ klingt als die Vergleichsgeräte. (Messreihe „C-3 Michalzik“)

Der Klirrfaktor liegt bei uns mit f=1kHz bei THD= 0,78%.

Bilden wir von allen Frequenzgängen wieder den Mittelwert, so erhalten wir die Referenz:

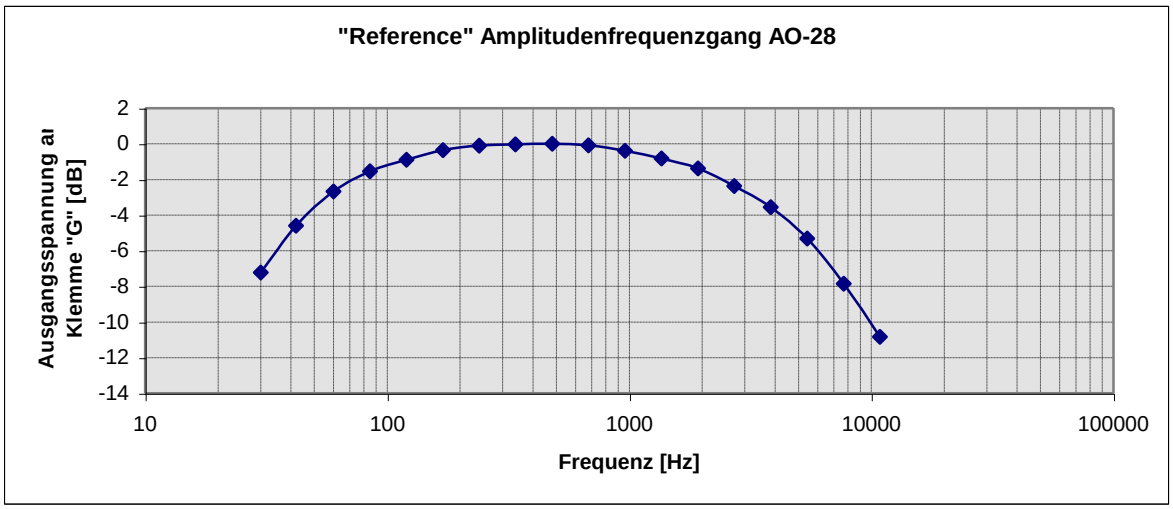


Abbildung 193: "Reference" Amplitudenfrequenzgang AO-28

Die ihr zugrunde liegende Wertetabelle ist in Tabelle 11 zu sehen.

Frequenz [Hz]	Ausgangspegel [dB]
30	-7,2
42	-4,6
60	-2,7
85	-1,6
120	-0,9
170	-0,4
240	-0,1
339	0
480	0
679	-0,1
960	-0,4
1358	-0,8
1920	-1,4
2715	-2,4
3840	-3,6
5431	-5,3
7680	-7,9
10861	-10,8

Tabelle 11: "Reference" Wertetabelle nach C.Klug

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Dieser Referenztabelle liegt auf den ersten Blick ein eher unübliches Frequenzraster zugrunde. Statt des Terz-Abstandes auf Basis 20Hz wurde hier ein Tritonus-Abstand auf Basis 30Hz gewählt. Um möglichst einheitlich und vergleichbar zu bleiben, habe ich alle diese Werte (mittels linearer Interpolation) auf übliches 20Hz-Terzband-Raster umgerechnet, das im Anhang in Tabelle 17 zu sehen ist.

9.1.2 AO28-Eingangskanal „A“

Betrachten wir nun den Amplitudenfrequenzgang unserer C-3. Der Eingangskanal „A“ verstärkt das normale Tonsignal, das aus dem Matching-Transformator kommt. Bei Einspeisung der $50mV_{ss}$ (=$18mV_{eff}$) und Abgriff der Tonspannung an Klemme „G“ erhielten wir folgenden Verlauf:

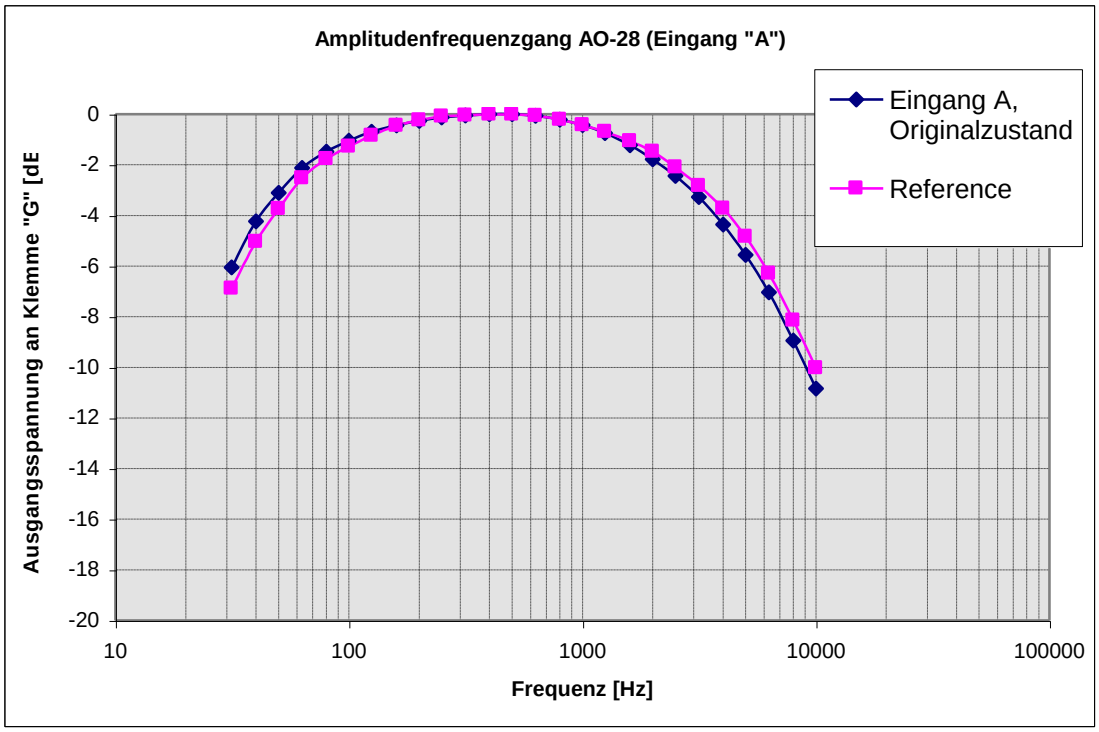


Abbildung 194: Amplitudenfrequenzgang Eingang "A"

Die dargestellte Referenz wurde hier bereits auf 20Hz-Terzband umgerechnet.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

9.1.3 AO28-Eingangskanal „B“

Dieser Eingang wird benutzt, wenn man den Vibrato-Effekt aktiviert. Mittels Umschalter gelangt das Tonsignal des Matching-Trafos nämlich nun nicht mehr auf „Eingang A“, sondern stattdessen auf „Eingang B“.

Dort sorgt eine zusätzliche Röhrenvorstufe für genügend Verstärkung, bevor das Signal dann zur LineBox ausgekoppelt und anschließend vom Scanner zyklisch von dort abgetastet wird (vgl. dazu auch das Blockschaltbild in Kapitel 3), bevor es über „Klemme D“ letztlich wieder in den „normalen“ Verstärkerzug eingespeist wird.

Misst man hier nun den Amplitudenfrequenzgang von „Eingang B“ zu „Ausgang G“ wie gewohnt, so erhalten wir einen Verlauf ähnlich Abbildung 195.

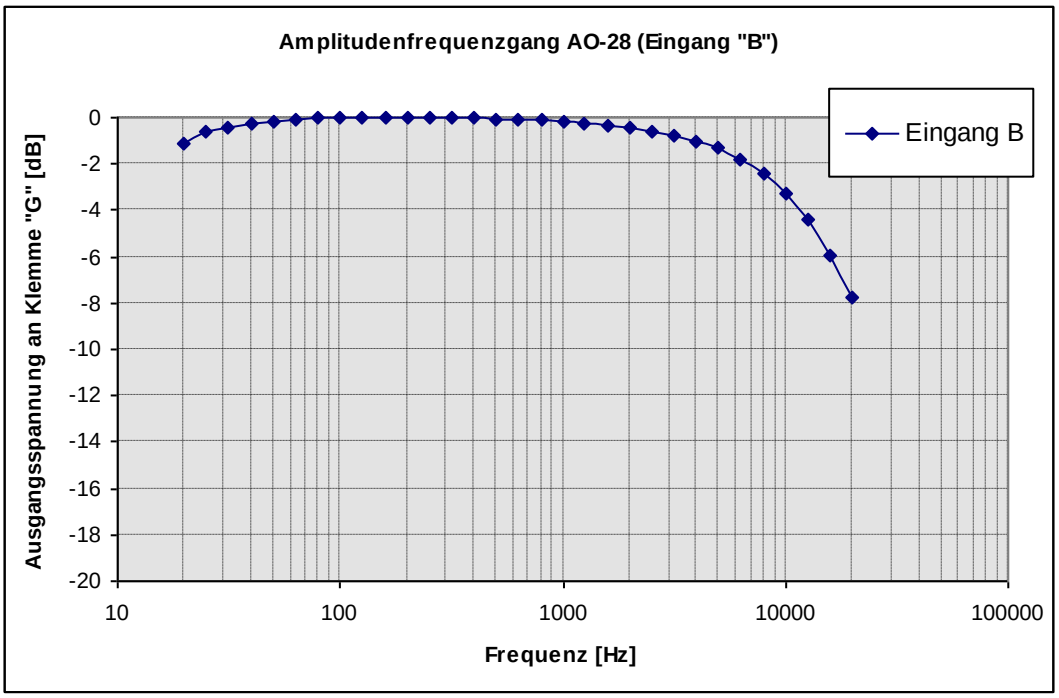


Abbildung 195: Amplitudenfrequenzgang Eingang "B"

Sehr wichtig ist hier bei der Interpretation der technische Hintergrund. Der gezeigte Amplitudenfrequenzgang beinhaltet hier ja ebenfalls die elektrischen Eigenschaften der LineBox und des Scanners- ja sogar die momentane Stellung des Scanner-Rotors hinsichtlich momentan aktueller Einkoppelkapazität (vgl. dazu Kapitel 7.3.3). Abbildung 195 ist also mit etwas Vorsicht „zu genießen“ und sei hier nur zur reinen Information wiedergegeben. Eine Referenztabelle, wie wir sie z.B. für Generator- und Zugriegelfrequenzgänge kennen, gibt es hierzu meines Wissens nicht.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

9.1.4 Messverfahren AO-28 nach U. Zwarg

Im Rahmen eines ausführlichen Besuchs bei Ulrich Zwarg [20] stellte er mir seine selber ermittelten Messwerte zum Preamplifier vor. Das Messverfahren ist prinzipiell mit dem von Christoph Klug identisch (Einspeisung des Testsignals mit einer Amplitude von $18mV_{eff}$ ($=50mV_{ss}$) in den Eingang „A“ des Preamplifiers), verwendet jedoch anstelle vieler Prüffrequenzen nur drei: nämlich 60Hz, 600Hz und 6kHz.

Für die ernsthaft qualitative Darstellung eines Amplitudenfrequenzgangs ist dieses vereinfachte Verfahren natürlich nicht geeignet (das war aber vielleicht auch gar nicht der Anspruch); aber es liefert hier andere wichtige Messlatten bei der Wartung und Reparatur: nämlich Pegelpläne an verschiendenen Stellen im Signalweg des Vorverstärkers!

Dabei können die Daten zur Erzeugung von Pegelplänen (=ein Ton, der auf der „Reise“ vom PreAmp-Eingang bis zum Ausgang an verschiedenen Checkpoints gemessen wird) dienen; als auch so ausgewertet werden, dass man einen sehr groben Überblick über den Frequenzgang erhält. Beides wurde nun mit den Daten aus [20] durchgeführt und damit ein Überblick über die Vorverstärker von 14 Großorgeln (B-3, C-3, RT-3, A-100) geschaffen.

Die teilweise nicht immer auf den ersten Blick selbsterklärende Beschriftung dieser Testpunkte („1, Z, D, 4.2, 4.1, E und G“) veranschaulicht Abbildung 196. Auf dieser Basis wurden alle der nun folgenden Messwerte aufgenommen ausgewertet.

Die Messwerttabellen finden sich im Anhang in Abschnitt 18.4.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

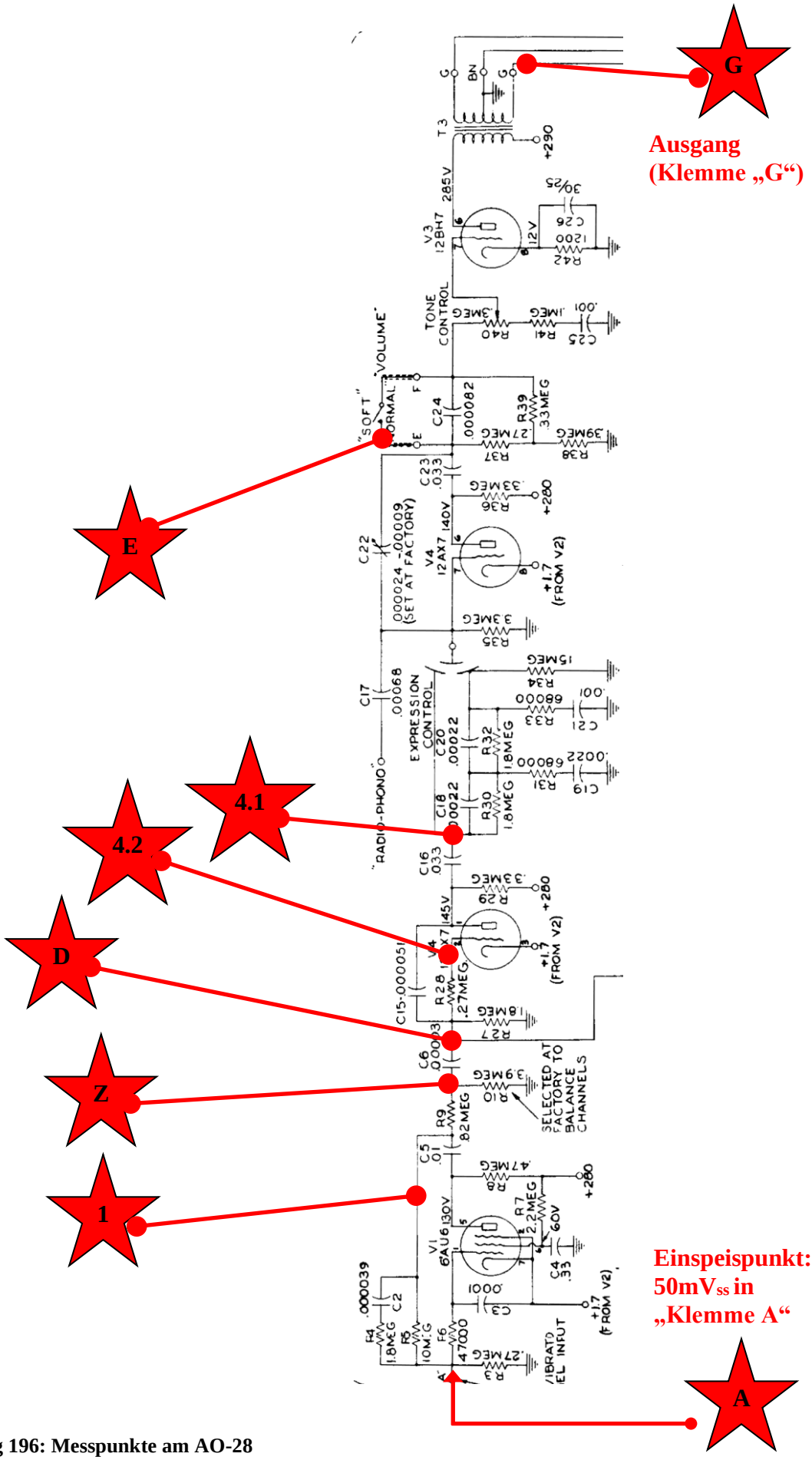


Abbildung 196: Messpunkte am AO-28

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

9.1.4.1. Pegelpläne, lineare Darstellung

In den unten stehenden Abbildungen sind die Pegelpläne in üblicher linearer Darstellung für die drei verschiendenen Messfrequenzen abgedruckt. Die hier dargestellten Spannungswerte können in „V_{ss}“ abgelesen werden.

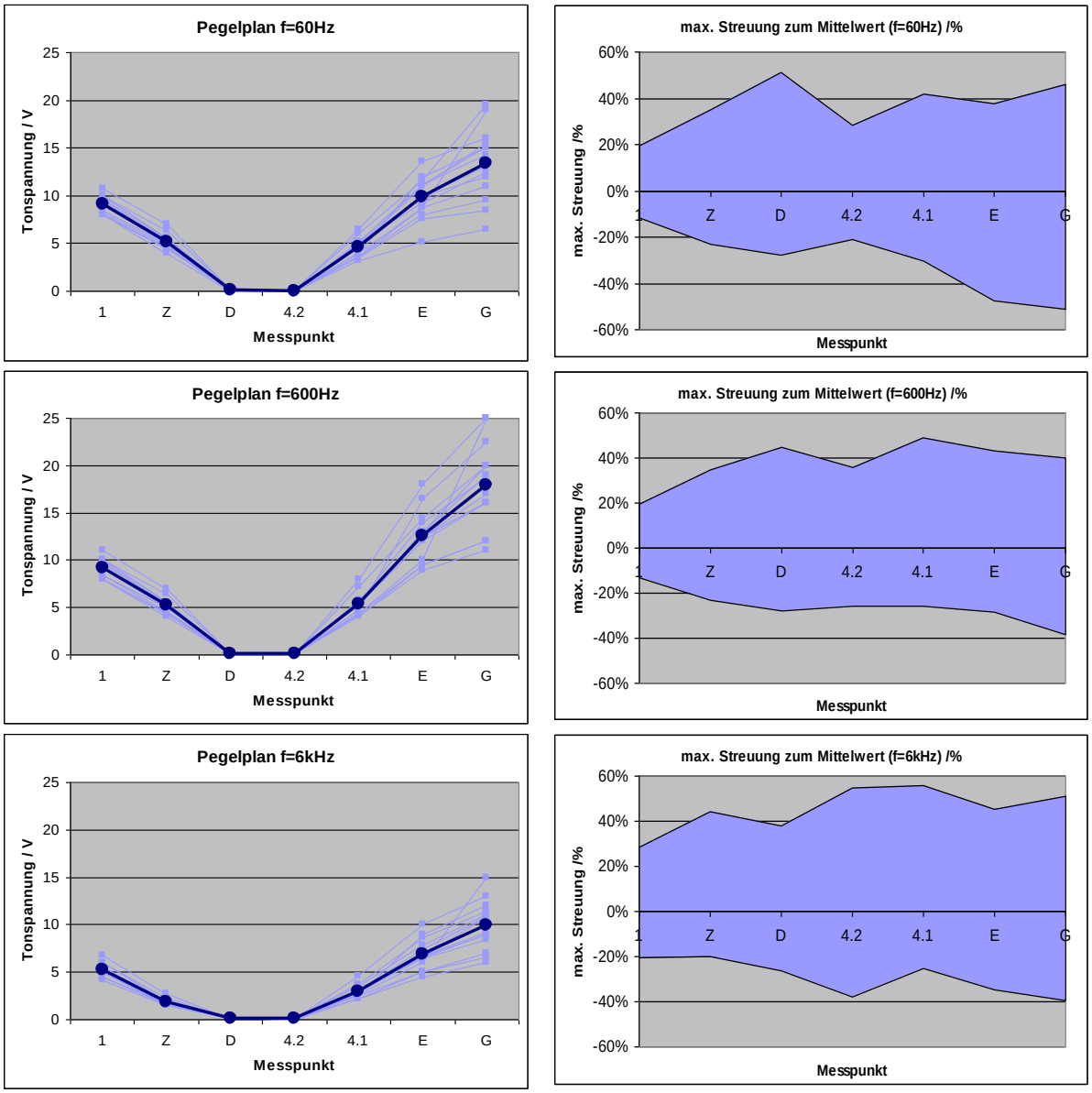


Abbildung 197: Pegelpläne AO-28, lineare Darstellung

Was man sofort erkennt, ist die extrem starke Schwankungsbreite der einzelnen Messkurven! Die vierzehn verschiedenen Messkurven spiegeln einer Streuung untereinander von bis zu ca. +/-50% (in Bezug zum Mittelwert) wider! Damit ist der Nachweis erbracht, welch individuellen Einfluss der PreAmp auf den Gesamtklang des Instruments hat!

Um auch hier eine Art „Referenzkurve“ zu erhalten, wurde der arithmetische Mittelwert in Form der fett dunkelblau dargestellten Linie zusätzlich dargestellt.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

9.1.4.2. Pegelpläne, logarithmische Darstellung

Unter Technikern ist es aber eher üblich, solche Art von Messkurven in logarithmischer Darstellung anzugeben. Dabei werden alle Messwerte anhand einer Logarithmusfunktion (siehe Umrechnungsformel in Kapitel 4.3.5) quasi „gestaucht“. Der Vorteil liegt u.a. darin, dass dadurch nun auch kleine Messwerte sichtbar werden (zum Beispiel die an Messpunkt „D“ und „4.2“), die vorher durch den linearen Maßstab einfach nicht richtig sichtbar waren.

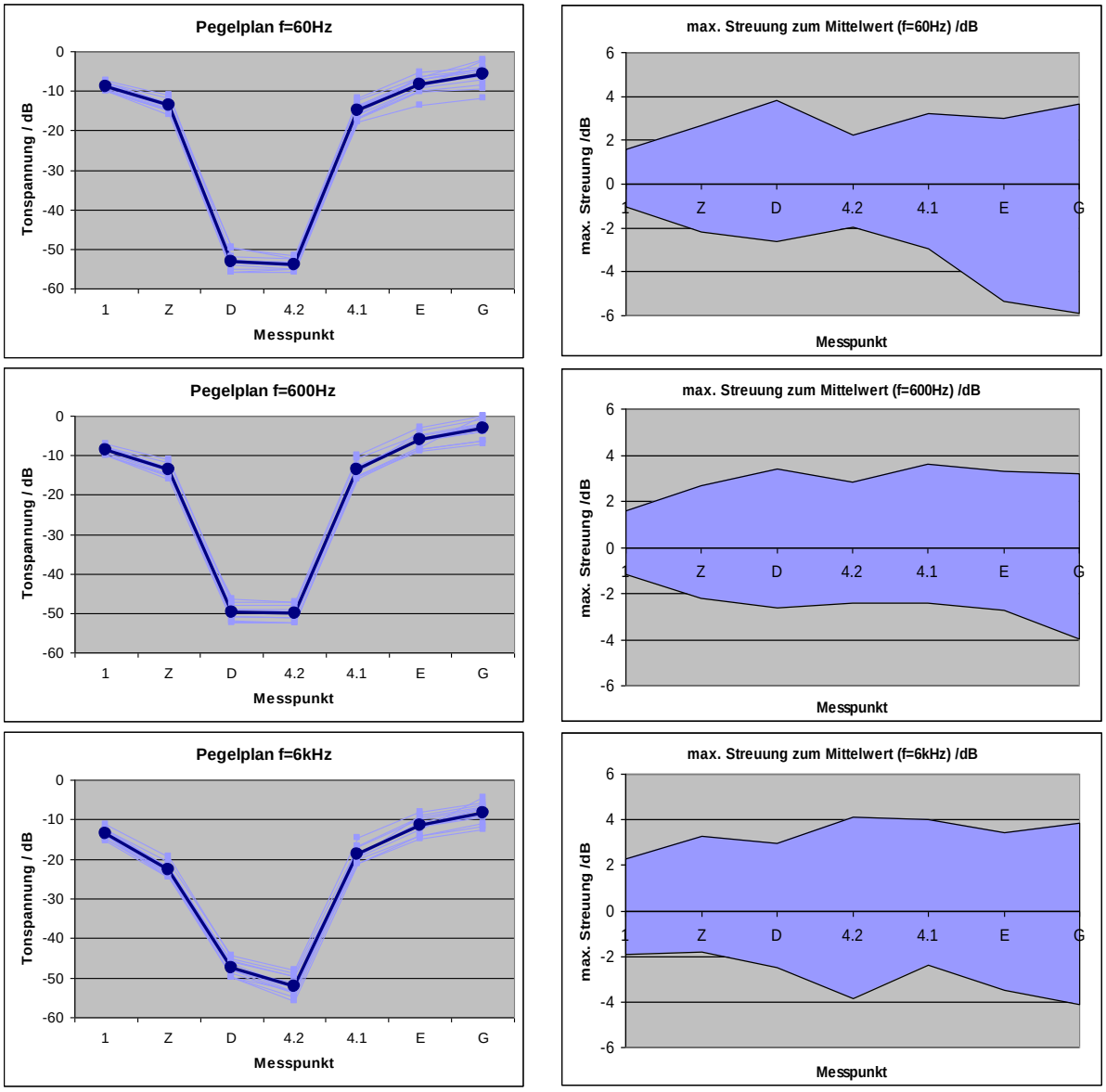


Abbildung 198: Pegelpläne AO-28, logarithmische Darstellung

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

9.1.4.3. Amplitudenfrequenzgänge

Die im Folgenden dargestellten 3-Punkt-Amplitudenfrequenzgänge habe ich ganz bewusst in einem einheitlichen Dynamikbereich von 60dB dargestellt, um die Kurven auch untereinander maßstabsgerecht vergleichen zu können. 0dB entsprechen dabei $25V_{ss}$.

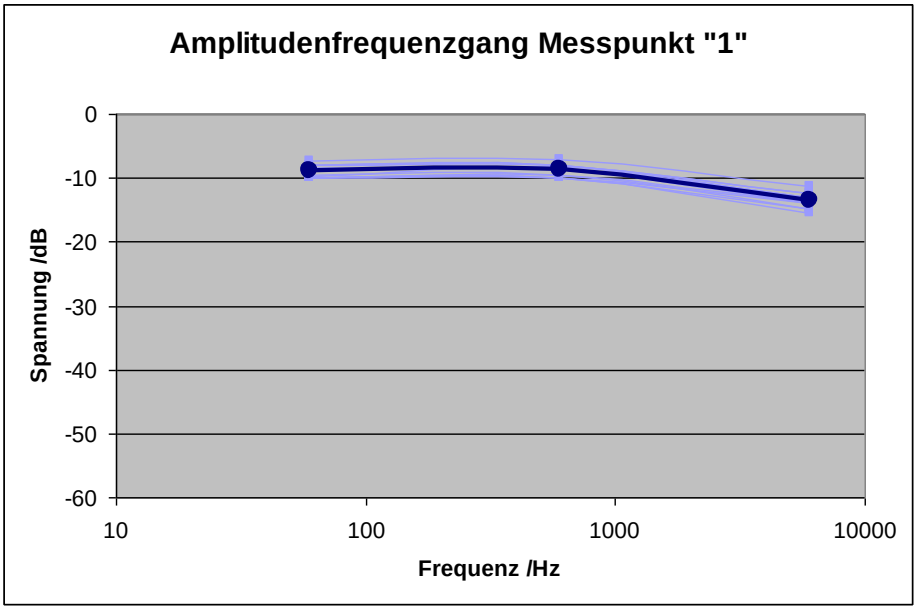


Abbildung 199: Amplitudenfrequenzgang AO-28, Messpunkt "1"

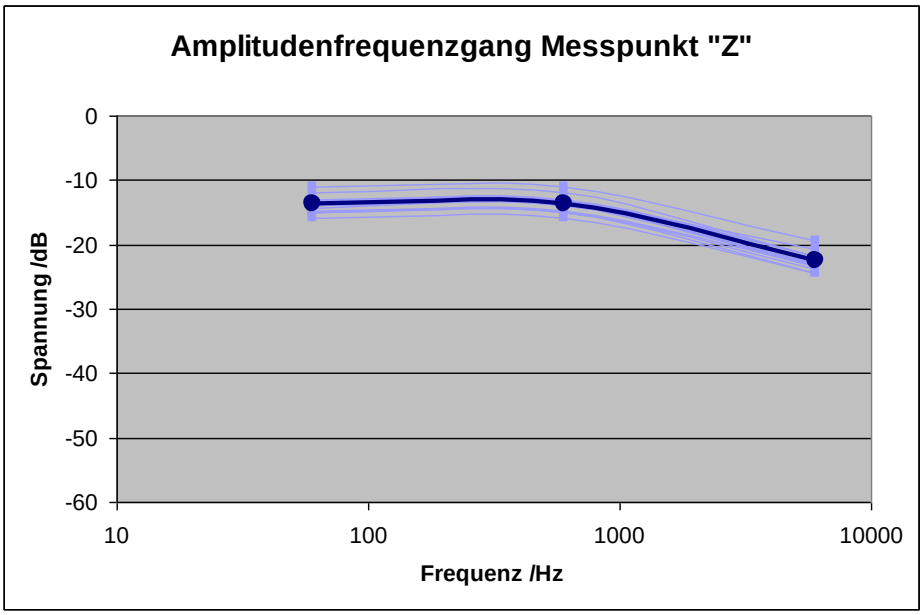


Abbildung 200: Amplitudenfrequenzgang AO-28, Messpunkt "Z"

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

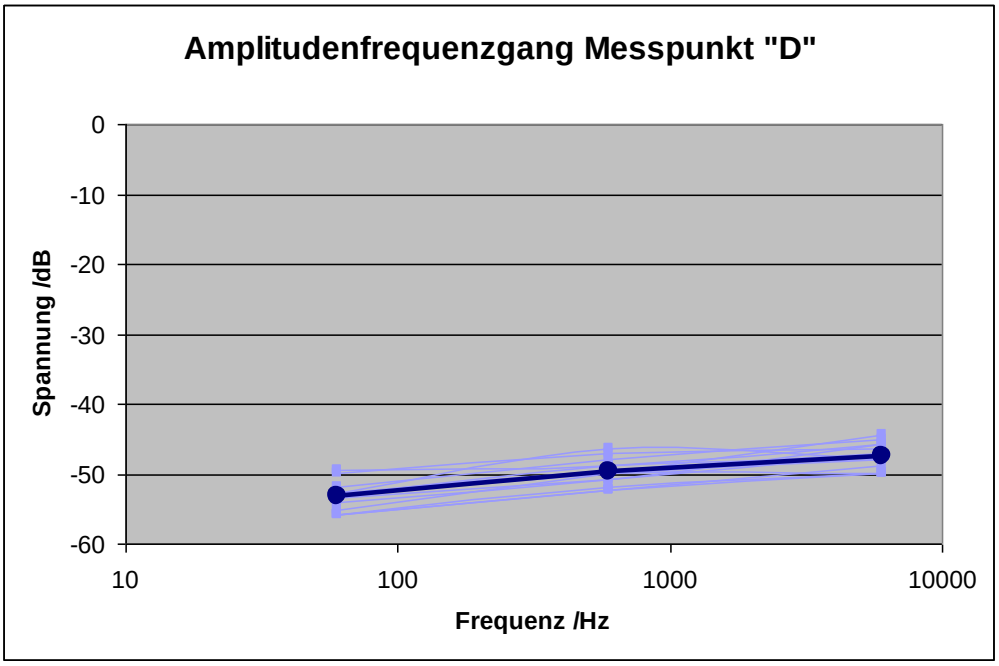


Abbildung 201: Amplitudenfrequenzgang AO-28, Messpunkt "D"

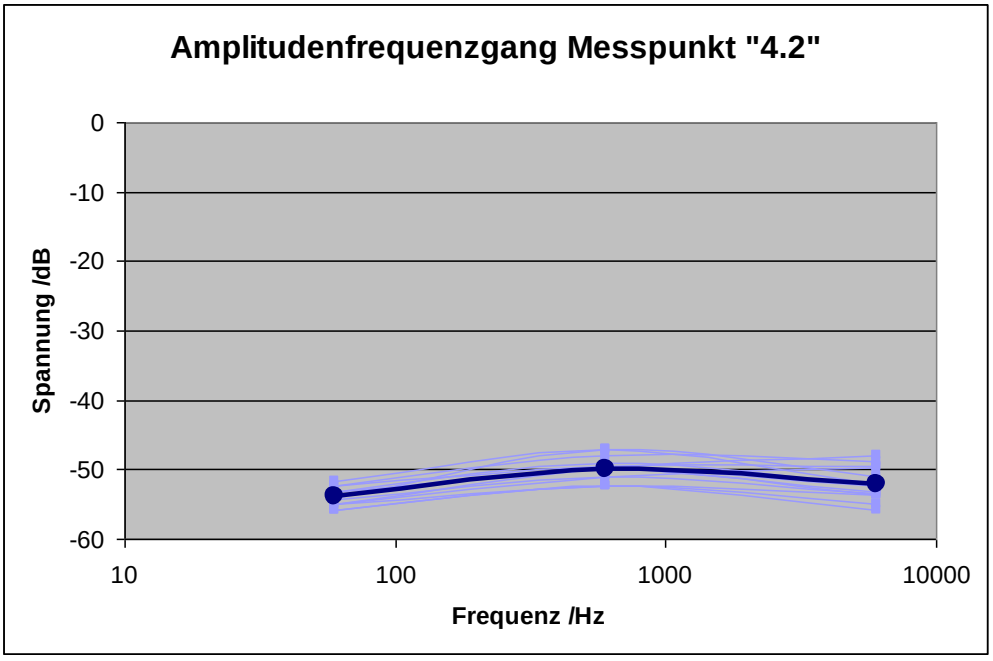


Abbildung 202: Amplitudenfrequenzgang AO-28, Messpunkt "4.2"

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

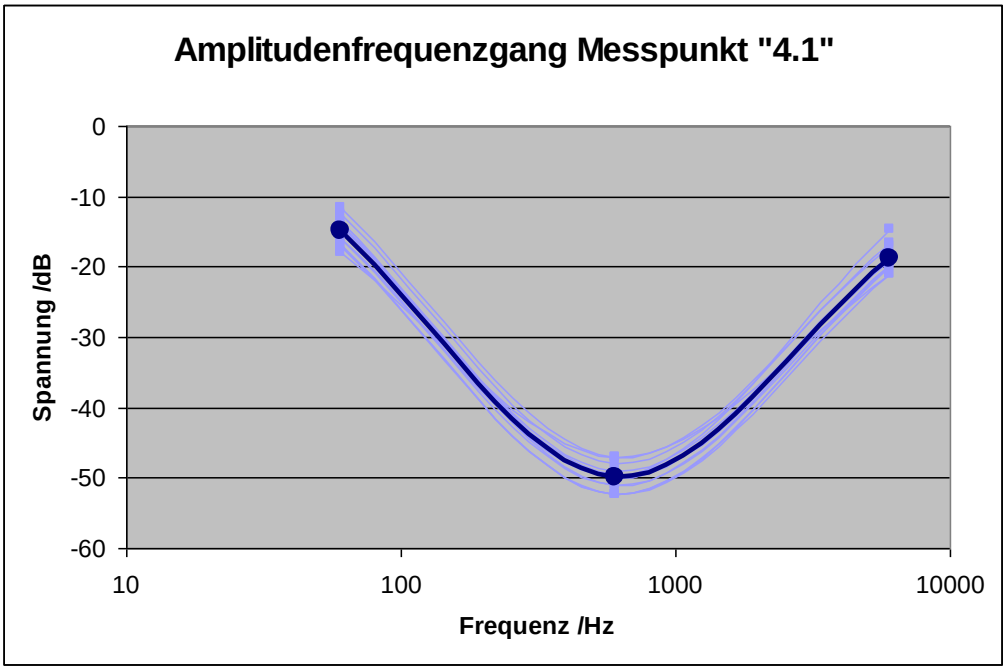


Abbildung 203: Amplitudenfrequenzgang AO-28, Messpunkt "4.1"

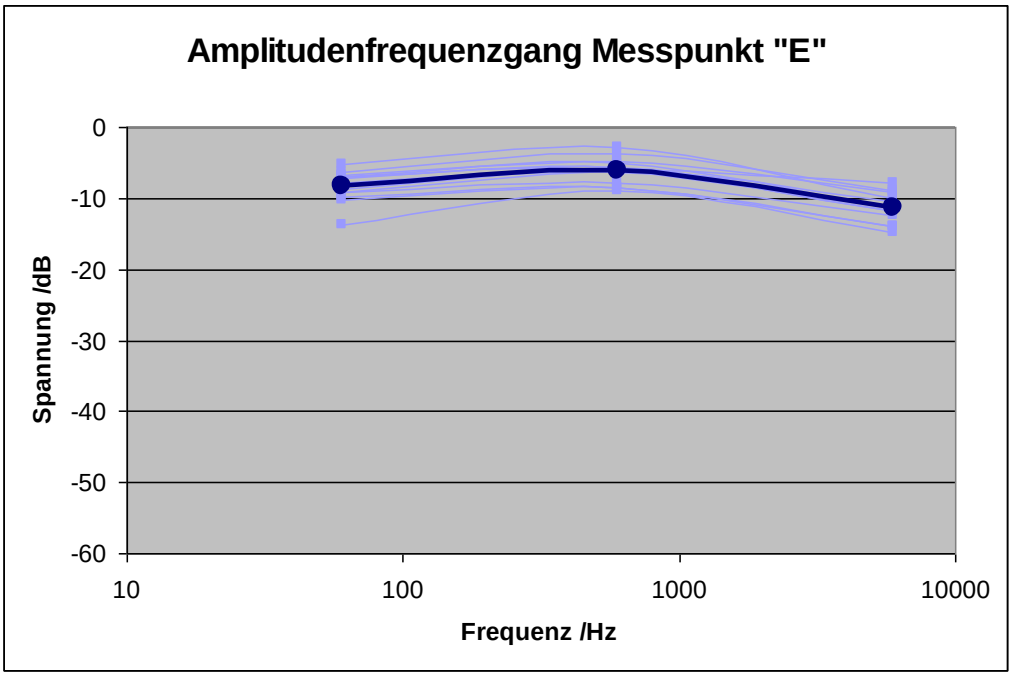


Abbildung 204: Amplitudenfrequenzgang AO-28, Messpunkt "E"

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

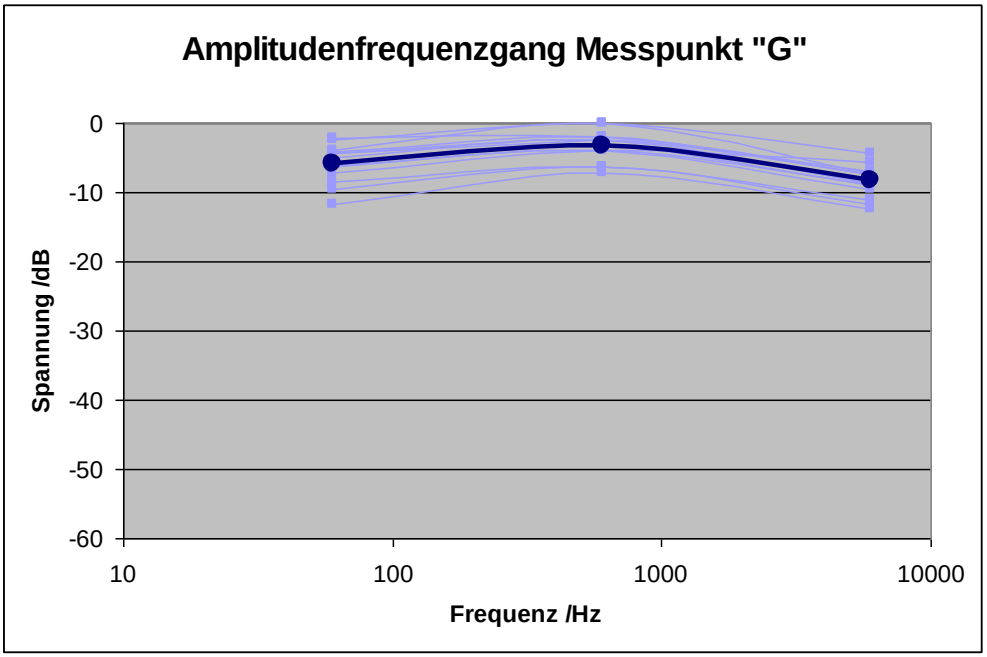


Abbildung 205: Amplitudenfrequenzgang AO-28, Messpunkt "G"

Die von Herrn Zwarg ermittelten Messkurven decken sich (zumindest qualitativ) übrigens sehr gut mit unseren eigenen Messungen. Trägt man die von uns an der C-3 ermittelten Messwerte (die aus Abbildung 194) in ein gemeinsames Diagramm mit ein, so lassen sich zwei Dinge erkennen:

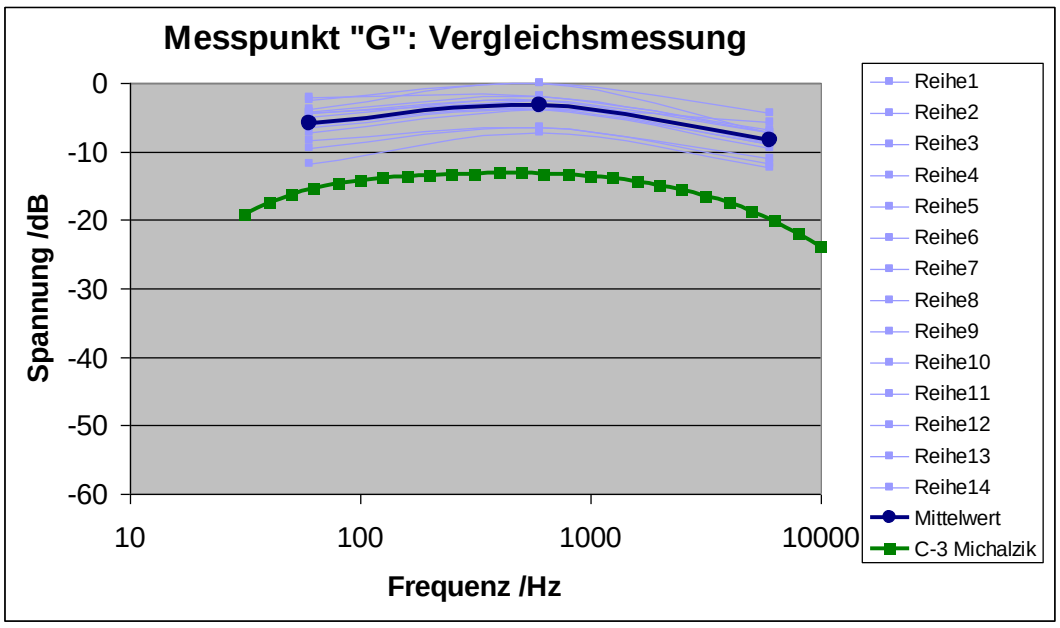


Abbildung 206: Amplitudenfrequenzgang AO-28, Vergleichsmessung C-3 Michalzik

- der qualitative Kurvenverlauf ist sehr ähnlich (das bestätigt unsere Messung)
- zwischen Mittelwert und „unserer“ Messung liegen durchschnittlich etwa konstante 10dB Unterschied. (Erklärung: während der Durchführung unserer Messung wurde der Rückführungskondensator C22 in Werkseinstellung belassen und nicht auf Maximum gestellt; daher geringere Pegel.) Die wichtigste Aussage aber sieht man dennoch sofort: Der Charakter der beiden Messkurven ist bei beiden gleich!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

9.2 Percussion

Ich weiß nicht, wie es Ihnen geht, doch ich habe die Signalführung der Percussion-Sektion lange Zeit nie so richtig verstanden. Den Signalleitungen im B3/C3-Schaltplan durch die ganzen (mikroskopisch klein gemalten) Schalterstellungen folgen zu wollen, mündet meist in ein geistiges Desaster.

Daher habe ich mir den Originalschaltungsausschnitt einmal groß kopiert (Abbildung 207) und mit Filzstiften die Schalterstellungen und Signalwege nachgezeichnet. Eine mühsame Arbeit, deren Ergebnis ist nun vorstellen möchte.

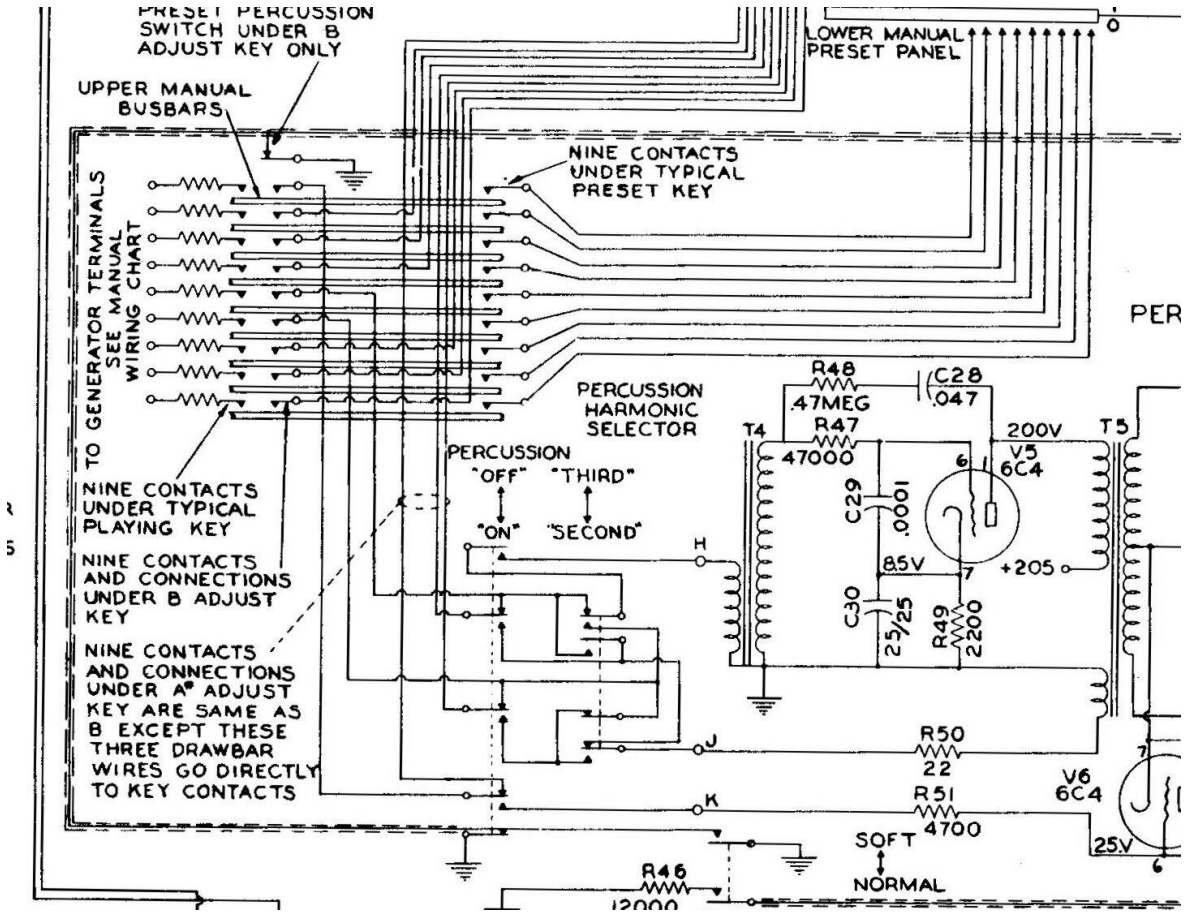


Abbildung 207: Percussion-Schalter [21]

Grundsätzlich ist dabei zu sagen, dass die Umschaltung –einmal verstanden- eigentlich keine besonderen Geheimnisse bietet. Die Percussion-Erzeugung im AO-28 besitzt dafür eigentlich nur drei Anschlüsse, die entsprechend beschaltet werden wollen. Bevor wir die einzelnen Percussion-Zustände im Detail noch mal durchsprechen werden, Folgendes als Grundlage:

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

9.2.1.1. Klemme H: der NF-Eingang

Hier wird einfach das Signal der entsprechenden Sammelschiene (2nd oder 3rd Harmonic; = 4' oder $2^2/_3$') angeschlossen, von der der Percussionklang erzeugt werden soll.

9.2.1.2. Klemme J: der NF-Ausgang

Tatsächlich: die Percussion besitzt auch einen NF-Ausgang! Entsprechend ausgelegte Übertragertrafos (T4, T5) gewährleisten, dass man die NF, die man an "Klemme H" einspeist, wieder zurückgewinnt, so dass man auf den gerade angewählten Zugriegel im Gesamtsound nicht verzichten muss!

9.2.1.3. Klemme K: der Trigger-Eingang

Ein kurzes Tippen dieser „Klemme K" auf Masse (GND) bewirkt das Erzeugen des Percussion-Sounds. Dazu wird natürlich das gerade am Eingang („Klemme H") anliegende Tonsignal verwendet. Durch kurze Anhebung der Signalamplitude (="Lautstärke") gemäß einer vorgegebenen Hüllkurve wird auf diese Art und Weise der „Ping"-ähnliche Sound erzeugt. Die Zeitkonstante dieser Amplituden-Hüllkurve ist übrigens umschaltbar: nämlich mit dem „PERCUSSION DECAY"- Schalter (Anschlüsse am AO-28: Klemme L,M,N).

Im Zusammenhang mit dem Trigger-Eingang ist übrigens noch eine Erkenntnis sehr wichtig: die „Zweckentfremdung" der 1'-Sammelschiene. Da man für das Auslösen (Triggern) der Percussion nun einen zehnten Schaltkontakt unter jeder Taste benötigt hätte, griff man zu einem Trick (oder eher: Kompromiss!). Anstatt die Mechanik aller Manualbaugruppen in der Hammond-Produktion um den zehnten Schaltkontakt zu erweitern, entschieden sich die damaligen Konstruktions-Ingenieure, stattdessen die neunte Sammelschiene (1') umschaltbar zu machen. In der normalen Betriebsart kann man sie also weiterhin wie gewohnt für das Spielen des 1'-Zugriegels benutzen, während sie bei aktivierter Percussion aber als Trigger-Sammelschiene fungiert. So kam man um die Umkonstruktion der gesamten Manualbaugruppenmechanik herum. Der uns allen bekannte Nachteil: wenn die Percussion aktiviert ist, steht die 1'-Sammelschiene natürlich nicht mehr für den 1'-Zugriegel zur Verfügung und so ist er in dieser Betriebsart ohne Funktion. Man empfand diesen Kompromiss offensichtlich als akzeptabel und so wurde die Idee umgesetzt.

Technisch gesehen funktioniert das Ganze übrigens nur so problemlos, weil die Tonradspulen im ToneWheel-Generator so niederohmig sind, denn die Sammelschiene für den 1'-Zugriegel wird ja quasi „rückwärts" betrieben. Alle dort (am anderen Ende) angeschlossenen Tonspulen des ToneWheel-Generators sind niederohmig genug (sie sind mit einem Ende intern gegen Masse gelötet), sodass sie ausreichen, dass der AO28 dies als „Tippen gegen Masse" erkennt und die Percussionerzeugung beginnt. Der Elektroniker nennt diesen Vorgang übrigens „triggern". Daher auch die Bezeichnung der „Klemme K" als „Percussion Trigger-Eingang".

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

9.2.2 Signalpfad „Percussion OFF“

Zu allererst sehen wir uns mal den einfachsten Fall an: nämlich die Stellung “PERCUSSION OFF”. Von oben links kommen die Ausgänge der Preset-Taste H (zur Übersicht vergleiche Abbildung 11: wir befinden uns dort an Punkt 3!) und führen die Sammelschienen für 1’, $2^2/_3$’ sowie 4’ zur Percussion Umschalteinheit.

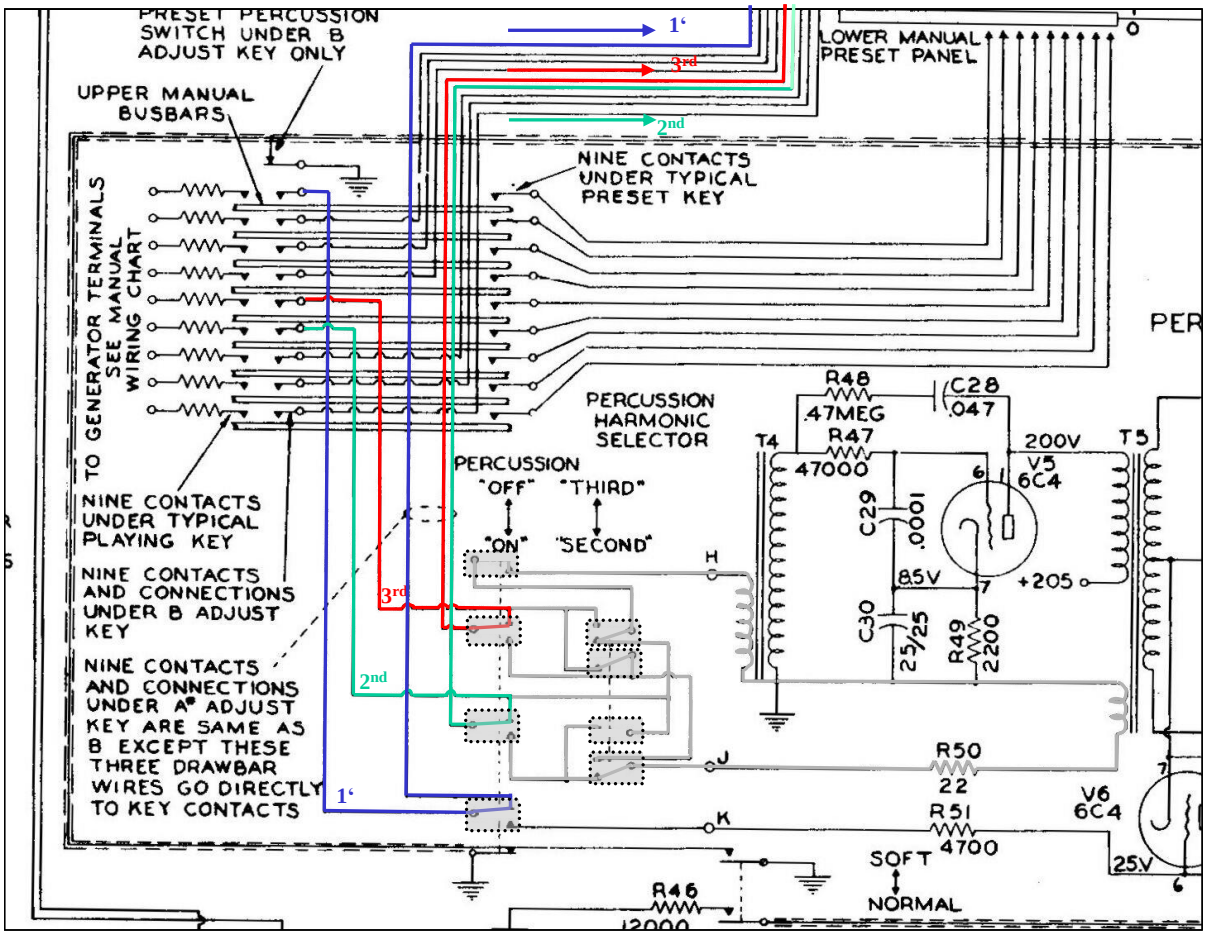


Abbildung 208: Signalpfad "Percussion OFF"

Steht der Percussion-Schalter auf “OFF”, so gelangen diese drei Signale letztlich per Umwegen aber auch genau dahin, wo alle anderen Sammelschienen-Ausgänge angeschlossen sind: zur Zugriegeleinheit. In Abbildung 208 kann man die einzelnen Signalpfade recht gut verfolgen (blau: 1’; grün: 4’; rot: $2^2/_3$’)*. Die Stellung des Harmonic-Selectors steht im o.a. Bild auf „SECOND“; ist für den Stromfluss aber völlig irrelevant, da die Signale bis dahin eh nicht durchkommen und schon vorher zur Zugriegelbaugruppe umgelenkt werden.

* leider nur sichtbar in einem farbig gedruckten Exemplar dieses Handbuchs

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

9.2.3 Signalpfad “Percussion SECOND”

Anders sieht es aus in der Stellung “Percussion ON”. In Abbildung 209 behandeln wir vorerst die Auswahl der Stellung „SECOND“ (entspricht 4’ Zugriegel).

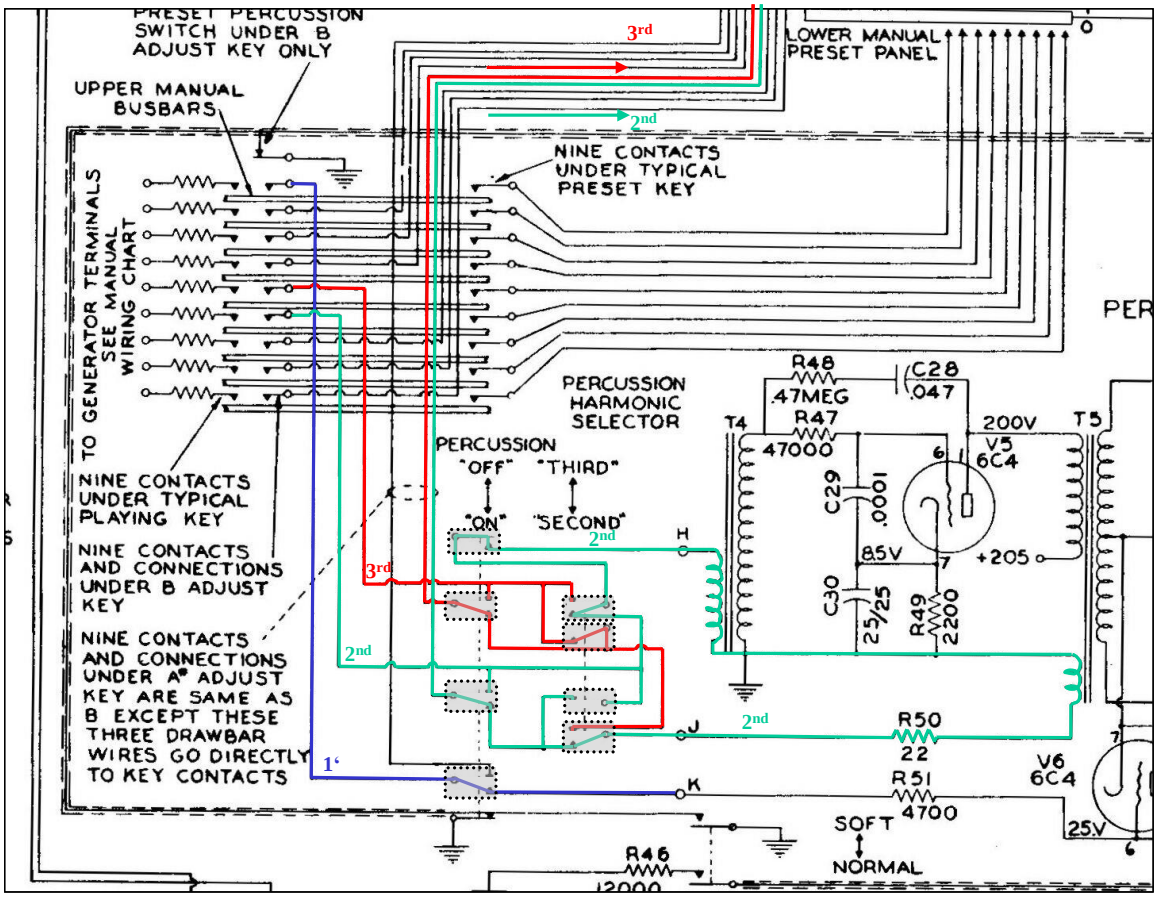


Abbildung 209: Signalpfad "Percussion SECOND"

Zu allererst fällt auf, dass der Ausgang der 1’-Sammelschiene nun direkt auf die „Klemme K“ des Pre-Amplifiers geschaltet wird. Wie wir bereits besprochen haben, ist dies der Trigger-Eingang für die Erzeugung der Percussion. Sobald die dort anliegende Spannung mittels einer beliebigen Spieltaste –über die niederohmigen Tonabnehmerspulen im ToneWheelgenerator- gegen Masse getippt wird, erzeugt die Schaltung den bekannten „Ping“.

Und dazu verwendet sie das Tonsignal, das gerade aktuell an seinem Signaleingang („Klemme H“) anliegt. Durch komplizierte Schalterstellungen ist dies hier die Sammelschiene 4’ (=SECOND). Es folgt ein weiterer Trick, der dafür sorgt, dass das verwendete Percussion-Signal (4’) aber auch weiterhin mit dem Zugriegel benutzt werden kann: mittels einer zweiten Spulenwicklung wird das –über „Klemme H“ eingespeiste Tonsignal- auch gleichzeitig wieder mit abgegriffen und an „Klemme J“ wieder zur Verfügung gestellt. Diverse Schalterstellungen sorgen nun wieder dafür, dass dieses Signal nun ebenfalls zur Zugriegelbaugruppe weitergeleitet wird.

Das Signal der Sammelschiene $2^2/_3$ gelangt letztlich unangetastet auf „direktem“ Weg zur Zugriegelbaugruppe.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

9.2.4 Signalpfad “Percussion THIRD”

Prinzipiell gilt für den Fall “Percussion THIRD” dasselbe Funktionsschema. Hier wird nur das 3rd-Signal (entspricht $2^2/_3$’) für die Percussion benutzt und dann über den Trafoabgriff (T4, T5) weiter zur Zugriegelbaugruppe geleitet.

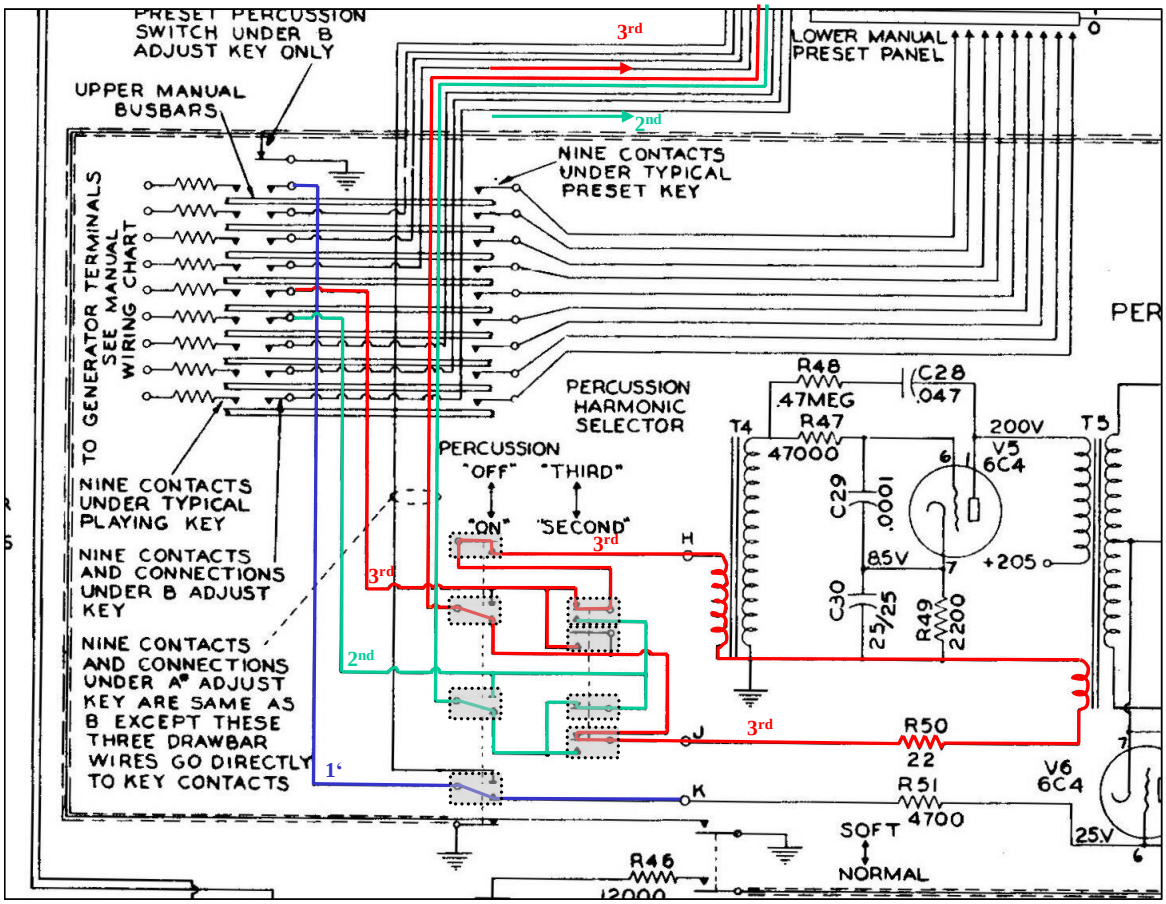


Abbildung 210: Signalpfad "Percussion THIRD"

Der Signalweg der 4’-Sammelschiene (“Second”) führt nun direkt („2nd“) zu den Zugriegeln.

9.2.5 Sonstige Umschalter

Der Vollständigkeit halber seien noch die Rocker Switches für die Umschaltung von „SOFT“ auf „NORMAL“ genannt (Änderung der Lautstärke des eingekoppelten Percussion-Signals in den NF-Zweig) sowie die Umschaltung des „PERCUSSION DECAY“ (Umschaltung der Zeitkonstante der Percussion-Schaltung). Zu sehen sowohl im Schaltplan (Anhang, Abbildung 392) als auch in Kapitel 10.7.6.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

9.3 AO28-Modifikation: 6kHz-Hochtonanhebung

Es hat sich inzwischen als „state-of-the-art“ herausgestellt, seinen AO28-Preamplifier mit einer einstellbaren Höhenanhebung nachzurüsten, um den Klang der Hammond-Orgel nach seinem Geschmack etwas „bissiger“ zu machen. Ulrich Zwarg hat hier einen Konzeptvorschlag gemacht, der auch für weniger Löt-Erfahrene recht einfach umzusetzen ist (auch behandelt in [10]). Ein weiterer Vorteil: diese Modifikation benötigt keinerlei Bohrlöcher und ist vor einem evtl. späteren Wiederverkauf der Orgel wieder absolut spurlos zu entfernen!

Wir selbst haben diese Modifikation ebenfalls eingebaut und können sie aus eigener Erfahrung bislang uneingeschränkt empfehlen.

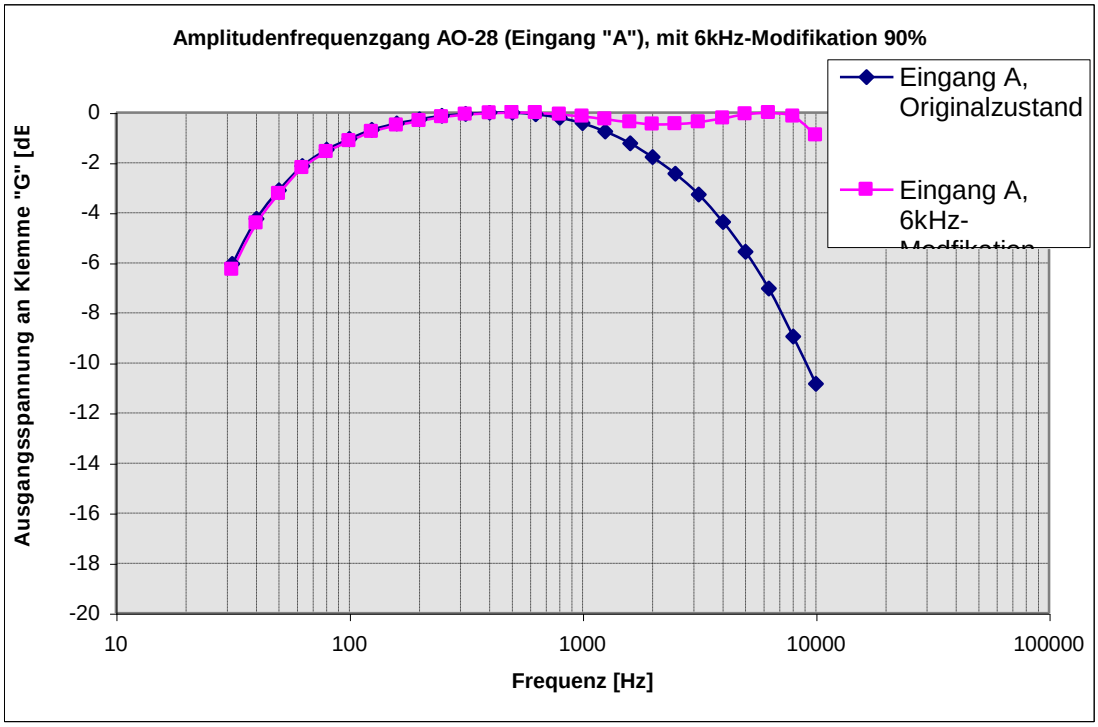


Abbildung 211: Amplitudenfrequenzgang mit Höhenanhebung

Bei einer Stellung des Trimmpotis (Wert: 1MOhm) zu etwa 90% gegen Rechtsanschlag wurde obige Messung aufgenommen. Auch wenn man wohl in der Praxis eine solche Einstellung nie wählen würde (hört sich nicht mehr gut an), möchte ich die verblüffend gute Wirksamkeit dieser einfachen Modifikation anhand der Messung in Abbildung 211 zeigen: Der Amplitudenfrequenzgang lässt sich damit sogar bis 10kHz linearisieren!

Die Messkurve „Reference“ stellt einen Mittelwert der 6 gemessenen AO28`s von Christoph Klug dar. Unter „C3 vorher“ sieht man den originalen Frequenzgang meines Vorverstärkers; der Graf „C3 nachher“ beschreibt die durchgeführte Modifikation.

Den Grad der Hochtonanhebung sollte man am besten per Gehör empirisch ermitteln, denn hier sind –mal wieder- die Geschmäcker verschieden. Sie dürfen gerne sämtliche Stellungen des Potentiometers ausprobieren- es kann nichts kaputtgehen.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

9.3.1 Vergleich Eingang „A“ mit Eingang „B“

Die nun folgende Grafik bringt die leicht unterschiedlichen Frequenzgänge von Eingang „A“ und Eingang „B“ direkt miteinander in Bezug.

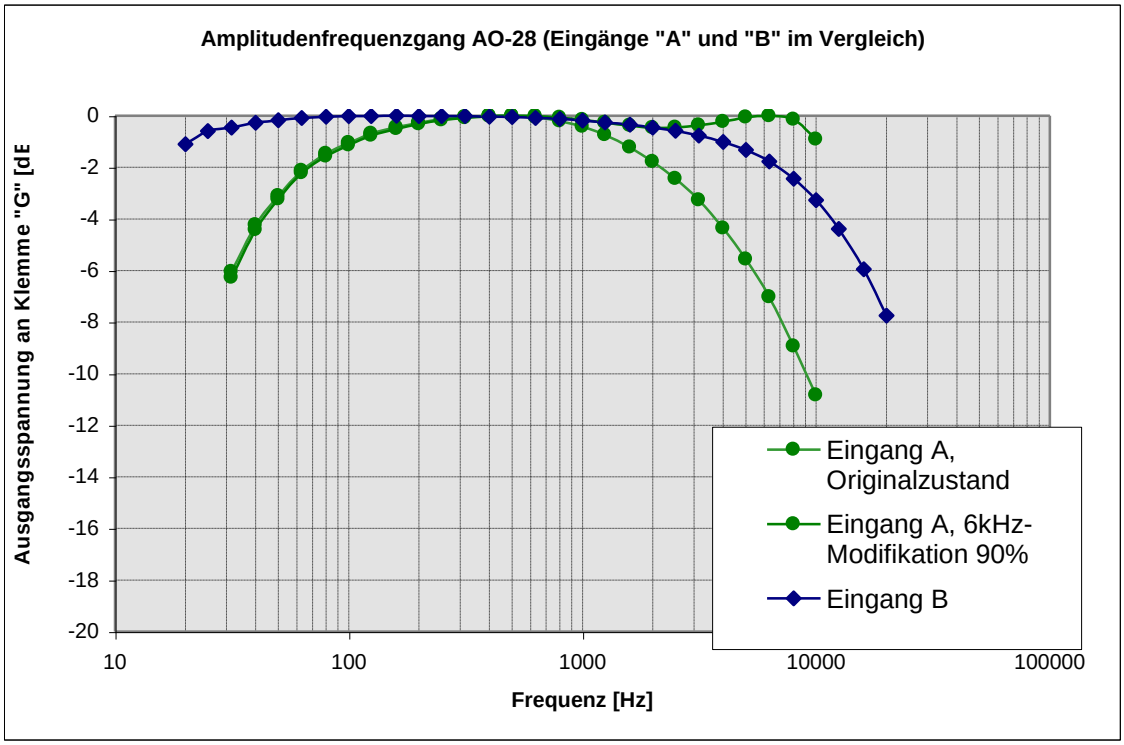


Abbildung 212: Amplitudenfrequenzgänge Eingang "A" und Eingang "B"

Man erkennt unter anderem auch den Einfluss der 6kHz-Modifikation; sie nähert die Übertragungseigenschaften von Eingang „A“ insbesondere bei Frequenzen >3kHz der des Eingangs „B“ an.

9.3.2 Standard-Vorlage

Auch für die Aufnahme von Amplitudenfrequenzgängen des AO28-Preamplifiers habe ich eine Excel-Standardvorlage erstellt.

In einer Eingabemaske (siehe Abbildung 213) werden einfach nur die Messwerte eingetippt. Die anschließende Berechnung und Darstellung erfolgt automatisch. Zur Übersicht sind sämtliche Diagramme auf einem separaten Tabellenblatt zusammengefasst (Abbildung 214).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Hier die Screenshots der Excel-Standardvorlage:

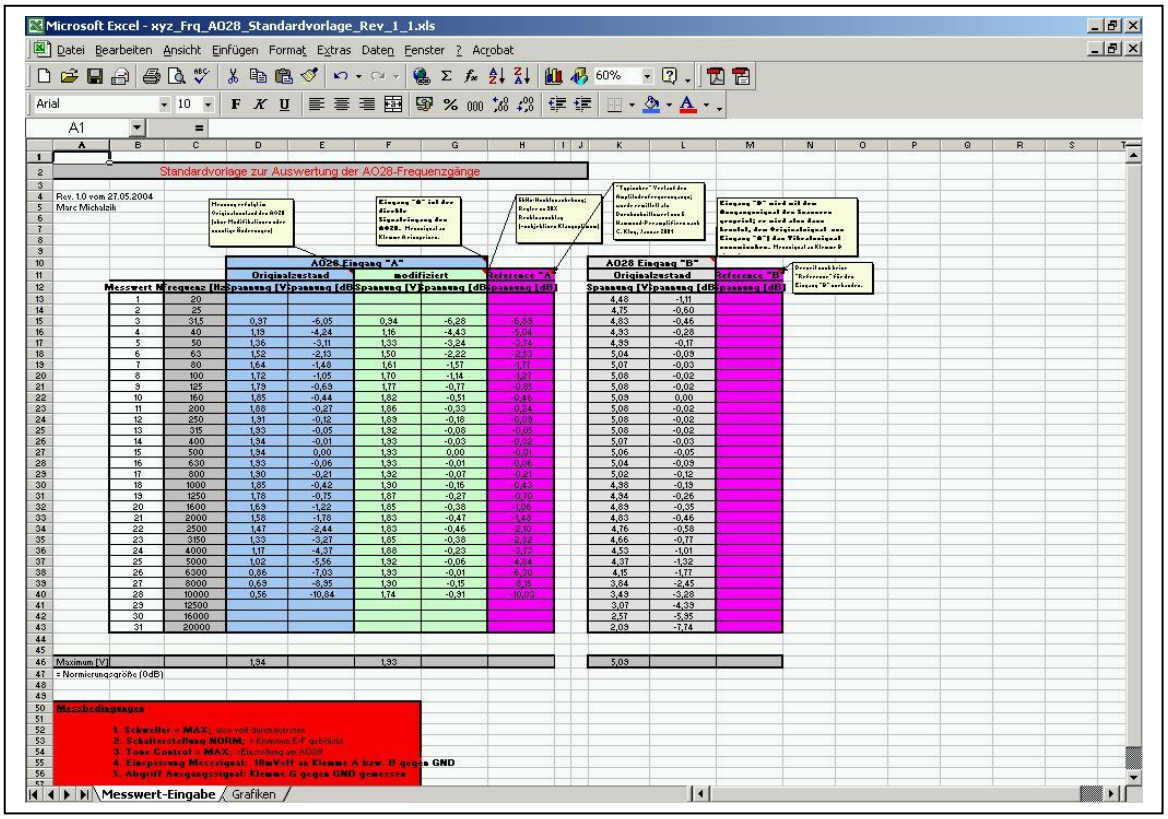


Abbildung 213: Screenshot Excel-Auswertungstool "AO28", Eingabemaske

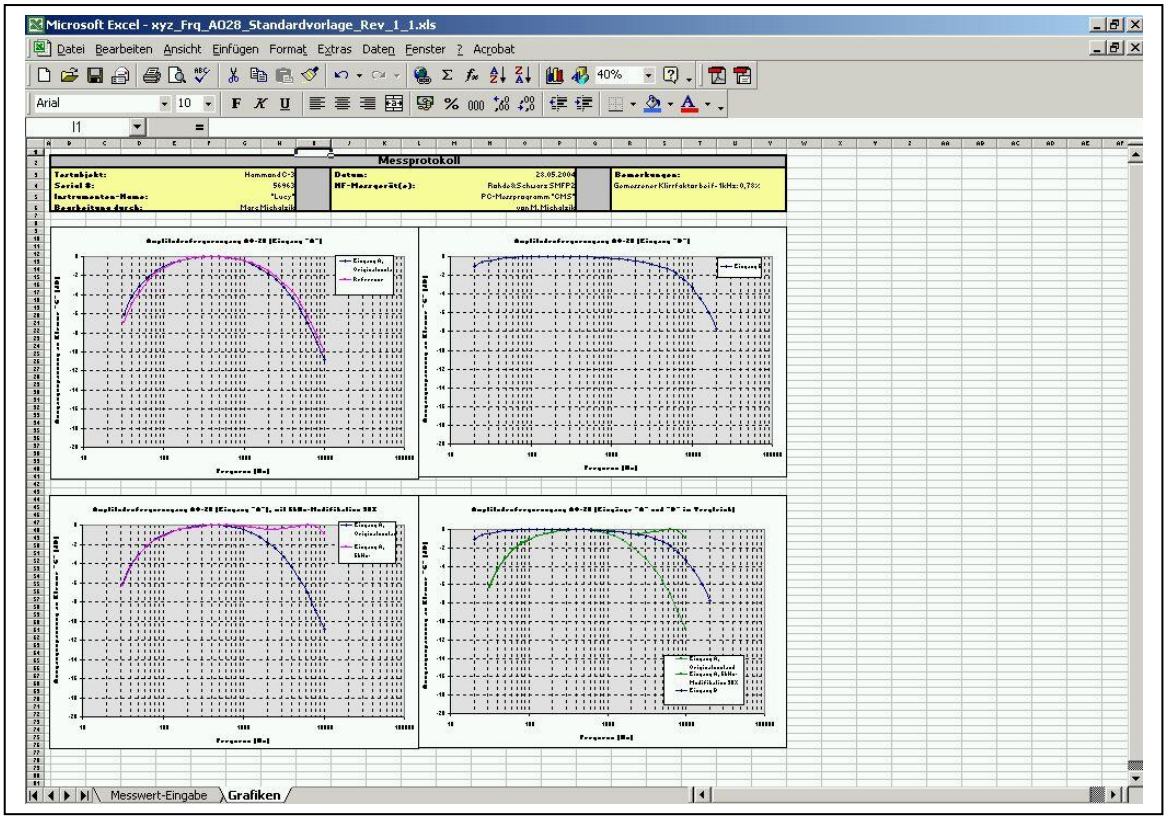


Abbildung 214: Screenshot Excel-Auswertungstool "AO28", Diagramme

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10 Die Manualbaugruppe

Die gesamte Manualbaugruppe kann als ein zusammenhängender Block aus der Orgel ausgebaut werden (siehe 5.3.4). Das wird normalerweise aber nur bei akuten Kontaktproblemen oder der angestrebten Aufarbeitung der Spieltastatur erforderlich.

Der Manualblock besteht aus einem Ober- und einem Untermanual. Diese sind miteinander verschraubt und können daher ziemlich leicht voneinander getrennt werden.

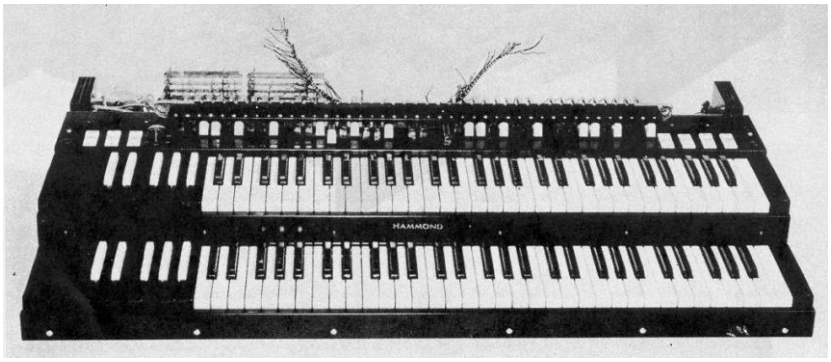


Abbildung 215: Manualbaugruppe [21]

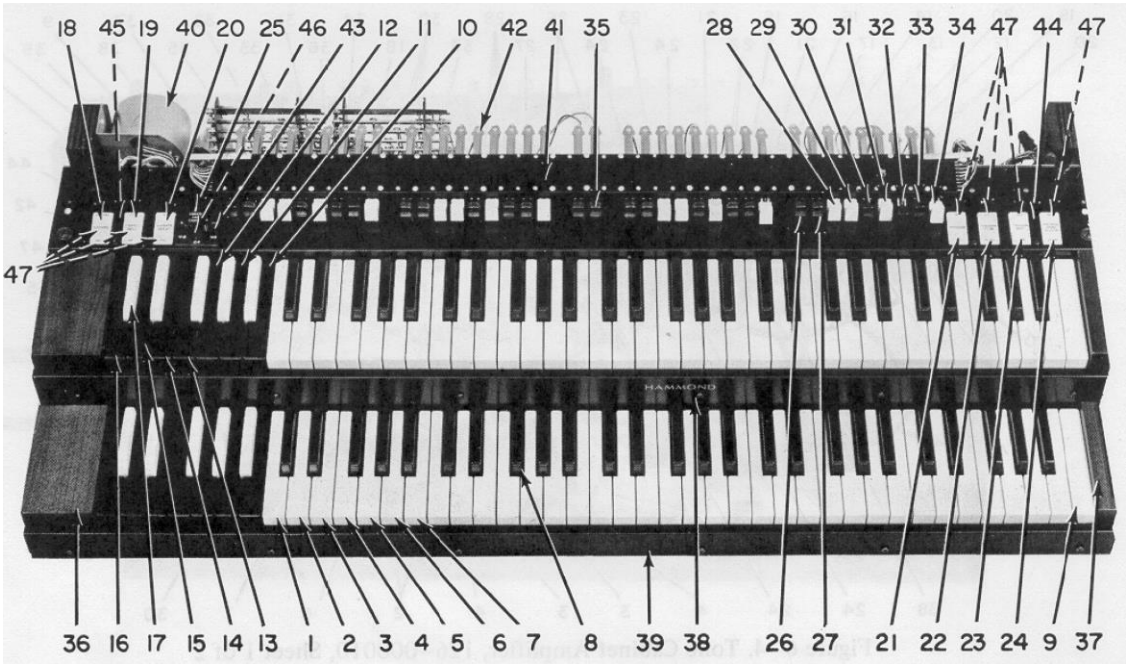


Abbildung 216: Manualbaugruppe, nummeriert [21]

Über dem Obermanual sind die Zugriegeleinheit sowie die Rocker-Switches für die Bedienung von Vibrato und Percussion aufgeschraubt. Auf der Rückseite deutet sich unter Nr. 40 (vgl. in Abbildung 216) der Matching-Transformator sowie gleich rechts daneben der Preset-Verteilerblock an. Die seitlichen Manualendblöcke (Nr. 36 und 37) sind je nach Modelljahr aus Holz oder Bakelit gefertigt. Eine zeitliche Zuordnung in eine bestimmte „Baureihe“ lässt auch die Form des Hammond-Schriftzugs (Nr. 38) zu. Zwischenzeitlich wurde der nämlich in seinem Aussehen verändert.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.1 Aufarbeitung der Spieltastatur

Das Aufarbeiten der Tastatur wird spätestens dann fällig, wenn sie "ausgespielt" oder so verdreckt ist, dass man sie eigentlich gar nicht mehr so richtig anfassen möchte. Während das Reinigen in erster Linie kosmetische Gründe verfolgt, die vielleicht nicht für jeden ein vorrangiges Argument zum Auseinandernehmen der Manualbaugruppe darstellen, so stört spätestens eine klappernde oder wackelnde Tastatur beim Spiel.

Am besten lässt sich eine ausgespielte Tastatur am seitlichen Führungsspiel im Mitteltonbereich des Obermanuals erkennen. Dieser Tonbereich wurde in der Regel am meisten benutzt, sodass dort die Tastaturfilze am ehesten verschleißen. Wackeln Sie mit dem Finger leicht an der Taste hin und her (quer zum Manual) und beobachten Sie dabei das seitliche Spiel. Führen Sie diesen Test an mehreren verschiedenen Stellen der Tastatur durch und vergleichen Sie. Gibt es dort sichtbare/fühlbare Unterschiede oder "klappern" die Tasten sogar, weil sie so viel Spiel haben, dass sie an die seitlichen Nachbartasten anschlagen, dann sollten Sie die Tastaturkämme (also die seitlichen Führungen der Tasten) neu befilzen.

Manchmal hilft es auch schon, die Ausrichtung der Tasten nachzustellen. Dazu löst man von hinten die entsprechenden Sechskant-Schlitz-Schrauben etwas und kippt die Taste so, dass sie nicht mehr am "Nachbarn" anstößt (siehe Abbildung 267). Eventuell muss bei diesem Verfahren aber dann in Kauf genommen werden, dass die Taste

a) nicht mehr richtig senkrecht steht (spieltechnisch unbefriedigend; besonders Glissandi sind dann nicht mehr flüssig und „schmerzfrei“ zu spielen)
b) unterschiedlich große Luftspalte zu seinen Nachbartasten bekommt (optisch unschön)
c) zwar richtig ausgerichtet ist, aber dann an den Nachbartasten anschlägt.

Lässt sich zwischen diesen drei Zuständen kein befriedigender Kompromiss einstellen, so liegt die einzige Lösung des Problems in der Neu-Befilzung der Führung der Taste: in den Tastaturkämmen. Kapitel 10.5 behandelt dieses Thema sehr ausführlich.

"Tastaturkämme" (siehe Abbildung 253) werden so bezeichnet, weil es sich dabei um ein Stück Metallblech handelt, das wie ein ganz grober "Kamm" aussieht (oder wie ein Metallrechen, wie man ihn zum Auffegen von Blättern und Laub im Herbst benutzt). Jeweils an den Enden dieser Zinken sind Filzläppchen aufgenietet, auf die die Spieltasten aufgesteckt werden. Diese Filzläppchen (ca. 1cm x 1cm groß) begrenzen das seitliche Spiel. Sind sie infolge häufiger Benutzung im Laufe der Jahre etwas zusammengestaucht worden, werden sie schmaler und gestatten den Tasten mehr Bewegungsfreiheit zu den Seiten hin: sie bekommen mehr Spiel und beginnen zu wackeln.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.2 Aufbau des Manuals

In Abbildung 217 verrät uns das Hammond Service-Manual nochmals den Aufbau des Manuals. Man sieht hier, wir die einzelnen Tasten („Playing Keys“) auf die Tastaturkämme aufgesteckt sind.

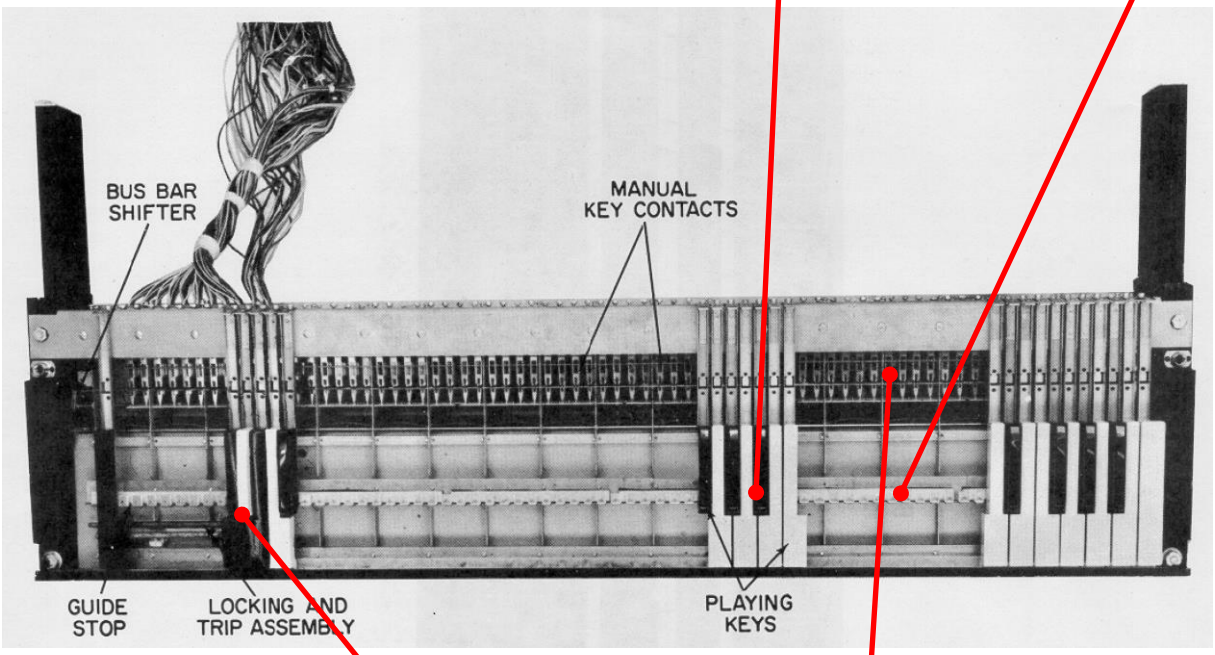


Abbildung 217: Spieltastatur [21]

Ebenso ist auch die oberste Reihe der unzähligen Kontaktzungen zu sehen.
Die invers gefärbten Preset-Tasten können durch eine spezielle Klemmstange eingerastet werden. Diese ist im Laufe der Jahre meistens verharzt und sollte dementsprechend gereinigt und neu gefettet werden (siehe dazu Kapitel 10.4.4).

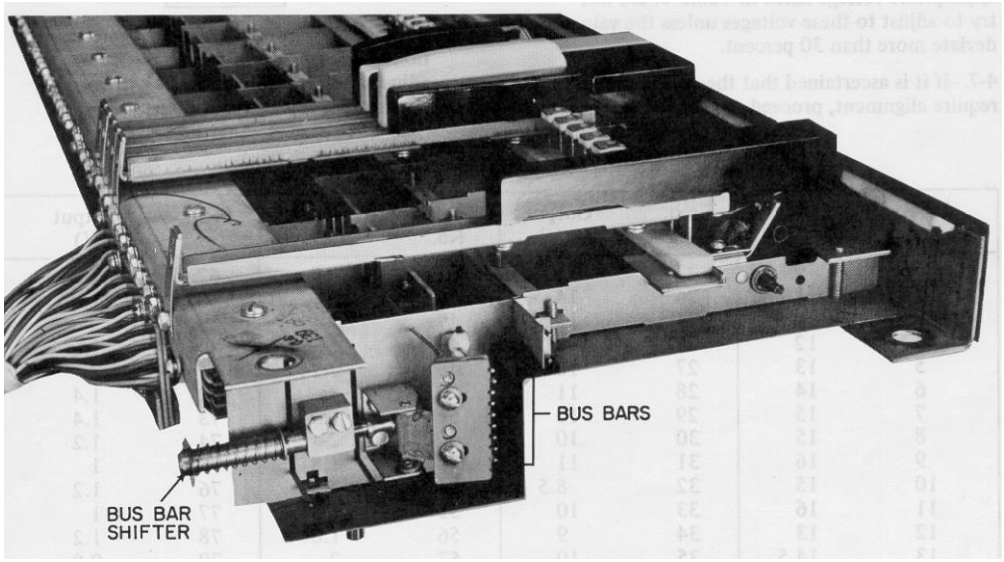


Abbildung 218: Bus-Bar-Shifter [21]

Mit dem “Bus-Bar-Shifter” kann man das Sammelschienen-Paket verschieben, um –bei verschmutzten Kontaktflächen- neue zu finden (siehe Abbildung 246). **Warnung: siehe 10.4.3!**

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.3 Zerlegen der Spieltastatur (Untermanual)

Die gesamte Manualbaugruppe besteht aus mehreren Einzelkomponenten:

a) Untermanual
b) Obermanual mit Anbauteilen (Matching-Trafo, Preset-Sammelblock, Filterplatine für den Fußbass)
c) Zugriegel-Baugruppe
d) linker Rocker-Switch-Block (Volume, Vibrato an/aus)
e) Umschaltungseinheit Vibrato (V1,V2,V3,C1,C2,C3)
f) rechter Rocker-Switch-Block (Wahlschalter für Percussion)

Der Einfachheit halber möchte ich das Zerlegen der Spieltastatur am Beispiel des Untermanuals beschreiben. Das Obermanual ist (fast) identisch aufgebaut, setzt jedoch einen größeren Aufwand für das Demontieren der vielen Anbauteile voraus und macht die Beschreibung an dieser Stelle nur unnötig kompliziert.

Für die Demontage sollte man die komplette Manualbaugruppe mittig auf einen großen, stabilen Arbeitstisch legen. Wichtig ist dabei, dass man so von allen Seiten an die Manualbaugruppe herankommt.

Ich selber hatte mir damals in unserer Mietswohnung im Bastelkeller zwei Metallböcke mit einer dicken Arbeitsplatte mittig in den Raum gestellt, so dass ich bequem um den ganzen "Tisch" herum gehen kann. Das erleichtert die Arbeit enorm!

Abbildung 219: die Realität: Küchenarbeitsplatte auf Metallböcken (und wenig Platz ;-)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Man beginnt damit, die beiden Komponenten "Untermanual" oder "Obermanual" voneinander zu trennen. Dazu löst man zwei dicke Schrauben, die in den seitlichen Holzflanken stecken und sie miteinander verbinden.

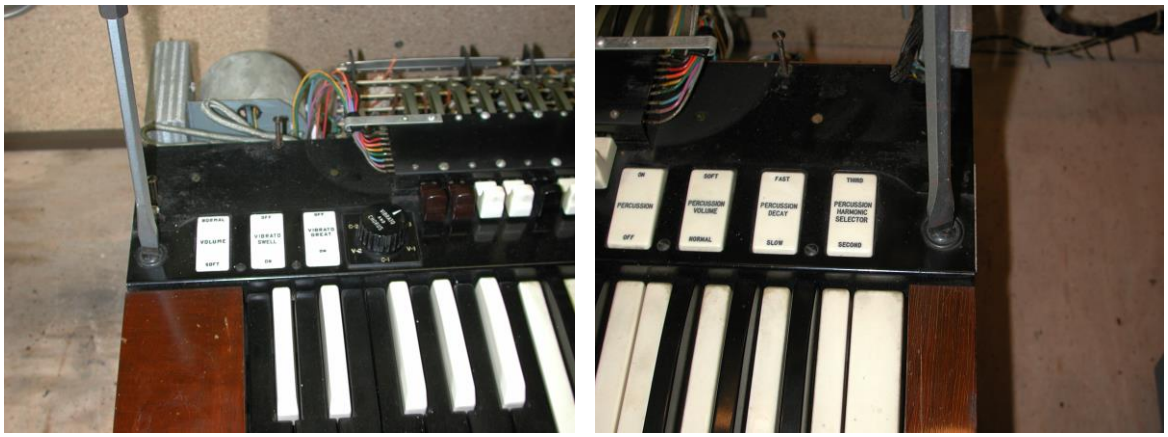


Abbildung 220: Manuale voneinander trennen

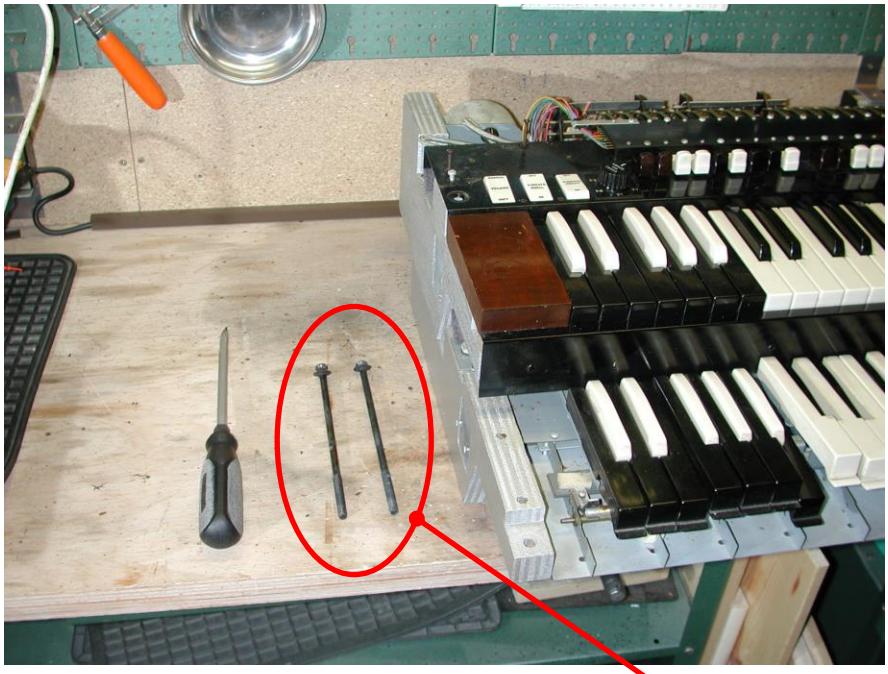


Abbildung 221: Manualschrauben (Schlitz)

Nun kann man das komplette Obermanual hochkippen (aufstellen). Dabei aufpassen, dass sich Teile das Manualkabelbaums nicht in den Blattfedern der Tastatur verhaken! Für mehr Bewegungsfreiheit habe ich den kompletten Kabelbaum am Untermanual(!) abgelötet. Natürlich auch hier Klebeschildchen verwenden (siehe Abbildung 222), damit man sie später in der korrekten Reihenfolge wieder anlöten kann. Am Obermanual liegen sämtliche Töne -wie beim Untermanual- von Nr. 13..91 in geordneter Reihenfolge (von links nach rechts) an.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Einige Töne (ganz links) sind separat durch einen zweiten kleinen Kabelbaum geführt, davon nicht beeindrucken lassen und diese Lötösen bitte ganz normal (beginnend mit 13) "mitzählen".

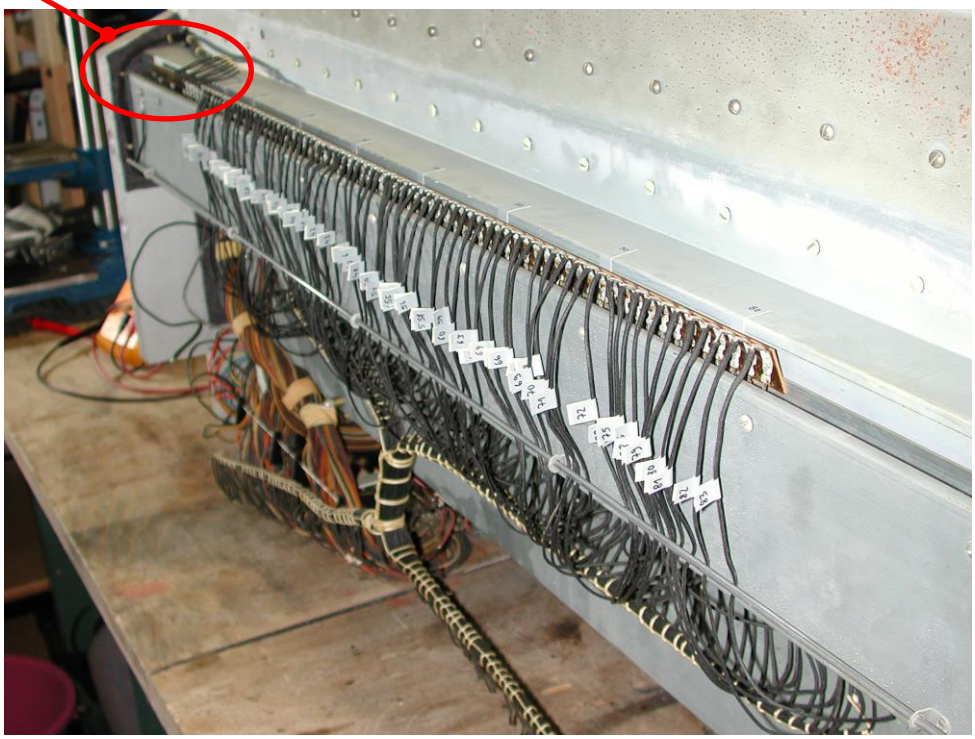


Abbildung 222: Beschriftung mit Klebeschildchen

Will man sich diese Arbeit nicht machen, dann sollte man zwei dicke Holzklötze unter das Untermanual legen, wenn man die beiden Manuale voneinander trennt. Dann steht der Kabelbaum nicht so unter (mechanischer) Spannung.

Das Zerlegen des Untermanuals beginnt mit dem Abnehmen sämtlicher Spieltasten. Prinzipiell sind die invertierten Wahltasten des Preset-Blocks (ganz links) genauso aufgehängt wie der Rest, sodass es keinen Unterschied macht, an welcher Seite man beginnt. Jede einzelne Spieltaste besteht aus zwei Teilen, die miteinander verschraubt sind: einem Metallträger mit angenieteter Blattfeder (die sorgt dafür, dass die Taste später mit mehr oder weniger starkem Druck herunterzudrücken ist und wieder hochfedert) und einem (weißen oder schwarzen) Tastenkörper aus Bakelit. Dieser ist auf den Metallträger von unten aufgeschraubt. Damit später alle Tasten wieder sauber in einer Reihe stehen und "fluchten", sollte man diese Schraubverbindung wirklich nur lösen, wenn die Bakelit-Taste gerissen ist und man sie auswechseln muss. (Hier der Tipp eines befreundeten Hammond-Fans: das Nachtönen von zu hellen Tasten erreicht man durch mehrminütiges Schwenken in lauwarmem "schwarzen Tee" (nicht heiß!). Dadurch dunkelt die Taste etwas nach! Das Gegenmittel (Aufhellen zu dunkler Spieltasten) hieße angeblich „Wasserstoffperoxid“ (H_2O_2). Es wurde von uns aber beides noch nicht ausprobiert. Daher also bitte in eigenen Experimenten unbedingt ersteinmal vor der Anwendung testen!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Um die Tasten vom Spieltisch zu entfernen, löst man nacheinander die Sechskant-Schlitz-Schrauben an der Rückseite der Tastatur (deshalb ist es wichtig, dass man von hinten an den Manualblock herankommt!). Man braucht die Schraube nicht ganz herauszudrehen, sondern nur leicht zu lösen,...

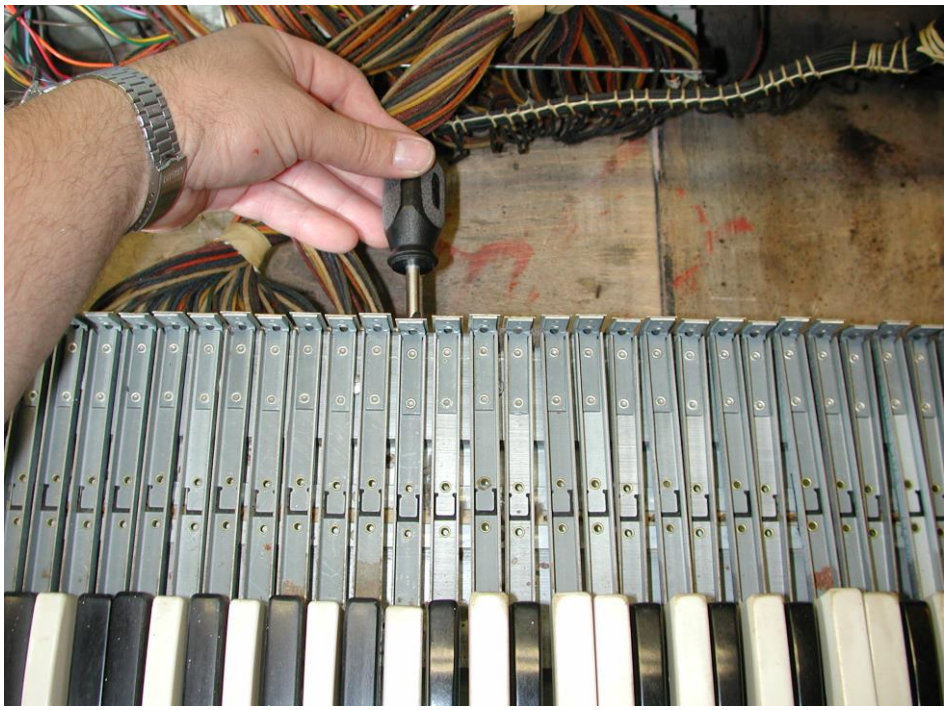


Abbildung 223: Spieltasten lösen

...dann kann man die komplette Spieltaste (inkl. Metallträger und Blattfeder) nach oben hin herausziehen und abnehmen.

Abbildung 224: Spieltaste abnehmen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Das macht man jetzt mit sämtlichen Tasten, sodass nur noch das nackte Manualchassis zu sehen ist.

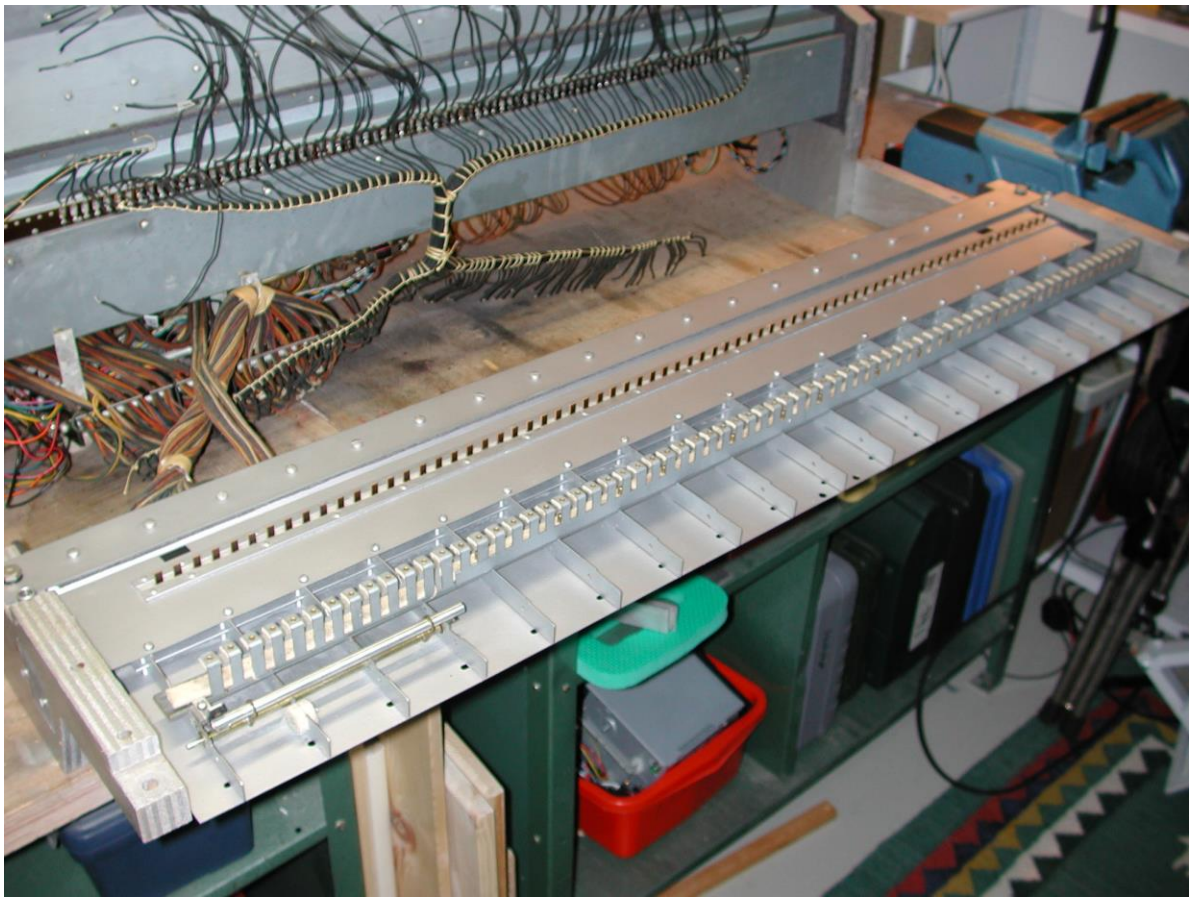


Abbildung 225: "nacktes" Manualchassis ohne Tasten

Tipp:
Bitte legen Sie die Tasten in der richtigen, originalen Reihenfolge nebeneinander auf eine kleine Holzleiste, damit sie in genau der ursprünglichen Reihenfolge später wieder eingebaut werden können.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Was man nun sieht, sind die Enden einer ganzen Reihe Betätigungsstangen, die durch ein Metallblech nach oben hindurchgucken.

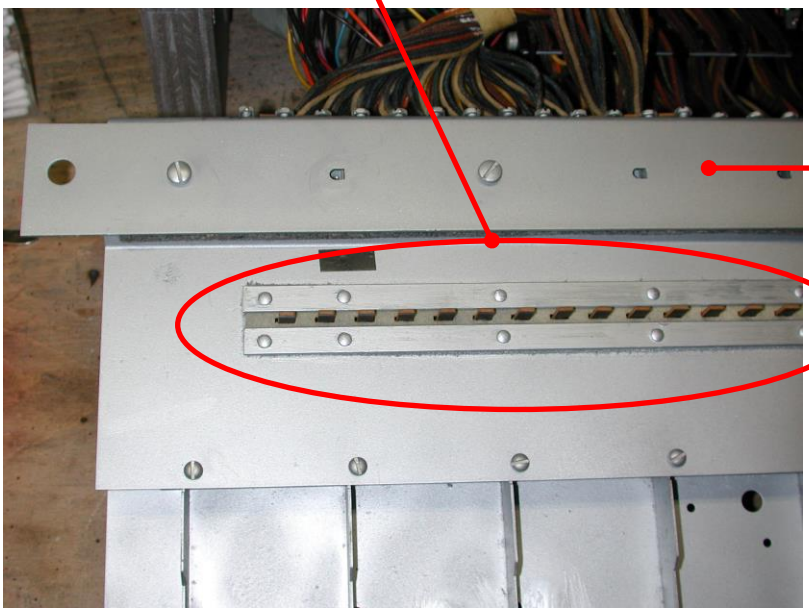


Abbildung 226: Betätigungsstangen

Dieses Metallblech (=Metallblende) ist durch etliche Schrauben von oben verschraubt. Um es abzunehmen, muss vorher das lange Winkelblech (dort, wo alle Klemmschrauben für die Blattfedern eingeschraubt sind) entfernt werden.

Da es von hinten mit dem Rest des Spieltisches verschraubt ist, muss man nun von hinten an dem Manualblock arbeiten (siehe Abbildung 227). Aufgrund der beengten Platzverhältnisse dort ist dafür ein besonders kurzer Schlitzschraubendreher zu verwenden. Unter der Bezeichnung "Vergaser-Schraubendreher" kriegt man solche in jedem Baumarkt oder Laden für Autozubehör.

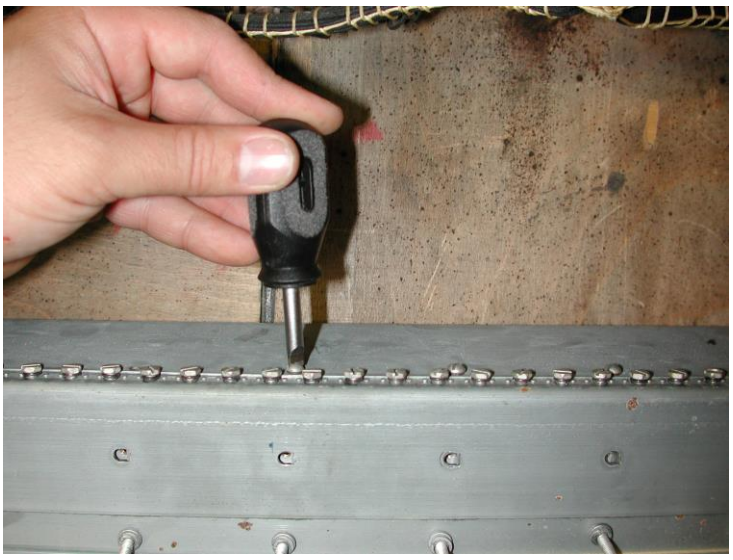


Abbildung 227: Vergaser-Schraubendreher

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Eine Besonderheit gibt es dabei noch:
Auf der Rückseite des Manuals befinden sich die Austritte der Preset-Tasten (siehe Abbildung 228). Sie treten durch eine Verkleidung aus Hartpapier hindurch. Diese Verkleidung ist mit sechs Schrauben befestigt. Davon bitte nur die drei oberen (!) lösen.

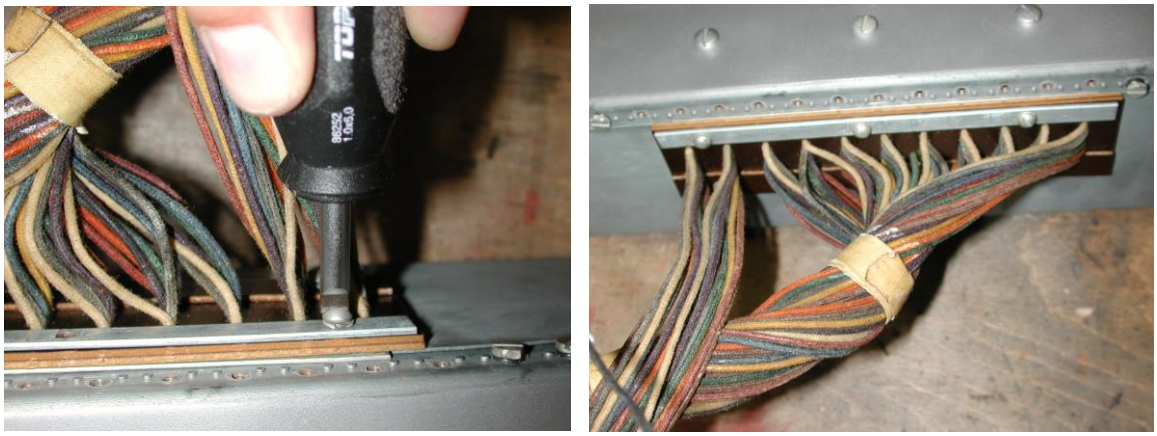


Abbildung 228: Kabelaustritte der Preset-Tasten

Man zieht dann noch zwei kleine Blechstreifen mit heraus: der dünnere dient als Leiste zum Zwischenlegen (Ausgleich des Abstandes zwischen Verkleidung und Manualgehäuse) und die dickere der beiden quasi als lang gezogene "Unterlegscheibe" für die Schrauben. Aufpassen: Sie sind nicht symmetrisch und sitzen auch nur "richtig" in einer ganz bestimmten Einbaulage!

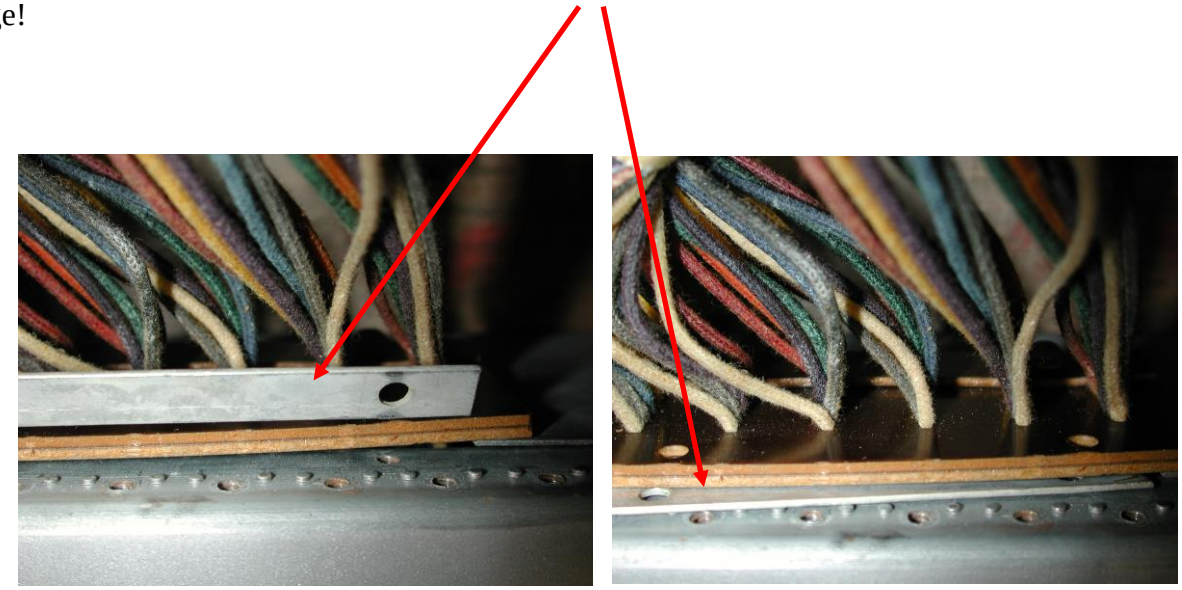


Abbildung 229: Blechstreifen am Kabelaustritt

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Dann sämtliche Schlitzschrauben auf der Oberseite längs des Blechwinkels abschrauben.

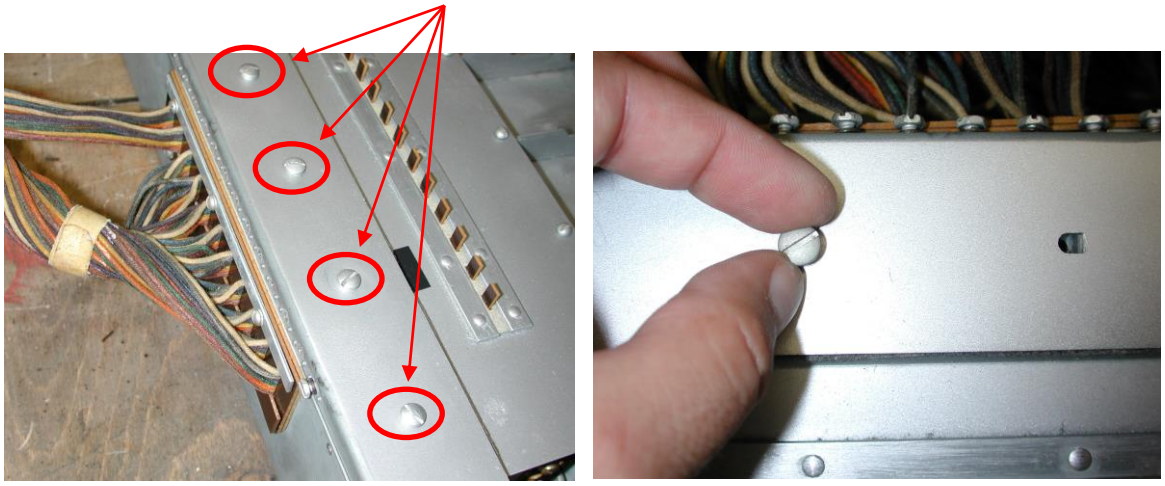


Abbildung 230: Schlitzschrauben längs des Blechwinkels

Zum Schluss bitte nicht die Sechskant-Schrauben zu beiden Seiten hin vergessen....

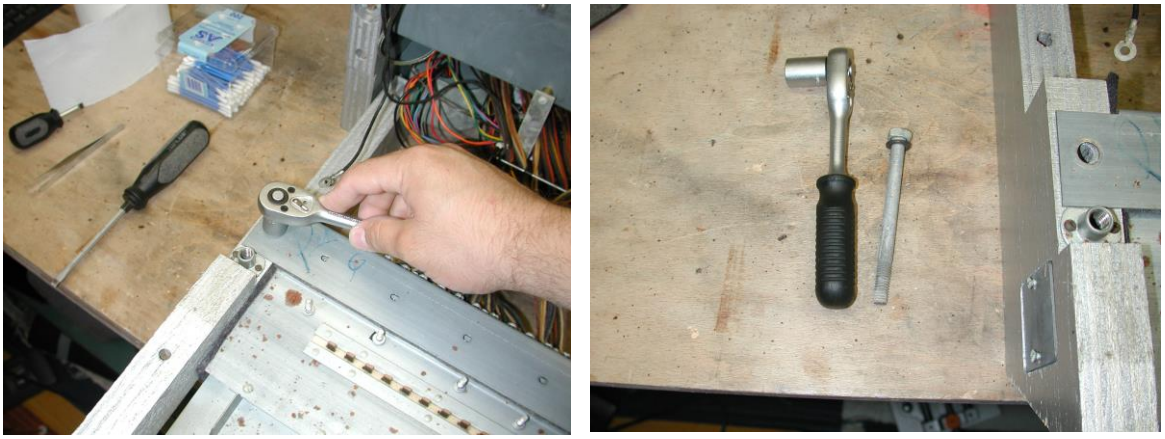


Abbildung 231: Sechskant-Schrauben lösen

Sind alle Schrauben dieses Winkelblechs gelöst, kann man es nach oben hin abnehmen. Darunter kommt ein schmaler Filz zum Vorschein, der über die lange Abschlusskante der Manualblende gelegt ist. Vermutlich wollte man damit das Eindringen von Staub und Schmutz in die Tastenkontakte verhindern.

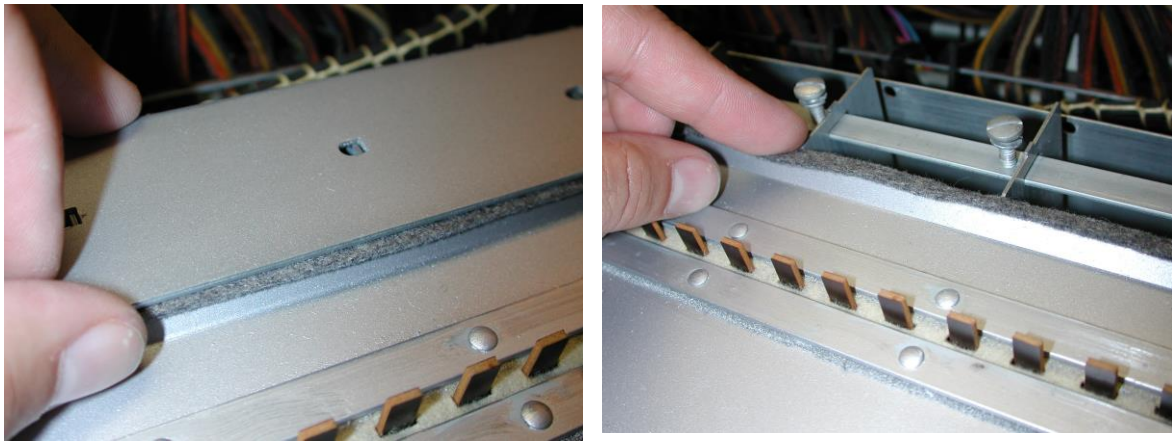


Abbildung 232: Blechwinkel abnehmen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Schraubt man jetzt noch die Manualblende ab (alle Schrauben von oben bequem zugänglich),...

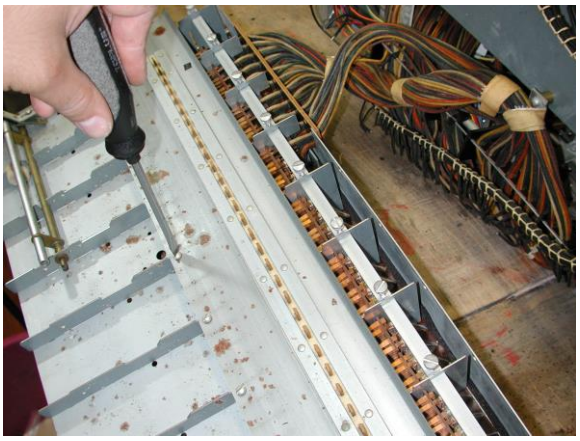
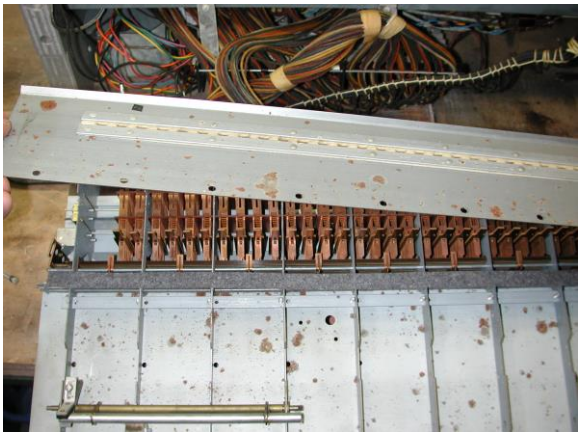



Abbildung 233: Manualblende abnehmen

...so wird der Blick auf sämtliche Tastenkontakte endlich frei! Den Filzstreifen, der unter der Manualblende lag, beschriftet man und legt ihn zur Seite. Ab jetzt gilt die besondere Aufmerksamkeit aber allen Betätigungsstangen, denn sie können relativ leicht abbrechen und bedingen bei der Reparatur einen enormen Arbeitsaufwand (mal angenommen, man bekäme diese Betätigungsstangen überhaupt als Ersatzteil!).

Übrigens:
Diese beiden Bilder zeigen die Orgel vor der Entrostung und Neulackierung! Was sich da alles im Laufe der Jahre angesammelt hatte, glaubt mir sowieso niemand. Im (!) hohen "Cis" des Obermanuals hatte sich innen drin sogar eine Spinne "verpuppt". Nichts für schwache Nerven...

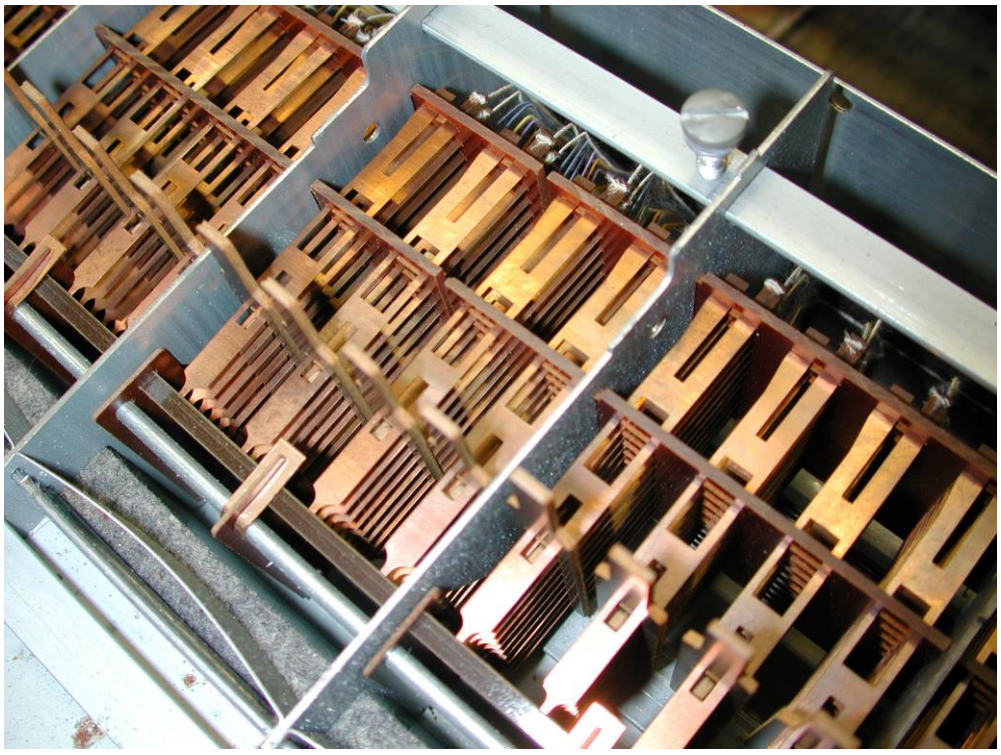


Abbildung 234: die Kontaktzungen!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Wer nun weitermacht, wird im nächsten Schritt alle Tastaturkämme ausbauen. Das ist nicht weiter schwer. Jeder einzelne der 6 Tastaturkämme ist mittels dreier Schlitzschrauben von unten auf einer gelochten Metallschiene festgeschraubt. Also diese drei Schrauben lösen und die Tastenkämme Stück für Stück abnehmen.

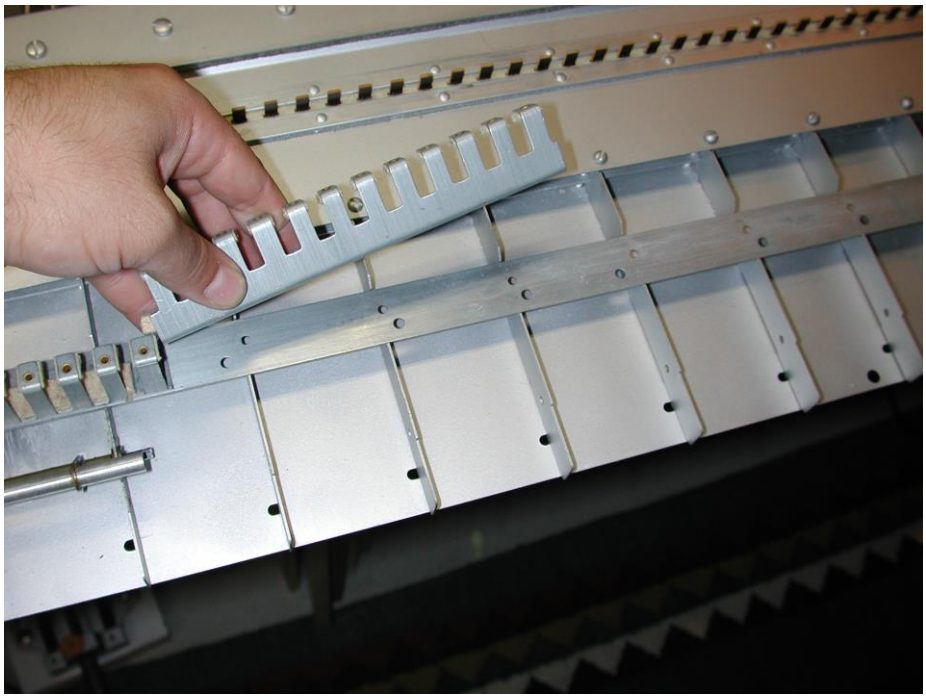


Abbildung 235: Tastaturkämme abschrauben

Die darunter liegende Metallschiene besitzt noch einen einzelnen Tastatur-Zinken ganz links. Den auch losschrauben und man kann die komplette Schiene abnehmen.

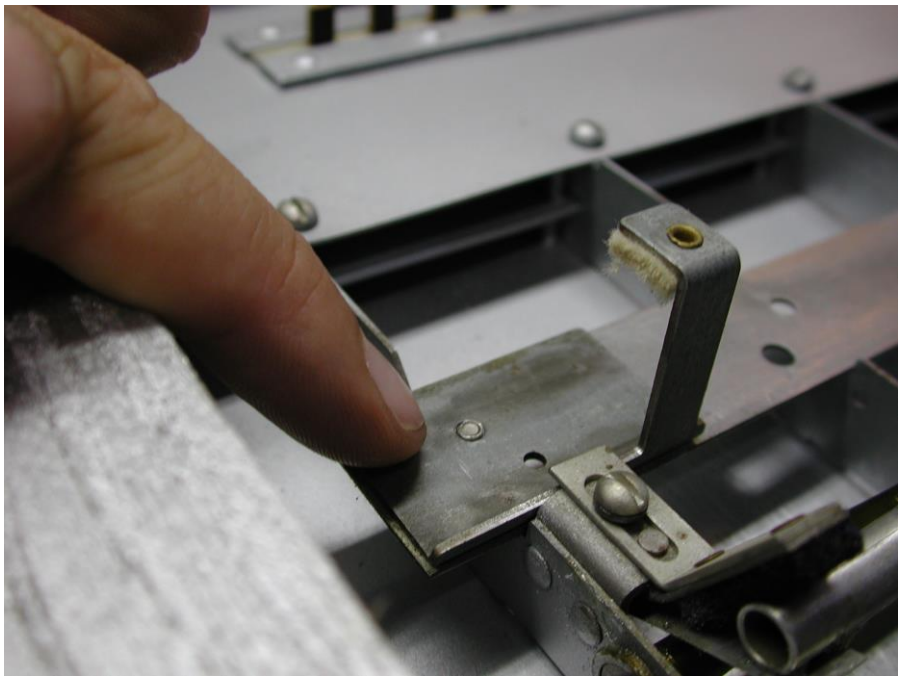


Abbildung 236: Einzel-Zinken abschrauben

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

In diesem Stadium kommt man eigentlich an alle wesentlichen Teile dran (einzelne Kontaktfedern mal ausgenommen). Die Einbaulage der beiden Filzstreifen kann auf den folgenden Fotos gut eingesehen werden, wenn es wieder ans Zusammenschrauben geht.

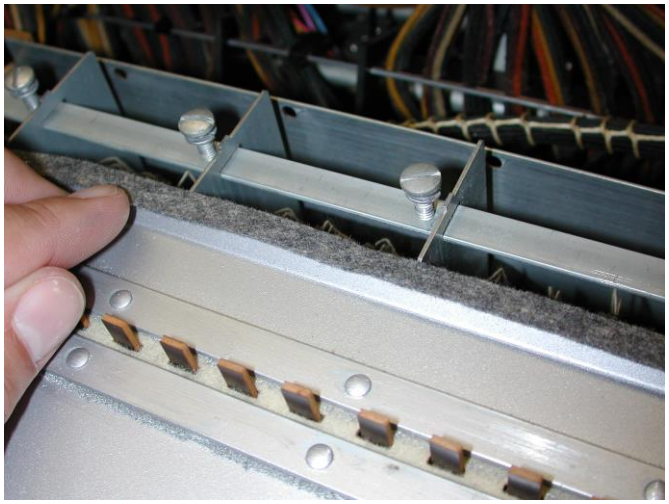


Abbildung 237: schmaler Filz

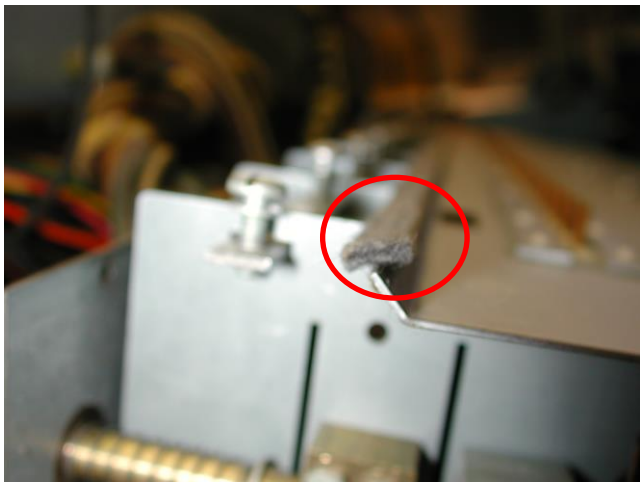


Abbildung 238: schmaler Filz (Längsansicht)

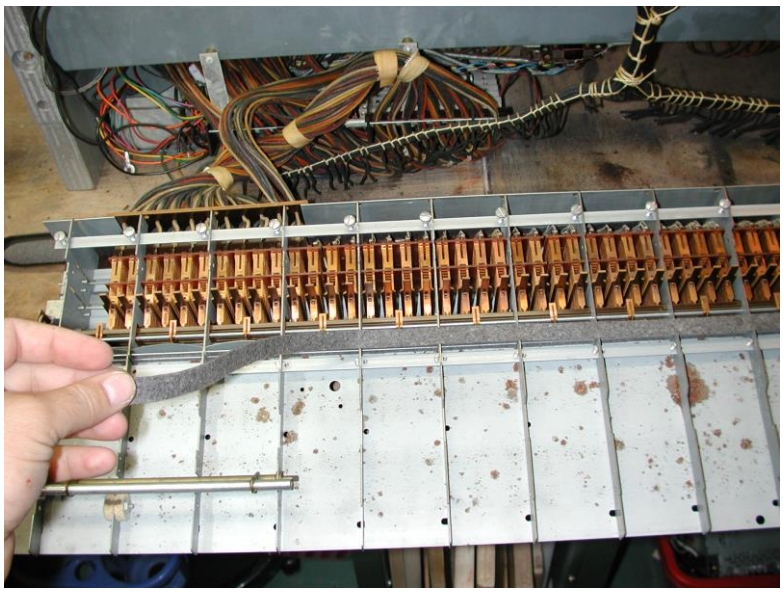


Abbildung 239: breiter Filz (unterhalb Manualblende)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.4 Reinigen und Aufarbeiten

Hat man das Untermanual komplett zerlegt, eröffnen sich einem viele Betätigungsfelder. Zuerst kann man sich daranmachen, alle Bakelit-Spieltasten mit lauwarmer Seifenlauge (z.B. ein "gutmütiges" Spülmittel wie "Palmolive") zu reinigen. Die Hardcore-Bastler verwenden hierzu ein professionelles Ultraschallbad; leider besitzen wir aber keins und können so über keine Erfahrungen berichten.

10.4.1 Entrosten und Lackieren

Oft sind gerade die Oberseiten der Metallträger von Rost befallen (ich will nicht wissen, wie viele Biere und sonstige Flüssigkeiten wohl schon in diese Orgel gelaufen sind). Hier eignet sich sehr gut ein "Dremel Multi" zum Abschleifen dieser Roststellen. Bei mir hat sich der Drahtbürsten-Einsatz Nr. 442 sowie eine Schleifstift mit "Sandpapier" sehr bewährt, weil man damit sehr gut in die schmalen Ecken und Falze hineinkommt (Aussehen: Metalldrahtbürste in Form eines kleinen Frässtiftes).

Ist der Rost entfernt, so konserviert man die kleinen Stellen mit Zinkfarbe. Sie ist im Autozubehörhandel erhältlich und dient normalerweise als Grundierung für die Ausbesserung kleiner Steinschläge am Auto. Sie leistet aber auch hier sehr gute Dienste! (Bezugsquelle: z.B. Praktiker Baumarkt, ca. 5 EUR)

Hat der Rost großflächigeren Schaden angerichtet (wir haben Orgeln gesehen, bei denen der komplette Manualblechkasten nur noch aus "Rost" bestand!), dann lohnt sich das komplette Neulackieren des Teils. Nachdem alle Roststellen mit Schleifpapier, Drahtbürste und/oder Dremel weggeschliffen wurden, klebt man die Stellen, die nicht lackiert werden sollen (z.B. Filze oder Schraubengewinde) mit Klebeband ab (wie bei Malerarbeiten im Haus). Dann wird mit einer Dose "Zinkspray" (erhältlich in jedem Baumarkt, jedoch recht teuer: ca. 10..15 EUR) das komplette Teil neu übergesprüht. Das Resultat ist meistens so überzeugend, dass man schnell in die Versuchung kommt, auch Teile neu zu sprühen, die eigentlich gar keinen neuen "Anstrich" benötigen.

Hinweis: auch Sandstrahlen ist hier ggfs. ein effektives Mittel zu Reinigung!

Abbildung 240: Roststellen schleifen; dann abkleben

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Beim Besprühen der Teile mit Zinkfarbe haben wir immer eine große Folie unterlegt, um auch nichts anderes zu "treffen."

Abbildung 241: Lackieren / Sprühen

Ganz wichtig: Sollte die geöffnete Orgel im gleichen Raum stehen, dann dichten Sie sie unbedingt mit einer großen Folie gegen den Sprühnebel ab! Wenn die Zinkpartikel in die Tastenkontakte eindringen, gibt's nachher Kontaktprobleme!

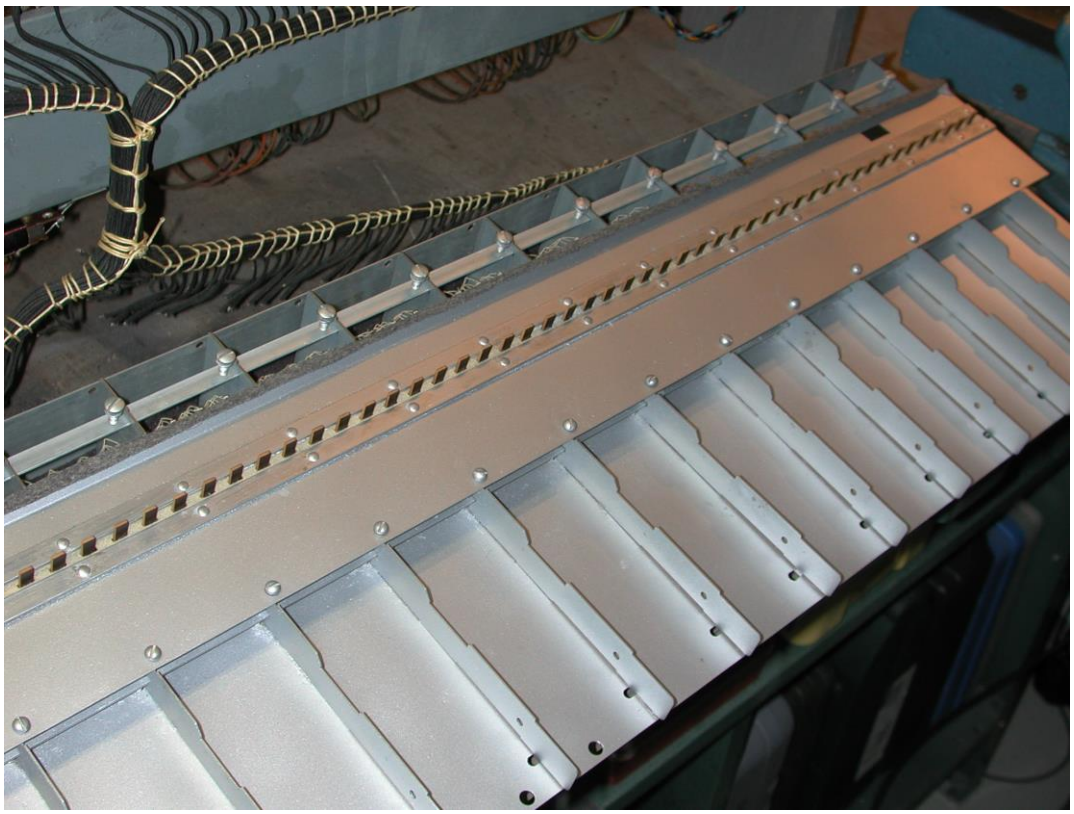


Abbildung 242: Endergebnis

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.4.2 Sammelschienen reinigen und konservieren

Die Sammelschienen sind eigentlich nichts anderes als dünne Metalldrähte, auf die die Tastenkontakte beim Spielen aufgedrückt werden. So wird der elektrische Kontakt hergestellt und die Tonspannung auf die Sammelschiene "aufgeprägt". Die "Abnahme" der ganzen Töne von der Sammelschiene erfolgt über die hinuntergedrückten Preset-Tasten, deren Tastaturkontakte die Tonspannung von den Sammelschienen abgreifen und zu den Zugriegeln bzw. Matching-Trafo weiterleiten. (Vgl. Kapitel 3)

Eine Reinigung der Sammelschienen ist nach jahrelangem Gebrauch unbedingt anzuraten. Jedes Manual besitzt ein System von 9 Sammelschienen. Der bewegliche Halter ermöglicht das Verschieben des gesamten Sammelschienen-Systems um max. 1 Zentimeter, um ggfs. neue Kontaktstellen auf der Sammelschiene zu suchen (z.B. wenn die alten nicht mehr richtig kontaktieren).

Um die Sammelschienen zu entnehmen, muss die Manualbaugruppe eigentlich nicht zerlegt werden, weil sie durch eine kleine Service-Klappe erreichbar sind.

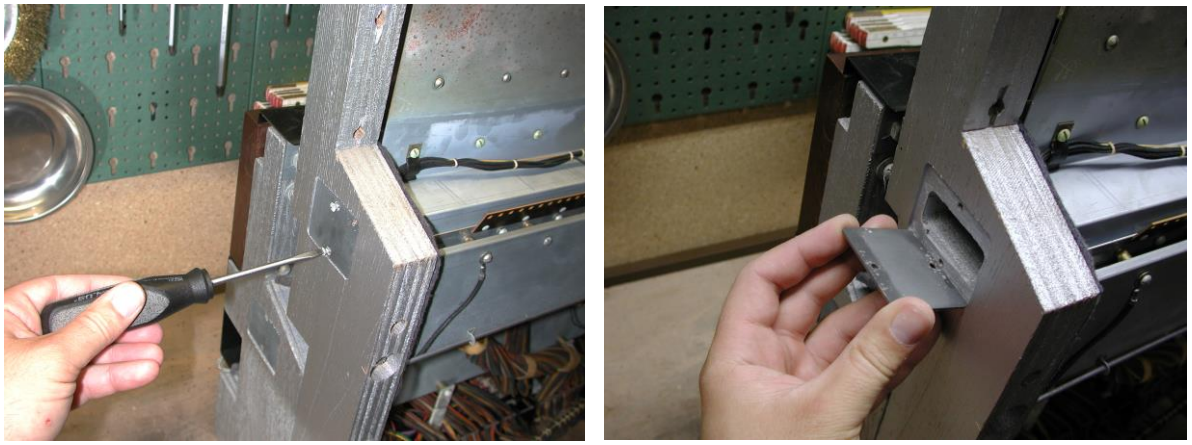


Abbildung 243: Service-Klappe Sammelschienen

Hinter dieser Klappe befindet sich der bewegliche Halter.

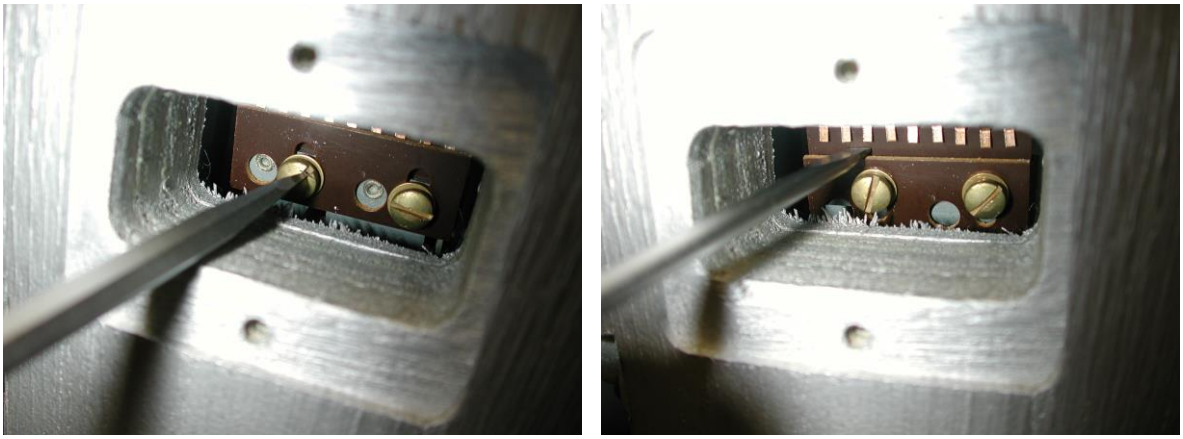


Abbildung 244: Bakelitstreifen nach unten drücken

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Zur Reinigung löst man die beiden Klemmschrauben des beweglichen Halters und verschiebt die Hartpapier-Halteplatte nach unten. Es werden nun die (abgewinkelten) Enden der Sammelschienen sichtbar (siehe Abbildung 244). Mit einer spitzen Zange (oder einem Fingernagel) zieht man nun diese Schienen einzeln heraus. Mit diesen Schienen bitte sehr vorsichtig umgehen, damit man sie nicht verbiegt oder anderweitig beschädigt.

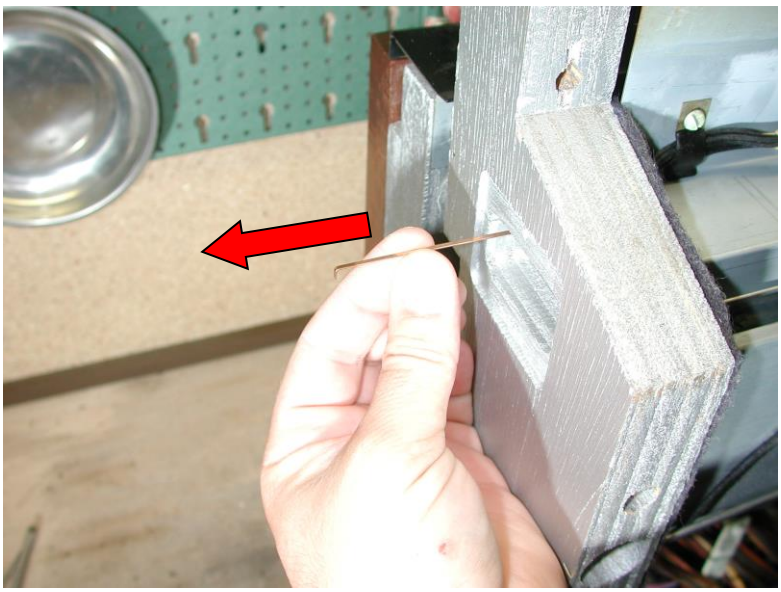


Abbildung 245: Entnahme einer Sammelschiene

Nun möchte ich Ihnen aber auch verraten, warum das Entnehmen der Sammelschienen durch die "Serviceklappe" auch bedeuten kann, dennoch das gesamte Manual auseinander nehmen zu müssen. Die Sammelschiene ist recht lang (etwa wie das Manual). Beim Wiedereinfädeln muss sie treffsicher und sauber eingeführt werden, ohne dass sie irgendwo in den Führungen anhakt. Und genau das ist nur sehr schwer zu schaffen, wenn man nicht sehen kann, wo genau die Sammelschiene hakt. Man kann bei der ganzen Aktion Glück- aber auch Pech haben....

Die Reinigung an sich erfolgt genauso wie bei der Zugriegelbaugruppe (siehe Kapitel 10.7.2):

Zuerst zogen wir die Sammelschiene mehrmals durch einen mit Spiritus getränkten Lappen. Danach nahmen wir einen kleinen Fetzen feine Stahlwolle (die feinste, die wir fanden: Bezeichnung "000" zum Polieren von Messing!) und zogen den wieder mehrmals über die Sammelschiene. Spätestens jetzt lösen sich auch hartnäckige Oxidationen oder Schmutz. Dabei bitte ganz vorsichtig sein und nicht zu stark andrücken: die Sammelschiene besteht nämlich aus zwei Teilen: einem Grundkörper und einem (der Länge nach) aufgeschweißten dünnen Draht (der eigentliche Kontaktdraht) aus Palladium. Wenn der bei der Reinigung abreißt, ist die Sammelschiene irreparabel beschädigt.

Wichtiger Hinweis: bitte immer nur eine einzelne Sammelschiene herausziehen und reinigen, wieder einsetzen und dann erst die nächste Schiene bearbeiten. Zieht man alle Sammelschienen gleichzeitig heraus, verschieben sich die einzelnen Tastaturstößel und man kriegt die dünnen Schienen nachher kaum mehr richtig eingefädelt!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Nach der Stahlwolle zogen wir die Schiene noch ein paarmal durch ein Wolltuch, um den Abrieb abzuwischen.

Nun ist sie wieder blank und die Konservierung kann aufgetragen werden: das so genannte "Zugriegelfett". Dieses Fett ist sehr teuer; allerdings braucht man davon auch nur sehr wenig. Mit einem kleinen Baumwoll-Läppchen (ca. 1cm x 5cm) trägt man das Fett hauchdünn auf, indem man die Sammelschiene wieder zwischen dem Läppchen hindurchzieht. Man merkt, dass genug aufgetragen ist, wenn die Sammelschiene gut zwischen den Fingern durchrutscht. Nun bitte möglichst nicht mehr mit blanken Fingern drauffassen, um den Fettfilm nicht zu zerstören. Am besten mit dem „fettgetränkten" Lappen fassen und die Sammelschiene wieder vorsichtig in das Manual einfädeln. Hakt sie beim Einführen etwas, so kann man etwas hin und her wackeln. Hakt sie weiterhin, dann kann man sie durch leichten Druck mit einer Pinzette an der hakenden Stelle in die Führung bewegen (Voraussetzung: man hat die Manualbaugruppe geöffnet). Achtung: bitte nur auf den Schienenkörper drücken, nicht auf den hauchdünnen Palladium-Draht!

In Abbildung 246 sieht man eine Mikroskopaufnahme einer Sammelschiene im Vergleich zu einem Streichholzkopf (großer Umriss oben im Bild!). Das hauchdünne Palladium-Drähtchen darauf ist gut zu erkennen.

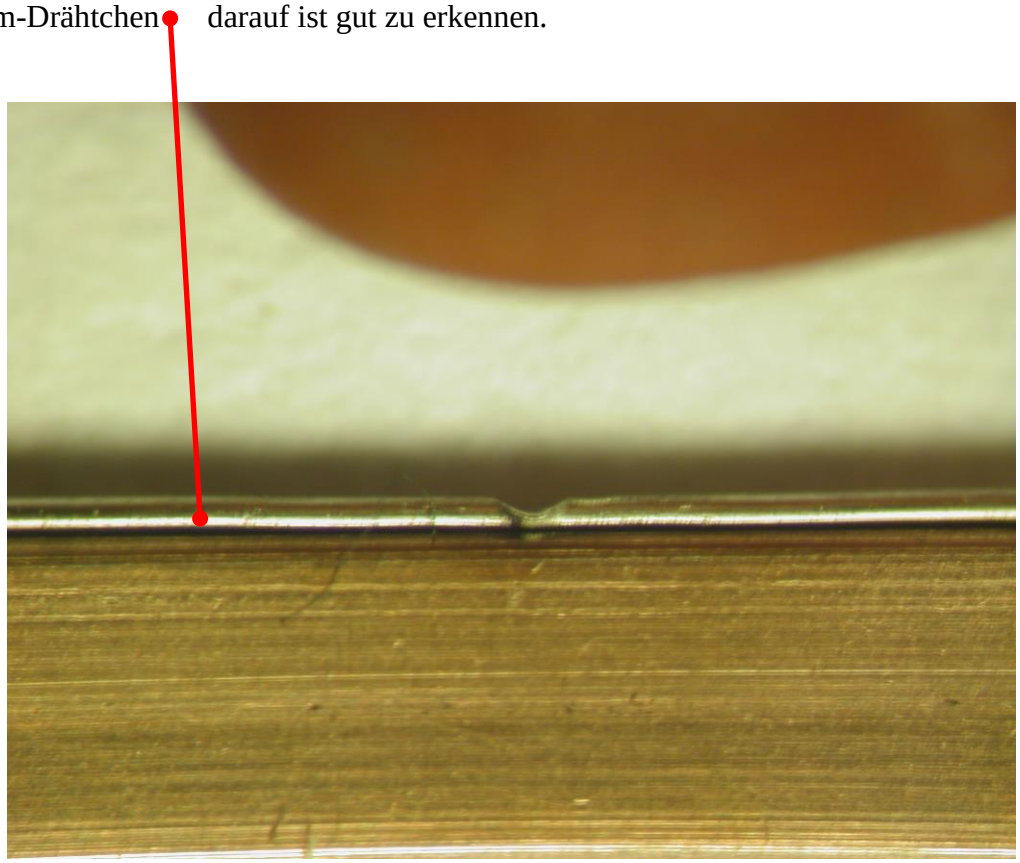


Abbildung 246: Sammelschiene (Mikroskopaufnahme)

Das Reinigen ist relativ aufwändig und kostet ein wenig Zeit, denn pro Manual sind 9 dieser Drähte auf o.a. Art zu behandeln. Dafür sind dann Kontaktschwierigkeiten in der Zukunft nicht mehr so schnell zu erwarten.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Zugriegelfett (fungiert als "Kontaktfett", wie es früher bei den mechanischen Fernmeldevermittlungsanlagen der Post verwendet wurde) ist recht teuer und kostete uns für ein kleines 20 Gramm-Döschen glatte 12 EUR (Stand August 2002). Zu beziehen z.B. beim "Tastencenter Schlick" in Norderstedt. Unsere C-3 war uns diese Investition jedoch allemal wert.

Nach meiner Schätzung reicht diese Dose bei sparsamem Gebrauch aber für mindestens 20..30 komplette Orgeln! Zu sehen ist das Döschen z.B. in Abbildung 306.

10.4.3 Warnung vor dem Gebrauch des Busbar-Shifters

In [19] warnt Clubmitglied U. Zwarg eindringlich vor der (bestimmungsgemäßen) Benutzung des Busbar-Shifters! Ursprünglich wurde er dazu konstruiert, die Kontaktstellen zwischen den Tastaturkontakten und den Busbars zu reinigen. Dazu empfiehlt Hammond, mit einer auf das Manual aufgelegte Holzleiste alle Spieltasten gleichzeitig herunterzudrücken und dabei den Busbar-Shifter mittels Einstellschraube hin und her zu bewegen. Der Gedanke dahinter: Durch das Aufeinanderreiben der Kontaktflächen (Palladium-Drähtchen sowohl auf den Busbars als auch auf den Kontaktzungen) unter leichtem Druck sollen Ablagerungen und Oxidschichten einfach „abgerieben“ werden.

Bitte führen Sie dieses Verfahren nie so durch!

Das Problem dabei ist nämlich folgendes: wie man in Abbildung 246 sieht, entstehen durch das normale Benutzen der Spieltasten des Manuals an genau diesen Kontaktpunkten unweigerlich in den Busbars kleine Einkerbungen. Das ist ersteinmal völlig normal und nicht weiter schlimm. Führt man nun unter diesen Bedingungen allerdings den „Hammond-Reibeprozess“ durch, besteht dabei eine sehr ernstzunehmende Gefahr: Sowohl die Palladiumdrähtchen an den Kontaktzungen als auch die langen Palladiumdrähte auf den Busbars können dabei abreißen!

Wusste der Vorbesitzer der Orgel von diesem Risiko nicht, dann bestehen leider große Chancen auf Cholateralschäden in der Manualbaugruppe. Die Folge sind dann nämlich wahrscheinlich etliche beschädigte Kontaktzungen und teilweise abgerissene Palladiumdrähte auf den Busbars. Ganz verzweifeln muss man dann allerdings doch nicht: zum einen sind derzeit im Internet noch Nachbauten von Busbar-Schienen und Kontaktzungen erhältlich; zum anderen kann man sich in solch einer Situation aber auch notfalls selber helfen: Reißen Sie einfach den aufgeschweißten Palladiumdraht ganz von den Busbars ab (kein Witz!). Erfahrungsgemäß ändert dies weder das Spielverhalten für den Organisten noch den Sound des berühmten Tastenklicks!

Interessant ist auch, dass die Palladiumdrähte auf den Busbars in einigen neueren Orgeln der Serie A-100 sogar bereits ab Werk ganz weggelassen wurden. Ein weiterer Beweis der zunehmend umgesetzten Sparmaßnahmen in der Hammond-Produktion.

In jedem Fall bedeutet das Auswechseln defekter Kontaktzungen allerdings eine der aufwändigsten Reparaturarbeiten an der Hammond-Orgel!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.4.4 Preset-Tastenblock fetten

Sollte der Tastenblock mit den einrastenden Spieltasten (=Preset-Tastenblock) Probleme machen, sind sie meistens einfach wieder zu beheben. Nicht richtig einrastende Tasten oder laute Geräusche beim Niederdrücken lassen auf verharztes oder alt gewordenes Fett schließen. Nachdem alle Tasten ausgebaut wurden, wird die komplette Mechanik unter den Tasten gereinigt. Danach können die Lager der Drehstange leicht geölt werden. Anschließend tragen Sie bitte etwas Staufer-Fett (erhältlich im Baumarkt, Kfz-oder Landmaschinen-Handel; das ist ein lithiumverseiftes Maschinenfett) auf die Haltestange. Wenn Sie die -gereinigten- Tasten wieder einsetzen, werden Sie sehen, dass die Blattfedern nun wieder leicht unter die Haltestange gleiten und dort unterhaken, wenn man eine Taste einrastet. Das Lösen der Preset-Tasten geschieht ja durch die ganz linke Taste "C". Auch dort kann man unter den Metallhebel (der die Haltestange nach hinten drückt, wenn man diese Taste betätigt) etwas Staufer-Fett unterschmieren. Jedoch bitte nur unter den Metallhebel, nicht unter den Filz.

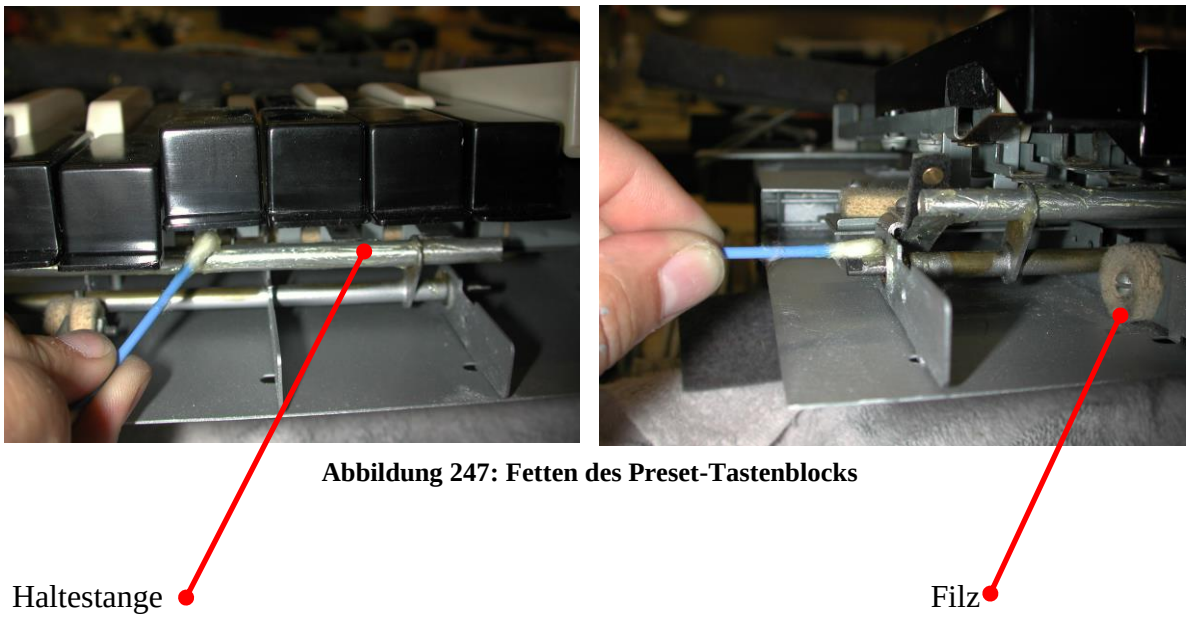


Abbildung 247: Fetten des Preset-Tastenblocks

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.5 Tastaturkämme aufarbeiten

10.5.1 Theorie

Eingangs erwähnten wir ja bereits die Tastaturkämme und deren Funktion. Insgesamt sechs dieser Kämme befinden sich auf jedem Manual. Sie können jeweils einzeln gelöst werden. Betrachtet man sich so einen Tastaturkamm, so erfüllt er zwei Funktionen:

a) Begrenzung des seitlichen Spiels der Taste
b) unterer Anschlag beim Niederdrücken der schwarzen Halbton-Tasten.

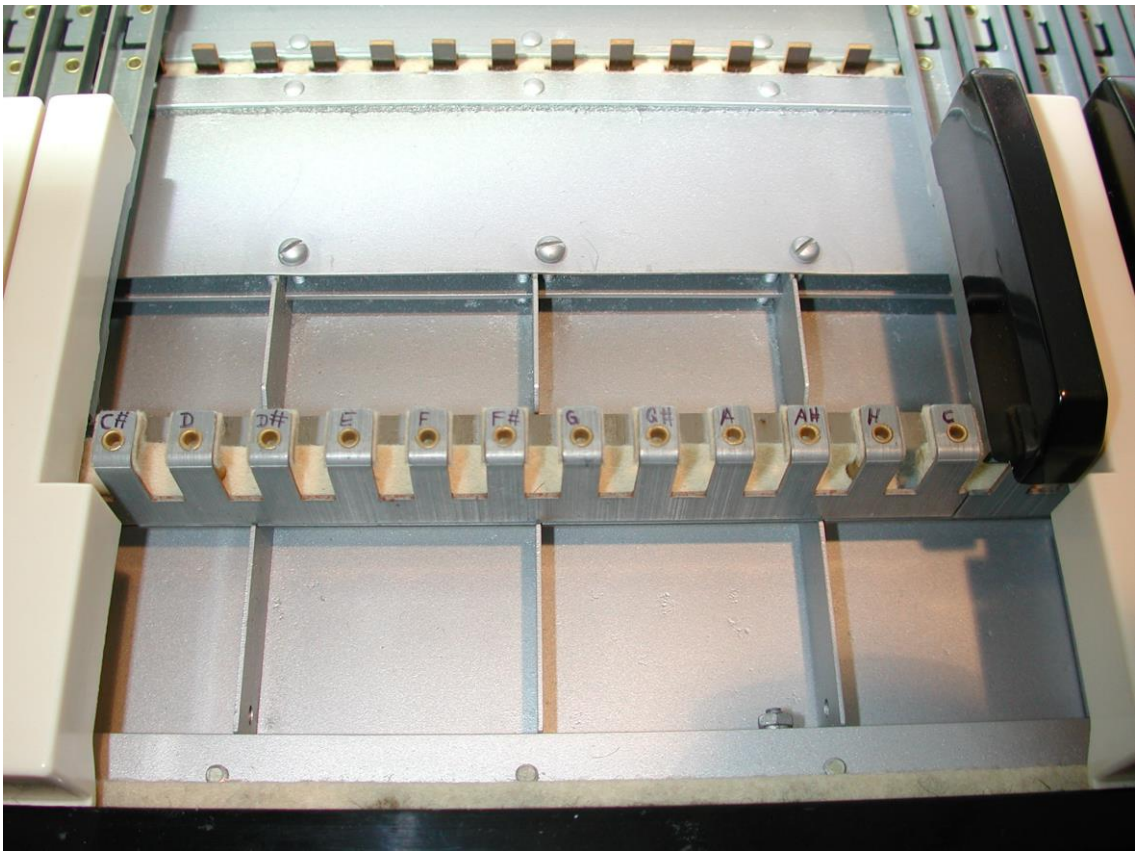


Abbildung 248: Tastaturkamm mit aufgesteckten Tasten

10.5.2 Unterlage

Bei viel bespielten Tastaturen zeichnen sich die Abdrücke der Tasten auf dem unteren Tastaturfilz (=Anschlag) ab. Dieser ist auf drei Messingdorne aufgesteckt und kann mit einem Schraubendreher ganz einfach heruntergehebelt werden (siehe Abbildung 249f). Dabei wird man bemerken, dass dieser Andruckfilz aus zwei Teilen besteht:

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Und zwar aus einer dünnen Filzunterlage und einem 6mm dicken Stück Tastaturfilz (korrekte Bezeichnung des Klavierbauers: "Drapp-Stoff"). Wenn Sie diesen Drappstoff erneuern wollen, dann werden Sie vielleicht Probleme kriegen, diesen zu bekommen. Die Alternative (im wahrsten Sinne des Wortes): Drehen Sie den Filz um und benutzen Sie die andere Seite des Drappstoffs, denn diese hat ja noch keine Eindruckstellen. (Eventuell bürsten Sie vorher Dreck und Schmutz von dem Drappstoff ab.) Und schon hält die Tastatur weitere 50 Jahre. ;-)

Abbildung 249: Tastaturkamm: Drappstoff abhebeln

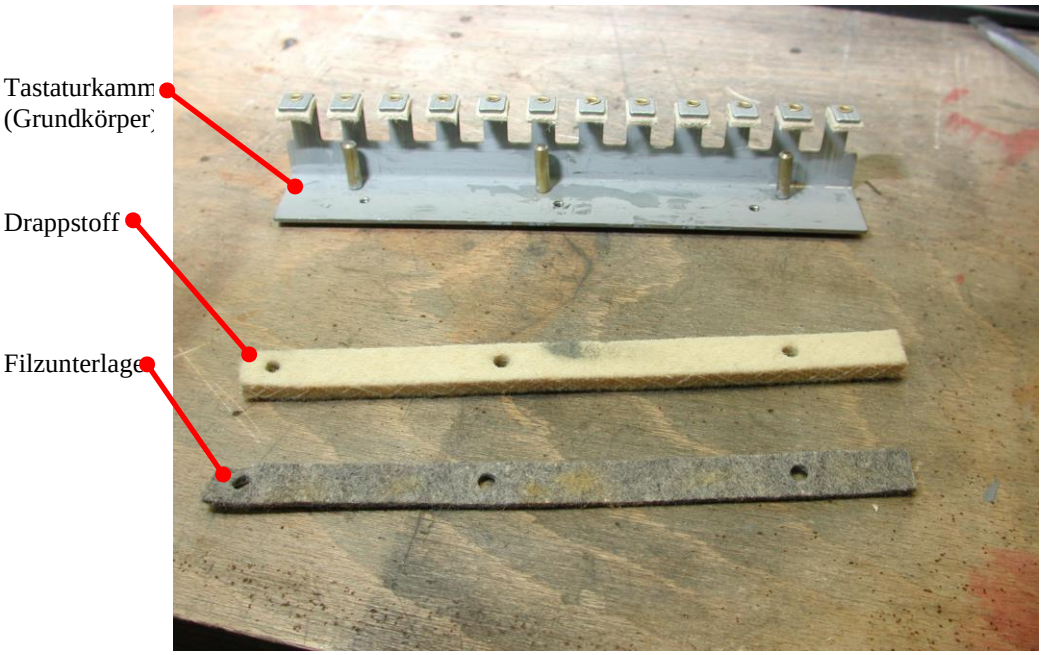


Abbildung 250: Bestandteile eines Tastaturkamms

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.5.3 Drappstoffläppchen

Das Erneuern der Drappstoffläppchen an den Enden der Metallzinken ist schwieriger und eigentlich nur etwas für Fachleute. Hier handelt es sich ebenfalls um Drappstoff in der Stärke von 3,0 mm (2,5mm geht auch, je nach Länge der vorhandenen Rohrnieten). Hat man sich diesen von einem ortsansässigen Klavierbauer besorgt (die Firma "Meyne" in Braunschweig liefert so etwas an Firmen), dann muss er mit einem scharfen Messer auf Maß geschnitten werden.

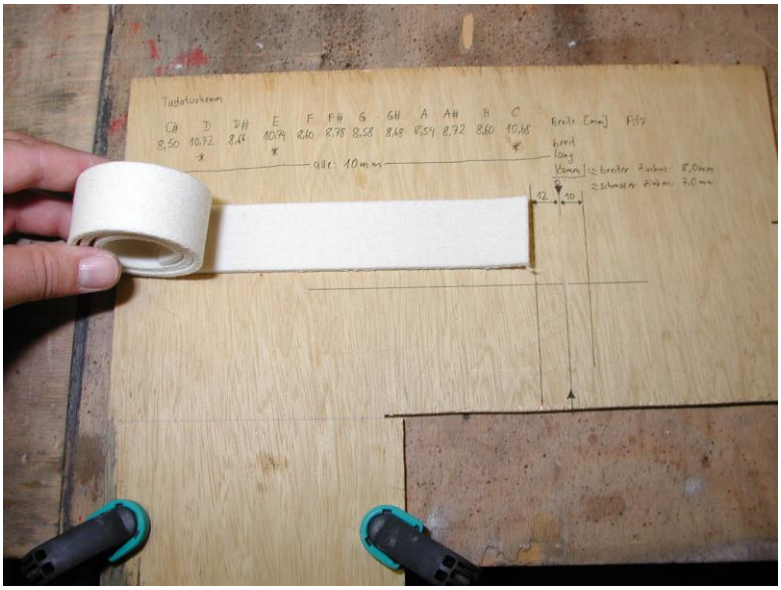


Abbildung 251: Schneideplatte

Ich habe mir zu diesem Zweck ein Sperrholz-Schneidebrett mit aufgemalten Markierungen angefertigt. Man legt den Drappstoff-Streifen auf dem Schneidebrett an und schneidet mit einem sehr scharfen Messer entlang den Markierungen. Sicherlich gibt es auch andere Methoden (z.B. mit einer Anschlagleiste), aber die hier gezeigte ist einfach und funktioniert.

Abbildung 252: Drappstoffläppchen zuschneiden

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Bevor ich näher auf die Markierungen eingehe, noch etwas Theorie zu den Tastaturkämmen.

Jedes einzelne Tastaturkamm-Modul hat 12 einzelne Zinken (die jedoch nicht alle gleich breit sind!). Auf der ersten Zinke (von links nach rechts) liegt später ein schwarzes C#, auf der ganz rechten das C der nächsten Oktave. Dazwischen wird chromatisch hochgezählt. Das gilt ausnahmslos für alle der 6 Tastaturkamm-Module.

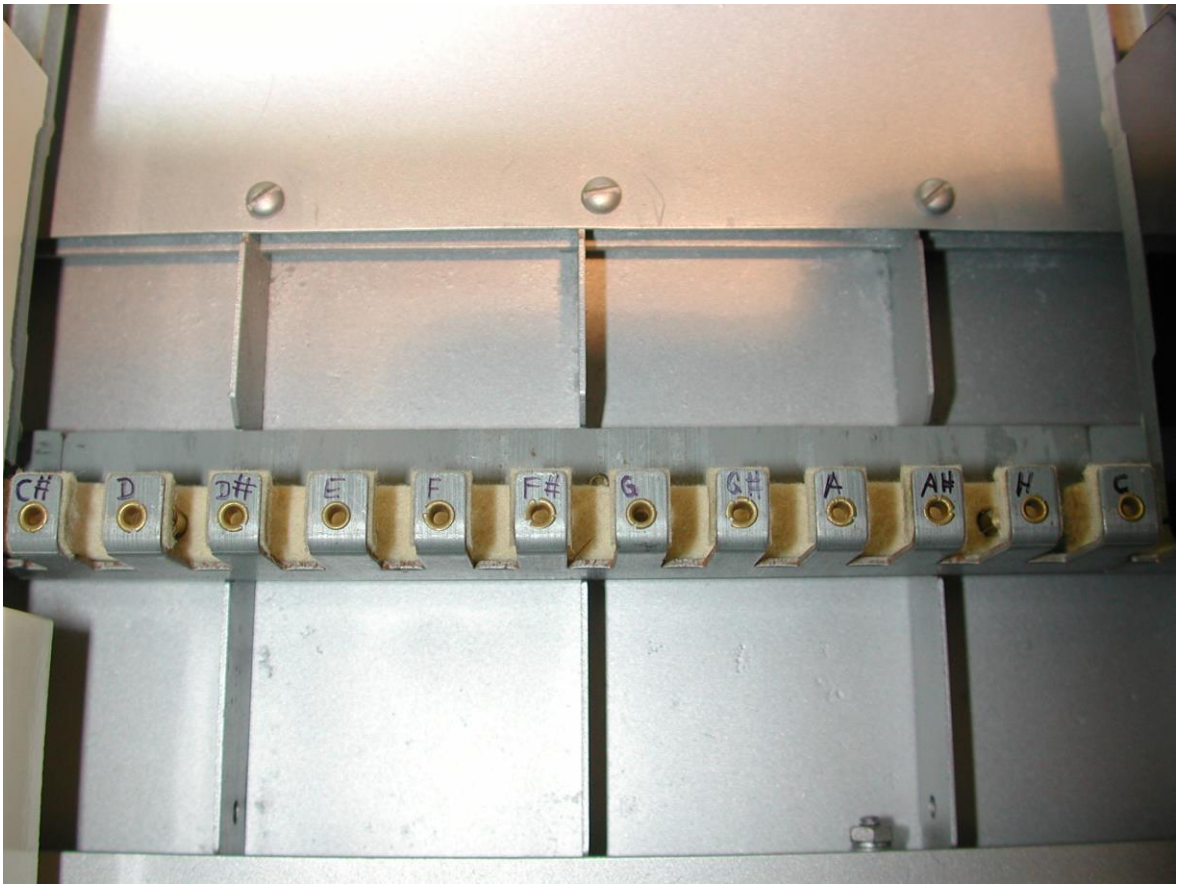


Abbildung 253: Tastaturkamm (Makroaufnahme)

Es gibt offensichtlich zwei verschiedene Zinkenbreiten. Messungen an den Innenseiten der Spieltasten ergaben, dass die Tasten

D, E und C

auf einen breiteren Zinken aufgesteckt sind. Das Drappstoffläppchen unter diesen Zinken sollte eine Breite von ca. 11,5mm haben.

Alle restlichen Tasten besitzen schmalere Drappstoffläppchen. Wir ermittelten sie mit einem Messschieber auf etwa 8,5mm. Die Länge aller Läppchen ist 10mm, unabhängig von der Breite. Pro Tastaturkamm benötigt man also folgende Drappstoffläppchen:

o 9 Stück 8,5mm x 10mm
o 3 Stück 11,5mm x 10mm

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Hat man die Möglichkeit, den Drappstoff exakt und sauber auf diese Maße zu schneiden und später auch zentrisch zu lochen, dann sollte man diese Abmessungen verwenden. Allerdings verfügen wir selber nicht über entsprechende Schneidwerkzeuge, so dass wir einen anderen Ansatz verfolgen. Wir schnitten die Läppchen etwas größer und arbeiteten die Seiten später nach, nachdem sie angenietet waren. Das ist zwar eine recht mühselige Arbeit, jedoch kann hier jedes Läppchen exakt auf die jeweilige Spieltaste angepasst werden. Wir schnitten uns auf der Schneideplatte also folgende Größen:

o 9 Stück 10mm x 10mm
o 3 Stück 12mm x 10mm

Dazu haben wir uns zwei parallele Striche im Abstand von 10mm und 12mm auf die Schneideplatte gemalt, anhand derer wir uns einen Anschlagklotz ausrichten und mit einem scharfen Messer exakt daran langschneiden konnten.

Abbildung 254: Schneideplatte und Messer

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Sind die Drappstoff-Stückchen geschnitten, stanzt man die Löcher für die Rohrnieten. Mit einer handelsüblichen Lochzange geht diese Arbeit einfach und schnell. Um die richtige Position des Loches zu finden, kann man entweder ein originales (altes) Drappstoffläppchen über das neue darüber legen und mit einem Filzstift das Loch durchmalen oder (das geht schneller) das alte Läppchen gleich auf den Stanzkegel der Lochzange auffädeln und damit in "Sandwich-Technik" arbeiten (siehe Abbildung 255).

Abbildung 255: Stanzen der Löcher in den Drappstoff

10.5.4 alten Drappstoff entfernen

Wenn nicht schon geschehen, bohrt man nun alle alten Nieten aus. Dazu kann man z.B. -wie wir- einen Kegelsenker nehmen oder einen 5mm Spiralbohrer in eine Bohrmaschine einspannen. Man bohrt jede Niete von oben kurz an, bis sich der obere Kranz gelöst hat (nicht ganz durchbohren!!). Nun sticht man mit einem kleinen Schlitz-Schraubendreher zwischen Filz und Metallzinke und hebelt den alten Drappstoff nach unten herunter. Das geht recht einfach. Das Problem, dass sich die Niete beim Ausbohen unter dem Anpressdreck der Bohrmaschine selber mitdreht und so nicht entfernt werden kann, konnten wir bei uns nicht beobachten.

Abbildung 256: alte Nieten ausbohren und abhebeln

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.5.5 neuen Drappstoff einnieten

Sind alle alten Drappstoffläppchen entfernt, geht es an die Neubestückung. Dazu steckt man zuerst die Niete durch das Drappstoffläppchen und setzt es dann von unten in den Metallzinken ein. Das Ende der Rohrniete sollte nun ca. 1..2mm nach oben hin herausgucken.

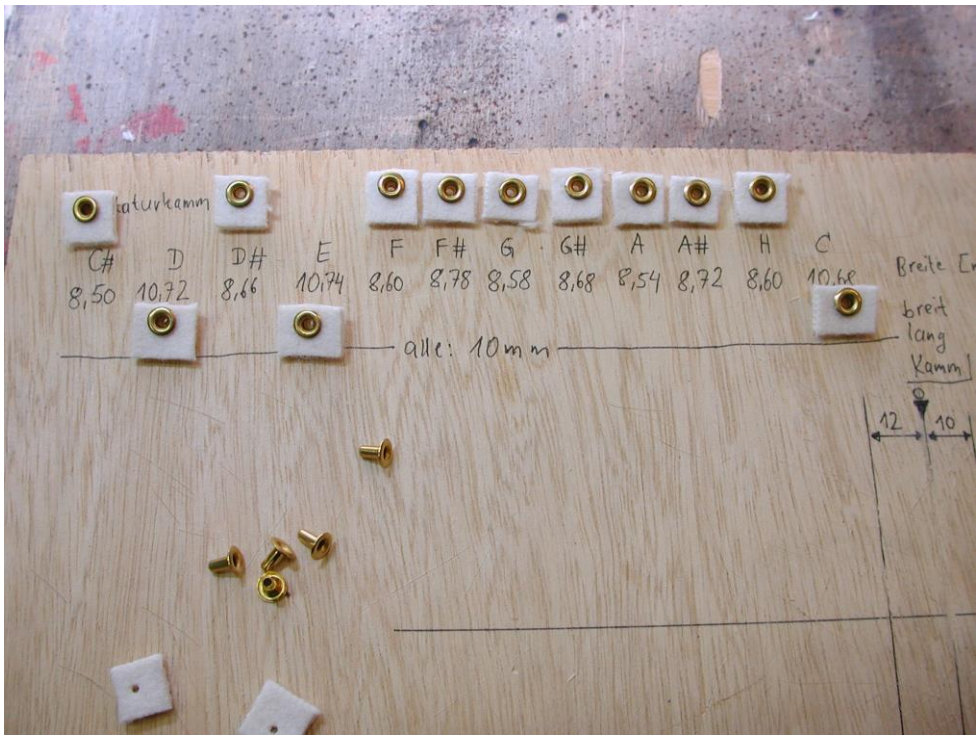


Abbildung 257: neue Drappstoffläppchen

Die nun folgenden Ausführungen zum Nietprozess bitte ich aus dieser Sichtweise zu betrachten:
Wir beide sind keine Fachmänner der Metallverarbeitung. Unsere Vorgehensweise ist sicher nicht die einzig richtige. Sie beruht auf Ratschlägen und Hinweisen von Arbeitskollegen und Clubmitgliedern und erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit.

Für den eigentlichen Nietvorgang benötigt man eine stabile Unterlage, auf die man den Tastaturkamm aufschieben (!) kann. Für ein anderes Bastelprojekt hatte ich mir damals auf den Bohrtisch meiner Standbohrmaschine eine solide 10mm Stahlplatte aufgeschraubt. Diese erwies sich nun als ideale Unterlage für den Nietprozess! Ohne eine solche Metallplatte oder sonstige Vorrichtung (z.B. eine professionelle Nietspindel) ist ein solches Unterfangen aussichtslos. Ein 10mm starkes Holzbrett aus Hartholz (Eiche, Buche), das man mit Schraubzwingen auf die Tischplatte schraubt und an der Vorderkante leicht überstehen lässt, könnte jedoch auch geeignet sein. Der Hammond-Freund wird selber schnell feststellen, ob seine Nietunterlage fest genug ist oder bei jedem Hammerschlag nachfedert, sodass das Nieten nahezu unmöglich wird.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Besitzt man also eine geeignete Unterlage, so schiebt man den Tastaturkamm von der Seite her auf und bestückt die Metallzinken der Reihe nach mit den Drappstoffläppchen. (Achtung: die drei Zinken "D", "E" und "C" erhalten die breiteren Läppchen!) Es ist zweckmäßig, sich die Zinken schon vorher mit einem wasserfesten Stift mit den Tönen zu beschriften ("C#", "D", 'D#", "E", "F", "F#", "G", "G#", "A", "A#", "H" und "C"). Sind nun alle Zinken bestückt, wird genietet:

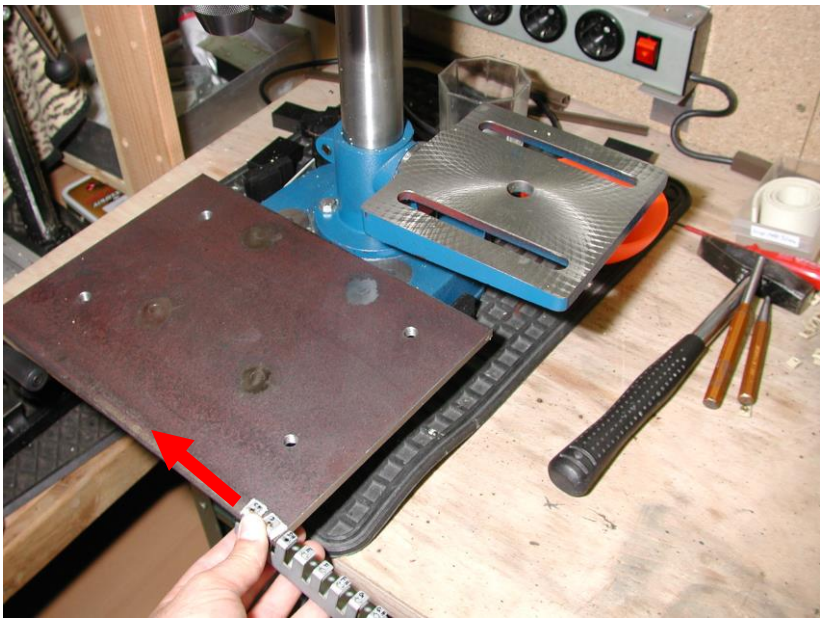


Abbildung 258: geeignete Nietunterlage

Abbildung 259: Tastaturkamm auf der Nietplatte

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Setzen Sie die Spitze eines ganz normalen Ankörners auf die Niete und klopfen Sie mit einem Schlosserhammer vorsichtig auf das hintere Ende des Ankörners.

Abbildung 260: manuelles Nieten mit "Körner"

Das herausragende Röhrchenende bördelt sich nun langsam um und presst das Läppchen unter dem Metallzinken zunehmend fest.

Abbildung 261: Niet formen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Am Ende setzt man einen 8mm Durchschläger auf die Niete und klopft den umgebördelten Rand platt. Damit ist der Nietvorgang beendet und das Filzläppchen sitzt fest! Diesen Arbeitsgang wiederholen Sie bitte entsprechend, bis alle Drappstoffläppchen angenietet sind.

Abbildung 262: Nietkranz plätten

Hinweise:
Je nach Art und Material der Niete gelingt der Nietvorgang mehr oder weniger gut. Ein Clubmitglied weist darauf hin, dass die Nietergebnisse besser werden, wenn man die Rohrnieten vorher mit einer Lötlampe erwärmt. Reißt die Niete beim Klopfen zu stark ein, so macht sie das Erwärmen etwas "geschmeidiger" (natürlich dehnt sie sich dann auch etwas aus und sitzt strammer im Bohrloch).
Wenn der Rand beim Umbördeln dennoch einreißt, dann macht das (für unseren Anwendungsfall jedenfalls) nichts. Konnten Sie nur Nieten ergattern, die einen schmaleren Kopf haben und so den Filz nicht großflächig genug andrücken, so legen Sie eine handelsübliche M3 Unterlegscheibe dazwischen (erhältlich z.B. bei Reichelt Elektronik). Nieten mit einem Schaftdurchmesser von 3,0mm können auch verwendet werden. In diesem Fall bohren Sie das Kernloch in dem Metallzinken bitte auf 3,0 oder 3,1mm auf, damit die Niete stramm hineinpasst.

Die Länge der Niete sollte so gewählt werden, dass das Ende etwa 1..2mm aus dem Kernloch heraussteht und somit lang genug ist, dass man noch gut umbördeln kann.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.5.6 Drappstoffläppchen anpassen

Sind alle Läppchen aufgenietet, beginnt die eigentliche Arbeit: das Zuschneiden. Hierzu eignet sich wieder die eingangs erwähnte Schneideplatte, die man mit zwei Schraubzwingen auf einen Tisch aufspannt.

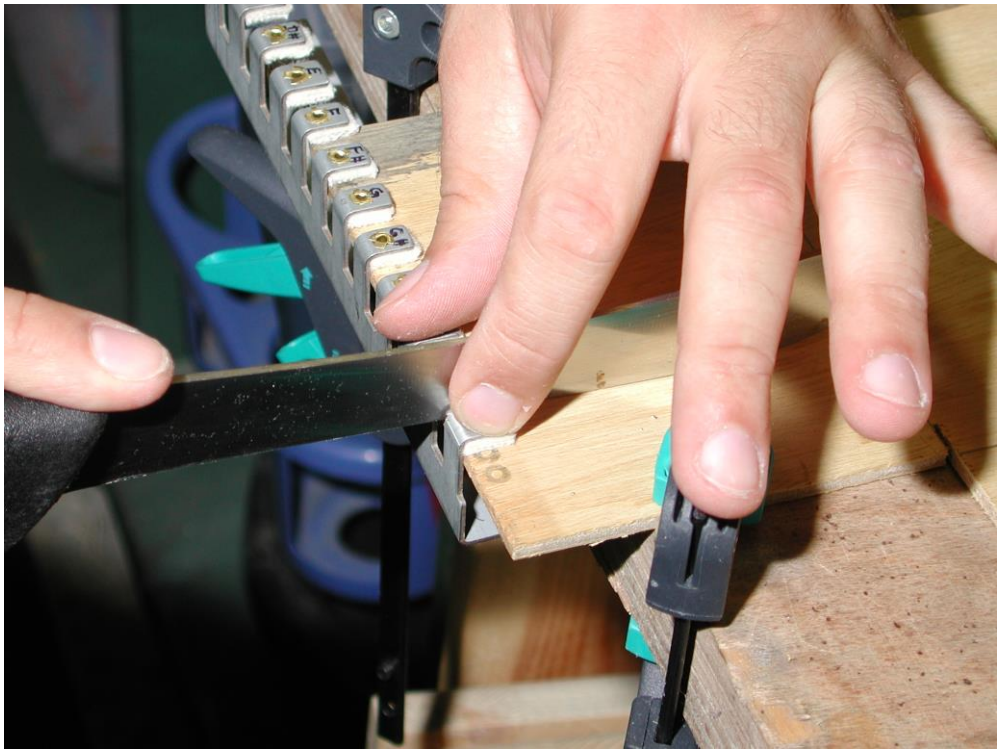


Abbildung 263: Drappstoffläppchen beschneiden

Beim Zuschnitt der Drappstoffe ist es wichtig, dass sie gerade so breit sind, dass die Spieltaste hinterher kein zu großes Spiel bekommt (sie "wackelt"), aber auch nicht zu breit, dass sie stark scheuert und damit verklemmt. Diesen Kompromiss (für jede einzelne Taste) zu finden, erfordert etwas Geschick und Ausdauer.

Schieben Sie den Tastaturkamm auf das Schneidebrett, pressen Sie den ersten Zinken etwas an und schneiden Sie mit einem sehr scharfen Messer das Drappstoffläppchen so zu, dass zu jeder Seite ca. 1mm übersteht.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Nun schieben Sie die Spieltaste auf und prüfen, wie stramm sie von dem Drappstoff geführt wird. Leicht scheuern darf sie, jedoch nicht klemmen. Meistens muss man 5 oder 6 Mal nachschneiden, bis sie endlich "leicht schmatzend, saugend" passt.

Abbildung 264: Sitz-Probe mit Spieltasten

Ist der Schnitt des verwendeten Messers nicht zufrieden stellend, so kann man die Kanten mit einer stabilen Schere auch leicht nachschneiden ("anfasen"). Stellt man fest, dass man zu viel abgeschnitten hat und die Taste nun leicht wackelt, dann bohren Sie bitte die komplette Niete samt Drappstoffläppchen wieder aus, setzen ein neues ein und starten einen zweiten Versuch. Tun Sie dies nicht, werden Sie spätestens beim Einbau des Tastaturkamms bemerken, dass die Spieltaste nicht eng genug geführt wird und an Ihre Tastennachbarn anschlägt ("Klappern").

Diese Arbeitsschritte wiederholt man für alle Spieltasten. Bitte immer die genau zugehörigen Tasten für den jeweiligen Tastaturkamm verwenden (!), denn unsere Messungen ergaben, dass sie einer nicht zu vernachlässigenden Toleranz unterliegen! Daher erreicht man die besten Ergebnisse, jeden einzelnen Drappstofflappen auf jede dazu gehörige Spieltaste individuell anzupassen (wie eine Maßanfertigung).

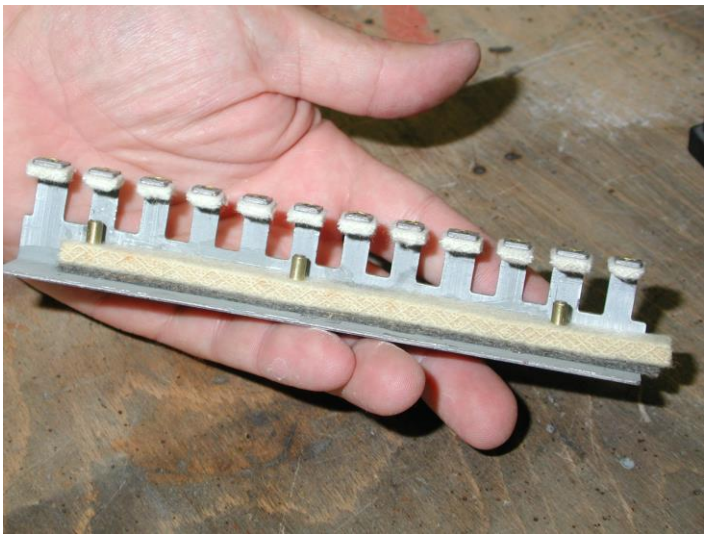


Abbildung 265: fertig aufgearbeiteter Tastaturkamm

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.5.7 endgültige Ausrichtung der Spieltasten

Beim Einbau ist es wichtig, die Tastenabstände untereinander exakt auszurichten. Durch die neuen Drappstoffe sollten sich die "Spaltmaße" bereits erheblich verbessert haben! Schlägt trotzdem eine Taste an den Nachbarn an oder macht sich durch sonstige Klappergeräusche (besonders bei Glissandi) bemerkbar, so ist als erstes das seitliche Spiel zu prüfen und ggfs. der zuständige Tastaturkamm nochmals auszubauen und zu korrigieren. Liegt es nicht an dem Drappstoffläppchen (also kein nennenswertes seitliches Spiel erkennbar), dann die hintere Sechskantschraube am Manualträger lösen und die gesamte Taste etwas (die Führungsnasen am Manualblock gestatten nur minimale Korrekturen) drehen, dann wieder festschrauben (wie in Abbildung 266ff gezeigt).

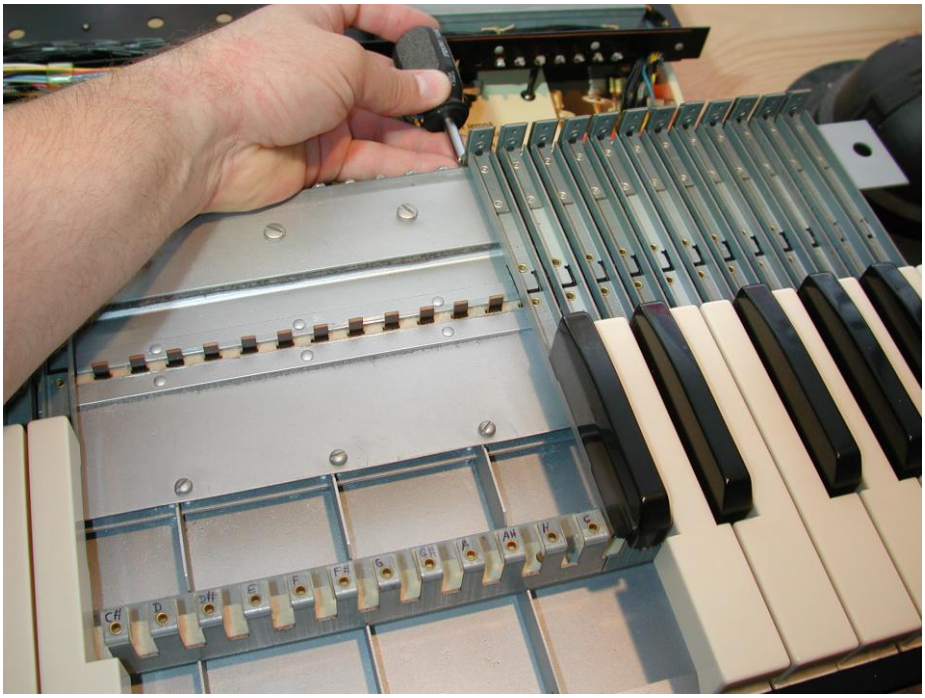


Abbildung 266: Einsetzen der Spieltasten

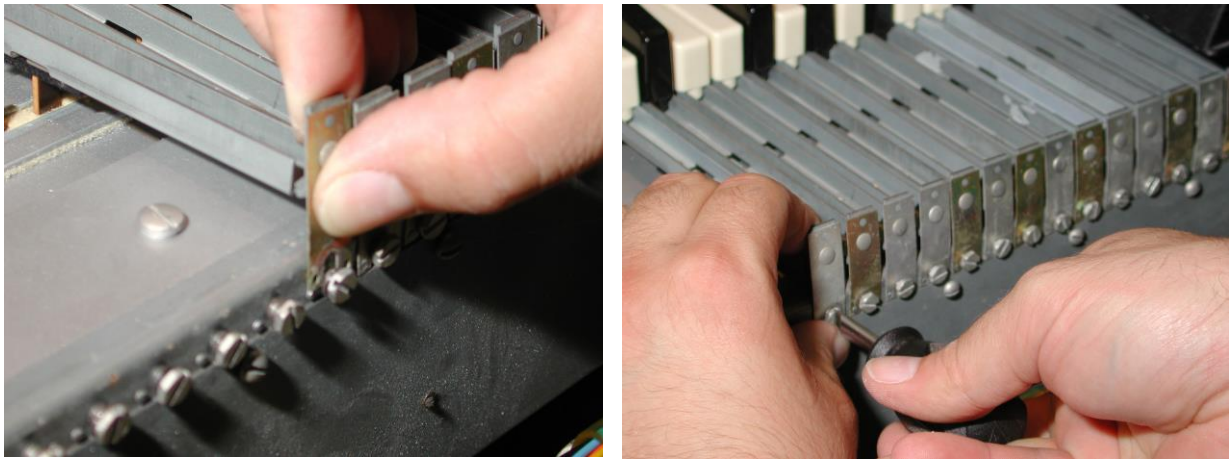


Abbildung 267: Ausrichten der Spieltasten

Ist das Klappern noch immer nicht behoben, so kann auch der betreffende Metallzinken des Tastaturkamms mit einer Flachzange leicht nachgebogen werden. Das ist jedoch nur in den seltensten Fällen nötig und wirklich nur die "letzte Rettung"!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.5.8 Fazit

Das Erneuern die Tastaturfilze und Drappstoffe ist wirklich nur etwas für engagierte "Hardcore-Bastler" mit viel Ausdauer und Geschick. Jedoch lohnt sich die Mühe: das Spielgefühl auf einer neu befilzten Tastatur wird enorm verbessert!

10.5.9 Werkzeug

Folgendes Werkzeug ist notwendig, um das Erneuern der Filze erfolgreich zu bewerkstelligen:

o ein sehr scharfes Messer (evtl. Skalpell)
o eine Schneideplatte (z.B. aus Weichholz wie "Sperrholz" oder "Fichte")
o ein Ankörnwerkzeug
o ein Durchschläger (empfohlen: 8mm Durchmesser)
o eine Lochzange (z.B. eine Gürtellochzange mit Lochdurchmesser 2,5mm oder 3,0mm)
o einen kleinen Schlosserhammer
o eine Nietunterlage (10mm Stahlplatte)

Abbildung 268: Werkzeug (Tastaturkamm-Erneuerung)

10.5.9.1. Material

Das größte Problem ist es, passende Rohrnieten (aus Messing) zu finden. Die originalen haben einen Durchmesser von 2,76mm (Messwert!) und bestehen aus einem einzigen Teil (heute gibt es oft nur noch zweiteilige Hohlnieten!). Sie besitzen einen recht breiten Kragen, damit möglichst viel Filzfläche gepresst werden kann.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.5.10 Alternative zu den Drappstoffläppchen

Ein niederländischer Hammond-Techniker verriet uns einen weiteren Trick, um wakkelnde Tasten wieder besser zu zentrieren, ohne die ganzen Drappstoffläppchen auswechseln zu müssen. Besonders im kommerziellen Reparaturgeschäft zählt jede Minute Arbeitszeit, sodass insbesondere hier oft schnelle Alternativen geboren werden.

Nehmen wir nun mal den Standardfall an, dass eine Spieltaste zu viel seitliches Spiel hat (wackelt), weil das Drappstoffläppchen auf dem Tastaturkamm ausgeschlissen ist und die Taste nicht mehr eng genug führt. Anstatt das komplette Läppchen zu wechseln (so wie wir es oben beschrieben haben), kann man den kompletten Zinken auch mit einigen Windungen Nylonschnur umwickeln; ihn also künstlich "dicker" machen. Den Knoten macht man oben und schneidet die Enden so kurz wie möglich ab.

Eine derart neu "aufgearbeitete" Spieltastatur wurde von uns während eines Besuches kurz getestet und durchaus für "gut" befunden.

Dennoch möchten wir hier auf mögliche Risiken und Langzeitfolgen hinweisen: Uns ist nicht bekannt, inwieweit das Aufeinanderreiben von Bakelit und Nylonschnur die Spieltasten auf Dauer mechanisch beansprucht. Die Vorstellung erscheint plausibel, dass die Kombination "Filz-Bakelit" schonender mit der Spieltaste umgeht als "Nylon-Bakelit". Das ist jedoch reine Spekulation und nicht durch Erfahrungen unsererseits untermauert.

An dieser Stelle wären wir über Erfahrungsberichte dankbar, um sie dem breiten Hammond-Publikum vorstellen zu können.

Wer den Nylonschnur-Trick dennoch sympathisch findet, der sollte sich im Baumarkt nach einer Maurerschnur umsehen (z.B. von der Firma "Lux"). Empfohlen wird die dreifach-verdrillte, von der man dann eine einzelne Faser benutzt. Es gibt diese Schnur aber auch in unterschiedlichen Stärken; je nach benötigtem Einsatzzweck.

Klemmt die Taste bei der Sitzprobe (siehe Abbildung 264) zu sehr, so muss etwas abgewickelt oder eine dünnere Schnur verwendet werden.

Wir möchten an diese Stelle jedoch bemerken, dass wir das komplette Auswechseln der Drappstoffläppchen zwar für die aufwändigste, jedoch auch für die technisch sauberste Methode zur zuverlässigen Aufarbeitung einer Hammond-Spieltastatur halten!

Hinweis:
Es wurden schon Orgeln gesehen, bei denen Schrumpfschlauch (!!) über die einzelnen Zinken des Tastaturkamms geschrumpft wurde. Es gibt dabei Hinweise, dass sogar Hammond selber dieses Verfahren bei neueren T-Modellen verwendet haben könnte, um das aufwändige Aufnieten der Drappstoffe zu umgehen und damit Kosten sparen zu können. In der Praxis zeigt sich jedoch, dass sich der Schrumpfschlauch im Laufe der Zeit zersetzt und so die komplette Tastenführung verkleben. Da hilft dann auch der Einsatz von Silikonspray (als Gleitmittel) nicht mehr richtig, sondern nur noch die komplette Neurestauration mittels Drappstoffen!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.6 Obermanual

10.6.1 Besonderheiten des Obermanuals (Unterschiede zum UM)

Dieses Thema ist schnell behandelt.
Das Obermanual besitzt unter der Preset-Taste „H“ zusätzlich eine kleine Schaltbox, bei der ein Schaltkontakt bei gedrückter Preset-Taste aktiviert wird. Mit ihm kann die Gesamtlautstärke des Obermanuals etwas gedrosselt werden, wenn die Percussion aktiv ist. Dazu wird im Schaltplan R1 (3,9MOhm) gebrückt und somit die Ausgangsspannung hinter dem Matching-Trafo etwas in die Knie gezwungen.

Einige Hammond-Freunde halten das Zurückschalten der Gesamtlautstärke bei aktiver Percussion für störend und deaktivieren diese Schaltbox, sodass auch bei eingeschalteter Percussion der volle Signalpegel erzeugt wird.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.7 Bedienelemente

10.7.1 Zugriegelbaugruppe: abschrauben

Die Zugriegel sind sicher eine der wesentlichen Merkmale einer Hammond-Orgel. Wer weiß, ob sie solch einen Erfolg gehabt hätte, wenn Laurens Hammond damals Schalter oder Drehregler anstatt Zugriegel verwendet hätte. Ein Grund mehr, auch diese Baugruppe zu warten und zu reinigen.

10.7.1.1. Demontage

Nachdem der komplette Manualblock aus dem Orgelgehäuse gebaut wurde, kommt man schon sehr gut an die Zugriegelbaugruppe heran. Sie ist mit einigen Schrauben auf das Obermanual aufgeschraubt. Seitlich schauen zu den Enden hin die Anschlüsse der 18 Sammelschienen (9 links, 9 rechts) heraus.

Abbildung 269: Manualbaugruppe

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Zum Abschrauben der Baugruppe lötet man zuerst die Verbindungen an beiden Seiten ab und achtet darauf, die Anschlüsse nicht zu sehr zu verbiegen!

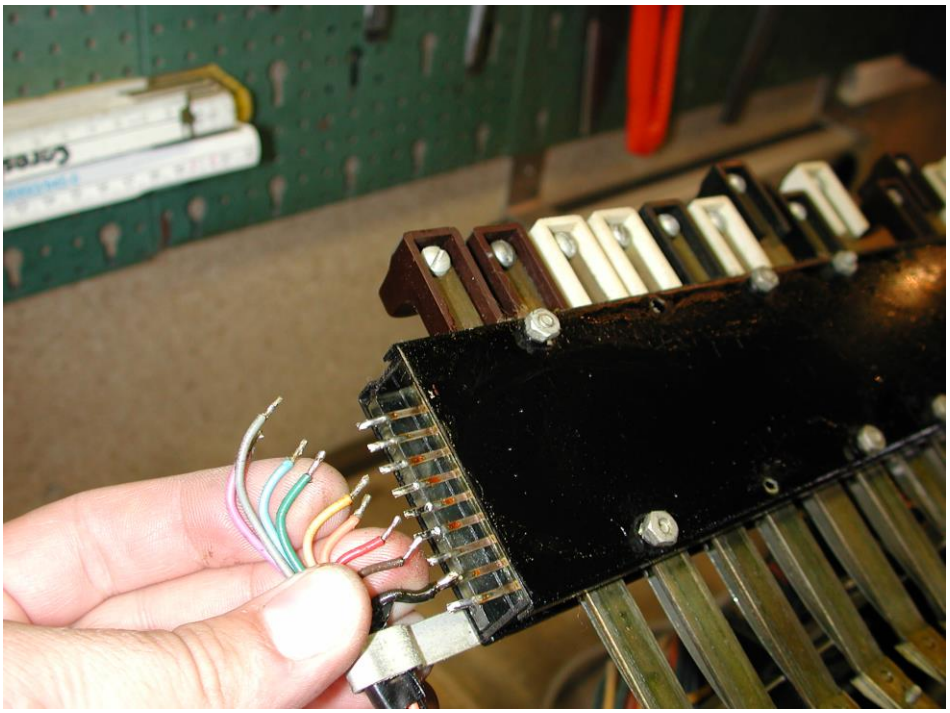


Abbildung 270: Anschlüsse Sammelschienen

Danach lötet (oder kneift) man alle Kabel an den Enden der Zugriegel ab (9+9+2+9+9 = 40 Stück).

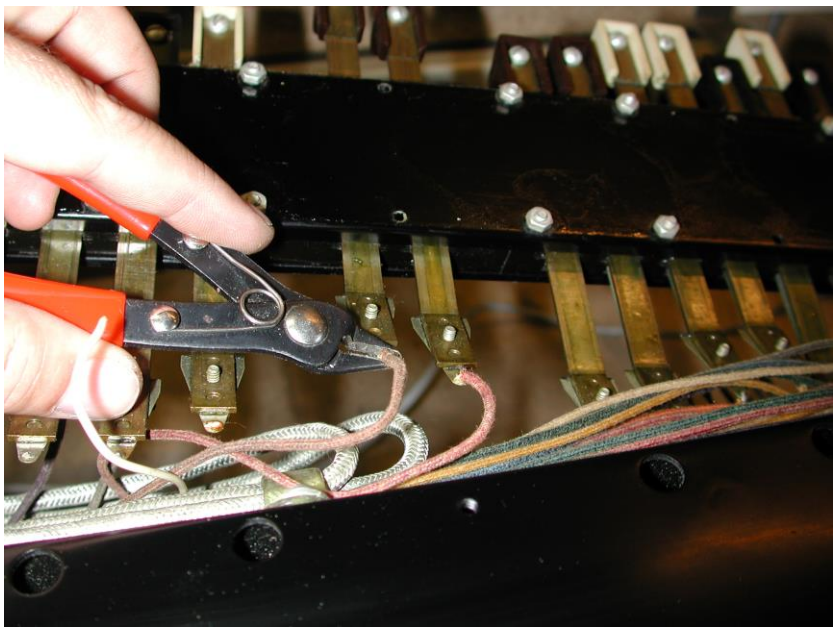


Abbildung 271: Kabelschlaufen an den Zugriegeln

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Dann schraubt man alle die Schrauben der Zugriegeleinheit ab, unter denen ein Federring zu erkennen ist! Denn nur die dienen der Befestigung der Einheit auf dem Obermanual! Um später nicht durcheinander zu kommen, empfehle ich, diese Schraubenlöcher besonders zu kennzeichen (z.B. diese Schraubenlöcher mit einem Stück Klebeband bis zum Wiedereinbau zuzukleben).

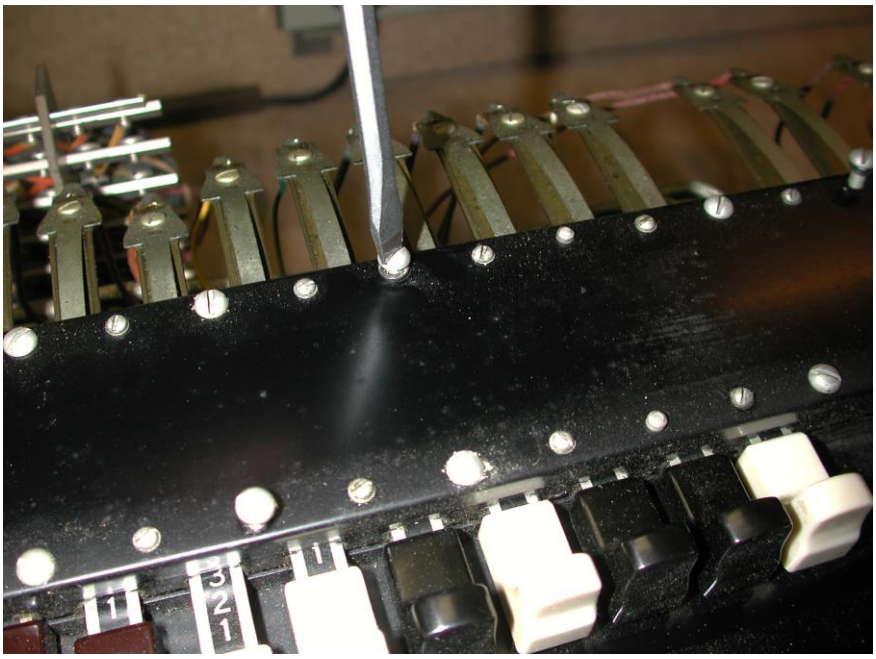


Abbildung 272: Zugriegelbaugruppe abschrauben

Nun kann man die Zugriegelbaugruppe vorsichtig vom Obermanual abheben und auf den Basteltisch zur weiteren Demontage legen. Vorsicht: nicht seitlich greifen (ich weiß, man wird sehr dazu verleitet), denn da stehen die Anschlüsse der Sammelschienen heraus, die man sonst verbiegt!

Abbildung 273: Zugriegelbaugruppe abgenommen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.7.2 Zugriegelbaugruppe: reinigen

Zum Öffnen des Gehäuses löst man ersteinmal alle restlichen Schrauben mit den großen Schraubenköpfen. Mit einem geeigneten Maulschlüssel (oder notfalls Zange) von der Unterseite her gegenhalten.

Sind alle Schrauben entfernt (Hinweis: diese Schrauben sind oft verharzt oder verölt: dann mit Stahlwolle reinigen; oder noch besser: im Ultraschallbad mit speziellem Reiniger säubern), dann kann jetzt vorsichtig der Deckel abgehebelt und zur Seite gelegt werden (apropos Seite: bitte "links" und "rechts" beschriften, damit beim Zusammenbau hinterher wieder alles passt!).

Man erkennt in der verbleibenden Gehäusehälfte nun 5 Zugriegelmodule (4x 9ner sowie 1x 2er für den Bass), die einfach in die umgefalzte Blechwanne hineingelegt sind (die mechanische Stabilität bekommt die Einheit durch das Zusammenschrauben). Diese Module heben Sie bitte vorsichtig heraus (Einbaulage beschriften!!!) und nehmen sich alle nacheinander vor:

Abbildung 274: Einzelteile der Zugriegelbaugruppe

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

1) Zuerst schraubt man die Zugriegelkappen ab. Dazu das Modul auf den Rücken legen und die dicken Schrauben auf der Unterseite der Zugriegelkappen losschrauben. Man kann nun Kappen und Schrauben abnehmen. Ein altes Computer-Mousepad leistet hier gute Dienste als weiche Unterlage.

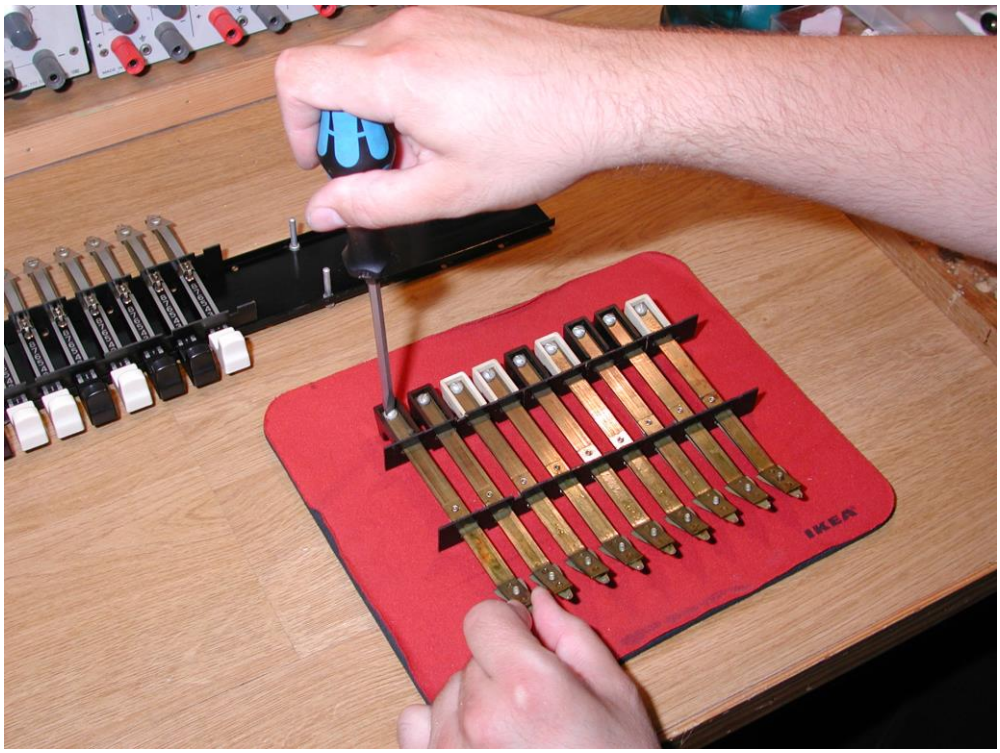


Abbildung 275: Abschrauben der Zugriegelkappen

2) Die vordere Führungsschablone abnehmen.

Abbildung 276: vordere Zugriegelschablone entnehmen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

3) Nun kann man die 9 Zugriegel aus der hinteren Führungsschablone entnehmen. Vorgehen: Baugruppe wieder umdrehen, den nach oben hoch stehenden Kontaktschleifer vorsichtig niederdrücken und die komplette Schubstange mit Kontaktschleifer nach hinten hin aus den beiden Schablonen herausziehen. (Vorsicht: auf der Unterseite jedes Schleifers befindet sich ein hauchdünnes, kurzes (ca. 5mm) Drähtchen Widerstandsdraht! Nicht abreißen!)

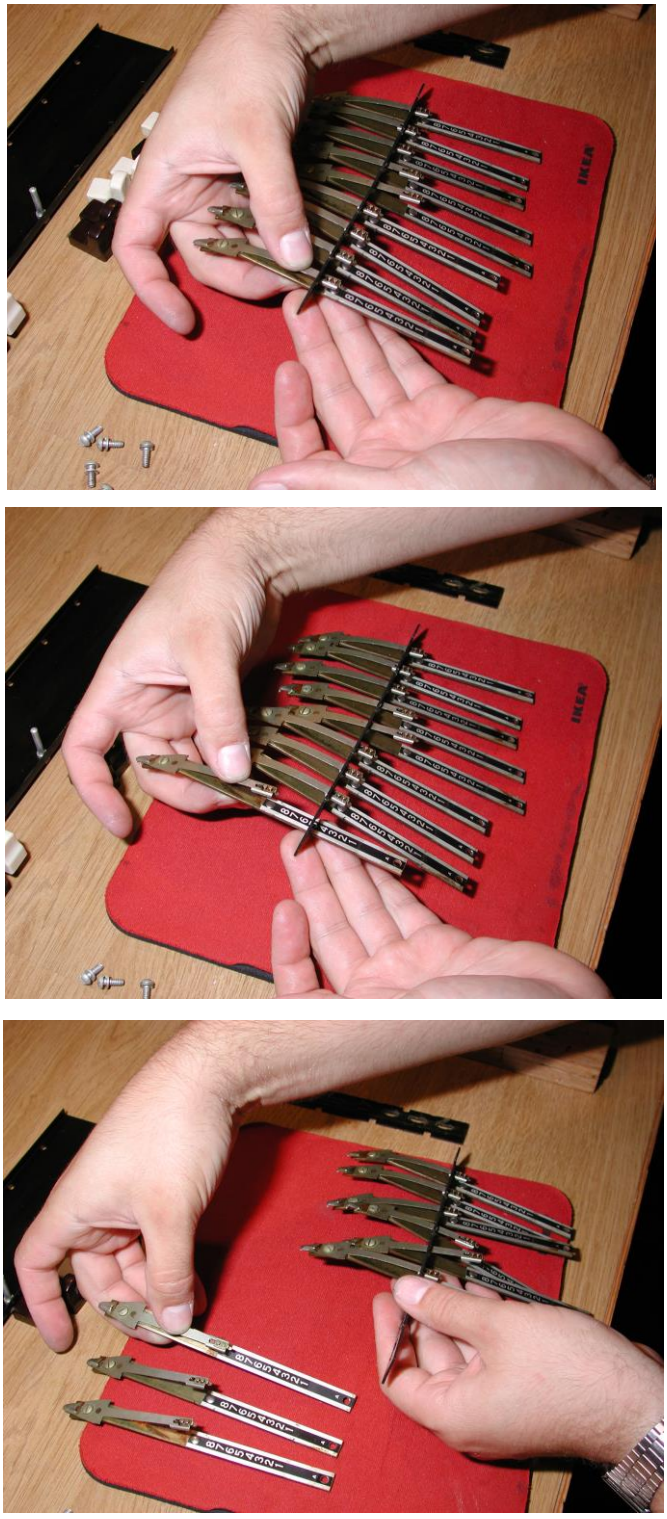


Abbildung 277: einzelne Zugriegel aushaken und entnehmen

3) Die beiden Führungsschablonen zur Seite legen. (Achtung: Einbaulage merken, beschriften ("vorne", "hinten", "links", "rechts"!!)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4) Dann die Kontaktschleifer abschrauben. Diese erfüllen so eine ähnliche Funktion wie bei einer Straßenbahn der Schleifer für die Oberleitung. Dazu eine einzelne Schubstange vor sich hinlegen und ganz hinten am Ende die dicke Schlitzschraube lösen.

Abbildung 278: Kontaktschleifer abschrauben

5) Kontaktschleifer abnehmen und zu Seite legen.

Abbildung 279: Kontaktschleifer abnehmen

Diesen Vorgang für alle anderen Zugriegel entsprechend wiederholen.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.7.2.1. Reinigung

Die Zugriegelkappen sowie die Führungsschablonen wäscht man am besten im Waschbecken mit einem milden Spülmittel (z.B. "Palmolive") und einem weichen Schwamm. Danach klar spülen und abtrocknen- hinterher sehen sie dann wirklich schon angenehmer aus.

Die Schubstange wird ebenfalls mit Spülmittelwasser und z.B. einem Waschlappen gereinigt. Vorsicht: nicht zu stark über die Zahlenskala rubbeln, sonst reibt sie sich ab! Bei hartnäckigem Dreck lieber vorsichtig mit dem Fingernagel kratzen. Hinterher auch mit normalem Wasser "nachspülen".

Abbildung 280: Zugriegel abwaschen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Am Ende reinigt man den Kontaktschleifer und die Lötstelle mit Entlötsaugpumpe und Spiritus.

Abbildung 281: Kontaktschleifer reinigen

Dann sollte man das dünne Widerstandsdrähtchen auf der Unterseite kontrollieren (Mikroskopaufnahme siehe Abbildung 291). Ist hier Dreck oder Öl zu finden, dann nur mit allergrößter Vorsicht reinigen. Ein bisschen Öl schadet hier notfalls nichts, ein abgerissener Draht aber schon. Er dient nämlich dazu, Pegelsprünge beim Herausziehen des Zugriegels zu minimieren, indem er im Übergangsmoment z.B. von Stufe 4 auf Stufe 5 beide Sammelschienen über diesen Widerstandsdraht elektrisch brückt und so intern eine virtuelle Stufe "viereinhalb" produziert. Das minimiert Pegelsprünge und auch Knack- und Schaltgeräusche.

Abbildung 282: Widerstandsdrähtchen

Der Zusammenbau erfolgt in der umgekehrten Reihenfolge. Die 2 kugelförmigen Schleifkontakte sollten jeweils von der Oberseite mit etwas Zugriegelfett bestrichen werden (z.B. mit einem Wattestäbchen). Dann den so gereinigten Zugriegelblock zur Seite legen und sich den nächsten vornehmen.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Hier noch einmal alle Einzelteile einer Zugriegler-9er-Gruppe auf einen Blick:

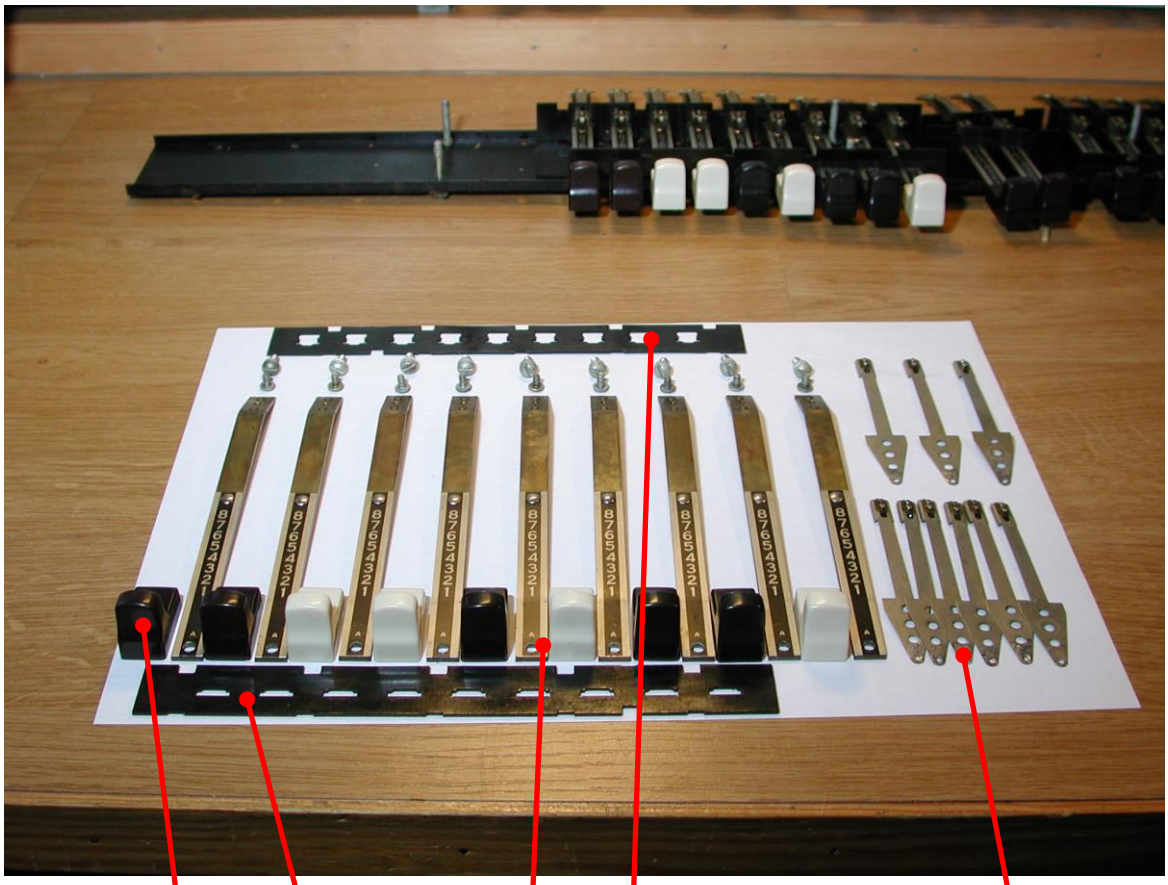


Abbildung 283: Einzelteile einer 9er Zugriegelgruppe

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.7.2.2. Die Sammelschienen

Im oberen Deckel der Zugriegelbaugruppe befindet sich eine Art 9-gleisiges Schienensystem. Ähnlich wie bei einem Bahngleis führen hier 9 parallele Drähte (=“Schienengleis“) über etliche -dazu quer liegende- Plastik-Isolierstücke (=“Bahn-Schwellen“).

Abbildung 284: Schienensystem

Diese Plastikstücke sind sehr brüchig! Sollte man sich dazu entschließen, sie zwecks Reinigung zu entfernen, so schraubt man nun alle kleinen Schräubchen aus dem Deckel heraus. Dann fällt einem ein kleines Andruckblech (samt Isoliergummi) entgegen, das auch gleichzeitig das Plastik-Isolierstück gehalten hat. So kann man Stück für Stück alle Bauteile aus dem oberen Deckel entfernen und reinigen.

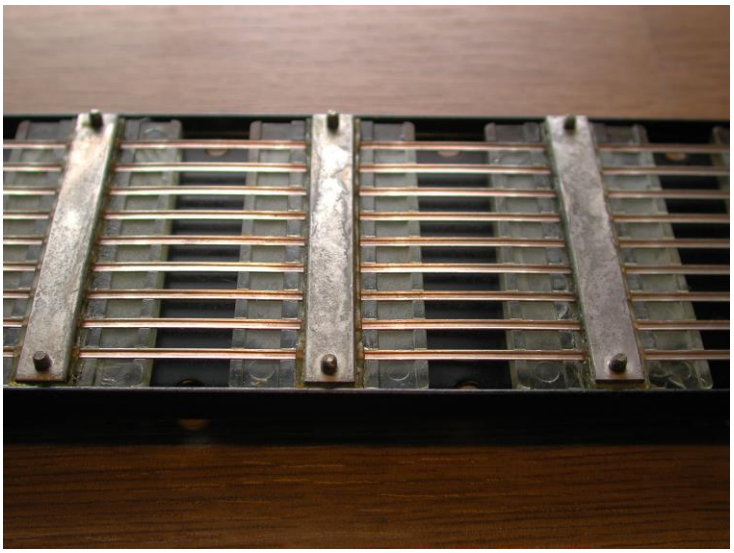


Abbildung 285: Schienensystem im Detail

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Die Zugriegel-Sammelschienen erfahren dieselbe Behandlung wie die Sammelschienen der Tastaturkontakte in der Manualbaugruppe (Spiritus, Stahlwolle, Zugriegelfett).

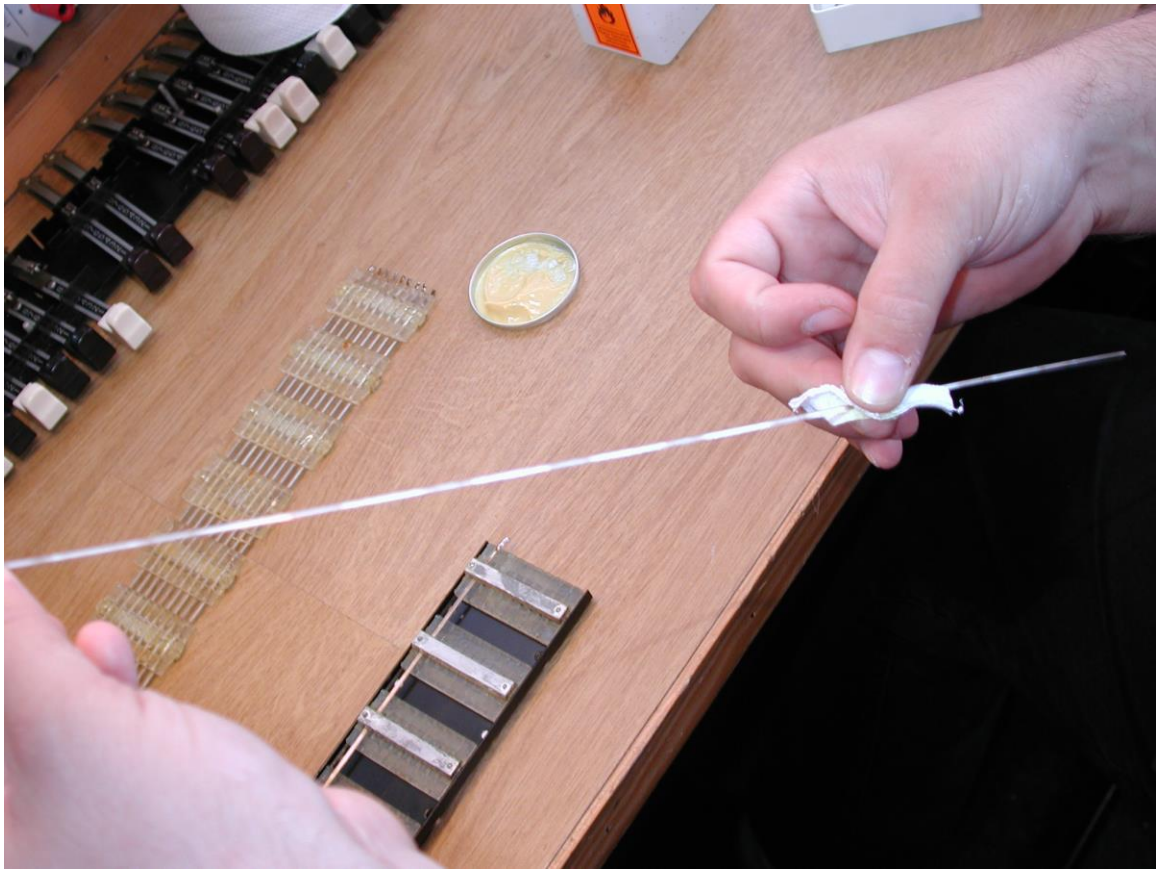


Abbildung 286: Sammelschiene fetten

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.7.2.3. Zusammenbau

Beim Zusammenbau empfehlen wir folgende Reihenfolge:
Zuerst sämtliche Plastik-Isolierstücke einsetzen und die darüber liegenden Blechstreifen samt Isoliergummi mit den kleinen Schräubchen befestigen. Jedoch jetzt noch nicht ganz festziehen, sondern nur lose eindrehen.

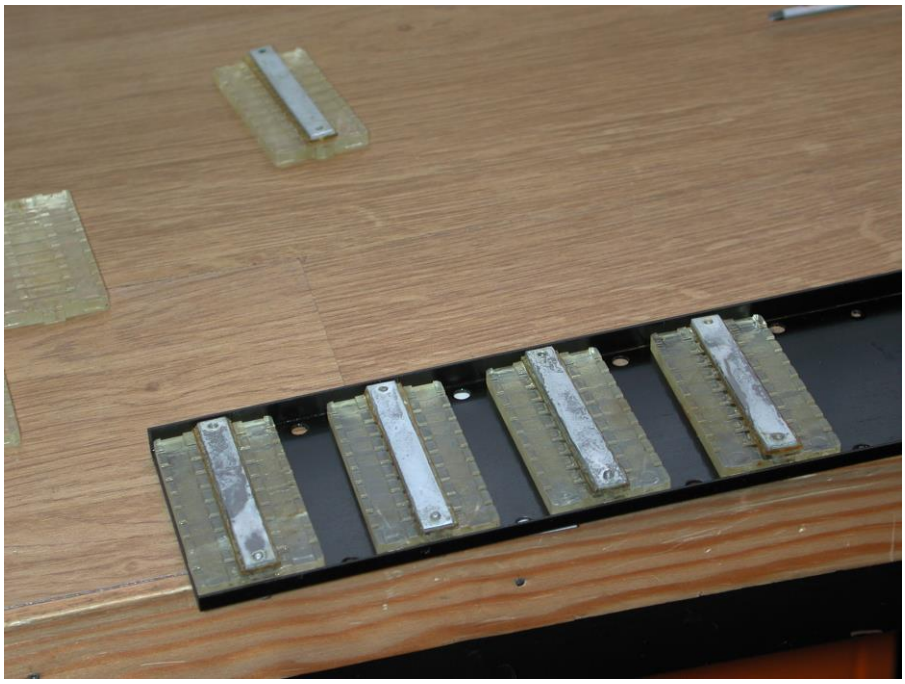


Abbildung 287: Einsetzen der Isolierplatten

Dann die gereinigte Sammelschiene unter allen Blechstreifen hindurchfädeln und ganz einschieben. Dasselbe mit den restlichen Sammelschienen.

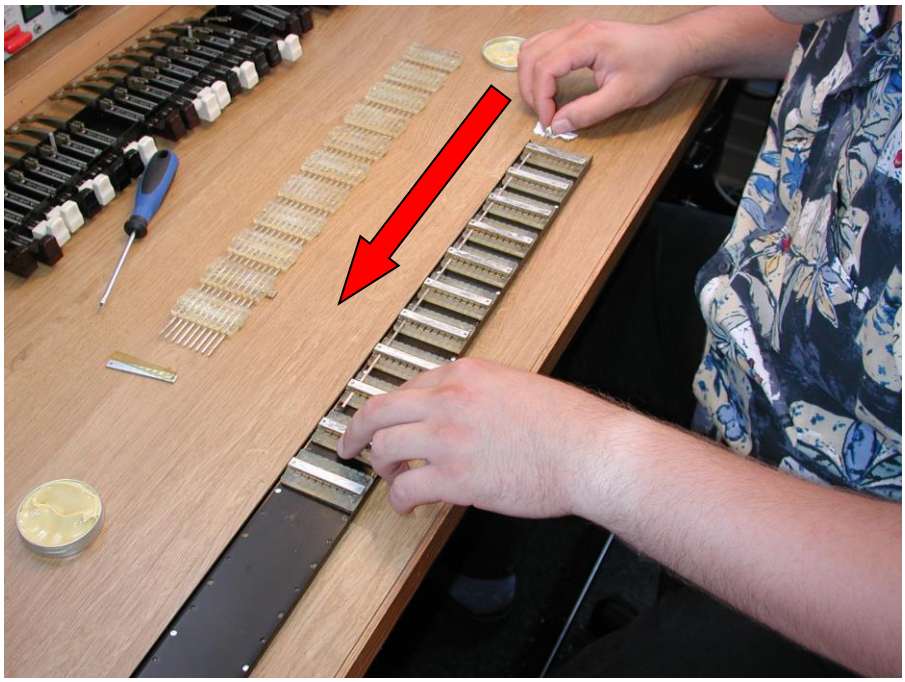


Abbildung 288: Einfädeln der Sammelschienen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Wenn alle 9 Sammelschienen eingesetzt sind, dann die kleinen Schräubchen ordentlich festziehen. Hintergrund: wenn sie zu locker sind und die Sammelschienen nicht alle glatt und stramm auf den Plastikstücken aufliegen, hakt nachher der Zugriegel beim Hin- und Herschieben!

Bitte beachten, dass wir es hier mit insgesamt 18 Sammelschienen (2mal 9) zu tun haben. Die Position des Mittelstücks markieren (das gibt es nur ein einziges Mal und sieht etwas anders aus als alle anderen!) und später wieder genauso einbauen. Vor dem endgültigen Zusammenschrauben bitte mit einem Durchgangsprüfer testen, ob die einzelnen Sammelschienen auch wirklich keinen Kontakt untereinander haben. Sie müssen alle elektrisch isoliert von allen anderen sein (auch vom Gehäusedeckel).

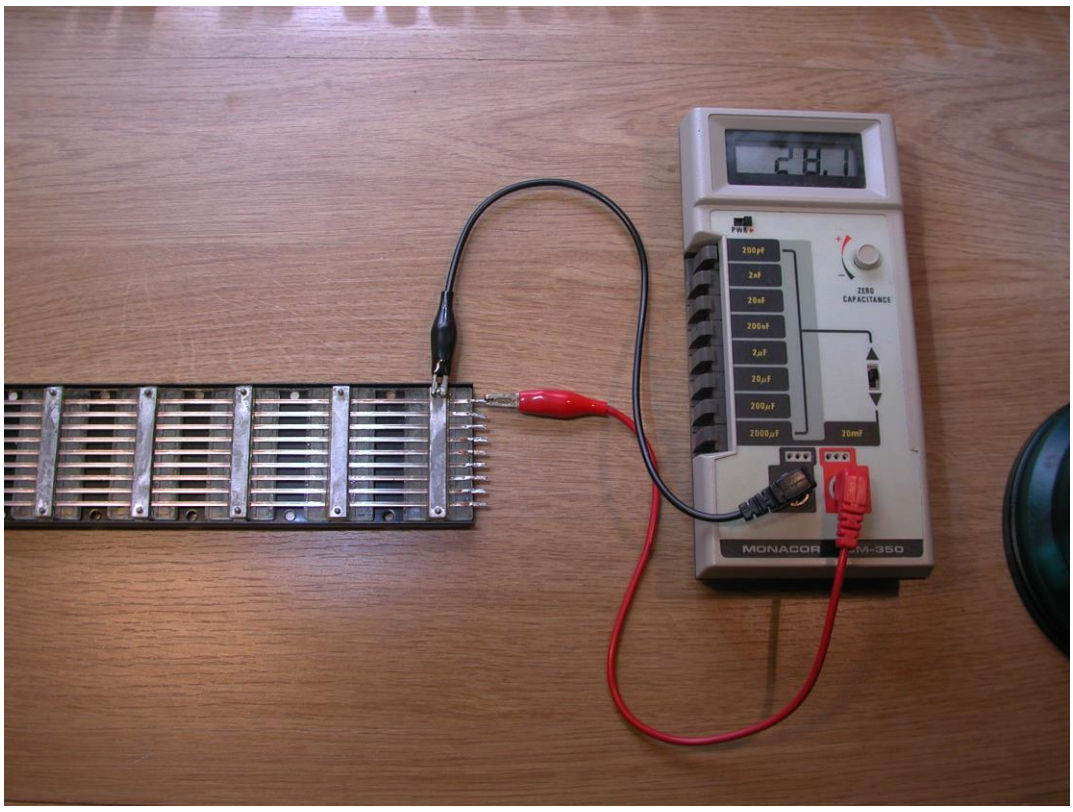


Abbildung 289: Kapazität messen

Mit einem Messgerät kann man noch die Kapazität jeder einzelnen Sammelschiene gegen das Blechgehäuse messen (s.o.). Die Werte liegen alle so um die 30pF und sind unkritisch (im Gegensatz zu anderen Stellen einer Hammond-Orgel; z.B: am Scanner!).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Das Zusammensetzen der Zugriegelbaugruppe kann einige Frustration auslösen, wenn man eines nicht weiß: vor dem Zusammenschrauben alle Zugriegel bitte etwas nach vorne herausziehen! Sonst haken die Schleifkontakte nämlich HINTER die letzte Sammelschiene und verklemmen sich! Also alle auf z.B. Stellung "4" stellen, dann die beiden Gehäusehälften zusammensetzen und mit den entsprechenden Schrauben zuschrauben. Die abgeklebten Löcher (siehe 10.7.1.1) nicht benutzen (die brauchen wir später noch, um die Baugruppe wieder am Obermanual zu befestigen! Sie erinnern sich?).

Abbildung 290: 9er Zugriegelgruppen in die Wanne drücken

Jetzt bitte alle Zugriegel auf einwandfreie Funktion testen. Oftmals hakt jetzt noch der eine oder andere. In diesem Fall bitte die Schrauben (sowohl die großen als auch die kleinen) fester anziehen, jedoch nicht mit roher Gewalt. Normalerweise sollte sich das Haken jetzt geben! Wenn nicht, dann bitte nochmal alles auseinander nehmen und prüfen, ob eine der Sammelschienen vielleicht beim Einbau versehentlich gestaucht wurde, sodass sich irgendwo ein kleiner "Wellenberg" oder "Hügel" gebildet hat, über den der Schleifer nicht richtig darüber rutscht und sich deshalb verhakt.

Nur Mut: auch bei uns wären wir anfangs fast verzweifelt (so ziemlich alles hat gehakt und geklemmt)! Aber man kriegt es wirklich hin!

Am Ende kann man dann die Baugruppe wieder auf das Obermanual aufschrauben (jetzt die Klebestreifen natürlich abziehen).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Noch die Detailaufnahme (durchs Mikroskop) eines Schleifkontaktes. Zu sehen ist – im Vergleich zu einem Streichholz- die Unterseite des Schleifers. Ganz genau hinguken: man sieht auch den hauchdünnen Metall-Widerstandsdraht!

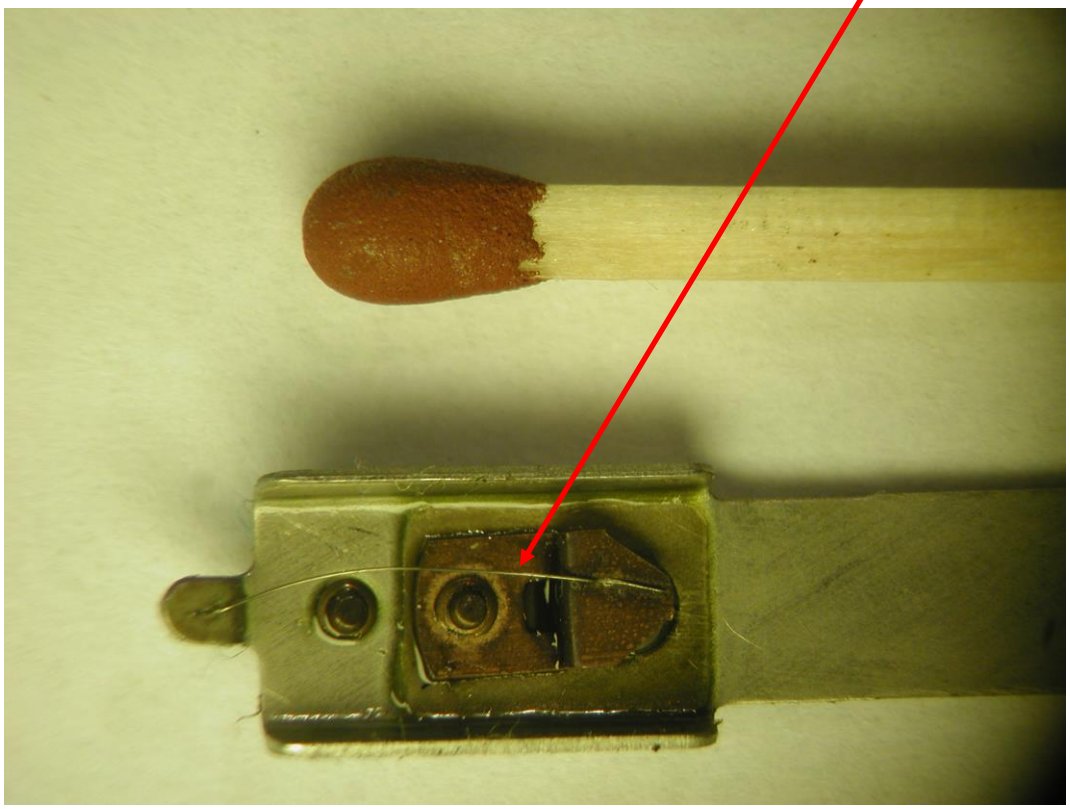


Abbildung 291: Widerstandsdrähtchen (Mikroskopaufnahme)

10.7.3 Zugriegelbaugruppe: Wiederanbau an Manualblock

Beim Aufsetzen und Festschrauben der Zugriegelbaugruppe gibt es noch zwei "Fallen", in die man tappen kann.

1. Falle:

An die - nach außen ragenden - Anschlüsse der Sammelschienen werden ja zu beiden Seiten hin zwei kleine Kabelbäume angelötet. Diese Kabelbäume werden jeweils durch eine Metalllasche an der Zugriegelbaugruppe angeschraubt (eine Art Zugentlastung). Das geht aber nur, solange die Baugruppe noch nicht montiert ist!
Begründung: Sitzen die Zugriegel ersteinmal auf dem Manualblock, kommt man an die eine Sechskant-Mutter nicht mehr dran, die zum Lösen und Festziehen der Befestigungsschraube der Metalllasche benutzt wird!

Lösung:
Zuerst die beiden Metallhalter links und rechts anschrauben (jeweils eine kleine Schraube ohne Mutter und eine große Schraube mit Mutter), dann erst die Zugriegelbaugruppe auf den Manualblock aufsetzen und aufschrauben.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

2. Falle:

Beim Verschrauben der Zugriegelbaugruppe auf dem Manualblock wird man bemerken, dass eine Schraube nicht so richtig "fassen" will und sich damit nicht festschrauben lässt. Der Hintergrund: die Schraube ist dazu gedacht, auch gleichzeitig die Chorus/Vibrato-Umschalteinheit (siehe Kapitel 10.7.7) zu fixieren, die sich direkt unter der Zugriegelbaugruppe befindet! Im "Ruhezustand" neigt sich die gesamte Umschalteinheit aber - gemäß der Schwerkraft- etwas in Richtung Fußboden. Und damit auch das Schraubenloch, in das die Schraube greifen soll. Die Schraube ist einfach zu kurz, um so noch das Schraubenloch zu erreichen.

Lösung:
Umkippen der gesamten Manualbaugruppe!
Ich gehe davon aus, dass die beiden Manuale inzwischen zusammen verschraubt sind und wir so wieder von dem gesamten Manualblock sprechen können. Die Montage der bewussten Schraube ist nur in der "Kopfüber-Stellung" möglich; denn nur dann fällt die Umschalteinheit in die gewünschte Ausgangsstellung zurück, liegt dann nahe am Blechgehäuse an und ist dementsprechend mit der Schraube zu fassen.

Das Umkippen der Baugruppe erreicht man am besten, wenn man sie zuerst aufstellt, und dann in einem zweiten Schritt langsam auf den Rücken legt. Die Schaumstoffsitzunterlage einer alten Gartenbank tut hier gute Dienste, um mechanische Beschädigungen zu vermeiden (einfach unterlegen).

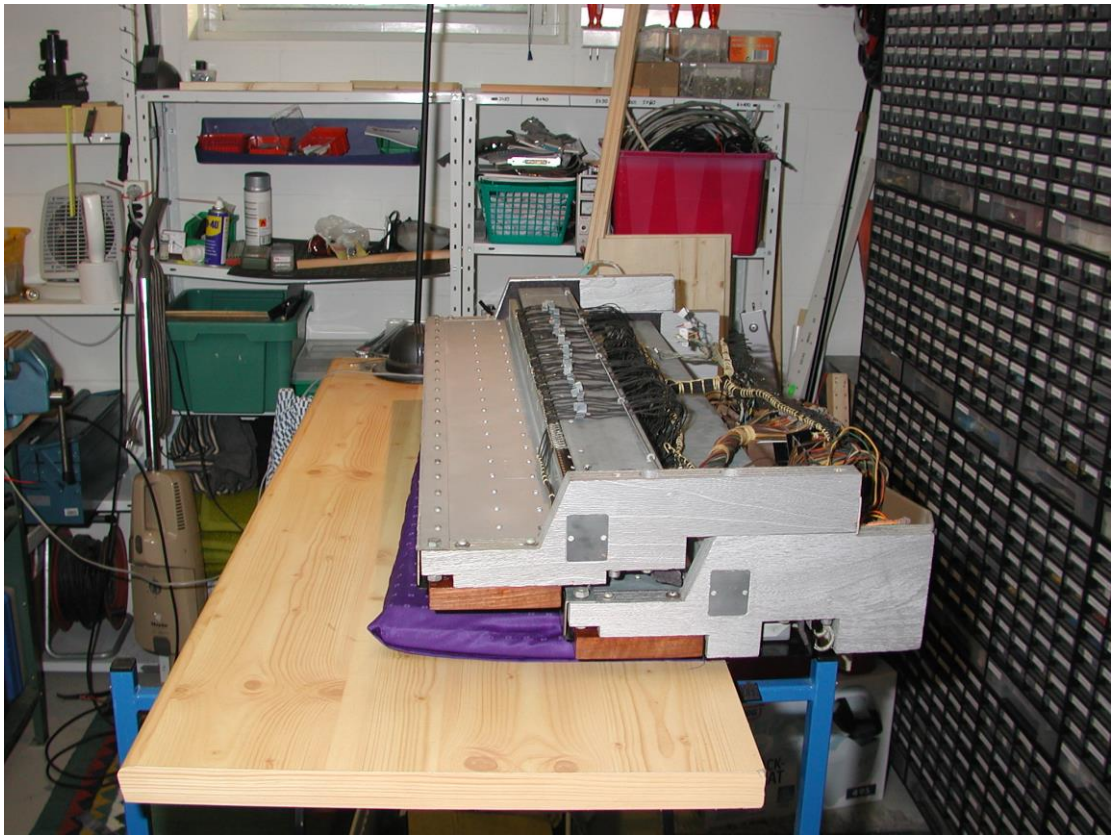


Abbildung 292: Manualbaugruppe auf dem "Rücken"

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Um die Schraube dann (von unten) kopfüber einzufädeln, ist es erforderlich, dass das Schraubenloch der Umschalteinheit genau mittig (zentrisch) über dem Schraubenloch der Zugriegeleinheit liegt. Das erreicht man, indem man vorher z.B. mit einem langen Nagel durch beide Schraublöcher bohrt und durch etwas "Herumstochern" beide zur Deckung bringt.

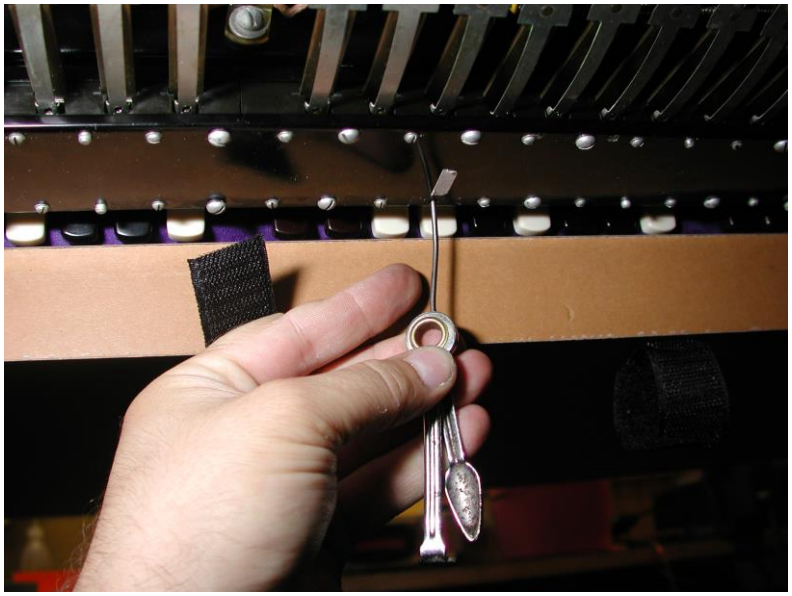


Abbildung 293: Schraubenloch zentrieren

Bei uns war gerade ein alter Pfeifenstopfer auffindbar, dessen langer Dorn sich für diesen Zweck prima eignete. Sind die Schraubenlöcher ausgerichtet, stecken Sie die Schraube von unten ein und versuchen Sie, das Gewinde zu fassen und dann festzuschrauben. Klappt das nicht, muss weiter probiert werden. Ich gebe zu: es gibt schönere Arbeiten.

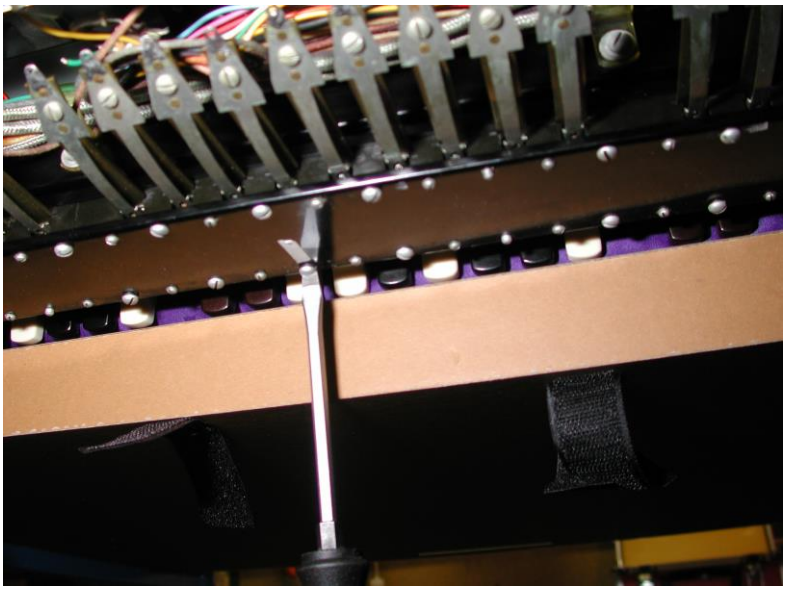


Abbildung 294: Schraube "über Kopf" festdrehen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.7.4 Zugriegelbaugruppe: Modifikation

Eine systemimmanente Schwäche der Zugriegel ist der elektrische Abgriff an den Lötlaschen. Im jahrelangen Gebrauch brechen die Anschlusskabel oft direkt hinter der Lötstelle ab, weil sie beim Herausziehen oder Hineinschieben des Zugriegels ja immer mitbewegt werden.

Ganz verhindern kann man diesen Effekt nicht, jedoch stark "zähmen". Im Original werden die Anschlussdrähte jeweils durch ein kleines Loch in einem Bakelitstreifen geführt (=Zugentlastung), bevor sie dann direkt an den Lötanschluss des betreffenden Zugriegels angelötet werden. Das hier verwendete Originalkabel ist meistens sehr starr und besitzt bei früheren Orgelmodellen eine Stoffisolation. Für die Kontaktierung einer beweglichen Einheit eigentlich total ungeeignet. Vermutlich hatte man damals aber nichts anderes, sodass diese Drähte Verwendung fanden.

Heute sind allerdings hochflexible Laborkabel erhältlich, die eine weitaus höhere Knick- und Biegebeanspruchung vertragen als früher! Wir haben uns bei Reichelt-Elektronik einige Meter dieses Kabels bestellt und erfolgreich eingesetzt. Der innere Aufbau dieser Litze ist natürlich um einiges fortschrittlicher: die Litze besteht aus unzähligen, feinsten Kupferhärchen; der Mantel besteht aus extrem beanspruchbarem Silikon oder hitzebeständigem PVC. Natürlich ist der Durchmesser des Kabels etwas größer, aber das stört nicht (Abbildung 295).

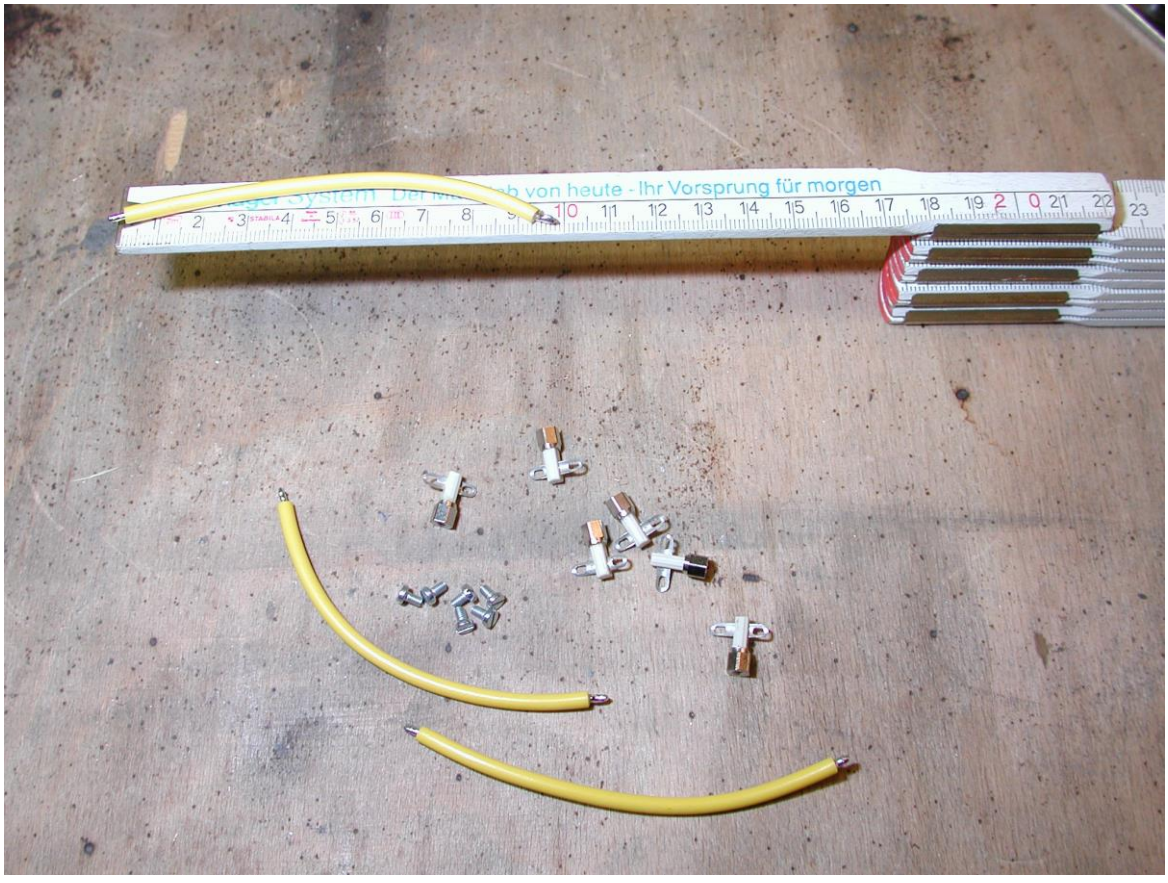


Abbildung 295: Laborkabel und Lötstützpunkte

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Nun gibt es mehrere Ansätze, die Kabelverbindung zu den Zugriegeln mechanisch zu verbessern (und damit auch die Betriebssicherheit der gesamten Orgel zu erhöhen). Für uns war es - im Sinne nostalgischer Überlegungen - wichtig, die nun beschriebenen Modifikationen jederzeit wieder spurlos rückgängig machen zu können. Daher schieden Lösungen wie "komplettes Kabel wechseln" bei uns von vorneherein aus.

In einem Bauteile-Resteverkauf erstanden wir einen Beutel mit isolierten Lötstützpunkten (siehe Abbildung 296). Die Besonderheit: im Sockel ist ein kleines M2,5-Gewinde eingelassen, sodass man diese Lötstützpunkte auch festschrauben kann. Wir nahmen uns also den ersten Bakelitstreifen vor, fädelten dort alle 9 Anschlussdrähte aus den Löchern und schraubten stattdessen 9 Lötstützpunkte ein.

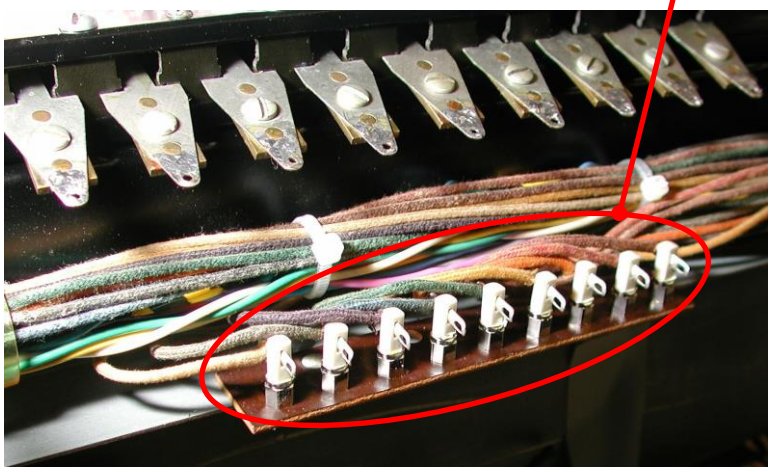


Abbildung 296: Lötstützpunkte eingeschraubt

Dort löteten wir nun die Enden aller Anschlussdrähte an und hatten damit 9 saubere Übergabepunkte, von denen aus wir die Verbindung zu den Zugriegeln über ein 10cm langes Stückchen des hochwertigen Laborkabels herstellen konnten.

Die Reihenfolge der Kabel sieht bei einer Hammond wie folgt aus (von 1’ absteigend zu 16’ sortiert):

KABEL	TONLAGE	ZUGRIEGELKAPPE
- weiß	(1’)	WEIß
- grau	(1 1/3’)	SCHWARZ
- violett	(1 3/5’)	SCHWARZ
- blau	(2’)	WEIß
- grün	(2 2/3’)	SCHWARZ
- gelb	(4’)	WEIß
- orange	(8’)	WEIß
- rot	(5 1/3’)	BRAUN
- braun	(16’)	BRAUN

Vergleiche bitte hierzu auch Abbildung 297:

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

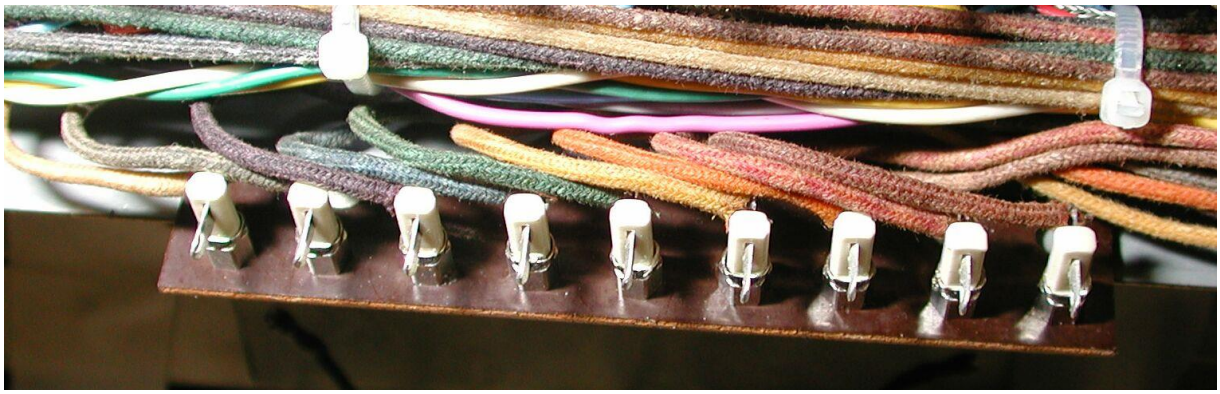


Abbildung 297: Farbreihenfolge an den Lötstützpunkten

(nur in farbig gedruckter Version des Buches erkennbar)

Sowohl die Lötstellen an den Zugriegeln als auch an den Lötstützpunkten hüllten wir mit einem Stückchen Schrumpfschlauch ein. Da er nach dem Schrumpfprozess ziemlich steif und hart wird, wirkt er quasi als "Knickschutz" und verhindert das Abbrechen der Litze direkt hinter der Lötstelle. So gerüstet versprechen wir uns etliche Jahre störungsfreier Zugriegelbedienung.

Schwierigkeiten gibt es lediglich bei der Verdrahtung hinter dem Preset-Anschlussblock. Hier müssen einige "Ableitbleche" angeklebt werden, die verhindern, dass sich die Kabelschlaufe bei der Bewegung in dem Preset-Block verfängt und verhakt. Mit Teppichklebeband und einer dünnen Kunststoffplatte (ca. 3x 7cm) ist das aber auch schnell erledigt. Wir benötigten drei dieser Ableitplatten.

Pedal:
die beiden Zugriegel für das Pedal verfügen über keine Zugentlastung aus Bakelit. Um dennoch auch hier Lötstützpunkte verwenden zu können, klebt man sich hier mit etwas Teppichklebeband und einer kleinen Kunststoffplatte einen kleinen "Balkon" an, auf dem man die beiden notwendigen Punkte anschraubt.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Das Ergebnis sieht nun etwas "schriller" aus als das Original, ist aber mit Sicherheit erheblich zuverlässiger. Außerdem ist der rückstandsfreie Rückbau jederzeit möglich (Aufatmen der Nostalgiker!). Wohlgemerkt- hier ging es uns in erster Linie um technische Aspekte und die verbesserte Betriebssicherheit.

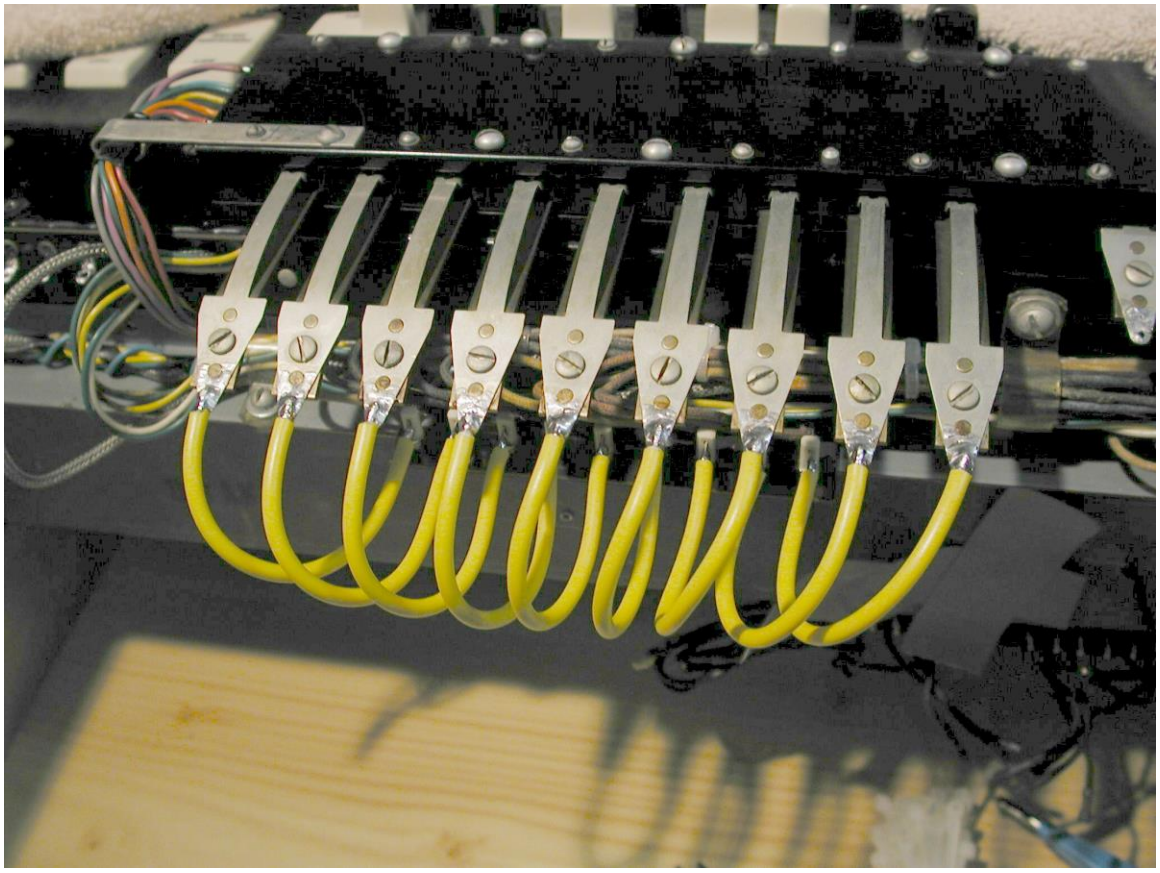


Abbildung 298: neue Anschlusskabel an den Zugriegeln

Hinweis:
im obigen Bild sind noch keine zusätzlichen Schrumpfschläuche an den Lötstellen verwendet worden.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.7.5 Linke Rocker-Switches

Die Baugruppe "Rocker-Switches, links" beherbergt die Wippschalter "VOLUME", "VIBRATO SWELL" und "VIBRATO GREAT". Um sie zu öffnen, schraubt man zuerst den Blechdeckel ab (2 Schrauben), der jedoch nur von unten zugänglich ist.

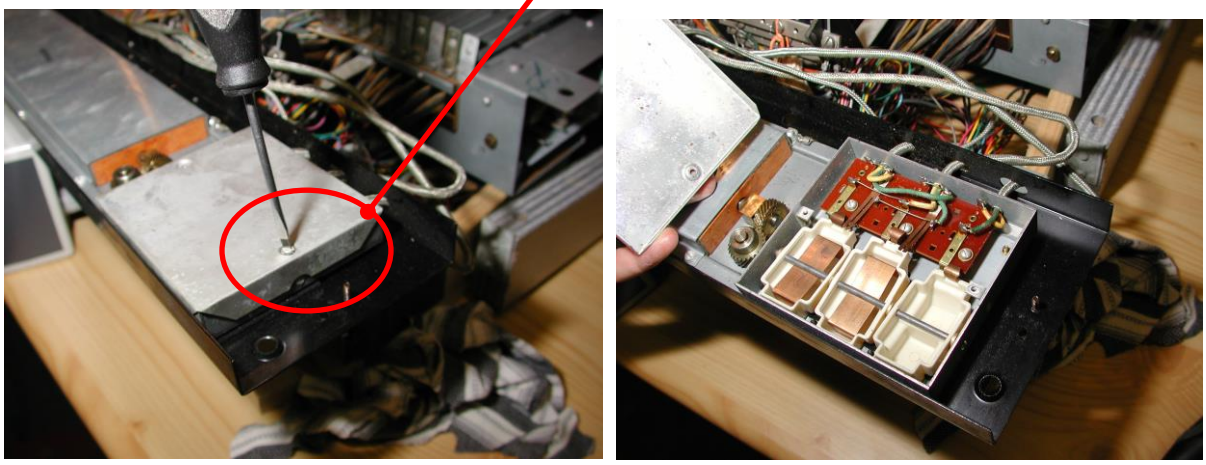


Abbildung 299: Abnehmen des Blechdeckels

Darunter kommt das Innenleben der Rocker-Switches zum Vorschein (Abbildung 300). Die Mittelachse und die Metallwippen kann man mit etwas Staufer-Fett vor Korrosion schützen.

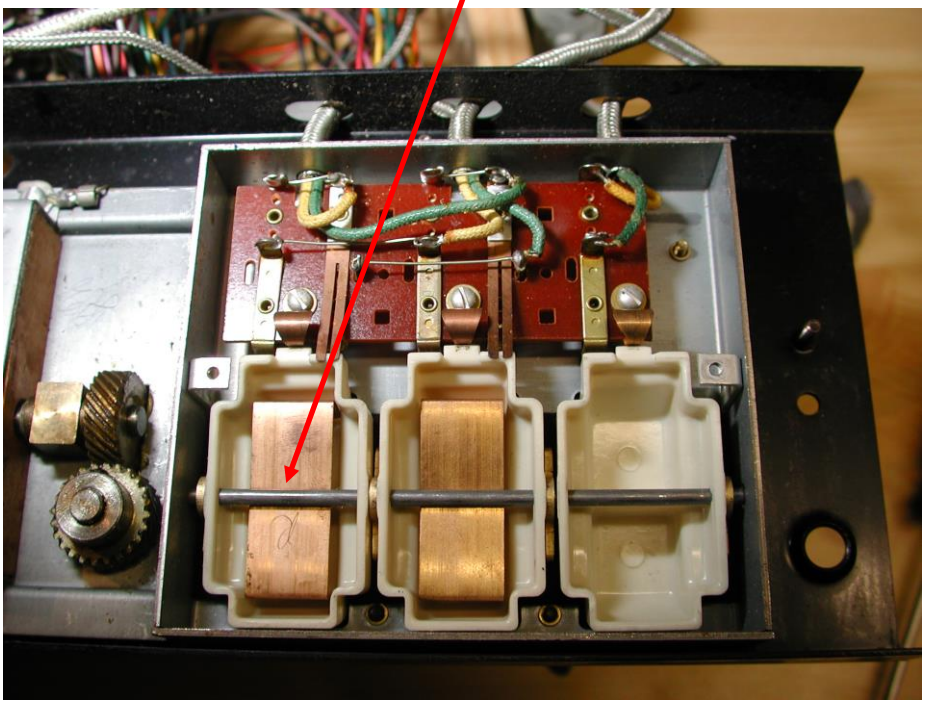


Abbildung 300: Blick ins Innere

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.7.6 Rechte Rocker-Switches

Auch die Baugruppe "Rocker-Switches, rechts" kann durch Abschrauben der Blechhaube leicht geöffnet werden. In ihr findet man die Wippschalter für "PERCUSSION", "PERCUSSION VOLUME", "PERCUSSION DECAY" und "PERCUSSION HARMONIC SELECTOR".

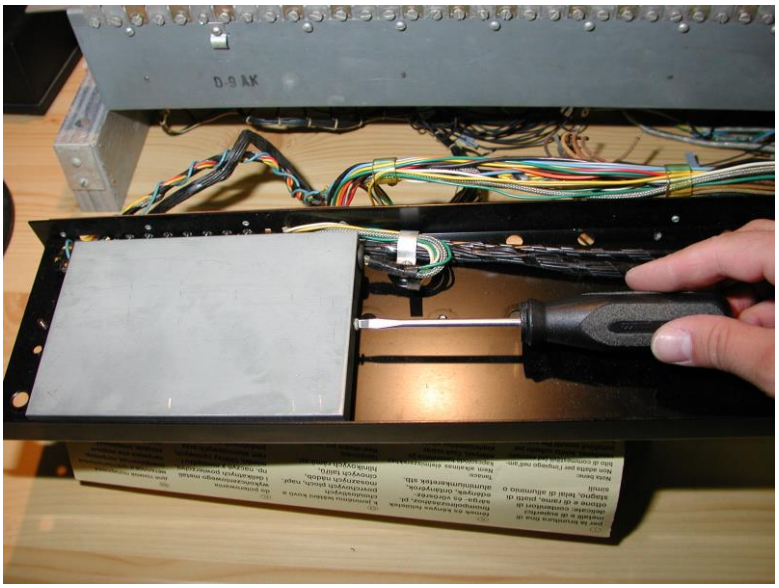


Abbildung 301: Aufschrauben des Blechdeckels

Nimmt man den Blechdeckel ab (Abbildung 302), kann man das Innenleben gut erkennen (Abbildung 303).

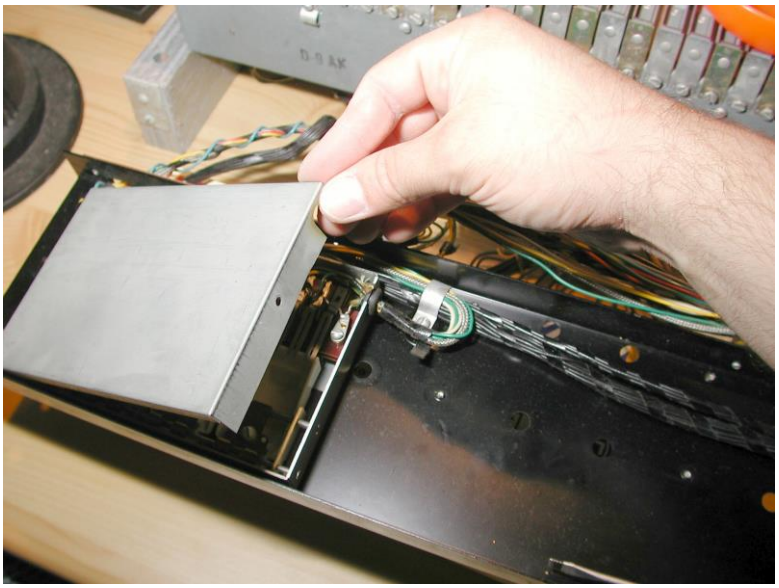


Abbildung 302: Abheben des Blechdeckels

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Das Funktionsprinzip der Rocker-Switches ist bei allen gleich: eine Metallwippe, die in der Mitte auf eine Achse gesteckt ist, betätigt mit ihrem Plastikgehäuse verschiedene Schaltkontakte.

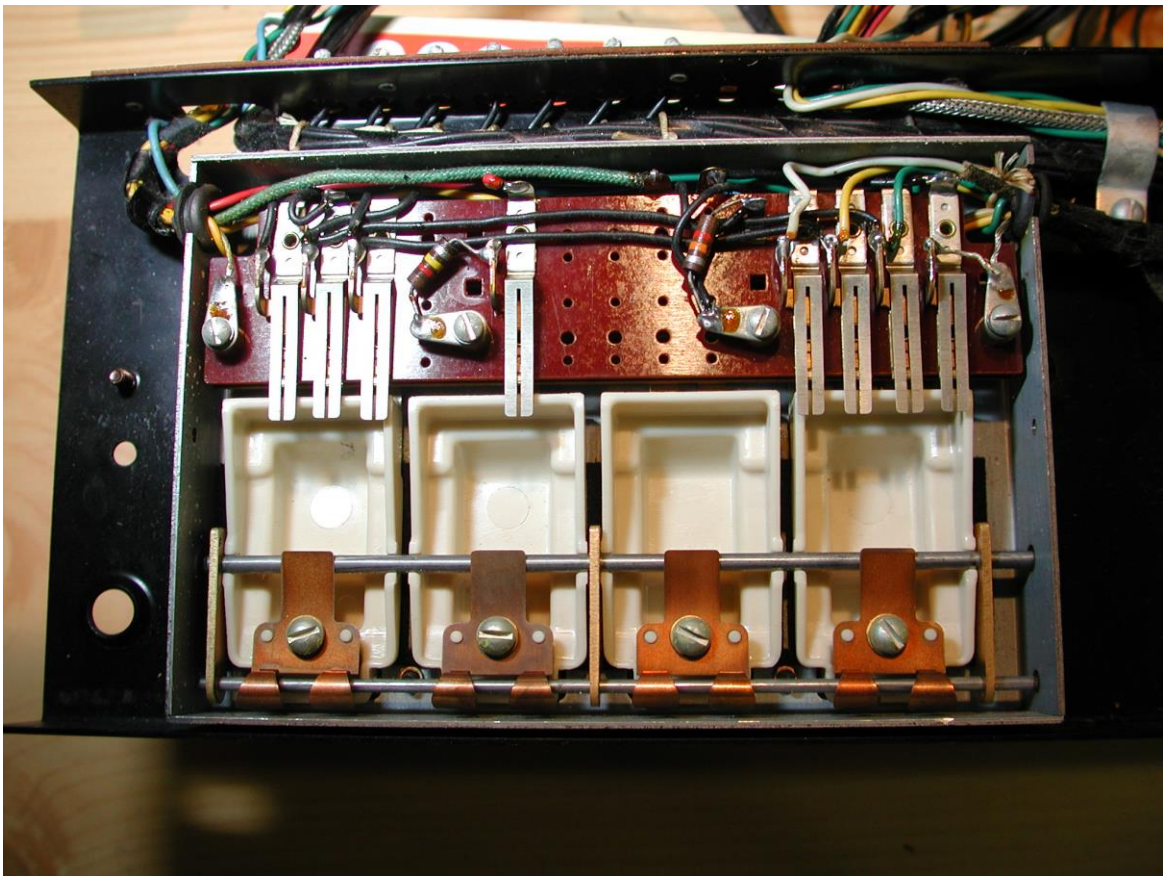


Abbildung 303: Blick in die geöffnete Einheit

Diese (federnden) Kontaktzungen besitzen auch am Ende ein hauchdünnes Drähtchen aus Palladium, das man bei der Reinigung oder Konservierung mit Zugriegelfett keinesfalls abreißen darf!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Damit die Plastikwippen auch in zwei definierten Endstellungen verharren, benutzt man hier einen interessanten Mechanismus aus zwei Metallschlingen, die an einer weiteren Metallachse anliegen und mit dem Plastikkörper über oder unter diese Achse gewippt werden.

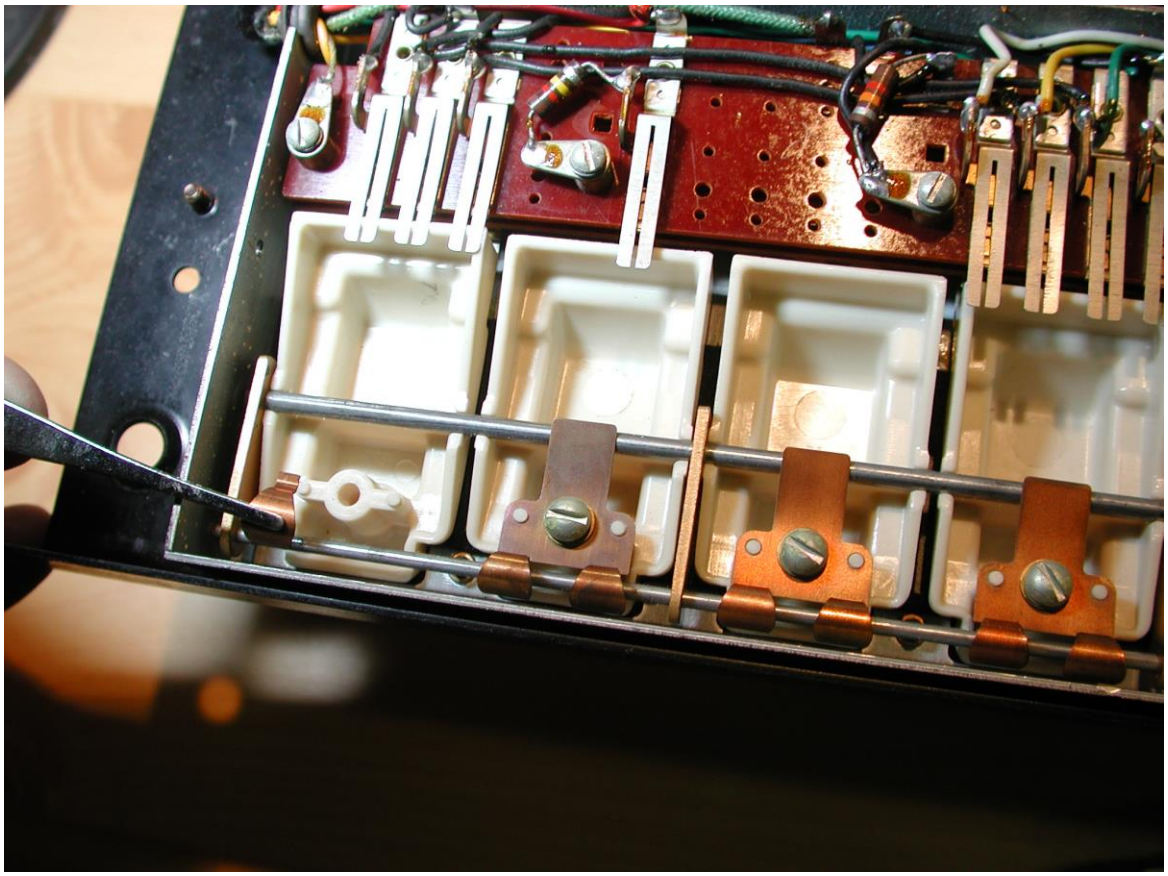


Abbildung 304: Aushaken einer Kupferschlinge

10.7.6.1. Reinigung und Konservierung

Die Kontaktfedern kann man gut mit einem in Spiritus getränkten Blatt Papier reinigen. Dazu einen schmalen Streifen Schreibmaschinenpapier (evtl. geht auch ein Löschblatt) mit Spiritus oder Reinigungsbenzin tränken, unter die geschlossenen Kontakte schieben und dann wieder langsam und vorsichtig herausziehen.

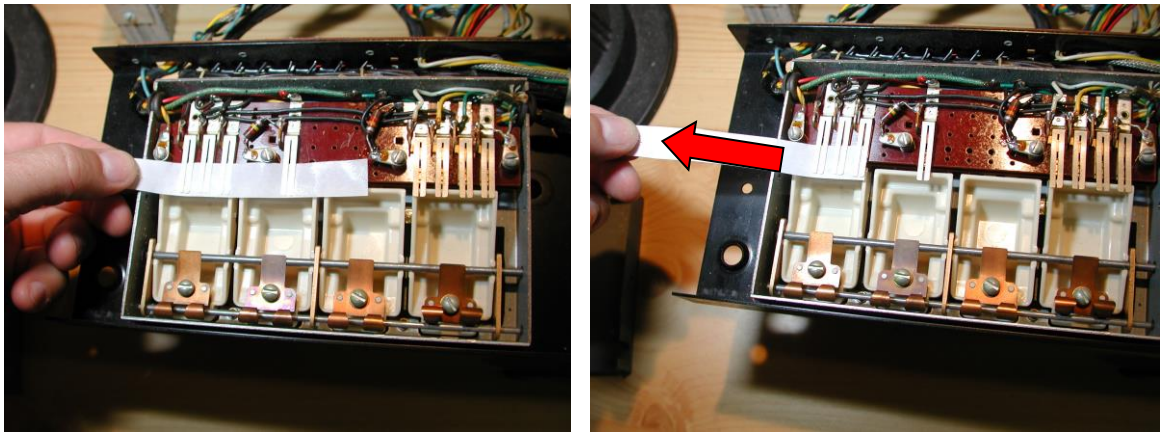


Abbildung 305: Reinigung der Kontakte mit Spiritusstreifen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

So scheuert das Spirituspapier an den Palladium-Drähtchen vorbei und reinigt sie. Anschließend mit einem Wattestäbchen etwas Zugriegelfett auftragen.

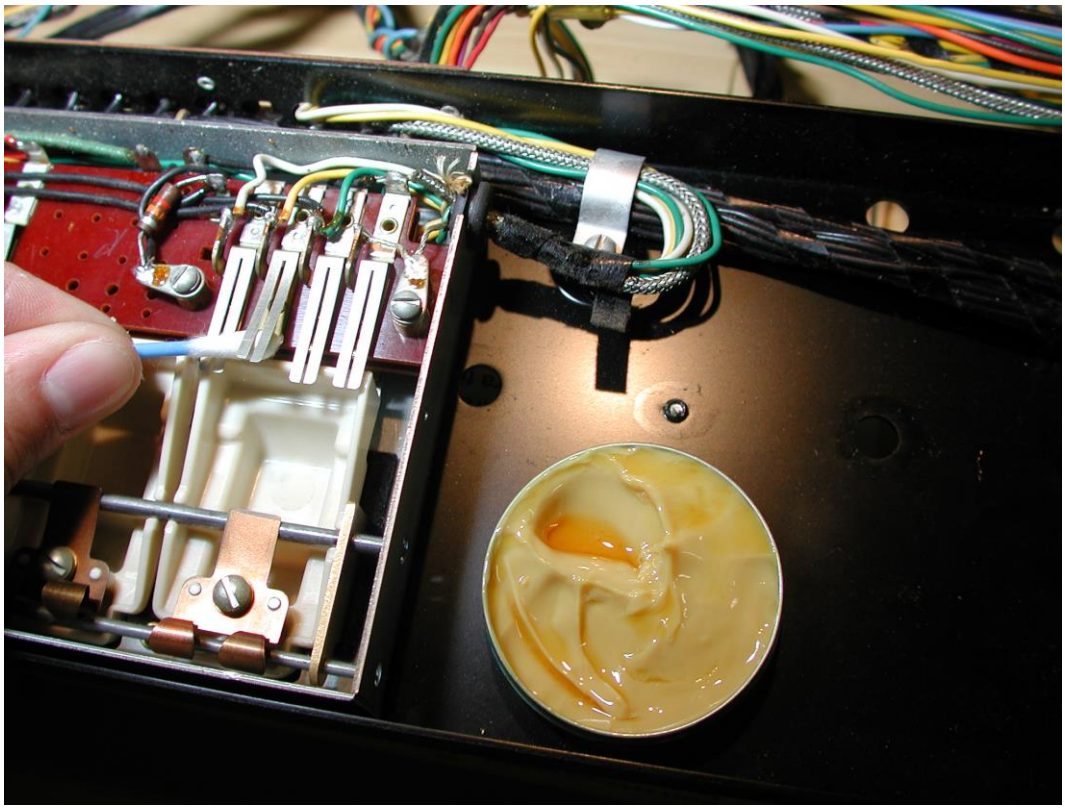


Abbildung 306: Konservierung mit Zugriegelfett

Dabei die Kontaktfedern nicht zu stark verbiegen! Vorsicht: die Palladium-Drähtchen sind scharfkantig und es bleibt gerne etwas Watte daran hängen. Dieses vor dem Zusammenbau wieder entfernen (Pinzette).

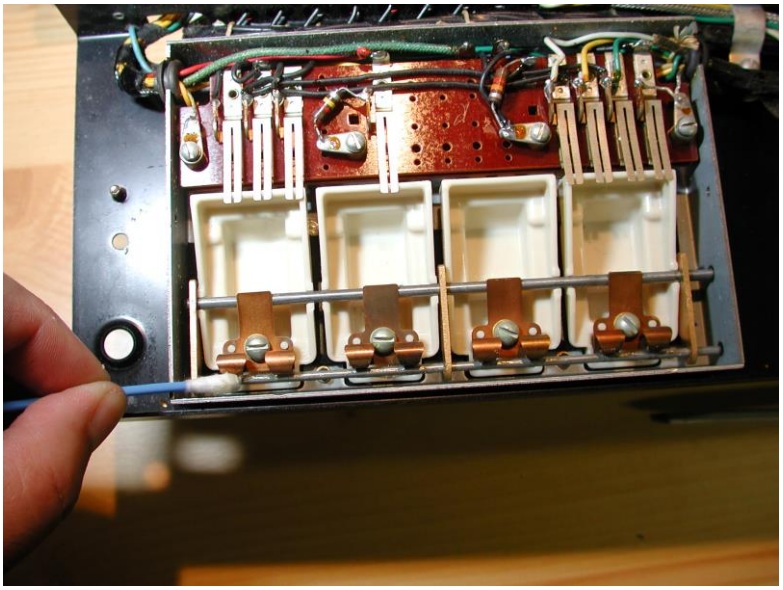


Abbildung 307: Fetten der Kupferschlingen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.7.7 Chorus/Vibrato Umschalteinheit

Wie jeder weiß, geschieht die Umschaltung zwischen Chorus und Vibrato durch einen runden Drehknopf. Dieser betätigt über eine 90Grad- Zahnradverbindung (Winkelgetriebe) eine Drehstange in der daneben liegenden Umschalteinheit. Auf diese Drehstange sind mehrere Plastikdrehkörper (Exzenter) aufgeschoben, die -abhängig von der Drehknopfstellung- die jeweiligen Kontaktgruppen öffnen oder schließen. Das Betätigungsprinzip ist durchaus vergleichbar mit der Ventilsteuerung über eine Nockenwelle beim Otto-Motor!

Um die Umschalteinheit zu öffnen, dreht man die seitlichen Schlitzschrauben heraus (oben rechts ist eine Masseverbindung mit eingeschraubt, darauf beim Zusammenbau achten). Dann lässt sich die Blechhaube abnehmen.

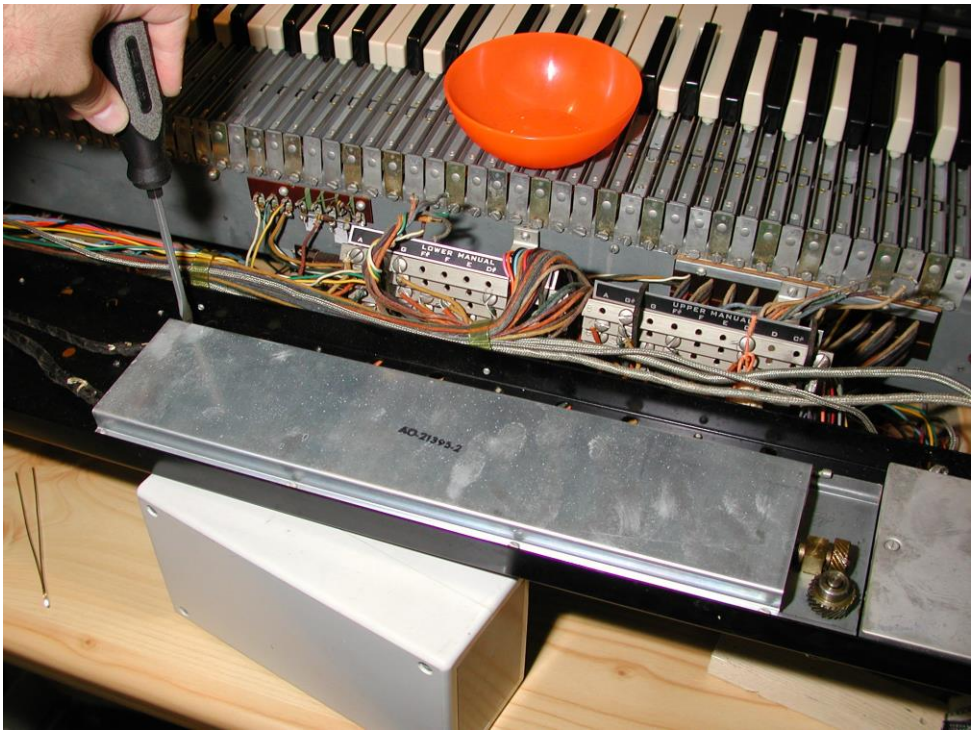


Abbildung 308: Umschalteinheit aufschrauben

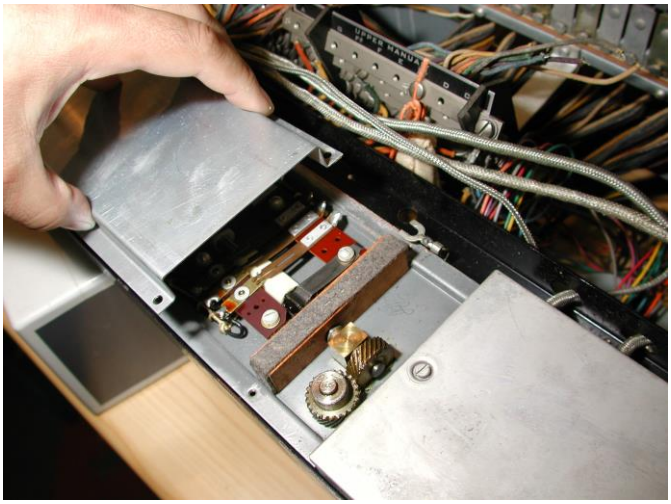


Abbildung 309: Umschalteinheit: Deckel abnehmen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Jetzt wird die Drehstange mit den 6 Plastiknocken (Drehkörpern) sichtbar. Durch Abschrauben der Kontaktfedern (=3 Platinenstreifen) kann man nun mit einem Spirituslappen den Abrieb auf den Plastiknocken abwischen. Vorsicht: nicht in den Kontakten / Palladium-Drähtchen hängen bleiben!

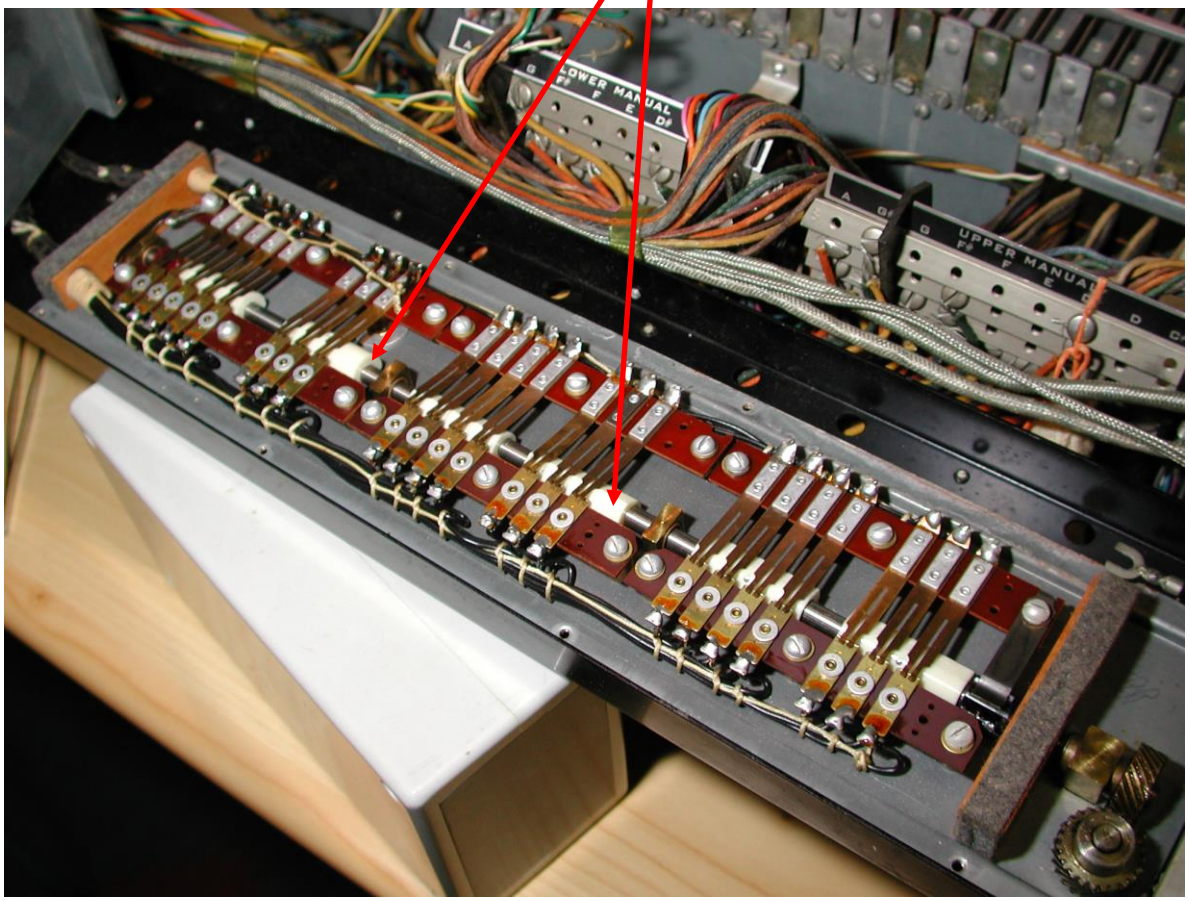


Abbildung 310: Blick in die Umschalteinheit

Perfektionisten (so wie wir) fetten nun noch etwas die Lager der Drehstange und die Zahnradverbindung neben der Umschalteinheit. Vor dem Zusammenbau lohnt eine Kontrolle der Kontaktverbindungen mit einem einfachen Ohmmeter. Der Übergangswiderstand eines Kontaktes ist sehr gering (< 1Ohm).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Nach der Reinigung und Konservierung der Kontakte (zu sehen in Abbildung 311) kann man die Plastiknocken noch hauchdünn mit etwas Stauferfett einreiben. Nicht zu dick, damit es beim Drehen nicht auf die Kontakte aufgewischt wird (da soll das Zugriegelfett (=Kontaktfett) hin, nicht das Stauferfett (Schmierung der Mechanik)!).

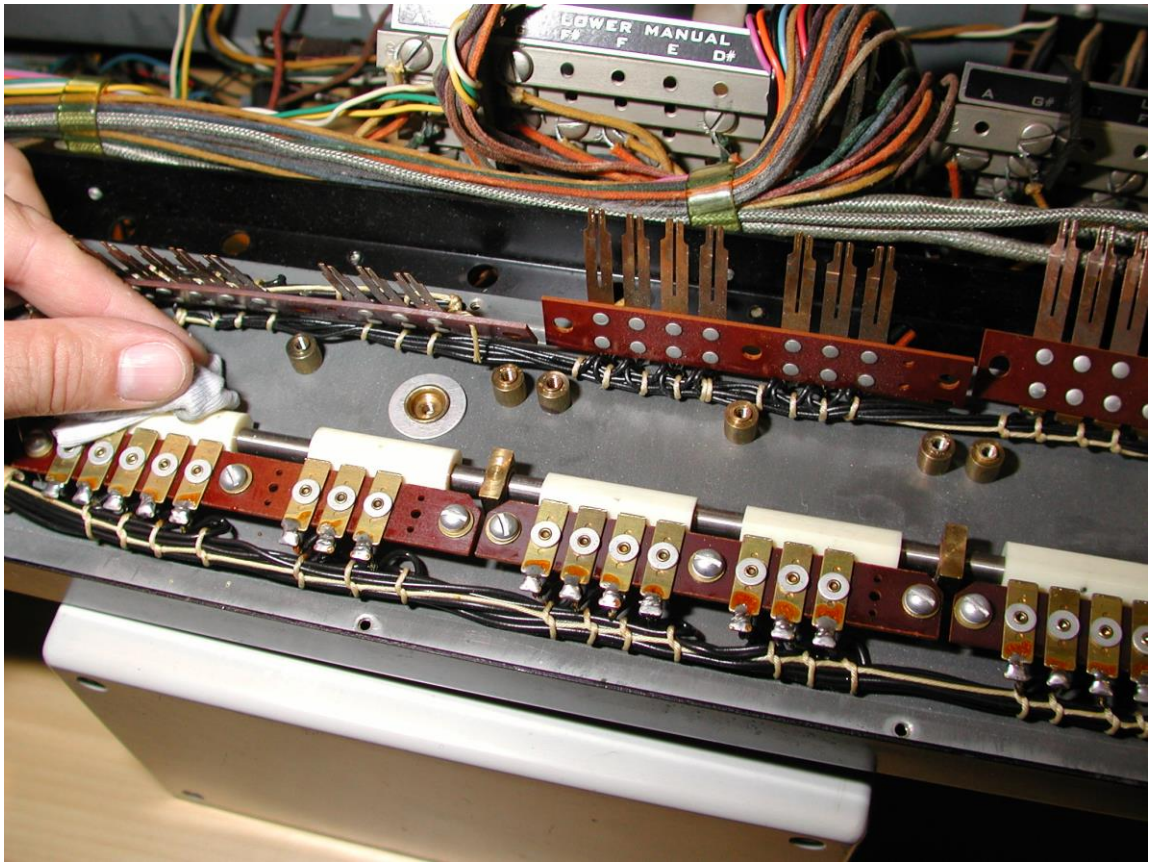


Abbildung 311: Einfetten der Plastiknocken

Um besser an die Plastiknocken heranzukommen, können die drei Platinenstreifen mit den Kontaktfedern abgeschraubt (siehe Abbildung 312) und vorsichtig hochgeklappt werden.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Hinweis:
In dieser Umschalteinheit ist auch der berühmte Widerstand R44 (bei uns: 22kOhm; abhängig vom Modelljahr!) zu finden, durch den zwischen Chorus und Vibrato gewählt wird! Eine gängige Modifikation ersetzt diesen Festwiderstand durch ein Potenziometer, wodurch der Übergang zwischen Chorus und Vibrato stufenlos veränderbar wird. Bei späteren Orgeln ist zu beobachten, dass dieser Widerstand von Hammond etwas im Wert verkleinert wurde; dadurch enthält das Chorus etwas mehr Amplitudenvibrato, verliert -nach meiner Ansicht- jedoch auch etwas von der "Silbrigkeit" des Klanges, wenn man zu niederohmig wird. Hier entscheidet jedoch nur der persönliche Geschmack!

Mehr dazu auch in Kapitel 14.1.2!

R44 (etwas versteckt unter dem Kabelbaum)

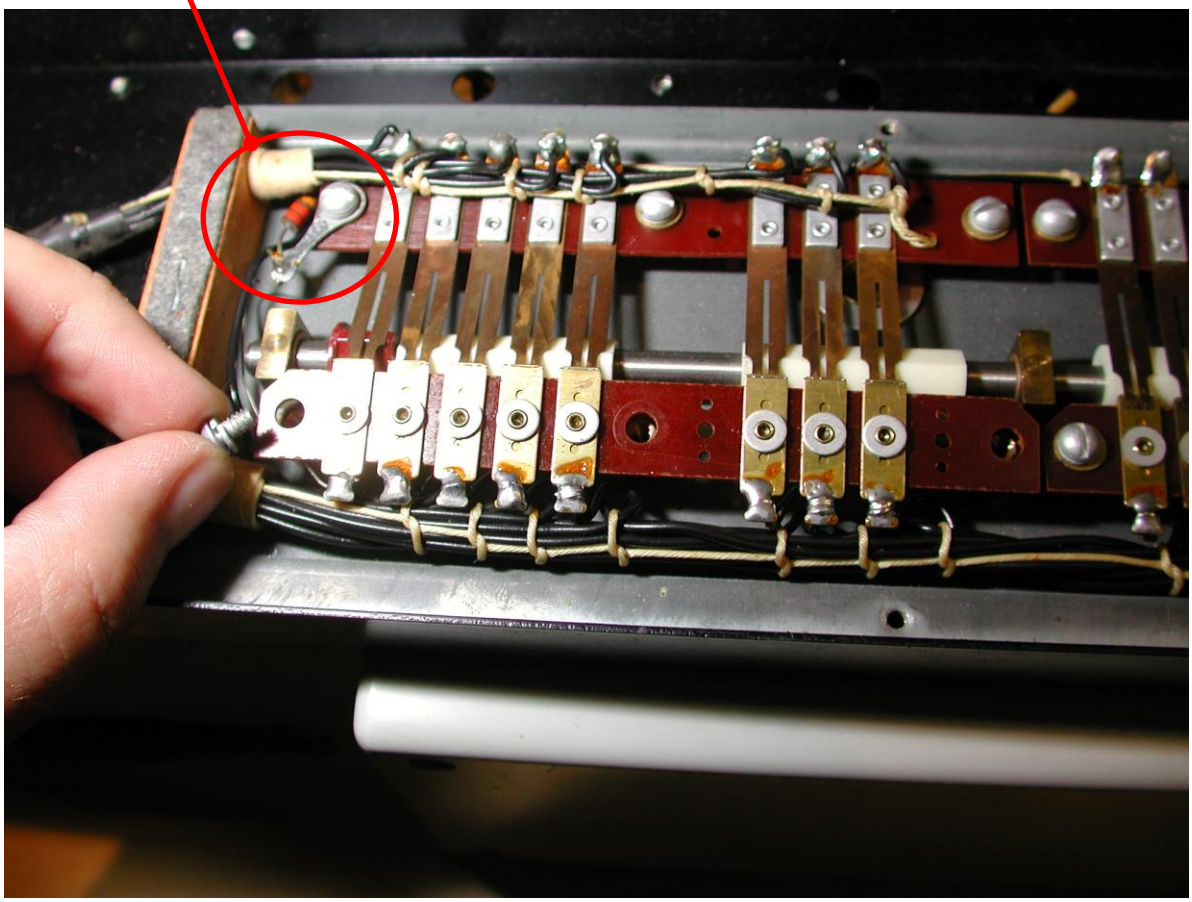


Abbildung 312: Abschrauben der Kontaktstreifen und R44

Noch etwas zur Funktionsweise der Vibrato-Umschalteinheit: die vielen Schaltergruppen fungieren als eine Art "9-aus-16-Decoder". Da der Scanner "nur" 9 verschiedene Eingänge besitzt (durch Doppelbelegung nämlich nicht 16 !), werden mit dieser Umschalteinheit für jede Vibrato/Chorusstufe 9 geeignete Anzapfungen der LineBox zum Scanner ausgewählt und durchgeschaltet. Mehr dazu in Abbildung 139!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

10.8 Hilfsmittel „LED-Platine“

Ein einfaches, aber nützliches Werkzeug zur Reparatur der Manualbaugruppe ist die “LED-Platine”. Es handelt sich dabei um eine kleine Platine, auf der insgesamt 9 LEDs mit 150Ohm-Vorwiderstand und einer 9V-Block-Batterie zu finden sind (siehe Abbildung 313).

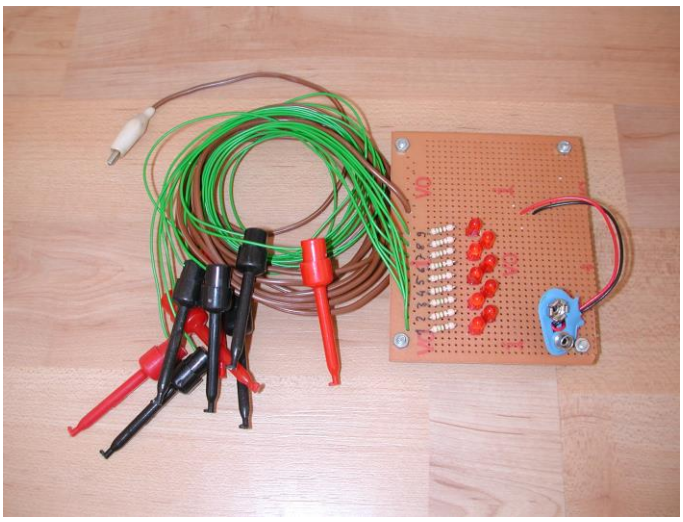


Abbildung 313: LED-Platine

Der Sinn dieses Werkzeugs ist die Kontrolle sämtlicher Kontaktzungen der Manualbaugruppe (über eintausend Tastaturkontakte!) in ausgebautem Zustand. Unter Verwendung als simpler 9fach-Durchgangsprüfer testet man damit den Signalpfad eines jeden einzelnen Tones vom Ein- zum Ausgang.

Die neun bunten Abgreifklemmen werden auf die neun Sammelschienen der Zugriegelbaugruppe geklemmt, ein Zugriegelblock auf 888888888 gestellt und mittels Preset-Taste aktiviert (z.B. der zweite Zugriegelblock mit der Taste „H“).

Wichtig dabei: der Generatorkabelbaum muss voher von der Manualbaugruppe abgelötet worden sein, sonst kann man die Prüfung (wegen der Niederohmigkeit der Tonabnehmer im ToneWheel-Generator) nicht korrekt durchführen!

Nun klemmt man die weiße Krokodilklemme auf den ersten Ton der Manualbaugruppe: Tonrad Nr. 13. Dann entnimmt man der Tabelle 22, dass dieses Tonrad zweimal benutzt wird: einmal im 16’-Register mit der Taste C1 und ein weiteres Mal im 8’-Register ebenfalls mit Taste C1 (=> Ton-Repetition!). Drücken wir nun also die Spieltaste C1 und beobachten dabei die LED-Platine. Leuchten nun die 16’-LED und die 8’-LED gleichzeitig auf, wissen wir, dass sowohl Tastaturkontakte als auch Verharfung für diesen Ton Nr.13 in Ordnung sind. Bleibt eine (oder gar beide) der LEDs dunkel, ist entweder eine Tastatur-Kontaktzunge gebrochen oder ein Verharfungsdraht an (mindestens) einem der beiden Enden abgerissen. Leuchtet eine bestimmte LED (z.B. die für 16’) jedoch nie (auch nicht bei der Überprüfung anderer Töne), so kann auch ein Draht am Zugriegel abgerissen sein. In diesem Fall die neun Abgreifklemmen entweder auf den anderen Zugriegelblock oder gleich direkt an die Bus-Bars (siehe Abbildung 218 bzw. Abbildung 243ff) anklemmen.

Nach der erfolgten Überprüfung von Ton Nr.13 nimmt man sich dann den nächsten (Nr.14) vor und sieht schlägt wieder in Tabelle 22 nach, wo dieser Ton überall verwendet wird. Die LEDs müssen beim Drücken dieser Tasten dementsprechend wieder aufleuchten.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Die höheren Töne werden natürlich öfter benutzt. Ein Beispiel zu Tonrad Nr. 52. Hier liest man aus Tabelle 22 ab:

LED-Nr.	Entspricht Zugriegel	Verwendung bei Taste
1	16’	D#5
2	$5^1/_3$’	G#3
3	8’	D#4
4	4’	D#3
5	$2^2/_3$’	G#2
6	2’	D#2
7	$1^3/_5$’	H1
8	$1^1/_3$’	G#1
9	1’	D#1

Tabelle 12: Spieltasten für Ton Nr.52

Drückt man alle der aufgeführten Spieltasten nacheinander, muss also jeder der neun LEDs genau einmal aufgeleuchtet haben.

Die gesamte Überprüfung der beiden Manuale mit sämtlichen Tönen Nr.13 bis 91 nimmt natürlich einiges an Zeit in Anspruch. Allerdings hat man danach auch die Gewissheit darüber erlangt, dass alle ca. 1000 Verharfungsdrähte und Kontaktzungen in Ordnung sind! Sehr ärgerlich, wenn man das erst nach erfolgtem Zusammenbau der Orgel feststellt und dann das Instrument zur Reparatur ein zweites Mal demontieren muss. Dann doch lieber vorher testen.

Hinweis
Um die Sucharbeit nach den richtigen Spieltasten zu vereinfachen, habe ich den Inhalt von Tabelle 21 neu sortiert. Herausgekommen ist Tabelle 22, aus der man direkt ablesen kann, mit welchen Tasten man einen ganz bestimmten Ton spielen kann. Es lohnt sicherlich, eine Kopie dieser Tabelle neben die Orgel zu legen, wenn man mit der LED-Platine arbeitet.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

11 Der Pedalkasten

Wenn Sie wissen möchten, inwieweit Umwelteinflüsse ihrer Orgel zugesetzt haben mögen, so schauen Sie sich einfach den Pedalkasten an.

Abbildung 314: Pedalkasten ausgebaut

Durch seine unmittelbare Nähe zum Fußboden ist er hinsichtlich Rostbefall und Verschmutzung besonders gefährdet. Um derartiges Übel zu erkennen, ist es meist gar nicht erforderlich, den Pedalkasten auszubauen. Es reicht oft schon, das Fußpedal aus der Orgel zu ziehen und dort mit einer Taschenlampe hineinzuleuchten.

Der nächste Abschnitt widmet sich folglich der Restauration des kompletten Pedalkastens.

Abbildung 315: Orgel von unten

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

11.1 Instandsetzung

Die Instandsetzung von Komponenten des Pedalkastens unterscheidet sich nicht wesentlich von den bereits weiter oben beschriebenen Arbeiten (Schleifen, Lackieren, Sammelschienen reinigen,...).

Erfahrungsgemäß ist gerade der Pedalkasten oft von Rost befallen; wahrscheinlich deshalb, weil er zuallererst eventuell vorhandene Feuchtigkeit aus dem Fußboden "spürt" (z.B. dann, wenn die Orgel über längere Zeit in einem feuchten Keller gestanden hat).

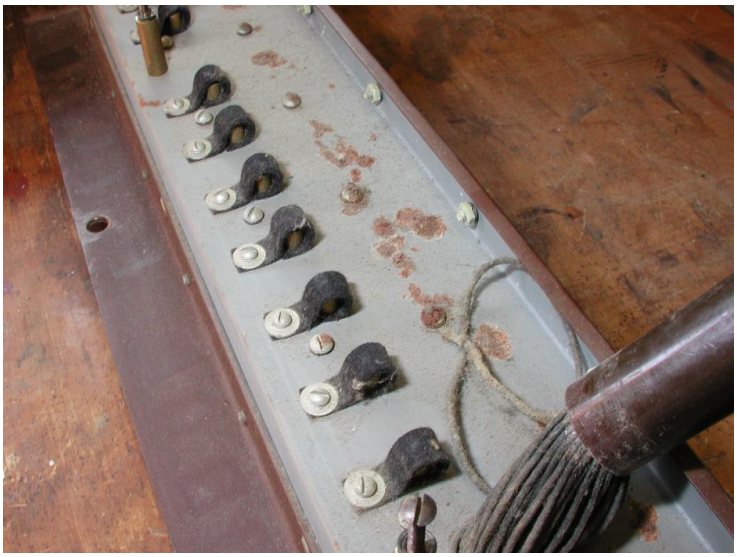


Abbildung 316: Pedalkasten im Originalzustand

Nach der üblichen Lackierprozedur (Abkleben sämtlicher Messinghülsen, Schraubenlöchern und Fabrikationszeichen (=> Nostalgiegedanke!)) erstrahlt auch diese Baugruppe in neuem Glanz. Näheres zu diesen Arbeiten siehe auch in Kapitel 10.4!

Abbildung 317: Pedalkasten nach dem Lackieren

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

11.1.1 Pedalschlaufen

11.1.1.1. Theorie

Bei alten Hammonds und intensiver Benutzung des Fußbasses kann es vorkommen, dass die Pedalschlaufen erneuert werden müssen. Dabei handelt es sich um ca. 5cm lange und ca. 2cm breite Filzstreifen, die -in Schlaufenform verlegt- das Klappergeräusch, das sonst beim Drücken des Fußbasses entstünde, dämpfen. Hin und wieder sind diese Schlaufen abgenutzt, durchgedrückt oder eingerissen. In allen Fällen sollte man sie ersetzen.

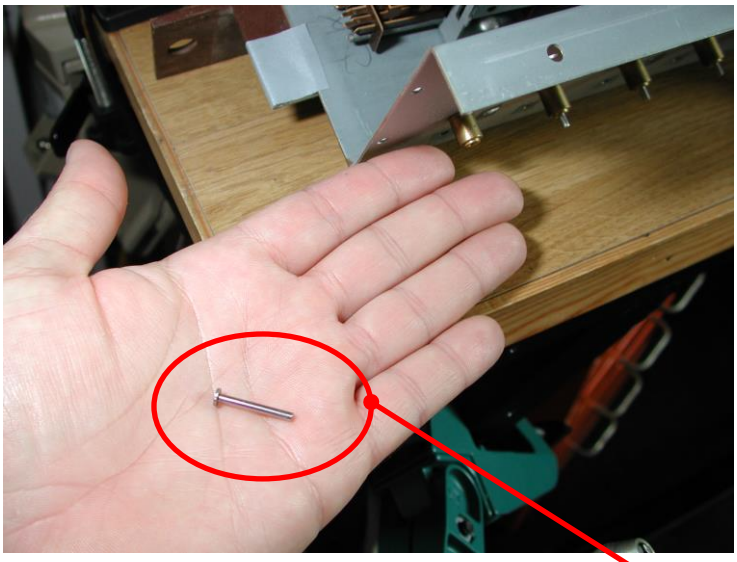


Abbildung 318: Pedalstößel (einzeln)

Die Betätigung der Tastenkontakte erfolgt beim Fußbass durch so genannte Stößel. Während die Tastaturkontakte des Ober- und Untermanuals durch Hartpapier-Schubstangen betätigt werden, so setzt man beim Fußbass auf die mechanisch stabileren Metallstößel. Sie haben in etwa das Aussehen eines stumpfen Nagels und sind (von unten) in runde Messinghülsen gesteckt, sodass die Stößelspitze ein paar Millimeter aus dem Führungsgehäuse herausragt.

Abbildung 319: Pedalstößel (eingebaut)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Die Pedalschlaufen sind nun auf diese Messinghülsen aufgesteckt, werden in einer Schlaufe über die Stößelspitze geführt und davor mittels einer Schlitzschraube und Unterlegscheibe am Gehäuse verschraubt. Abbildung 320 zeigt einen Pedalkasten vor der Aufarbeitung. Zu sehen sind die originalen (alten) Pedalschlaufen...

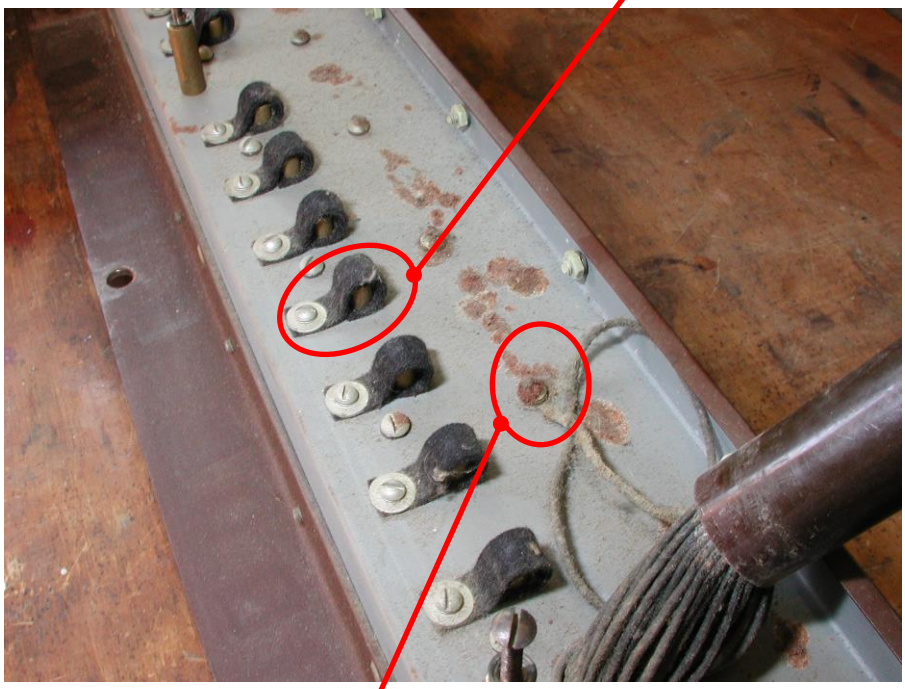


Abbildung 320: Pedalkasten (Originalzustand)

...sowie die Erdungsschraube für die benötigte Masseverbindung.

Setzt man nun die Pedaleinheit in die Orgel ein und spielt eine Note des Fußbasses, so bewirkt das Herunterdrücken des Pedals, dass die am Ende angebrachte Metallzunge diesen (federnden) Stößel herunterdrückt und so die Tastenkontakte betätigt werden.

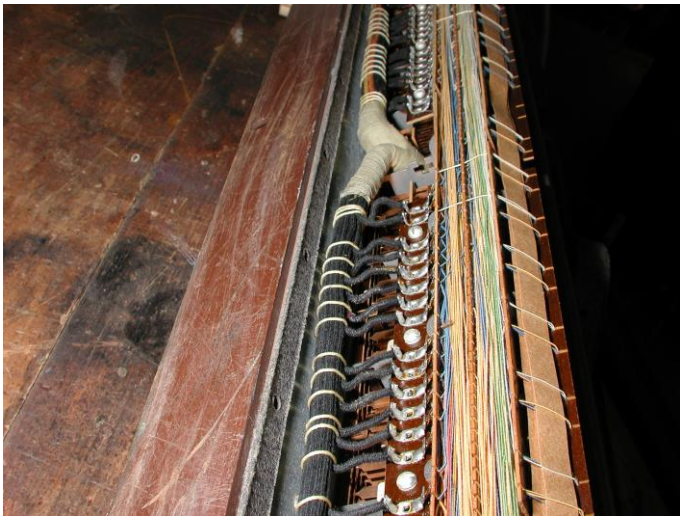


Abbildung 321: Pedalkasten (von unten)

Auch der Fußbass besitzt den üblichen Aufbau: Kabelbaum, Verharfung, Sammelschienen und Tastenkontakte (siehe Abbildung 321)!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

11.1.1.2. Instandsetzung

Um die Pedalschlaufen zu erneuern, benötigt man den geeigneten Filz. Auf Empfehlung eines Klavierbauers verwende ich hier äußerst reiß- und beanspruchungsfesten Kasimir-Stoff (sprich "Kaschmir"). Mit einer Schere schneidet man daraus 25 gleichartige Streifen nach dem Vorbild der alten Pedalschlaufen.

Abbildung 322: Kasimir-Streifen ausschneiden

Um die notwendigen Löcher in die neuen Rohlinge zu stanzen, benutzt man zum einen eine einfache Lochzange, zum anderen ein Henkellocheisen. Beides gibt es relativ preiswert im Baumarkt.

Abbildung 323: Kasimir-Streifen (geschnitten)

Lochzangen werden u.a. auch zum Stanzen von Gürtellöchern verwendet; Henkellocheisen benutzt man normalerweise zum Ausbessern von Brandlöchern im guten Wohnzimmerteppich. Dazu schlägt man mit dem Hammer ein rundes Loch in den Teppich und ersetzt das verkokelte Teppichstück durch ein neues, das dann in das ausgestanzte Loch hineingedrückt wird.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Wir benötigen für die Pedalschlaufen ein Henkellocheisen von 7mm Durchmesser. Da ich das bislang noch nirgends gefunden habe, versuchte ich es mit einem 6mm- und einem 8mm-Locheisen. Ergebnis: bei meinem Kasimir-Stoff eignete sich das 6mm-Eisen besser. Die so gestanzten Streifen passten schön stramm auf die Messinghülsen.

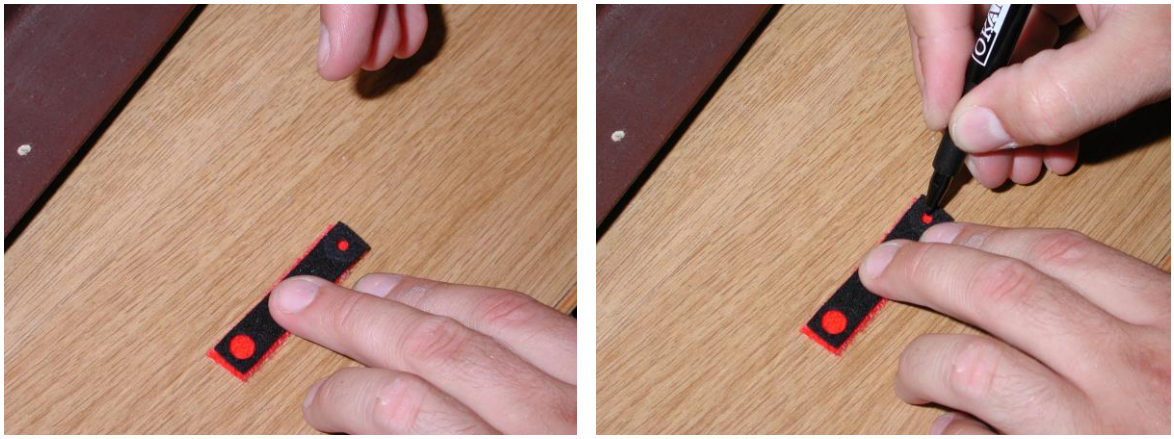


Abbildung 324: Kasimir-Streifen anzeichnen

Das Übertragen der richtigen Position von 6mm-Loch und Schraubenloch (2,5mm...3,0mm) erfolgt mittels Filzstift, indem man neue und alte Pedalschlaufe übereinander legt und durchzeichnet (siehe Abbildung 324).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Beim Ausstanzen mit dem Henkellocheisen ist zu beachten, dass man eine stabile und harte Unterlage verwendet! Ungeeignet sind z.B. Bretter aus weichem Holz wie Fichte, Kiefer, usw.., weil sie zu schnell nachgeben und sich beim Stanzen eindrücken. Ich verwendete dazu mein (schon oft gezeigtes und für alles Mögliche benutztes) Bastelbrett aus Hartholz (Eiche).

Abbildung 325: Kasimir-Streifen lochen

Das kleine Loch kann man schnell mit einer Gürtellochzange ausstanzen.

Abbildung 326: Kasimir-Streifen (Gürtellochzange)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Das Endprodukt ist eine gut funktionierende Kopie der originalen Pedalschlaufen. (siehe Abbildung 327, links: Nachbau; rechts: Original).

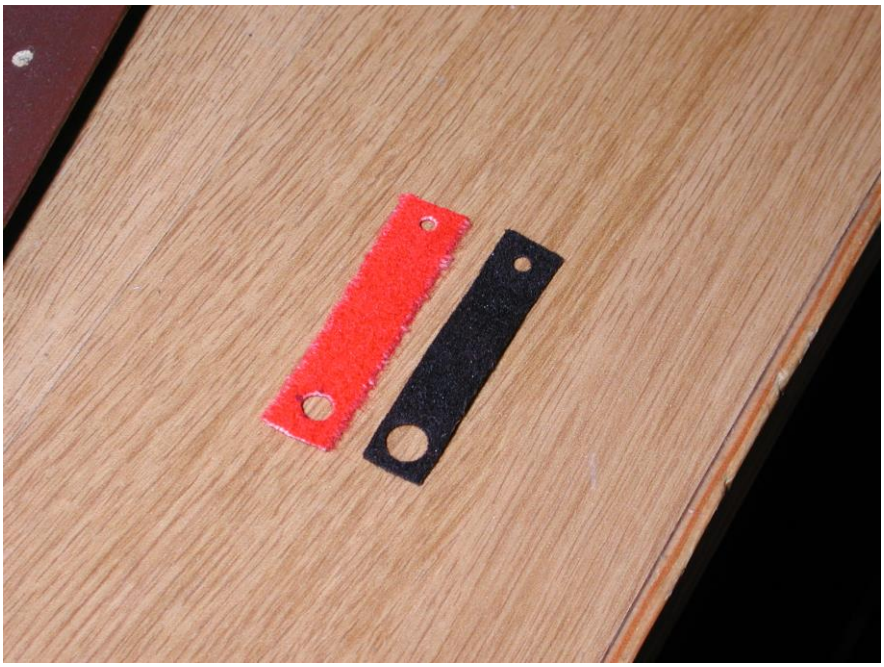


Abbildung 327: Kasimir-Pedalschlaufe (fertig)

Die fertigen Pedalschlaufen werden nun vorsichtig auf die Messinghülsen aufgesteckt...

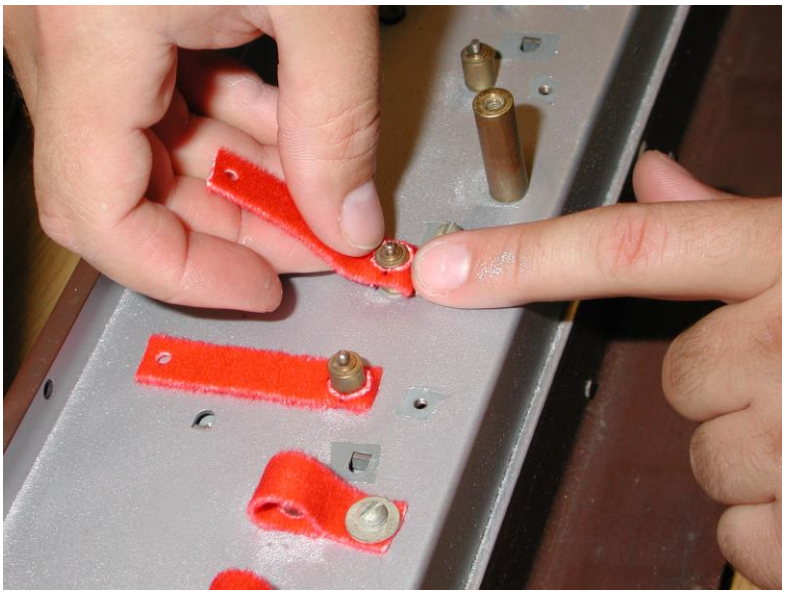


Abbildung 328: Pedalschlaufen aufstecken

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

...übergebogen und mittels Schraube und Unterlegscheibe festgeschraubt.

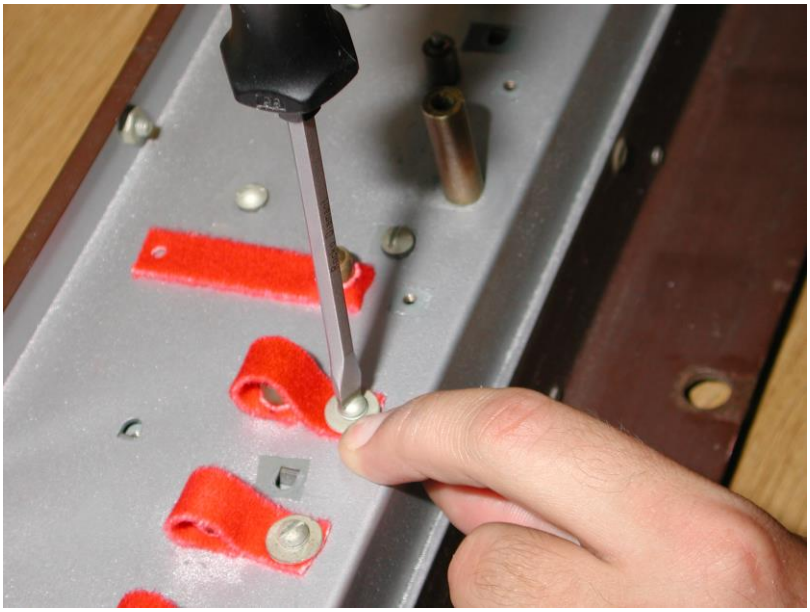


Abbildung 329: Pedalschlaufen anschrauben

Verwendete Schraube: RoundHead, verzinkt, 6-32 UNC x 1/4"
(siehe Kapitel über Schrauben: 13.1)

Hinweis:
bei manchen Orgelmodellen existiert an dieser Stelle keine Verschraubung der Pedalschlaufen mit dem Chassis. Stattdessen sind dort beide Enden der Kasimir-Streifen in einer Schlaufe auf die Messingbolzen gesteckt. Vermutlich eine Maßnahme, um damals bei Hammond die Produktionskosten zu senken, indem man die Schrauben einspart.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

11.2 Zusammenbau

Weil das Auseinandernehmen in der Regel immer einfacher ist als das anschließende Zusammenbauen, beschreibe ich hier den schwierigeren Teil: das Wiederzusammensetzen des Pedalkastens nach erfolgter Restauration.

Abbildung 330: Pedalkasten demontiert

So oder so ähnlich liegt dieses zugegebenermaßen sehr unhandliche Gebilde wahrscheinlich auf Ihrem Basteltisch. Ein gut gemeinter Rat vorneweg: geben Sie bitte unheimlich Acht auf die ganzen Pedalstößel, beim Hantieren des gesamten Pedalkastens fallen sie sehr leicht heraus! Ich habe zwei der gesamten Pedalstößel nie mehr wieder gefunden, nachdem mir das ganze Gebilde im Werkschuppen vom Tisch gekippt ist.

Nur durch Glück bekam ich passenden Ersatz von einem Berliner Hammond-Kollegen, der diese Stößel zufällig "auf Lager" hatte. Laut seiner Information gäbe es da nämlich verschiedene Ausführungen, die sich leicht in den Abmessungen unterscheiden. Notfalls kommt man nicht darum herum, sich die Pedalstößel von einer Mechanikwerkstatt nachdrehen zu lassen!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Zuerst setzt man alle Pedalstößel wieder (von unten) in die Messinghülsen ein. Man kann dazu - wie in Abbildung 330 gezeigt- den ganzen Pedalkasten auf den Kopf legen. Eine Pinzette ist beim Einsetzen der kleinen Stößel eine große Hilfe.

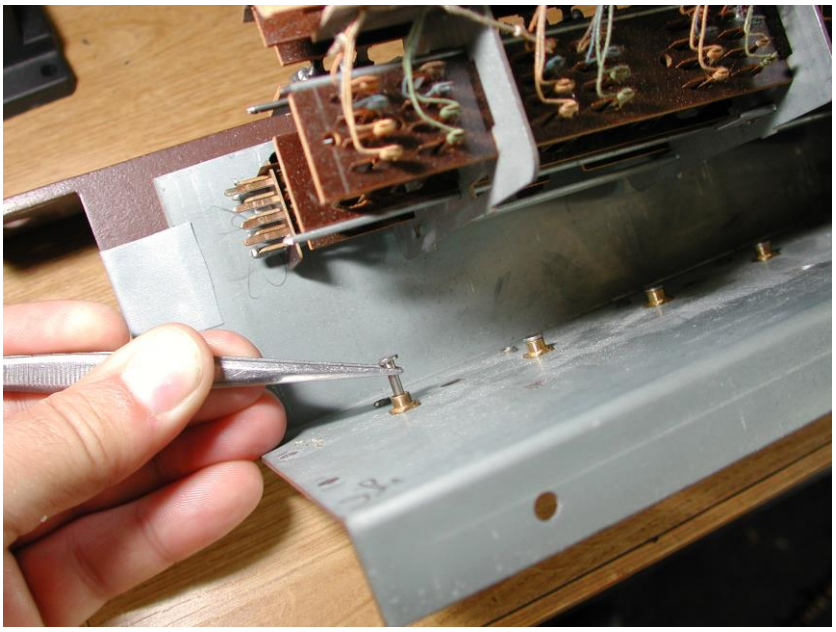


Abbildung 331: Einsetzen der Pedalstößel

Danach wird der gesamte Kontaktblock (bestehend aus Verharfung, Tastenkontakten und Sammelschienen) festgeschraubt. Danach können die Pedalstößel nicht mehr herausfallen.

Abbildung 332: Kontaktsystem festschrauben (1/2)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Natürlich auch die obere Schraubenreihe festziehen (siehe Abbildung 333)....

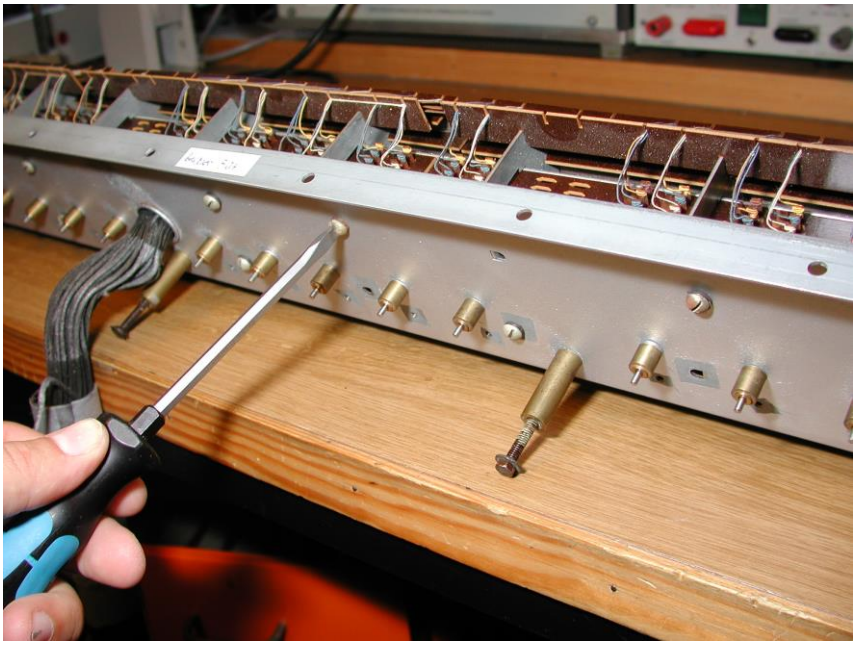


Abbildung 333: Kontaktsystem festschrauben (2/2)

Nun können die beiden Seitenteile angeschraubt werden (Abbildung 334). Wegen der beiden Filzstreifen sitzen sie recht stramm und müssen stark angedrückt werden, damit die Schraube in das Schraubenloch greift.

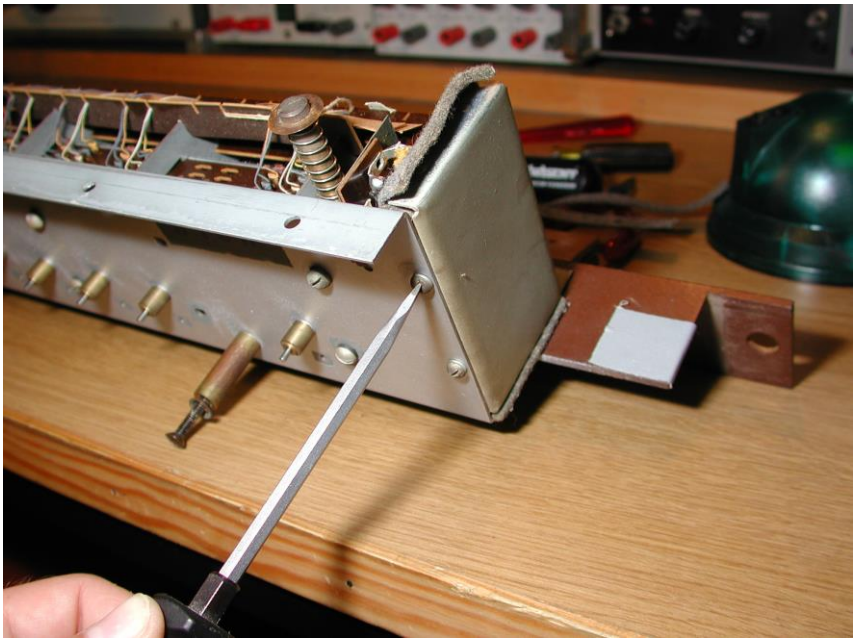


Abbildung 334: Seitenteile anschrauben (Pedalkasten)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Die Schraube für den Busbar-Shifter nicht vergessen (Abbildung 335).

Abbildung 335: Busbar-Shifter anschrauben

Beim Auseinandernehmen des Pedalkastens sind Ihnen wahrscheinlich zwei lange Filzstreifen entgegengefallen. Sie müssen nun zwischengelegt werden, bevor die Metallhaube aufgeschraubt wird. Der schmalere von beiden kommt hierhin...

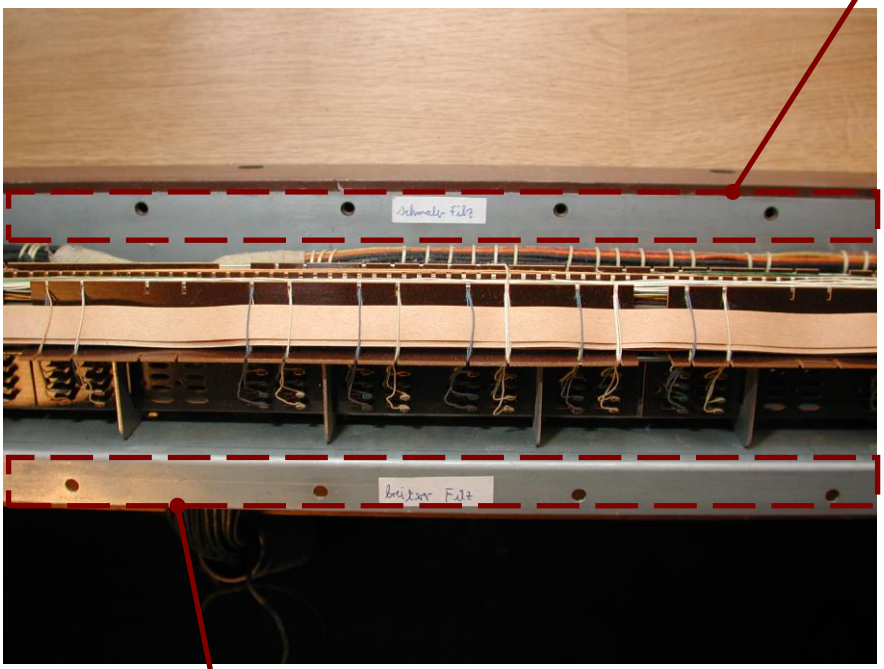


Abbildung 336: Filze am Pedalkasten

...der breite hierher.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Für das Auflegen der Filzstreifen gibt es einen kleinen Trick. Damit sie nicht hinunterfallen, können Sie ein paar kleine Stückchen doppelseitiges Klebeband benutzen und so den Streifen aufkleben.

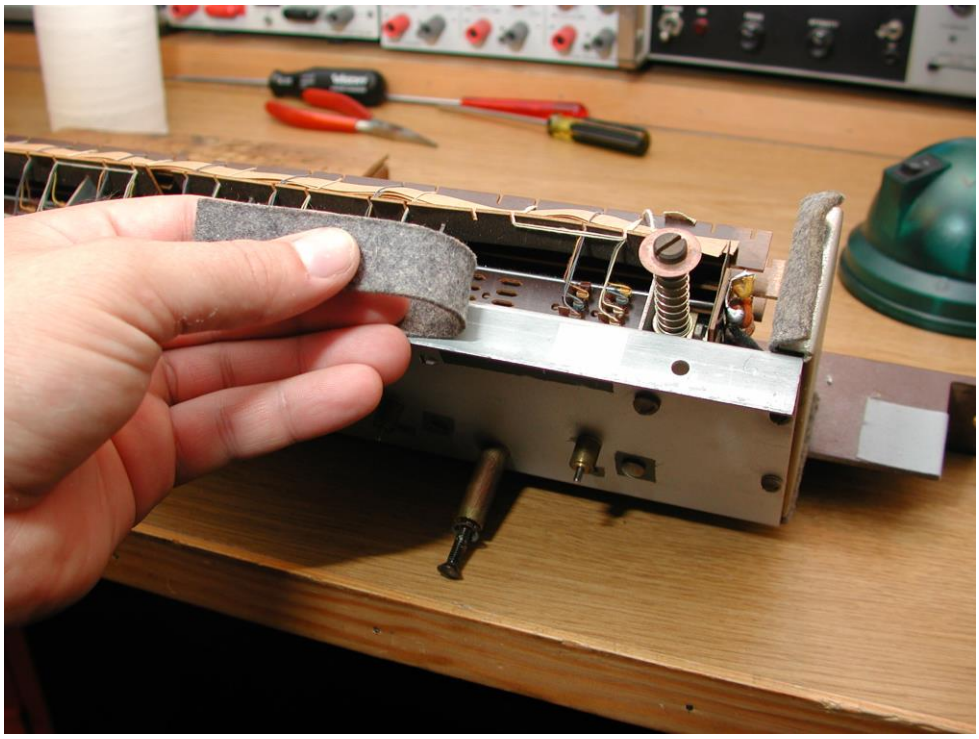


Abbildung 337: unteren Filz auflegen

In Abbildung 338 wurden bereits beide Filzstreifen fixiert.

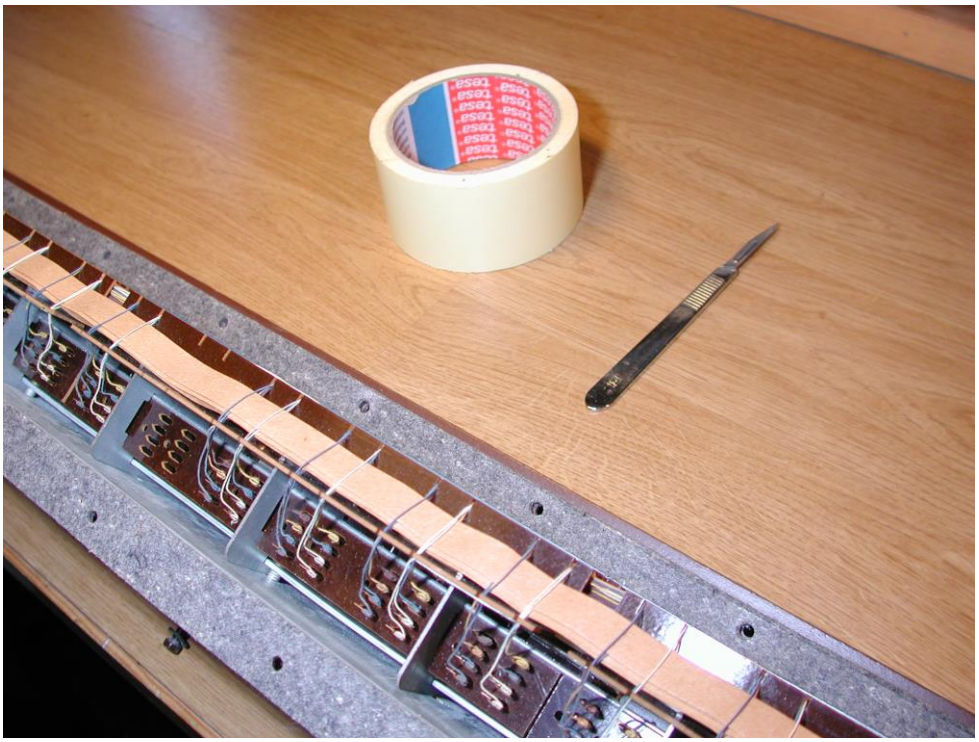


Abbildung 338: beide Filzstreifen aufgelegt

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Jetzt kann die Metallhaube übergestülpt werden (Abbildung 339).

Abbildung 339: Metallhaube überstülpen

Schrauben Sie die Metallhaube an beiden Seiten fest (Abbildung 340).

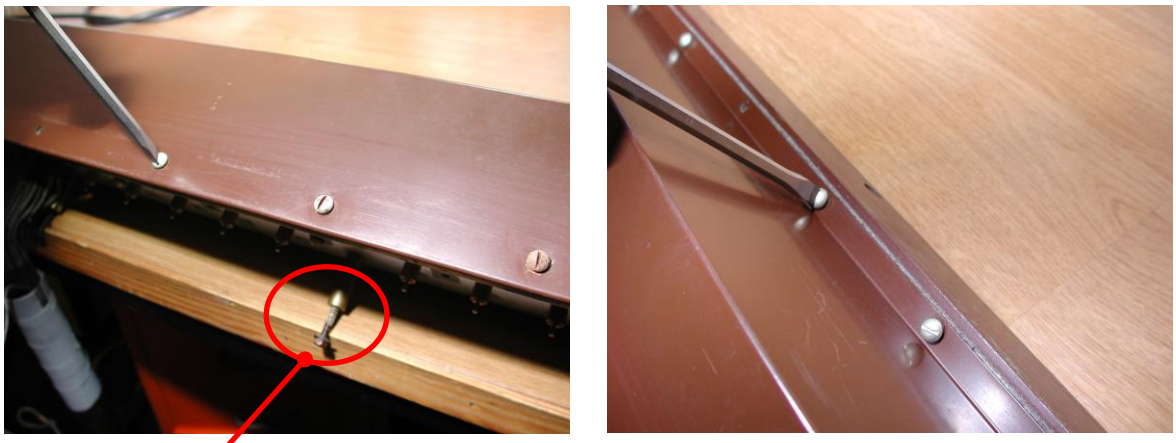


Abbildung 340: Metallhaube festschrauben

Achten Sie unbedingt darauf, dass Sie eventuell eingedrehte Schrauben in den Messingbolzen durch das Drücken mit dem Schraubendreher dabei nicht verbiegen!!!

Die dafür verwendeten Schrauben heißen: RoundHead, verzinkt, 8-32 UNC x 3/8".

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Mit dem Festschrauben der seitlichen Blechwände ist der Pedalkasten wieder zusammengesetzt.

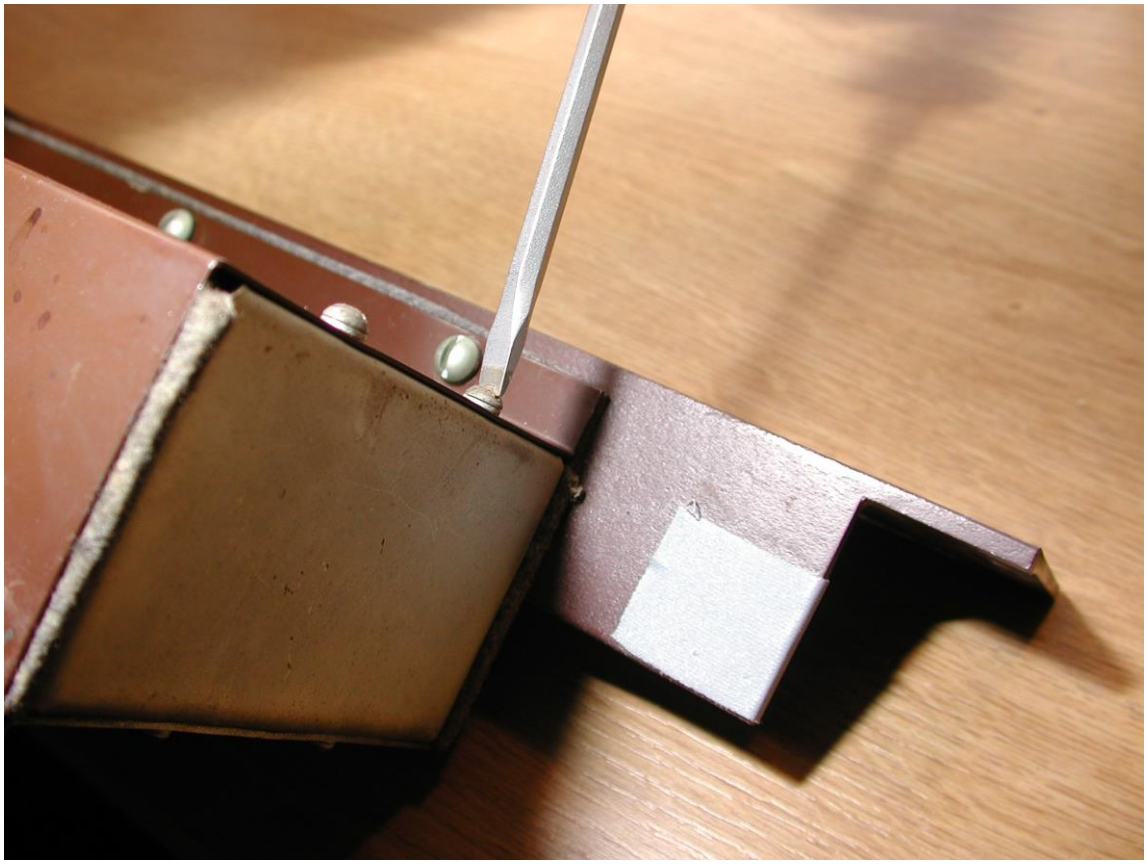


Abbildung 341: seitliche Bleche festschrauben

Er wird beim Zusammenbau der Orgel dann später von unten eingesetzt und mittels dicker Sechskantschrauben verschraubt.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

12 Das Orgelgehäuse

Wir sind sicherlich keine Fachmänner, was die Restaurierung alter Möbel angeht. Dennoch haben die Arbeitsschritte, die wir hier nun vorstellen möchten, bei uns eindeutig zum gewünschten Ziel geführt. Im Rahmen der Gesamtrestaurierung unserer Hammond C-3 war natürlich auch das Äußere betroffen, nachdem die Orgel komplett zerlegt und alle Komponenten aus dem Innern ausgebaut worden waren. Die knappen 50 Jahre in amerikanischen Kirchen, Stuttgarter Tonstudios und wo das Instrument sonst wohl noch herumgestanden haben mag, sind auch am Lack und dem restlichen Gehäuse nicht spurlos vorübergegangen. Hässliche Kratzer, teilweise abgeblättertes Furnier und gespachtelte Stellen störten an dem sonst recht gut erhaltenen Instrument.

Abbildung 342: Gehäuse im Rohzustand

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

12.1 Bestandsaufnahme

Im ersten Schritt sollte man das gesamte Gehäuse kritisch begutachten:

a) Sind alle Zierleisten/Sockelleisten fest?
b) Ist irgendwo Furnier herausgebrochen oder abgeplatzt?
c) Sind noch alle Holzverbindungen "im Leim"?
d) Wackelt das Gehäuse irgendwo?

Abbildung 343: Auseinanderklopfen einer alten Leimverbindung

Bei uns stellte sich schnell heraus, dass wir einige Sockelleisten vorsichtig (mit Einsatz von Stechbeiteln und Schraubendrehern) vom restlichen Gehäuse lösen und später wieder neu anleimen mussten, weil diese wackelten und abzufallen drohten. Auch die Zapfen/Nut-Verbindung der Querverbindungsleiste mit den seitlichen Gehäuseflanken (zu finden im Pedalbereich) hatte Spiel bekommen und konnte mittels Holzleim und zweier (ineinander gehakten) riesigen Schraubzwingen wieder in die Nut gepresst und damit dauerhaft befestigt werden.

Die mechanische Stabilität ist Grundvoraussetzung für alle weiteren, nun folgenden Arbeiten, daher bitte gewissenhaft durchführen und geduldig abwarten, bis der Leim wirklich durchgetrocknet ist (je nach Raumtemperatur etwa einen Tag). Denn beachte: eine fertige Hammond ist am Ende mächtig schwer- daher ist ein bombenfest stabiles Gehäuse ein unbedingtes Muss!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

12.2 Behandlung der Oberfläche

Dieser Abschnitt lässt sich mit den folgenden Worten am treffendsten beschreiben: „der Lack muss ab“!

12.2.1 Vorbereitung

Wenn nicht schon vorher geschehen, macht es spätestens jetzt Sinn, zu Beginn der Arbeiten die Manualabdeckung komplett abzuschrauben und zu zerlegen (Klavierband), sodass diese Bretter einzeln bearbeitet werden können!

Abbildung 344: Teile abschrauben und einzeln bearbeiten

12.2.2 Abbeizen

Es folgt das Abbeizen. Diese Arbeit ist die unangenehmste von allen. Mit einem Abbeizmittel müssen sämtliche alten Lacke und Farben von dem Holzfurnier heruntergelöst werden. Bei der Beschaffung eines Abbeizmittels ist unbedingt darauf zu achten, dass es zwei verschiedenen Arten von Abbeizmitteln gibt, aber nur eines für unsere Zwecke geeignet ist!

Ablaugende Abbeizmittel wie Natronlauge oder Ammoniak funktionieren auf wässriger Basis und sind deshalb für die Restauration von Furnieren ungeeignet, da das Wasser sonst in das Holz eindringen und das Furnier ablösen würde. Oft wird auch beim professionellen „Abbeiz-Service“ ein Tauchbad verwendet, das nach diesem Prinzip funktioniert und deshalb zum Abbeizen von Orgelgehäusen nicht geeignet ist!

Lösende Abbeizmittel beinhalten Stoffe wie Aceton, aromatische oder halogenhaltige Kohlenwasserstoffe und funktionieren somit auf Lösungsmittelbasis. Diese Art des Abbeizens ist für Furniere besser geeignet, da die Lösungsmitel einen geringeren Siedepunkt als Wasser aufweisen – also wesentlich schneller verdampfen - und somit kaum in das Holz einziehen können.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Bei dieser Art des Abbeizens ist aber besonders darauf zu achten, dass gesundheits- und umweltschädliche Stoffe freigesetzt werden. Halogenhaltige Kohlenwasserstoffe -wobei hier als Abbeizmedium vor allem das „Dichlormethan“ weit verbreitet ist- sind gänzlich zu vermeiden, da sie im Verdacht stehen, krebserregend zu sein. Nichts desto trotz ist auch bei allen anderen Abbeizmitteln auf eine Sicherheitsausrüstung, bestehend aus Schutzbrille, Handschuhen (aus Polychloropren oder Nitrilkautschuk) sowie eine gut durchlüftete Arbeitsumgebung (ideal wäre das Abbeizen im Freien!) zu achten. Für unser Orgelgehäuse haben wir „molto Abbeizer Universal Plus“ verwendet, der im Baumarkt erhältlich ist.

Als Abbeizmedium enthält dieser Abbeizer aromatische Kohlenwasserstoffe. Für das gesamte Orgelgehäuse haben wir ca. 2,5L benötigt. Das Produkt ist gelartig und sehr dickflüssig, dadurch aber auch recht gut zu verarbeiten.

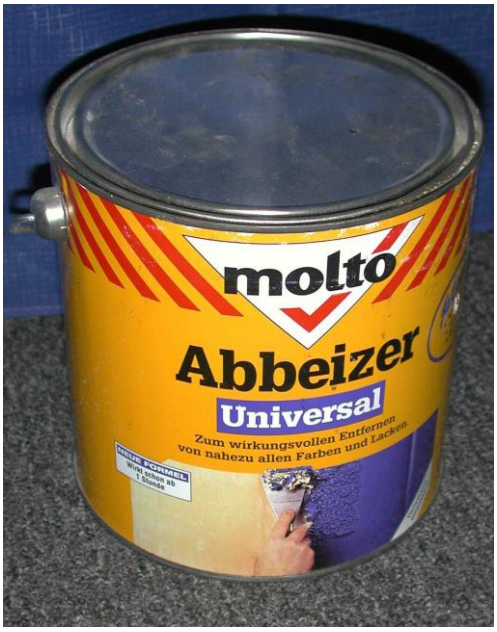


Abbildung 345: molto Abbeizer Universal plus

Wir gingen dabei so vor:

Orgel auf eine feste Unterlage (z.B. Pappe) stellen und das Abbeiz-Gel mit einem dicken Malerpinsel sehr großzügig auftragen. Nach etwa einer Stunde Einwirkzeit beginnt man, den angelösten Lack vorsichtig mit einem (stumpfen) Spachtel abzuschaben. Hier nicht zu viel Druck ausüben, denn sonst gibt's gleich Kratzer im Holz, die man später wieder mit viel Aufwand herausschleifen darf.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Wenn man den Lack noch nicht richtig abbekommt, dann lieber nicht zu viel schaben, sondern stattdessen noch eine weitere Schicht Abbeizer aufbringen und erneut einwirken lassen.

Abbildung 346: Abbeizen mit Spachtel

Wenn man alles richtig gemacht hat, sieht man schon bald, was für eine "Pampe" man da herunterkratzen kann. Diese Reste dürfen übrigens nicht im Hausmüll entsorgt werden, sondern gehören in den Sondermüll!

Abbildung 347: alter, abgelöster Lack

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Direkt nach dem Abbeizen macht es Sinn, die letzten Lackreste noch mit Nitroverdünnung abzuspülen.

Abbildung 348: Entfernen der letzten Lackreste

Hierzu kann man z.B. einen alten Schwamm, etwas Stahlwolle oder einen speziellen Schleifschwamm verwenden, den man kurz in die Nitro-Lösung eintaucht und dann über das Holz scheuert (auch hier gilt: möglichst nur in Richtung der Maserung!). Gleich danach reibt man mit einem alten Handtuch nach und wird feststellen, dass das Furnier schon sehr viel "glücklicher erstrahlt" als vorher und die Maserung des Holzes erheblich messer zu sehen ist.

Einige C-3-Modelle besitzen seitliche Ornament-Leisten. Diese sind besonders schwierig abzubeizen. Hier hilft unter Umständen eine alte Haushaltsbürste und/oder ein ausgedientes Küchenmesser für die vielen Ecken und Fugen.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

12.2.3 Schleifen

Dieser Arbeitsschritt ist der aufwändigste und kostet am meisten Zeit und Ausdauer. Es gilt, das ursprüngliche Furnier wieder freizulegen und die alte Beize herunterzuschleifen, die in die oberste Schicht des Furniers eingezogen ist. Wir kauften uns etliche Bögen Schleifpapier mit 180er und 120er Körnung. In Verbindung mit einem Schleifklotz (z.B. einen aus Gummi/Kunststoff, gibt's im Baumarkt) legt man die ursprüngliche Maserung des Furniers wieder frei (nur in Maserrichtung schleifen, NIE quer dazu!).

Abbildung 349: Orgelgehäuse schleifen

Das kann etliche Stunden/Tage (und Schweiß!) dauern! Besonders ärgerlich dabei ist die Tatsache, dass sich unser Holz (wir vermuten: Walnuss) durch eine ungeheure Härte auszeichnete, das selbst unser Schleifpapier (wir hatten noch nichteinmal das billigste gekauft) innerhalb weniger Minuten spürbar abnutzte. Hier hilft dann auch das Ausklopfen des Schleifklotzes nicht mehr, sondern nur noch ein großer Vorrat an neuem Schleifpapier...

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Wer mit einem "Dremel" und Kunststoff-bzw. Messingtopfdrahtbürste auch elektrisch nachhelfen möchte, sollte sehr vorsichtig sein. Man kann hier auch leider sehr viel Schaden damit anrichten, wenn man zu stark aufdrückt oder abrutscht.

Abbildung 350: Schleifen der Ornamentleiste

12.2.4 innere Seitenteile beizen

Während der Arbeiten stellten wir schnell fest, dass das ganze Gehäuse aus mehreren verschiedenen Holzarten (und Qualitäten) besteht. So fanden wir heraus, dass die Innenseiten der Orgelflanken nicht furniert, sondern einfach nur gebeizt waren. Also stand eine erneute Einkaufsfahrt in den Baumarkt auf dem Programm, wo zwei kleine Flaschen Holzbeize in den Farben "Teak" und "Nussbaum" gekauft wurden. Anhand einiger Probebeizungen auf der Unterseite eines Holzbrettes aus dem Pedalbereich (sieht man nachher nicht mehr) stellte sich heraus, dass "Nussbaum" dem Farbton des Furniers offensichtlich am nächsten kam.

Die Innenseiten und die Unterseite der Orgel werden also einmal gebeizt und dann einen Tag lang getrocknet. Danach wird "gebürstet"; d.h. man bürstet die gebeizten Stellen mit einer Schuhputzbürste oder etwas rauem Schleifpapier (vorsichtig!), um die oberste Schicht leicht aufzurauhen. Das ist die Vorarbeit für den nächsten Schritt:

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

12.2.5 Schnellschliffgrund auftragen

Der Zweck einer Grundierung ist zweierlei:

a) Schaffen eines optimalen Untergrundes für die Ballenmattierung (im nächsten Arbeitsschritt) und
b) Füllen der kleinen Poren im Holz mit Grundierung (siehe Text).

Aufgetragen wird der Schnellschliffgrund durch einen breiten Malerpinsel. Zuvor das Werkstück mit einem sauberen Tuch staubfrei abreiben. Den Schnellschliffgrund schön "satt" abtragen, allerdings darauf achten, dass es keine Nasen gibt. Die werden hinterher zwar wieder abgeschliffen, machen aber später nur unnötig Arbeit.

Abbildung 351: Schnellschliffgrund

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Abbildung 352: Schnellschliffgrund auftragen

Bereits nach 1 Stunde ist die Grundierung getrocknet. Nun wird mit 240er Schleifpapier geglättet. Hier nur ganz sanft schleifen, denn man will ja nicht das Holz abtragen (das sollte ja bereits geschehen sein!), sondern nur die Oberfläche schön glatt bekommen. Dass einem das gelungen ist, kann man nach dem Entstauben schon fühlen. Sehen allerdings nicht, denn eine grundierte und geschliffene Oberfläche ist zwar glatt, sieht aber (noch) grausam aus! Davon aber bitte nicht verunsichern lassen!

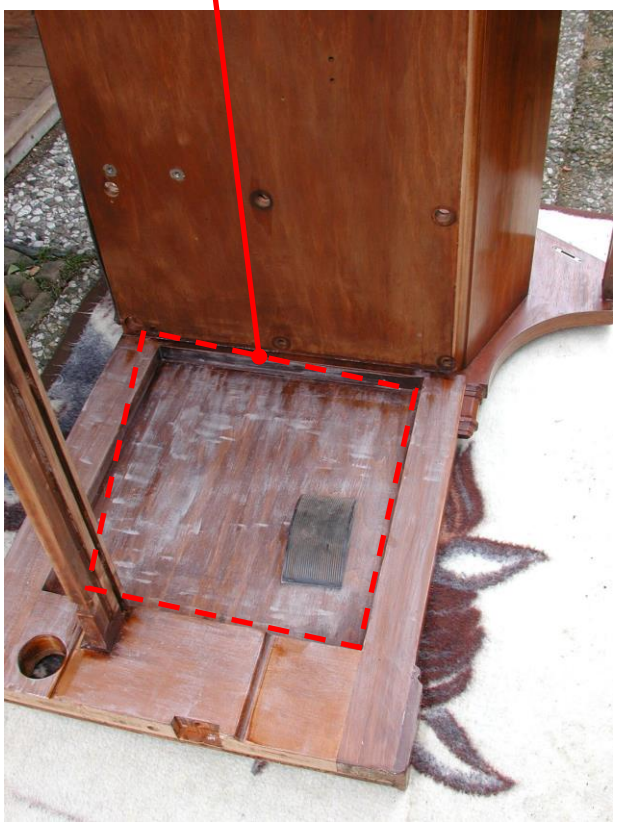


Abbildung 353: Schnellschliffgrund geschliffen

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

12.2.6 Ballenmattierung

Spätestens jetzt wird man für die ganze Arbeit und Mühen entlohnt. Um es gleich vorwegzunehmen: die Oberfläche wurde bei uns „richtig gut“!

Ballenmattierung heisst wohl so, weil man sie normalerweise mit einem Stoffballen auf das Holz aufreibt und überpoliert. Als bekanntester Vertreter der Ballenmartierung gilt die Schellackpolitur. Schellack war besonders in der Biedermeierzeit Anfang des 19. Jahrhunderts in Mode und ist auf unzähligen Möbeln dieser Zeit zu finden. Wärend bei Schellack der Rohstoff aus dem Sekret der Lackschildlaus gewonnen wird, enthält die von uns verwendete Ballenmattierung als Grundstoff Nitrocellulose. Dies hat den Vorteil, dass diese Lackpolitur widerstandfähiger gegen Wasser und Alkohol ist. Die Maserung des Funiers kommt bei der Anwendung des Lacks sehr schön heraus und die Oberfläche genügt hinterher sogar professionellen Ansprüchen. Man sollte zum Üben mit einem möglichst kleinen Brett beginnen. Die Ballenmattierung wird zunächst mit Nitroverdünner im Verhältnis 3:1 gemischt. Den Stoffballen mit dem Ballenmattierungs-Gemisch tränken und auf das Holz auftragen. Dabei möglichst in kleinen Bahnen arbeiten. Durch kontinuierliche (nicht zu hektische) Wischbewegungen reibt man den getränkten Stoffballen über das Holz, trägt so die Lackschicht auf und poliert -durch einfaches Weiterwischen- den Ansatz zur vorherigen Bahn. Mit etwas Übung ergibt sich eine sehr schöne, geschlossene Fläche. Einen einzelnen Tropfen, der aus Versehen aufs Holz getropft ist, SOFORT überwischen und polieren (sonst gibt's Ränder)! Das tolle an der Ballenmattierung ist: auch spätere Kratzer können jederzeit nachbehandelt werden. Ballenmattierung löst die bereits aufgetragenen Schichten unter ihr leicht an, sodass durch Nachpolieren diese schadhafte Stelle wieder ausgebessert werden kann. Sowieso können so viele Schichten aufgetragen werden, wie nötig. Das Einreiben und Nachpolieren kostet etwas Zeit, jedoch entschädigt dafür das Ergebnis allemal!

Abbildung 354: Ballenmattierung

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Für die Mattierung der seitlichen (C-3-spezifischen) Ornamentleiste nimmt man am besten den Zeigefinger, wickelt nur eine einzige Lage Stoff drumherum, tippt leicht in die Ballenmattierung (nur ganz wenig!) und reibt damit in das Innere der Ornamente. Das ist einfacher und unproblematischer als ich erst vermutete.

Die vielen Rillen im Notenpult reibt man am besten mit einer kleinen Malerfarbrolle ein. Die langen Haare erreichen auch den Grund der vielen kleinen gefrästen Nuten im Holz (siehe auf Abbildung 355).

Abbildung 355: Arbeiten am Notenpult

Hinweis:
Wie sprachen mit einem Restaurateur, der alte Möbel wieder aufarbeitet. Von ihm erhielten wir die dringende Warnung, keine Furnierreparaturen vorzunehmen! Ist das originale Holz beschädigt, so soll es zwar an den Übergangsstellen angeschliffen, aber keinesfalls mit Holzpaste oder anderem Furnier "ausgebessert" werden. Zum einen sähe man die Ansätze bzw. Ausbesserungsstellen dennoch, zum anderen sei der Werterhalt größer, wenn man alles original belässt.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Abbildung 356: Restauriertes Orgelgehäuse

12.2.7 Fazit

Wenn wir jetzt unsere Orgel ansehen, wissen wir, dass sich jeder Tropfen Schweiß und jede Minute Zeit gelohnt haben. So oder so ähnlich hätte sie ausgesehen haben können, als sie frisch aus dem Laden kam. Die Oberfläche hat ein perfektes Finish und die Maserung strahlt wieder kräftig hervor und erfreut jeden Holz- und Möbelfan. So passt sie auch wieder super ins Wohnzimmer... ;-)

Wir erheben keinen Anspruch, dass die hier beschriebene Art die einzige Möglichkeit ist, ein Orgelgehäuse wieder aufzuarbeiten. Auch für die hier verwendeten Materialien und Baumarktprodukte gibt es sicher zahlreiche Alternativen. Ohne uns der Werbung "schuldig" machen zu wollen, möchten wir - im Interesse der Reproduzierbarkeit- aber dennoch alle hier verwendeten Materialien und Arbeitsmittel nennen. Wenn der Fachmann vielleicht auch "bessere" Mittel kennt: mit den hier genannten geht's auf jeden Fall.

12.2.8 Verwendete Materialien:

1) Ponal Holzleim (in jedem Baumarkt)
2) Schleifpapier, Körnung 120, 180, 240, ggfs. 400 (in jedem Baumarkt)
3) Abbeiz-Gel, Firma "molto" (Praktiker Baumarkt)
4) Holzbeize, Firma "AQUA" in den Farben "Teak" und "Nussbaum" (Obi Baumarkt)
5) Firma "CLOU" Grundierung (Max Bahr Baumarkt)
6) Firma "CLOU" Ballenmattierung (Max Bahr Baumarkt) mit dazugehörigem Verdünner
7) alten Baumwoll-Lappen für die Ballenmattierung (z.B. altes Bettlaken)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

13 Materialien

13.1 Schrauben (zöllige Abmessungen)

Während der Arbeiten an der Orgel stellte sich schnell der Bedarf an Ersatzschrauben heraus. Leider haben wir es hier durchgängig mit Gewindeschrauben in zölligen Abmessungen zu tun, die in Deutschland nicht ganz so einfach erhältlich sind. Nachforschungen in Baumärkten, bei Metallfachhändlern und Eisenwarenläden führten uns zu einem Schrauben-Großhandel, der -laut Aussage- angeblich noch der einzige Lieferant in Deutschland für "zöllige" Schrauben sei.

Ich möchte hier die Adresse der Firma offiziell bekannt geben:

Schröder Schrauben GmbH
Postfach 1354
D- 74150 Neckarsulm
Tel. 07132 / 9960-0 bzw. international: +49 7132 / 9960-0
Fax. 07132 / 9960-60 bzw. international: +49 7132 / 9960-60
Internet: http://www.schroederschrauben.de
E-Mail: info@schroederschrauben.de

An dieser Stelle eine großes Dankeschön für die vorbildliche Hilfsbereitschaft o.a. Firma, die sich (für uns) die Mühe machte, einen von mir zusammengestellten Sortimentskasten mit den wichtigsten Hammond-Schrauben individuell auszumessen und mir auf dieser Basis ein Angebot zu erstellen. Dazu bleibt anzumerken, dass unsere Erfahrungen mit deutschen Metallwarenläden bewiesen, dass selbst die hartgesottensten Schraubenexperten beim Thema "zöllige Schrauben" oft schon bald an ihre Grenzen stießen. "Es gibt einfach zu viele (amerikanische) Schaubennormen, Gewindesteigungen und Ausführungen", erklärte man uns. Zugegeben- wer hat schon eine Gewindelehre zum Ausmessen von Gewindesteigungen zölliger Gewinde in UNC-Schraubennorm von 1950?

Nachdem wir das Angebot erhielten (Mindestabnahmemenge pro Schraubensorte: 100 Stück) und den Endpreis zusammenrechneten, entschieden wir uns dann doch für eine Auswahl der wirklich benötigten Schraubensorten. Nach unserer Erfahrung sind besonders die Scanner-Schrauben extrem teuer. Ich verrate sicher kein Geheimnis, wenn man hier bei Preisen um die 40..50 Eurocent pro Schraube liegt.

Ich möchte daher jeden bitten, der gerade die letzten Reste einer alten Hammond "verschrotten" möchte, sich in dem Fall unbedingt aller Schrauben zu bemächtigen und –zum Beispiel-als Tauschobjekte in unseren HNC einzubringen. Alle diejenigen, die nur eine einzige Schraube und zwei Federringe benötigen, werden es Ihnen danken, nicht gleich eine Großbestellung auslösen zu müssen.

Nachfolgend nun eine Auflistung der wichtigsten Schraubentypen mit Kurzinfo zum jeweiligen Einsatzort. Bezeichnung laut Information der o.a. Schraubenfirma.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

13.1.1 Schraubentypen - Übersicht

- RoundHead verzinkt, 10-32 UNF x 7/16 "

Einsatz: unterer Pedalkasten

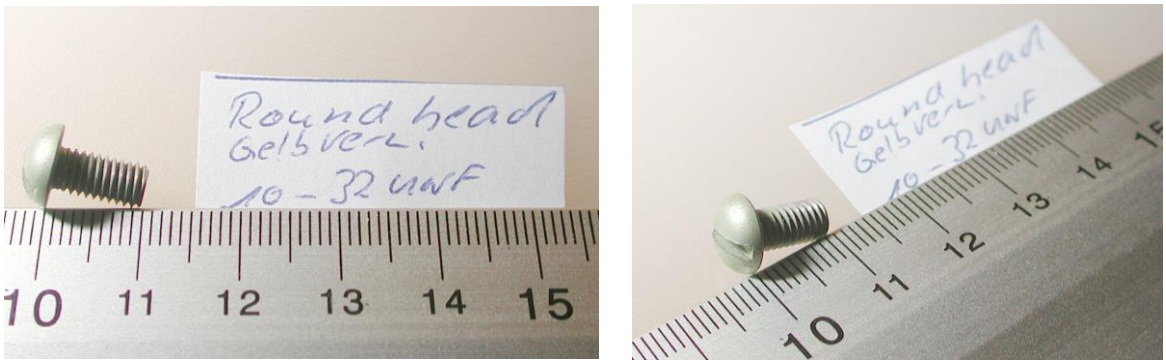


Abbildung 357: RoundHead 10-32 UNF x 7/16 "

- Federringe, brüniert, Nr.10, ähnlich DIN 127

Einsatz: als Federring für 10-32 UNF x 7/16"

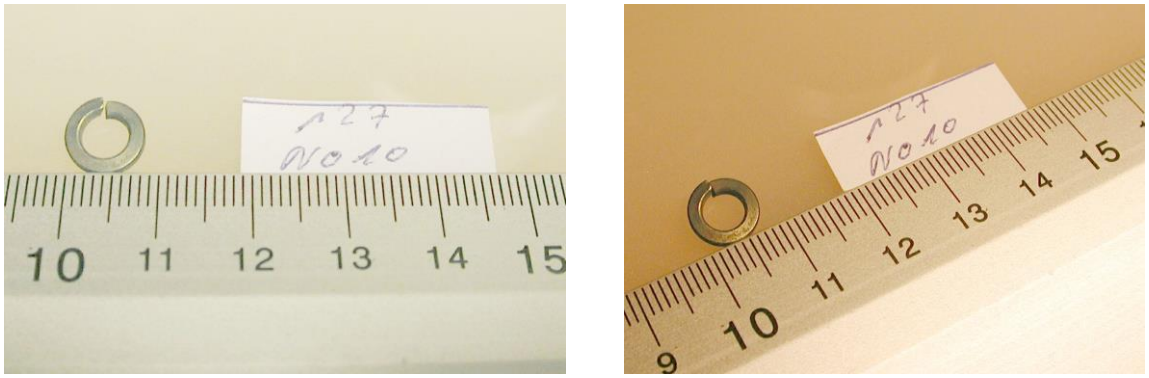


Abbildung 358: Federring No. 10

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

- Mutter, verzinkt, 8-32 UNC x 11/32" x 1/8"

Einsatz: Befestigung Run-Motor, Pedalkasten, Schutzhaube Generatoranschluss

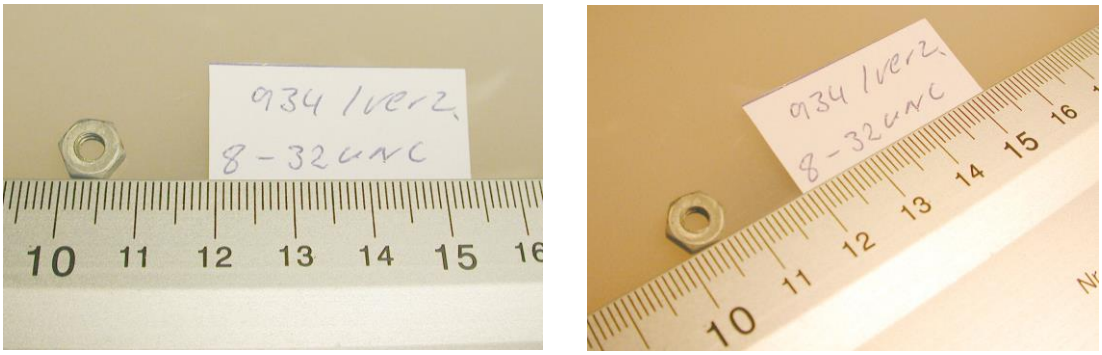


Abbildung 359: Mutter 8-32 UNC

- Federringe, verzinkt, Nr. 8 nach DIN 127

Einsatz: als Federring für 8-32 UNF x 7/16"

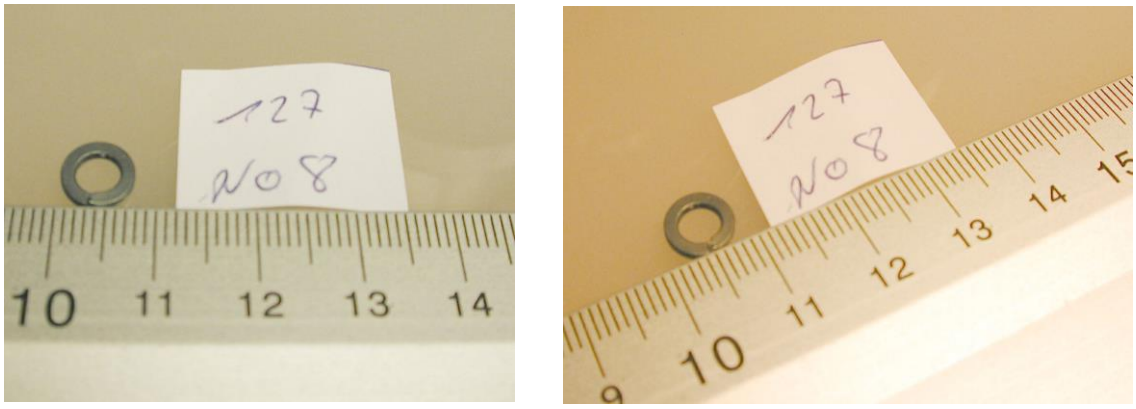


Abbildung 360: Federring No. 8

- Pan Head, Edelstahl (V2A), 5-40 UNC x 3/16"

Einsatz: Verschraubung Scanner-Gehäuse

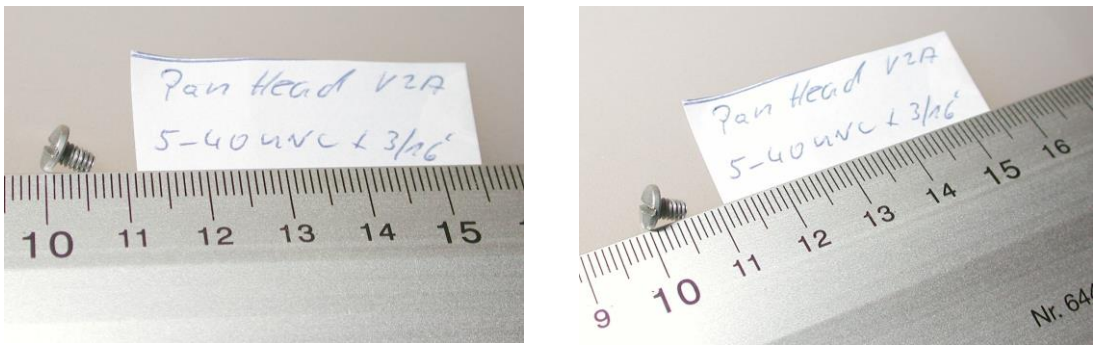


Abbildung 361: Pan Head, 5-40 UNC x 3/16"

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

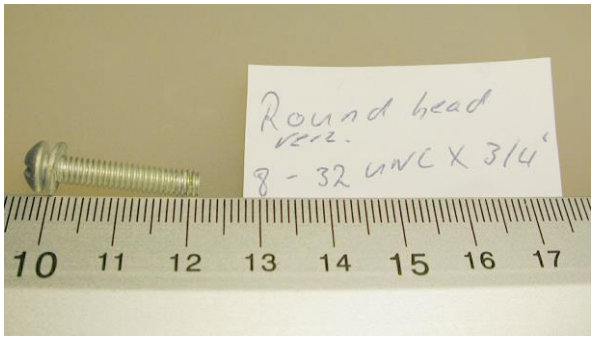
- RoundHead, verzinkt, 10-32 UNF x 1"

Einsatz: Befestigungsschrauben des Pre-Amplifiers in der Orgel

Abbildung 362: RoundHead 10-32 UNF x 1"

- RoundHead, verzinkt, 8-32 UNC x 3/4"

Einsatz: Befestigung Metallleiste im Manualblock (weißer Drappstoff als Anschlagfilz für alle weißen Tasten)



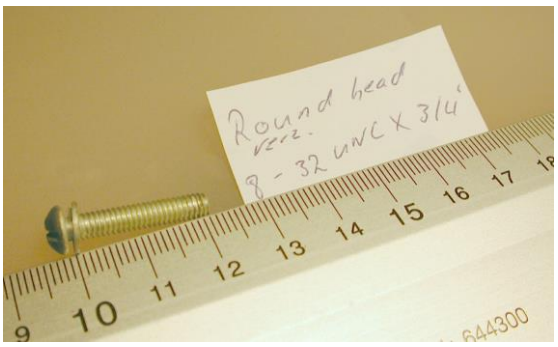


Abbildung 363: RoundHead 8-32 UNC x 3/4"

- RoundHead, verzinkt, 8-32 UNC x 11/4"

Einsatz: drei Schrauben im Pedalkasten (von außen horizontal durch das Holz gehend, von außen sichtbar)

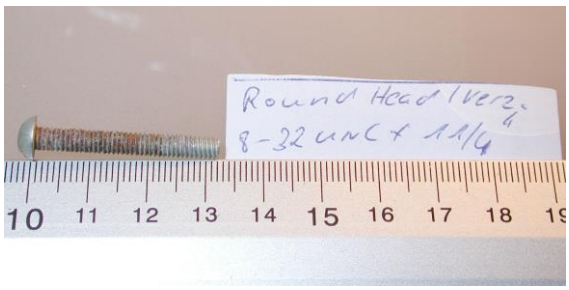


Abbildung 364: RoundHead 8-32 UNC x 11/4"

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

- RoundHead, verzinkt, 6-32 UNC x 1/4"

Einsatz: zusammen mit Unterlegscheiben zum Befestigen der Pedalschlaufen sowie der seitlichen Bleche im Pedalkasten

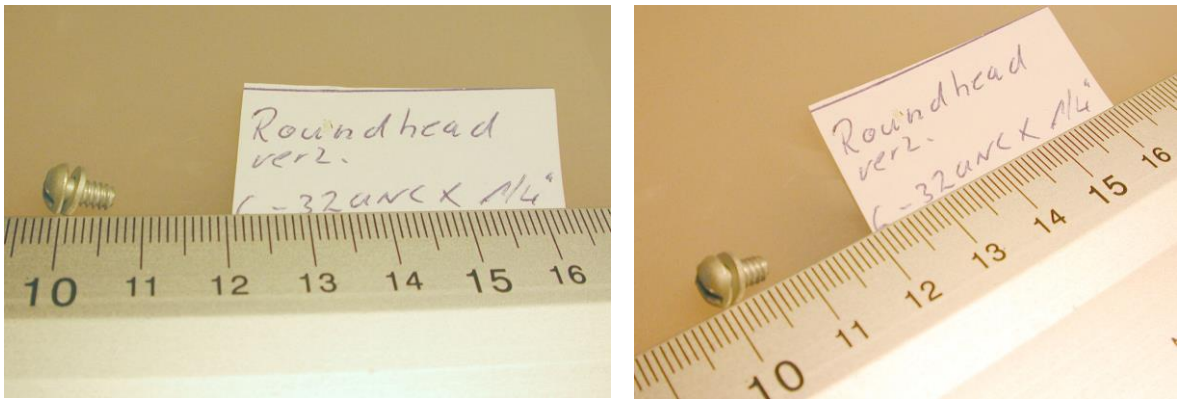


Abbildung 365: RoundHead 6-32 UNC x 1/4"

- RoundHead, verzinkt, 8-32 UNC x 3/8"

Einsatz: Pedalkasten oben

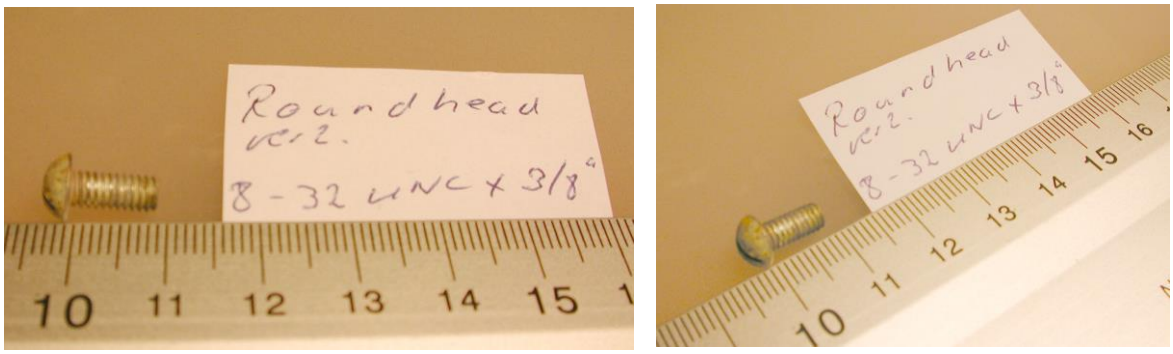


Abbildung 366: RoundHead 8-32 UNC x 3/8"

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

13.2 Transformator

Zum Anschluss einer amerikanischen Orgel ans europäische Netz benötigen Sie neben einem Frequenzumsetzer von 50 auf 60 Hz auch einen Transformator, der die zum heutigen Zeitpunkt festgelegte Spannung von $\frac{400V_{eff}}{\sqrt{3}} \approx 230V_{eff}$ auf etwa $117V_{eff}$ heruntertransformiert.*

Dazu eignen sich sicher viele verschiedene Trafos (auch so genannte "Spartrafos", die keine Potenzialtrennung erlauben). Ich hatte mich für ein Modell von Conrad Electronic entschieden, das sicher etwas überdimensioniert ist, aber damit voll und ganz dem Geist von Laurens Hammond entsprochen hätte. Leider muss ich hier warnen: mein üppiges 240VA-Modell erzeugte ein so quicklebendiges Magnetfeld, dass ein brummfreier Betrieb der Orgel nicht möglich war.

Abhilfe schaffte hier ein alter Spartrafo (zu erkennen an nur drei Anschlüssen) mit etwa der Hälfte an Nennleistung. Richtet man ihn quer aus (ausprobieren!!), lassen sich die Brummeinstreuungen (z.B. in den Ausgangstrafo des Pre-Amps; der ist nicht ohne Grund 45Grad verdreht eingebaut!!!) so weit minimieren, dass sie nicht mehr hörbar sind.

Wie man oft hört, seien besonders die Trafos der Firma „Engel“ für solche Zwecke beliebt.

Clubmitglied Ulrich Zwarg gibt uns zu diesem Thema noch folgende Ratschläge mit auf den Weg:

„Bei der A-100 den Trafo im Unterteil auf dem Boden installieren.
Bei der B-3 hinter der Netzanschlussleiste des Generators; horizontal und vertikal (!) jeweils um 45° versetzt einbauen.
Den Trafo nur für die Orgel dimensionieren, wenn ein Leslie 230V vorhanden ist.“

Bleibt anzumerken, dass die Einbaulage des Trafos vorher unbedingt empirisch ermittelt (= „ausprobiert“) werden muss. Dazu die Orgel laufen lassen und den Trafo so hin- und herdrehen, bis die Brummeinstreuungen minmal werden. Sollte das tatsächlich erst beim horizontal und vertikal verkippten 45Grad-Einbau sichergestellt sein, so muss man sich eine spezielle Halteplatte mit den entsprechenden Winkeln bauen. Auch wenn es ein bisschen ungewöhnlich aussieht: eine andere Möglichkeit zur Minimierung der Brummeinstreuungen gibt es nicht (sogar Ringkerntrafos wurden hier nicht viel besser beurteilt).

* Hinweis:
Für einige mag es vielleicht überraschend sein, dass unsere Netzwechselspannung bei rechnerisch $230{,}94V_{eff}$ liegt. Die Strangspannung (=das, wo man umgangssprachlich „230V“ sagt; manche auch noch „220V“) ist über den Drehstrom nur indirekt definiert. Dieser besteht nämlich aus drei Außenleitern, deren gegeneinander gemessene Spannung (=Außenleiterspannung) als $400V_{eff}$ (natürlich zuzüglich einer gewissen zulässigen Toleranz; das hat etwas mit dem Ausregeln in Abhängigkeit der aktuellen Netzlast zu tun) besitmmt wurde. Nur diese $400V_{eff}$ sind festgelegt; die Strangspannung gegenüber den Nullleiter ergibt sich daraus dann rechnerisch, wenn man durch $\sqrt{3}$ teilt. Warum das so ist, kann man in Fachbüchern über Energietechnik nachlesen....;-)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

14 Modifikationen

In diesem Artikel möchten wir den Rahmen für technische Modifikationen spannen und einige Möglichkeiten aufzeigen, wie man seine Hammond verändern kann. Ob das Ergebnis am Ende klanglich überzeugt, muss jeder für sich selber entscheiden. Meine persönliche Meinung möchte ich Ihnen dennoch nicht vorenthalten- wohlwissend, dass sich diese nicht immer zwangsläufig mit anderen decken muss.

14.1 Bekannte Modifikationen

Laut meines Wissensstands existiert im HNC momentan (mindestens) das Knowhow über folgende Modifikationen:

14.1.1 Die 6kHz-Modifikation im PreAmplifier AO-28

Beim Abgleich des ToneWheel-Generators muss ja u.a. der Pre-Amplifier ausgebaut werden. Es bietet sich hier an, die so genannte „6kHz-Modifikation“ gleich jetzt durchzuführen. Ein eingelötetes Poti in der Gegenkopplung linearisiert den Frequenzgang oberhalb von 5kHz (durch Anhebung der Höhen).

Beschrieben ist die Durchführung der Modifikation in [10].

Christoph Klug lieferte mir zu dieser Thematik aber noch folgenden Hinweis:

„Die vorsichtig dosierte Hochtonabhebung (etwa 2..3dB) führt zu einem durchsichtigeren Klangbild, sowie zu einer Erhöhung von gewünschten Obertönen und Hammondtypischen Störanteilen. Eine Einschränkung ist jedoch mit einer Hochtonanhebung gekoppelt:

Die klangliche Wirkung der Percussionsektion wird als zu stark empfunden. In diesem Fall kann man den Pegel der Percussion durch Verkleinerung des Lastwiderstandes am Ausgangsübertrager verringern.

Ideal zum Einstellen ist auch hier die Verwendung eines Potentiometers.“

Hinweis: der bewusste Widerstand heißt „R61“ und beträgt lt. Schaltplan (zu sehen in Abbildung 392) 33kOhm.

Zu den Messwerten der 6kHz-Modifikation siehe Kapitel 9!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

14.1.2 veränderlicher Widerstand beim Vibrato/ Chorus

Bei vielen B-3/C-3/RT-3-Modellen wurde der Widerstand, der für den Unterschied zwischen Vibrato und Chorus verantwortlich ist (R44, siehe Abbildung 312) mit 22kOhm bemessen. Auch in meinem B-3/C-3-Service-Manual ist dieser Widerstand mit 22kOhm angegeben. Offensichtlich wurde dieser Widerstand im Laufe der Produktion der Orgeln irgendwann in seinem Wert etwas verkleinert, um dem Chorus-Vibrato etwas mehr Amplitudenschwankungen zu verleihen. Angeblich hätte man bei den (späteren) A100-/D100-/M3-Modellen gleich zu Beginn der Produktion an dieser Stelle bereits nur 12kOhm eingesetzt.

Es ist letztendlich eine Frage des Geschmacks, mit welchem Widerstandswert man das Chorus "besser" findet (das Vibrato betrifft es nicht; hier ist R44 sowieso überbrückt). Um den besten Kompromiss -und damit das Chorus seines eigenen Geschmacks- zu finden, kann man z.B. ein 100kOhm-Potenziometer parallel zu R44 anschließen (an Pin 1 der Vibrato-LineBox, siehe auch Abbildung 139). Durch Drehen an diesem Poti während des Spiels kann man nun kontinuierlich zwischen Chorus und Vibrato hin- und herregeln, was man vorher nur einfach "hart umschalten" konnte.

Wer bei einer bestimmten Einstellung des Potis meint, sein Lieblings-Chorus gefunden zu haben, kann das Poti wieder abklemmen, den eingestellten Widerstandswert messen und diesen als Festwiderstand parallel zu R44 löten. Das Tolle dabei: diese Modifikation kann jederzeit wieder spurlos rückgängig gemacht werden!

Natürlich kann man auch das Poti selber angeschlossen lassen und so den Effekt einstellbar machen. Wer z.B. in seiner Bühnenorgel noch ein Plätzchen findet, wo er noch ein Loch bohren kann, ohne gleich einen Aufschrei der Nostalgiker zu provozieren, muss lediglich darauf achten, dass das Anschlusskabel zum Poti nicht zu lang wird (Brummeinstreuungen).

Im Internet kann man teilweise Umbauten sehen, die sich solche Potenziometer (für diese und andere Modifikationen) in die Manualendblöcke eingebaut haben. Eigentlich eine gute Idee, die auch oft angewendet wird. Als nostalgischen Gründen kann ich allerdings nur raten, sich zu diesem Zweck einen neuen Manual-Endblock neu anfertigen zu lassen und den alten (originalen) für einen späteren Rückbau aufzuheben!
Hinweis:
Die Firma „trek II“ bietet solche nachgebauten Manualendblöcke im Internet an!

Clubmitglied Christoph Klug gibt uns noch Folgendes mit auf den Weg:
„Ich bevorzuge klanglich den niedrigeren Wert der späteren Modelle! Falls jemand den Widerstandswert für R44 verändern möchte, diese Modifikation aber nicht an der schwer zugänglichen Vibratodrehschalterbaugruppe ausführenmöchte, kann den Widerstand auch (gut zugänglich) direkt an der LineBox anlöten (Parallelschlaltung mit R44). Lediglich die Masseverbindung muss dann zugeführt werden- z.B. vom Chassis des Pre-Amps.“

Hinweis des Autors: In diesem Fall beläuft sich der Parallelwiderstand auf 27kOhm. In der Parallelschaltung mit R44 ergeben sich so rechnerisch die gewünschten 12,1kOhm.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

14.1.3 Einbau von 10µF-Kondensatoren in Zugriegel

Laut [1]. Ziel: Absenkung des NF-Pegels im 2' und $1^3/_5$'-Zugriegel bei tiefen Tönen. Nur sinnvoll bei nicht abgeglichenen Tongeneratoren; quasi als „Sofortmaßnahme". Verspricht –ohne großen Aufwand- oft subjektive Klangverbesserung, ohne den Generator komplett neu abgleichen zu müssen.

14.1.4 Celeste-Vibrato

Durch zusätzliche Beschaltung der LineBox soll eine Art "Celeste-Vibrato" erreicht werden. Hierzu gibt s in unserer Clubzeitschrift „Hammond Nostalgie Times" einige Anregungen.

14.1.5 MIDI-fizierung

Durch Einbau eines MIDI-out-Kits können andere MIDI-fähige Instrumente (z.B. Synthesizer, Expander, Computer, usw.) durch die Hammond angesteuert werden. Experte auf diesem Gebiet ist Clubmitglied Christoph Klug.

Mehr dazu ebenfalls in der „Hammond Nostalgie Times".

14.1.6 unsymmetrischer Line-Out

Eine recht hilfreiche Modifikation ist der Einbau eines unsymmetrischen Line-out Ausgangs. Hier kann man dann zum Beispiel Gitarrenverstärker, Tonbandgeräte, Audiorecording-Karten (Computer), externe Tonkabinette oder Leslie-Nachbauten anderer Hersteller mit Standard-Klinke-Eingang anschließen. Für Musiker ist solch ein Line-out auch oft hilfreich, wenn es z.B. darum geht, einen Bühnenmonitor zu versorgen.

Die Anwendungen sind sicher zahlreich und der Einbau schnell erledigt.

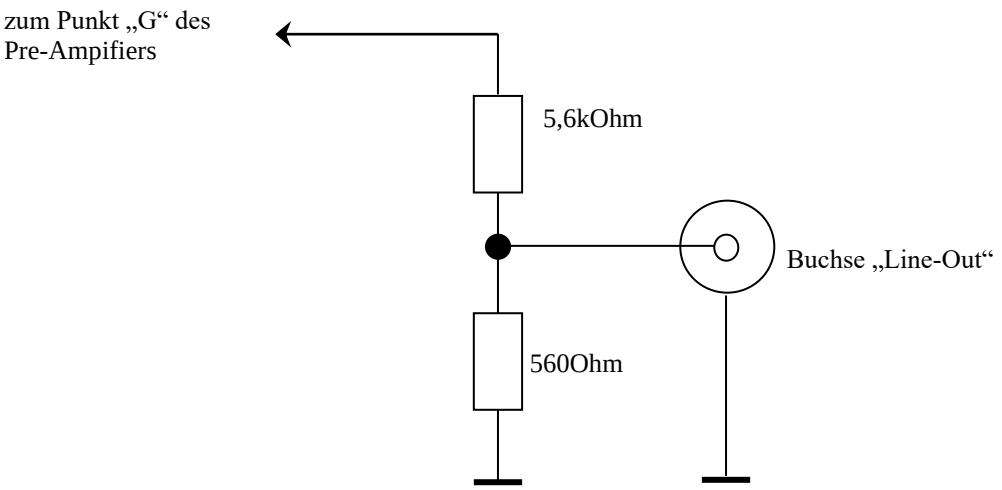


Abbildung 367: Schaltbild "unsymm. Line-out "

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

14.1.7 symmetrischer Line-out

Hin und wieder benötigt man vielleicht auch eine symmetrische Auskopplung des Tonsignals. Das ist bei einer Hammond mit AO28-Vorverstärker sehr einfach, denn durch den integrierten Ausgangsübertrager wird an den Anschlüssen „Klemme G“ bereits ein voll symmetrisches Tonsignal geliefert!

Es genügt also, die Schaltung aus Abbildung 367 zu verdoppeln und an beide Anschlüsse „G“ des Preamps anschzuschließen. Wichtig dabei: man benötigt natürlich einen Steckverbinder, der auch symmetrische Signalübertragung gestattet (wie z.B. die häufig verwendete Steckernorm „XLR“). Man erkennt sie daran, dass sie mindestens drei-polig ausgeführt ist, weil nun drei „Signale“ übertragen werden müssen:

- das „normale“ Tonsignal
- das dazu um 180° gedrehte Tonsignal
- die Gehäusemasse (GND)

Die Standardbelegung ist normalerweise: Pin1=GND, Pin2=+Phase, Pin3=-Phase.

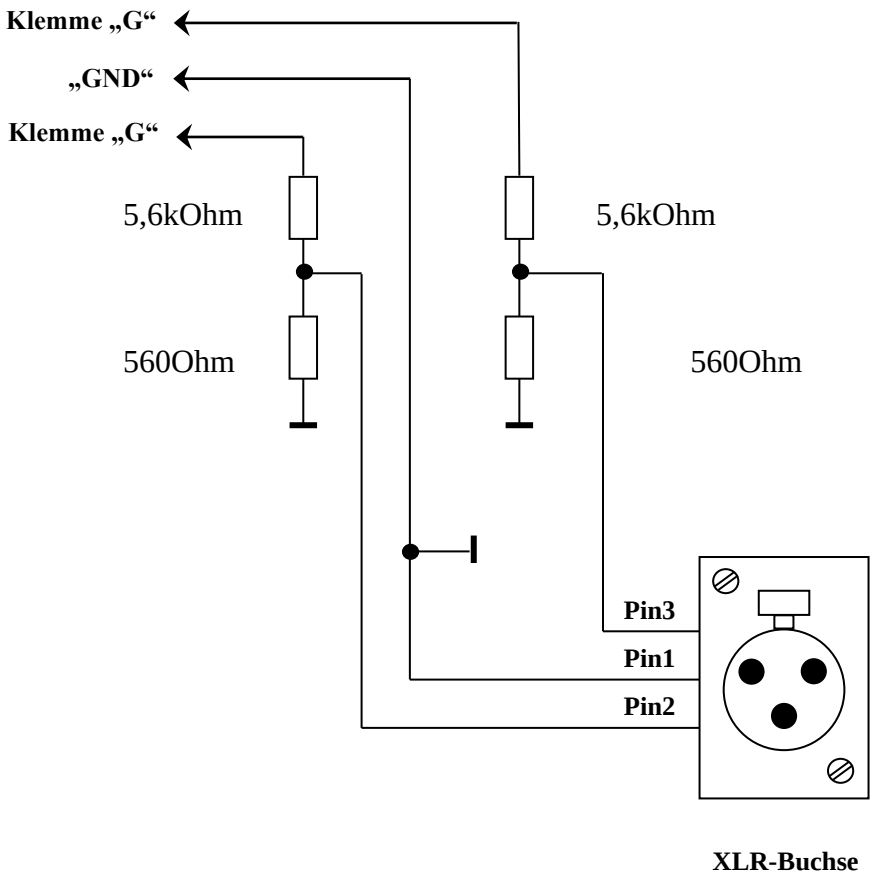


Abbildung 368: Schaltbild "symm. Line-out"

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

14.1.8 Einbau RC-Netzwerke in Tongenerator

Ab einem gewissen Zeitpunkt wurde in die Hammond-Tongeneratoren ein zusätzliches RC-Filternetzwerk eingebaut. Diese Tiefpassfilter sollten Brumm- und Übersprechstörungen des 16'-Zugriegels minimieren, die insbesondere in den Tönen Nr. 37 bis 48 entstehen können.

Technical Bulletin

HAMMOND ORGAN COMPANY
DIVISION OF HAMMOND CORPORATION
4200 DIVERSEY | CHICAGO, ILLINOIS 60639

January 8, 1965
(Reprinted 4-1-66)

TO ALL MAINTENANCE ENGINEERS – CHANGES

NO. MODELS
16 B-3, C-3, RT-3
A-100 Series
D-100 Series

SUBJECT: IMPROVED GENERATOR FILTERING

Instruments starting with serial numbers listed below, have incorporated within the generator, a revised filtering system on frequencies 37 through 48.

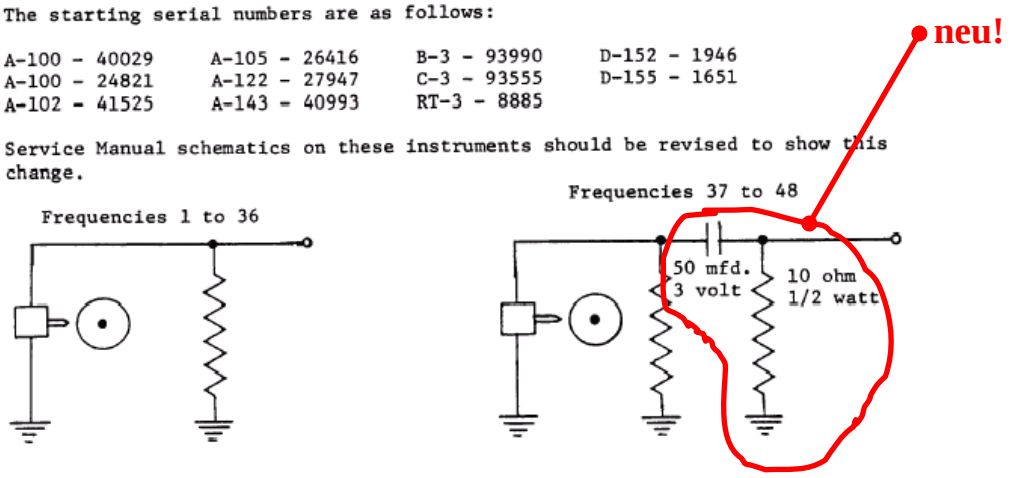
Use of an R C network in place of a resistive and untuned filter on these frequencies reduces the background cross-talk.

This network consists of 50 Mfd. 3 Volt Capacitor and 10 Ohm 1/2 Watt Resistor in the output circuit of the generator.

The starting serial numbers are as follows:

A-100 - 40029	A-105 - 26416	B-3 - 93990	D-152 - 1946
A-100 - 24821	A-122 - 27947	C-3 - 93555	D-155 - 1651
A-102 - 41525	A-143 - 40993	RT-3 - 8885	

Service Manual schematics on these instruments should be revised to show this change.



FIELD CHANGES ON EARLIER INSTRUMENTS

This improvement can be added to earlier instruments by ordering 12 AO-25637-0 Filter Networks from the Service Department.

In production, these networks are mounted on top of the generator. But, for field application, we suggest they be mounted directly below the terminal strip, using terminal strip mounting bolts 1-4-5-7-8-10-13-14-17-18-21 & 22 counting from the "Run Motor" end of the generator.

Page 1 of 2

NOTE: This bulletin is a confidential letter to the Hammond dealer organization and is not for general distribution.

)4-264

Abbildung 369: Technical Bulletin Nr. 16 (1/2)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Diese Abänderung wurde sogar hochoffiziell von der Firma Hammond selber eingeführt: in einem so genannten "Technical Bulletin*" wurde die Modifikation angekündigt und zur Nachrüstung empfohlen.

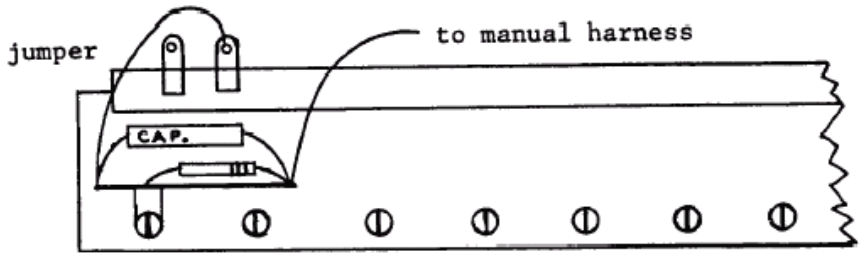
Zur Information habe ich dieses Technical Bulletin in Abbildung 369f abgedruckt.

NOTES: It is not necessary to remove existing filter transformers.

It will be necessary to extend applicable lead wires approximately two inches.

IMPROVED GENERATOR FILTERING

EXAMPLE: Physical application of filtering to frequency 42.



CAUTION: Remove only one bolt at a time. Replace and tighten each bolt before removing next one.

Abbildung 370: Technical Bulletin Nr. 16 (2/2)

Für alle die, die nicht das Vergnügen hatten, in der Schule Englisch gelernt zu haben:
Sinngemäß wird dort beschrieben, dass die Töne Nr. 37 bis einschließlich 48 mit RC-Tiefpassfiltern von 50µF und 10Ohm ausgerüstet werden sollten, um das Hintergrund-Übersprechen zu minimieren.

Heutzutage würde ich statt der 50µF-Kondenatoren lieber 47µF einsetzen (Standard-Wert). Dadurch ändert sich rechnerisch die Grenzfrequenz zwar von ca. 338Hz auf 318Hz; jedoch ist der Unterschied mit großer Sicherheit nicht hörbar (der tiefste Ton (Nr. 37) liegt immerhin bei etwa 262Hz).

Wichtig: Bitte zuerst die RC-Modifikation einbauen und dann erst den Generatorabgleich durchführen! Hintergrund: Die RC-Netzwerke beeinflussen die Ausgangsspannung der Töne 37..48 etwas. Das muss durch den mechanischen Generatorabgleich (Verschieben der Magnetstifte) wieder kompensiert werden

* eine Art Info-Rundschreiben an alle Hammond-Techniker

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

14.2 Umbau von 50 Hz auf 60 Hz

Auch wir mussten einige schmerzliche Erfahrungen beim Umbau unserer Orgel auf das westeuropäische Stromnetz (400V/√3 ≈230V, 50Hz) machen.

Kern der Umbaumaßnahmen ist sowohl ein Vorschalttransformator (230V/50Hz auf 117V/50Hz) als auch eine elektronische Wandlerplatine, die die 117V/50Hz in 117V/60Hz umformt. Es gibt dabei einige verschiedene Wandlerschaltungen, die jedoch meistens auf ein und demselben Schaltungskonzept beruhen.

14.2.1 Rechteckwandler

Hat man sich „irgendwo“ eine 50Hz->60Hz-Wandlerplatine besorgt, so handelt es sich hierbei mit großer Wahrscheinlichkeit (leider) um einen Rechteckwandler. Das bedeutet, dass die Ausgangsspannung zwar den geforderten 117V_{eff} und 60Hz entspricht, jedoch die Ausgangswellenform nicht eine Sinus-, sondern vielmehr ein Rechteckfunktion ist.

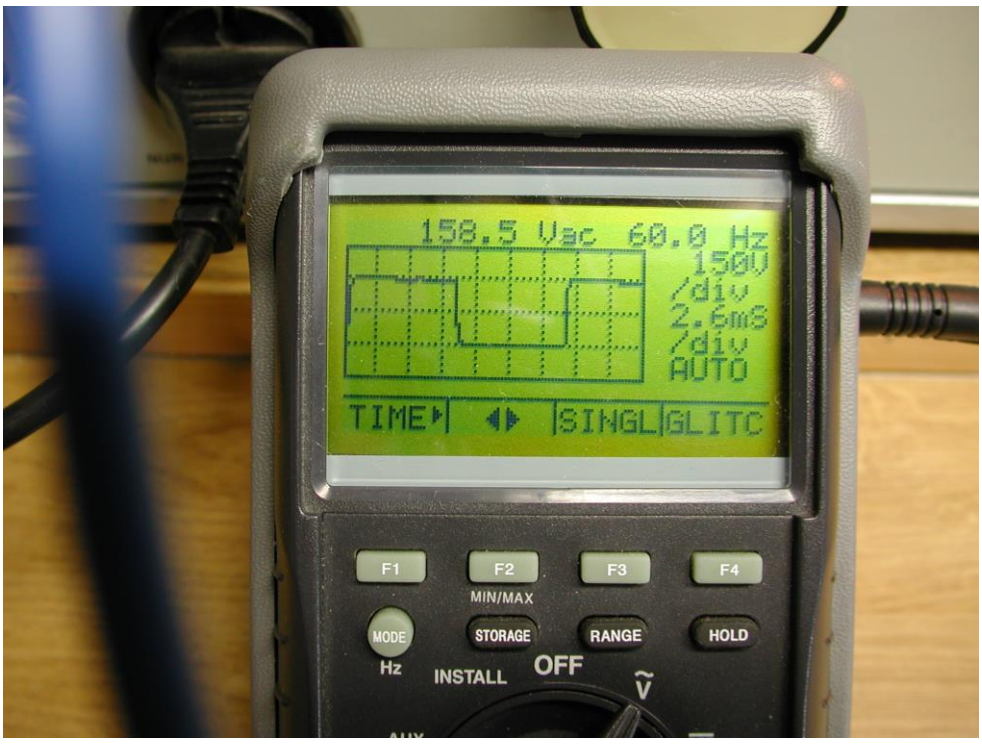


Abbildung 371: Ausgangswellenform eines 60Hz-Rechteckwandlers

Der Hintergrund:
Rechteckwandler sind heutzutage schaltungstechnisch relativ einfach zu realisieren. Außerdem ist die Verlustleistung dieser Geräte (durch die steilen Schaltflanken) sehr gering- damit der Wirkungsgrad recht hoch (so etwa 80%..90% sind möglich!). Das bedeutet, dass handelsübliche Schalttransistoren aus Fernsehern oder PC-Netzteilen (Massenware) verwendet werden können, die nicht teuer sind und dennoch zuverlässig arbeiten.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

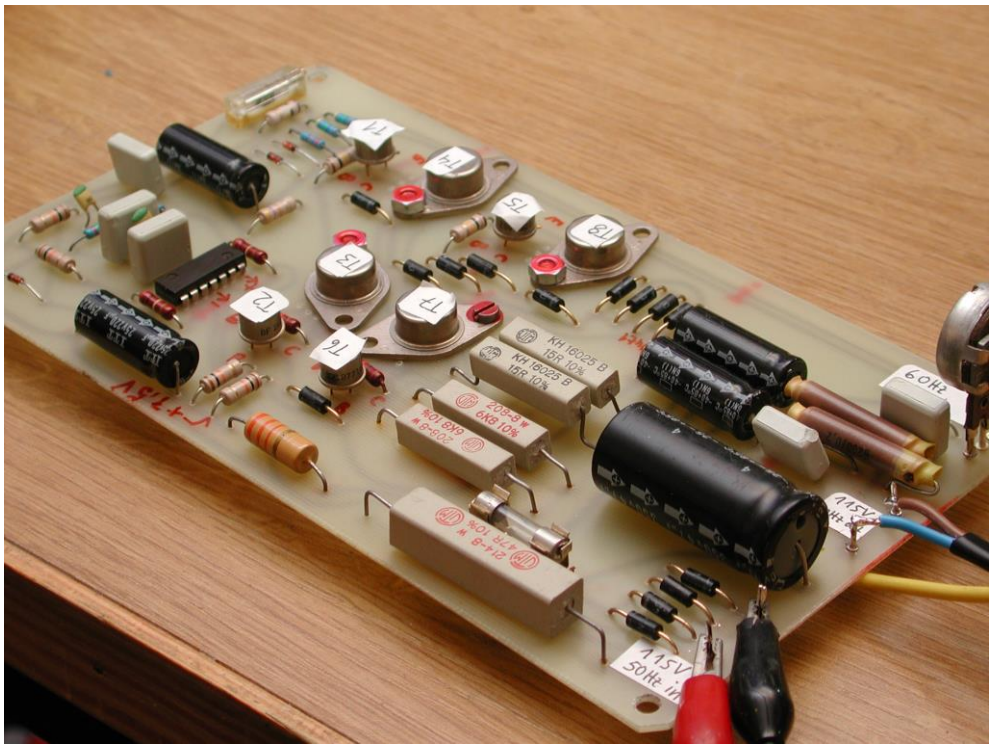


Abbildung 372: typischer Rechteckwandler

Der Nachteil:
Der hohe Wirkungsgrad musste in unserem Fall leider durch einen erheblichen Nachteil erkauft werden: Störungen! Rechteckschwingungen (besonders die von getakteten Schaltwandlern) beinhalten leider sehr viele Oberwellenanteile (mathematischer Beweis in Kapitel 16), die sehr gerne in andere Geräte in der unmittelbaren Nachbarumgebung einstrahlen und so Brumm- und Pfeifstörungen verursachen können.

Das Problem:
Wie sich bei uns nach langen Messungen herausstellte, liegt ein konzeptioneller Schwachpunkt bei der Hammond-Orgel direkt hinter den Anschlüssen des Synchronmotors. Sie führen direkt aus dem Motorgehäuse heraus und enden an der Anschlussplatte des ToneWheel-Generators. Leider kommen sie auf dem Weg dorthin unmittelbar auf "Tuchfühlung" mit dem Scanner, dessen sehr sensible Schraubanschlüsse (Scanner-Kabelbaum) durch die enorme Hochohmigkeit leider sehr empfänglich für elektrostatische Einstrahlungen sind! Verwendet man nun solch einen Rechteck-Schaltwandler, so kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass Prassel- /Zirp- und Brummgeräusche in den Scanner einstrahlen, diese von dem herumlaufenden Rotor aufgenommen und zum PreAmp geleitet werden. Dort werden sie über den Vibrato-Eingang (Klemme „D“) munter mitverstärkt. Hat man Glück, so sind diese eingekoppelten Störgeräusche gerade noch nicht hörbar; hat man Pech, dann benötigt man einen Sinuswandler!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Man erkennt solche Störungen übrigens an zwei Eigenarten:

a) die Störungen (Zirp-Geräusche) zirkulieren im Umdrehungstakt des Scanners bzw. der Modulation des Vibratos
b) die Störungen verschwinden, sobald der Eingang "D" des Pre-Amps mit einem Laborkabel gegen Erde (=Metallgehäuse) gelegt wird (das funktioniert auch im laufenden Betrieb; es entsteht kein Schaden an der Orgel)

In diesem Fall kann man sicher sein, dass die Störgeräusche zweifelsfrei durch die Stromversorgung des Synchronmotors in den Scanner eingekoppelt werden.

Wir haben daraufhin einige Versuche mit Netzfiltern durchgeführt; leider nur mit bescheidenem Erfolg. Obwohl durch dessen Einsatz eine Glättung der Schaltflanke zweifelsfrei nachgewiesen werden kann, beeinflusste das in unserem Fall leider kaum die hörbaren Störungen.

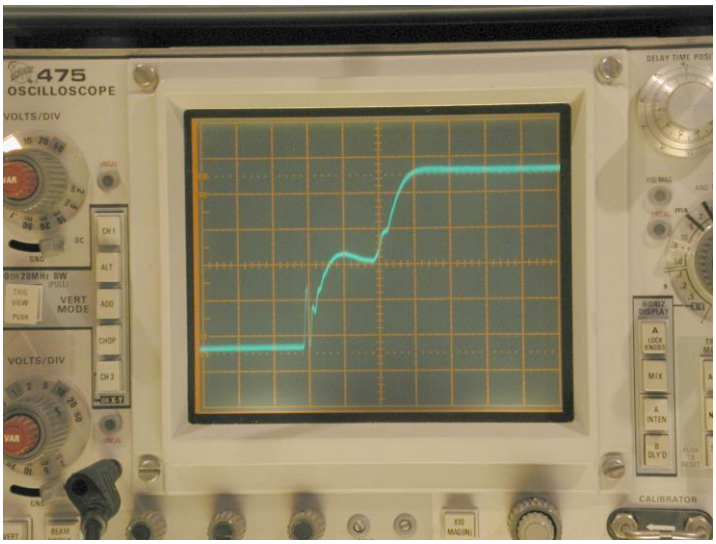


Abbildung 373: Schaltflanke ohne Netzfilter

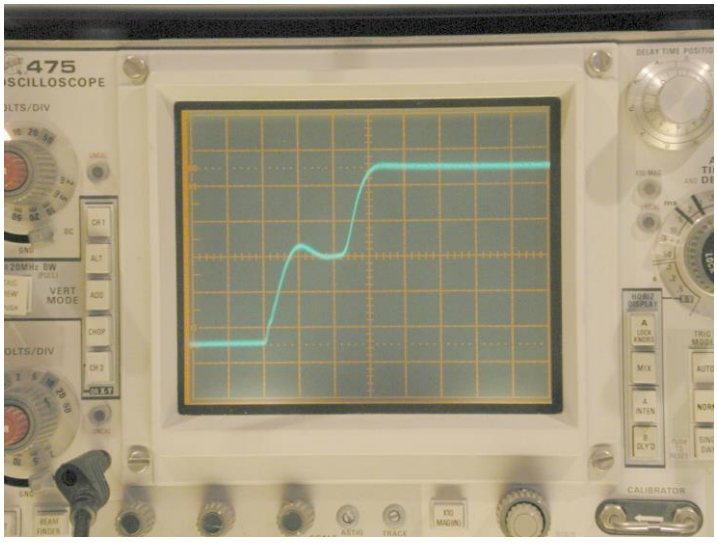


Abbildung 374: Schaltflanke mit Netzfilter

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Weitere Auswirkungen der Rechteckspannung:
Clubmitglied Ulrich Zwarg berichtet in [19] von einem Experiment, bei dem ein ToneWheel-Generator zuerst mit einer Rechteckspannung und in einem zweiten Versuch danach mit einer Sinusspannung versorgt wurde. In beiden Fällen wurde ein Stroboskop auf die Drehachse gerichtet und so justiert, dass sich ein stehendes Bild ergab. Das Ergebnis: bei Versorgung des Generators mit Rechteckspannung sei ein leichtes Zittern der Antriebsachse nachgewiesen worden, das bei Sinusspannung jedoch nicht auftrete. Allein den vielen Schingfederkupplungen und Schwungmassen sei es zu verdanken, dass diese Jitter-Einflüsse schließlich im Ton nicht hörbar seien. Ob sich der Betrieb mit Rechteckspannung jedoch auch zusätzlich negativ auf die Lebensdauer des Run-Motors auswirkt, wurde bislang noch nicht untersucht, ist in meinen Augen von vorneherein aber auch nicht sicher auszuschließen.

14.2.2 Sinuswandler

Allererste Wahl sind daher Wandler, die ein reines Sinussignal erzeugen. Tonstörungen durch unerwünschte Einkopplungen sind dabei normalerweise vernachlässigbar klein. Weil die Orgel auch damals für den Betrieb mit sinusförmiger Wechselspannung (117V/60Hz) konzipiert wurde, kommt man mit solch einem Wandler dem ursprünglichen Betriebszustand sicher am allernächsten. Ansonsten hätte man das brummempfindliche Scannerkabel sicherlich auch nie so nahe an den elektrischen Anschlüssen des Run-Motors verlegt.

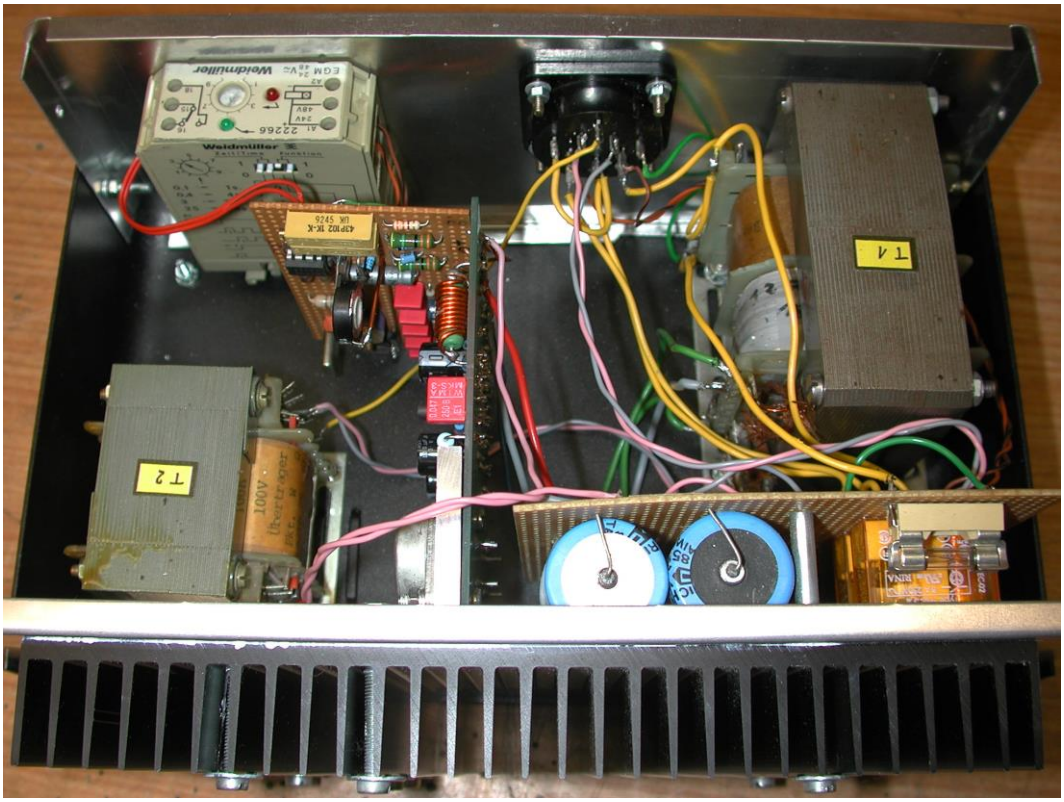


Abbildung 375: Eigenbau-Sinuswandler von U. Zwarg

Leider ist die Schaltungstechnik solcher Sinuswandler nicht ganz einfach (siehe Abbildung 375). Es gilt prinzipiell, einen kompletten NF-Leistungsverstärker der Größenord-

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

nung 100W zu bauen, der mit einem 60Hz Sinussignal gespeist wird und dessen Ausgang dann die Motoren unserer Hammond antreibt. Weiterhin sollte man den Verstärkerausgang dann sicherheitshalber über einen Trenntrafo leiten, damit im Falle eines Defekts (z.B. ein Transistor bekommt einen Kurzschluss und koppelt damit Gleichspannungsanteile aus) der Run-Motor nicht zerstört wird, sondern „nur“ der davor geschaltete Übertrager.

Hinweis:
Sowieso kann ich - nach meiner schmerzvollen Erfahrung mit den durchgebrannten Motoren meines Bühnen-Leslies in Verbindung mit meinen Halbleiter-Motorenrelais- nur jedem dringend empfehlen, an solchen Stellen zusätzlich 1:1 Trenntrafos einzuschleifen. Diese können prinzipbedingt keine Gleichspannungsanteile übertragen und brennen daher eher selbst durch, bevor sie andere –dort angeschlossene- Motoren beschädigen. Das ist schon schlimm genug, aber 1:1-Trafos kann man überall nachkaufen; Leslie- bzw. Hammond-Motoren aber normalerweise nicht.

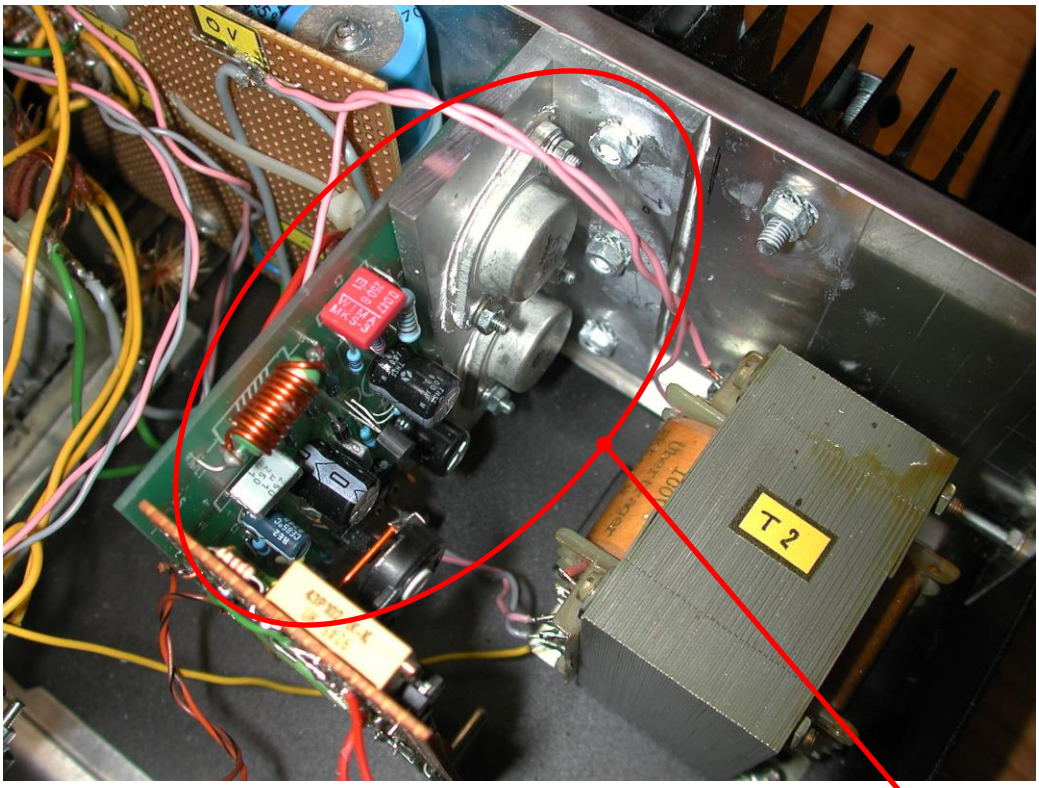


Abbildung 376: Herzstück des Sinuswandlers: NF-Verstärkerplatine

Wie sehen also: Gute Wandler sind aufwändig gebaut, dementsprechend teuer und erzeugen meist auch eine Menge Verlustwärme. Daran lässt sich leider nicht rütteln.

(siehe auch Kapitel 6.1.6)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

14.2.3 Einplatinen-Sinuswandler

Der Vollständigkeit halber möchte ich erwähnen, dass es grundsätzlich aber auch möglich ist, einen kompletten Sinuswandler auf einer einzigen Platine zu realisieren. Unser Protoyp (zu sehen in Abbildung 377) basiert auf einer älteren Schaltungsidee von U.Zwarg, die jedoch von mir inzwischen etwas modernisiert wurde.

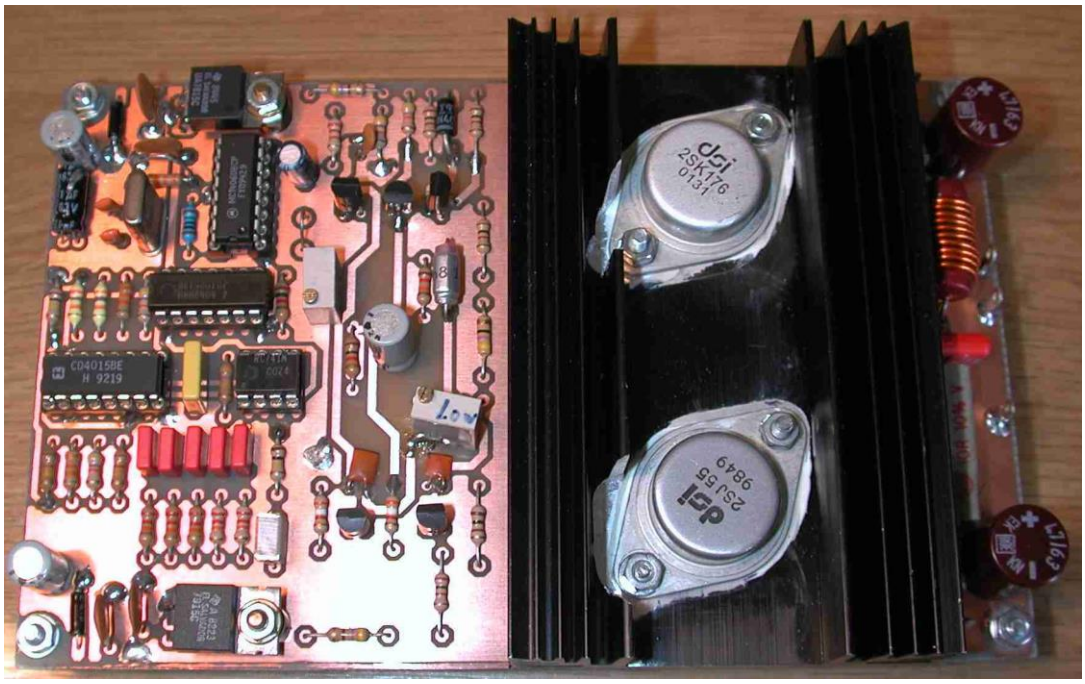


Abbildung 377: Einplatinen-Sinuswandler (Prototyp)

So wurde die quarzstabilisierte Erzeugung der Referenzfrequenz überarbeitet, die Sinuserzeugung modernisiert und darüberhinaus der komplette Verstärkerzweig zusätzlich mit auf dieselbe Platine übertragen.

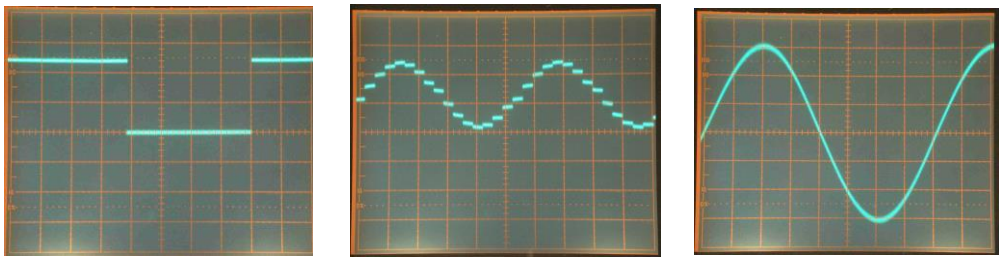


Abbildung 378: vom Rechteck zum Sinus

Ausgehend von einer Rechteckspannung mit dem 16fachen der gewünschten Ausgangsfrequenz, geschieht die Sinuswandlung dabei über einen synthetischen Treppensinus, der anschließend stark tiefpassgefiltert und entsprechend verstärkt wird (siehe Abbildung 378). Grundsätzlich scheint das Konzept so zu funktioneren, jedoch sind noch weitere Optimierungen, Layoutänderungen und Langzeitversuche notwendig, bevor ich an dieser Stelle von einem fertig erprobten Baustein reden kann. Ich hoffe, dies ist dem einen oder anderen trotzdem eine hilfreiche Anregung.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

15 Wartung und Pflege

15.1 Orgel ölen

15.1.1 Abschätzung der notwendigen Ölmenge

In diesem Kapitel beschäftigen wir uns mit der notwendigen Ölmenge, die man seiner Orgel im Rahmen der Wartung und Pflege regelmäßig zuführen sollte. Die originale Ölvorrichtung besteht aus zwei kleinen Blechtöpfen, die man -laut Hinweis auf einem Blechschild- 3mal im Jahr zu $^3/_4$ voll mit Hammond-Öl füllen solle (siehe Abbildung 379).

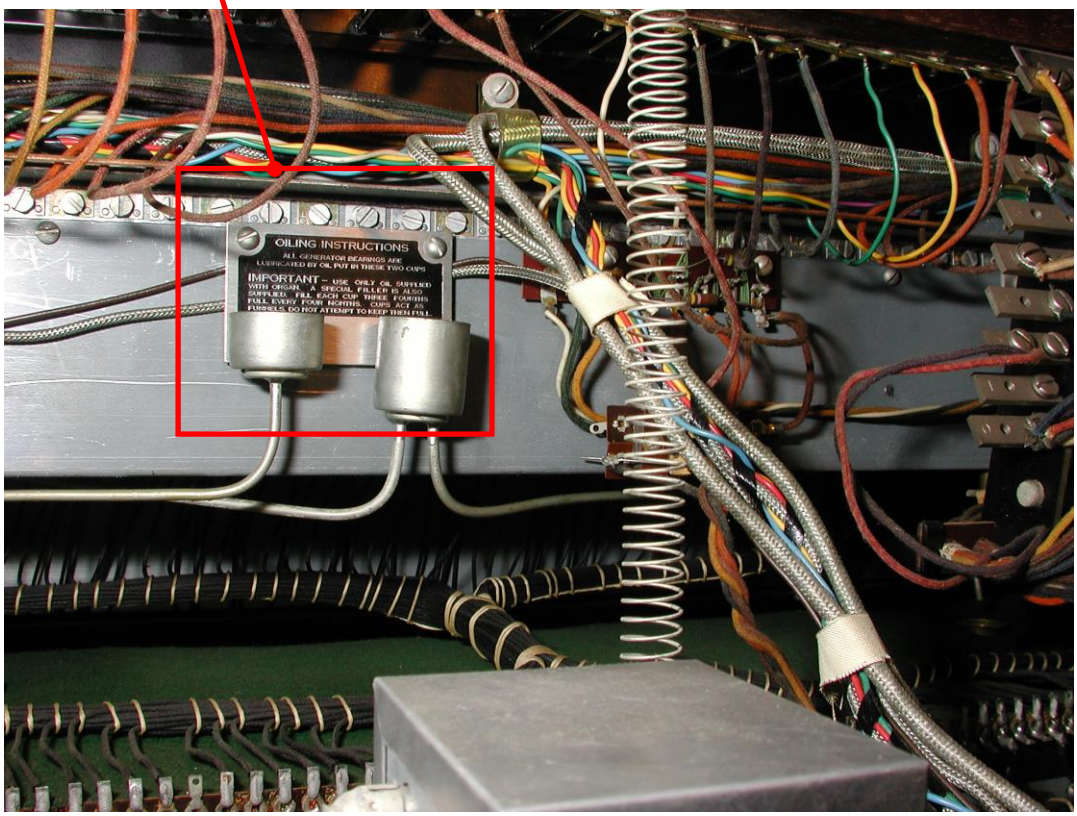


Abbildung 379: originale Öl-"Pipelines"

Nun gibt es mehrere Stimmen aus Hammond-Technikerkreisen, die uns vehement dazu raten, das 4monatige Ölen lieber nur jährlich durchzuführen, um Überölung zu vermeiden. Besonders ein zu stark geölter Scanner "säuft" gerne im allzu gut gemeinten Ölbad ab und quittiert dies durch ein sehr mäßiges Chorus/Vibrato (siehe Kapitel 7), weil sich die Kapazität der einzelnen Statoren gegen das Scanner-Gehäuse verändert. Sogar Hammond selber kommt später zu dem Schluss, dass jährliches Ölen der Orgeln vollkommen ausreichend sei (siehe Abbildung 381).

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Doch selbst wenn wir uns auf das jährliche Ölen einlassen- welche Ölmenge wird denn nun benötigt?

Als Grundlage ziehe ich hier die Abmessungen der originalen Öl-Blechtöpfchen heran. Wir unterscheiden zwischen Blechtopf Nr.1 (der kleinere von beiden), der das durch eingeschüttete Öl zur Antriebseinheit leitet; und Blechtopf Nr. 2 (der größere von beiden), der mittels zweier Rohrleitungen das dort eingeschüttete Öl zu zwei Stellen im Tone-Wheel-Generator transportiert.

Im folgenden berechnen wir nun das Fassungsvermögen (=Volumen) der beiden Blechtöpfe, die -laut Anweisung- bis zu drei viertel voll gefüllt werden sollen.

- **Blechtopf Nr. 1 (klein, 1 Leitung zur Antriebseinheit)**

Es gilt (Messwerte):
$\varnothing_{innen}$ = 25mm, => r = 12,5mm (Innendurchmesser)
h_{max} = 15mm (maximale Füllhöhe)

$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$ allgemeine Formel für Volumenberechnung

$h \overset{!}{=} \frac{3}{4} \cdot h_{max}$ (Becher soll nur zu $^3/_4$ voll mit Öl gefüllt werden)

Daher gilt:

$$V_{Blechtopf1} = \pi \cdot r^2 \cdot \frac{3}{4} \cdot h_{max}$$

$$\approx 5{,}52 mL$$

- **Blechtopf Nr. 2 (groß, 2 Leitungen zum ToneWheel-Generator)**

Es gilt (Messwerte):
$\varnothing_{innen}$ = 25mm, => r = 12,5mm (Innendurchmesser)
h_{max} = 26mm (maximale Füllhöhe)

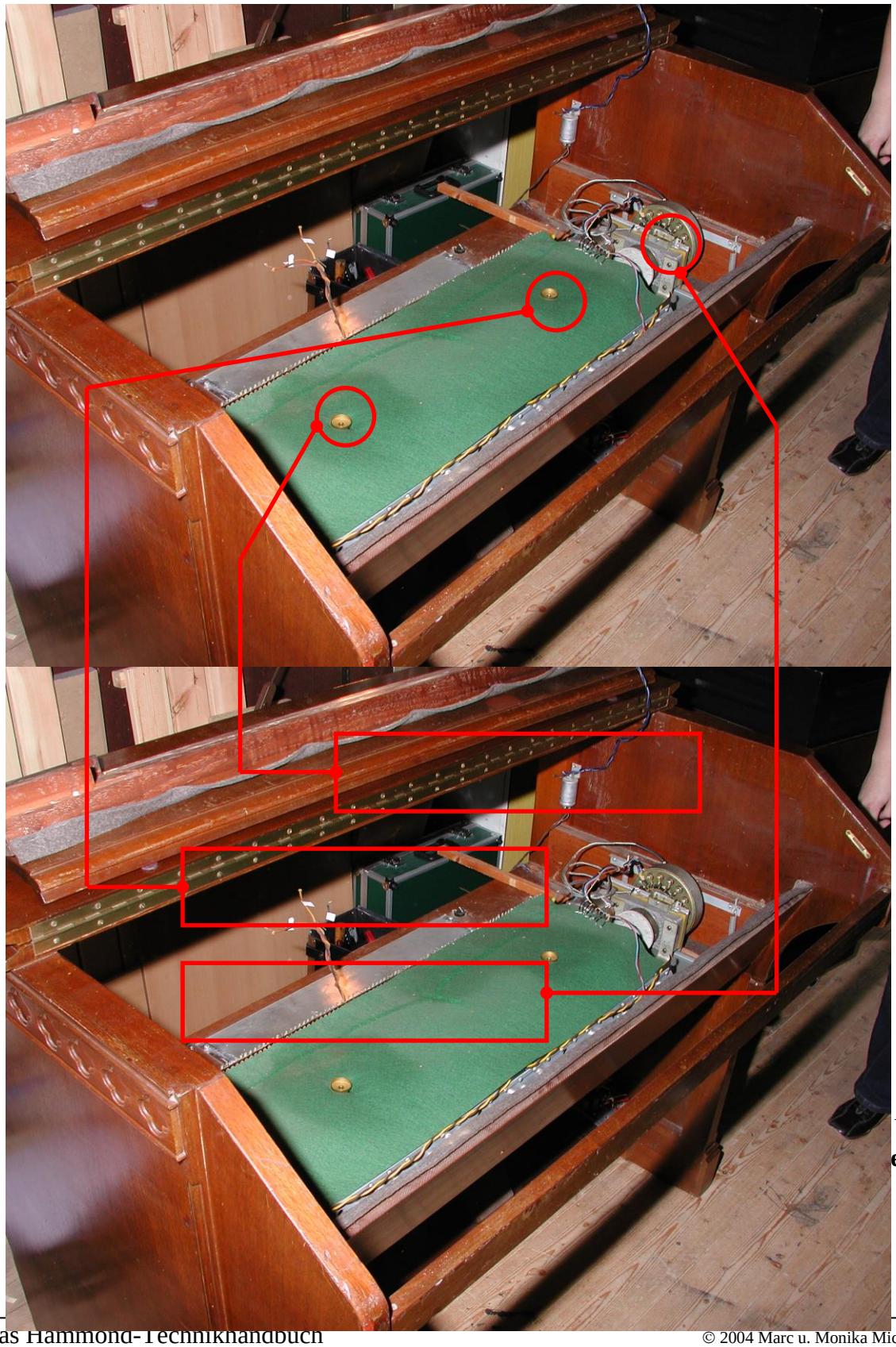
(Theoretischer Ansatz wie oben)

$$V_{Blechtopf2} = \pi \cdot r^2 \cdot \frac{3}{4} \cdot h_{max}$$

$$\approx 9{,}57 mL$$

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Für alle diejenigen unter uns, die nicht mehr im Besitz des originalen Öl-Leitungssystems mit den zwei Blechtöpfen sind, noch einmal Abbildung 380. Wir sehen folgende drei Ölpunkte, in die dann (z.B. mit einer kleinen Spritze, die besitzen meist auch eine Einteilung in "mL") das Öl "manuell" direkt in die Ölpunkte eingeträufelt werden kann.



be-

e-

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

15.1.2 Anderer Ansatz

Zum Nachdenken verleitet aber folgende Überlegung:
Wenn man sich nämlich fragt, wieviele Ölfäden denn überhaupt auf 1mL Ölmenge kommen: hier stellt man schnell ein großes Ungleichgewicht fest! Während der 5,5ml große Blechtopf die 3 Ölfäden der Run-Motor&Scanner-Einheit versorgt, soll noch nicht einmal nur die doppelte Menge (2x 4,8mL = 9,6mL) dann gleich für etliche Dutzend Ölfäden des gesamten ToneWheel-Generators ausreichen!? Nanu?

Da es dies aber offensichtlich tut, könnte man im Umkehrschluss daraus folgern, dass der Scanner dann komplett zuviel des Guten erhält und eigentlich dann nur mit einem Bruchteil der Ölmenge versorgt werden dürfte! Das scheint sich in der Praxis auch so zu bewahrheiten, denn viele unserer Clubkollegen warnen nur allzu oft vor dem ertränkten Scanner im allzu gut gemeinten Ölbad.

Mit dem exakten Wissen über die Anzahl der verwendeten Ölfäden im Tongenerator könnte dann über die bekannte Ölmenge (9,6mL) auf die äquivalente Ölmenge für den Scanner rückgerechnet werden. Gehen wir einmal beispielhaft von etwa 100 Ölfaden im Tongenerator aus (Schätzwert!), so sprechen wir dann für den Scanner über Größenordnungen von unter einem halben mL pro Jahr!

Brechnungsbeispiel:
mit der Annahme, dass im Tongenerator etwa 100 Ölfäden zu finden sind, würde wir folgenden Wert erhalten:

$$Ölmenge_{Scanner} = \frac{AnzahlÖlfäden_{Scanner}}{AnzahlÖlfäden_{Generator}} \cdot Ölmenge_{Generator}$$

$$= \frac{3}{\approx 100} \cdot 9{,}6mL \approx 0{,}288mL \text{ *}$$

*** theoretischer Wert!!! Nur Diskussionsgrundlage!!!**

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Doch Vorsicht: dieser Wert ist als rein spekulativ zu betrachten, denn er setzt mindestens drei wichtige Dinge voraus:

a) eine Schwierstelle im Scanner benötigt exakt genauso viel Öl wie eine Schmierstelle im Generator (was nicht untersucht wurde und damit nicht erwiesen ist!)

b) die genaue Anzahl der Ölfäden im Tongenerator ist bekannt (eigentlich nur Fleißarbeit, Wert liegt mir aber derzeit nicht vor)

c) es wurden keine Adhäsionseffekte berücksichtigt, also die Tatsache, dass nicht jeder Tropfen Öl letztendlich wirklich zur Schmierstelle gelangt, weil er vorher irgendwo am Rand „kleben“ bleibt (z.B. in den Leitungen des Ölzufuhrsystems, der Ölwanne, in den Filzen, usw...)

Im Moment sind also alle Voraussetzungen für mich nicht eindeutig geklärt, so dass der oben errechnete Wert bitte wirklich nur als theoretischer Diskussionspunkt verstanden werden muss!

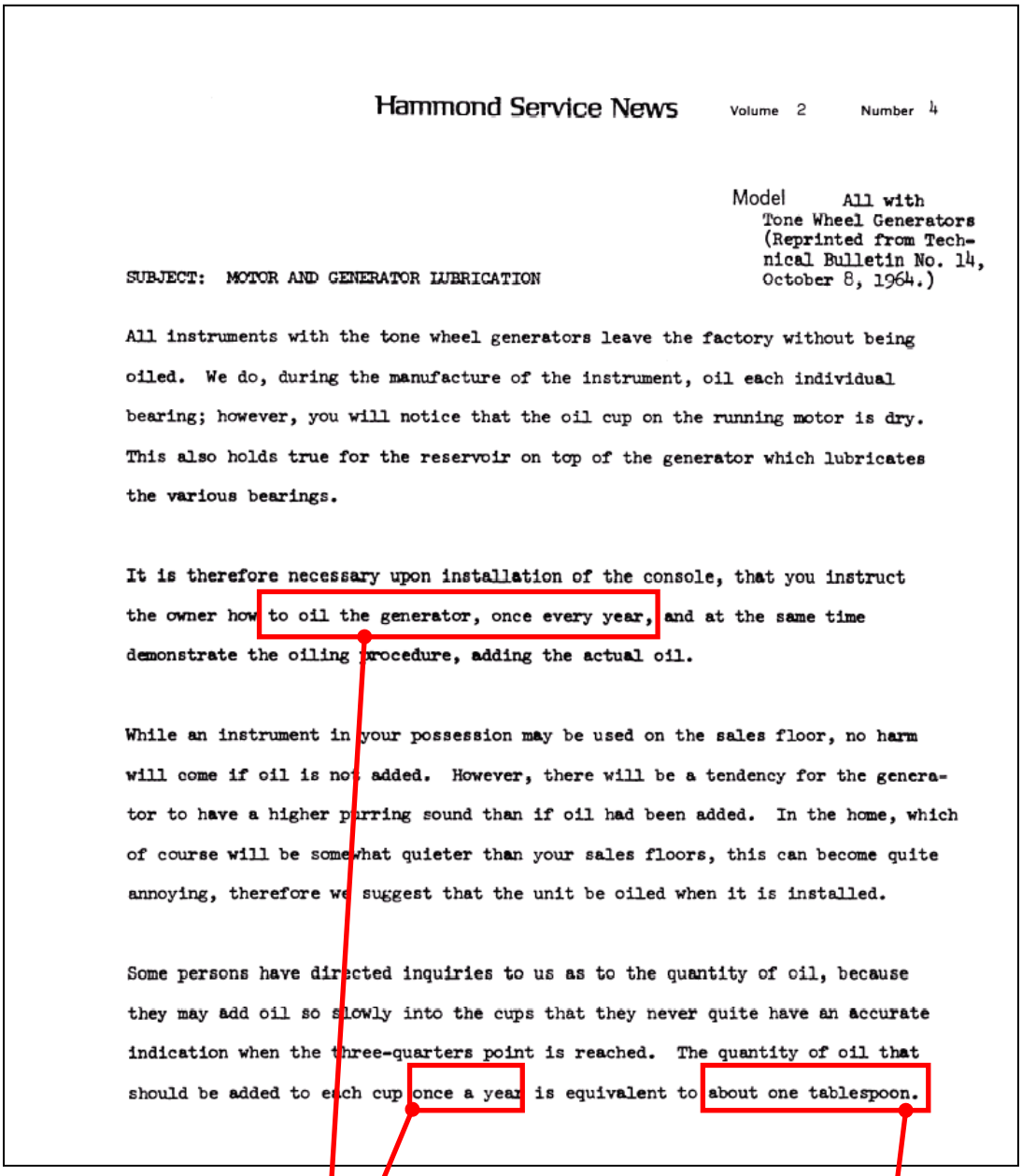
Spricht man mit Experten aus unserem Hammond-Club (also eigentlich auch Leute, die es wissen müssten) halten sie die erheblich geringere Ölmenge aber für durchaus realistischer als die 5,5mL, die sich theoretisch laut Hammond-Anweisung ergeben.

Apropos- auch die Firma Hammond selbst korrigiert ihre ursprüngliche Aussage zum Ölungsintervall (ursprünglich alle 4 Monate), wie in folgenden Dokument zu lesen ist:

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

15.1.3 Technical Bulletin zum Thema „Ölmenge“

Hier also ein Dokument, in dem es "schwarz auf weiß" zu lesen ist: man ölt nur noch einmal im Jahr!



Hammond Service News Volume 2 Number 4

Model All with Tone Wheel Generators (Reprinted from Technical Bulletin No. 14, October 8, 1964.)

SUBJECT: MOTOR AND GENERATOR LUBRICATION

All instruments with the tone wheel generators leave the factory without being oiled. We do, during the manufacture of the instrument, oil each individual bearing; however, you will notice that the oil cup on the running motor is dry. This also holds true for the reservoir on top of the generator which lubricates the various bearings.

It is therefore necessary upon installation of the console, that you instruct the owner how to oil the generator, once every year, and at the same time demonstrate the oiling procedure, adding the actual oil.

While an instrument in your possession may be used on the sales floor, no harm will come if oil is not added. However, there will be a tendency for the generator to have a higher purring sound than if oil had been added. In the home, which of course will be somewhat quieter than your sales floors, this can become quite annoying, therefore we suggest that the unit be oiled when it is installed.

Some persons have directed inquiries to us as to the quantity of oil, because they may add oil so slowly into the cups that they never quite have an accurate indication when the three-quarters point is reached. The quantity of oil that should be added to each cup once a year is equivalent to about one tablespoon.

Abbildung 381: Oiling instructions

In diesem Schriftstück (mit offiziellem Charakter) ist in der Tat nur noch von "jährlichem Ölen" die Rede.

Ebenso wird hier nocheinmal auf die Ölmenge eingegangen: es wird von "about one tablespoon" gesprochen- übersetzt: also von "etwa einem "Esslöffel".

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

16 Fourier-Analyse und -Synthese

Bevor dieses Buch zu Ende geht, möchte ich Ihnen noch einen sehr berühmten Mathematiker vorstellen, ohne dessen Grundlagenforschung es die Hammond-Orgel wahrscheinlich nie gegeben hätte: gemeint ist der französische Mathematiker *Jean Baptiste Joseph Fourier*.

1768 in Auxerre geboren, erlebte er sowohl die Französische Revolution als auch Napoleon, bevor er 1830 in Paris starb. Obwohl seine wissenschaftliche Arbeit damals anfangs sogar teils umstritten war, überließ er der Nachwelt eine der wichtigsten mathematischen Erkenntnisse überhaupt: die so genannte „Fourier-Analyse“.

Diese Theorie besagt, dass jede beliebige Wellenform (musikalisch auch „Klang“) in Wirklichkeit aus einer Zusammensetzung von (unendlich) vielen Sinusschwingungen besteht.

Fouriers ermittelte Formeln (sie sind eine spezielle Lösung der Standard-Schwingungs-Differenzialgleichung $a\ddot{x} + b\dot{x} + c = 0$) liefern ein gutes Werkzeug, beliebige Wellenformen in seine Sinus-Bestandteile zu zerlegen und so auch komplexere Töne, Klänge und Geräusche genauer zu analysieren. Dieser Technik bedienen sich heutzutage viele Geräte; und durch die heutzutage immer leistungsfähiger werdende Computertechnik ist die **F**ast**F**ourier**T**ransformation in Analyse- und Messgeräten längst Standard; und auch das allseits bekannte und beliebte mp3-Audiodateiformat basiert nicht zuletzt u.a. auf seinen Gleichungen.

Laurens Hammond muss sich intensiv mit der gesamten Thematik beschäftigt haben, denn sonst hätte er sicher kein Instrument entworfen, das den Fourier-Gedanken so dermaßen verkörpert wie kaum ein anderes. Auf der Suche nach einem Konzept, komplexe Wellenformen möglichst naturgetreu synthetisch erzeugen zu können (Laurens Hammond wollte mit seinen Orgeln ja eigentlich den Klang einer Kirchenorgel nachbilden!), drehte er die Fourier-Analyse quasi „um“, indem er folgende Idee gehabt haben muss:

Wenn der komplexe Klang einer Kirchenorgel also in Wirklichkeit aus der Überlagerung vieler verschiedener, einfacher Sinusschwingungen besteht, die sich durch die **Fourier-Analyse** sogar berechnen lassen, so muss sich genau derselbe Kirchenorgelklang aus der Summe aller Einzelbestandteile also auch künstlich wieder rekonstruieren lassen. Die praktische Umsetzung der **Fourier-Synthese** als erste –mir bekannte- kommerzielle Anwendung war geboren!

Und dass er mit diesem Gedanken definitiv Recht hatte, möchte ich im Folgenden nun auch mathematisch beweisen. Dass das klangliche Ergebnis am Ende –nach heutigen Maßstäben- nun aber doch nicht so recht überzeugen will, liegt zum einen daran, dass eine Hammond-Orgel nicht unendlich viele Sinusschwingungen erzeugen kann, und zum anderen, dass das dynamische Verhalten (Einschwingverhalten der Orgelpfeifen, usw.) sowie die Raumeinflüsse (Hall, Echo, Schallbrechung und Beugung, usw.) mit einem „einfachen“ elektromechanischen Tonradgenerator ebenfalls nicht nachgebildet werden können.

Hinweis:
Laurens Hammond muss aber auch das erkannt haben, denn das Bemühen, auch dieses Verhalten zu optimieren, (also eine „Dynamisierung“ des bislang sehr statisch klingenden Instruments) ist mit der Entwicklung des Scannervibratos und der Percussion unumstritten nachweisbar! Don Leslie ging hier mit seinen Lautsprechersystemen ja sogar noch einen Schritt weiter. Aber das ist eine andere Geschichte..... ;-)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

16.1 Fourier-Reihe

Aber nun los, an dem nun folgenden Beispiel möchte ich Ihnen die Fourier-Reihen näher erläutern. Ich werde mir Mühe geben, die trockene Materie einigermaßen anschaulich zu beschreiben. Wichtig dabei ist, zu wissen, dass es zwei äquivalente Darstellungen gibt, eine beliebige Wechselspannung mathematisch zu beschreiben:

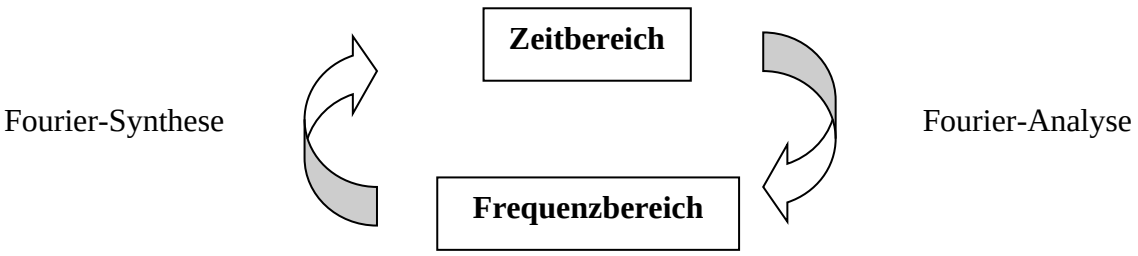
Entweder
a) im Zeitbereich

oder

b) im Frequenzbereich.

Der Weg vom einen zum anderen Bildbereich führt über die Fourier-Synthese (Anwendungsbeispiel: „Hammond-Orgel“, „Synthesizer“) bzw. über die Fourier-Analyse (Anwendungsbeispiel: Messgeräte wie „Spektrum-Analyzer“, mp3-Coder).

Die Darstellung einer Wellenform im Zeitbereich ist sicher den meisten bekannt. Ein Oszilloskop beispielsweise liefert Messungen im Zeitbereich (Beispiele siehe Abbildung 373 oder Abbildung 382). Es misst einfach die Spannung während der Zeit und stellt sie auf einem Bildschirm dar.



Technisch aber mindestens genauso interessant ist eine Messung im Frequenzbereich. Hier kann man –ähnlich wie bei einer Spektralanalyse in der Optik- die einzelnen Frequenzanteile direkt sehen, aus denen das Messsignal besteht. So genannte „Spektrum-Analyzer“ oder „FFT-Analyzer“ gehören zu derartigen Messgeräten, die aus einer Wechselspannung das dazugehörige Frequenzspektrum ermitteln können. Die Funktionsweise dieser Geräte ist eigentlich recht „simpel“: Das zu messende Signal wird meist digital im Zeitbereich aufgezeichnet (wie bei einem Oszilloskop), dann aber anschließend in den Frequenzbereich umgerechnet und z.B. auf einem Bildschirm dargestellt. Und genau hier setzt die Fourier-Analyse ein: sie ermöglicht die Umrechnung vom Zeitbereich in den Frequenzbereich!

Übrigens: „FFT“ ist die Abkürzung von FastFourierTransformation!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

16.1.1 Definitionsgleichungen

Wenn man ein etwas „ernsthafteres“ Mathematikbuch aufschlägt und dort nach der Fourier-Reihe sucht, wird man auf folgenden Ausdruck stoßen:

$$s(t) = \frac{a_o}{2} + \sum_{n=1}^{m} a_n \cdot \cos(n \cdot \omega_o \cdot t) + \sum_{n=1}^{m} b_n \cdot \sin(n \cdot \omega_0 \cdot t)$$ **Fourier-Reihe**

Das große $\sum$ -Zeichen bedeutet eine Aufsummierung der gesamten dahinter stehenden Teilformel. Dabei wird für das n jeweils ein neuer Wert (beginnend mit 1) hochgezählt und eingesetzt. Das werden wir später noch sehen.

Leider ist es mit diesem „Gebilde“ oben noch nicht genug. Die Platzhalter a_0, a_n und b_n müssen noch berechnet werden. Dafür braucht man leider ein paar Integrale:

$$a_0 = \frac{2}{T_0} \cdot \int_0^{T_0} s(t)dt$$ **Berechnung des Gleichanteils**

$$a_n = \frac{2}{T_0} \cdot \int_0^{T_0} s(t) \cdot \cos(n \cdot \omega_0 \cdot t)dt$$ **Berechnung der cos-Schwingungen**

$$b_n = \frac{2}{T_0} \cdot \int_0^{T_0} s(t) \cdot \sin(n \cdot \omega_0 \cdot t)dt$$ **Berechnung der sin-Schwingungen**

Diese drei Bestimmungsgleichungen sind die eigentliche Hauptarbeit bei der Berechnung eines Amplituden-Frequenzspektrums.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

16.2 Anwendungsbeispiel

Mit dem nun folgenden Beispiel möchte ich Ihnen praktisch zeigen, wie man solch eine Fourier-Reihe berechnet.

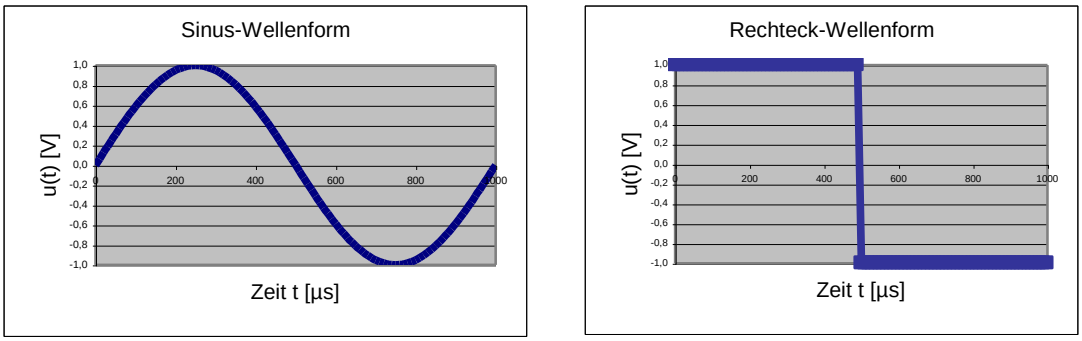


Abbildung 382 links: Sinus-Wellenform, rechts: Rechteck-Wellenform

Eine Sinus-Wellenform kennen sicher die meisten von Ihnen. In Abbildung 382 habe ich eine dargestellt. Auch der Tonradgenerator in unserer Hammond-Orgel erzeugt solch ähnliche Sinusschwingungen (wenn man von den Tönen 1..12 des Basses mal absieht).

Die rechte Abbildung hingegen zeigt eine andere Kurvenform. Man nennt sie „Rechteck-Funktion“. Außer der Frequenz scheint sie auf den ersten Blick erst mal nichts mit der linken gemeinsam zu haben; jedoch werden wir gleich sehen, dass sogar diese Funktion aus vielen Sinusschwingungen zusammengesetzt werden kann. Das wollen wir nun einmal exemplarisch tun: wir zerlegen diese Rechteckschwingung in seine Sinus-Einzelbestandteile. Damit wir das aber können, müssen wir diese vielen Sinusschwingungen ersteinmal berechnen. Das tun wir, indem wir die Rechteck-Funktion gemäß Fourier-Rechenvorschrift integrieren.

16.2.1 Berechnung der Fourier-Reihe

Ausgehend von der Grundform

$$s(t) = \frac{a_o}{2} + \sum_{n=1}^{m} a_n \cdot \cos\left(n \cdot \omega_o \cdot t\right) + \sum_{n=1}^{m} b_n \cdot \sin\left(n \cdot \omega_0 \cdot t\right)$$

berechnen wir im ersten Schritt zunächst die a_0-Anteile.

Berechnung der a_0-Anteile

Wie wir bereits von weiter oben wissen, macht man das mit der Gleichung

$$a_0 = \frac{2}{T_0} \cdot \int_0^{T_0} s(t)dt$$

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Für die Funktion $s(t)$, über die eine ganze Periodenlänge lang integriert werden soll, setzen wir hier unsere Rechteck-Zeitfunktion ein. Damit es sich besser rechnen lässt, verschieben wir die Funktion außerdem um eine halbe Periodenlänge (hat keinen Einfluss auf das Endergebnis; die Phasenbeziehung geht eh bei der Berechnung „konzeptbedingt“ verloren).

Man erhält so:

$$= \frac{2}{T_0} \cdot \left(\int_{-\frac{T_0}{2}}^{0} -\hat{u} \cdot dt + \int_{0}^{+\frac{T_0}{2}} +\hat{u} \cdot dt \right)$$

Dieses vermeintlich aber komplizierter aussehende Gebilde lässt sich jedoch recht einfach lösen.

$$= \frac{2}{T_0} \cdot \left\{ \left[-\hat{u} \cdot t \right]_{-\frac{T_0}{2}}^{0} + \left[+\hat{u} \cdot t \right]_{0}^{+\frac{T_0}{2}} \right\}$$

Nun setzen wir die Integrationsgrenzen für t ein und erhalten:

$$= \frac{2}{T_0} \cdot \left\{ 0 - \hat{u} \cdot \frac{T_0}{2} + \hat{u} \cdot \frac{T_0}{2} - 0 \right\}$$

...und stellen fest....

$$= \frac{2}{T_0} \cdot 0$$

was soviel heißt wie

$$a_0 = 0$$

So etwas freut den Mathematiker immer ganz besonders, denn alles, was Null ist, fällt in der Berechnung weg und man muss sich nicht mehr weiter drum kümmern.

Der erste Teil wäre geknackt. Es gilt also:

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{m} a_n \cdot \cos(n \cdot \omega_o \cdot t) + \sum_{n=1}^{m} b_n \cdot \sin(n \cdot \omega_0 \cdot t)$$

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Berechnung der a_n-Anteile

Schauen wir uns nun die a_n-Anteile der Fourier-Reihe genauer an. Erinnern wir uns; die Gleichung lautet:

$$a_n = \frac{2}{T_0} \cdot \int_0^{T_0} s(t) \cdot \cos(n \cdot \omega_0 \cdot t) dt$$

Um diese Gleichung zu lösen, verfahren wir genauso wie mit den a_0-Anteilen vorher. Wir setzen also wieder unsere Rechteck-Funktion ein und spalten das Integral in zwei Teile auf.

$$= \frac{2}{T_0} \cdot \left(\int_{-\frac{T_0}{2}}^{0} -\hat{u} \cdot \cos(n \cdot \omega_0 \cdot t) dt + \int_{0}^{+\frac{T_0}{2}} +\hat{u} \cdot \cos(n \cdot \omega_0 \cdot t) dt \right)$$

Das $\hat{u}$ kann man vor die Klammer ziehen:

$$= \frac{2 \cdot \hat{u}}{T_0} \cdot \left(\int_{-\frac{T_0}{2}}^{0} -\cos(n \cdot \omega_0 \cdot t) dt + \int_{0}^{+\frac{T_0}{2}} \cos(n \cdot \omega_0 \cdot t) dt \right)$$

Zum Finden der Stammfunktion wenden wir nun einen der allseits beliebten Mathematiker-Tricks an:

$$\int \cos(a \cdot x) = \frac{1}{a} \cdot \sin(a \cdot x)$$

Dieses Teil setzen wir ein und erhalten:

$$= \frac{2 \cdot \hat{u}}{T_0} \cdot \left(-\left[\frac{1}{n \cdot \omega_0} \cdot \sin(n \cdot \omega_0 \cdot t) \right]_{-\frac{T_0}{2}}^{0} + \left[\frac{1}{n \cdot \omega_0} \cdot \sin(n \cdot \omega_0 \cdot t) \right]_{0}^{+\frac{T_0}{2}} \right)$$

Und wieder können wir etwas „aufräumen“ und das $\frac{1}{n \cdot \omega_0}$ vor die Klammer ziehen.

$$= \frac{2 \cdot \hat{u}}{T_0 \cdot n \cdot \omega_0} \cdot \left(-\left[\sin(n \cdot \omega_0 \cdot t) \right]_{-\frac{T_0}{2}}^{0} + \left[\sin(n \cdot \omega_0 \cdot t) \right]_{0}^{+\frac{T_0}{2}} \right)$$

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

So, jetzt setzen wir die Integrationsgrenzen ein:

$$= \frac{2 \cdot \hat{u}}{T_0 \cdot n \cdot \omega_0} \cdot \left[-\sin(0) - \sin\left(\frac{n \cdot \omega_0 \cdot T_0}{2}\right) + \sin\left(\frac{n \cdot \omega_0 \cdot T_0}{2}\right) - \sin(0) \right]$$

Das geübte Auge sieht wieder: die beiden Sinus-Ausdrücke in den Klammern heben sich gegenseitig auf....

$$= \frac{2 \cdot \hat{u}}{T_0 \cdot n \cdot \omega_0} \cdot [-\sin(0) - \sin(0)]$$

..und sin(0) war schon immer Null...

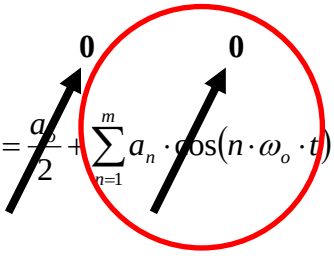
$$= \frac{2 \cdot \hat{u}}{T_0 \cdot n \cdot \omega_0} \cdot [0]$$

..sodass wir schließlich a_n zu...

$$= 0$$

erhalten. Also wieder viel Wind um „nichts“. Die Fourier-Reihe nach der vorletzten Berechnung:

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{m} a_n \cdot \cos(n \cdot \omega_o \cdot t) + \sum_{n=1}^{m} b_n \cdot \sin(n \cdot \omega_0 \cdot t)$$



Berechnung der b_n-Anteile

So, jetzt wird’s aber interessanter, denn dieser Teil wird ausnahmsweise mal am Ende nicht zu „Null“.

Die Berechnungsvorschrift, die wir nun zu guter Letzt lösen wollen, lautet:

$$b_n = \frac{2}{T_0} \cdot \int_0^{T_0} s(t) \cdot \sin(n \cdot \omega_0 \cdot t) dt$$

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Wir kennen ja inzwischen die Vorgehensweise...

$$= \frac{2}{T_0} \cdot \left(\int_{-\frac{T_0}{2}}^{0} -\hat{u} \cdot \sin\left(n \cdot \omega_0 \cdot t\right) dt + \int_{0}^{+\frac{T_0}{2}} +\hat{u} \cdot \sin\left(n \cdot \omega_0 \cdot t\right) dt \right)$$

...wieder so viel wie möglich vor die Klammer ziehen...

$$= \frac{2 \cdot \hat{u}}{T_0} \cdot \left(\int_{-\frac{T_0}{2}}^{0} -\sin\left(n \cdot \omega_0 \cdot t\right) dt + \int_{0}^{+\frac{T_0}{2}} \sin\left(n \cdot \omega_0 \cdot t\right) dt \right)$$

Nun wieder ein Integrations-Trick der Mathematiker. Mit

$\int \sin\left(a \cdot x\right) dx = -\frac{1}{a} \cdot \cos\left(a \cdot x\right)$ und der Beziehung $a = n \cdot \omega_0$ (Substitution)

wird die Sache wieder einfach:

$$= \frac{2 \cdot \hat{u}}{T_0} \cdot \left\{ \left[+\frac{1}{a} \cdot \cos\left(a \cdot t\right) \right]_{-\frac{T_0}{2}}^{0} + \left[-\frac{1}{a} \cdot \cos\left(a \cdot t\right) \right]_{0}^{+\frac{T_0}{2}} \right\}$$

Wir können wieder ausklammern.

$$= \frac{2 \cdot \hat{u}}{T_0 \cdot n \cdot \omega_0} \cdot \left\{ \left[\cos(0) - \cos\left(-n \cdot \omega_0 \cdot \frac{T_0}{2} \right) \right] - \left[\cos\left(n \cdot \omega_0 \cdot \frac{T_0}{2} \right) + \cos(0) \right] \right\}$$

Dann das ω_0 vor der Klammer ersetzen:

$$= \frac{2 \cdot \hat{u}}{T_0 \cdot n \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T_0}} \cdot \left(1 - \cos\left(-n \cdot \omega_0 \cdot \frac{T_0}{2} \right) - \cos\left(n \cdot \omega_0 \cdot \frac{T_0}{2} \right) + 1 \right)$$

Wir können vor der Klammer kürzen und innendrin zusammenfassen:

$$= \frac{\hat{u}}{n \cdot \pi} \cdot \left(2 - \cos\left(-n \cdot \omega_0 \cdot \frac{T_0}{2} \right) - \cos\left(n \cdot \omega_0 \cdot \frac{T_0}{2} \right) \right)$$

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Nun der letzte Trick. Da die Cosinus-Funktion eine „gerade“ Funktion ist, gilt $\cos(-x) = \cos(x)$

Das hilft uns weiter beim Zusammenfassen:

$$= \frac{\hat{u}}{n \cdot \pi} \cdot \left(2 - 2 \cdot \cos\left(n \cdot \frac{\omega_0 \cdot T_0}{2} \right) \right)$$

Auch hier können wir ω_0 einsetzen und damit vereinfachen:

$$= \frac{\hat{u}}{n \cdot \pi} \cdot \left(2 - 2 \cdot \cos\left(n \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot T_0}{T_0 \cdot 2} \right) \right)$$

Dadurch ergibt sich:

$$= \frac{\hat{u}}{n \cdot \pi} \cdot (2 - 2 \cdot \cos(n \cdot \pi))$$

und die „2“ vor die Klammer gezogen:

$$= \frac{2 \cdot \hat{u}}{n \cdot \pi} \cdot (1 - \cos(n \cdot \pi))$$

Nicht schlecht. Eigentlich würde das schon reichen. Damit wir die Fourier-Reihe aber später übersichtlicher zeigen können, wenden wir hier noch einen letzten Mathe-Trick an. Mit

$$1 - \cos(x) = 2 \cdot \sin^2\left(\frac{x}{2} \right)$$

kann man weiter vereinfachen zu:

$$= \frac{2 \cdot \hat{u}}{n \cdot \pi} \cdot \left(2 \cdot \sin^2\left(\frac{n \cdot \pi}{2} \right) \right)$$

und damit schließlich erhalten

$$= \frac{4 \cdot \hat{u}}{n \cdot \pi} \cdot \sin^2\left(\frac{n \cdot \pi}{2} \right)$$

Fertig.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Fourier-Reihe fertig berechnet:

Hier ist also das gute Stück. Da die a_0- und a_n –Anteile alle zu „Null“ wurden, besteht die gesamte Fourier-Reihe am Ende nur noch aus den eben berechneten b_n-Anteilen.

Erfahrungsweise braucht man etwas Geduld und Erklärungen, um mit den Fourier-Reihen erst mal „warm“ zu werden. Hier deshalb noch mal zur Übersicht ein Resümee der letzten Seiten.

Die Fourier-Reihe hat die nachfolgend gezeigte Grundform. Sie beschreibt, welche und wie viele Sinus- und Cosinus-Funktionen ich brauche, um eine beliebige Wellenform (=musikalisch „Klangfarbe“) zu erzeugen. Wie man sich das bildlich im Amplitudenspektrum vorstellen kann, beschreibe ich gleich.

$$s(t) = \frac{a_o}{2} + \sum_{n=1}^{m} a_n \cdot \cos(n \cdot \omega_o \cdot t) + \sum_{n=1}^{m} b_n \cdot \sin(n \cdot \omega_0 \cdot t)$$

Cosinusschwingung

Sinusschwingung

Gleich-anteil

Summe ganz vieler Cosinus-schwingungen

Summe ganz vieler Sinus-schwingungen

Der Ausdruck $\sin(\omega \cdot t)$ beschreibt in der Physik eine „stinknormale“ Sinusfunktion im Zeitbereich (zu sehen in Abbildung 382) und gehört zum Standard-Equipment eines jeden Elektrotechnikers. In den Frequenzbereich übersetzt (das macht man ja schließlich mit der Fourier-Integration), erhält man damit genau eine einzige Linie im Amplituden-Frequenzspektrum.

Das Summenzeichen in der Fourier-Reihe besagt, dass wir von diesen Einzelschwingungen sehr viele überlagern müssen (addieren); jede einzelne erzeugt eine weitere Linie im Amplituden-Frequenzspektrum.

Wie das Amplituden-Frequenzspektrum unserer Rechteck-Funktion aussieht, haben wir durch das Lösen der Fourier-Integrale berechnet:

$$s(t) = \frac{4 \cdot \hat{u}}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{m} \left\{ \frac{1}{n} \cdot \sin^2\left(\frac{n \cdot \pi}{2}\right) \cdot [\sin(n \cdot \omega_0 \cdot t)] \right\}$$

Zum besseren Verständnis sollten wir diese Fourier-Reihen nun mal grafisch darstellen.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

16.2.2 Die ersten Fourier-Glieder berechnet

Wir rechnen uns dazu mal die ersten Glieder (von n=1 bis n=5) der Fourier-Reihe aus.

$$s(1) = \frac{4 \cdot \hat{u}}{\pi} \cdot 1 \cdot \sin\left(\frac{1}{2} \cdot \pi\right) \cdot \sin\left(\frac{1}{2} \cdot \pi\right) \cdot \sin\left(1 \cdot \omega_0 \cdot t\right)$$

$$= \frac{4 \cdot \hat{u}}{\pi} \cdot \sin\left(\omega_0 \cdot t\right)$$

(Zeitfunktion einer Sinusschwingung für n=1, also die „Grundwelle“)

$$s(2) = 0$$

$$s(3) = \frac{4 \cdot \hat{u}}{\pi} \cdot \frac{1}{3} \cdot \sin\left(\frac{3}{2} \cdot \pi\right) \cdot \sin\left(\frac{3}{2} \cdot \pi\right) \cdot \sin\left(3 \cdot \omega_0 \cdot t\right)$$

$$= \frac{4 \cdot \hat{u}}{\pi} \cdot \frac{1}{3} \cdot \sin\left(3 \cdot \omega_0 \cdot t\right)$$

(Zeitfunktion einer Sinusschwingung der dreifachen Frequenz für n=3 (erste Oberwelle))

$$s(4) = 0$$

$$s(5) = \frac{4 \cdot \hat{u}}{\pi} \cdot \frac{1}{5} \cdot \sin\left(5 \cdot \omega_0 \cdot t\right)$$

(Zeitfunktion einer Sinusschwingung der fünffachen Frequenz für n=5 (zweite Oberwelle))

usw.....

Wir können also eine gewisse Systematik erkennen. Beim Einsetzen von geradzahligen „n“ werden die Schwingungsanteile immer zu Null; nur die ungeradzahligen bleiben übrig.

Man schreibt also stattdessen (Achtung, letzte Formel!):

$$s(t) = \frac{4 \cdot \hat{u}}{\pi} \cdot \left\{1 \cdot \sin\left(\omega_0 \cdot t\right) + \frac{1}{3} \cdot \sin\left(3 \cdot \omega_0 \cdot t\right) + \frac{1}{5} \cdot \sin\left(5 \cdot \omega_0 \cdot t\right) + \frac{1}{7} \cdot \sin\left(7 \cdot \omega_0 \cdot t\right) + ...\right\}$$

Fourier-Reihe für eine Rechteck-Schwingung!

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

16.2.3 Darstellung der Rechteck-Zeitfunktion im Frequenzbereich

In Abbildung 383 sehen wir nun die –unter 16.2.2 berechneten- Frequenzanteile. Jeder einzelne „Balken“ im unten dargestellten Frequenzbereich entspricht einer Sinusschwingung im Zeitbereich. Das „n“ beschreibt dabei das Vielfache der Grundfrequenz.

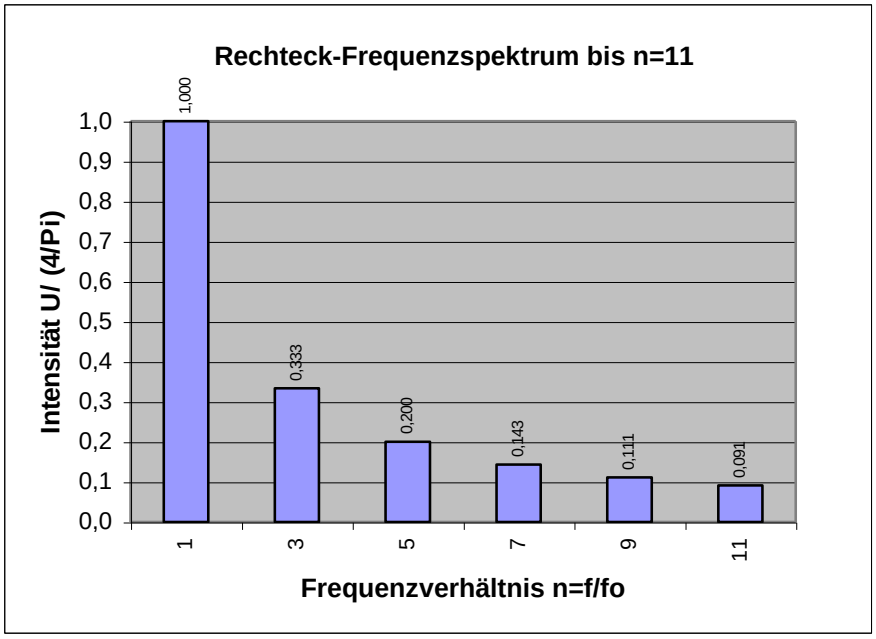


Abbildung 383: Rechteck-Frequenzspektrum bis n=11

Die Sinusschwingung bei n=1 bezeichnet man als „Grundwelle“; alles darüberliegende als „Obertöne“ oder „Oberwellen“. Das Frequenzspektrum eines idealen Sinusgenerators hätte nur einen einzigen Peak im Amplitudenfrequenzspektrum: nämlich den bei der Grundwelle (n=1). Eingangs erwähnte ich, dass sich aus einem bekannten Frequenzspektrum auch wieder die ursprüngliche Zeitfunktion zusammensetzen ließe (Synthese). Nimmt man nun die oben gezeigten Sinusschwingungen bis n=11 und addiert sie, so erhält man schon etwas relativ „Rechteckähnliches“ (siehe Abbildung 384):

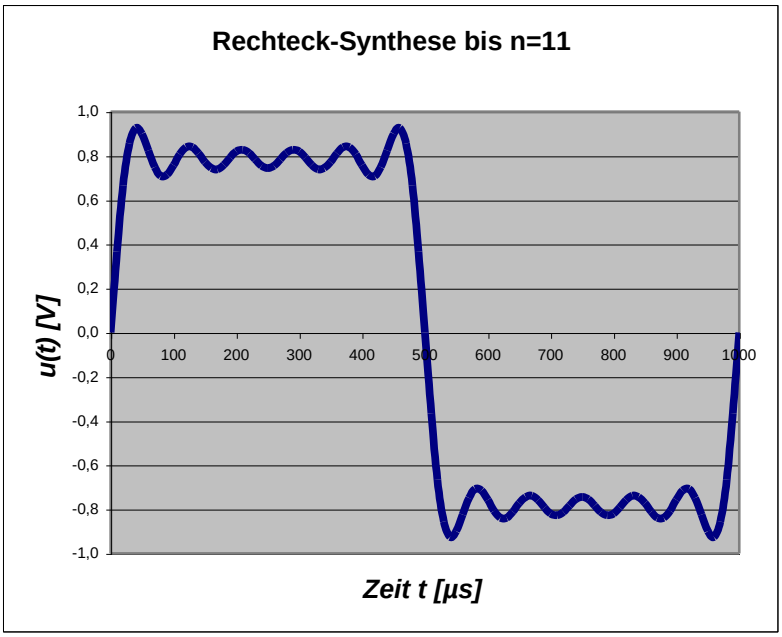


Abbildung 384: Rechteck-Zeitfunktion bis n=11

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Je weiter man die Fourier-Reihe berechnet, desto besser nähert sich die Zeitfunktion dann dem idealen Rechteck-Verlauf. Im folgenden Bild sind die Fourier-Anteile (=Amplitudenspektrum) bis n=201 aufgezeigt. Wir sehen, dass die Intensitäten der einzelnen Peaks schnell sehr klein werden, jedoch nie ganz null.

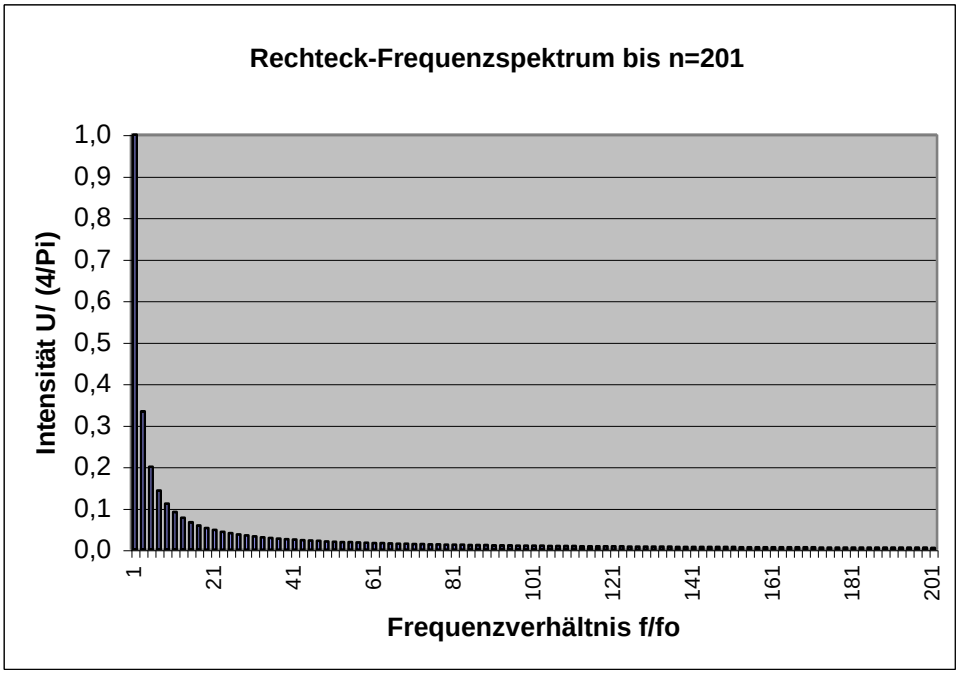


Abbildung 385: Rechteck-Frequenzspektrum bis n=201

Hier die dazu passende Zeitfunktion. Wir sehen deutlich, dass sie schon sehr „rechtekkig“ aussieht. Richtig „perfekt“ wird sie aber erst bei n gegen unendlich!

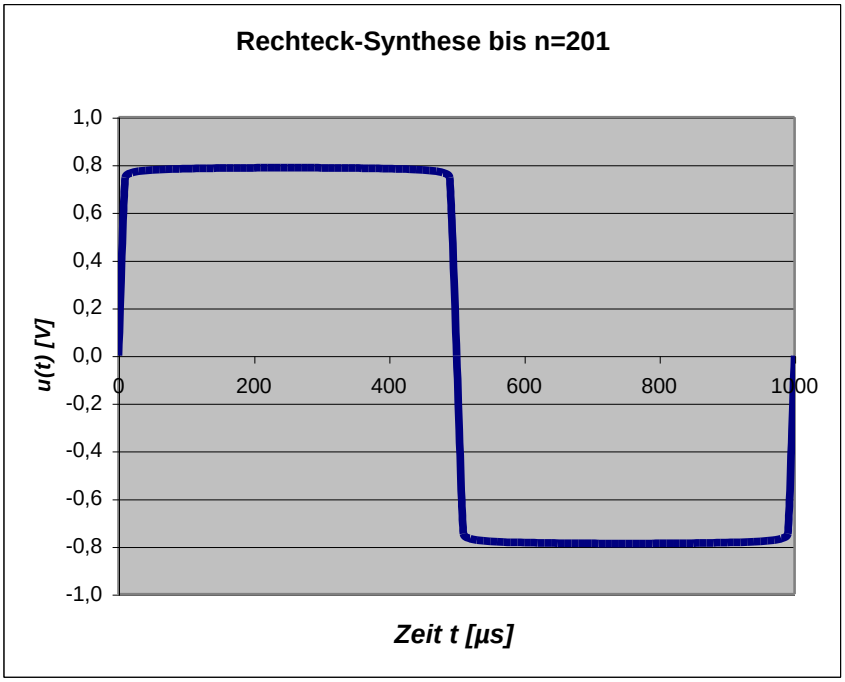


Abbildung 386: Rechteck-Zeitfunktion bis n=201

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

16.2.4 Rechteckfunktion im Zeit- u. Frequenzbereich: Übersicht

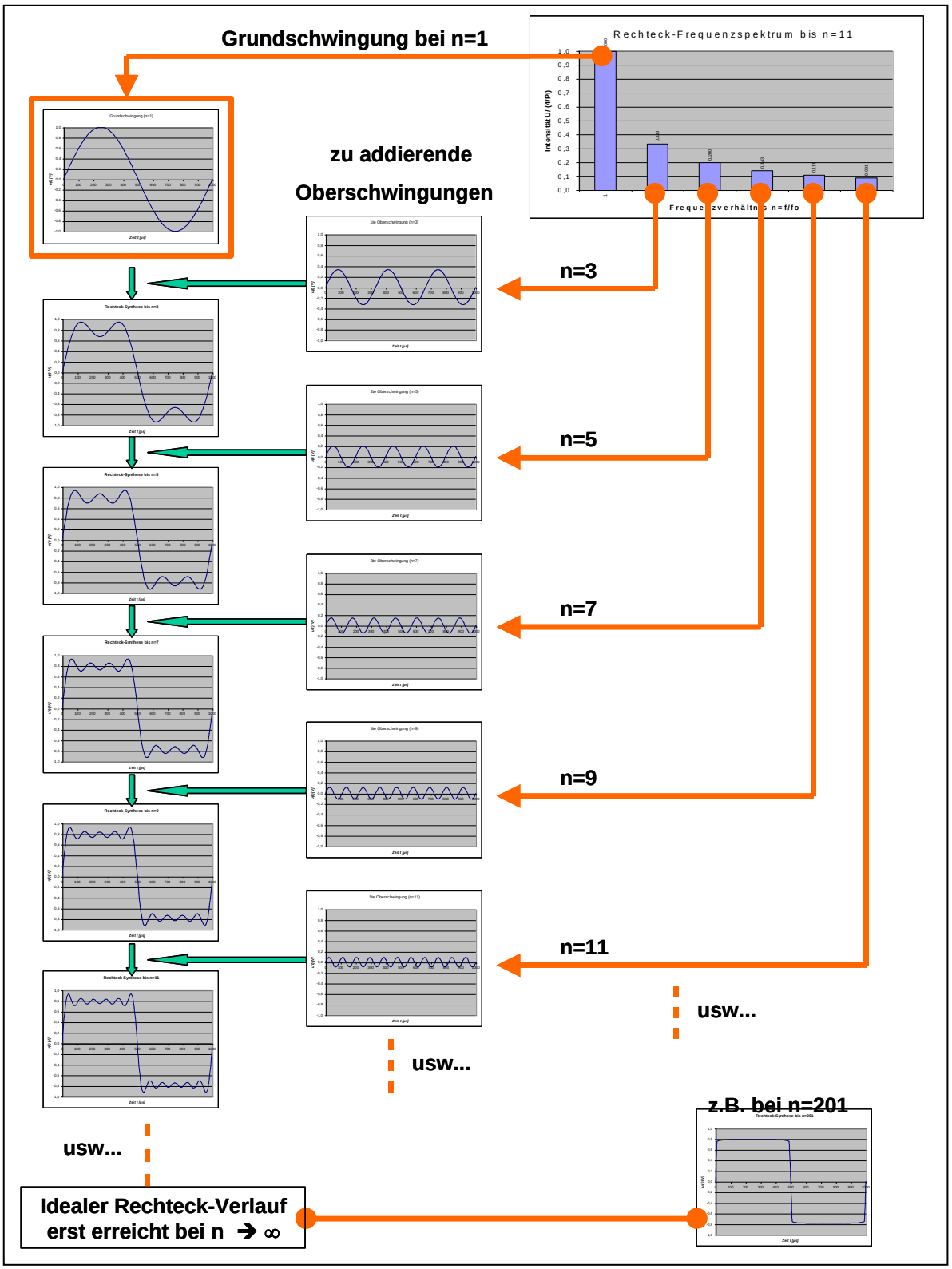


Abbildung 387: Rechteckfunktion im Zeit- und Frequenzbereich

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Die Abbildung 387 auf der letzten Seite soll noch einmal helfen, die Zusammenhänge von Zeit- und Frequenzbereich besser zu verstehen. Oben rechts ist das Frequenzspektrum der Rechteckfunktion bis n=11 abgedruckt. Wir sehen –außer der Grundwelle bei n=1- die ersten fünf Oberwellen.

Betrachten wir nur die Grundwelle (n=1), so erzeugt diese im Zeitbereich eine saubere Sinuswelle mit der Frequenz f_o. (orange eingefärbter Kasten).

Die Spektrallinie des Frequenzspektrums bei n=3 erzeugt für sich ebenfalls eine Sinuswelle. Sie ist aber in der Amplitude etwas kleiner und hat die 3fache-Frequenz von f_o. Addiert man diese zu der Grundwelle, erhält man eine Wellenform, die an einen Sinus mit einer leichten „Delle“ in den Maxima erinnert.

Die nächste Spektrallinie bei n=5 erzeugt –Sie werden es erraten haben- wieder eine reine Sinuswelle. Die Amplitude ist wieder ein bisschen kleiner geworden und die Frequenz beträgt nun das 5fache von f_o. Addiert man auch diese Sinuswelle zu dem Rest, kann man zwar noch nicht von einer Rechteck-Zeitfunktion sprechen, aber die Ähnlichkeit damit nimmt langsam zu.

Es ist jetzt sicher nicht mehr überraschend, dass auch alle weiteren Spektrallinien bei n=7, n=9, n=11, usw... jeweils einen weiteren kleinen Beitrag zum Endresultat (=ideales Rechteck) liefern. Ich finde, in dieser Darstellung kann man den Einfluss jeder einzelnen Spektrallinie auf das Endergebnis sehr schön sehen.

Der ideale Rechteckverlauf kann in der Praxis nie erzeugt werden, denn dazu müssten wir unendlich viele Sinusfunktionen zusammen addieren. Ein Beispiel, bei dem ich mit einem Computerprogramm mal alle Oberwellen bis zu n=201 addiert habe (siehe auch Abbildung 385), gibt eine Vorstellung davon, dass bei n gegen „unendlich“ wirklich ein sauberes Rechteck dabei herauskommt.

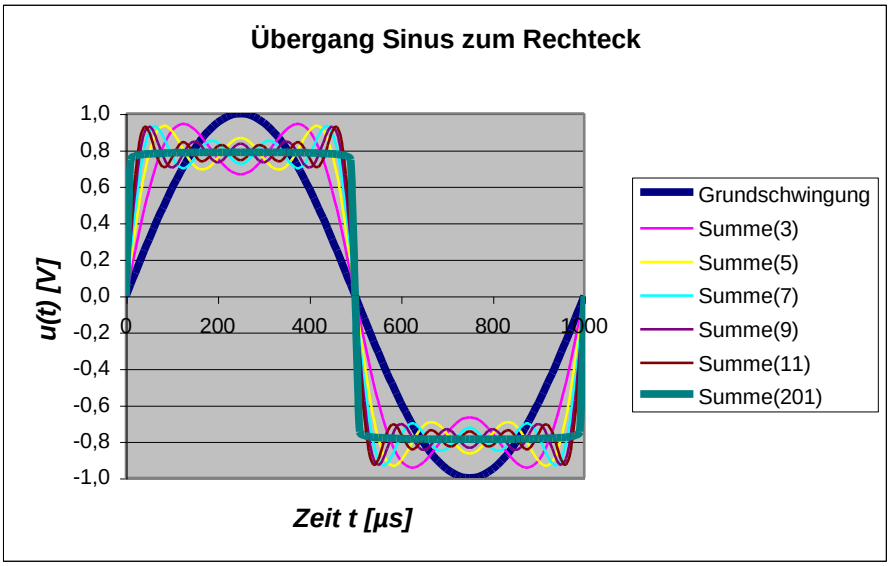


Abbildung 388: Übergang vom Sinus zum Rechteck

Abbildung 388 zeigt eigentlich nichts Neues; lediglich die Darstellung von vorangegangener Seite in einem einzelnen Diagramm.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

16.3 Erkenntnisse und der Bezug zur „Hammond“

Das war ein Haufen Theorie. Auch wenn vielleicht nicht jeder der Leser die Integrale in der Schule so ausführlich behandelt hat, dass er sie aus dem Stehgreif nachrechnen könnte, so ist es mir doch wichtig, dass wenigstens das Grundprinzip –nämlich das Zusammensetzen von komplexen Wellenformen mittels Sinusschwingungen verschiedener Frequenz- verständlich wurde.

Wer das nun auch mal praktisch ausprobieren möchte, der sollte sich an seine eigene Hammond setzen und das Zumischen der einzelnen Zugriegel zu einem Grundton mal ausprobieren. Wenn wir den 16’-Zugriegel als „Grundwelle bei n=1“ auffassen, dann haben wir bei unserer Orgel folgende „n“ als Spektralanteile zur Verfügung (siehe auch Tabelle 21):

Zugriegel	entspricht „n“
16’	1 = Grundschwingung
$5^1/_3$’	3
8’	2
4’	4
$2^2/_3$’	6
2’	8
$1^3/_5$’	10
$1^1/_3$’	12
1’	16

Tabelle 13: Zugriegel als Oberwelle interpretiert

Wollte man mit der Hammond die Rechteckschwingung aus dem vorigen Beispiel erzeugen, so wird man leider feststellen, dass man im Zugriegelsatz nur eine einzige ungeradzahlige Vielfache der Grundfrequenz (n=1) findet: nämlich die $5^1/_3$’, also n=3.

Die Grund dafür ist eigentlich recht simpel: schließlich wollte Hammond mit diesen Orgelmodellen keinen Synthesizer entwickeln, der auch in der Lage ist, synthetische Wellenformen (wie die Rechteck-Funktion) zu erzeugen. Vielmehr war seine Konstruktion an der Nachbildung des komplexen Klangs einer Kirchenorgel orientiert, der sich aber nunmal stärker der Teilobertöne bedient, die in einem geraden Frequenzverhältnis zueinander stehen (entsprechend n=2,4,6,8,10,12, usw...) und nicht den ungeraden (n=3,5,7,9,11, usw.).

Übrigens in diesem Zusammenhang sehr empfehlenswert ist aus meiner Sicht die Quelle [18], die das Gebiet um die „natürliche Obertonreihe“ und Frequenzverhältnisse auf musiktheoretische Beine stellt. Mit dem Wissen um Fourier und die Fourier-Reihe im Hinterkopf macht die Lektüre solcher Abhandlungen richtig Spaß und es lassen sich viele Parallelen erkennen.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Aber zurück zur Hammond-Orgel:
In Abbildung 389 sehen wir noch einmal den praktischen Bezug der Zugriegel zu dem Oberwellenspektrum eines Klanges. Das Frequenzspektrum ist quasi ein genaues Abbild der Zugriegel-Einstellung und umgekehrt. Jeder zusätzlich herausgezogene Zugriegel ruft im Frequenzspektrum eine weitere Linie hervor.

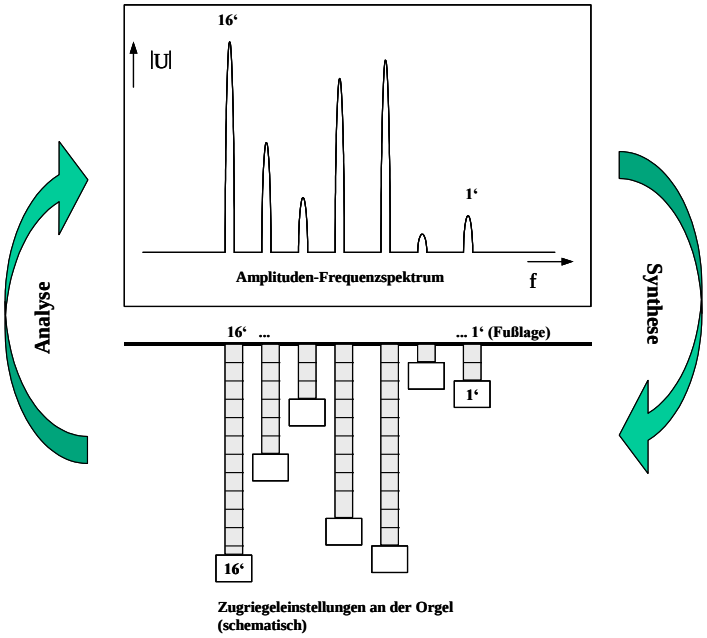
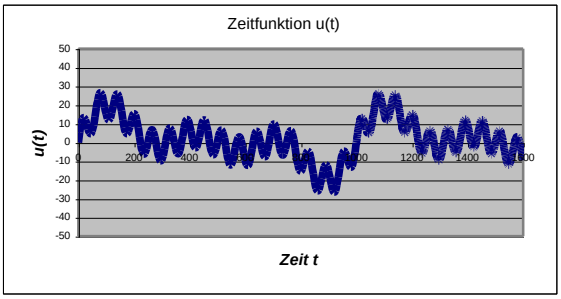


Abbildung 389: Bezug Oberwellen zu Zugriegeln

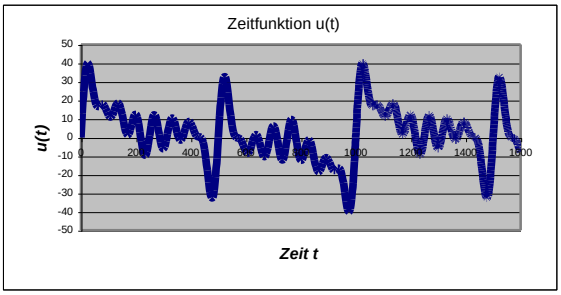
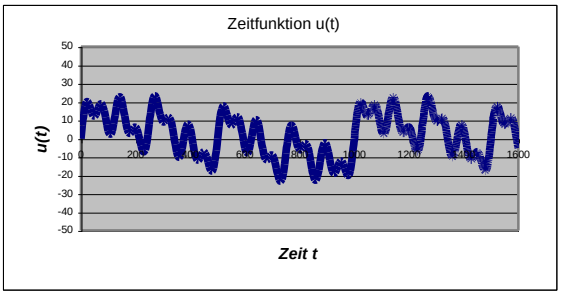
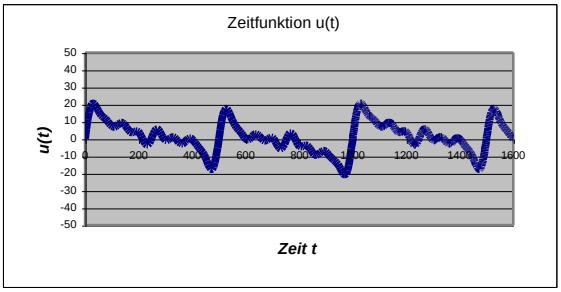
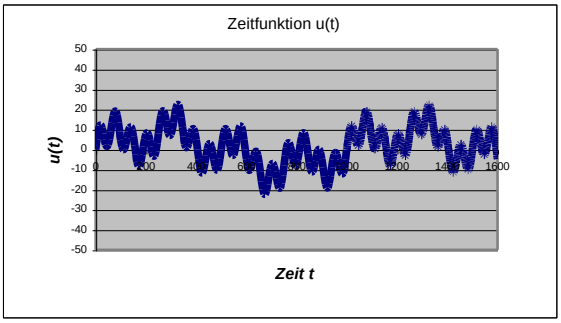
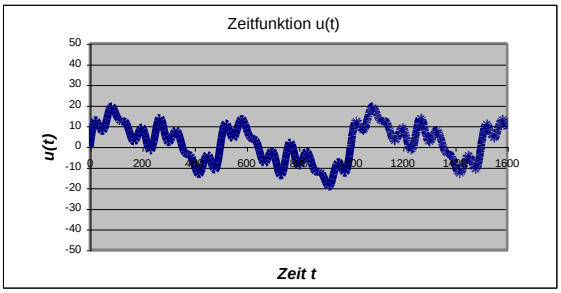
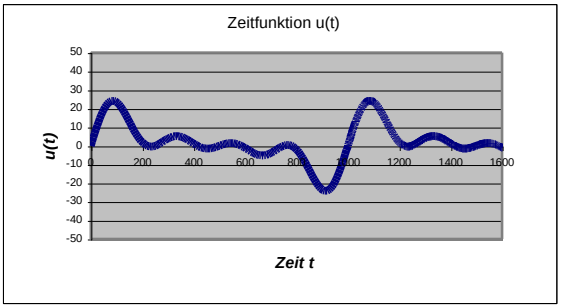
16.3.1 Verschiedene Registrierungen als Zeitfunktion

Zum Abschluss möchte ich Ihnen noch einmal einige ausgewählte Hammond-Zugriegelregistrierungen als Zeitfunktion zeigen. In der Praxis würde die (berechnete) Wellenform natürlich durch Einflüsse von Verharfung, Generatorfrequenzgang (Töne nicht alle streng sinusförmig), Vibrato usw. noch etwas verändern. Das ist hier jedoch nicht berücksichtigt.

Hier nun einige ausgewählte Registrierungen, wie man sie auch z.B. in [4] nachlesen kann.

Zugriegel-Einstellung	**Zeitfunktion u(t)**
888000000	

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

768878667	
807808007	
327645222	
800800000	
608700034	
888600000	

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

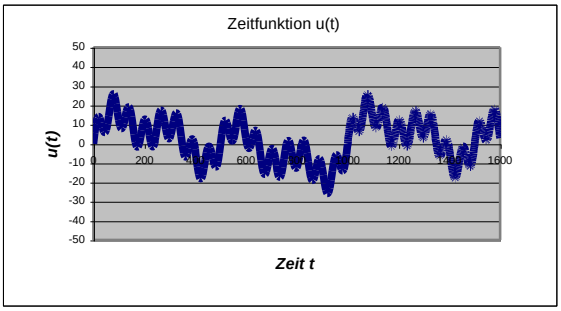
808800008	

Tabelle 14: verschiedene Registrierungen und deren Zeitfunktion

Wer gern selber mit den Einflüssen der Zugriegel auf die Zeitfunktion experimentieren möchte, für den habe ich ein kleines Excel-Tool* erstellt, das aus einer eingestellten Zugriegel-Kombination (z.B. die beliebte 888000000) die damit erzeugte Zeitfunktion u(t) berechnet.

Wen das Thema darüber hinaus interessiert, dem darf ich den Artikel in [6] empfehlen. Er schneidet das Thema „Kirchenorgel“, „Oberwellen“ und „Hammond“ ebenfalls an, obwohl die eigentliche Intention dieses Artikels (die Übersetzung einer offiziellen Erklärung des Vatikans!) eine andere ist.....

* beim Autor erhältlich

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

16.4 Einfluss auf die Messtechnik

So ganz „nebenbei“ liefern die Fourier-Reihen übrigens auch die Erklärung, weshalb normale Multimeter oft nur bei Sinusschwingungen einen korrekten Messwert anzeigen.

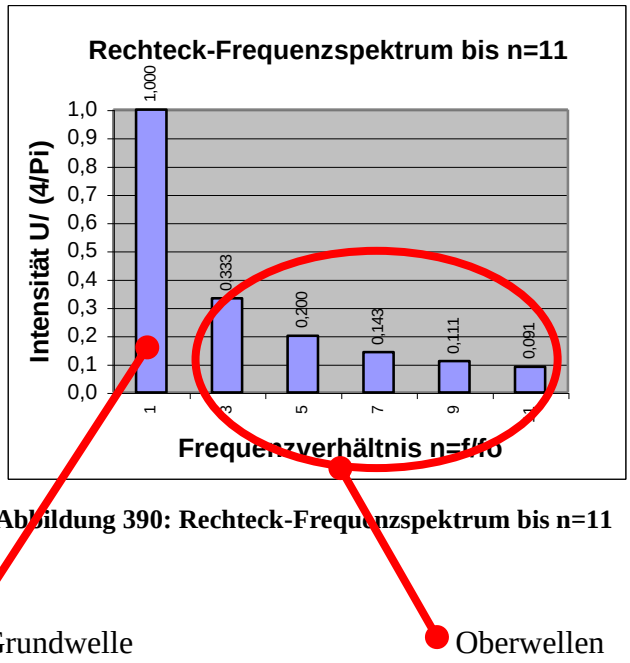


Abbildung 390: Rechteck-Frequenzspektrum bis n=11

Führen wir uns dazu noch einmal das bereits bekannte Ampituden-Frequenzspektrum einer Rechteckschwingung (zu sehen in Abbildung 390) vor Augen.

Ein gewöhnliches Multimeter misst Wechselspannungen unter der Voraussetzung, dass es sich dabei um eine reine Sinus-Wechselspannung handelt. Das würde im Amplitudenspektrum einen einzigen Peak (=Grundwelle) bei n=1 bedeuten.

In dem obigen Beispiel sind aber weitere Frequenzanteile zu berücksichtigen (Oberwellen), die ebenfalls Energieanteile enthalten. Die gesamte Energie des Messsignals beschränkt sich also nicht nur auf die Grundwelle, sondern verteilt sich ebenfalls in einen nicht zu vernachlässigenden Oberwellen-Anteil. Verwendet man ein Messgerät, dass dies nicht berücksichtigen kann, erhält man verkehrte Messwerte. Logisch, oder?

Daher gilt normalerweise immer: Nur reine Sinuswellen sollte man mit einem Multimeter messen; für alles andere verwendet man im Zweifelsfall lieber ein Oszilloskop. Da das i.d.R. keine Spannungen misst, sondern nur „stumpf“ den Verlauf der Spannung über der Zeit auf einem Bildschirm abbildet, kann hier auch nicht viel dabei schief gehen.

Hinweis:
Es gibt auch höherwertige Multimeter, die auch oberwellen-behaftete Wellenformen korrekt messen können. Unter der Bezeichnung „TRMS“ (=true root mean square) messen sie den wahren Effektivwert. Das funktioniert z.B., indem man mit der Energie des zu messenden Signals einen Widerstand aufheizt und die Temperaturerhöhung dadurch misst. Weil dieses Verfahren sehr aufwändig ist, sind solche Geräte aber auch meist sehr teuer.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

17 Zusammenfassung

Zum Schluss möchte ich zusammenfassen, was wir in diesem Buch alles an Themengebieten behandelt haben. Dies soll jedoch nicht in der stupiden Wiedergabe eines komprimierten Inhaltsverzeichnisses münden, sondern soll auf Basis eines Extraktes aller hier durchgeführten Arbeiten geschehen. Dazu habe ich eine Übersicht erstellt, die alle möglichen, hier behandelten Themengebiete in einer Art Checkliste wiedergibt. Diese nun folgende Abbildung (siehe nächste Seite) ist nach Baugruppen geordnet und beschreibt damit ebenfalls stichwortartig alle von uns durchgeführten Reastaurationsarbeiten an der Hammond C-3.

Ich halte die nun folgende Zusammenstellung übrigens auch für einen guten Leitfaden bei der Orgelrestauration. Mit ihrer Hilfe könnte eine Orgel ganz systematisch aufgearbeitet werden.

Das könnte z.B. wie folgt aussehen:
In einer ausgiebigen Inspektion des Instruments wird zuerst einmal festgelegt, was alles an Arbeitspaketen durchgeführt werden soll (dies kann natürlich auch schon vor dem Orgelkauf beurteilt werden; z.B. während des Besichtigungstermins!). Ob z.B. das Orgelgehäuse neu lackiert werden muss, der Tongenerator neu abgeglichen werden soll oder man beim Probespielen schon wackelnde Spieltasten entdeckt hat. Überall dort, wo Handlungsbedarf offensichtlich wird, vermerkt man sich das mit einer kurzen Notiz in der umseitig abgedruckten Checkliste.

Geht es dann nun ans Aufarbeiten, kann man die einzelnen Arbeitspakete systematisch nach der Durchführung abhaken und man ist sich sicher, auch nichts vergessen zu haben.

Ich würde mich freuen, wenn alle Orgeln, die in Annoncen und im Internet als „Top Zustand, voll überarbeitet“ angeboten werden, letztlich auch wirklich in dieser Tiefe und Systematik restauriert wurden.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Restaurations-Arbeitspakete

Instrument (Modell):_____ Beginn der Arbeiten:_____

Seriennummer:_____ Tag der Fertigstellung:_____

Baugruppe	Arbeitspaket	siehe Kapitel	ok/nok
Orgelgehäuse und Bank	mechanisch instand setzen (ggfs. neu leimen, spachteln)	12.1	
	Oberfläche aufarbeiten (Optik)	12.2	
ToneWheel-Generator	Tongenerator neu abgleichen und dokumentieren	4.5	
	Generator-Anschlussfeld und Schalterplatte aufarbeiten	6.2	
	RC-Netzwerke nachrüsten	14.1.8	
Manualbaugruppe	gesamte Manualbaugruppe reinigen, ggfs. entrosten und neu lackieren	10.4	
	BusBars (OM, UM, Pedal) reinigen und fetten	10.4.2	
	Tastaturkämme neu befilzen	10.5	
	alle Spieltasten neu ausrichten	10.5.7	
	Mechanik der Preset-Tasten reinigen und fetten	10.4.4	
	alle Tastaturkontakte prüfen	10.8	
Zugriegelbaugruppe	Zugriegelbaugruppe reinigen und fetten	10.7.1	
	Kontrolle auf gerissene Widerstandsdrähtchen	10.7.2	
	flexible Verdrahtung mit Laborkabeln nachrüsten	10.7.4	
Chorus/Vibrato und Percussion	Scanner reinigen (entölen) und elektrisch messen	7.2	
	LineBox: Kondensatoren messen, ggfs. wechseln	8.2	
	Rocker-Switches reinigen und fetten	10.7.6.1	
Pre-Amplifier AO-28	Pre-Amp elektrisch ausmessen (Frequenzgang und Klirrfaktor)	9.1	
	6kHz-Modifikation einbauen	14.1.1	

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Pedalbaugruppe	Pedalschlaufen auf Verschleiß prüfen, ggfs. erneuern	11.1.1	
	Pedalkontake prüfen		
	Federkraft der Pedale kontrollieren, ggfs. nachstellen		
Wartung	Zugriegel- und Generatorfrequenzgänge aufgenommen	4.3 sowie 4.4	
	1x Hammond-Öl verabreicht	15.1	
	Endkontrolle (abschließender Funktionstest, Sichtprüfung)		
optional	Nachrüsten von Wechselrichter und 117V-Trafo	14.2	
	Einbau einer Hallspirale		
denkbar	Kondensatoren im Pre-Amp messen/wechseln		
	Röhren im Pre-Amp messen/wechseln		

Weitere Notizen:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Bearbeiter:_____ Unterschrift:_____

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

18 Anhang

In diesem Kapitel finden Sie Tabellen, Übersichten und Schaltunterlagen.

18.1 Referenztabelle Generatorfrequenzgang

Referenztabelle Generatorfrequenzgang [mV_{ss}]				
Tonrad Nr.	**min. Toleranz (-10%)**	**Zielwert [mVss]**	**max. Toleranz (+10%)**	**Bemerkung**
1	58,5	65,0	71,5	Tonrad ausschließlich für Basspedal; unkritisch
2	57,3	63,6	70,0	Tonrad ausschließlich für Basspedal; unkritisch
3	56,0	62,3	68,5	Tonrad ausschließlich für Basspedal; unkritisch
4	54,8	60,9	67,0	Tonrad ausschließlich für Basspedal; unkritisch
5	53,6	59,5	65,5	Tonrad ausschließlich für Basspedal; unkritisch
6	52,4	58,2	64,0	Tonrad ausschließlich für Basspedal; unkritisch
7	51,1	56,8	62,5	Tonrad ausschließlich für Basspedal; unkritisch
8	49,9	55,5	61,0	Tonrad ausschließlich für Basspedal; unkritisch
9	48,7	54,1	59,5	Tonrad ausschließlich für Basspedal; unkritisch
10	47,5	52,7	58,0	Tonrad ausschließlich für Basspedal; unkritisch
11	46,2	51,4	56,5	Tonrad ausschließlich für Basspedal; unkritisch
12	45,0	50,0	55,0	Tonrad ausschließlich für Basspedal; unkritisch
13	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
14	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
15	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
16	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
17	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
18	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
19	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
20	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
21	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
22	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
23	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
24	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
25	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
26	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
27	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
28	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
29	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
30	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
31	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
32	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
33	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
34	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
35	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
36	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
37	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
38	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
39	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
40	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

41	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
42	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
43	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
44	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
45	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
46	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
47	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
48	10,8	12,0	13,2	kein Schwingkreis; nur mechanischer Abgleich möglich
49	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
50	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
51	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
52	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
53	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
54	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
55	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
56	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
57	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
58	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
59	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
60	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
61	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
62	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
63	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
64	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
65	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
66	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
67	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
68	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
69	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
70	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
71	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
72	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
73	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
74	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
75	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
76	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
77	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
78	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
79	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
80	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
81	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
82	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
83	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
84	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
85	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
86	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
87	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
88	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
89	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
90	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich
91	13,5	15,0	16,5	mechanischer und elektrischer Abgleich

Tabelle 15: Referenztabelle „Generatorfrequenzgang nach U.Zwarg“

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

18.2 Referenztabelle „Zugriegelfrequenzgang $2^2/_3$ Fuß

Grundlage: Messungen von 8 Hammond-Orgeln mit abgeglichenem Tongenerator, nach C. Klug, März 2001.

Reference 2_2_3		
Taste Nr.	Taste	Spannung [dB]
1	C	-0,8
2	C#	-0,8
3	D	-0,925
4	D#	-1,2375
5	E	-1,2375
6	F	-1,3875
7	F#	-1,475
8	G	-1,375
9	G#	-1,975
10	A	-1,6875
11	A#	-2,6125
12	H	-1,875
13	C	-5,475
14	C#	-5,675
15	D	-5,5125
16	D#	-5,775
17	E	-6,075
18	F	-7,1
19	F#	-7,95
20	G	-8,125
21	G#	-9,6875
22	A	-10,275
23	A#	-11,1125
24	H	-10,4625
25	C	-11,025
26	C#	-11,5
27	D	-11,7625
28	D#	-11,3875
29	E	-12,575
30	F	-11,975
31	F#	-12,1125
32	G	-12,25
33	G#	-12,7125
34	A	-13,1625
35	A#	-12,9
36	H	-13,3375
37	C	-14,1875
38	C#	-14,3375
39	D	-14,625
40	D#	-15,125
41	E	-17,6
42	F	-18,1
43	F#	-18,725
44	G	-18,775

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

45	G#	-18,9125
46	A	-19,275
47	A#	-19,125
48	H	-19,875
49	C	-20,9125
50	C#	-21,475
51	D	-21,275
52	D#	-21,075
53	E	-24,5875
54	F	-25,0125
55	F#	-24,9625
56	G	-25,4625
57	G#	-25,575
58	A	-25,8875
59	A#	-25,6125
60	H	-26,05
61	C	-26,425

Tabelle 16: Referenztabelle Zugriegelfrequenzgang nach C.Klug, 2_2_3tel

18.3 Referenztabelle AO28-Frequenzgang, Eingang „A“

Grundlage: Messwerte von „6 verschiedenen Pre-Amplifiern“ nach C. Klug, Januar 2001.

Reference "Eingang A"	
Frequenz [Hz]	**Spannung [dB]**
20	nicht vorhanden
25	nicht vorhanden
31,5	-6,89
40	-5,04
50	-3,74
63	-2,53
80	-1,77
100	-1,27
125	-0,85
160	-0,46
200	-0,24
250	-0,09
315	-0,05
400	-0,02
500	-0,01
630	-0,06
800	-0,21
1000	-0,43
1250	-0,70
1600	-1,06
2000	-1,48
2500	-2,10
3150	-2,82

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

4000	-3,73
5000	-4,84
6300	-6,30
8000	-8,15
10000	-10,03
12500	nicht vorhanden
16000	nicht vorhanden
20000	nicht vorhanden

Tabelle 17: Referenztabelle "AO28" Kanal A

Auf Terz-Normfrequenzen umgerechnet (Verfahren: lineare Interpolation) von Marc Michalzik im Mai 2004

18.4 Preamplifier AO-28 Messwerte nach U. Zwarg

Messwerttabelle nach Ulrich Zwarg, Messwerte von 14 verschiedenen Preamplifiern AO-28 der Orgelmodelle B3, C3, RT-3, A100.
Stand: Oktober 2004

18.4.1 mit f= 60Hz

	60Hz							Messfrequenz Messpunkt
Orgel Nr.	1	Z	D	4.2	4.1	E	G	
1	8,000	4,500	0,040	0,040	3,600	8,000	9,500	
2	8,000	4,500	0,058	0,050	3,200	5,200	6,500	
3	10,000	5,500	0,058	0,052	4,600	10,000	12,000	
4	10,000	5,600	0,056	0,054	5,000	10,000	13,000	
5	9,600	5,500	0,084	0,060	5,000	9,200	12,400	
6	8,400	5,000	0,055	0,054	5,200	11,200	14,200	
7	9,500	5,200	0,056	0,052	4,800	11,000	15,600	
8	9,000	5,000	0,053	0,048	5,200	11,200	15,000	
9	10,000	6,400	0,080	0,065	6,500	13,600	16,000	
10	9,200	5,000	0,050	0,045	4,000	12,000	15,000	
11	8,000	4,600	0,040	0,045	3,600	8,800	19,000	
12	8,200	4,800	0,044	0,045	4,000	8,800	11,000	
13	10,800	7,000	0,064	0,060	6,000	11,600	19,500	
14	8,000	4,000	0,040	0,040	3,500	7,600	8,400	

Tabelle 18: Tonspannungen AO28 mit f=60Hz

Einspeisung 50mV$_{ss}$ an Klemme „A“. Schweller auf max, C22 ganz offen, Tone-Control max, E-F gebrückt, Uout am jeweiligen Messpunkt gegenüber Masse.

Alle Werte in [V$_{ss}$].

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

18.4.2 mit f=600Hz

600Hz						
1	Z	D	4.2	4.1	E	G
8,000	4,500	0,063	0,060	4,000	9,500	12,000
8,000	4,400	0,120	0,110	4,200	9,000	11,000
10,000	5,500	0,084	0,080	5,400	12,000	16,000
10,000	5,600	0,090	0,088	5,800	12,400	17,000
9,600	5,500	0,090	0,084	5,400	12,400	16,000
8,400	5,000	0,080	0,080	5,600	14,000	18,800
9,200	5,100	0,080	0,080	5,400	13,000	20,000
9,200	5,000	0,072	0,070	5,300	13,000	19,000
10,000	6,400	0,110	0,110	8,000	18,000	25,000
9,200	5,000	0,072	0,070	4,800	16,500	22,500
8,400	4,600	0,061	0,060	4,400	10,000	25,000
9,800	5,200	0,080	0,081	5,400	12,400	16,000
11,000	7,000	0,100	0,100	7,200	14,400	20,000
8,000	4,000	0,060	0,060	4,400	9,500	12,000

Messfrequenz
Messpunkt

Tabelle 19: Tonspannungen AO28 mit f=600Hz

Alle Werte in [V_{ss}].

18.4.3 mit f=6kHz

6kHz						
1	Z	D	4.2	4.1	E	G
4,500	1,600	0,080	0,045	2,500	5,000	7,000
4,200	1,500	0,100	0,070	2,200	4,500	6,000
6,000	2,000	0,110	0,060	3,000	6,700	9,000
5,500	2,000	0,100	0,060	3,000	6,500	9,000
5,600	1,900	0,128	0,084	2,900	6,400	8,400
4,500	1,700	0,080	0,054	2,800	6,800	9,200
5,000	1,750	0,100	0,052	2,800	6,700	10,800
5,500	1,800	0,110	0,053	2,900	7,400	10,800
5,200	2,000	0,120	0,062	3,500	7,900	11,000
5,200	1,800	0,130	0,082	2,600	9,000	12,000
5,000	1,700	0,092	0,052	2,600	6,000	15,000
6,000	2,300	0,150	0,100	4,600	10,000	13,000
6,800	2,700	0,140	0,090	3,700	8,600	11,300
5,000	1,500	0,080	0,040	2,200	5,000	6,500

Messfrequenz
Messpunkt

Tabelle 20: Tonspannungen AO28 mit f=6kHz

Alle Werte in [V_{ss}].

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

18.5 Zuordnung Spieltaste zu Tonradnummer (1/2)

Sortierung nach „Noten“.

Taste Nr.	Ton	Tonradnummer								
		16'	5_1_3'	8'	4'	2_2_3'	2'	1_3_5'	1_1_3'	1'
1	C1	13	20	13	25	32	37	41	44	49
2	C#1	14	21	14	26	33	38	42	45	50
3	D1	15	22	15	27	34	39	43	46	51
4	D#1	16	23	16	28	35	40	44	47	52
5	E1	17	24	17	29	36	41	45	48	53
6	F1	18	25	18	30	37	42	46	49	54
7	F#1	19	26	19	31	38	43	47	50	55
8	G1	20	27	20	32	39	44	48	51	56
9	G#1	21	28	21	33	40	45	49	52	57
10	A1	22	29	22	34	41	46	50	53	58
11	A#1	23	30	23	35	42	47	51	54	59
12	H1	24	31	24	36	43	48	52	55	60
13	C2	13	32	25	37	44	49	53	56	61
14	C#2	14	33	26	38	45	50	54	57	62
15	D2	15	34	27	39	46	51	55	58	63
16	D#2	16	35	28	40	47	52	56	59	64
17	E2	17	36	29	41	48	53	57	60	65
18	F2	18	37	30	42	49	54	58	61	66
19	F#2	19	38	31	43	50	55	59	62	67
20	G2	20	39	32	44	51	56	60	63	68
21	G#2	21	40	33	45	52	57	61	64	69
22	A2	22	41	34	46	53	58	62	65	70
23	A#2	23	42	35	47	54	59	63	66	71
24	H2	24	43	36	48	55	60	64	67	72
25	C3	25	44	37	49	56	61	65	68	73
26	C#3	26	45	38	50	57	62	66	69	74
27	D3	27	46	39	51	58	63	67	70	75
28	D#3	28	47	40	52	59	64	68	71	76
29	E3	29	48	41	53	60	65	69	72	77
30	F3	30	49	42	54	61	66	70	73	78
31	F#3	31	50	43	55	62	67	71	74	79
32	G3	32	51	44	56	63	68	72	75	80
33	G#3	33	52	45	57	64	69	73	76	81
34	A3	34	53	46	58	65	70	74	77	82
35	A#3	35	54	47	59	66	71	75	78	83
36	H3	36	55	48	60	67	72	76	79	84
37	C4	37	56	49	61	68	73	77	80	85
38	C#4	38	57	50	62	69	74	78	81	86
39	D4	39	58	51	63	70	75	79	82	87
40	D#4	40	59	52	64	71	76	80	83	88
41	E4	41	60	53	65	72	77	81	84	89
42	F4	42	61	54	66	73	78	82	85	90
43	F#4	43	62	55	67	74	79	83	86	91
44	G4	44	63	56	68	75	80	84	87	80
45	G#4	45	64	57	69	76	81	85	88	81
46	A4	46	65	58	70	77	82	86	89	82

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

47	**A#4**	47	66	59	71	78	83	87	90	83
48	**H4**	48	67	60	72	79	84	88	91	84
49	**C5**	49	68	61	73	80	85	89	80	85
50	**C#5**	50	69	62	74	81	86	90	81	86
51	**D5**	51	70	63	75	82	87	91	82	87
52	**D#5**	52	71	64	76	83	88	80	83	88
53	**E5**	53	72	65	77	84	89	81	84	89
54	**F5**	54	73	66	78	85	90	82	85	90
55	**F#5**	55	74	67	79	86	91	83	86	91
56	**G5**	56	75	68	80	87	80	84	87	80
57	**G#5**	57	76	69	81	88	81	85	88	81
58	**A5**	58	77	70	82	89	82	86	89	82
59	**A#5**	59	78	71	83	90	83	87	90	83
60	**H5**	60	79	72	84	91	84	88	91	84
61	**C6**	61	80	73	85	80	85	89	80	85
Freq.-Ver-hältnis		**1x**	**3x**	**2x**	**4x**	**6x**	**8x**	**10x**	**12x**	**16x**

Tabelle 21: Übersicht Spieltaste zu Tonradnummer (1)

Hinweise:

Hellgelb
gefärbte Bereiche markieren die Stellen, an denen Tonräder derselben Tonhöhe mehrfach benutzt werden (oktavenweise Ton-Repetition)

Die Tonräder 1..12 werden ausschließlich für das Basspedal benutzt und können daher nicht auf der Tastatur gespielt werden.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

18.6 Zuordnung Spieltaste zu Tonradnummer (2/2)

Mit Sortierung nach Tonradnummern.

	Zugiegel								
Ton Nr.	16'	5_1_3'	8'	4'	2_2_3'	2'	1_3_5'	1_1_3'	1'
13	C1, C2		C1						
14	C#1,C#2		C#1						
15	D1,D2		D1						
16	D#1,D#2		D#1						
17	E1,E2		E1						
18	F1,F2		F1						
19	F#1,F#2		F#1						
20	G1,G2	C1	G1						
21	G#1,G#2	C#1	G#1						
22	A1,A2	D1	A1						
23	A#1,A#2	D#1	A#1						
24	H1,H2	E1	H1						
25	C3	F1	C2	C1					
26	C#3	F#1	C#2	C#1					
27	D3	G1	D2	D1					
28	D#3	G#1	D#2	D#1					
29	E3	A1	E2	E1					
30	F3	A#1	F2	F1					
31	F#3	H1	F#2	F#1					
32	G3	C2	G2	G1	C1				
33	G#3	C#2	G#2	G#1	C#1				
34	A3	D2	A2	A1	D1				
35	A#3	D#2	A#2	A#1	D#1				
36	H3	E2	H2	H1	E1				
37	C4	F2	C3	C2	F1	C1			
38	C#4	F#2	C#3	C#2	F#1	C#1			
39	D4	G2	D3	D2	G1	D1			
40	D#4	G#2	D#3	D#2	G#1	D#1			
41	E4	A2	E3	E2	A1	E1	C1		
42	F4	A#2	F3	F2	A#1	F1	C#1		
43	F#4	H2	F#3	F#2	H1	F#1	D1		
44	G4	C3	G3	G2	C2	G1	D#1	C1	
45	G#4	C#3	G#3	G#2	C#2	G#1	E1	C#1	
46	A4	D3	A3	A2	D2	A1	F1	D1	
47	A#4	D#3	A#3	A#2	D#2	A#1	F#1	D#1	
48	H4	E3	H3	H2	E2	H1	G1	E1	
49	C5	F3	C4	C3	F2	C2	G#1	F1	C1

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

	Zugriegel								
Ton Nr.	**16'**	**5_1_3'**	**8'**	**4'**	**2_2_3'**	**2'**	**1_3_5'**	**1_1_3'**	**1'**
50	C#5	F#3	C#4	C#3	F#2	C#2	A1	F#1	C#1
51	D5	G3	D4	D3	G2	D2	A#1	G1	D1
52	D#5	G#3	D#4	D#3	G#2	D#2	H1	G#1	D#1
53	E5	A3	E4	E3	A2	E2	C2	A1	E1
54	F5	A#3	F4	F3	A#2	F2	C#2	A#1	F1
55	F#5	H3	F#4	F#3	H2	F#2	D2	H1	F#1
56	G5	C4	G4	G3	C3	G2	D#2	C2	G1
57	G#5	C#4	G#4	G#3	C#3	G#2	E2	C#2	G#1
58	A5	D4	A4	A3	D3	A2	F2	D2	A1
59	A#5	D#4	A#4	A#3	D#3	A#2	F#2	D#2	A#1
60	H5	E4	H4	H3	E3	H2	G2	E2	H1
61	C6	F4	C5	C4	F3	C3	G#2	F2	C2
62		F#4	C#5	C#4	F#3	C#3	A2	F#2	C#2
63		G4	D5	D4	G3	D3	A#2	G2	D2
64		G#4	D#5	D#4	G#3	D#3	H2	G#2	D#2
65		A4	E5	E4	A3	E3	C3	A2	E2
66		A#4	F5	F4	A#3	F3	C#3	A#2	F2
67		H4	F#5	F#4	H3	F#3	D3	H2	F#2
68		C5	G5	G4	C4	G3	D#3	C3	G2
69		C#5	G#5	G#4	C#4	G#3	E3	C#3	G#2
70		D5	A5	A4	D4	A3	F3	D3	A2
71		D#5	A#5	A#4	D#4	A#3	F#3	D#3	A#2
72		E5	H5	H4	E4	H3	G3	E3	H2
73		F5	C6	C5	F4	C4	G#3	F3	C3
74		F#5		C#5	F#4	C#4	A3	F#3	C#3
75		G5		D5	G4	D4	A#3	G3	D3
76		G#5		D#5	G#4	D#4	H3	G#3	D#3
77		A5		E5	A4	E4	C4	A3	E3
78		A#5		F5	A#4	F4	C#4	A#3	F3
79		H5		F#5	H4	F#4	D4	H3	F#3
80		C6		G5	C5,C6	G4,G5	D#4,D#5	C4,C5,C6	G3,G4,G5
81				G#5	C#5	G#4,G#5	E4,E5	C#4,C#5	G#3,G#4,G#5
82				A5	D5	A4,A5	F4,F5	D4,D5	A3,A4,A5
83				A#5	D#5	A#4,A#5	F#4,F#5	D#4,D#5	A#3,A#4,A#5
84				H5	E5	H4,H5	G4,G5	E4,E5	H3,H4,H5
85				C6	F5	C5,C6	G#4,G#5	F4,F5	C4,C5,C6
86					F#5	C#5	A4,A5	F#4,F#5	C#4,C#5
87					G5	D5	A#4,A#5	G4,G5	D4,D5
88					G#5	D#5	H4,H5	G#4,G#5	D#4,D#5
89					A5	E5	C5,C6	A4,A5	E4,E5
90					A#5	F5	C#5	A#4,A#5	F4,F5
91					H5	F#5	D5	H4,H5	F#4,F#5

Tabelle 22: Übersicht Spieltaste zu Tonradnummer (2)

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

18.7 Übersicht Magnetstifte im ToneWheel-Generator

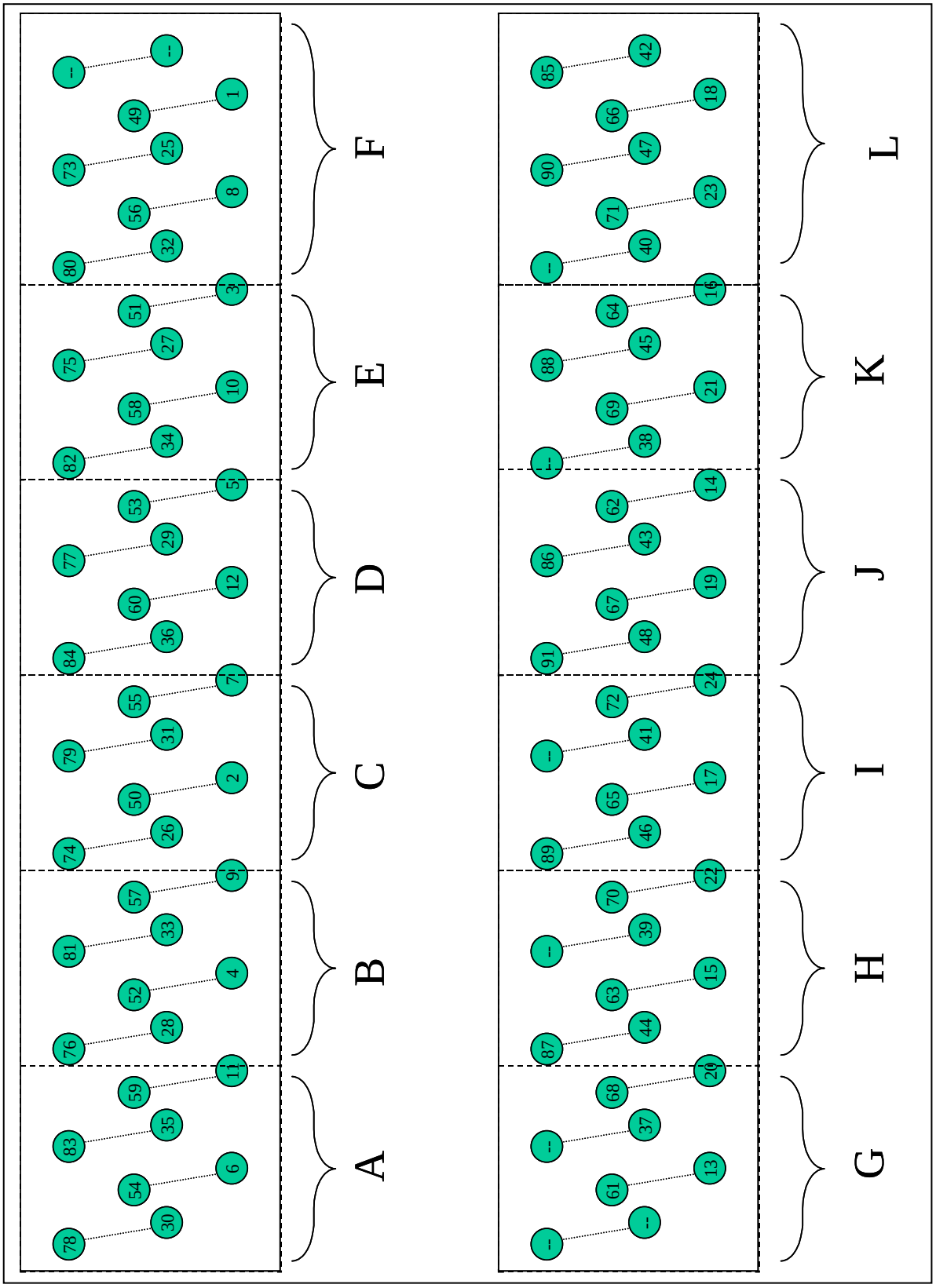


Tabelle 23: Magnetstifte Vorderseite

Tabelle 24: Magnetstifte Rückseite

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

18.7.1 Schnellsuche

Tonrad-Nummer	zu suchen im Bereich
1	F
2	C
3	E
4	B
5	D
6	A
7	C
8	F
9	B
10	E
11	A
12	D
13	G
14	J
15	H
16	K
17	I
18	L
19	J
20	G
21	K
22	H
23	L
24	I
25	F
26	C
27	E
28	B
29	D
30	A
31	C
32	F
33	B
34	E
35	A
36	D
37	G
38	K
39	H
40	L
41	I
42	L
43	J
44	H
45	K
46	I
47	L
48	J
49	F
50	C
51	E
52	B
53	D
54	A
55	C
56	F
57	B
58	E
59	A
60	D

Tonrad-Nummer	zu suchen im Bereich
61	G
62	J
63	H
64	K
65	I
66	L
67	J
68	G
69	K
70	H
71	L
72	I
73	F
74	C
75	E
76	B
77	D
78	A
79	C
80	F
81	B
82	E
83	A
84	D
85	L
86	J
87	H
88	K
89	I
90	L
91	J

Diese Auflistung dient dazu, einen bestimmten Magnetstift aus Tabelle 23f schnell zu finden.

Suchen Sie beispielsweise Tonrad Nr. 49, so sieht man aus der Tabelle, dass man ihn im Bereich „F“ des Tongenerators finden wird.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

18.8 Generator-Lötösenleiste

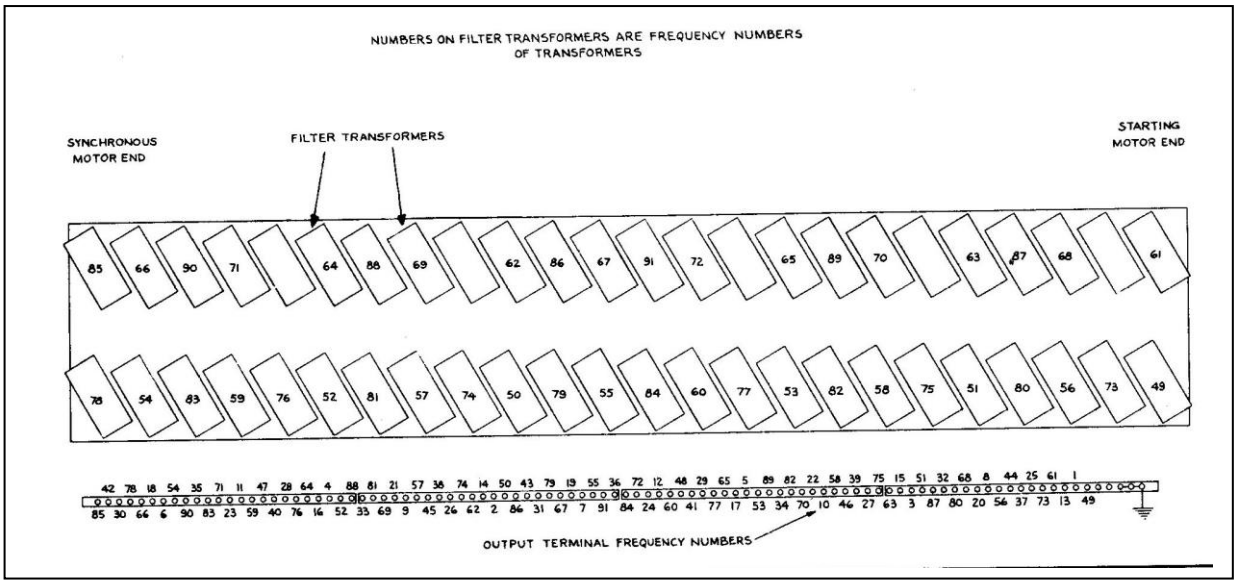


Abbildung 391: Generator-Lötösenleiste [21]

Die obige Abbildung zeigt die Lage der Tonradnummern auf der Generator-Anschlussleiste sowie die Lage der Filter für die Töne 49..91. Sie ist dem Hammond Service-Manual entnommen.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

18.9 Auszug aus original B3/C3-Service-Manual

In diesem Abschnitt finden Sie wichtige Schaltpläne und Schriftstücke aus dem originalen Hammond B3/C3-Service-Manual.

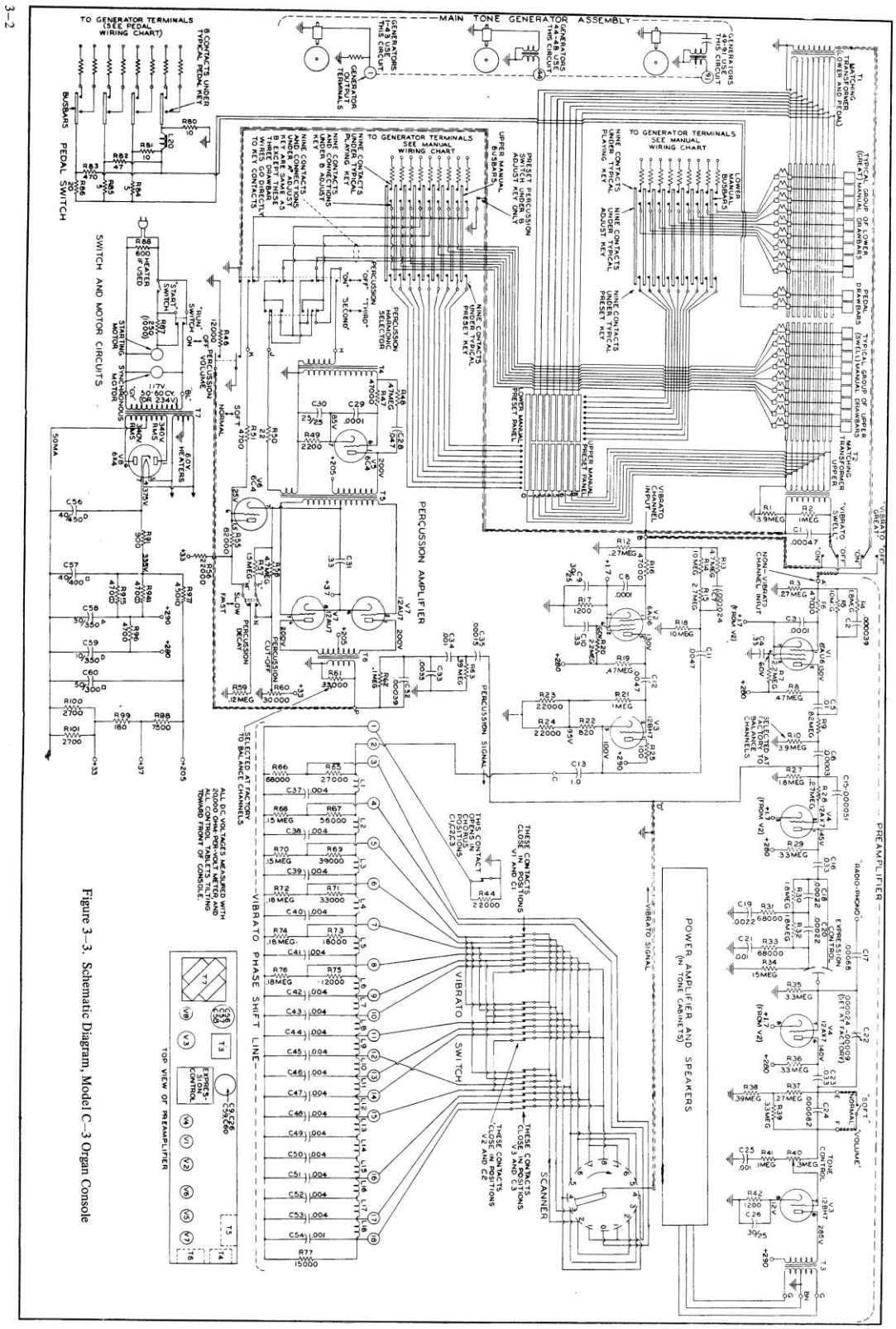


Abbildung 392: Schematic Diagram [21]

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

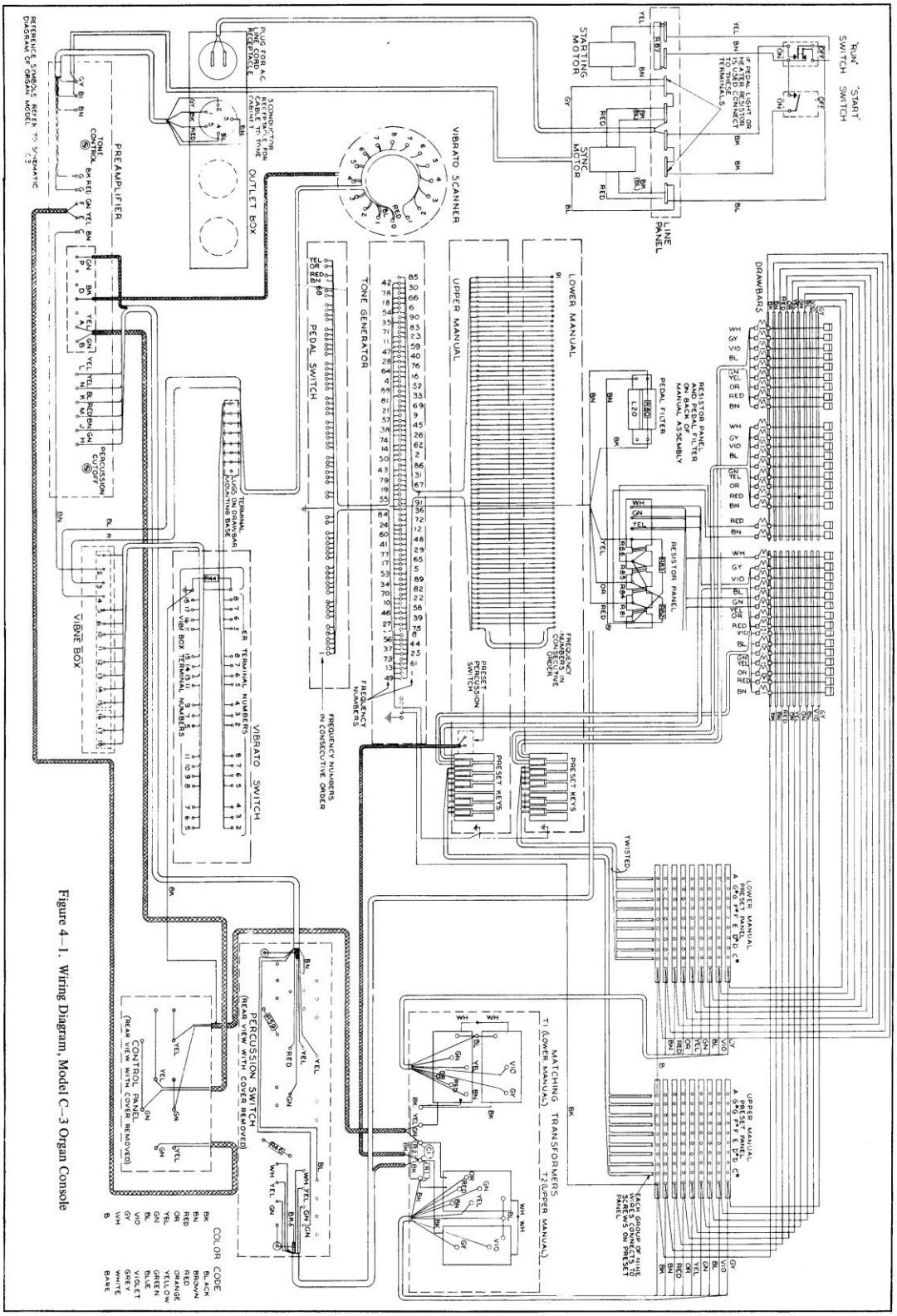


Abbildung 393: Wiring Diagram [21]

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Die Generator-Lötösenleiste mit der Reihenfolge der dort anliegenden Tonradnummern; darunter noch einmal die Lage der Magnetstifte (identisch zu Tabelle 23f).

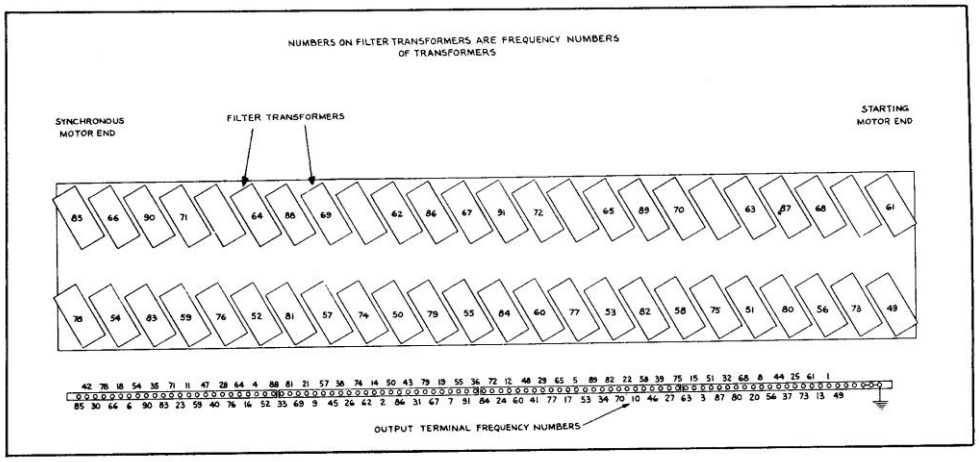


Figure 3–4. Location of Filters on Tone Generator

3-25. If there is no signal across the magnet pickup coil terminals, even with the coil disconnected, either the coil is defective or the associated tone wheel is not turning. Check the pickup coil by unsoldering its lead and, with a short piece of wire, connect the lead to the preset panel. (Reference paragraph 5-6.)

3-26. When there are two dead notes on each manual, determine which frequencies are at fault, as described in paragraphs 3-14 to 3-20 inclusive. Figure 3-5 illustrates the exact location of the magnet associated with each frequency; the dotted lines connecting the frequency numbers indicate that they are generated by two tone wheels on the same shaft and in the same compartment. (It should be noted that, with few exceptions, tone wheels on the same shaft differ in frequency numbers by 48.) On frequency numbers 37, 38, 39, 40, and 41, only a single active tone wheel is on each shaft. If the 2 magnets associated with the dead notes are together, 1 tone wheel is probably jammed against the magnet tip. To correct this condition, proceed as follows:

a. Loosen the set screw on the magnet to be adjusted, then move the magnet back slightly.

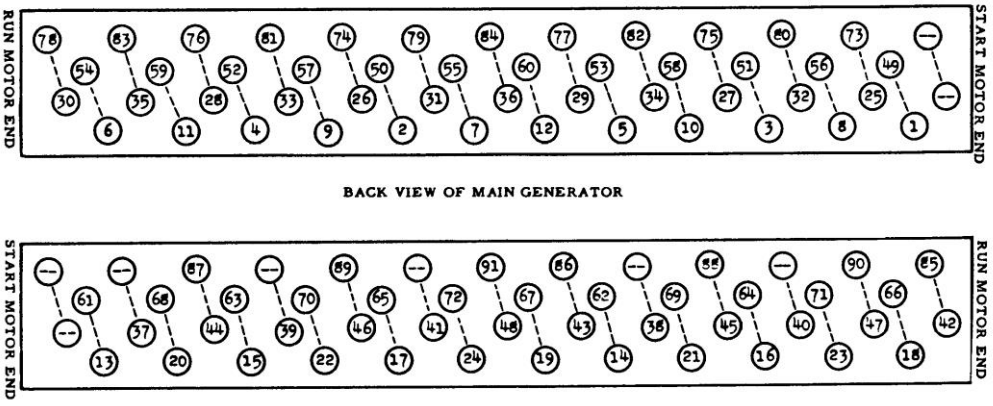


Figure 3–5. Generator Magnet Locations

3–7

Abbildung 394: Generator Anschlussleiste [21]

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Hier ein Bild des geöffneten ToneWheel-Generators mit den verwendeten Zahnrädern; sowie Angaben zur Anzahl der Zähne.

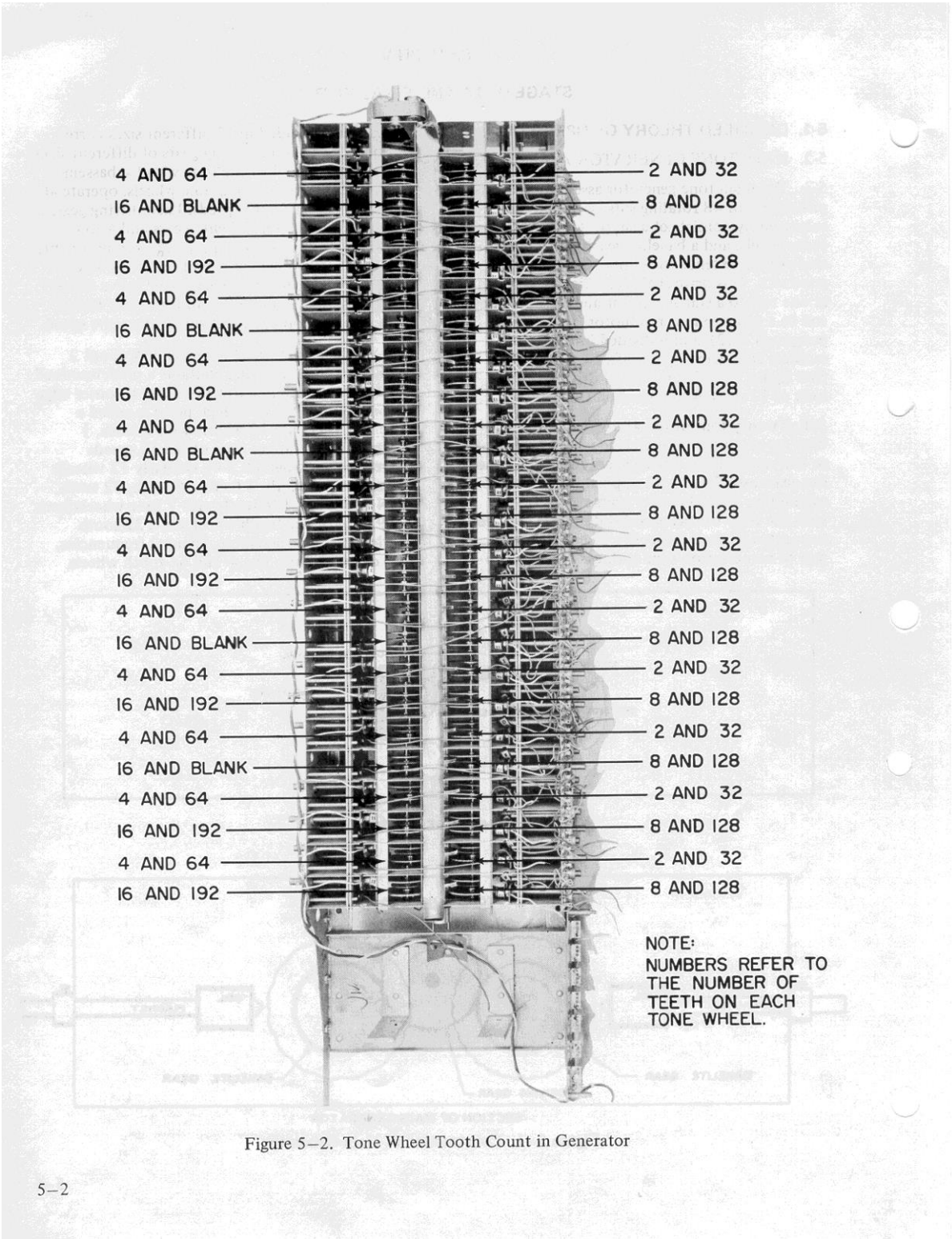


Abbildung 395: Zahnräder im ToneWheel-Generator [21]

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

19 Literaturverzeichnis

Nr.	Verfasser	Artikel	Kurzbeschreibung
[1]	C. Klug	Hammond Nostalgie Times, *Nr. 2, S.14ff* "Hammond-Orgel-Modifikation"	Zugriegelfrequenzgang, 10µF-Kondensator (Modifikation), Hammond 2kanalig
[2]	R. Schleicher	Hammond Nostalgie Times, *Nr. 6, S.16ff* "Wie Lästigkeit zur Last werden kann"	Scanner-Reparatur, Probleme mit Verschmutzung und Über-Ölung
[3]	U. Zwarg	Hammond Nostalgie Times, *Nr. 8, S244ff* "Theorie und Technik der Hammond Orgel- Der elektromagnetische Tongenerator"	Grundsätzliche mechanische und elektrische Eigenschaften des Tongenerators.
[4]	B. Wurzenrainer	Hammond Nostalgie Times, *Nr. 9, S.19ff* "Ein Meilenstein für Orgelklänge – Die Geschichte und Lehre der Zugriegel"	Zugriegel-Registrierungen bekannter Organisten sowie Theorie zur „Klangfarbenkomposition" der Hammond-Orgel
[5]	C. Klug	Hammond Nostalgie Times, *Nr. 9, S.35ff* "Keyboard"	Mechanik und Bilder der Manual-Baugruppe
[6]	Vatikan; übersetzt von P. Rach-Schmucker	Hammond Nostalgie Times, *Nr. 9, S.61ff* "Anti-Hammond"	Unter anderem: Klangfarben und Obertöne, Frequenzspektrum einer Kirchenorgel
[7]	R. Koch	Hammond Nostalgie Times, *Nr. 10, S.5ff* "Ist das Original authentisch?"	Gedanken zur Restaurations-Philosophie; Informationen zum Lack und verwendeten Leim beim Gehäusebau
[8]	C. Klug	Hammond Nostalgie Times, *Nr. 10, S.15ff* "Trek II Pre-Amplifier"	Schaltbild, Frequenzgang und nähere Informationen zum Halbleiter-Vorverstärker von Trek II (als Alternative zum AO-28)
[9]	U. Zwarg	Hammond Nostalgie Times, *Nr. 10, S.35ff* "Praxis und Technik der Hammond Orgel- Optimierung des Tongenerators""	Anleitung zum Generatorabgleich, Bau der Kapazitätsdekade
[10]	C. Klug	Hammond Nostalgie Times, *Nr. 10, S.44ff* "Hammond Organ Measurement"	Zugriegelfrequenzgang, "Reference", Pre-Amplifier Frequenzgang, Matching-Transformator, Verharfung, 6kHz-Hochtonanhebung
[11]	J. Doering	Hammond Nostalgie Times, *Nr. 11, S.34ff*	Mechanik des Tonradgenerators; viele Bilder und Detailaufnahmen;

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

		"Die aufregende Reise in das Innere eines M3-Generators"	Behandlung der Problematik „Amplitudenschwankungen"
[12]	W. Wencel	Hammond Nostalgie Times, *Nr. 11, S.46ff* "Berechnung der Kapazität des Scannerkondensators"	Theoretische Herleitung der Scannerkapazität; Ersatzschaltbild und Einflüsse auf den Vorverstärker AO-28
[13]	A. Mackenrott	Die Hammond-Orgel: Konstruktion und Sound, *S82ff,* ***2001*** „Elektrischer Aufbau der Percussion"	Magisterarbeit des Fachbereiches für Musikwissenschaften an der Universität Hamburg. Angefertigt von Axel Mackenrott im Jahre 2001.
[14]		www.jogis-roehrenbude.de	Sehr umfangreich gestaltete Internet-Präsenz eines Radiosammlers, die sich ausschließlich mit Röhrentechnik und deren Umfeld (z.B. Röhrenprüfgeräte, Röhrenverstärker, Bauanleitungen, Abgleich usw.) beschäftigt.
[15]		www.sl-prokeys.com	Detailinformationen zu Hammond-Orgeln und Leslies; auch zur Thematik „Schaumstoff in der Manualbaugruppe". Seit jüngster Zeit leider nur noch gegen Registrierung (Benutzername/Passwort) zu betreten.
[16]		www.tonewheel.de	Soundtuning, auch von „kleinen" Hammonds, Abhandlung über (amerikanische) Röhrenprüfgeräte
[17]	C. Klug	Hammond Nostalgie Times, *Nr. 4, S.8ff,* "Frequenzgänge von Hammond und Leslie"	Die Grundlagen für die Quelle [10].
[18]	Donald R. Hall	Musikalische Akustik, *S.74ff, S.310f,* **2003** 2te Auflage, Schott-Verlag	Lehrbuch über Musik, Musiktheorie und Akustik
[19]	U. Zwarg	Persönliche Mitteilung, **13.10.2004**	
[20]	U. Zwarg	Persönliche Mittleitung **17.10.2004**	
[21]	Hammond Organ Company	Service Manual B-3, C-3	Originales Hammond Service-Manual

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

20 Schlusswort

Das war’s nun- unser persönlicher Beitrag zur Erhaltung der elektromagnetischen Hammond-Orgel. Mit etlichen Bildern haben wir versucht, die vielen Inhalte der Technik möglichst einfach und allgemein verständlich zu vermitteln.

Was als lose Bildersammlung während eines verregneten Bergwander-Urlaubs in Österreich auf einem einfachen Laptop begann, haben wir innerhalb der letzten zwei Jahre auf nun fast 400 Seiten Umfang erweitert. Jetzt ist es an der Zeit, dieses Werk abzuschließen und sich neuen Projekten zu widmen (ich höre schon jetzt Stimmen, die bereits jetzt auf das Leslie-Technikhandbuch warten, haha!). Die Arbeitsstunden, die zur Erstellung dieses Werks notwendig waren, haben wir nie gezählt, sind aber sicher reichlich. Im „Auftrag des Buches“ haben wir inzwischen über 3,3GB an elektronischem Bildmaterial zusammenfotografiert und allein das einmalige Abspeichern dieses etwa 400Megabyte großen Dokuments benötigt aktuell so rund um die 30 Minuten (die Konvertierung ins elektronische PDF-Format lassen wir sowieso nur noch nachts laufen).

Auch wenn die Bearbeitung dieses Werks zum Ende hin dadurch schon einigermaßen „zäh“ wurde- wir erbringen hiermit den eindeutigen Beweis, dass man sogar mit einem Windows-PC durchaus größere bebilderte Dokumente im Buchumfang ohne nennenswerte Rechnerabstürze erstellen kann ;-)

Wir möchten all denen unseren Dank aussprechen, ohne deren Hilfe dieses Buch nicht entstanden wäre (oder zumindest nicht in dieser Form):

Allen voran natürlich unseren Eltern, ohne deren Engelsgeduld, ihren Dachboden, ihren Werkschuppen, ihren Wäscheplatz und ihre Unterstützung sowohl die Anschaffung der Orgel als auch sämtliche Holzarbeiten nicht möglich gewesen wären.

Weiterhin möchten wir unsere Anerkennung aussprechen für den unermüdlichen Arbeitseinsatz insbesondere von Ulrich Zwarg, Christoph Klug und Dieter Enners, die uns oft mit Rat und Tat zur Seite standen und gerne den einen oder anderen "Insider-Tipp" beigesteuert haben. Alle drei stellten uns für dieses Buch Hinweise, wichtige Messwerte oder Tabellen zur Verfügung. Letztendlich stellten sie sich auch tapfer als „Beta-Leser“ zur Verfügung, um die sachlich letzten „Klinken“ in diesem Werk zu finden.

Mein Vater Udo Michalzik (Deutschlehrer, der sich auf den Ruhestand freut) hatte die ehrenvolle Aufgabe, dieses Dokument in mühevoller Kleinarbeit und einer Engelsgeduld auf korrekte Schreibweise hin zu untersuchen. Ja- auch solche Dinge gehören zum Erstellen eines Buches dazu. Und die Antwort auf die Frage nach „Rechtschreibreform oder nicht?“ ist auch nicht ganz so trivial zu beantworten, wenn sich in diesem Punkt aktuell noch nicht einmal der Duden und die großen Tageszeitungen untereinander einig sind. Weiterhin ein großes Lob an seinen neuen Laserdrucker, der die Feuertaufe mit dem 4fachen Erstausdruck dieses Dokuments mit Bravour bestanden hat (alleine das dauerte pro Druck immerhin ca. 8 Stunden!).

Nicht zuletzt freuen wir uns über die freundliche Aufnahme im "Hammond Nostalgie Club". Dies hat uns stets motiviert, diese Arbeit weiter zu verfolgen und letztendlich auch zum Abschluss zu bringen.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Wenn wir nun auf die zweieinhalb Jahre zurückblicken, hat sich aber auch vieles verändert. Wir haben „nebenbei“ geheiratet und –damit’s noch etwas spannender wird- gleichzeitig ein Haus gebaut. Grundrissplanung natürlich standesgemäß in „Leslie-Höhen“ und „Orgel-Breiten“ (das war eine neue Erfahrung für unseren Architekten, der bis dato nur stumpfe „Maurermaße“ kannte!) und auch der ebenerdige Eingang zu Musikzimmer, Bastelzimmer, Lagerraum und Werkstatt werfen bereits jetzt ihre Schatten in unsere Zukunft voraus. „Nicht noch einmal“ hörte ich es danach unisono aus dem Mund unserer Umzugshelfer, nachdem dann endlich die dritte Orgel den Weg ins neue Heim gefunden hatte.

Wir grüßen alle Leser und wünschen Ihnen und allen Freunden der Hammond-Orgel für die Zukunft stets viel Freude, Glück und Erfüllung bei unserem gemeinsamen tollen Hobby!

Marc Michalzik
Monika Michalzik

Abbildung 396: unser Messplatz

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Das Endergebnis der Restauration: Unsere Hammond C-3 im neuen Heim.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Waaaas? Schon zu Ende??? Neee, „einen“ haben wir noch...;-)

Links:
voller Körpereinsatz!

Rechts:
ein weiterer Hausbewohner:
Restaurationspotenzial für
kalte Wintertage...

Links: Arbeiten im viel zitierten
„elterlichen Werkschuppen“

Rechts:
Eine Chemikerin in ihrem
„Element“....

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

Links:
Bist Du nicht willig, so brauche ich....

.....Stechbeitel !??!?!???

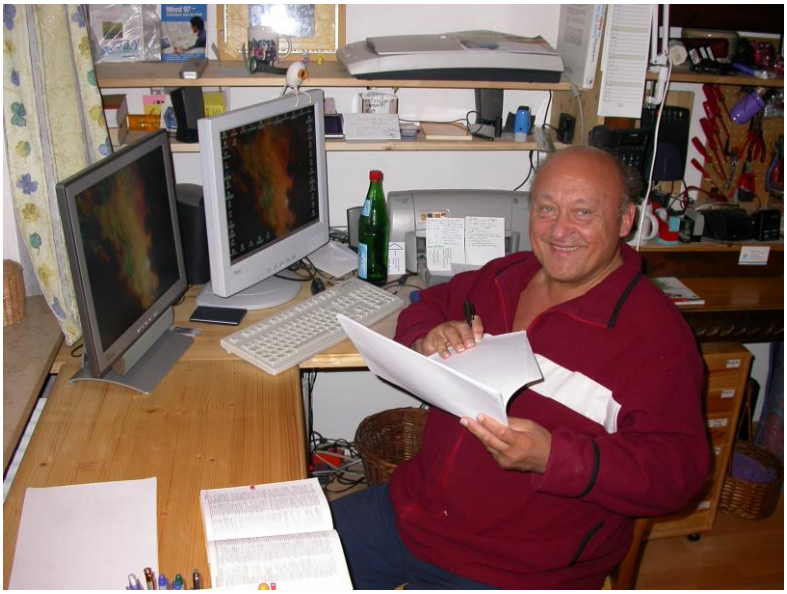
Rechts:
Immer eine gute Idee auf Lager:
Annegret Michalzik

Links:
Gemeinsame „Anprobe“ bei den Michalziks

Rechts:
So entstanden viele Abbildungen dieses Buches: „Fotoshooting“ mit zusätzlich aufgestelltem Remote-Tochterblitz.

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

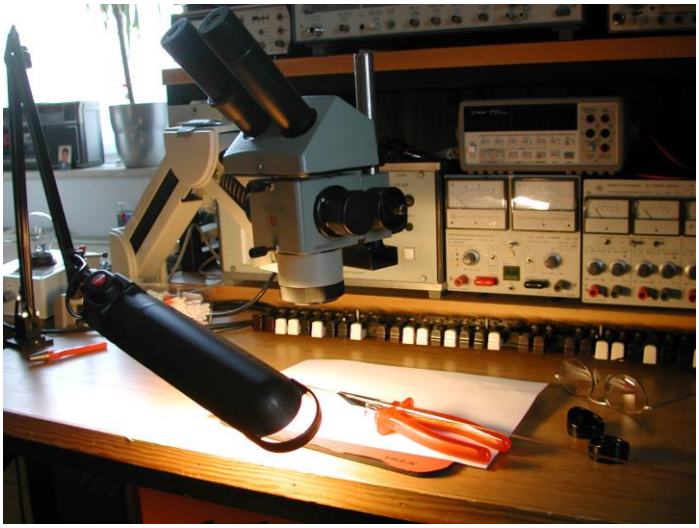
Rechts:
Die Zugriegelbaugruppe auf dem hübschen, roten IKEA-Mousepad....



Links:
Keiner korrigiert schneller: Udo Michalzik bei der Arbeit.

Rechts: mit professioneller Messtechnik geht's einer Spule elektrisch an den Kragen....

© 2004 Marc u. Monika Michalzik



Links: unser Lötmikroskop. Spektakuläre Bilder dank ost-europäischer Präzisionsoptik vom Flohmarkt!

Rechts:
Sicher ist sicher: Arbeiten mit Mundschutz...

Hoffen, dass das Buch gefällt:

Marc Michalzik **Monika Michalzik**

© 2004 Marc u. Monika Michalzik

21 Disclaimer

Hinweise
1. Wer auf dieser Grundlage bastelt, bastelt auf eigene Gefahr!
2. Das hier ist ein privat und hobbymäßig zusammengestellter Reparaturbericht. Die Autoren übernehmen keine Garantie für die Korrektheit der hier beschriebenen Inhalte.
3. Wir übernehmen keine Folgekosten, die durch evtl. Anwendung der hier beschriebenen Informationen entstehen könnten.
4. Das Basteln in elektrischen Geräten kann für nicht Sachkundige ein hohes Risiko von Verletzungen aller Art bedeuten. Sollten Sie nicht sachkundig sein, lassen Sie bitte lieber die Finger davon.
5. Die kommerzielle Nutzung des hier beschriebenen Wissens ist nicht vorgesehen.
6. Alle Meinungsäußerungen (insbesondere über Firmen oder Hersteller) sind stets rein subjektiver Natur und spiegeln nur unsere eigenen Erfahrungen oder persönlichen Vorlieben wider. Sie sind weder als Werbung noch Verunglimpfung dieser Firmen oder Hersteller zu verstehen, sondern als persönliche Meinungsäußerung aufzufassen.
7. Dieses Buch wurde von uns nach bestem Wissen und Gewissen erstellt.

Disclaimer
Alle Artikel unterliegen dem deutschen Urheberrecht. Keine unerlaubte Vervielfältigung, Aufführung, Weitergabe, Druck. Eine kommerzielle Nutzung des hier beschriebenen Wissens ist nicht vorgesehen. Weiterhin übernehmen wir weder Gewähr für die Richtigkeit der Inhalte noch übernehmen wir Haftung für Risiken und Folgen, die aus der Verwendung/Anwendung der hier aufgeführten Inhalte entstehen könnten. Nicht-Sachkundigen raten wir generell von Eingriffen in elektrischen Geräten und Anlagen dringend ab! Insbesondere verweisen wir auf die strikte Einhaltung der aktuell gültigen Sicherheitsvorschriften von VDE und Berufsgenossenschaft über die elektrische Sicherheit!

Rechtliche Absicherung
Grundsätzlich berufen wir uns auf das Menschenrecht der freien Meinungsäußerung nach Artikel 5, Absatz 1 des Grundgesetzes. Dennoch machen wir es uns zu eigen, von den in den Berichten möglicherweise namentlich vorkommenden Personen vor der Veröffentlichung eine Zustimmung einzuholen. Wenn Sie jedoch der Meinung sind, dass Sie persönlich betroffen sind und das in Ihrem Fall versäumt wurde, und Sie sind darüber verärgert, so bitten wir um eine umgehende Kontaktaufnahme (ohne Kostennote!) mit uns. Das gilt auch für den Fall, wenn die hier bereitgestellten Inhalte fremde Rechte Dritter oder gesetzliche Bestimmungen verletzen sollten. Wir garantieren, dass die zu Recht beanstandeten Passagen unverzüglich entfernt werden, ohne dass von Ihrer Seite die Einschaltung eines Rechtsbeistandes erforderlich ist. Dennoch von Ihnen ohne vorherige Kontaktaufnahme ausgelöste Kosten werden wir vollumfänglich zurückweisen und gegebenenfalls Gegenklage wegen Verletzung vorgenannter Bestimmungen einreichen.

Haftungshinweise
Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle übernehme ich keine Haftung für die Inhalte externer Links. Für den Inhalt der verlinkten Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich.

Kontakt:
Marc.Michalzik@bymm.de

Dieser Artikel unterliegt dem Urheberrecht. © ®. Alle Rechte vorbehalten. Keine Vervielfältigung, Nachdruck.

22 Elektronische Verfügbarkeit ab Mai 2024

Im Mai 2024 haben wir uns -nach nunmehr 20 Jahren!- entschlossen, dieses Dokument nicht mehr als kopiertes und gebundenes Werk zum Selbstkostenpreis an Mitglieder des "Hammond Nostalgie Clubs" zu verschicken, sondern der gesamten interessierten Leserschaft - etwas "zeitgemäßer"- als elektronisches Buch kostenlos zum Download zur Verfügung zu stellen. Dafür erweitern wir die Nutzungsrechte, indem das Ausdrucken für rein private Zwecke (z.B. angenehmeres Lesen auf Papier, Erstellen von Unterlagen für Reparatur von Instrumenten, usw.) nun ausdrücklich gestattet wird. Ebenfalls gestatten wir die (unveränderte!) Weitergabe als PDF-Dokument.

Die kommerzielle Nutzung bleibt jedoch weiterhin strengstens untersagt!

Dieses elektronische Dokument ist KOSTENFREI für jedermann downloadbar.

Sollten Sie für dieses Dokument bei irgendjemandem Geld dafür bezahlt haben, wenden Sie sich bitte an marc.michalzik@bymm.de, damit wir gemeinsam Anzeige wegen Betrugs stellen können.

Gender-Konvention

Dieses Hammond-Technikhandbuch hatte seine erste Veröffentlichung im Jahr 2004. Die damals in diesem Dokument verwendete Formulierung ist nach heutigen Maßstäben sicherlich nicht mehr als "gender-konform" anzusehen und könnte von sensiblen Personen fälschlicherweise als Diskriminierung aufgefasst werden.

Daher erklären wir hiermit, dass bei der Verwendung von rein weiblichen oder männlichen Artikeln immer alle Menschen gemeint sind- egal ob männlich, weiblich oder divers. Sollten in diesem Dokument also geschlechts-spezifische Ausdrücke zu finden sein, so liegt das daran, dass vor 20 Jahren, als dieses Buch entstanden ist, das "Gendern" weder in der Literatur noch im Alltag üblich war und auch noch längst nicht so viele Menschen daran Anstoß nahmen wie heute. Es ist also ein Relikt der damaligen Zeit und stellt ausdrücklich keinerlei gewollte Diskriminierung dar. Wir bitten alle Lesenden bereits vorab höflichst um Verständnis und Entschuldigung!

Mit dem Lesen dieses Buches erklären Sie sich vollumfänglich mit den oben beschriebenen Bedingungen und Erklärungen einverstanden.

Marc Michalzik,
Mai 2024

© 2004 Marc u. Monika Michalzik