

Klarenz Barlow

Von der Musiquantenlehre

Band II: Abbildungen

Feedback Papers 34

FEEDBACK PAPERS 34
2008

Alle Rechte vorbehalten
Copyright 2008 by Johannes Fritsch, Rolf Gehlhaar & Co.
ISBN 978-3-9812713-2-4

Feedback Studio Verlag, Genter Straße 23, 60672 Köln
Tel. +49 221 527763 Fax 5104139

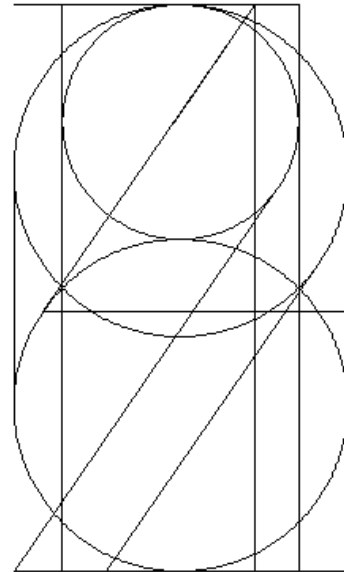
Von der Musiquantenlehre Band II – 1. Auflage

Layout, Design, Text und Grafik: Klarenz Barlow
Druck und Verarbeitung: Hundt Druck GmbH Köln
Mit freundlicher Unterstützung der Universität Kalifornien in Santa Barbara

Vorwort zu den Abbildungen

Den Nummern, die die folgenden 48 Abbildungen und Abbildungsgruppen kennzeichnen, steht zur Angabe der Abbildungsart ein Buchstabe voraus, und zwar ein F für Formeln, ein Γ für Grafiken, ein T für Tabellen sowie ein L für Computerprogrammauflistungen. Das Inhaltsverzeichnis zeigt in eckigen Klammern Kapitel und Seite des ersten Verweises auf die Abbildungen in Band I. Sämtliche Formeldarstellungen und Grafiken wurden im Postscript-Format durch von mir gezielt geschriebene Computerprogramme erzeugt. Ausserdem habe ich einige Truetype-Schriftarten speziell für dieses Buch erschaffen, wie z.B. *Musiquantik*, die u.a. die hier folgend auf Seite 2 ersichtlichen sechzehn sogenannten Hexadezimalziffern 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F enthält; aus einem Bedürfnis nach Einheitlichkeit wurden sie allesamt dem rechts stehenden Gerüst abgewonnen.

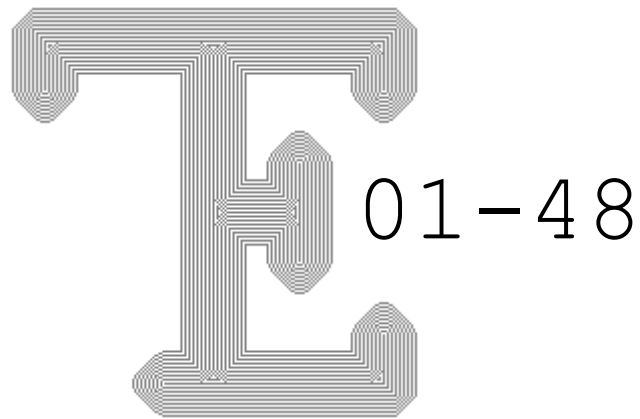
Klarenz Barlow
Köln 2008



Von der Musiquantenlehre Band II

Inhalt

	Seite
F01 – Kombinationen von sieben Strichen [I/01, S.2]	1
T02 – Zahlensystemumrechnungen [I/01, S.3]	2
F03 – Zweidimensionale Kurven [I/02, S.4]	4
F04 – Formeln zur Berechnung von Beschleunigung [I/02, S.5]	7
F05 – Eine Auswahl gewöhnlich notierbarer Intervalle [I/03, S.6]	8
F06 – Beispiele von Frequenzfolgen in Hertz [I/04, S.8]	8
F07 – Geometrischer Faktor und arithmetisches Intervall [I/05, S.10]	8
T08 – Messwerte der Tonhöhe und Lautstärke [I/06, S.12]	9
F09 – Schalldruckquadrat und Schallintensität [I/06, S.13]	11
F10 – Das Dezibel: Anwendungen und Überlegungen [I/08, S.16]	11
T11 – Beispiele von Lautstärke in dB(SPL) [I/08, S.17]	13
F12 – Objektiv und subjektiv, linear und logarithmisch [I/09, S.18]	14
F13 – Netzwerke von Quinten und Terzen; Intervallherleitung [I/10, S.20]	15
F14 – Herleitung trigonometrischer Funktionen vom Dreieck [I/11, S.22]	15
F15 – Schallwellen und Spektrum [I/12, S.24]	16
F16 – Hardware und Software [I/13, S.26]	17
F17 – Digitalisierte Schallwellen [I/14, S.28]	17
T18 – ASCII-Code [I/15, S. 30]	18
L19 – Programmierung der Fibonacci-Reihe [I/15, S.31]	19
L20 – Ein C-Programm [I/16, S.32]	19
L21 – Funktionen in C [I/17, S.34]	20
F22 – Ein Verbund MIDIfähiger Geräte [I/18, S.36]	21
T23 – MIDI-Code [I/18, S.37]	21
L24 – Programmierung von MIDI in C [I/18, S.37]	22
F25 – Formeln zur Harmonizität [I/19, S.38]	24
T26 – Tabellen zur Harmonizität [I/19, S.38]	24
F27 – Grafiken zur Harmonizität [I/19, S.38]	26
F28 – Intervallgröße, Bruchdarstellung sowie Harmonische Intensität [I/20, S.40]	28
T29 – Zur Rationalisierung von Skalen [I/21, S.43]	30
F30 – Ratioglyphische Darstellung gleichtemperierter Stimmungen [I/21, S.43]	33
F31 – Grafiken zur Metrik [I/22, S.44]	34
F32 – Formeln zur Metrik [I/22, S.45]	35
F33 – Grafiken zu Metrischer Kohärenz [I/23, S.46]	36
F34 – Formel zu Metrischer Kohärenz [I/23, S.46]	36
T35 – Tabellen zu Metrischer Kohärenz [I/23, S.46]	37
T36 – Zur Stochastik [I/24, S.48]	39
F37 – Beispiele der stochastischen Erzeugung von Noten [I/24, S.49]	42
F38 – Beispiele der Fourieranalyse und -synthese [I/25, S.50]	43
T39 – Fourieranalyse einer handgezeichneten Kurve [I/25, S.51]	45
F40 – Frequenzmodulation und Phasenverzerrung [I/26, S.53]	46
F41 – Klang und Geräusch [I/27, S.54]	48
F42 – Die kritische Bandbreite [I/28, S.56]	50
T43 – Übersetzung Bark→Hertz [I/28, S.57]	52
F44 – Summierung zweier Sinuskurven [I/29, S.58]	53
F45 – Zur physiologischen Phonetik [I/30, S.60]	54
T46 – Orthographische Darstellung von Sprachlauten [I/31, S.62]	57
F47 – Der Vokaltrakt [I/31, S.63]	58
F48 – Sprachformanten [I/32, S.64]	59



Γ01 – 128 Kombinationen von sieben Strichen

		—	—		└	└	—	┐	┐	—	—		┐	┐	
	┐	┐	┐	┐	└	└	└	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐
				┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐
		┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐
		┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐
		┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐
┐		┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐
		┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐	┐

T02 – Zahlensystemumrechnungen

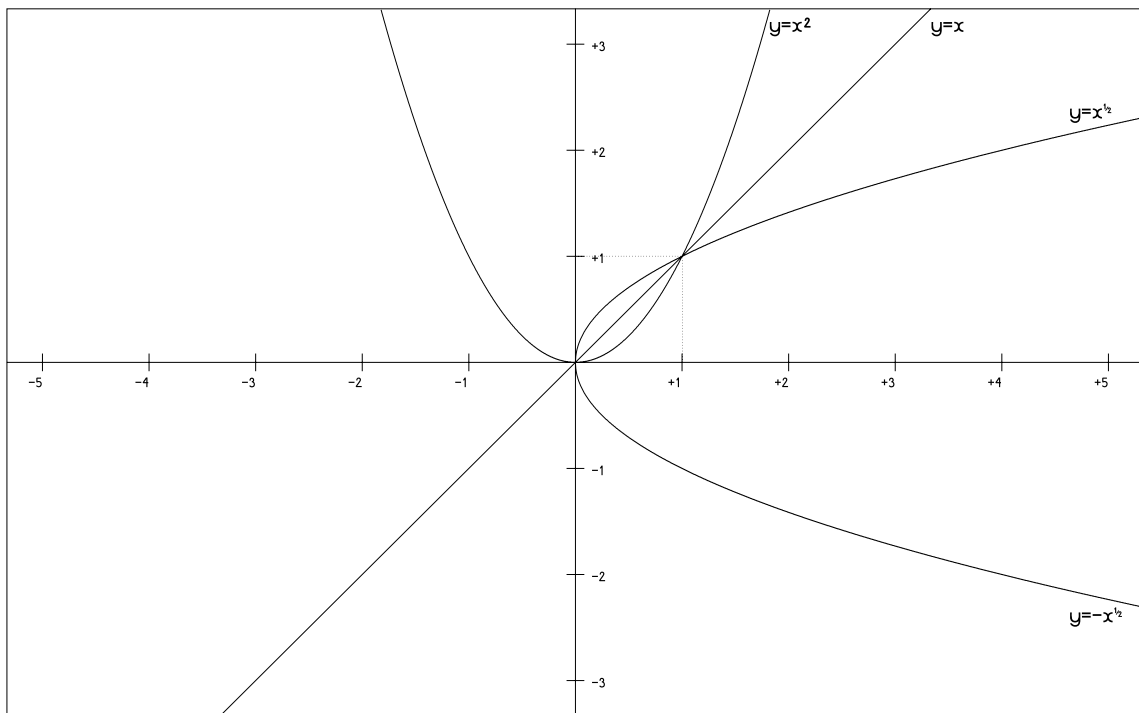
$0_d = 00000000_b = 000_o = 00_h$	$51_d = 00110011_b = 063_o = 33_h$	$102_d = 01100110_b = 146_o = 66_h$
$1_d = 00000001_b = 001_o = 01_h$	$52_d = 00110100_b = 064_o = 34_h$	$103_d = 01100111_b = 147_o = 67_h$
$2_d = 00000010_b = 002_o = 02_h$	$53_d = 00110101_b = 065_o = 35_h$	$104_d = 01101000_b = 150_o = 68_h$
$3_d = 00000011_b = 003_o = 03_h$	$54_d = 00110110_b = 066_o = 36_h$	$105_d = 01101001_b = 151_o = 69_h$
$4_d = 00000100_b = 004_o = 04_h$	$55_d = 00110111_b = 067_o = 37_h$	$106_d = 01101010_b = 152_o = 6A_h$
$5_d = 00000101_b = 005_o = 05_h$	$56_d = 00111000_b = 070_o = 38_h$	$107_d = 01101011_b = 153_o = 6B_h$
$6_d = 00000110_b = 006_o = 06_h$	$57_d = 00111001_b = 071_o = 39_h$	$108_d = 01101100_b = 154_o = 6C_h$
$7_d = 00000111_b = 007_o = 07_h$	$58_d = 00111010_b = 072_o = 3A_h$	$109_d = 01101101_b = 155_o = 6D_h$
$8_d = 00001000_b = 010_o = 08_h$	$59_d = 00111011_b = 073_o = 3B_h$	$110_d = 01101110_b = 156_o = 6E_h$
$9_d = 00001001_b = 011_o = 09_h$	$60_d = 00111100_b = 074_o = 3C_h$	$111_d = 01101111_b = 157_o = 6F_h$
$10_d = 00001010_b = 012_o = 0A_h$	$61_d = 00111101_b = 075_o = 3D_h$	$112_d = 01110000_b = 160_o = 70_h$
$11_d = 00001011_b = 013_o = 0B_h$	$62_d = 00111110_b = 076_o = 3E_h$	$113_d = 01110001_b = 161_o = 71_h$
$12_d = 00001100_b = 014_o = 0C_h$	$63_d = 00111111_b = 077_o = 3F_h$	$114_d = 01110010_b = 162_o = 72_h$
$13_d = 00001101_b = 015_o = 0D_h$	$64_d = 01000000_b = 100_o = 40_h$	$115_d = 01110011_b = 163_o = 73_h$
$14_d = 00001110_b = 016_o = 0E_h$	$65_d = 01000001_b = 101_o = 41_h$	$116_d = 01110100_b = 164_o = 74_h$
$15_d = 00001111_b = 017_o = 0F_h$	$66_d = 01000010_b = 102_o = 42_h$	$117_d = 01110101_b = 165_o = 75_h$
$16_d = 00010000_b = 020_o = 10_h$	$67_d = 01000011_b = 103_o = 43_h$	$118_d = 01110110_b = 166_o = 76_h$
$17_d = 00010001_b = 021_o = 11_h$	$68_d = 01000100_b = 104_o = 44_h$	$119_d = 01110111_b = 167_o = 77_h$
$18_d = 00010010_b = 022_o = 12_h$	$69_d = 01000101_b = 105_o = 45_h$	$120_d = 01111000_b = 170_o = 78_h$
$19_d = 00010011_b = 023_o = 13_h$	$70_d = 01000110_b = 106_o = 46_h$	$121_d = 01111001_b = 171_o = 79_h$
$20_d = 00010100_b = 024_o = 14_h$	$71_d = 01000111_b = 107_o = 47_h$	$122_d = 01111010_b = 172_o = 7A_h$
$21_d = 00010101_b = 025_o = 15_h$	$72_d = 01001000_b = 110_o = 48_h$	$123_d = 01111011_b = 173_o = 7B_h$
$22_d = 00010110_b = 026_o = 16_h$	$73_d = 01001001_b = 111_o = 49_h$	$124_d = 01111100_b = 174_o = 7C_h$
$23_d = 00010111_b = 027_o = 17_h$	$74_d = 01001010_b = 112_o = 4A_h$	$125_d = 01111101_b = 175_o = 7D_h$
$24_d = 00011000_b = 030_o = 18_h$	$75_d = 01001011_b = 113_o = 4B_h$	$126_d = 01111110_b = 176_o = 7E_h$
$25_d = 00011001_b = 031_o = 19_h$	$76_d = 01001100_b = 114_o = 4C_h$	$127_d = 01111111_b = 177_o = 7F_h$
$26_d = 00011010_b = 032_o = 1A_h$	$77_d = 01001101_b = 115_o = 4D_h$	$128_d = 10000000_b = 200_o = 80_h$
$27_d = 00011011_b = 033_o = 1B_h$	$78_d = 01001110_b = 116_o = 4E_h$	$129_d = 10000001_b = 201_o = 81_h$
$28_d = 00011100_b = 034_o = 1C_h$	$79_d = 01001111_b = 117_o = 4F_h$	$130_d = 10000010_b = 202_o = 82_h$
$29_d = 00011101_b = 035_o = 1D_h$	$80_d = 01010000_b = 120_o = 50_h$	$131_d = 10000011_b = 203_o = 83_h$
$30_d = 00011110_b = 036_o = 1E_h$	$81_d = 01010001_b = 121_o = 51_h$	$132_d = 10000100_b = 204_o = 84_h$
$31_d = 00011111_b = 037_o = 1F_h$	$82_d = 01010010_b = 122_o = 52_h$	$133_d = 10000101_b = 205_o = 85_h$
$32_d = 00100000_b = 040_o = 20_h$	$83_d = 01010011_b = 123_o = 53_h$	$134_d = 10000110_b = 206_o = 86_h$
$33_d = 00100001_b = 041_o = 21_h$	$84_d = 01010100_b = 124_o = 54_h$	$135_d = 10000111_b = 207_o = 87_h$
$34_d = 00100010_b = 042_o = 22_h$	$85_d = 01010101_b = 125_o = 55_h$	$136_d = 10001000_b = 210_o = 88_h$
$35_d = 00100011_b = 043_o = 23_h$	$86_d = 01010110_b = 126_o = 56_h$	$137_d = 10001001_b = 211_o = 89_h$
$36_d = 00100100_b = 044_o = 24_h$	$87_d = 01010111_b = 127_o = 57_h$	$138_d = 10001010_b = 212_o = 8A_h$
$37_d = 00100101_b = 045_o = 25_h$	$88_d = 01011000_b = 130_o = 58_h$	$139_d = 10001011_b = 213_o = 8B_h$
$38_d = 00100110_b = 046_o = 26_h$	$89_d = 01011001_b = 131_o = 59_h$	$140_d = 10001100_b = 214_o = 8C_h$
$39_d = 00100111_b = 047_o = 27_h$	$90_d = 01011010_b = 132_o = 5A_h$	$141_d = 10001101_b = 215_o = 8D_h$
$40_d = 00101000_b = 050_o = 28_h$	$91_d = 01011011_b = 133_o = 5B_h$	$142_d = 10001110_b = 216_o = 8E_h$
$41_d = 00101001_b = 051_o = 29_h$	$92_d = 01011100_b = 134_o = 5C_h$	$143_d = 10001111_b = 217_o = 8F_h$
$42_d = 00101010_b = 052_o = 2A_h$	$93_d = 01011101_b = 135_o = 5D_h$	$144_d = 10010000_b = 220_o = 90_h$
$43_d = 00101011_b = 053_o = 2B_h$	$94_d = 01011110_b = 136_o = 5E_h$	$145_d = 10010001_b = 221_o = 91_h$
$44_d = 00101100_b = 054_o = 2C_h$	$95_d = 01011111_b = 137_o = 5F_h$	$146_d = 10010010_b = 222_o = 92_h$
$45_d = 00101101_b = 055_o = 2D_h$	$96_d = 01100000_b = 140_o = 60_h$	$147_d = 10010011_b = 223_o = 93_h$
$46_d = 00101110_b = 056_o = 2E_h$	$97_d = 01100001_b = 141_o = 61_h$	$148_d = 10010100_b = 224_o = 94_h$
$47_d = 00101111_b = 057_o = 2F_h$	$98_d = 01100010_b = 142_o = 62_h$	$149_d = 10010101_b = 225_o = 95_h$
$48_d = 00110000_b = 060_o = 30_h$	$99_d = 01100011_b = 143_o = 63_h$	$150_d = 10010110_b = 226_o = 96_h$
$49_d = 00110001_b = 061_o = 31_h$	$100_d = 01100100_b = 144_o = 64_h$	$151_d = 10010111_b = 227_o = 97_h$
$50_d = 00110010_b = 062_o = 32_h$	$101_d = 01100101_b = 145_o = 65_h$	$152_d = 10011000_b = 230_o = 98_h$

...T02...

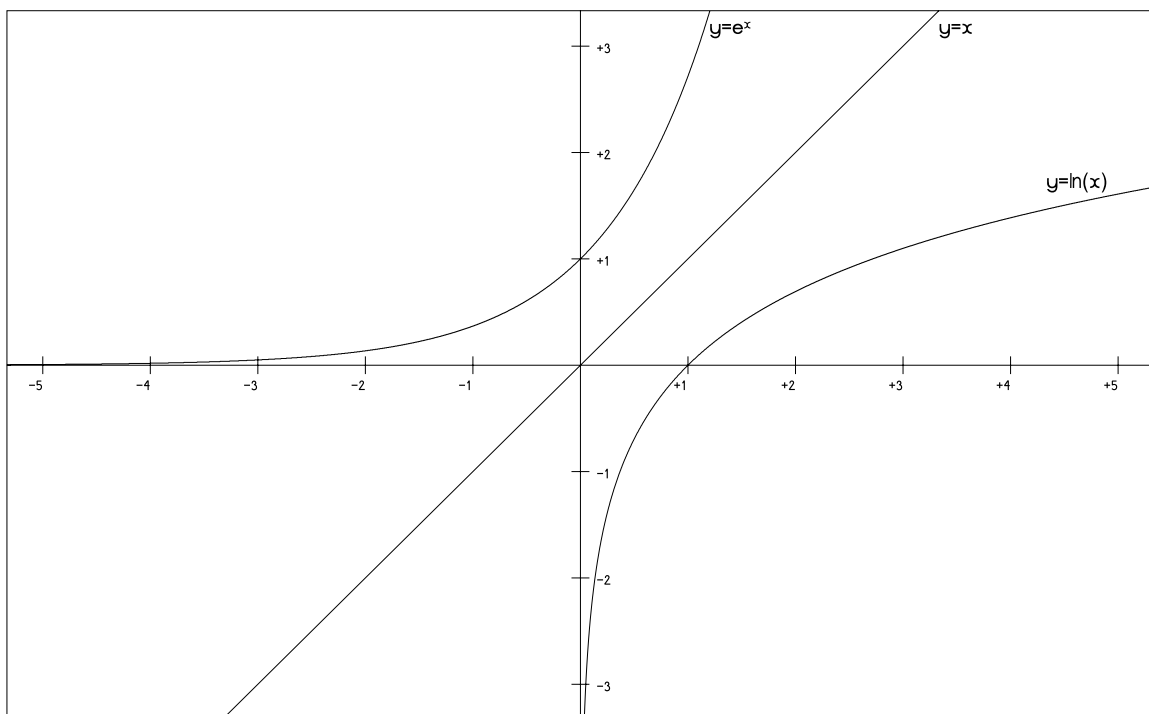
153 _d = 10011001 _b = 231 _o = 99 _h	187 _d = 10111011 _b = 273 _o = Bβ _h	221 _d = 11011101 _b = 335 _o = DD _h
154 _d = 10011010 _b = 232 _o = 9A _h	188 _d = 10111100 _b = 274 _o = BC _h	222 _d = 11011110 _b = 336 _o = DE _h
155 _d = 10011011 _b = 233 _o = 9B _h	189 _d = 10111101 _b = 275 _o = BD _h	223 _d = 11011111 _b = 337 _o = DF _h
156 _d = 10011100 _b = 234 _o = 9C _h	190 _d = 10111110 _b = 276 _o = BE _h	224 _d = 11100000 _b = 340 _o = E0 _h
157 _d = 10011101 _b = 235 _o = 9D _h	191 _d = 10111111 _b = 277 _o = BF _h	225 _d = 11100001 _b = 341 _o = E1 _h
158 _d = 10011110 _b = 236 _o = 9E _h	192 _d = 11000000 _b = 300 _o = C0 _h	226 _d = 11100010 _b = 342 _o = E2 _h
159 _d = 10011111 _b = 237 _o = 9F _h	193 _d = 11000001 _b = 301 _o = C1 _h	227 _d = 11100011 _b = 343 _o = E3 _h
160 _d = 10100000 _b = 240 _o = A0 _h	194 _d = 11000010 _b = 302 _o = C2 _h	228 _d = 11100100 _b = 344 _o = E4 _h
161 _d = 10100001 _b = 241 _o = A1 _h	195 _d = 11000011 _b = 303 _o = C3 _h	229 _d = 11100101 _b = 345 _o = E5 _h
162 _d = 10100010 _b = 242 _o = A2 _h	196 _d = 11000100 _b = 304 _o = C4 _h	230 _d = 11100110 _b = 346 _o = E6 _h
163 _d = 10100011 _b = 243 _o = A3 _h	197 _d = 11000101 _b = 305 _o = C5 _h	231 _d = 11100111 _b = 347 _o = E7 _h
164 _d = 10100100 _b = 244 _o = A4 _h	198 _d = 11000110 _b = 306 _o = C6 _h	232 _d = 11101000 _b = 350 _o = E8 _h
165 _d = 10100101 _b = 245 _o = A5 _h	199 _d = 11000111 _b = 307 _o = C7 _h	233 _d = 11101001 _b = 351 _o = E9 _h
166 _d = 10100110 _b = 246 _o = A6 _h	200 _d = 11001000 _b = 310 _o = C8 _h	234 _d = 11101010 _b = 352 _o = EA _h
167 _d = 10100111 _b = 247 _o = A7 _h	201 _d = 11001001 _b = 311 _o = C9 _h	235 _d = 11101011 _b = 353 _o = EB _h
168 _d = 10101000 _b = 250 _o = A8 _h	202 _d = 11001010 _b = 312 _o = CA _h	236 _d = 11101100 _b = 354 _o = EC _h
169 _d = 10101001 _b = 251 _o = A9 _h	203 _d = 11001011 _b = 313 _o = CB _h	237 _d = 11101101 _b = 355 _o = ED _h
170 _d = 10101010 _b = 252 _o = AA _h	204 _d = 11001100 _b = 314 _o = CC _h	238 _d = 11101110 _b = 356 _o = EE _h
171 _d = 10101011 _b = 253 _o = AB _h	205 _d = 11001101 _b = 315 _o = CD _h	239 _d = 11101111 _b = 357 _o = EF _h
172 _d = 10101100 _b = 254 _o = AC _h	206 _d = 11001110 _b = 316 _o = CE _h	240 _d = 11110000 _b = 360 _o = F0 _h
173 _d = 10101101 _b = 255 _o = AD _h	207 _d = 11001111 _b = 317 _o = CF _h	241 _d = 11110001 _b = 361 _o = F1 _h
174 _d = 10101110 _b = 256 _o = AE _h	208 _d = 11010000 _b = 320 _o = D0 _h	242 _d = 11110010 _b = 362 _o = F2 _h
175 _d = 10101111 _b = 257 _o = AF _h	209 _d = 11010001 _b = 321 _o = D1 _h	243 _d = 11110011 _b = 363 _o = F3 _h
176 _d = 10110000 _b = 260 _o = B0 _h	210 _d = 11010010 _b = 322 _o = D2 _h	244 _d = 11110100 _b = 364 _o = F4 _h
177 _d = 10110001 _b = 261 _o = B1 _h	211 _d = 11010011 _b = 323 _o = D3 _h	245 _d = 11110101 _b = 365 _o = F5 _h
178 _d = 10110010 _b = 262 _o = B2 _h	212 _d = 11010100 _b = 324 _o = D4 _h	246 _d = 11110110 _b = 366 _o = F6 _h
179 _d = 10110011 _b = 263 _o = B3 _h	213 _d = 11010101 _b = 325 _o = D5 _h	247 _d = 11110111 _b = 367 _o = F7 _h
180 _d = 10110100 _b = 264 _o = B4 _h	214 _d = 11010110 _b = 326 _o = D6 _h	248 _d = 11111000 _b = 370 _o = F8 _h
181 _d = 10110101 _b = 265 _o = B5 _h	215 _d = 11010111 _b = 327 _o = D7 _h	249 _d = 11111001 _b = 371 _o = F9 _h
182 _d = 10110110 _b = 266 _o = B6 _h	216 _d = 11011000 _b = 330 _o = D8 _h	250 _d = 11111010 _b = 372 _o = FA _h
183 _d = 10110111 _b = 267 _o = B7 _h	217 _d = 11011001 _b = 331 _o = D9 _h	251 _d = 11111011 _b = 373 _o = FB _h
184 _d = 10111000 _b = 270 _o = B8 _h	218 _d = 11011010 _b = 332 _o = DA _h	252 _d = 11111100 _b = 374 _o = FC _h
185 _d = 10111001 _b = 271 _o = B9 _h	219 _d = 11011011 _b = 333 _o = DB _h	253 _d = 11111101 _b = 375 _o = FD _h
186 _d = 10111010 _b = 272 _o = BA _h	220 _d = 11011100 _b = 334 _o = DC _h	254 _d = 11111110 _b = 376 _o = FE _h
		255 _d = 11111111 _b = 377 _o = FF _h

Γ03 – Zweidimensionale Kurven

a) Parabelkurven nebst Gleichheitsgerade

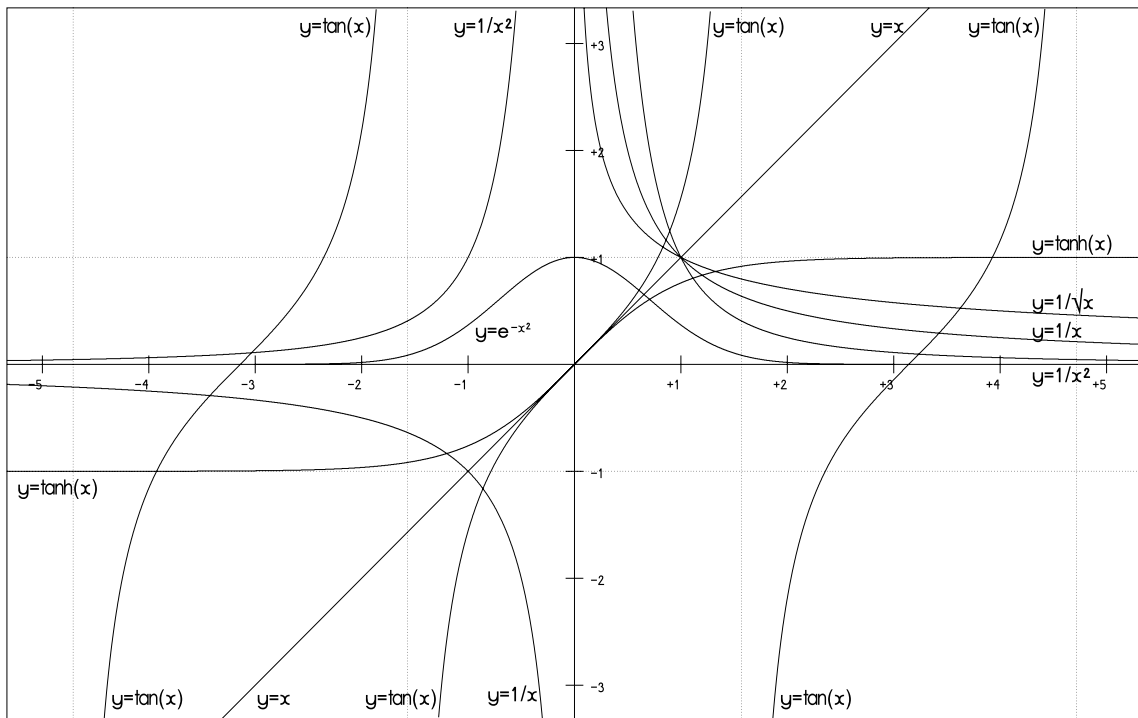


b) Exponential- und Logarithmuskurven nebst Gleichheitsgerade

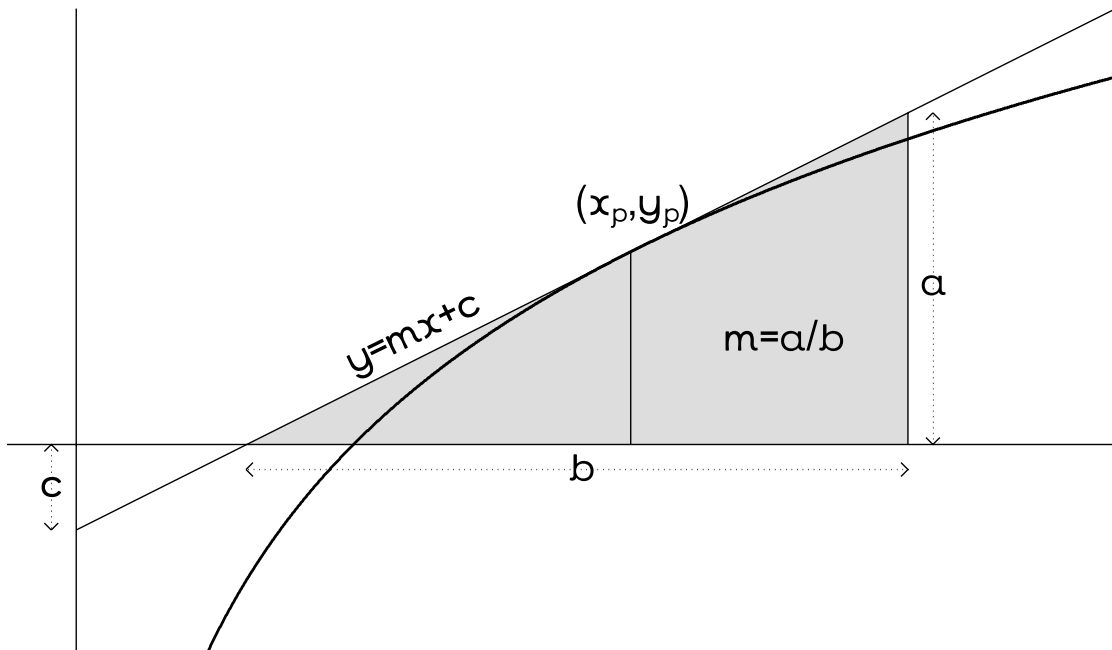


...T03...

c) Senkrecht und waagrecht asymptotische Kurven nebst Gleichheitsgerade

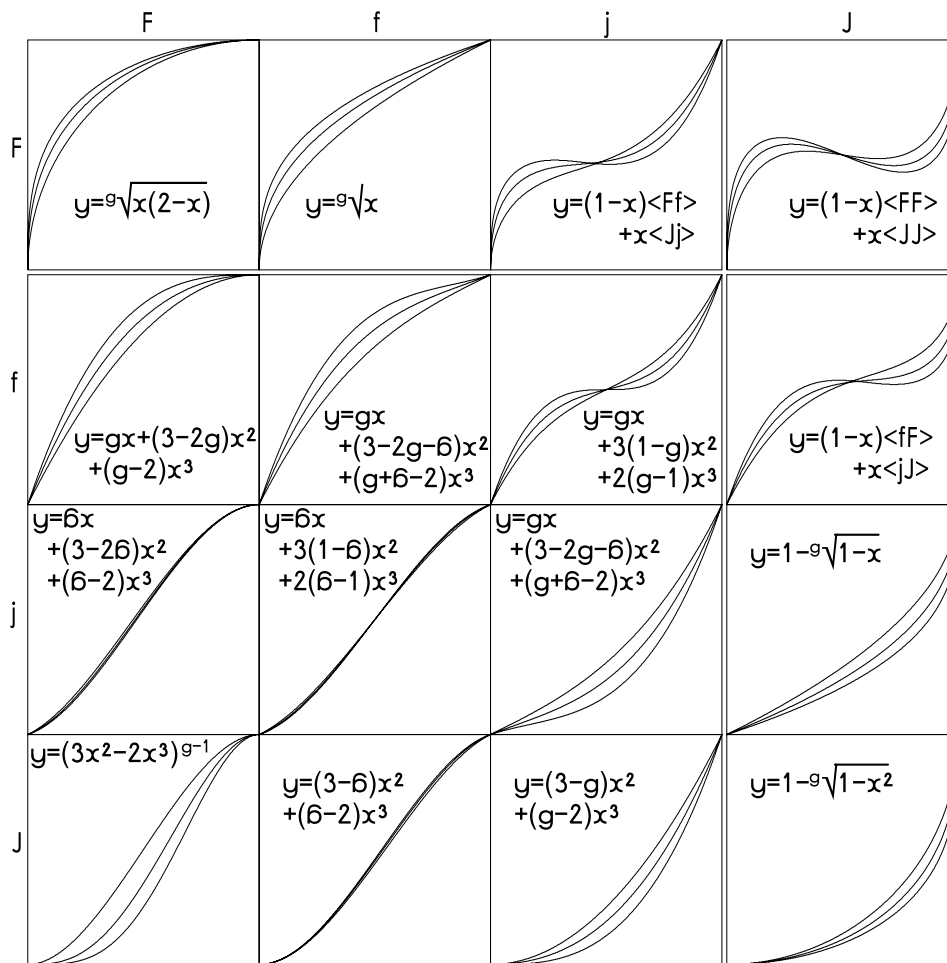


d) Beispiel einer Tangente mit Steigung m am Punkt (x, y) auf einer Kurve

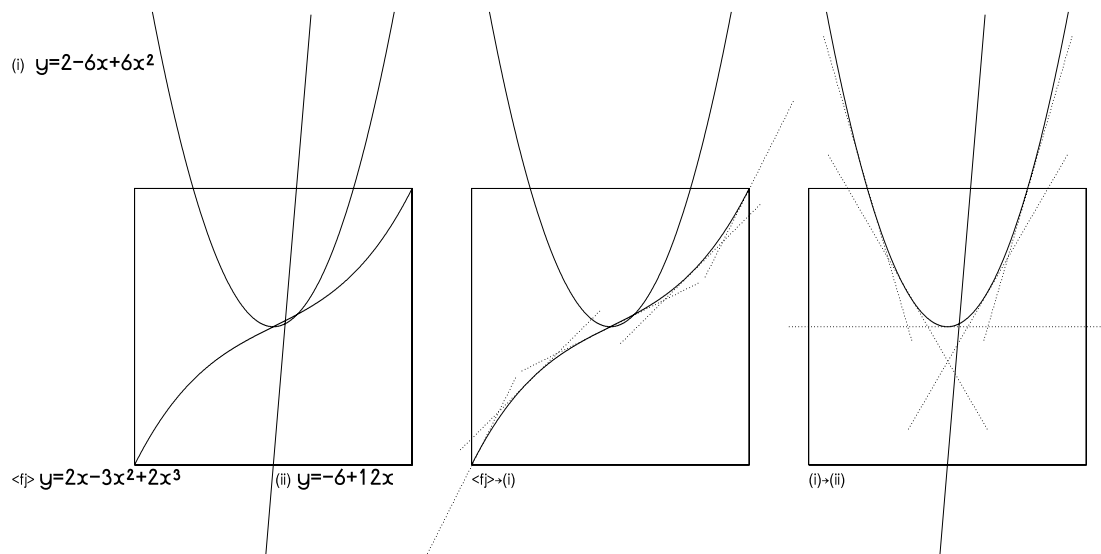


...r03...

- e) Sechzehn nicht-, ein- sowie beidseitig achsenparallel-tangentiale Kurven ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) – die Grundsteigung g beträgt jeweils 2, $2\frac{1}{2}$ und 3; auch gilt $\delta = 1/g$

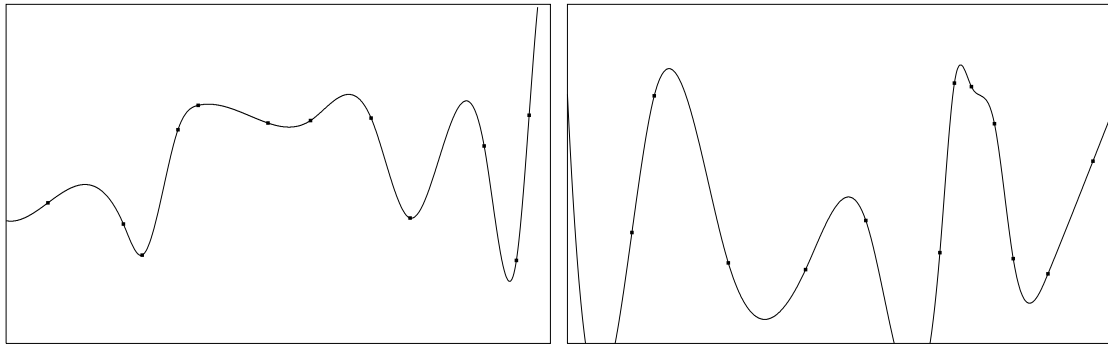


- f) Obige fj-Kurve (bei $g=2$) mit erster (i) und zweiter (ii) Ableitung und tangentialer Darstellung



...F03...

g) Zwei zufällige Punktfolgen verbindende Splines



F04 – Formeln zur Berechnung der Beschleunigung einer Folge von Schlägen anhand vom Anfangs- und Schlusstempo, der Gesamtzeit und der Anzahl der Schläge

$$s = S Q^{\frac{t}{T}}$$

wobei S = Anfangstempo

S' = Schlusstempo

$$Q = S'/S$$

T = Gesamtzeit

t = momentane Zeit

[d.h. Zeit beim Tempo S
bzw. beim Schlag n - s.u.]

s = Tempo zum Zeitpunkt t

n = Schlag zum Zeitpunkt t

N = Gesamtanzahl der Schläge

$\ln(x)$ = natürlicher Logarithmus von x
[s. Kapitel 4]

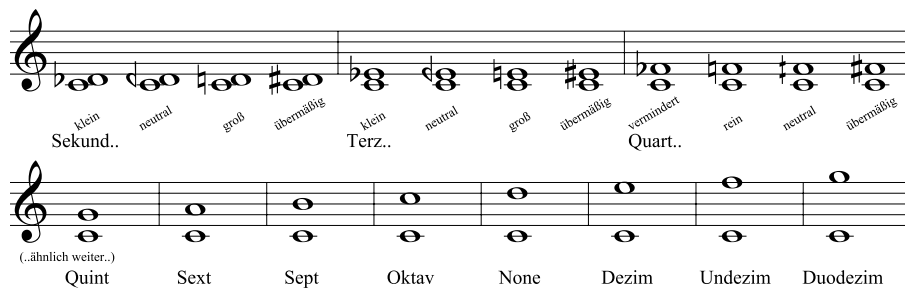
$$n = \frac{TS(Q^{\frac{t}{T}} - 1)}{\ln(Q)}$$

$$T = \frac{N \ln(Q)}{(S' - S)}$$

$$t = \frac{T \ln(s/S)}{\ln(Q)}$$

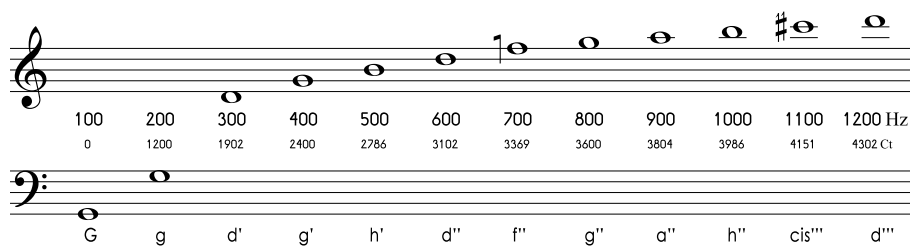
$$= \frac{T \ln((n \ln(Q)/TS) + 1)}{\ln(Q)}$$

Γ05 – Eine Auswahl gewöhnlich notierbarer Intervalle

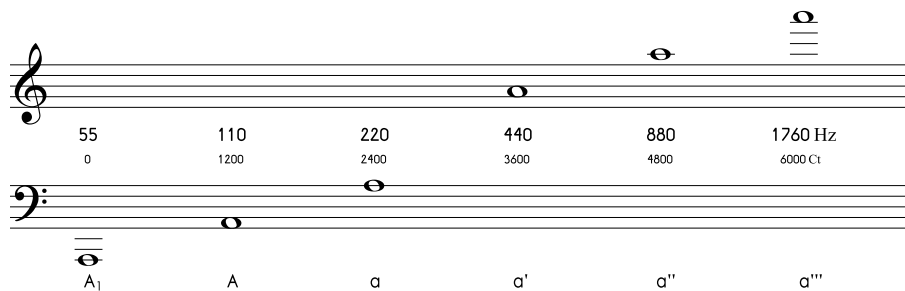


Γ06 – Beispiele von Frequenzfolgen in Hertz

a) Arithmetische Folge: z.B. die Obertonreihe (Notenangabe approximativ)



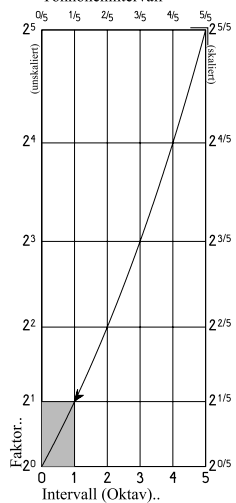
b) Geometrische Folge: z.B. Oktaven



Γ07 – Das Verhältnis zwischen geometrischem Faktor und arithmetischem Intervall

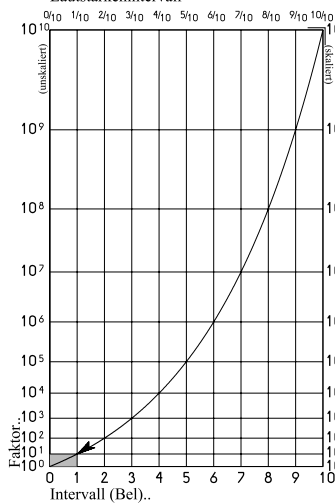
bei a) Tonhöhe,

Frequenzfaktor
Tonhöhenintervall



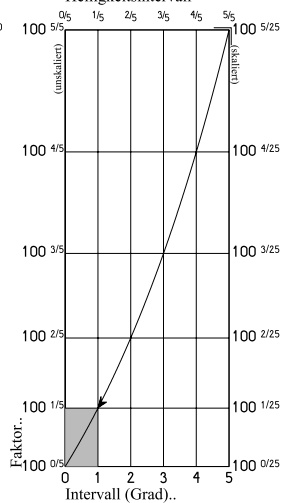
b) Lautstärke und

Schallintensitätsfaktor
Lautstärkenintervall



c) Sternhelligkeit

Helligkeitsfaktor
Helligkeitsintervall



T08 – Messwerte der Tonhöhe und Lautstärke

a) Noten, Frequenzen und MIDI-Details in 100 Ct-Stufen (Kammerton A=440 Hz)

Strichzahl bei deutschen Notennamen als Hochzahl geschrieben z.B. C⁵ hier als C⁵

MIDI-__Namen__													
Nr.	Okt.	engl.	dt.	Frequenz									
0	-2	C-1	C ₃	8,17580 Hz	50	2	D3	d	146,832 Hz	100	6	E7	e ⁴
1	-2	C#-1	Cis ₃	8,66196 Hz	51	2	Eb3	es	155,563 Hz	101	6	F7	f ⁴
2	-2	D-1	D ₃	9,17702 Hz	52	2	E3	e	164,814 Hz	102	6	F#7	fis ⁴
3	-2	Eb-1	Es ₃	9,72272 Hz	53	2	F3	f	174,614 Hz	103	6	G7	g ⁴
4	-2	E-1	E ₃	10,3009 Hz	54	2	F#3	fis	184,997 Hz	104	6	Ab7	as ⁴
5	-2	F-1	F ₃	10,9134 Hz	55	2	G3	g	195,998 Hz	105	6	A7	a ⁴
6	-2	F#-1	Fis ₃	11,5623 Hz	56	2	Ab3	as	207,652 Hz	106	6	Bb7	b ⁴
7	-2	G-1	G ₃	12,2499 Hz	57	2	A3	a	220,000 Hz	107	6	B7	h ⁴
8	-2	Ab-1	As ₃	12,9783 Hz	58	2	Bb3	b	233,082 Hz	108	7	C8	c ⁵
9	-2	A-1	A ₃	13,7500 Hz	59	2	B3	h	246,942 Hz	109	7	C#8	cis ⁵
10	-2	Bb-1	B ₃	14,5676 Hz	60	3	C4	c ¹	261,626 Hz	110	7	D8	d ⁵
11	-2	B-1	H ₃	15,4339 Hz	61	3	C#4	cis ¹	277,183 Hz	111	7	Eb8	es ⁵
12	-1	C0	C ₂	16,3516 Hz	62	3	D4	d ¹	293,665 Hz	112	7	E8	e ⁵
13	-1	C#0	Cis ₂	17,3239 Hz	63	3	Eb4	es ¹	311,127 Hz	113	7	F8	f ⁵
14	-1	D0	D ₂	18,3540 Hz	64	3	E4	e ¹	329,628 Hz	114	7	F#8	fis ⁵
15	-1	Eb0	Es ₂	19,4454 Hz	65	3	F4	f ¹	349,228 Hz	115	7	G8	g ⁵
16	-1	E0	E ₂	20,6017 Hz	66	3	F#4	fis ¹	369,994 Hz	116	7	Ab8	as ⁵
17	-1	F0	F ₂	21,8268 Hz	67	3	G4	g ¹	391,995 Hz	117	7	A8	a ⁵
18	-1	F#0	Fis ₂	23,1247 Hz	68	3	Ab4	as ¹	415,305 Hz	118	7	Bb8	b ⁵
19	-1	G0	G ₂	24,4997 Hz	69	3	A4	a ¹	440,000 Hz	119	7	B8	h ⁵
20	-1	Ab0	As ₂	25,9565 Hz	70	3	Bb4	b ¹	466,164 Hz	120	8	C9	c ⁶
21	-1	A0	A ₂	27,5000 Hz	71	3	B4	h ¹	493,883 Hz	121	8	C#9	cis ⁶
22	-1	Bb0	B ₂	29,1352 Hz	72	4	C5	c ²	523,251 Hz	122	8	D9	d ⁶
23	-1	B0	H ₂	30,8677 Hz	73	4	C#5	cis ²	554,365 Hz	123	8	Eb9	es ⁶
24	0	C1	C ₁	32,7032 Hz	74	4	D5	d ²	587,330 Hz	124	8	E9	e ⁶
25	0	C#1	Cis ₁	34,6478 Hz	75	4	Eb5	es ²	622,254 Hz	125	8	F9	f ⁶
26	0	D1	D ₁	36,7081 Hz	76	4	E5	e ²	659,255 Hz	126	8	F#9	fis ⁶
27	0	Eb1	Es ₁	38,8909 Hz	77	4	F5	f ²	698,456 Hz	127	8	G9	g ⁶
28	0	E1	E ₁	41,2034 Hz	78	4	F#5	fis ²	739,989 Hz	128	8	Ab9	as ⁶
29	0	F1	F ₁	43,6535 Hz	79	4	G5	g ²	783,991 Hz	129	8	A9	a ⁶
30	0	F#1	Fis ₁	46,2493 Hz	80	4	Ab5	as ²	830,609 Hz	130	8	Bb9	b ⁶
31	0	G1	G ₁	48,9994 Hz	81	4	A5	a ²	880,000 Hz	131	8	B9	h ⁶
32	0	Ab1	As ₁	51,9131 Hz	82	4	Bb5	b ²	932,328 Hz	132	9	C10	c ⁷
33	0	A1	A ₁	55,0000 Hz	83	4	B5	h ²	987,767 Hz	133	9	C#10	cis ⁷
34	0	Bb1	B ₁	58,2705 Hz	84	5	C6	c ³	1046,50 Hz	134	9	D10	d ⁷
35	0	B1	H ₁	61,7354 Hz	85	5	C#6	cis ³	1108,73 Hz	135	9	Eb10	es ⁷
36	1	C2	C	65,4064 Hz	86	5	D6	d ³	1174,66 Hz	136	9	E10	e ⁷
37	1	C#2	Cis	69,2957 Hz	87	5	Eb6	es ³	1244,51 Hz	137	9	F10	f ⁷
38	1	D2	D	73,4162 Hz	88	5	E6	e ³	1318,51 Hz	138	9	F#10	fis ⁷
39	1	Eb2	Es	77,7817 Hz	89	5	F6	f ³	1396,91 Hz	139	9	G10	g ⁷
40	1	E2	E	82,4069 Hz	90	5	F#6	fis ³	1479,98 Hz	140	9	Ab10	as ⁷
41	1	F2	F	87,3071 Hz	91	5	G6	g ³	1567,98 Hz	141	9	A10	a ⁷
42	1	F#2	Fis	92,4986 Hz	92	5	Ab6	as ³	1661,22 Hz	142	9	Bb10	b ⁷
43	1	G2	G	97,9989 Hz	93	5	A6	a ³	1760,00 Hz	143	9	B10	h ⁷
44	1	Ab2	As	103,826 Hz	94	5	Bb6	b ³	1864,66 Hz	144	10	C11	c ⁸
45	1	A2	A	110,000 Hz	95	5	B6	h ³	1975,53 Hz	145	10	C#11	cis ⁸
46	1	Bb2	B	116,541 Hz	96	6	C7	c ⁴	2093,00 Hz	146	10	D11	d ⁸
47	1	B2	H	123,471 Hz	97	6	C#7	cis ⁴	2217,46 Hz	147	10	Eb11	es ⁸
48	2	C3	c	130,813 Hz	98	6	D7	d ⁴	2349,32 Hz	148	10	E11	e ⁸
49	2	C#3	cis	138,591 Hz	99	6	Eb7	es ⁴	2489,02 Hz	149	10	F11	f ⁸

b) Korrelation Schallintensität→Schalldruck in 2 dB-Stufen

$p = 20\sqrt{i}$, wobei p Schalldruck und i Schallintensität sind; ** = Wachstum

Schallintensität	** dB(SPL)	Schalldruck	**	Schallintensität	** dB(SPL)	Schalldruck	**
10,000 fW/qm	$\times 10^{-2}$ -20	2,000 μ Pa	$\times 10^{-1}$	158,489 nW/qm	52	7,962 mPa	
15,849 fW/qm	-18	2,518 μ Pa		251,189 nW/qm	54	10,024 mPa	
25,119 fW/qm	-16	3,170 μ Pa		398,107 nW/qm	56	12,619 mPa	
39,811 fW/qm	-14	3,991 μ Pa		630,957 nW/qm	58	15,887 mPa	
63,096 fW/qm	-12	5,024 μ Pa		1,000 μ W/qm	$\times 10^6$ 60	20,000 mPa	$\times 10^3$
100,000 fW/qm	-10	6,325 μ Pa		1,585 μ W/qm	62	25,179 mPa	
158,489 fW/qm	-8	7,962 μ Pa		2,512 μ W/qm	64	31,698 mPa	
251,189 fW/qm	-6	10,024 μ Pa		3,981 μ W/qm	66	39,905 mPa	
398,107 fW/qm	-4	12,619 μ Pa		6,310 μ W/qm	68	50,238 mPa	
630,957 fW/qm	-2	15,887 μ Pa		10,000 μ W/qm	70	63,246 mPa	
1,000 pW/qm	$\times 10^0$ 0	20,000 μ Pa	$\times 10^0$	15,849 μ W/qm	72	79,621 mPa	
1,585 pW/qm	2	25,179 μ Pa		25,119 μ W/qm	74	100,237 mPa	
2,512 pW/qm	4	31,698 μ Pa		39,811 μ W/qm	76	126,191 mPa	
3,981 pW/qm	6	39,905 μ Pa		63,096 μ W/qm	78	158,866 mPa	
6,310 pW/qm	8	50,238 μ Pa		100,000 μ W/qm	$\times 10^8$ 80	200,000 mPa	$\times 10^4$
10,000 pW/qm	10	63,246 μ Pa		158,489 μ W/qm	82	251,785 mPa	
15,849 pW/qm	12	79,621 μ Pa		251,189 μ W/qm	84	316,979 mPa	
25,119 pW/qm	14	100,237 μ Pa		398,107 μ W/qm	86	399,052 mPa	
39,811 pW/qm	16	126,191 μ Pa		630,957 μ W/qm	88	502,377 mPa	
63,096 pW/qm	18	158,866 μ Pa		1,000 mW/qm	90	632,456 mPa	
100,000 pW/qm	$\times 10^2$ 20	200,000 μ Pa	$\times 10^1$	1,585 mW/qm	92	796,214 mPa	
158,489 pW/qm	22	251,785 μ Pa		2,512 mW/qm	94	1,002 Pa	
251,189 pW/qm	24	316,979 μ Pa		3,981 mW/qm	96	1,262 Pa	
398,107 pW/qm	26	399,052 μ Pa		6,310 mW/qm	98	1,589 Pa	
630,957 pW/qm	28	502,377 μ Pa		10,000 mW/qm	$\times 10^{10}$ 100	2,000 Pa	$\times 10^5$
1,000 nW/qm	30	632,456 μ Pa		15,849 mW/qm	102	2,518 Pa	
1,585 nW/qm	32	796,214 μ Pa		25,119 mW/qm	104	3,170 Pa	
2,512 nW/qm	34	1,002 mPa		39,811 mW/qm	106	3,991 Pa	
3,981 nW/qm	36	1,262 mPa		63,096 mW/qm	108	5,024 Pa	
6,310 nW/qm	38	1,589 mPa		100,000 mW/qm	110	6,325 Pa	
10,000 nW/qm	$\times 10^4$ 40	2,000 mPa	$\times 10^2$	158,489 mW/qm	112	7,962 Pa	
15,849 nW/qm	42	2,518 mPa		251,189 mW/qm	114	10,024 Pa	
25,119 nW/qm	44	3,170 mPa		398,107 mW/qm	116	12,619 Pa	
39,811 nW/qm	46	3,991 mPa		630,957 mW/qm	118	15,887 Pa	
63,096 nW/qm	48	5,024 mPa		1,000 W/qm	$\times 10^{12}$ 120	20,000 Pa	$\times 10^6$
100,000 nW/qm	50	6,325 mPa		1,585 W/qm	122	25,179 Pa	

Einheiten:

M = Meter (Länge) ; kg = Kilogramm (Masse)

s = Sekunde (Zeit)

qm = Quadratmeter (Fläche) = M^2

N = Newton (Kraft) = $kg.M.s^{-2}$

Pa = Pascal (Druck) = $N/qm = kg.M^{-1}.s^{-2}$

b = Bar (Druck) = 100000 Pa

J = Joule (Arbeit) = $N.M = kg.M^2.s^{-2}$

W = Watt (Leistung) = $J/s = N.M/s = kg.M^2.s^{-3}$

Potenzen (wieviel)

Zehn-

Hundert-

Tausend-

Million-

Milliard-

Billion-

Billiard-

Trillion-

Trilliard-

Quadrillion-

-stel

d=dezi-

c=centi-

m=milli-

μ = mikro-

n= nano-

p= piko-

f=femto-

a=atto-

z=zepto-

y=yokto-

-fach

da=Deka-

h=Hekto-

k=Kilo-

M=Mega-

G=Giga-

T=Tera-

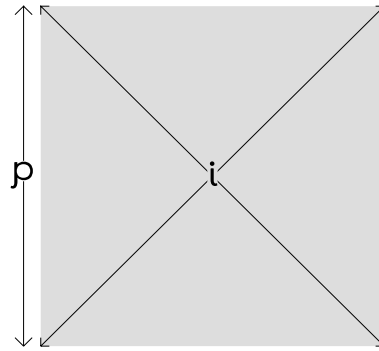
P=Peta-

E=Exa-

Z=Zetta-

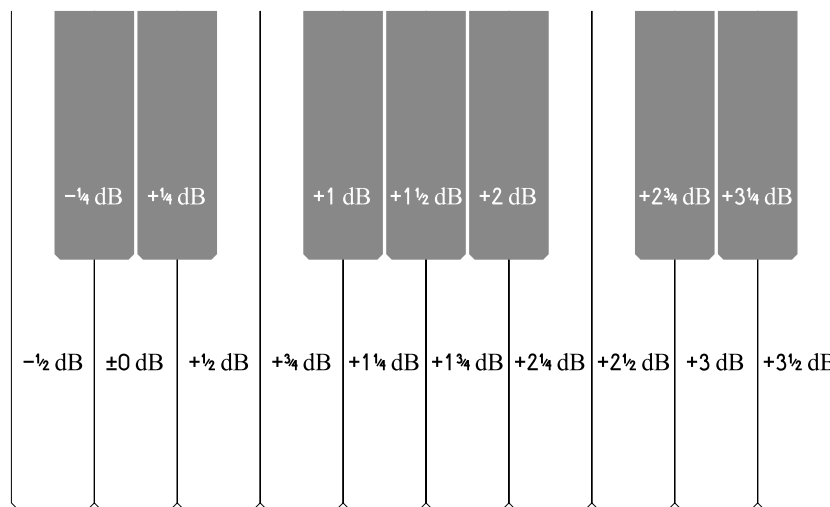
Y=Yotta

Γ09 – Zur Proportionalität vom Schalldruckquadrat (p^2) zur Schallintensität (i)

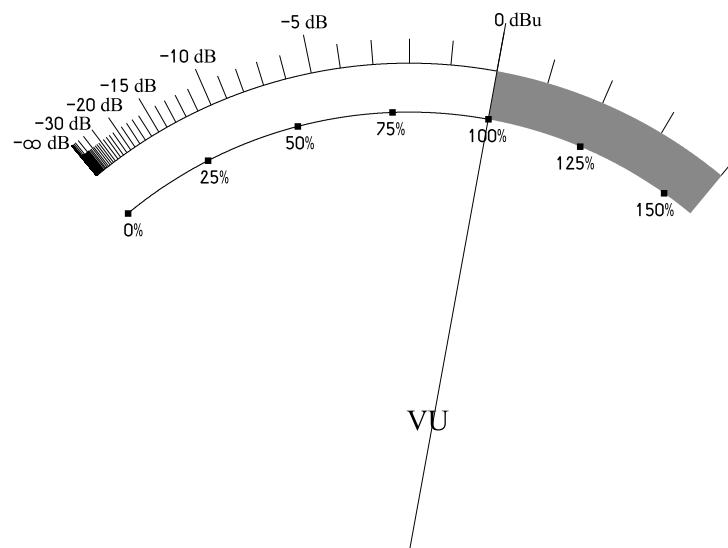


Γ10 – Das Dezibel: Anwendungen und Überlegungen

a) Schallintensität im Vergleich zu Tonhöhenintervallen

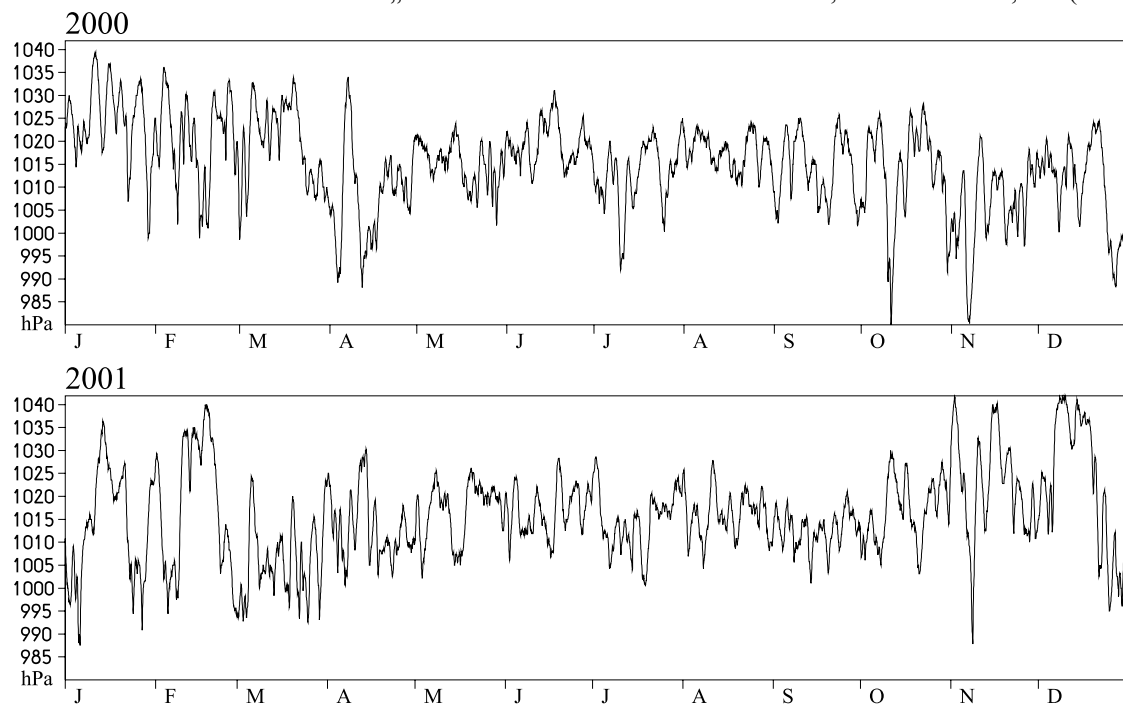


b) Ein VU-Meter, in % und in dBu kalibriert

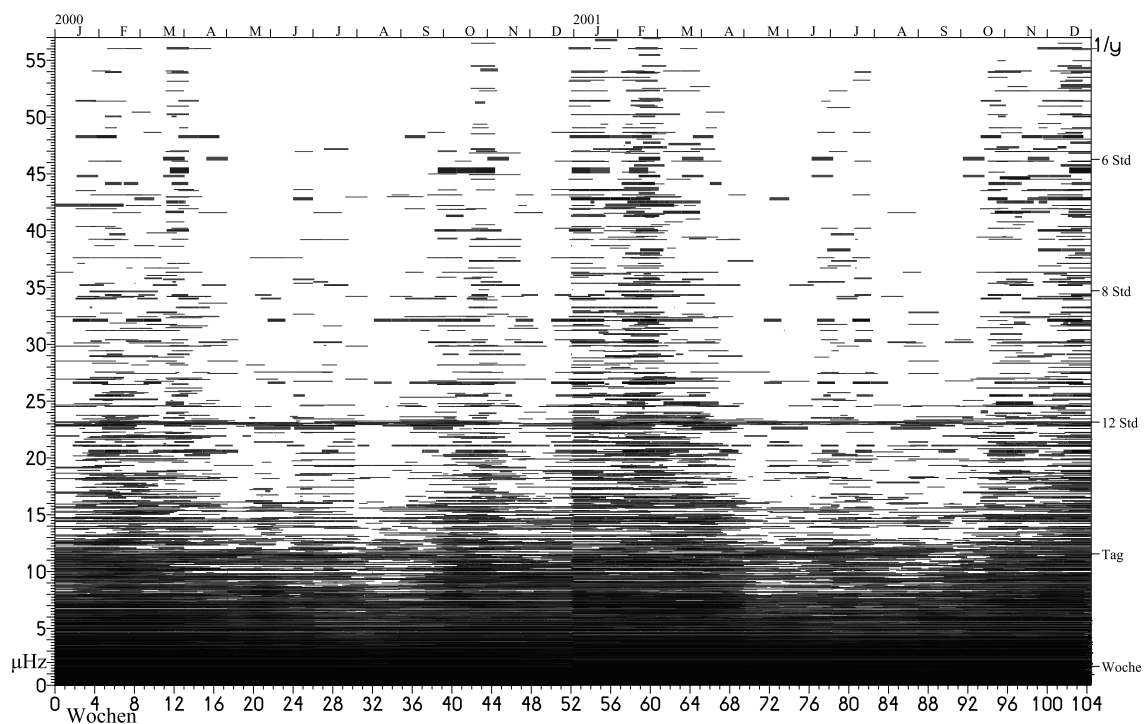


...r10...

c) Der am Flughafen Köln-Bonn während 2000 und 2001 gemessene Luftdruck:
eine „Infraschallwelle“ von durchschnittlich 9,48 hPa oder 173,5 dB(SPL)



d) Spektrale Darstellung der in r08c gezeigten „Infraschallwelle“ in μHz gegenüber Wochen



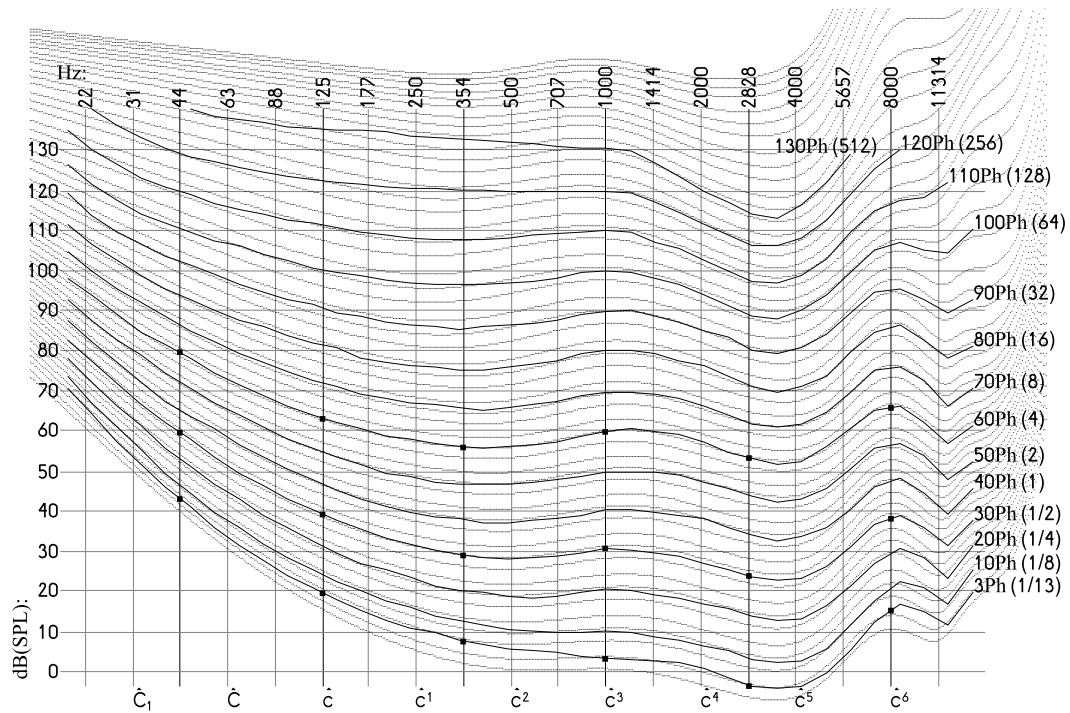
T11 – Beispiele von Lautstärke in dB(SPL)

dB(SPL)

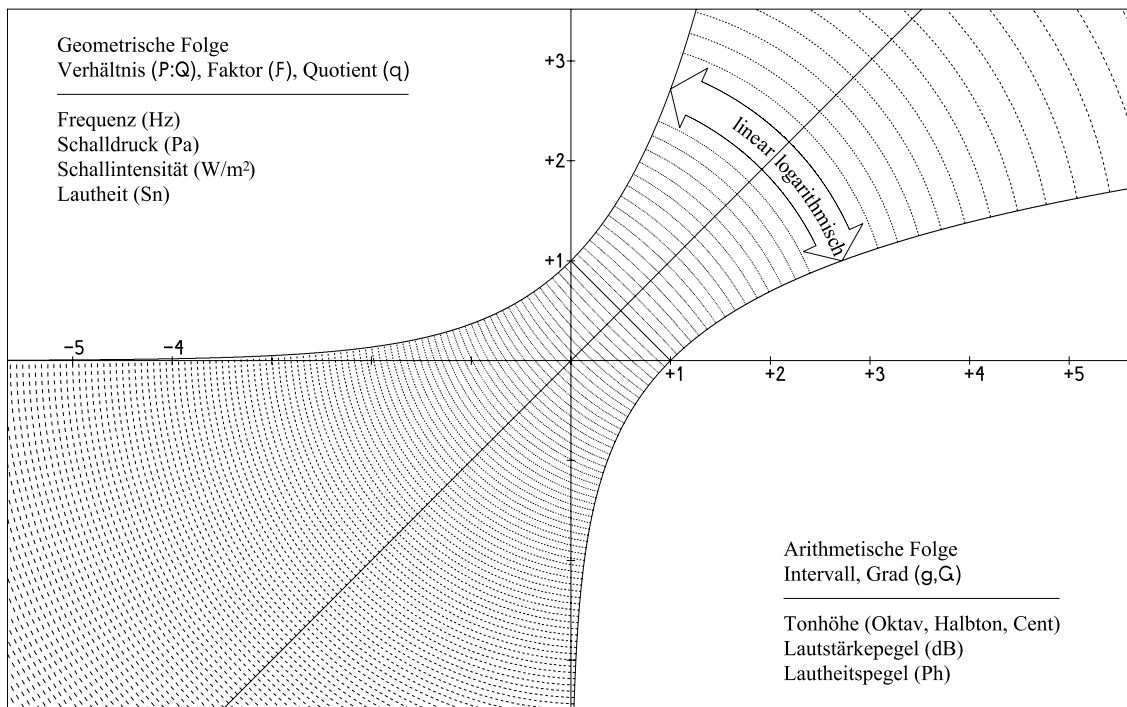
- 0 „praktisch unhörbar“, bis 10: Stecknadelfallen
- 10 „fast unhörbar“, Schneefall, bis 15: Rascheln, bis 20: Aufnahmestudio, bis 30: Blätterrauschen
- 20 bis 40: „sehr leise“, „ruhig“ (nicht mehr in Städten), leichter Wind, Uhrticken, Schlafzimmer
- 30 ruhiger Garten, bis 35: sehr ruhiges Zimmer, Flüstern, 35: vielerorts verordnete Obergrenze für reine Wohngebiete und Krankenhäuser (nachts), bis 40: Hintergrundschall
- 40 bis 60: „leise“, Aufweckreaktionen, bis 50: Normale Unterhaltung, leise Radiomusik, Kühlschrank, Wohngebiet ohne Verkehr (nachts), Bibliothek
- 50 ruhiger Fluss, Wohngebiet ohne Verkehr (tagsüber), PKW im Leerlauf, Fotokopierer, 50: vielerorts verordnete Obergrenze für reine Wohngebiete (tagsüber außerhalb der Ruhezeiten) sowie Gewerbegebiete (nachts), bis 55: „gesundheits-gefährdende Schlafstörungen“ sowie „Kommunikationsstörungen“, 55: EU-Richtlinie „Kreative Arbeit“, bis 60: lautes Sprechen, TV in Zimmerlautstärke, bis 65: Bürogeräusche
- 60 bis 80: „laut“, „unangenehm, physiologische Stressreaktionen“, Staubsauger [1m], Personenauto [10m], bis 70: Unterhaltungssprache [1m], bis 70: Schreibmaschine, bis 80: Rasenmäher [7m]
- 70 „belastend“, lautes TV-Gerät, Hauptverkehrsstraße, Straßenbahn [geringe Entfernung], 70: EU-Richtlinie „Routine Arbeit“, vielerorts verordnete Obergrenze für Industriegebiete, bis 75: Werkshalle, bis 80: PKW in Stadt, bis 100: Motorrad
- 80 bis 110: „sehr laut“, lautes Rufen, laute Radiomusik, Staubsauger [7m], Montageband, PKW auf der Autobahn [10m], 80: vielerorts verordnete Obergrenze für Arbeitsplätze, bis 85: Eisenbahn (mittelschnell), bis 90: LKW in der Stadt [5m]
- 90 Schnellstzug [25m], laute Werkshalle, Kompressor, PKW [10m], Türen zuschlagen, 93: EU-Richtlinie „Live Veranstaltungen“, bis 95: Winkelschleifmaschine, bis 95: lauter Walkman, bis 100: Tanzfläche, bis 105: Presslufthammer [7m]
- 100 „Sprache unmöglich“, Kreissäge [7m], Elektrische Schlagbohrmaschine, bis 105: Strahlarbeiten, bis 110: Autohupe [5m], bis 110: laute Discothek
- 110 bis 140: „unerträglich“, Kesselschmiede, Fräsmaschinen, bis 115: Fluglärm, bis 130: Presslufthammer [1m]
- 120 Beginn der Gehörschädigung, Donner, Verkehrsflugzeug [100m], bis 130: Turbinenprobelauf
- 130 Schmerzgrenze, bis 135: Düsenflugzeug im Tiefflug [100m]
- 140 Startender Düsenjäger
- 150 (bis ...) Explosion
- 160 Bolzensetzwerkzeug

Γ12 – Objektiv und subjektiv, linear und logarithmisch

- a) Isophon-Kurven gleicher (subjektiver) Lautheit (n. Fletcher, Munson u. a.), hier spekulativ inter- und extrapoliert; 44, 125, 354, 1000, 2828 und 8000 Hz zur Veranschaulichung markiert.



- b) Die Symmetrie des Linearen und des Logarithmischen



113 – Netzwerke von Quinten und Terzen; Intervallherleitung

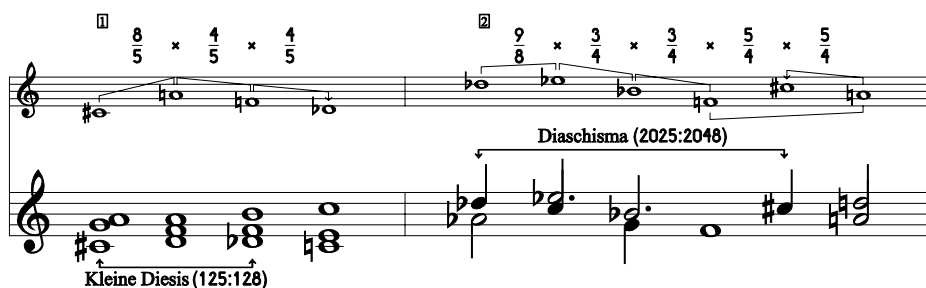
a) Zwei Varianten von C-Dur, pythagoreisch (graugefüllt) und terzbezogen (dunkelgrau umrahmt)

D	A	E	H	Fis	Cis	Gis	Dis	Ais	Eis	His	Fisis	Cisis
B	F	C	G	D	A	E	H	Fis	Cis	Gis	Dis	Ais
Ges	Des	As	Es	B	F	C	G	D	A	E	H	Fis
Eses	Heses	Fes	Ces	Ges	Des	As	Es	B	F	C	G	D
Ceses	Geses	Deses	Ases	Eses	Heses	Fes	Ces	Ges	Des	As	Es	B

b) Die chromatische Tonleiter (graugefüllt) und das Srti-System (dunkelgrau umrahmt)

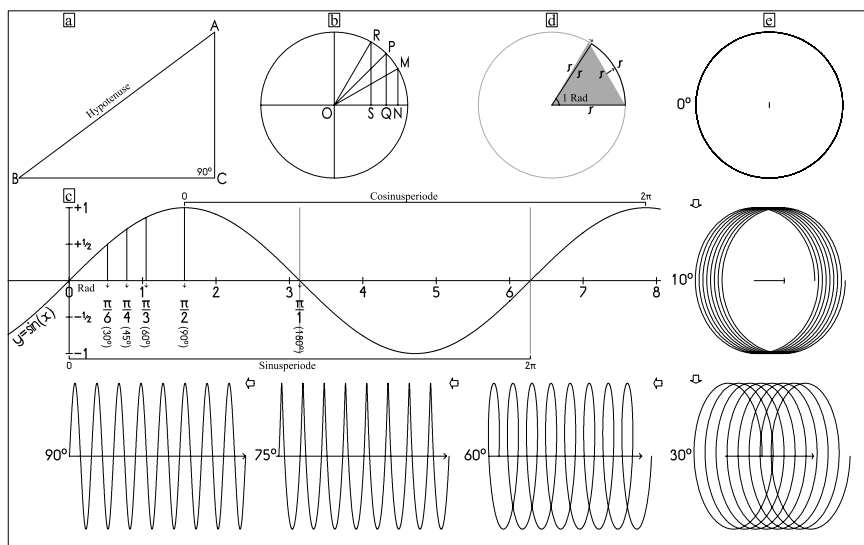
D	A	E	H	Fis	Cis	Gis	Dis	Ais	Eis	His	Fisis	Cisis
B	F	C	G	D	A	E	H	Fis	Cis	Gis	Dis	Ais
Ges	Des	As	Es	B	F	C	G	D	A	E	H	Fis
Eses	Heses	Fes	Ces	Ges	Des	As	Es	B	F	C	G	D
Ceses	Geses	Deses	Ases	Eses	Heses	Fes	Ces	Ges	Des	As	Es	B

c) Die kleine Diesis und das Diaschisma enthaltende Modulationen



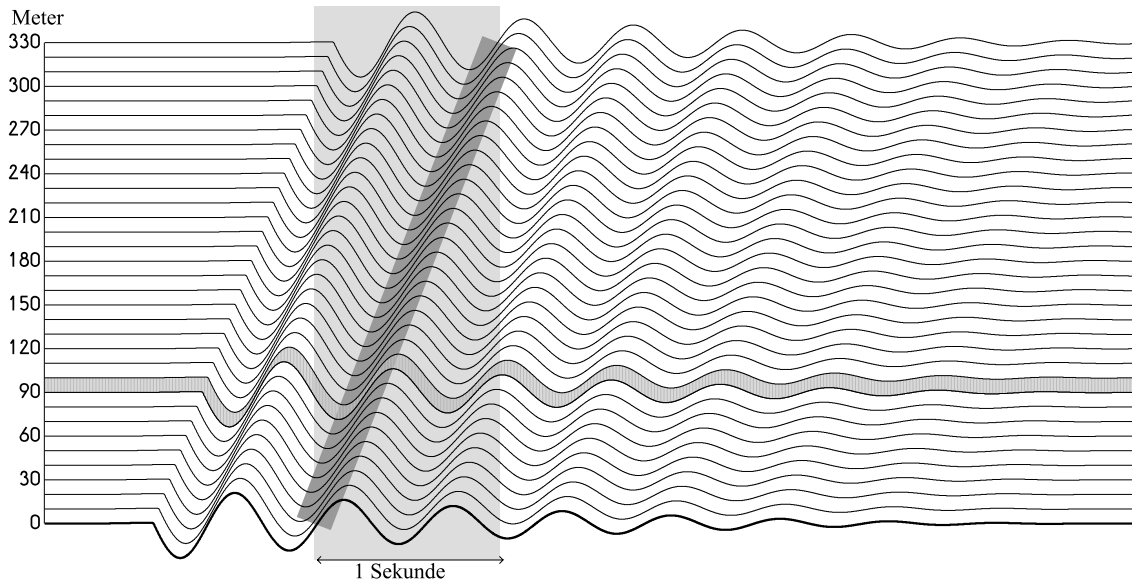
114 – Herleitung trigonometrischer Funktionen vom Dreieck

- Ein rechtwinkliges Dreieck ABC
- Der Sinus am Beispiel eines durch die drei Winkel 30° , 45° , 60° rotierenden Kreisdurchmesser
- Die Sinuswerte der obigen Winkel durchlaufende Sinuskurve; Cosinusperiode zum Vergleich
- Das Herausziehen einer Seite eines gleichschenkligen Dreiecks (grau) erzeugt einen Radian
- Die Verwandlung einer sich drehenden Spirale vom Kreis zur Sinuskurve

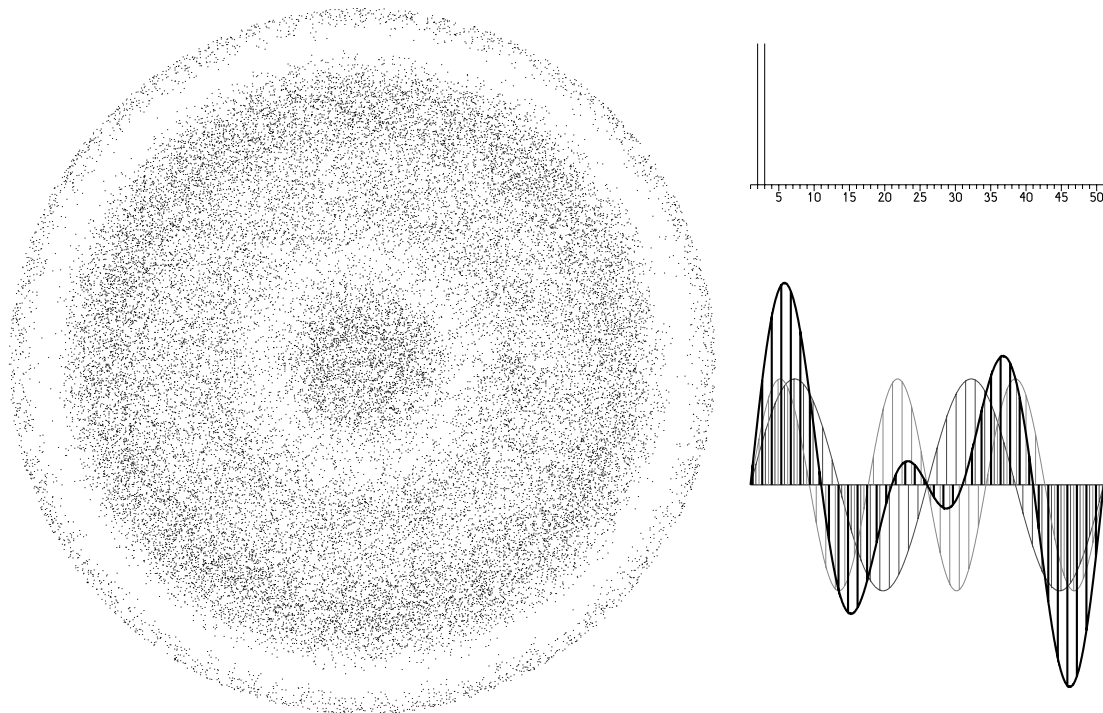


Γ15 – Schallwellen und Spektrum

- a) Die Erzeugung einer Schallwelle – ein schwingendes Teilchen (fette Linie unten) gibt seine Bewegung an Luftmoleküle weiter (dünne Linien): eine Hochdruckzone (dunkelgraue Diagonale) bewegt sich 330 Meter in 1 Sekunde (hellgraues Rechteck); der mittelgraue Streifen stellt die zeitliche Veränderung des Molekularabstands dar.

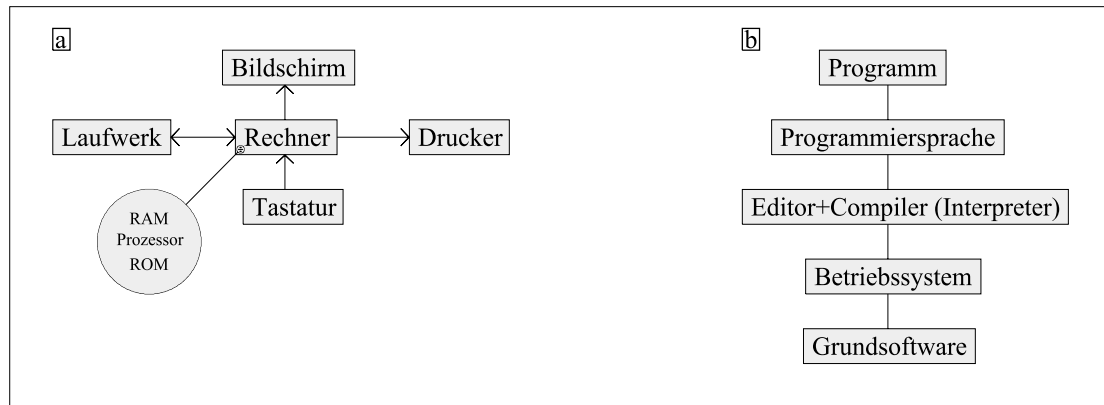


- b) Die Zusammensetzung von Schallwellen im Frequenzverhältnis 2:3 (unten rechts: Komponenten grau, Summenkurve schwarz), (oben rechts:) das entsprechende Spektrum, (links:) ein „Molekularschnappschuss“ derselben Summenkurve



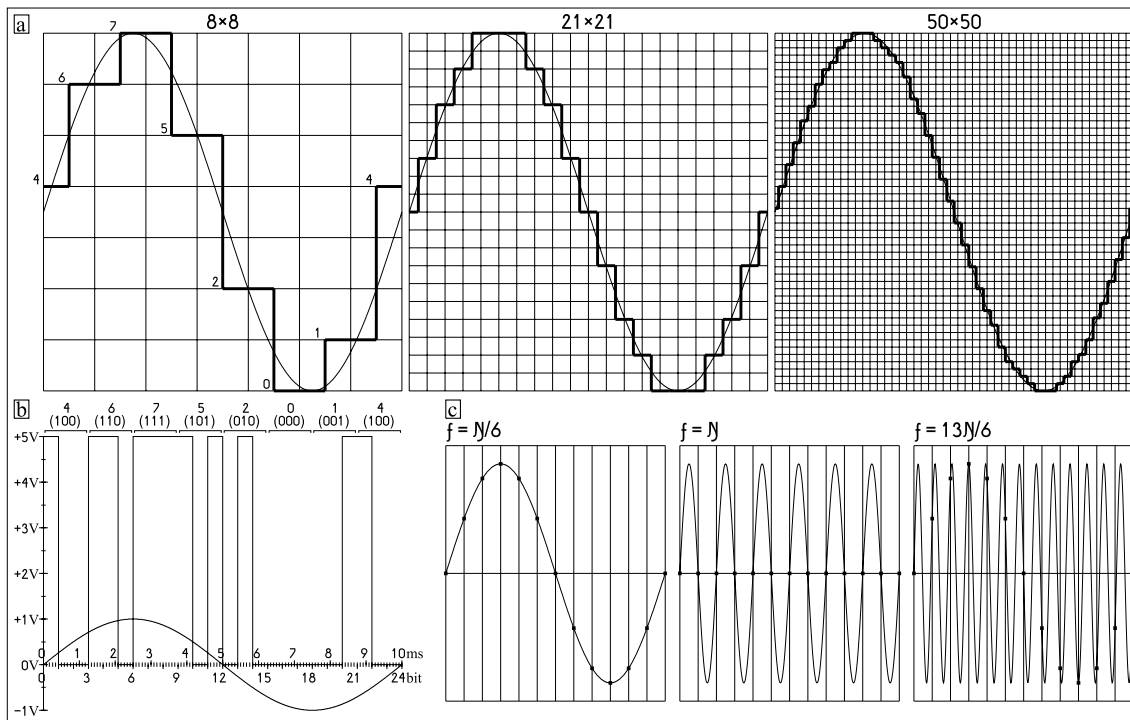
116 – Hardware und Software

- a) Hardware: Die maschinelle Umgebung des Rechners
- b) Software: Ebenen der Arbeit mit dem Computer



117 – Digitalisierte Schallwellen

- a) Schrittweise verbesserte digitalisierung einer Sinuskurve
- b) Digitale Darstellung von „a“ verglichen mit einer analogen 100 Hz-Sinuskurve
- c) Sampling- und Aliasing-Beispiele bei drei auf das Nyquist-Limit (N) bezogene Frequenzen



T18 – ASCII-Code

Standard				Spezial*(Ausschnitt)			
20 _h =032 _d	<leer>	40 _h =064 _d	@	60 _h =096 _d	`	80 _h =128 _d	Ç
21 _h =033 _d	!	41 _h =065 _d	A	61 _h =097 _d	a	81 _h =129 _d	ù
22 _h =034 _d	"	42 _h =066 _d	B	62 _h =098 _d	b	82 _h =130 _d	é
23 _h =035 _d	#	43 _h =067 _d	C	63 _h =099 _d	c	83 _h =131 _d	â
24 _h =036 _d	\$	44 _h =068 _d	D	64 _h =100 _d	d	84 _h =132 _d	ä
25 _h =037 _d	%	45 _h =069 _d	E	65 _h =101 _d	e	85 _h =133 _d	à
26 _h =038 _d	&	46 _h =070 _d	F	66 _h =102 _d	f	86 _h =134 _d	å
27 _h =039 _d	'	47 _h =071 _d	G	67 _h =103 _d	g	87 _h =135 _d	ç
28 _h =040 _d	(	48 _h =072 _d	H	68 _h =104 _d	h	88 _h =136 _d	ê
29 _h =041 _d	)	49 _h =073 _d	I	69 _h =105 _d	i	89 _h =137 _d	ë
2A _h =042 _d	*	4A _h =074 _d	J	6A _h =106 _d	j	8A _h =138 _d	è
2B _h =043 _d	+	4B _h =075 _d	K	6B _h =107 _d	k	8B _h =139 _d	ï
2C _h =044 _d	,	4C _h =076 _d	L	6C _h =108 _d	l	8C _h =140 _d	î
2D _h =045 _d	-	4D _h =077 _d	M	6D _h =109 _d	m	8D _h =141 _d	ì
2E _h =046 _d	.	4E _h =078 _d	N	6E _h =110 _d	n	8E _h =142 _d	Ä
2F _h =047 _d	/	4F _h =079 _d	O	6F _h =111 _d	o	8F _h =143 _d	Å
30 _h =048 _d	0	50 _h =080 _d	P	70 _h =112 _d	p	90 _h =144 _d	É
31 _h =049 _d	1	51 _h =081 _d	Q	71 _h =113 _d	q	91 _h =145 _d	æ
32 _h =050 _d	2	52 _h =082 _d	R	72 _h =114 _d	r	92 _h =146 _d	Æ
33 _h =051 _d	3	53 _h =083 _d	S	73 _h =115 _d	s	93 _h =147 _d	ô
34 _h =052 _d	4	54 _h =084 _d	T	74 _h =116 _d	t	94 _h =148 _d	ö
35 _h =053 _d	5	55 _h =085 _d	U	75 _h =117 _d	u	95 _h =149 _d	ò
36 _h =054 _d	6	56 _h =086 _d	V	76 _h =118 _d	v	96 _h =150 _d	û
37 _h =055 _d	7	57 _h =087 _d	W	77 _h =119 _d	w	97 _h =151 _d	ù
38 _h =056 _d	8	58 _h =088 _d	X	78 _h =120 _d	x	98 _h =152 _d	ÿ
39 _h =057 _d	9	59 _h =089 _d	Y	79 _h =121 _d	y	99 _h =153 _d	Ö
3A _h =058 _d	:	5A _h =090 _d	Z	7A _h =122 _d	z	9A _h =154 _d	U
3B _h =059 _d	;	5B _h =091 _d	[	7B _h =123 _d	{	9B _h =155 _d	ø
3C _h =060 _d	<	5C _h =092 _d	\	7C _h =124 _d	|	9C _h =156 _d	£
3D _h =061 _d	=	5D _h =093 _d	]	7D _h =125 _d	}	9D _h =157 _d	Ø
3E _h =062 _d	>	5E _h =094 _d	^	7E _h =126 _d	~	9E _h =158 _d	×
3F _h =063 _d	?	5F _h =095 _d	_	7F _h =127 _d	<entf>	9F _h =159 _d	f

...usw...

* einem gängigen Computer-Betriebssystem entnommen

L19 – Programmierung der Fibonacci-Reihe in einer Anzahl von Sprachen

a) Spracheigene Grundstruktur

1) Basic	2) Fortran	3) Pascal	4) C
a=1 : b=1 print a,b for i=3 to 10 do c=a+b print c a=b : b=c next i	a=1 \$ b=1 print a, ' ',b, ' ' do 111 i=3,10 c=a+b print c, ' ' a=b \$ b=c 111 continue	a:=1; b:=1; write(a, ' ',b, ' '); for i:=3 to 10 do begin c:=a+b; write(c, ' '); a:=b; b:=c; end;	a=1; b=1; printf("%d %d", a, b); for (i=3; i<=10; i++) { c = a+b; printf(" %d", c); a=b; b=c; }

b) Vergleich und Beschreibung der einzelnen Anweisungen

Sprache	Erstzuweisungen	Schreibenanweisung	Schleifenbeginn mit Zähler i (zählt von 3 bis 10)
Basic:	a=1 b=1	print a,b	for i=3 to 10 do
Fortran:	a=1 b=1	print a, ' ',b, ' '	do 111 i=3,10
Pascal:	a:=1; b:=1;	write(a, ' ',b, ' ');	for i:=3 to 10 do
C:	a=1; b=1;	printf("%d %d", a, b);	for (i=3; i<=10; i++)

Sprache	Blockanfang	Zuweisung	Schreibenanweisung	Zuweisungen	Block-/Schleifenende
Basic:		c=a+b	print c	a=b b=c	next i
Fortran:		c=a+b	print c, ' '	a=b b=c	111 continue
Pascal:	begin	c:=a+b;	write(c, ' ');	a:=b;b:=c;	end;
C:	{	c=a+b;	printf(" %d", c);	a=b; b=c;	}

L20 – Ein C-Programm

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
/* Umrechnung von Zahlenverhältnissen in Cent & Dezibel */
int main ()
{
  int p, q; float nLog2, nLog10, nLog_Quotient, ct, db;
  nLog2 = log(2); nLog10 = log(10); p = 1;
  printf("Gib P:Q ein.. (ganzzahlig>0; ");
  printf("Programmausstieg durch ungueltige Eingabe)\n");
  while (p > 0)
  {
    printf("P: "); p = 0; scanf("%d", &p);
    if (p > 0)
    {
      printf("Q: "); scanf("%d", &q);
      nLog_Quotient = log(1.0 * q / p);
      ct = 1200 * nLog_Quotient / nLog2;
      db = 20 * nLog_Quotient / nLog10;
      printf("-----Das Verhaeltnis %d:%d entspricht ",p,q);
      printf("%9.3f Ct oder %6.3f dB\nGib P:Q ein..\n",ct,db);
    }
  }
  printf("Programm beendet.\n"); return 0;
}
```

Beispiel des Bildschirminhalts (Tastatureingabe fett geschrieben):

```
Gib P:Q ein..(ganzzahlig>0; Programmausstieg durch ungueltige Eingabe)
P: 1
Q: 2
-----Das Verhaeltnis 1:2 entspricht 1200.000 Ct oder 6.021 dB
Gib P:Q ein..
P: 3
Q: 2
-----Das Verhaeltnis 3:2 entspricht -701.955 Ct oder -3.522 dB
Gib P:Q ein..
P: x
Programm beendet.
```

L21 – Funktionen in C

```
/* Die Zahlen 0 bis 255 von dezimal in binär, oktal, hexadezimal */

#include <stdio.h>

const int Endzahl = 255;

char Hexzeichen(int num)
{ char c;
  if (num<10) c = num + 48; else c = num + 55;
  return c;
}

void verwandle (int Basis, int Zahl, char *Code)
{ int i, Potenz, Puffer, Rest, Teiler;

  Potenz = 1; Puffer = Endzahl;
  while (Puffer>0)
  { Potenz *= Basis;
    Puffer /= Basis;
  }

  Rest = Zahl; Teiler = Potenz / Basis; i = 0;
  while (Teiler>0)
  { Puffer = Rest / Teiler;
    Code[i] = Hexzeichen(Puffer);
    Rest %= Teiler;
    Teiler /= Basis;
    i++;
  } ;

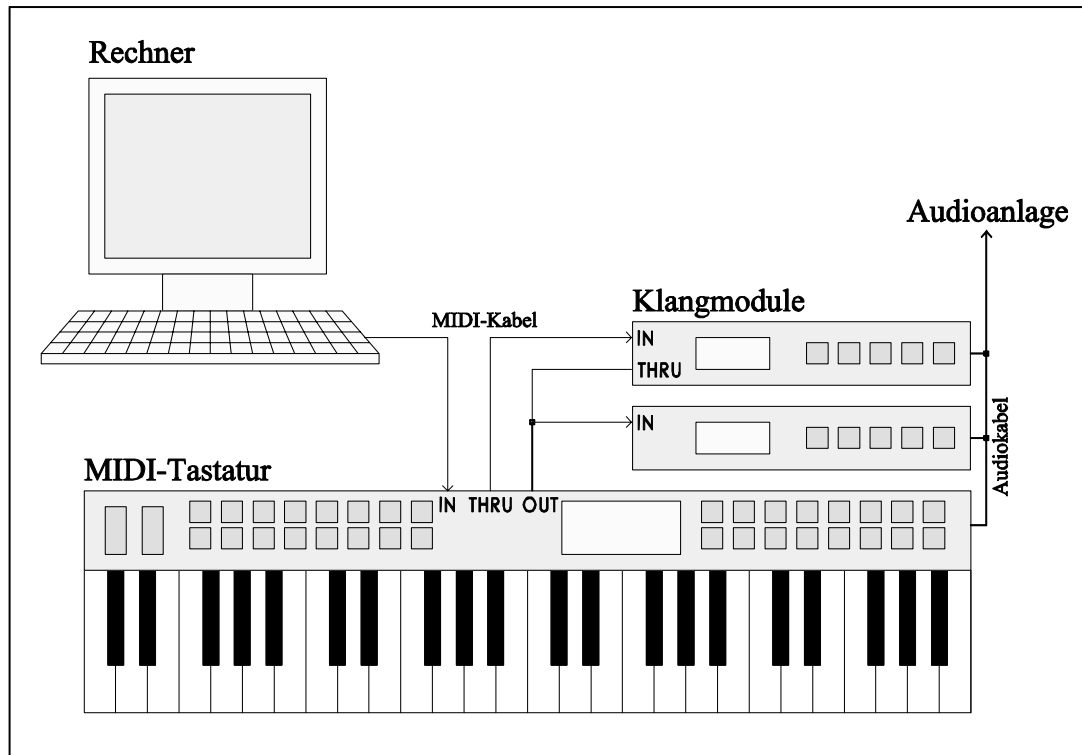
  Code[i] = '\\0';
}
/*-----Hauptteil-----*/
int main ()
{ int Zaehler;
  char Ziffern[8];
  FILE *Datei;
  Datei = fopen("Zahlensysteme.txt", "w");

  for (Zaehler=0; Zaehler<=Endzahl; Zaehler++)
  { fprintf(Datei, "%3dd = ", Zaehler);
    verwandle( 2,Zaehler,Ziffern); fprintf(Datei, "%sb = ", Ziffern);
    verwandle( 8,Zaehler,Ziffern); fprintf(Datei, "%so = ", Ziffern);
    verwandle(16,Zaehler,Ziffern); fprintf(Datei, "%sh\\n", Ziffern);
  }

  fclose(Datei); printf("%s fertig","Zahlensysteme.txt");

  return 0;
}
```

T22 – Ein möglicher Verbund MIDIfähiger Geräte



T23 – MIDI-Code

Status-Bytes	Daten-Bytes	Art des Befehls
1000nnnn _b (=8m _h)	Tonhöhennummer [0-127 _d], Anschlagswert [0-127 _d]	Note Aus
1001nnnn _b (=9m _h)	Tonhöhennummer [0-127 _d], Anschlagswert [0=aus, sonst 1-127 _d]	Note Ein
1010nnnn _b (=A m _h)	Tonhöhennummer [0-127 _d], Anschlagswert [0-127 _d]	Tastendruck
1011nnnn _b (=B m _h)	Kontrollnummer [0-121 _d : z.B. 7=Volume,...], Steuerwert [0-127 _d]	Steueränderung
1100nnnn _b (=C m _h)	Programmnummer [0-127 _d] (nur 1 Datenbyte!)	Programmwechsel
1101nnnn _b (=D m _h)	Druckwert [0-127 _d] (nur 1 Datenbyte!)	Kanaldruck
1110nnnn _b (=E m _h)	Unterbyte [0-127 _d], Oberbyte [0-127 _d]	Tonhöhenrad
1111nnnn _b (=F m _h)	herstelleraabhängig	System-Mitteilung

Beim letzten Code Fm_h ist der Anteil [nnn_b] bzw. [m_h] mitteilungsspezifisch,
(z.B. [000_b] bzw. [0_h] = ‚System Exklusiv‘),
sonst [nnn_b] bzw. [m_h] : Midikanalnummer [0-15]

L24 – Programmierung von MIDI in C (aus Schumanns *Fröhlicher Landmann*)

a) Umständlichere Lösung

```
#include <stdio.h>
#include <time.h>
/*-----"MIDI-Bibliothek"-----*/
int Kanalnr;
void sende(int value) { printf("%d ", value); }
void waehle_Kanal(int value) { Kanalnr = value - 1; }
void spiele(int Tonhoehe, int Anschlag)
{ sende(0x90 + Kanalnr); sende(Tonhoehe); sende(Anschlag); }
void daempfe(int Tonhoehe)
{ sende(0x80 + Kanalnr); sende(Tonhoehe); sende(0); }
void warte(float Sekunden)
{ float Uhrticks, Start;
  Uhrticks = Sekunden * CLOCKS_PER_SEC; Start = clock();
  while (clock() - Start < Uhrticks); printf("(%5.3f\\")\\n", Sekunden);
}
/* -----M A I N-----*/
int main ()
{ waehle_Kanal(1); /* Kanal 1 wählen */
  spiele(48,64); /* \c; [\]='drücken'*/
  warte(0.25); /* 0.25 Sek warten */
  daempfe(48); /* /c; [/]='loslassen'*/
  spiele(53,64); /* \f */
  warte(0.25); /* 0.25 Sek warten */
  waehle_Kanal(2); /* Kanal 2 wählen */
  spiele(60,64); spiele(65,64); spiele(69,64); /* \c'\f'\a' */
  warte(0.25); /* 0.25 Sek warten */
  daempfe(60); daempfe(65); daempfe(69); /* /c'/f'/a' */
  spiele(60,64); spiele(65,64); spiele(69,64); /* \c'\f'\a' */
  warte(0.25); /* 0.25 Sek warten */
  daempfe(60); daempfe(65); daempfe(69); /* /c'/f'/a' */
  waehle_Kanal(1); /* Kanal 1 wählen */
  daempfe(53); /* /f */
  spiele(57,64); /* \a */
  warte(0.25); /* 0.25 Sek warten */
  daempfe(57); /* /a */
  spiele(60,64); /* \c' */
  warte(0.5); /* 0.5 Sek warten */
  daempfe(60); /* /c' */
}
```

Bildschirm:

```
144 48 64 (0.250")
128 48 0 144 53 64 (0.250")
145 60 64 145 65 64 145 69 64 (0.250")
129 60 0 129 65 0 129 69 0 145 60 64 145 65 64 145 69 64 (0.250")
129 60 0 129 65 0 129 69 0 128 53 0 144 57 64 (0.250")
128 57 0 144 60 64 (0.500")
128 60 0
```

b) Weniger umständliche Lösung

```
#include <stdio.h>
#include <time.h>
#define DATEINAME "FROEHLICHER_LANDMANN.TXT"
#define schreibe printf
/*-----"MIDI-Bibliothek"-----*/
int Kanalnr;
void sende(int Wert) { schreibe("%d ", Wert); }
void waehle_Kanal(int Wert) { Kanalnr = Wert - 1; }
void spiele(int Tonhoehe, int Anschlag)
{ sende(0x90 + Kanalnr); sende(Tonhoehe); sende(Anschlag); }
void daempfe(int Tonhoehe)
{ sende(0x80 + Kanalnr); sende(Tonhoehe); sende(0); }
void warte(float Sekunden)
{ float Uhrticks, Start;
  Uhrticks = Sekunden * CLOCKS_PER_SEC; Start = clock();
  while (clock() - Start < Uhrticks);
  schreibe("(%5.3f\\n", Sekunden);
}
/*-----lese Datei-----*/
int Ausfuehren (FILE *Partitur)
{ char Anweisung[8];
  int Zahl1, Zahl2;
  int Eingabemenge;
  Eingabemenge = fscanf(Partitur, "%s %d %d",
                        Anweisung, &Zahl1, &Zahl2);

  if (Eingabemenge != 3) return 0;
  if (Anweisung[0] == 'P') spiele(Zahl1, Zahl2);
  if (Anweisung[0] == 'D') daempfe(Zahl1);
  if (Anweisung[0] == 'K') waehle_Kanal(Zahl1);
  if (Anweisung[0] == 'W') warte(Zahl1 / 1000.0);
  return 1;
}
/*-----HAUPTTEIL-----*/
int main ()
{ FILE *Partitur;
  Partitur = fopen(DATEINAME, "r");
  while(Ausfuehren(Partitur));
  fclose(Partitur);
  warte(2);
}
```

„Partitur“-Datei FROEHLICHER_LANDMANN.TXT
(von links nach rechts von Spalte zur Spalte zu lesen) :

K 1 0	K 2 0	P 60 64	K 1 0
P 48 64	P 60 64	P 65 64	D 53 0
W 250 0	P 65 64	P 69 64	P 57 64
D 48 0	P 69 64	W 250 0	W 250 0
P 53 64	W 250 0	D 60 0	D 57 0
W 250 0	D 60 0	D 65 0	P 60 64
	D 65 0	D 69 0	W 500 0
	D 69 0		D 60 0

F25 – Formeln zur Harmonizität

- für die Unverdaulichkeit ξ der natürlichen Zahl N
- für die Harmonizität \mathcal{H} eines Intervalls $P:Q$
- für die Höchstpotenz η einer Primzahl p bei Mindestharmonizität h und Tonhöhenumfang ω

a

$$\xi(N) = 2 \sum_{r=1}^{\infty} \left(\frac{n_r (p_r - 1)^2}{p_r} \right)$$

es gilt:

- $N = \prod_{r=1}^{\infty} p_r^{n_r}$
- $N, n, p \in$ natürliche Zahlen
- $p \in$ Primzahlen

b

$$\mathcal{H}(P, Q) = \frac{\operatorname{sgn}(\xi(Q) - \xi(P))}{\xi(P) + \xi(Q)}$$

es gilt $\operatorname{sgn}(x) = -1$ bei $x < 0$, sonst $\operatorname{sgn}(x) = +1$

c

$$\eta = \left\lfloor \frac{\omega + (1/h)}{1 + (\log(256)/\log(27))} \right\rfloor$$

wenn $p=2$, sonst

$$\eta = \left\lfloor \frac{\omega + (1/h)}{\xi(p) + (\log(p)/\log(2))} \right\rfloor$$

es gilt:

- p ist die Primzahl, für die η (die Höchstpotenz) gesucht wird
- h ist die Mindestharmonizität
- ω ist der Tonhöhenumfang in Oktaven

T26 – Tabellen zur Harmonizität

- die Unverdaulichkeit $\xi(N)$ der natürlichen Zahlen 1–100

N	$\xi(N)$								
1	0,0000000	21	12,9523810	41	78,0487805	61	118,0327869	81	10,6666667
2	1,0000000	22	19,1818182	42	13,9523810	62	59,0645161	82	79,0487805
3	2,6666667	23	42,0869565	43	82,0465116	63	15,6190476	83	162,0240964
4	2,0000000	24	5,6666667	44	20,1818182	64	6,0000000	84	14,9523810
5	6,4000000	25	12,8000000	45	11,7333333	65	28,5538462	85	36,5176471
6	3,6666667	26	23,1538462	46	43,0869565	66	21,8484848	86	83,0465116
7	1,2857143	27	8,0000000	47	90,0425532	67	130,0298507	87	56,7356322
8	3,0000000	28	12,2857143	48	6,6666667	68	32,1176471	88	21,1818182
9	5,3333333	29	54,0689655	49	20,5714286	69	44,7536232	89	174,0224719
10	7,4000000	30	10,0666667	50	13,8000000	70	17,6857143	90	12,7333333
11	18,1818182	31	58,0645161	51	32,7843137	71	138,0281690	91	32,4395604
12	4,6666667	32	5,0000000	52	24,1538462	72	8,3333333	92	44,0869565
13	22,1538462	33	20,8484848	53	102,0377358	73	142,0273973	93	60,7311828
14	11,2857143	34	31,1176471	54	9,0000000	74	71,0540541	94	91,0425532
15	9,0666667	35	16,6857143	55	24,5818182	75	15,4666667	95	40,5052632
16	4,0000000	36	7,3333333	56	13,2857143	76	36,1052632	96	7,6666667
17	30,1176471	37	70,0540541	57	36,7719298	77	28,4675325	97	190,0206186
18	6,3333333	38	35,1052632	58	55,0689655	78	25,8205128	98	21,5714286
19	34,1052632	39	24,8205128	59	114,0338983	79	154,0253165	99	23,5151515
20	8,4000000	40	9,4000000	60	11,0666667	80	10,4000000	100	14,8000000

...T26...

b) Höchspotenzen der Primzahlen 2–13 bei verschiedenen Mindestharmonizitäten

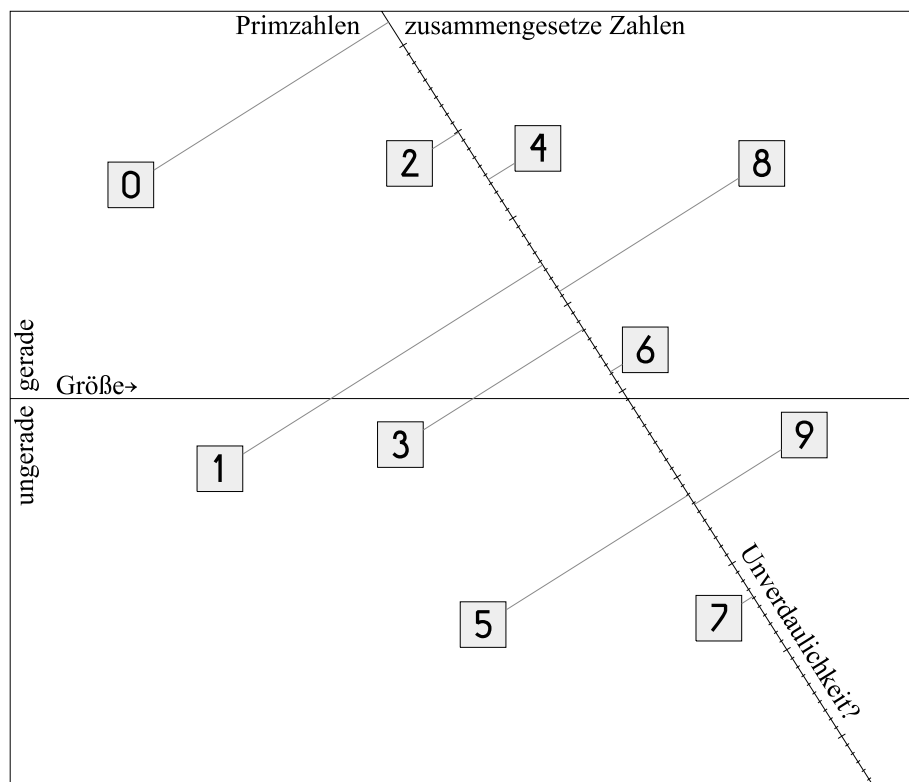
Mindest- harmonizität	Höchspotenzen der Primzahlen									Intervalle in der Oktave
	2	3	5	7	11	13	17	19	23	
0,10	4	2	1	0	0	0	0	0	0	8
0,09	4	2	1	0	0	0	0	0	0	9
0,08	5	3	1	1	0	0	0	0	0	13
0,07	5	3	1	1	0	0	0	0	0	18
0,06	6	4	2	1	0	0	0	0	0	23
0,05	7	4	2	1	0	0	0	0	0	37
0,04	9	6	2	1	1	1	0	0	0	77
0,03	12	8	3	2	1	1	1	0	0	213
0,02	19	11	5	3	2	1	1	1	1	1139 (geschätzt)
0,01	37	23	11	7	4	3	2	2	2...	?????

c) Sämtliche intraoktavische Intervalle ab absoluter Harmonizität 0,05

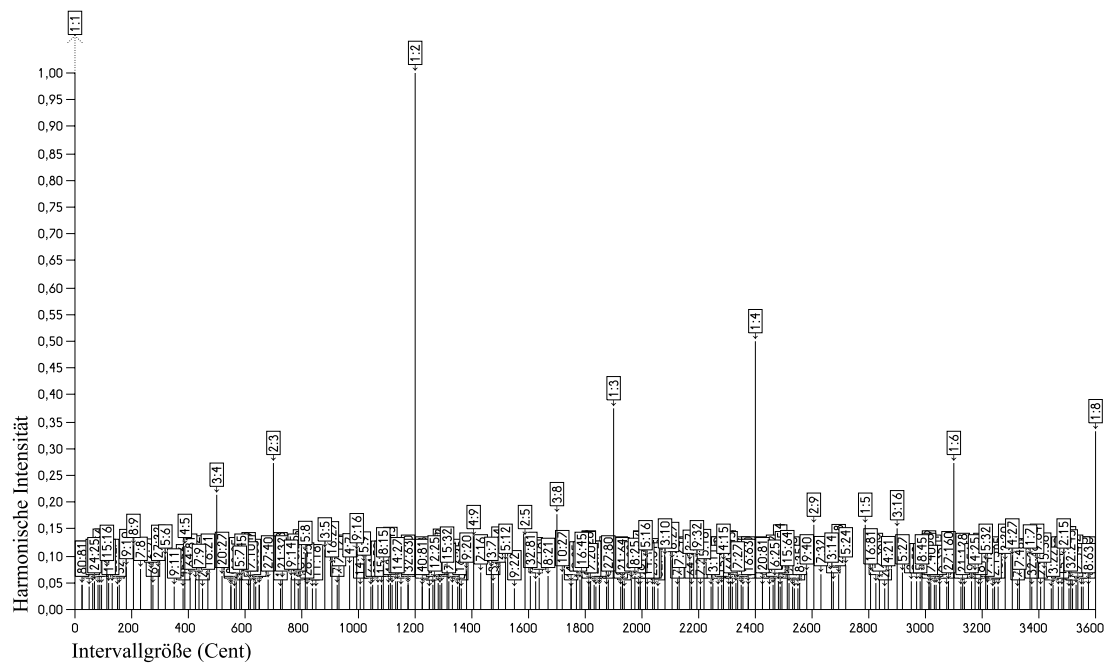
Intervall- größe (Ct)	Primzerlegung als Potenzen von						Zahlen- verhältnis	Harmonizität
	2	3	5	7	11	13		
0,000	0	0	0	0	0	0	1:1	+∞
70,672	-3	-1	+2	0	0	0	24:25	+0,054152
111,731	+4	-1	-1	0	0	0	15:16	-0,076531
182,404	+1	-2	+1	0	0	0	9:10	+0,078534
203,910	-3	+2	0	0	0	0	8:9	+0,120000
231,174	+3	0	0	-1	0	0	7:8	-0,075269
266,871	-1	-1	0	+1	0	0	6:7	+0,071672
294,135	+5	-3	0	0	0	0	27:32	-0,076923
315,641	+1	+1	-1	0	0	0	5:6	-0,099338
386,314	-2	0	+1	0	0	0	4:5	+0,119048
407,820	-6	+4	0	0	0	0	64:81	+0,060000
427,373	+5	0	-2	0	0	0	25:32	-0,056180
435,084	0	+2	0	-1	0	0	7:9	-0,064024
470,781	-4	+1	0	+1	0	0	16:21	+0,058989
498,045	+2	-1	0	0	0	0	3:4	-0,214286
519,551	-2	+3	-1	0	0	0	20:27	-0,060976
568,717	-1	-2	+2	0	0	0	18:25	+0,052265
582,512	0	0	-1	+1	0	0	5:7	+0,059932
590,224	-5	+2	+1	0	0	0	32:45	+0,059761
609,776	+6	-2	-1	0	0	0	45:64	-0,056391
617,488	+1	0	+1	-1	0	0	7:10	-0,056543
680,449	+3	-3	+1	0	0	0	27:40	+0,057471
701,955	-1	+1	0	0	0	0	2:3	+0,272727
729,219	+5	-1	0	-1	0	0	21:32	-0,055703
764,916	+1	-2	0	+1	0	0	9:14	+0,060172
772,627	-4	0	+2	0	0	0	16:25	+0,059524
792,180	+7	-4	0	0	0	0	81:128	-0,056604
813,686	+3	0	-1	0	0	0	5:8	-0,106383
884,359	0	-1	+1	0	0	0	3:5	+0,110294
905,865	-4	+3	0	0	0	0	16:27	+0,083333
933,129	+2	+1	0	-1	0	0	7:12	-0,066879
968,826	-2	0	0	+1	0	0	4:7	+0,081395
996,090	+4	-2	0	0	0	0	9:16	-0,107143
1017,596	0	+2	-1	0	0	0	5:9	-0,085227
1088,269	-3	+1	+1	0	0	0	8:15	+0,082873
1129,328	+4	+1	-2	0	0	0	25:48	-0,051370
1137,039	-1	+3	0	-1	0	0	14:27	-0,051852
1200,000	+1	0	0	0	0	0	1:2	+1,000000

Γ27 – Grafiken zur Harmonizität

a) Multidimensionale Skalierung numerischer Ähnlichkeit (Stanford 1975)

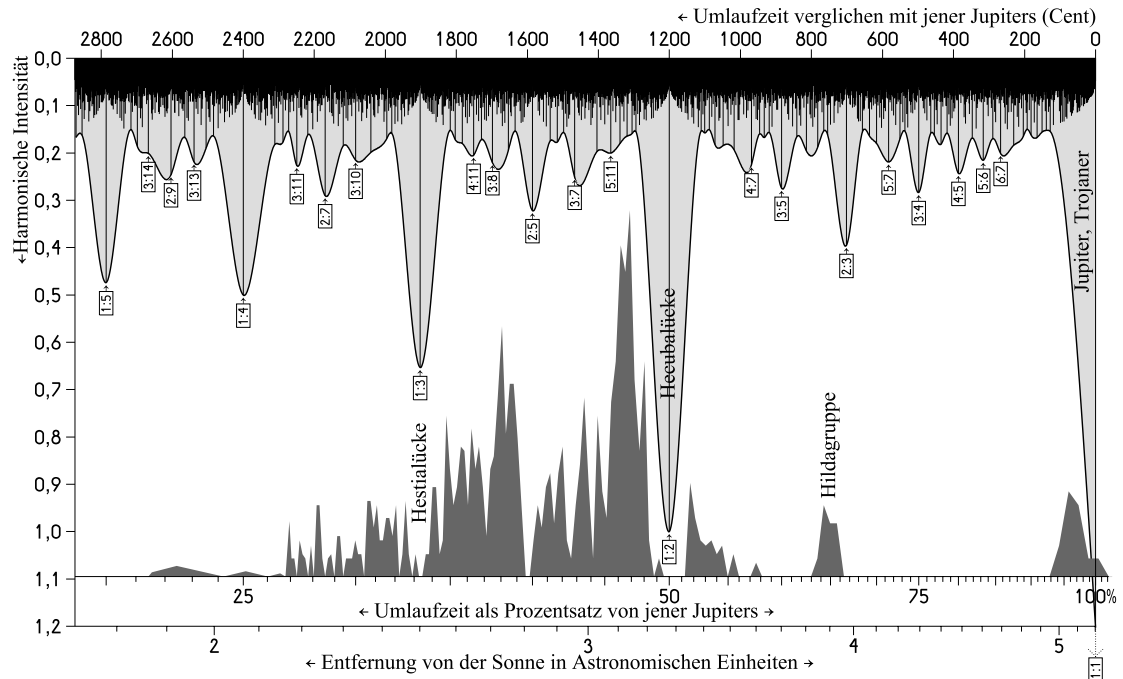


b) Sämtliche 240 Intervalle bei harmonischer Intensität $\geq 0,04$ und dreioktavem Tonhöhenumfang



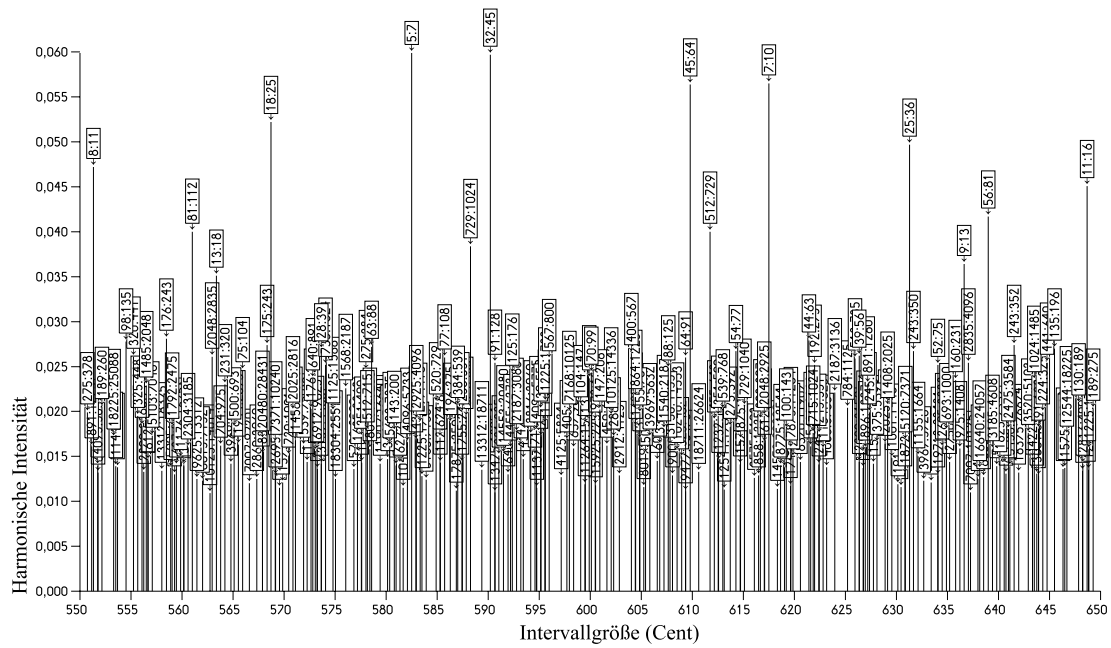
...T27...

- c) Relative Dichte des Asteroidengürtels gegenüber harmonischer Intensität des Umlaufzeitintervalls bei Primfeindlichkeit 1,2
(Anzeigeschwelle $[H]=0,02$, 6438 Intervalle gezeichnet insgesamt)

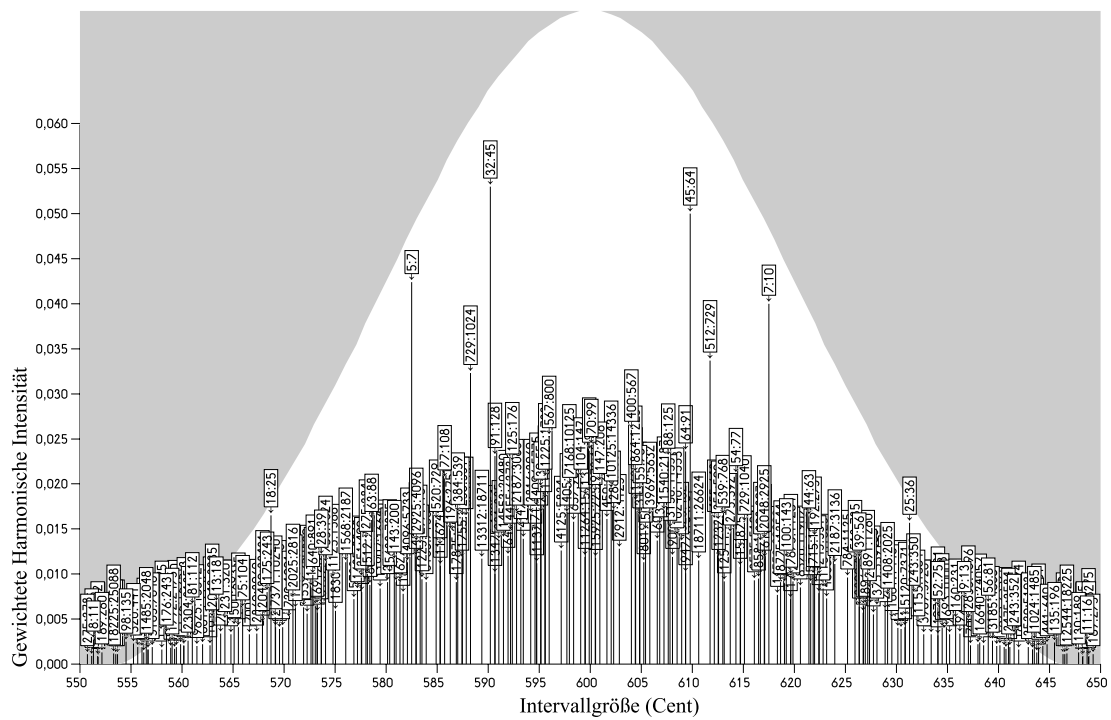


Γ28 – Intervallgröße, Bruchdarstellung sowie Harmonische Intensität

a₁) Ungewichtete und...

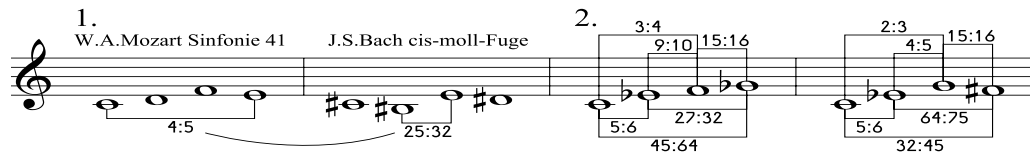


a₂) gewichtete harmonische Intensitäten aller 256 Intervalle von 550–650 Ct

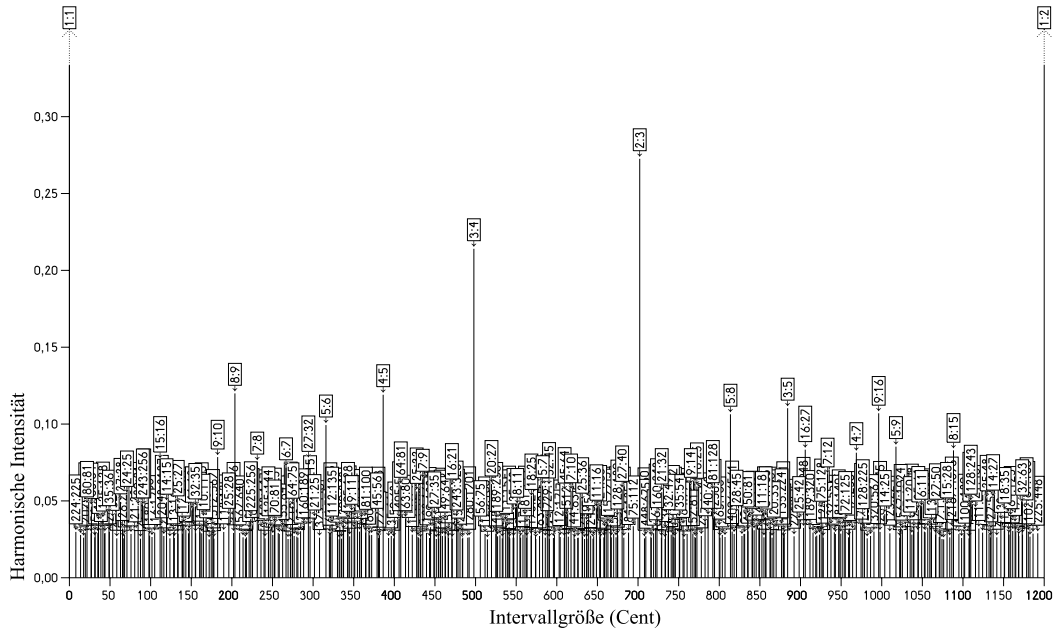


...F28...

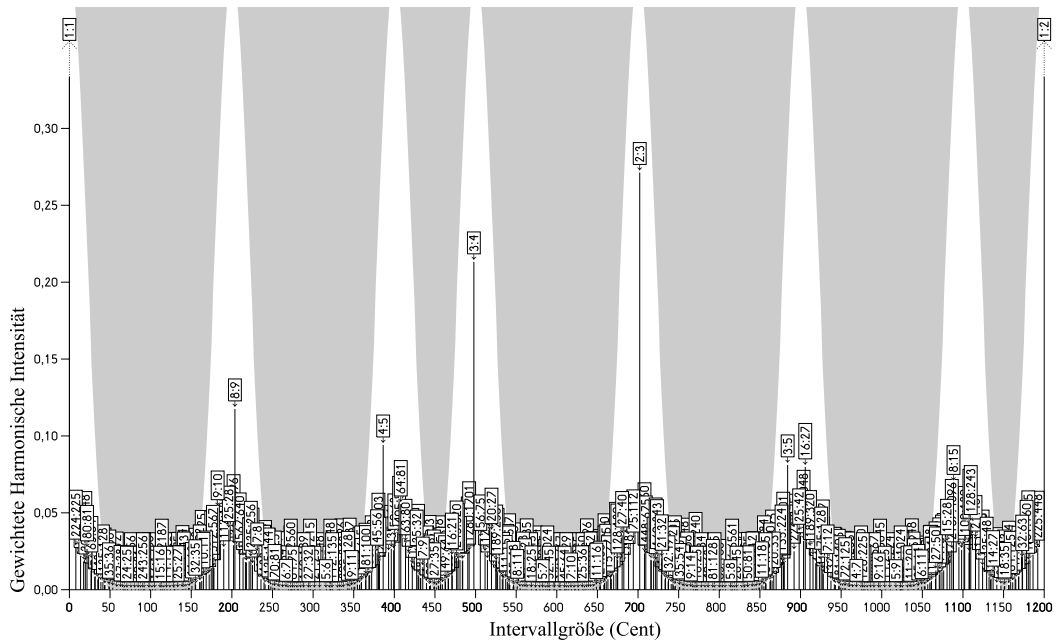
b) Zwei Intervallvergleiche (links: 4:5 gegenüber 25:32, rechts G! gegenüber F#)



c₁) Ungewichtete und...



c₂) gewichtete Harmonische Intensitäten $\geq 0,025$ von 0-1200 Ct (416 Intervalle gezeigt)
bei der Stimmung einer Durskala (Nenntoleranz 50 Ct)



T29 – Zur Rationalisierung von Skalen

- a) Beststimmungen einiger Skalen bei unterschiedlicher Mindestharmonizität (MH) und Nenntoleranz (NT) in Cent unter Angabe der Spezifischen Harmonizität (SH)

Durskala:

MH=0,03

AS=2

		Stimmung							
NT=10	SH=0.1255	1/1	9/8	512/405	4/3	3/2	27/16	256/135	2/1
NT=20	SH=0.1957	1/1	9/8	81/64	4/3	3/2	27/16	15/8	2/1
NT=30-50	SH=0.2252	1/1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2/1

AS=3

NT=10	SH=0.1842	1/1	9/8	81/64	4/3	3/2	27/16	243/128	2/1
NT=20	SH=0.1957	1/1	9/8	81/64	4/3	3/2	27/16	15/8	2/1
NT=30-50	SH=0.2252	1/1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2/1

MH=0,04

AS=2

NT=10	SH=0.1842	1/1	9/8	81/64	4/3	3/2	27/16	243/128	2/1
NT=20	SH=0.2252	1/1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2/1
NT=30-50	SH=0.2252	1/1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2/1

AS=3

NT=10	SH=0.1842	1/1	9/8	81/64	4/3	3/2	27/16	243/128	2/1
NT=20-50	SH=0.2252	1/1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2/1

MH=0,05

AS=2

NT=10	SH=0.2196	1/1	9/8	81/64	4/3	3/2	27/16	27/16	2/1
NT=20-50	SH=0.2252	1/1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2/1

AS=3

NT=10	SH=0.2196	1/1	9/8	81/64	4/3	3/2	27/16	27/16	2/1
NT=20-50	SH=0.2252	1/1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2/1

Mollskala:

MH=0,03

AS=2

		Stimmung							
NT=10	SH=0.1204	1/1	9/8	32/27	4/3	3/2	405/256	256/135	2/1
NT=20	SH=0.1618	1/1	9/8	32/27	4/3	3/2	128/81	15/8	2/1
NT=30-50	SH=0.2032	1/1	9/8	6/5	4/3	3/2	8/5	15/8	2/1

AS=3

NT=10	SH=0.1514	1/1	9/8	32/27	4/3	3/2	128/81	256/135	2/1
NT=20	SH=0.1618	1/1	9/8	32/27	4/3	3/2	128/81	15/8	2/1
NT=30-50	SH=0.2032	1/1	9/8	6/5	4/3	3/2	8/5	15/8	2/1

MH=0,04

AS=2

NT=10	SH=0.1514	1/1	9/8	32/27	4/3	3/2	128/81	256/135	2/1
NT=20	SH=0.2032	1/1	9/8	6/5	4/3	3/2	8/5	15/8	2/1
NT=30-50	SH=0.2032	1/1	9/8	6/5	4/3	3/2	8/5	15/8	2/1

AS=3

NT=10	SH=0.1514	1/1	9/8	32/27	4/3	3/2	128/81	256/135	2/1
NT=20-50	SH=0.2032	1/1	9/8	6/5	4/3	3/2	8/5	15/8	2/1

MH=0,05

AS=2

NT=10	SH=0.1690	1/1	9/8	32/27	4/3	3/2	128/81	128/81	2/1
NT=20-50	SH=0.2032	1/1	9/8	6/5	4/3	3/2	8/5	15/8	2/1

AS=3

NT=10	SH=0.1690	1/1	9/8	32/27	4/3	3/2	128/81	128/81	2/1
NT=20-50	SH=0.2032	1/1	9/8	6/5	4/3	3/2	8/5	15/8	2/1

...T29a...

Ganztonskala:

MH=0,03

AS=2

		Stimmung							
NT=10	SH=0,0977	1/1	9/8	512/405	64/45	405/256	16/9	2/1	
NT=20	SH=0,1229	1/1	9/8	81/64	64/45	128/81	16/9	2/1	
NT=30	SH=0,1546	1/1	9/8	5/4	64/45	8/5	16/9	2/1	
NT=40-50	SH=0,1615	1/1	10/9	5/4	64/45	8/5	16/9	2/1	

AS=3

NT=10	SH=0,1299	1/1	9/8	512/405	64/45	128/81	16/9	2/1	
NT=20	SH=0,1414	1/1	10/9	512/405	64/45	128/81	16/9	2/1	
NT=30-50	SH=0,1615	1/1	10/9	5/4	64/45	8/5	16/9	2/1	

MH=0,04

AS=2

NT=10	SH=0,1229	1/1	9/8	81/64	64/45	128/81	16/9	2/1	
NT=20-50	SH=0,1615	1/1	10/9	5/4	64/45	8/5	16/9	2/1	

AS=3

NT=10	SH=0,1229	1/1	9/8	81/64	64/45	128/81	16/9	2/1	
NT=20-50	SH=0,1615	1/1	10/9	5/4	64/45	8/5	16/9	2/1	

MH=0,05

AS=2

NT=10	SH=0,1229	1/1	9/8	81/64	64/45	128/81	16/9	2/1	
NT=20-50	SH=0,1615	1/1	10/9	5/4	64/45	8/5	16/9	2/1	

AS=3

NT=10	SH=0,1229	1/1	9/8	81/64	64/45	128/81	16/9	2/1	
NT=20-50	SH=0,1615	1/1	10/9	5/4	64/45	8/5	16/9	2/1	

Bohlen-Pierce-Skala (AS=2; Werte für NT=40 und NT=50 identisch):

MH=0,03

NT SH

		Stimmung															
10	0,0796	1/1	49/45	32/27	9/7	7/5	32/21	5/3	1024/567	63/32	32/15	7/3	1024/405	224/81	3/1		
20	0,0861	1/1	12/11	32/27	9/7	7/5	32/21	5/3	9/5	63/32	32/15	7/3	81/32	224/81	3/1		
30	0,0959	1/1	35/32	32/27	32/25	7/5	32/21	5/3	9/5	2/1	32/15	7/3	81/32	224/81	3/1		
40	0,1200	1/1	35/32	6/5	9/7	45/32	3/2	5/3	9/5	2/1	15/7	75/32	5/2	25/9	3/1		

MH=0,04

NT SH

10	0,0905	1/1	35/32	32/27	9/7	45/32	32/21	5/3	9/5	63/32	32/15	7/3	81/32	96/35	3/1		
20	0,0912	1/1	35/32	75/64	9/7	45/32	243/160	5/3	9/5	63/32	15/7	75/32	81/32	96/35	3/1		
30	0,1058	1/1	35/32	6/5	32/25	7/5	32/21	5/3	9/5	2/1	32/15	7/3	5/2	96/35	3/1		
40	0,1200	1/1	35/32	6/5	9/7	45/32	3/2	5/3	9/5	2/1	15/7	75/32	5/2	25/9	3/1		

MH=0,05

NT SH

10	0,1102	1/1	1/1	32/27	9/7	45/32	32/21	5/3	9/5	9/5	32/15	7/3	81/32	81/32	3/1		
20	0,1074	1/1	1/1	32/27	32/25	7/5	32/21	5/3	9/5	9/5	32/15	7/3	64/25	25/9	3/1		
30	0,1424	1/1	1/1	6/5	32/25	7/5	3/2	5/3	9/5	2/1	32/15	7/3	5/2	14/5	3/1		
40	0,1366	1/1	16/15	6/5	32/25	7/5	3/2	5/3	9/5	2/1	32/15	7/3	5/2	14/5	3/1		

Auf [3-5-7]-Gitter anderer Theoretiker basiert:

1/1 27/25 25/21 9/7 7/5 75/49 5/3 9/5 49/25 15/7 7/3 63/25 25/9 3/1

...T29...

b) Rationalisiertes Stimmungsnetz gleichtemperierter Tonleiter
mit intrastufigen Verhältnissen und Harmonizitäten

Stufe:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sollgröße (ct):	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Stimmung:	1/1	16/15	9/8	6/5	5/4	4/3	45/32	3/2	8/5	5/3	9/5	15/8	2/1
Abweichung (ct):	0	+12	+4	+16	-14	-2	-10	+2	+14	-16	+18	-12	0
Notenname:	c	dés ₁	d ²	és ¹	è	f ₁	fis ²	g ¹	ás	à ₁	b ²	h ¹	ê

Zwölfton-Matrix:

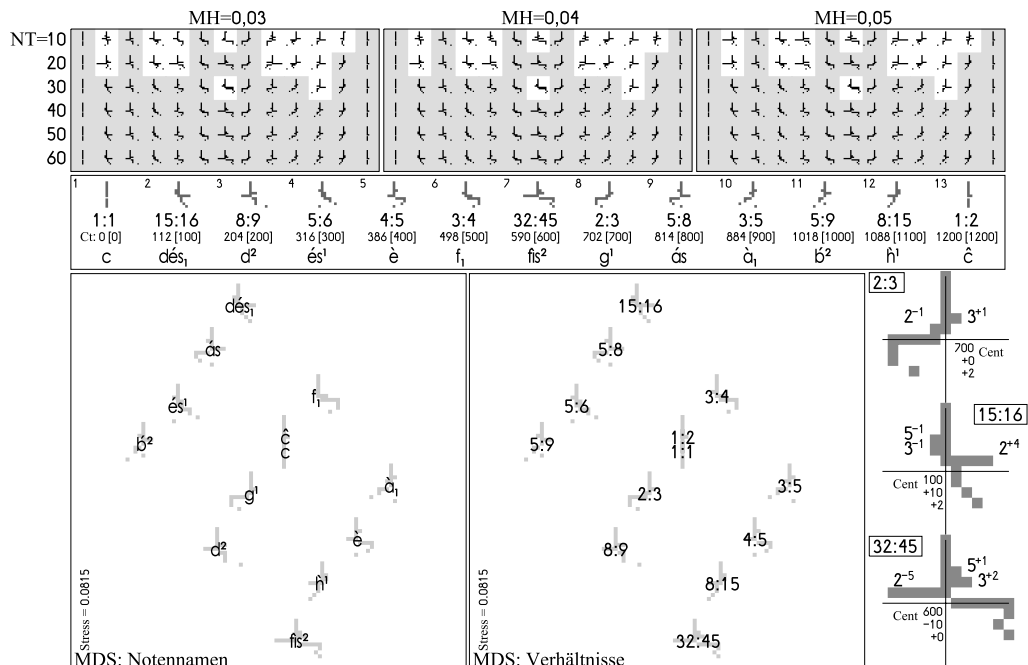
	2→	3→	4→	5→	6→	7→	8→	9→	10→	11→	12→	13→	
	16/15	9/8	6/5	5/4	4/3	45/32	3/2	8/5	5/3	9/5	15/8	2/1	→1
	-0,077	+0,120	-0,099	+0,119	-0,214	+0,060	+0,273	-0,106	+0,110	-0,085	+0,083	+1,000	
		135/128	9/8	75/64	5/4	675/512	45/32	3/2	25/16	27/16	225/128	15/8	→2
		+0,047	+0,120	+0,047	+0,119	+0,034	+0,060	+0,273	+0,060	+0,083	+0,040	+0,083	
			16/15	10/9	32/27	5/4	4/3	64/45	40/27	8/5	5/3	16/9	→3
Dreizehnton-			-0,077	+0,079	-0,077	+0,119	-0,214	-0,056	+0,057	-0,106	+0,110	-0,107	
Matrix:				25/24	10/9	75/64	5/4	4/3	25/18	3/2	25/16	5/3	→4
13→	256/243			+0,054	+0,079	+0,047	+0,119	-0,214	+0,052	+0,273	+0,060	+0,110	
	-0,047				16/15	9/8	6/5	32/25	4/3	36/25	3/2	8/5	→5
12→	10/9	135/128			-0,077	+0,120	-0,099	-0,056	-0,214	-0,050	+0,273	-0,106	
	+0,079	+0,047				135/128	9/8	6/5	5/4	27/20	45/32	3/2	→6
11→	32/27	9/8	16/15			+0,047	+0,120	-0,099	+0,119	-0,061	+0,060	+0,273	
	-0,077	+0,120	-0,077				16/15	256/225	32/27	32/25	4/3	64/45	→7
10→	5/4	1215/1024	9/8	135/128			-0,077	-0,038	-0,077	-0,056	-0,214	-0,056	
	+0,119	+0,034	+0,120	+0,047				16/15	10/9	6/5	5/4	4/3	→8
9→	21/16	5103/4096	189/160	567/512	21/20			-0,077	+0,079	-0,099	+0,119	-0,214	
	+0,059	+0,026	+0,034	+0,033	+0,047				25/24	9/8	75/64	5/4	→9
8→	48/35	729/560	216/175	81/70	192/175	256/245			+0,054	+0,120	+0,047	+0,119	
	-0,043	-0,027	-0,029	-0,035	-0,031	-0,029				27/25	9/8	6/5	→10
7→	35/24	2835/2048	21/16	315/256	7/6	10/9	1225/1152			-0,048	+0,120	-0,099	
	+0,045	+0,026	+0,059	+0,033	+0,072	+0,079	+0,022				25/24	10/9	→11
6→	32/21	81/56	48/35	9/7	128/105	512/441	10/9	256/245			+0,054	+0,079	
	-0,056	-0,042	-0,043	-0,064	-0,038	-0,029	+0,079	-0,029				16/15	→12
5→	8/5	243/160	36/25	27/20	32/25	128/105	7/6	192/175	21/20			-0,077	
	-0,106	+0,040	-0,050	-0,061	-0,056	-0,038	+0,072	-0,031	+0,047				
4→	12/7	729/448	54/35	81/56	48/35	64/49	5/4	288/245	9/8	15/14			
	-0,067	-0,031	-0,039	-0,042	-0,043	-0,038	+0,119	-0,027	+0,120	-0,049			
3→	16/9	27/16	8/5	3/2	64/45	256/189	35/27	128/105	7/6	10/9	28/27		
	-0,107	+0,083	-0,106	+0,273	-0,056	-0,038	+0,041	-0,038	+0,072	+0,079	+0,049		
2→	256/135	9/5	128/75	8/5	1024/675	4096/2835	112/81	2048/1575	56/45	32/27	448/405	16/15	
	-0,045	-0,085	-0,045	-0,106	-0,032	-0,025	+0,040	-0,025	+0,040	-0,077	-0,030	-0,077	
1→	2/1	243/128	9/5	27/16	8/5	32/21	35/24	48/35	21/16	5/4	7/6	9/8	135/128
	+1,000	+0,049	-0,085	+0,083	-0,106	-0,056	+0,045	-0,043	+0,059	+0,119	+0,072	+0,120	+0,047
	→14	→13	→12	→11	→10	→9	→8	→7	→6	→5	→4	→3	→2

Stufe:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Sollgröße (Ct):	0	92	185	277	369	462	554	646	738	831	923	1015	1108	1200
Stimmung:	1/1	135/128	9/8	7/6	5/4	21/16	48/35	35/24	32/21	8/5	27/16	9/5	243/128	2/1
Abweichung (Ct):	0	0	+19	-10	+17	+9	-7	+7	-9	-17	-17	+3	+2	0
Notenname:	c	cis ³	d ²	es ² ₁	è	f ² ₁	ê ¹	g ² ₁	g ¹	ás	a ³	b ²	h ⁵	ê

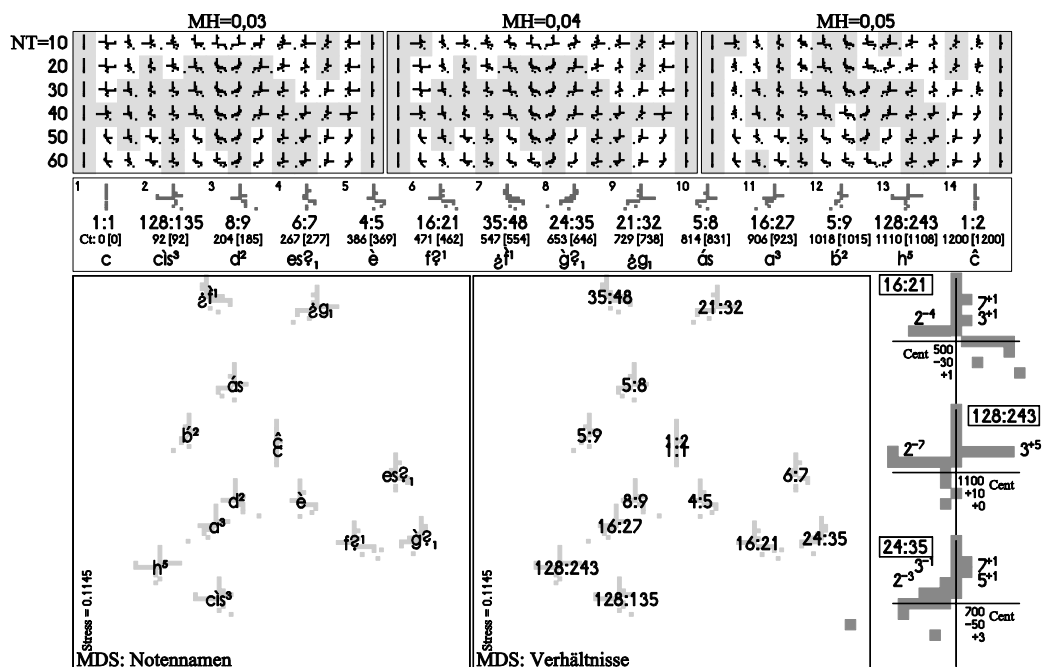
Γ30 – Ratioglyphische Darstellung von Stimmungen gleichtemperierter Skalen

bei unterschiedlicher (garantierter) Mindestharmonizität (MH) und Nenntoleranz (NT) –
 ‚Beststimmungsintervalle‘ in grauen Feldern mit Details im Kasten darunter sowie mit
 Multidimensionale Skalierung (MDS) unten links (Notennamen) und mitte (Verhältnisse);
 rechts unten: intervallische Erklärung ausgewählter Ratioglyphen

a) 12-Ton-Skala



b) 13-Ton-Skala



Γ31 – Grafiken zur Metrik

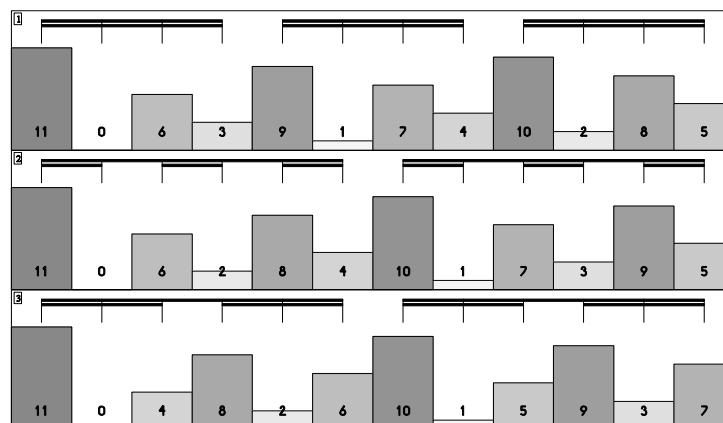
a) Schichtung eines $12/16$ -Taktes ($2 \times 2 \times 3$)

$12/16 = \text{♩.}$
 $\times 2$
 $= \text{♩.} \quad \text{♩.}$
 $\times 2$
 $= \text{♩.} \text{♩.} \text{♩.} \text{♩.}$
 $\times 3$
 $= \text{♩.} \text{♩.} \text{♩.} \text{♩.} \text{♩.} \text{♩.} \text{♩.} \text{♩.}$

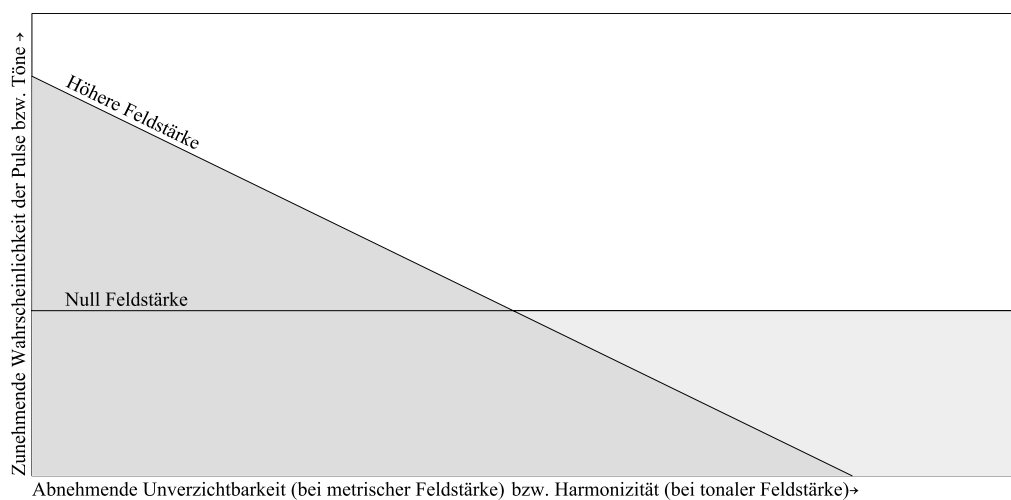
b) Verdünnung (2. Ebene) von $3/4$ & $6/8$

Metrum:	$3/4$	$6/8$
Pulse:	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6
Unverz.:	5 0 3 1 4 2	5 0 2 4 1 3
6		
5		
4		
3		
2		
1		

c) Unverzichtbarkeiten für 1) $3/4$, 2) $6/8$ und 3) $12/16$ in Grauwert und Größe grafisch dargestellt



d) Metrische bzw. tonale Feldstärke aus der Relation Häufigkeit ↔ Relevanz von Pulsen bzw. Tönen



F32 – Formeln zur Metrik

a) Formel für die Unverzichtbarkeit Ψ des Puls n eines Metrums mit Schichtung $p_1 \times p_2 \times p_3 \times \dots \times p_z$

$$\Psi_z(n) = \sum_{r=0}^{z-1} \left(\prod_{i=0}^{z-r-1} p_i \Psi_{p_{z-r}} \left(1 + \left[1 + \frac{(n-2) \bmod \prod_{j=1}^z p_j}{\prod_{k=0}^r p_{z+1-k}} \right] \bmod p_{z-r} \right) \right)$$

es gilt (wobei alle Variablen ganze Zahlen sind):

1. $p_0 = p_{z+1} = 1$
2. n ist die Stelle des untersuchten Pulses im Takt, angefangen mit 1
3. p_j ist der Schichtungsteiler der Ebene j
4. z ist die Anzahl der Ebenen in der Schichtung
5. $\Psi_p(x)$ ist die Unverzichtbarkeit des x -ten Pulses eines Taktes erster Ordnung mit der Prim-Schichtung p
6. $u \bmod v$ ist der Teilungsrest von $(u+mv)/v$, durch ausreichend großes m niemals negativ
7. $[x]$ ist der ganzzahlige Anteil von x

b) die Grundunverzichtbarkeit Ψ des Puls n eines Metrums 1. Ordnung mit Primschichtung p

Ist $p=2$, dann gilt $\Psi_p(n) = p-n$;

sonst wenn $n=p-1$, dann gilt $\Psi_p(n) = [p/4]$

oder sonst $\Psi_p(n) = [q+2\sqrt{\frac{q+1}{p}}]$

wobei

1. n die Stelle im Takt des untersuchten Pulses ist, angefangen mit 1
2. $q = \Psi_{p-1}(n - [n/p])$;
3. $\Psi_{p-1}(x)$ gibt die Unverzichtbarkeiten für einen Takt mit $p-1$ Pulsen, faktorisiert und geschichtet in abnehmender Primzahlgröße

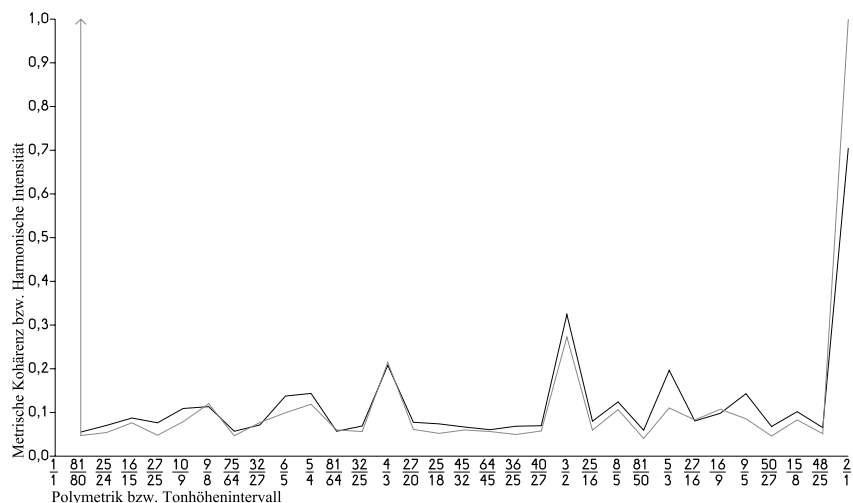
Siehe auch 5. und 7. in der vorigen Abbildung

F33 – Grafiken zu Metrischer Kohärenz

- a) Fünffache 2×2×3-Unverzichtsfolge gegenüber viermaliger 3×5-Folge; die Druckgröße des Gesamtzählers entspricht dem Produktquadrat der jeweiligen relativen Unverzichtsbarkeiten

Gesamtpulszähler:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2×2×3-Pulse:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Unverzichtsbarkeit:	11	0	4	8	2	6	10	1	5	9	3	7	11	0	4	8	2	6	10	1
3×5-Pulse:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	3	4	5
Unverzichtsbarkeit:	14	0	9	3	6	12	1	10	4	7	13	2	11	5	8	14	0	9	3	6
Gesamtpulszähler:	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
2×2×3-Pulse:	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
Unverzichtsbarkeit:	5	9	3	7	11	0	4	8	2	6	10	1	5	9	3	7	11	0	4	8
3×5-Pulse:	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unverzichtsbarkeit:	12	1	10	4	7	13	2	11	5	8	14	0	9	3	6	12	1	10	4	7
Gesamtpulszähler:	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
2×2×3-Pulse:	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Unverzichtsbarkeit:	2	6	10	1	5	9	3	7	11	0	4	8	2	6	10	1	5	9	3	7
3×5-Pulse:	11	12	13	14	15	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Unverzichtsbarkeit:	13	2	11	5	8	14	0	9	3	6	12	1	10	4	7	13	2	11	5	8

- b) Metrische Kohärenz ausgewählter Takttemporarios (durchgezogen – die metrische Schichtung leitet sich von der Primzerlegung der Tempozahlen ab, bei fallenden Primzahlen) verglichen mit der Harmonizität (gestrichelt) entsprechender Tonintervalle.



F34 – Formel für die Metrische Kohärenz zweier Metren

Vereinbarungen:	Darauf basierend gilt:
\mathcal{M} ist die metrische Kohärenz der Metren 1 und 2	
m ist die Kennzahl der einzelnen Metren (= 1 oder 2)	$\Omega_{u_m} = \prod_{j=1}^{u_m} \alpha_{m_j}$
u_m ist die Ebenenanzahl des ursprünglichen Metrums m	
z_m ist die Ebenenanzahl des erweiterten Metrums m	$\Omega_{z_m} = \text{kgV}(\nu_1 \Omega_{u_1}, \nu_2 \Omega_{u_2})$
ν_m ist die Taktgeschwindigkeit des Metrums m	
α_{m_j} ist der Schichtungsteiler j -ter Ebene des Metrums m	$\Omega_0 = \text{kgV}(\Omega_{z_1}, \Omega_{z_2})$
Ω_j ist die Pulsanzahl der Schichtung auf der Ebene j	
Ω_0 ist die Pulsanzahl des gesamten Zyklus	
Die Formel:	$\mathcal{M} = \frac{1}{-2 \log_e \left(\frac{18 \sum_{n=1}^{\Omega_0} \left(\prod_{i=1}^2 \left(\psi_{z_i} \left(1 + (n-1) \bmod \Omega_{z_i} \right) \right) \right)^2 - 2}{7 \Omega_0 \prod_{i=1}^2 (\Omega_{z_i} - 1)^2} \right)}$

T35 – Tabellen zu Metrischer Kohärenz

- a) Intrametrische Kohärenzen einiger Schichtungspaare (S) bis zu 3. Ordnung:
links steht jeweils die das Tempoverhältnis der beiden Metren angegebene Zahl (T);

<u>Metrum 1</u>	<u>Metrum 2</u>	<u>Kohärenz</u>	<u>Metrum 1</u>	<u>Metrum 2</u>	<u>Kohärenz</u>	<u>Metrum 1</u>	<u>Metrum 2</u>	<u>Kohärenz</u>
T S	T S		T S	T S		T S	T S	
1 2×2×2	1 2×2×2	0,46382	1 2×2×3	3 2×3×2	0,20399	2 3×2×2	3 2×2×2	0,41575
1 2×2×2	1 2×2×3	0,24638	1 2×2×3	3 3×2×2	0,15166	2 3×2×2	3 2×2×3	0,24132
1 2×2×2	1 2×3×2	0,18956	1 2×3×2	3 2×2×2	0,39582	2 3×2×2	3 2×3×2	0,18509
1 2×2×2	1 3×2×2	0,16747	1 2×3×2	3 2×2×3	0,37899	2 3×2×2	3 3×2×2	0,16105
1 2×2×3	1 2×2×2	0,24638	1 2×3×2	3 2×3×2	0,24842	3 2×2×2	1 2×2×2	0,17633
1 2×2×3	1 2×2×3	0,41454	1 2×3×2	3 3×2×2	0,18120	3 2×2×2	1 2×2×3	0,33779
1 2×2×3	1 2×3×2	0,26958	1 3×2×2	3 2×2×2	0,41227	3 2×2×2	1 2×3×2	0,39582
1 2×2×3	1 3×2×2	0,20797	1 3×2×2	3 2×2×3	0,38555	3 2×2×2	1 3×2×2	0,41227
1 2×3×2	1 2×2×2	0,18956	1 3×2×2	3 2×3×2	0,25318	3 2×2×3	1 2×2×2	0,19094
1 2×3×2	1 2×2×3	0,26958	1 3×2×2	3 3×2×2	0,19492	3 2×2×3	1 2×2×3	0,35407
1 2×3×2	1 2×3×2	0,41454	2 2×2×2	1 2×2×2	0,42381	3 2×2×3	1 2×3×2	0,37899
1 2×3×2	1 3×2×2	0,36421	2 2×2×2	1 2×2×3	0,18485	3 2×2×3	1 3×2×2	0,38555
1 3×2×2	1 2×2×2	0,16747	2 2×2×2	1 2×3×2	0,16281	3 2×3×2	1 2×2×2	0,13830
1 3×2×2	1 2×2×3	0,20797	2 2×2×2	1 3×2×2	0,15474	3 2×3×2	1 2×2×3	0,20399
1 3×2×2	1 2×3×2	0,36421	2 2×2×3	1 2×2×2	0,39233	3 2×3×2	1 2×3×2	0,24842
1 3×2×2	1 3×2×2	0,41454	2 2×2×3	1 2×2×3	0,25708	3 2×3×2	1 3×2×2	0,25318
1 2×2×2	2 2×2×2	0,42381	2 2×2×3	1 2×3×2	0,19808	3 3×2×2	1 2×2×2	0,11984
1 2×2×2	2 2×2×3	0,39233	2 2×2×3	1 3×2×2	0,17378	3 3×2×2	1 2×2×3	0,15166
1 2×2×2	2 2×3×2	0,25708	2 2×3×2	1 2×2×2	0,25708	3 3×2×2	1 2×3×2	0,18120
1 2×2×2	2 3×2×2	0,19808	2 2×3×2	1 2×2×3	0,39233	3 3×2×2	1 3×2×2	0,19492
1 2×2×3	2 2×2×2	0,18485	2 2×3×2	1 2×3×2	0,34635	3 2×2×2	2 2×2×2	0,16149
1 2×2×3	2 2×2×3	0,25708	2 2×3×2	1 3×2×2	0,32603	3 2×2×2	2 2×2×3	0,18416
1 2×2×3	2 2×3×2	0,39233	2 3×2×2	1 2×2×2	0,19808	3 2×2×2	2 2×3×2	0,35240
1 2×2×3	2 3×2×2	0,34635	2 3×2×2	1 2×2×3	0,34635	3 2×2×2	2 3×2×2	0,41575
1 2×3×2	2 2×2×2	0,16281	2 3×2×2	1 2×3×2	0,39233	3 2×2×3	2 2×2×2	0,13297
1 2×3×2	2 2×2×3	0,19808	2 3×2×2	1 3×2×2	0,37737	3 2×2×3	2 2×2×3	0,19395
1 2×3×2	2 2×3×2	0,34635	2 2×2×2	3 2×2×2	0,16149	3 2×2×3	2 2×3×2	0,23679
1 2×3×2	2 3×2×2	0,39233	2 2×2×2	3 2×2×3	0,13297	3 2×2×3	2 3×2×2	0,24132
1 3×2×2	2 2×2×2	0,15474	2 2×2×2	3 2×3×2	0,11317	3 2×3×2	2 2×2×2	0,11317
1 3×2×2	2 2×2×3	0,17378	2 2×2×2	3 3×2×2	0,10609	3 2×3×2	2 2×2×3	0,14147
1 3×2×2	2 2×3×2	0,32603	2 2×2×3	3 2×2×2	0,18416	3 2×3×2	2 2×3×2	0,17158
1 3×2×2	2 3×2×2	0,37737	2 2×2×3	3 2×2×3	0,19395	3 2×3×2	2 3×2×2	0,18509
1 2×2×2	3 2×2×2	0,17633	2 2×2×3	3 2×3×2	0,14147	3 3×2×2	2 2×2×2	0,10609
1 2×2×2	3 2×2×3	0,19094	2 2×2×3	3 3×2×2	0,12338	3 3×2×2	2 2×2×3	0,12338
1 2×2×2	3 2×3×2	0,13830	2 2×3×2	3 2×2×2	0,35240	3 3×2×2	2 2×3×2	0,15084
1 2×2×2	3 3×2×2	0,11984	2 2×3×2	3 2×2×3	0,23679	3 3×2×2	2 3×2×2	0,16105
1 2×2×3	3 2×2×2	0,33779	2 2×3×2	3 2×3×2	0,17158			
1 2×2×3	3 2×2×3	0,35407	2 2×3×2	3 3×2×2	0,15084			

...T35...

- b) Tabellarische Gegenüberstellung von Metrischer Kohärenz einiger Takttemporarios (die metrische Schichtung leitet sich von der Primzerlegung der Zahlen ab, bei fallenden Primzahlen) und der Harmonizität der entsprechenden Tonhöhenintervalle.

Intervall	Primzerlegung	Metrische Kohärenz	Harmonizität
1 / 1	2 / 2	∞	∞
81 / 80	$(3 \times 3 \times 3 \times 3) / (5 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2)$	0,05538	0,04747
25 / 24	$(5 \times 5) / (3 \times 2 \times 2 \times 2)$	0,07005	0,05415
16 / 15	$(2 \times 2 \times 2 \times 2) / (5 \times 3)$	0,08712	0,07653
27 / 25	$(3 \times 3 \times 3) / (5 \times 5)$	0,07607	0,04808
10 / 9	$(5 \times 2) / (3 \times 3)$	0,10889	0,07853
9 / 8	$(3 \times 3) / (2 \times 2 \times 2)$	0,11304	0,12000
75 / 64	$(5 \times 5 \times 3) / (2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2)$	0,05688	0,04658
32 / 27	$(2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2) / (3 \times 3 \times 3)$	0,07138	0,07692
6 / 5	$(3 \times 2) / 5$	0,13783	0,09934
5 / 4	$5 / (2 \times 2)$	0,14370	0,11905
81 / 64	$3 \times 3 \times 3 \times 3 / (2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2)$	0,05682	0,06000
32 / 25	$(2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2) / (5 \times 5)$	0,06920	0,05618
4 / 3	$(2 \times 2) / 3$	0,20797	0,21429
27 / 20	$(3 \times 3 \times 3) / (5 \times 2 \times 2)$	0,07750	0,06098
25 / 18	$(5 \times 5) / (3 \times 3 \times 2)$	0,07424	0,05227
45 / 32	$(5 \times 3 \times 3) / (2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2)$	0,06668	0,05976
64 / 45	$(2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2) / (5 \times 3 \times 3)$	0,06082	0,05639
36 / 25	$(3 \times 3 \times 2 \times 2) / (5 \times 5)$	0,06834	0,04967
40 / 27	$(5 \times 2 \times 2 \times 2) / (3 \times 3 \times 3)$	0,06952	0,05747
3 / 2	3 / 2	0,32447	0,27273
25 / 16	$(5 \times 5) / (2 \times 2 \times 2 \times 2)$	0,08001	0,05952
8 / 5	$(2 \times 2 \times 2) / 5$	0,12442	0,10639
81 / 50	$(3 \times 3 \times 3 \times 3) / (5 \times 5 \times 2)$	0,05961	0,04087
5 / 3	5 / 3	0,19613	0,11029
27 / 16	$(3 \times 3 \times 3) / (2 \times 2 \times 2 \times 2)$	0,08047	0,08333
16 / 9	$(2 \times 2 \times 2 \times 2) / (3 \times 3)$	0,09837	0,10714
9 / 5	$(3 \times 3) / 5$	0,14284	0,08523
50 / 27	$(5 \times 5 \times 2) / (3 \times 3 \times 3)$	0,06810	0,04587
15 / 8	$(5 \times 3) / (2 \times 2 \times 2)$	0,10209	0,08287
48 / 25	$(3 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2) / (5 \times 5)$	0,06562	0,05137
2 / 1	$(2 \times 2) / 2$	0,70507	1,00000

T36 – Zur Stochastik

- a) Statistische Auflistung sämtlicher Zeichen sowie der häufigsten Bigramme des Kapitels 24
(, _ ' stellt das Leerzeichen dar)

<u>Zeichen</u>		<u>Bigramme</u>			
812 * _	14 * I	174 * en	27 * uf	15 * ri	10 * nl
708 * e	14 *)	144 * n_	26 * it	15 * ra	10 * ni
439 * n	14 * (	137 * er	26 * h_	15 * na	10 * hi
364 * i	13 * y	129 * ch	26 * au	15 * ik	10 * f_
272 * s	13 * W	117 * e_	26 * _z	15 * ar	10 * am
263 * r	13 * G	101 * ei	25 * us	14 * ' _	10 * No
255 * t	13 * C	85 * in	25 * le	14 * hl	10 * _f
213 * h	13 * '	85 * de	25 * al	14 * gt	10 * _Z
191 * a	11 * Z	78 * r_	25 * _v	14 * l_	10 * _-
179 * d	11 * R	74 * _d	25 * _l	13 * ta	9 * wo
145 * u	11 * K	72 * te	24 * ti	13 * so	9 * ur
145 * l	10 * ö	70 * ie	23 * m_	13 * pr	9 * tt
136 * c	10 * %	69 * he	23 * el	13 * em	9 * ss
129 * g	9 * 4	65 * t_	23 * an	13 * _n	9 * o_
121 * o	8 * F	54 * st	22 * _w	13 * _g	9 * la
72 * m	8 * ;	54 * , _	21 * vo	13 * _T	9 * ko
71 * f	8 * #	52 * nd	21 * et	13 * _2	9 * k_
69 * b	7 * :	51 * ge	21 * Or	13 * _=(	9 * il
61 * .	7 * 8	48 * is	21 * _u	12 * ou	9 * hk
59 * -	7 * 6	47 * _s	20 * rs	12 * uc	9 * gs
58 * ,	6 * P	46 * un	20 * nu	12 * to	9 * eu
51 * z	6 * L	45 * ng	20 * ll	12 * sp	9 * bi
49 * k	6 * 3	45 * be	20 * g_	12 * ot	9 * Wa
48 * w	5 * _x	45 * _e	20 * fi	12 * or	9 * 24
37 * E	5 * V	43 * es	19 * ke	12 * i_	9 * %_
36 * l	4 * j	43 * . _	19 * ah	12 * ht	9 * _G
35 * '	4 * 5	42 * ne	19 * _s	12 * eh	8 * ve
35 * \	3 * T	41 * sc	18 * ',	12 * as	8 * ob
33 * v	3 * ß	40 * s_	18 * me	12 * ab	8 * n,
32 * B	3 * U	40 * re	18 * hr	12 * 2_	8 * lg
30 * D	3 * J	39 * ic	18 * _B	12 * _h	8 * hä
30 * 2	3 * =	38 * ig	17 * ze	12 * _W	8 * gi
28 * ä	3 * 9	35 * _a	17 * we	11 * yn	8 * da
25 * A	3 * 7	33 * si	17 * _b	11 * n.	8 * Ma
24 * N	2 * Ü	33 * se	17 * _O	11 * lt	8 * ; _
23 * p	2 * X	33 * nt	16 * ts	11 * l_	8 * --
23 * S	2 * +	31 * _'	16 * dn	11 * hs	8 *) _
23 * 0	1 * q	31 * _i	16 * at	11 * ha	8 * _m
21 * T	1 *]	30 * rd	16 * ac	11 * ec	8 * _l
21 * O	1 * [	30 * on	15 * zu	11 * - _	8 * _E
16 * ü	1 * Y	29 * li	15 * wi	11 * _M	8 * _D
16 * H	1 * Q	29 * d_	15 * th	10 * om	8 * _#
15 * M	1 * >	28 * di	15 * rt	10 * ol	7 * ut

...T36...

b) Beispiele von Markoffsynthesen verschiedener Ordnung

Originaltext:

"ANFANG DES 20. JAHRHUNDERTS ENTWICKELTE DER RUSSISCHE
MATHEMATIKER ANDREI ANDREJEWITSCH MARKOFF EINE METHODE"

Markoffsynthesen:

Ordnung

- 1: STSFAOAWD W 2S ENE AKEANSI UTF0AKMR FAN RRCE0CINSNWGEKEEU
UEAHRFUFJIETFI SEERWANMNJ NCISAERERT FAOURNREIKMDKI EC EO
- 2: ETSITWING R MATSITWI ANE DENERENTEREICHRRH ATELTHREWICHE
MANDELTWISINFANTHODR DEJELTSIKE 20. EWITETH 20.
- 3: E METHODERTS 20. 20. JAHRHUNDER RUSSISCH MARKOFF ENTWICKELTE DER
ANDERTS 20. JAHRHUNDER RUSSISCHE METHEMARKOFF EI AN
- 4: I ANDREI ANG DES 20. JAHRHUNDER ANDREJEWITSCH MARKOFF EINE
MATHEMATHEMATHEMATHEMATIKER RUSSISCHE ME
- 5: DE ANFANG DES 20. JAHRHUNDERTS ENTWICKELTE DER RUSSISCHE
MATHEMATIKER ANDREJEWITSCH MARKOFF EINE METHODE ANFANG
- 6: IKER ANDREI ANDREI ANDREJEWITSCH MARKOFF EINE METHODE ANFANG DES
20. JAHRHUNDERTS ENTWICKELTE DER RUSSISCHE
- 7: G DES 20. JAHRHUNDERTS ENTWICKELTE DER RUSSISCHE MATHEMATIKER
ANDREJEWITSCH MARKOFF EINE METHODE ANFANG DES 20.
- 8: ELTE DER RUSSISCHE MATHEMATIKER ANDREI ANDREJEWITSCH MARKOFF EINE
METHODE ANFANG DES 20. JAHRHUNDERTS ENTWICKELTE
- 2,2: KODESCHE 20. ANTWICKERE ELTHRKODEWICHUNEI ANE MANETERUSCH ERUNG
JERUNDRTWI AR ERUNTHE 20. MEJAHR ARH RKOFANDENTEJATSCHNE
- 2,4: HE DENDEWICKODEINE DE ANTWICHEREWICKERKEJE MARKOF
RKOFANDREJAREJAHRUNE ANDE ANDRKELTHE MANTSSIKER ANTWITICH METH
RHUSISCKELTS
- 2,6: NTWICKELTWIS EI JAHUNFANDREJEJEWICKOFFF EICKEMARKOFF
ETHEMATIKOFANDREJEWITS 20. JAHRHUNDRE DEICKERTHODEINE ANDENTIKER
ANDREITS MAR
- 2,8: HODE MATI ANG DEINE MATIKELTE DES MARKOFF ENTWITS EI ANFANG
DERTHODER ANG DES ANG DE METHE ANDRE DER RUSSISCHEJEWICKERTS ENTS

...T36...

c) Alle im Originaltext vorhandenen, nach Ordnung aufgelisteten Ketten
([_]) stellt das Leerzeichen dar; Wiederholungen in Klammern)

8: 110 Ketten	MATHEMAT MATIKER METHODE NDERTS "ANFANG JAHRRHU "ANFANG 20. JAH ANDREI ANDREJE DER_RUS DES_20. EINE_ME R_ANDREI ENTWICK JAHRHUN MARKOFF MATHEMA METHODE RUSSISC 0. JAHRH 20. JAHR AHRHUNDE ANDREI_A ANDREJEW ANFANG_D ANG_DES ARKOFF_E ATHEMATI ATIKER_A CH_MARKO CHE_MATH CKELTE_D DE "ANFA DER_RUSS DERTS_EN DES_20. DREI_AND DREJEWIT E "ANFAN E_DER_RU E_MATHEM E_METHOD EI_ANDRE EINE_MET EJEWITSC ELTE_DER EMATIKER ENTWICKE ER_ANDRE ER_RUS ERTS_ENT ES_20. J ETHODE " EWITSCH F_EINE_M FANG_DES FF_EINE G_DES_20 H_MARKOF HE_MATHE HEMATIKE HODE "AN HRHUNDER HUNDERTS I_ANDREJ ICKELTE IKER_AND INE_METH ISCHE_MA ITSCH_MA JAHRHUNDE JEWITSCH KELTE_DE KER_ANDR KOFF_EIN LTE_DER MARKOFF	E_DER_R E_MATHE E_METHO EI_ANDR EINE_ME EJEWITS ELTE_DE EMATIKE ENTWICK ER_ANDR ER_RUSS ERTS_EN ES_20. ETHODE EWITSCH F_EINE FANG_DE FF_EINE G_DES_2 H_MARKO HE_MATH HEMATIK HODE "A SCHE_MAT SISCHE_M SSISCHE TE_DER_R THEMATIK THODE "A TIKER_AN TS_ENTW TSCH_MAR TWICKELT UNDERTS USSISCHE WICKELTE LTE_DER MARKOFF MATHEMA MATIKER METHODE NDERTS "ANFANG JAHRRHU "ANFANG EJEWITSC ELTE_DER ANDREI NFANG_D EMATIKER ANDREJE DER_RU DES_20 EINE_M ENTWIC JAHRRHU MARKOF REI_AND SCH_MAR SCHE_MA SISCHE SSISCHE TE_DER THEMATI TIKER_A TS_ENTW TSCH_MA TWICKEL DER_RUS DERTS_E DES_20. DREI_AN DREJEWI E "ANFA	6: 109 Ketten	MATIKE METHOD NDERTS NDREI NE_MET NFANG NG_DES NTWICK ODE "A OFF_EI R_ANDR R_RUSS REI_AN REJEWI RHUNDE RKOFF RTS_EN RUSSISC S_20. S_ENTW SCH_MA SCHE_M SISCHE SSISCHE TE_DER THEMAT THODE TIKER TS_ENT TSCH_M TWICKE UNDERT USSISC WICKEL WITSCH	EI_AN EINE EJEWI ELTE EMATI ENTWI ER_AN ER_RU ERTS ES_20 ETHOD EWITS F_EIN FANG FF_EI G_DES H_MAR HE_MA HODE HRHUN HUNDE I_AND ICKEL IKER INE_M ISCHE ITSCHE JAHRRH JEWIT KER_A KOFF LTE_D MARKO MATHE MATIK METHO NDERT NDREI NDREJ NE_ME NFANG NG_DE NTWIC ODE " OFF_E R_AND R_RUS REI_A REJEW RHUND RKOFF RTS_E RUSSI S_20. S_ENT SCH_M SCHE SISCHE SSISC TE_DE THEMA THODE TIKER TS_EN TSCH TWICK UNDER USSIS WICKE WITSC	4: 107 Ketten	METH NDER NDRE (2) NE_M NFAN NG_D NTWI ODE AND (2) DER DES EIN ENT JAH MAR MAT MET RUS S_20 S_EN SCH SCHE SISC SSIS TE_D THEM THOD TIKE TS_E TSCH TWIC UNDE USSI WICK WITS 3: 99 Ketten	ERT ES ETH EWI F_E FAN FF G_D H_M HE HEM HOD HRH HUN I_A ICK IKE INE ISC ITS JAH JEW KEL KER KOF LTE MAR MAT (2) MET NDE NDR (2) NE NFA NG NTW ODE OFF R_A R_R REJ RHU RKO RTS RUS S_2 S_E SCH (2) SIS SSI TE THE THO TIK TS TSC TWC UND USS WIC WIT DER (2) DES DRE (2) E " E_D E_M (2) EIN EJE ELT EMA ENT ER (2)	2: 77 Ketten	"A " 2 A (2) D (2) J M (3) R 0. 20 AH AN (4) AR AT (2) CH (2) CK DE (4) DR (2) E (2) E (4) EI (2) EJ EL EM EN ES ET EW F FA FF G H HE (2) HO HR HU I IC IK IN IS IT JA JE KE (2) KO LT MA (3) ME ND (3) NE NF NG NT OD OF R (2) RE (2) RH RK RT RU S (2) SC (2) SI SS TE TH (2) TI TS (2)	TW UN US WI (2) 1: 24 Ketten (=Zeichen) " . _ (13) 0 2 A (8) C (3) D (6) E (16) F (3) G H (6) I (6) J (2) K (3) L M (4) N (7) O (2) R (8) S (6) T (7) U (2) W (2)
---------------------	--	---	---------------------	--	--	---------------------	--	--	--------------------	---	--

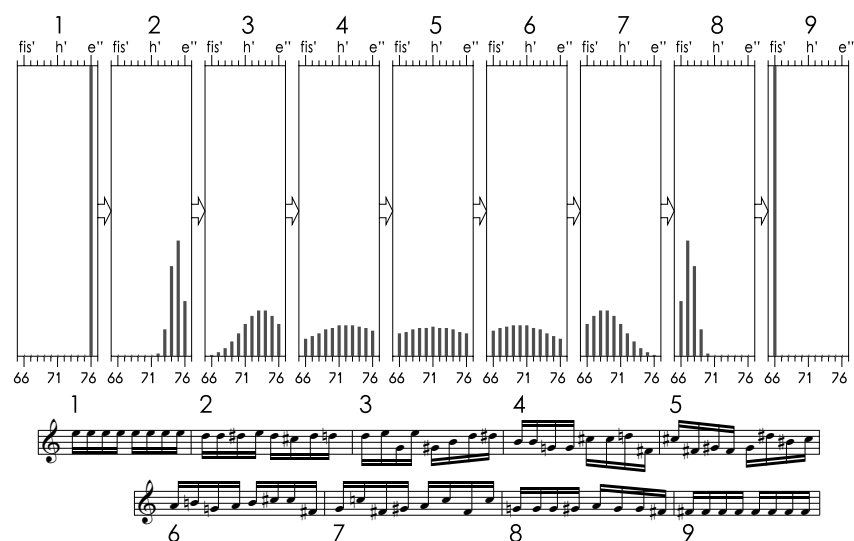
Γ37 – Beispiele der stochastischen Erzeugung von Noten

a) Markoffthesen (Ordnungen 1-8) einer J.S.Bach-Phrase.

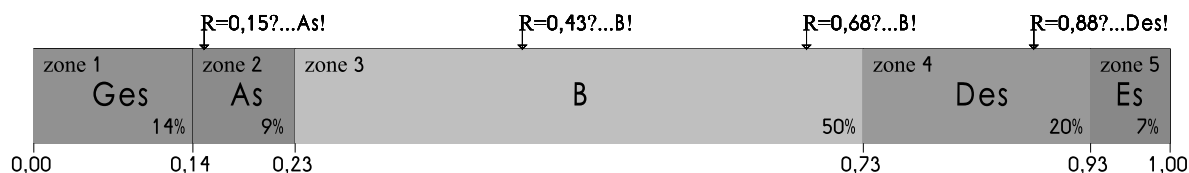
Original

↓ Markoff-Ordnung der Resynthese

b) Umsetzung in 9 Stadien von Wahrscheinlichkeit in Noten;
oben: Wahrscheinlichkeit (y, dunkelgrau) gegenüber (MIDI-)Tonhöhe (x),
unten: die resultierenden, den 9 Stadien entsprechenden Noten.

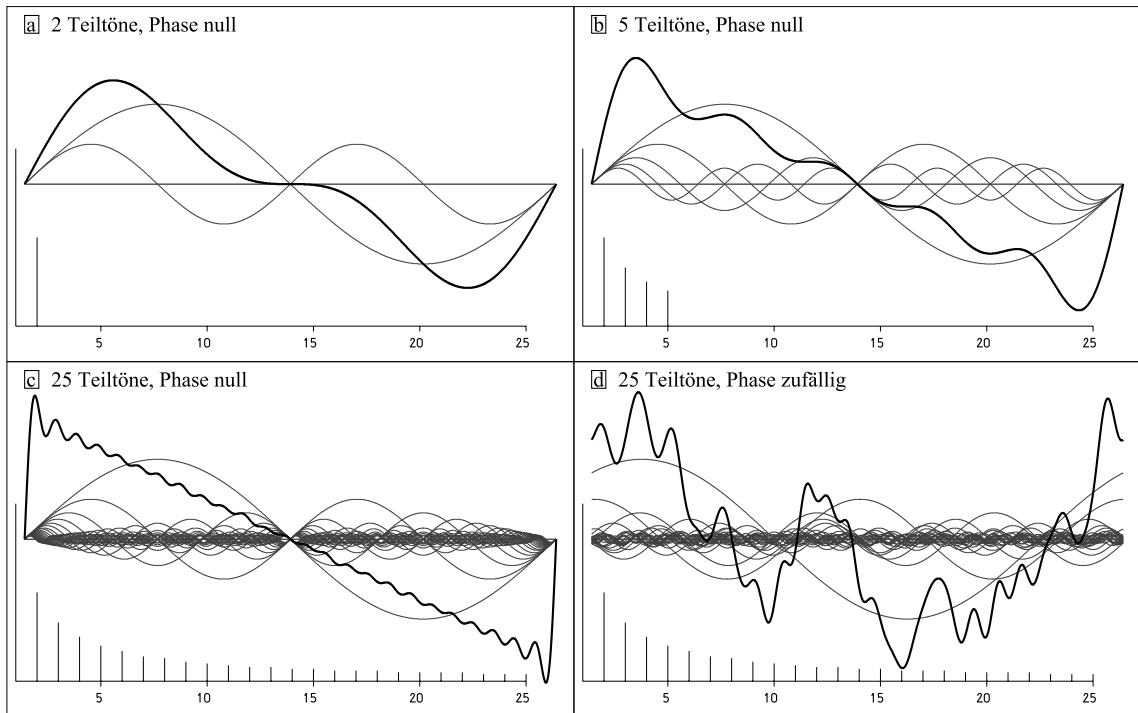


c) Methode zur Umsetzung von Noten-Wahrscheinlichkeit (%) in Noten mittels Zufallszahlen anhand eines Fünf-Noten-Vorrats bzw. der Anwendung vierer Zufallszahlen R.

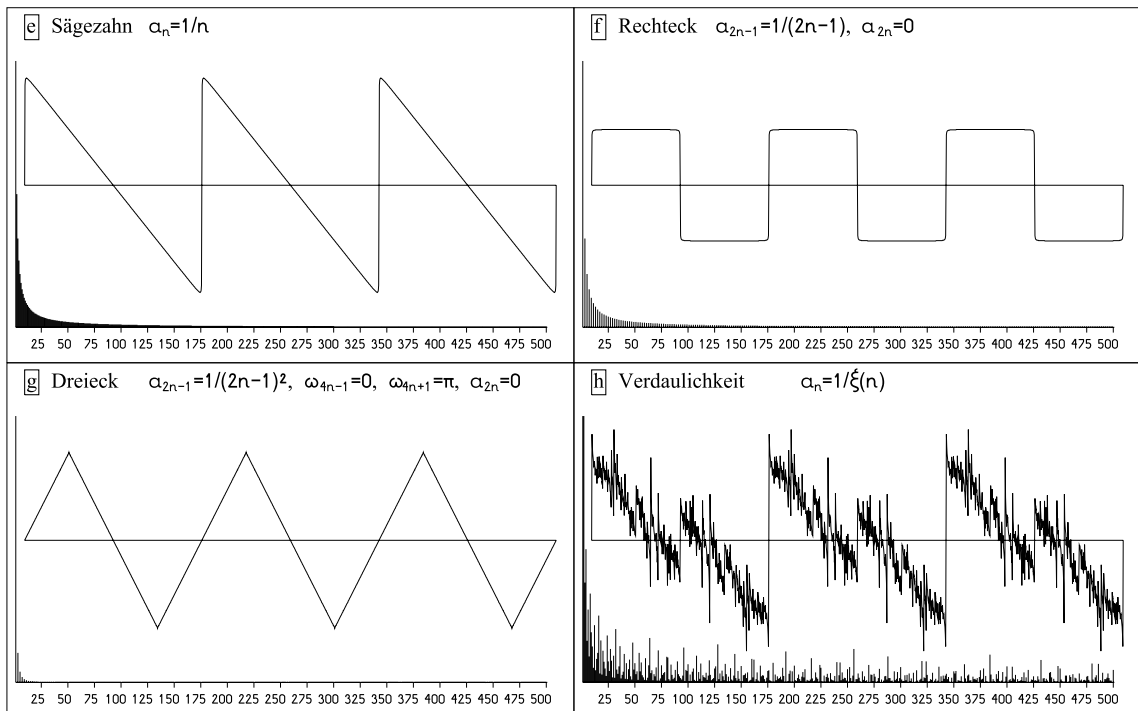


Γ38 – Beispiele der Fourieranalyse und -synthese

a-d) Wellensynthese eines Sägezahnpektrums

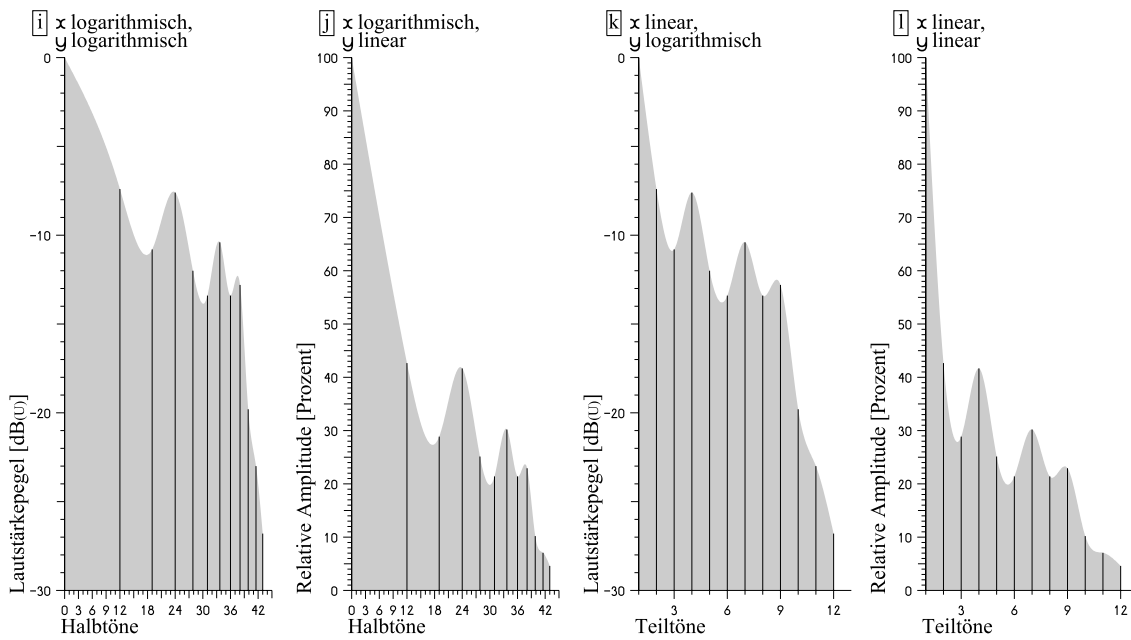


e-h) Synthese vier Wellenformen mit je 500 Teiltönen (α_t = Amplitude, w = Phase, t = Teilton)

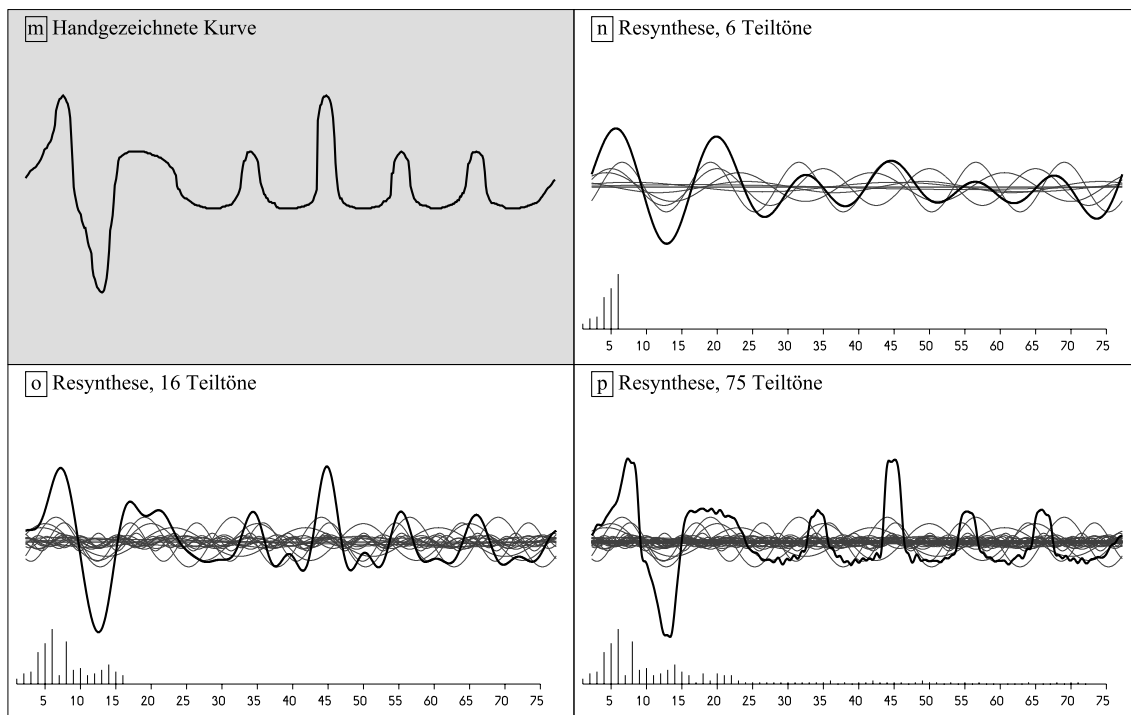


...F38...

i-l) Fagott-Spektrum viermal (Tonhöhe und Lautstärke abwechselnd linear-logarithmisch)



m-p) Handgezeichnete Kurve mit drei Fourier-resynthetischen Annäherungen



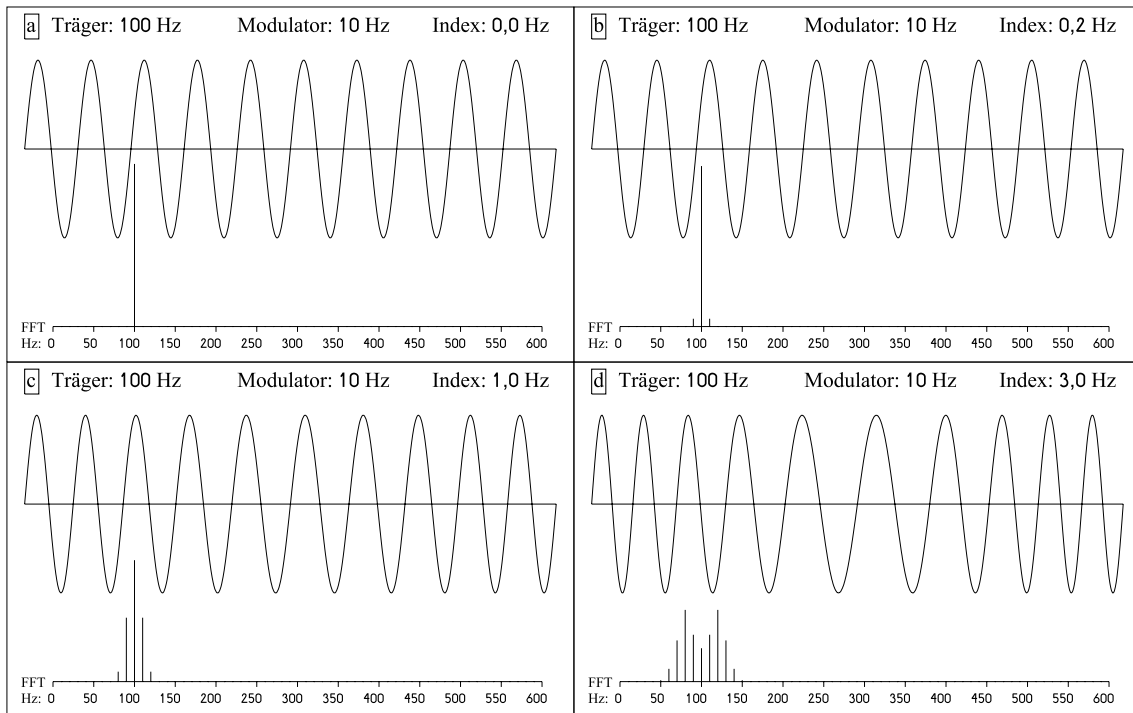
T39 – Fourieranalyse (DFT) einer handgezeichneten Kurve

(der 1. Teilton entspricht der vollen Breite der Kurve)

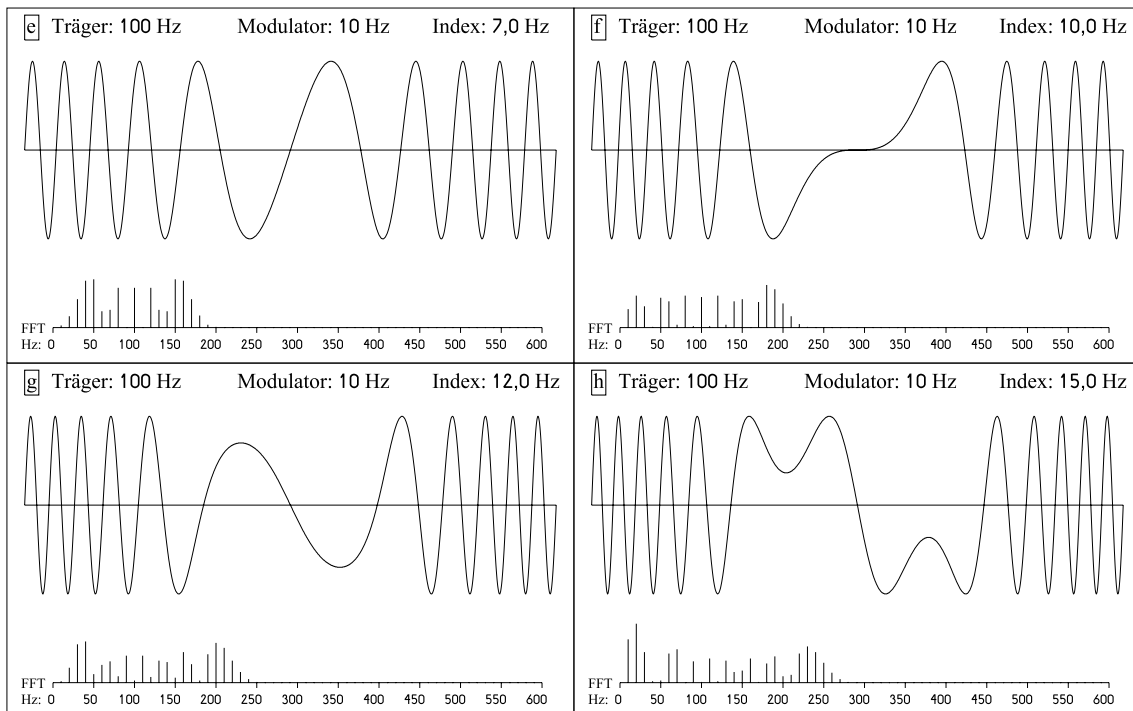
Teilton	Ampl. /100	Phase /1000	Teilton	Ampl. /100	Phase /1000	Teilton	Ampl. /100	Phase /1000
1	3	61	34	1	456	67	0	0
2	6	107	35	1	947	68	1	469
3	7	374	36	2	240	69	0	0
4	18	138	37	0	0	70	1	524
5	23	68	38	1	79	71	1	986
6	31	906	39	0	0	72	0	0
7	5	260	40	1	925	73	0	0
8	24	670	41	1	616	74	0	0
9	8	535	42	2	896	75	0	0
10	9	510	43	1	336	76	0	0
11	5	234	44	1	683	77	1	640
12	6	236	45	1	389	78	0	0
13	8	935	46	1	550	79	1	438
14	11	326	47	0	0	80	0	0
15	7	652	48	1	494	81	1	325
16	5	206	49	2	47	82	0	0
17	1	44	50	1	298	83	0	0
18	6	11	51	1	917	84	0	0
19	2	927	52	0	0	85	0	0
20	6	868	53	1	739	86	0	0
21	5	445	54	0	0	87	0	0
22	5	651	55	1	628	88	0	0
23	2	357	56	0	0	89	0	0
24	1	499	57	1	432	90	0	0
25	1	163	58	0	0	91	0	0
26	1	310	59	0	0	92	0	0
27	1	34	60	0	0	93	0	0
28	1	330	61	0	0	94	0	0
29	1	16	62	0	0	95	0	0
30	1	972	63	0	0	96	0	0
31	1	799	64	1	896	97	0	0
32	1	642	65	0	0	98	0	0
33	1	733	66	0	0	99	0	0

Γ40 – Beispiele der Frequenzmodulation und der Phasenverzerrung

a-d) Modulatorfrequenz < Trägerfrequenz bei Index = 0-3 (10 Trägerperioden = 1 Modulatorperiode)

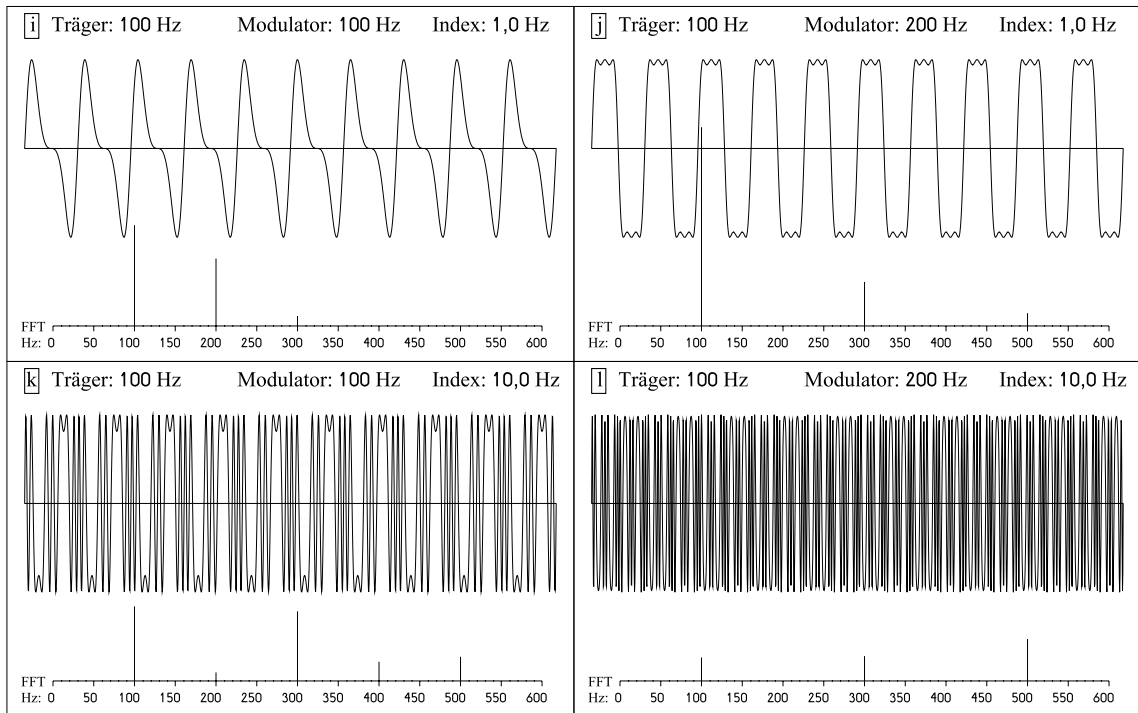


e-h) Modulatorfrequenz < Trägerfrequenz bei Index = 7-15 (10 Trägerperioden = 1 Modulatorperiode)

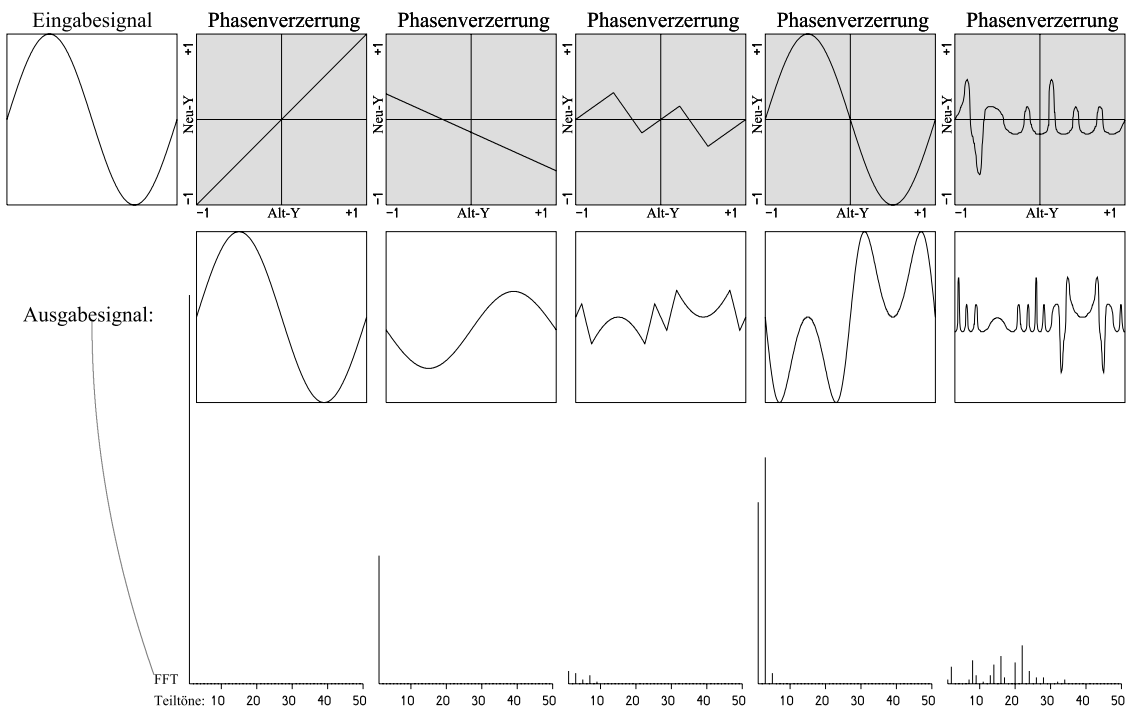


...T40...

i-l) Modulatorfrequenz \geq Trägerfrequenz bei Index = 1 und 10

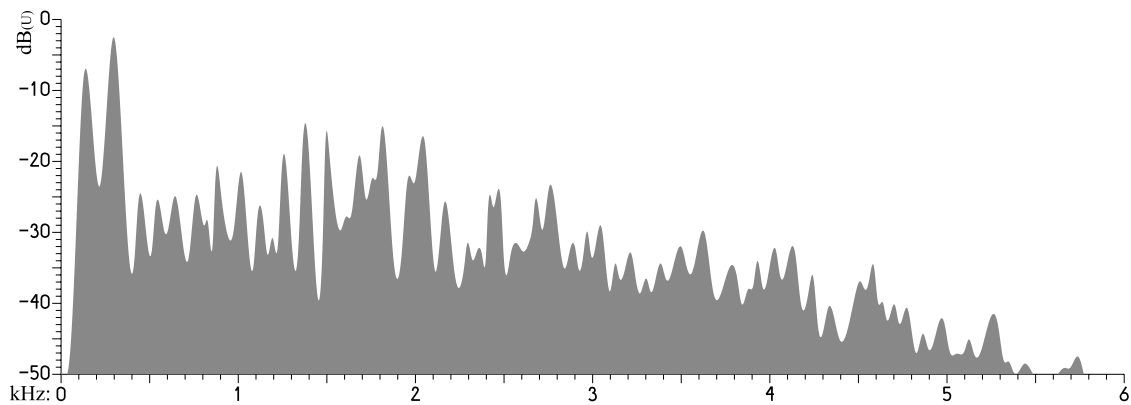


m) Phasenverzerrungen (eines Sinus-Eingabesignals, mit Ausgabesignalen und deren DFT)

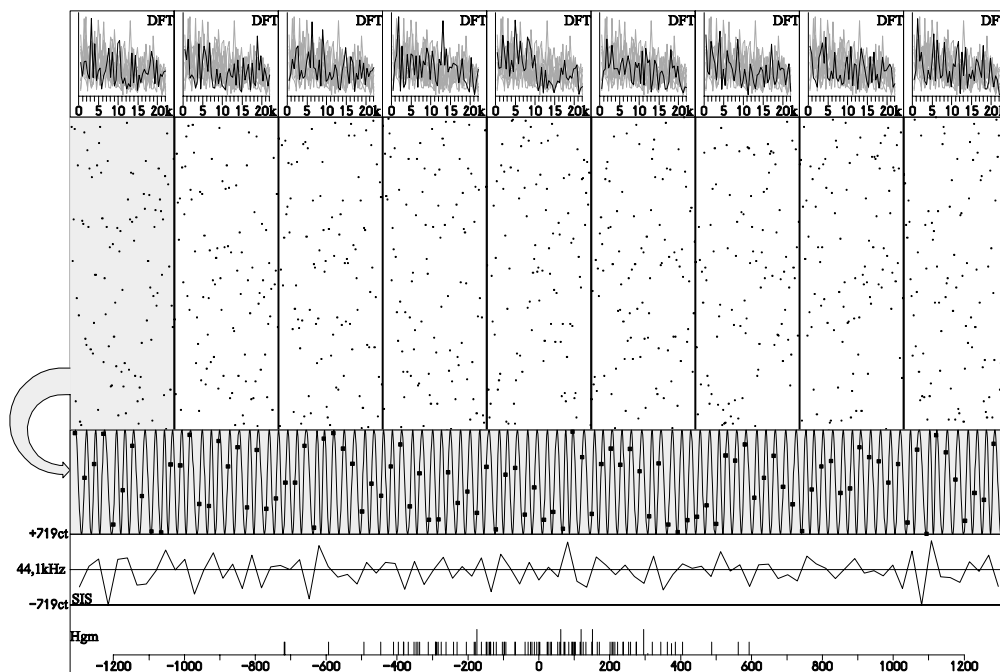


Γ41 – Klang und Geräusch

a) Geräusch-Spektrum eines Tamtams (92 dB(SPL) 70 cm Ø nach R.-D. Weyer)

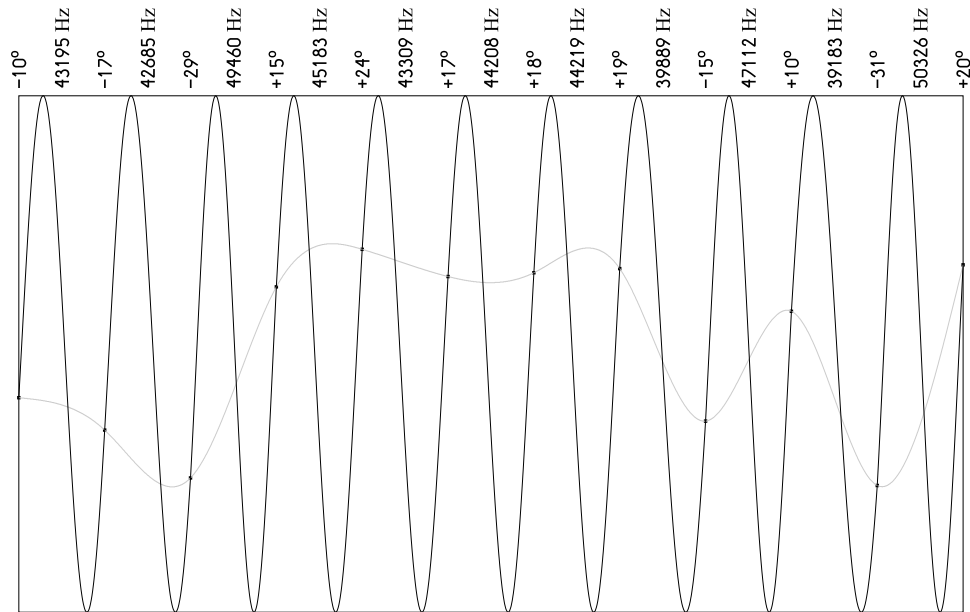


b) Zufallszahlen als Samples (weißes Rauschen – von mitte links nach rechts) mit ISIS-Analyse (SIS) und -Histogramm (Hgm) sowie Sample-DFTs in den neun Feldern oben

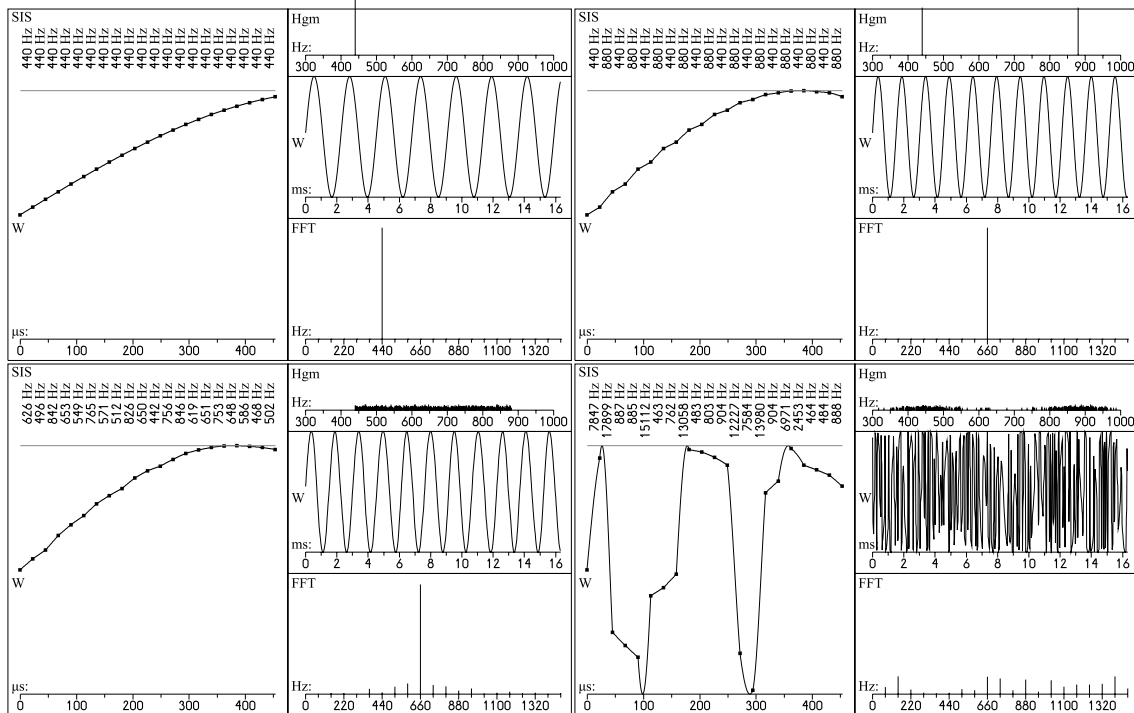


...Γ41...

- c) ISIS-Analyse am Beispiel von 12 zufälligen Samples: 11 Sinusfrequenzen, mit kontigual verbindenden Phasen (aus rein optischen Gründen mit einem die Samples durchlaufenden Spline wie aus manchem Schallverarbeitungsprogramm bekannt – vgl auch Γ03g)

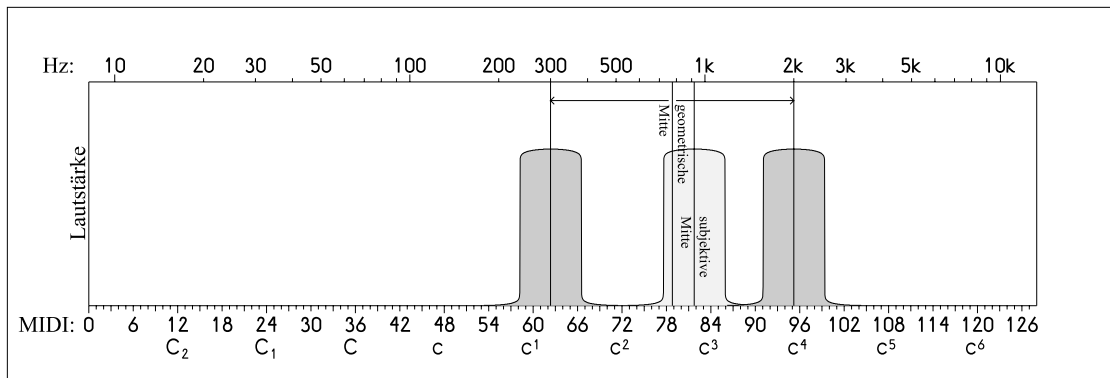


- d) Vier ISIS-Synthesen: 1) der Tonhöhe a', 2) einem Oktaventremolo von a' und a'', 3) zwischen a' und a'' zufällig verteilten Frequenzen, 4) zufällig verteilte Frequenzen mit Wahrscheinlichkeitsmaxima bei a' und a''; dazu Histogramme und DFTs

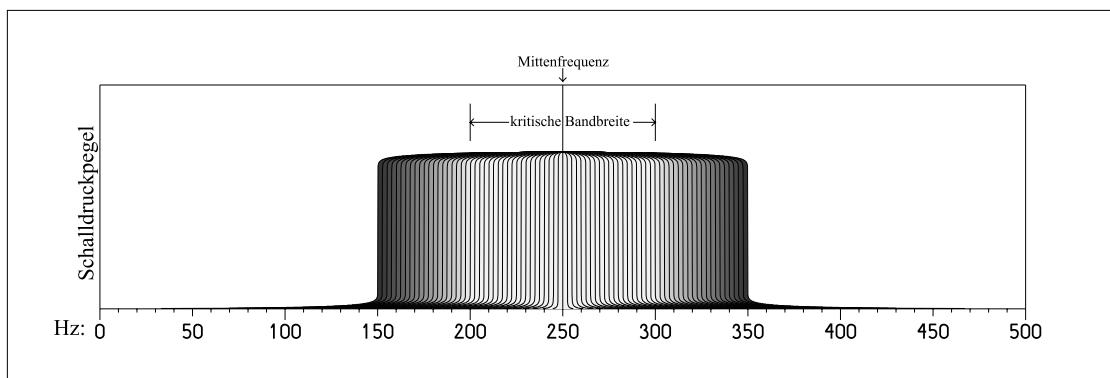


Γ42 – Die kritische Bandbreite

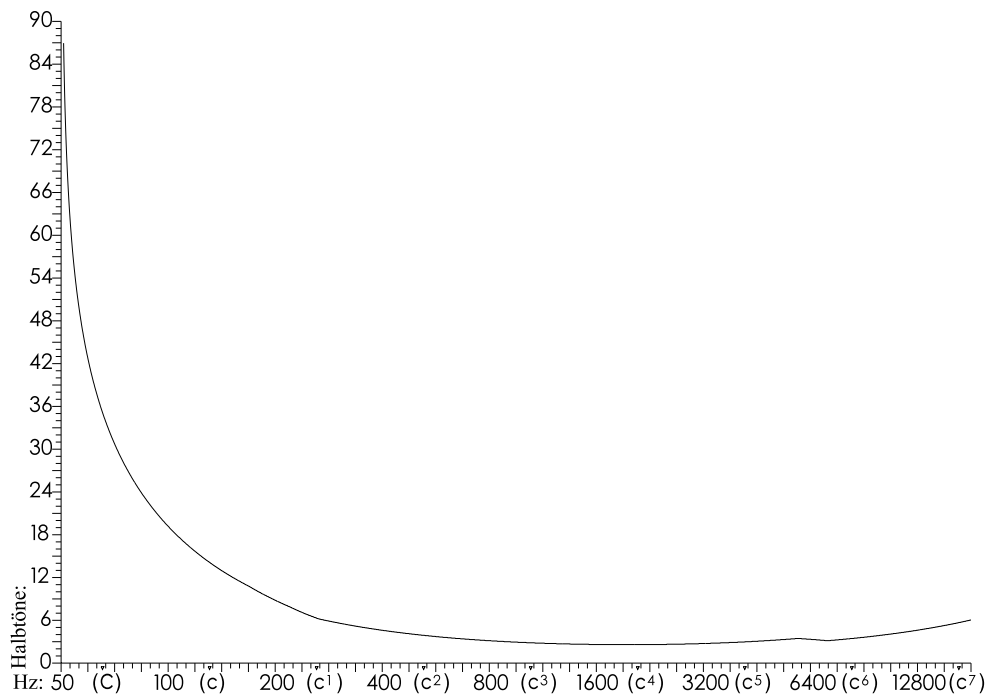
a) Geometrische gegenüber subjektiver Mitte zweier Rauschbänder



b) Lautheitsveränderung (Grauwert) bei festem Druckpegel eines sich erweiternden Rauschbandes

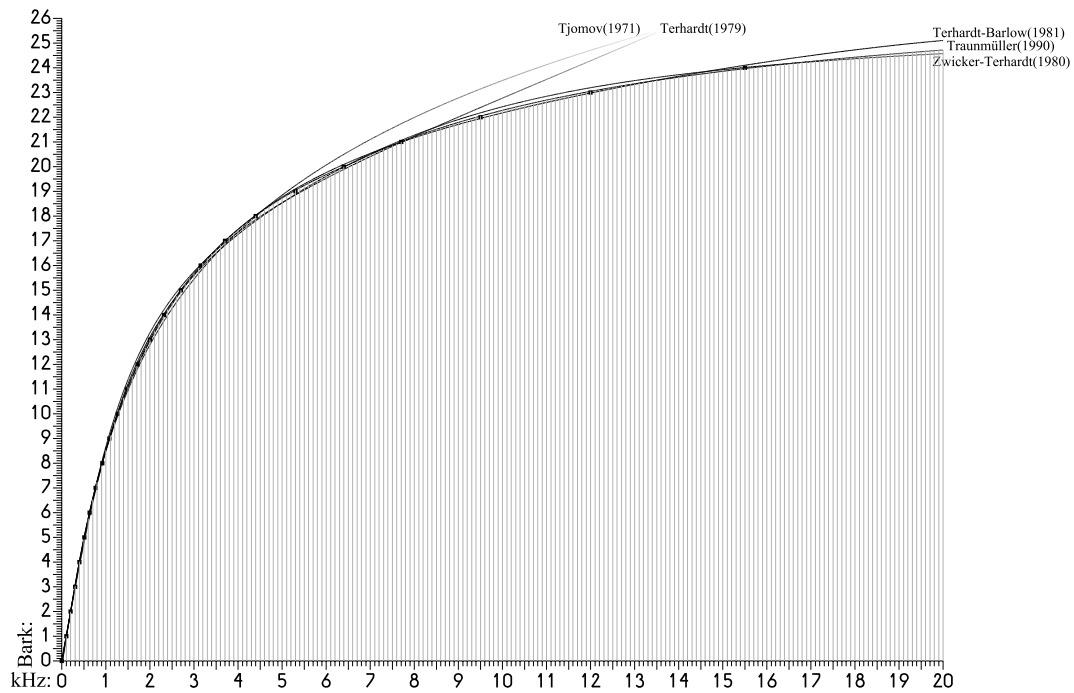


c) Die kritische Bandbreite in Halbtönen (y) als empirische Funktion der Mittenfrequenz (x)

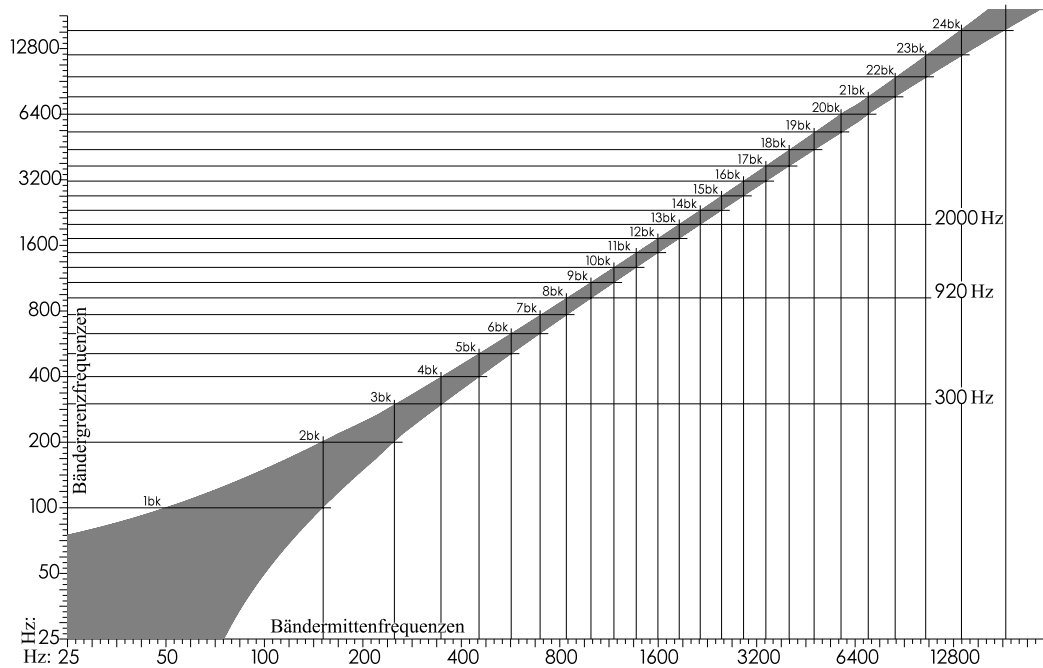


... F42 ...

- d) Die kritische Bandbreite in Bark (γ) als algebraische Annäherungen der Eckfrequenzen (α) – die senkrechten grauen Linien markieren die Obertöne eines 100-Hz-Spektrums



- e) Die kritische Bandbreite in Grenzfrequenzen (γ) bezogen auf die Mittenfrequenzen (α)



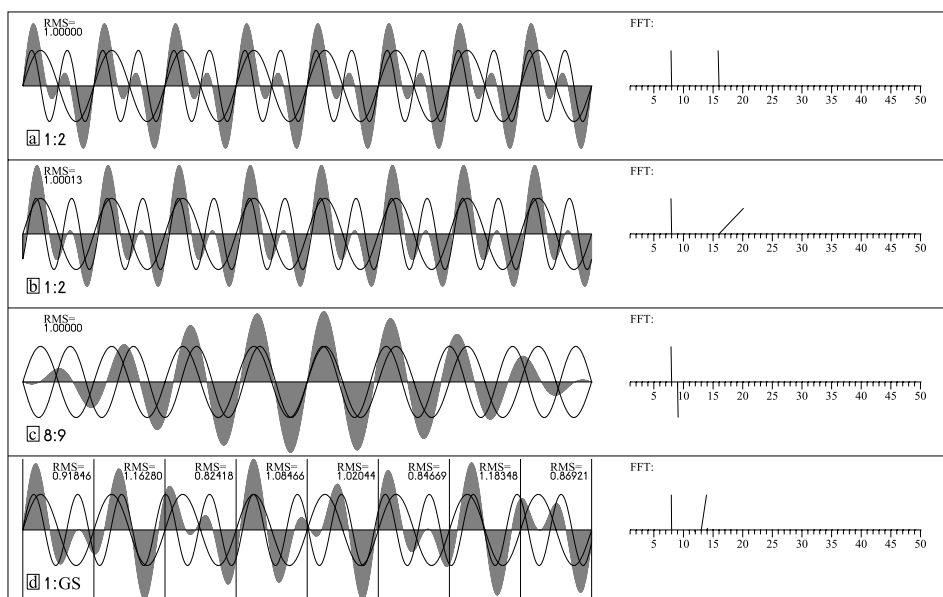
T43 – Übersetzung Bark→Hertz

nach den Formeln von Terhardt [1979] (bei Bark \leq 2,19)
und Traunmüller [1990] (bei Bark $>$ 2,19)

Bark→	+0,0	+0,1	+0,2	+0,3	+0,4	+0,5	+0,6	+0,7	+0,8	+0,9
↓0:	0,000	10,03	20,05	30,08	40,11	50,15	60,19	70,24	80,30	90,36
1:	100,4	110,5	120,6	130,7	140,9	151,0	161,2	171,4	181,6	191,8
2:	202,0	212,3	222,2	231,3	240,5	249,7	259,1	268,5	278,0	287,5
3:	297,2	306,9	316,8	326,7	336,7	346,7	356,9	367,2	377,5	388,0
4:	398,5	409,1	419,9	430,7	441,6	452,7	463,8	475,0	486,4	497,8
5:	509,3	521,0	532,8	544,7	556,6	568,8	581,0	593,3	605,8	618,4
6:	631,1	643,9	656,9	670,0	683,2	696,6	710,1	723,7	737,5	751,4
7:	765,5	779,7	794,1	808,6	823,2	838,1	853,0	868,2	883,5	899,0
8:	914,6	930,4	946,4	962,6	978,9	995,4	1012	1029	1046	1063
9:	1081	1099	1117	1135	1153	1172	1190	1209	1229	1248
10:	1268	1288	1308	1328	1349	1370	1391	1413	1435	1457
11:	1479	1502	1525	1548	1571	1595	1620	1644	1669	1694
12:	1720	1746	1772	1799	1826	1853	1881	1909	1938	1967
13:	1997	2027	2057	2088	2120	2152	2184	2217	2251	2285
14:	2319	2354	2390	2426	2463	2501	2539	2578	2617	2658
15:	2698	2740	2783	2826	2870	2915	2960	3007	3054	3102
16:	3152	3202	3253	3305	3359	3413	3468	3525	3583	3642
17:	3702	3764	3827	3892	3958	4025	4094	4164	4237	4311
18:	4386	4464	4543	4625	4708	4794	4882	4972	5065	5160
19:	5258	5359	5462	5568	5678	5790	5906	6026	6149	6276
20:	6407	6543	6657	6775	6895	7019	7147	7278	7413	7552
21:	7695	7843	7995	8152	8314	8482	8655	8833	9018	9209
22:	9407	9613	9825	10046	10275	10513	10761	11018	11287	11566
23:	11858	12162	12480	12813	13161	13527	13910	14313	14737	15183
24:	15654	16152	16678	17236	17829	18459	19131	19848	20616	21441

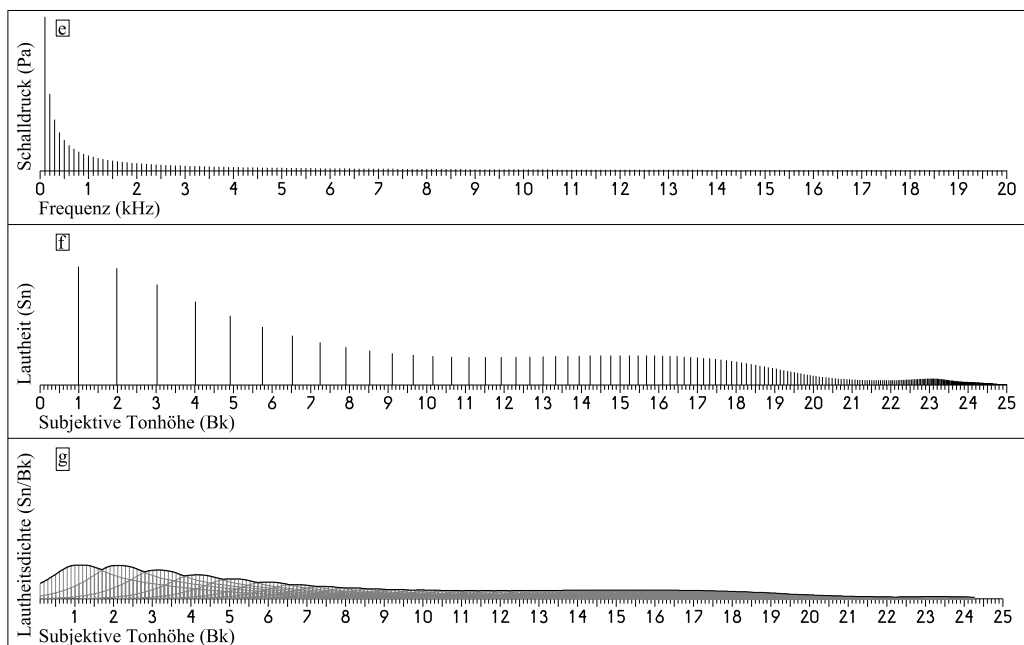
Γ44 – Summierung (grau) zweier Sinuskurven: RMS-Wert, DFT-Spektrum (Schräge=Phase)

- Kurven im Oktavverhältnis mit gleicher Phase
- Kurven im Oktavverhältnis mit um ein Achtel der kürzeren Periode verschobener Phase
- Kurven im Frequenzverhältnis 8:9 mit entgegengesetzter Initialphase: fluktuierende Amplitude
- Kurven im Frequenzverhältnis des Goldenen Schnitts (1:1,618034) mit gleicher Initialphase



Spektra eines 100 Hz-Sägezahntons:

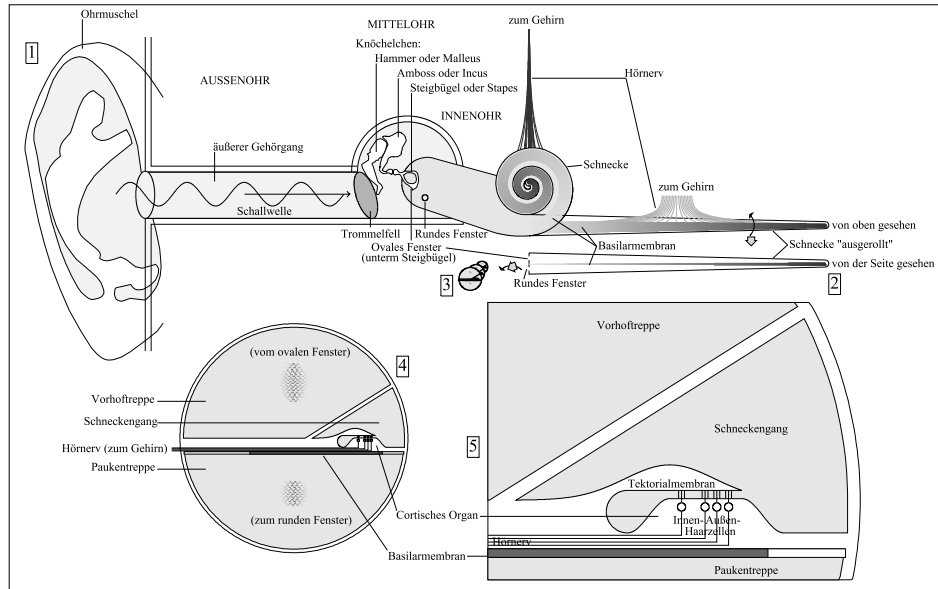
- Physikalisch, in Schalldruck (y in Pascal) und Teiltönen (x in Kilohertz)
- Subjektiv, in Lautheit (y in Sone) gegenüber subjektiver Tonhöhe (x in Bark)
- Subjektiv, in Lautheitsdichte (y in Sone/Bark) gegenüber subjektiver Tonhöhe (x in Bark)



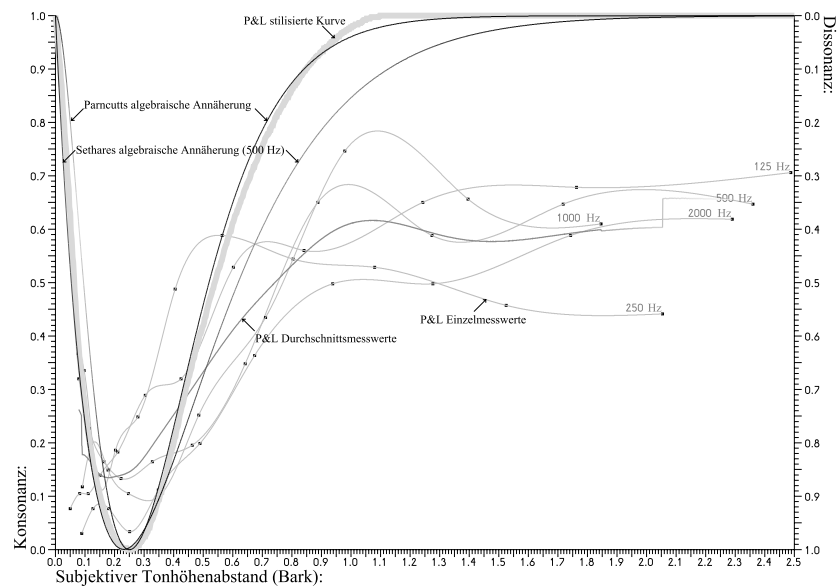
Γ45 – Zur physiologischen Phonetik

a) Abbildungen des Ohrs:

- 1) mit „ausgerollter“ Schnecke und Basilarmembran („Aufsicht“)
- 2) die um 90° um ihre Längsachse gedrehte Schnecke (Basilarmembran „von der Seite“)
- 3) die um 90° seitlich gedrehte Schnecke als typische Querschnitte quasi „von vorne“ gezeigt
- 4) eine Vergrößerung eines bei Punkt 3 gezeigten Querschnitts der Schnecke
- 5) eine weitere Vergrößerung vom Teil des Schnecken-Querschnitts mit dem Cortischen Organ

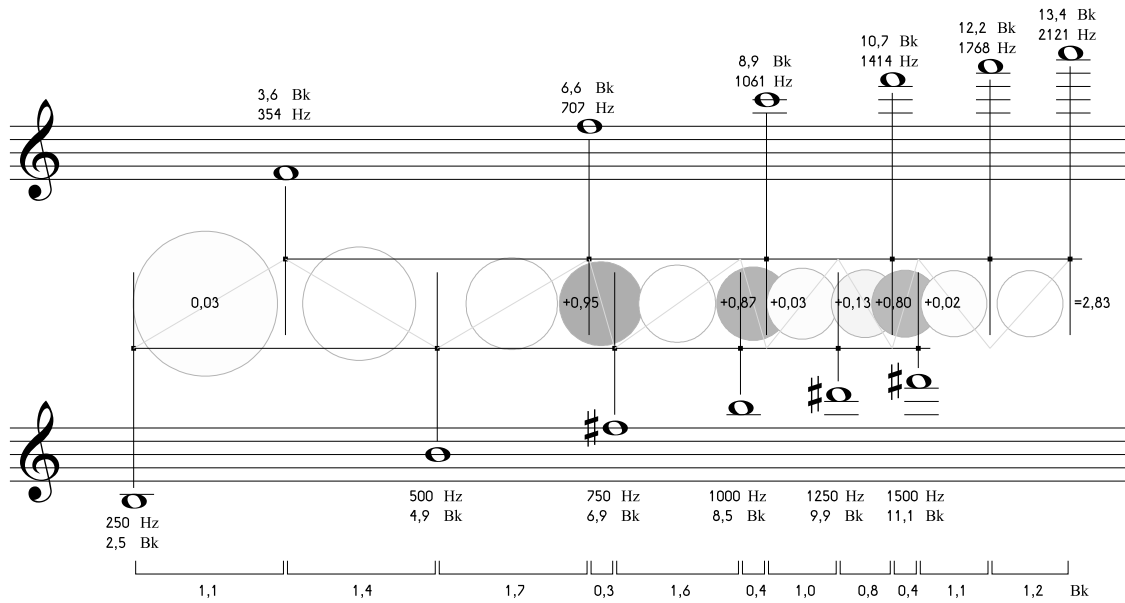


b) Plomp und Levelts experimentelle Ergebnisse zur Konsonanz und Dissonanz gegenüber subjektiver Tonhöhe in Bark (hellgrau: ein Teil ihrer – spline-verbundenen – Messwerte, mittelgrau: deren Durchschnitt, fett hellgrau: Plomp und Levelts stilisierte Dissonanzkurve, algebraische Annäherungen von Parncutt und Sethares wechselnd grau daneben)

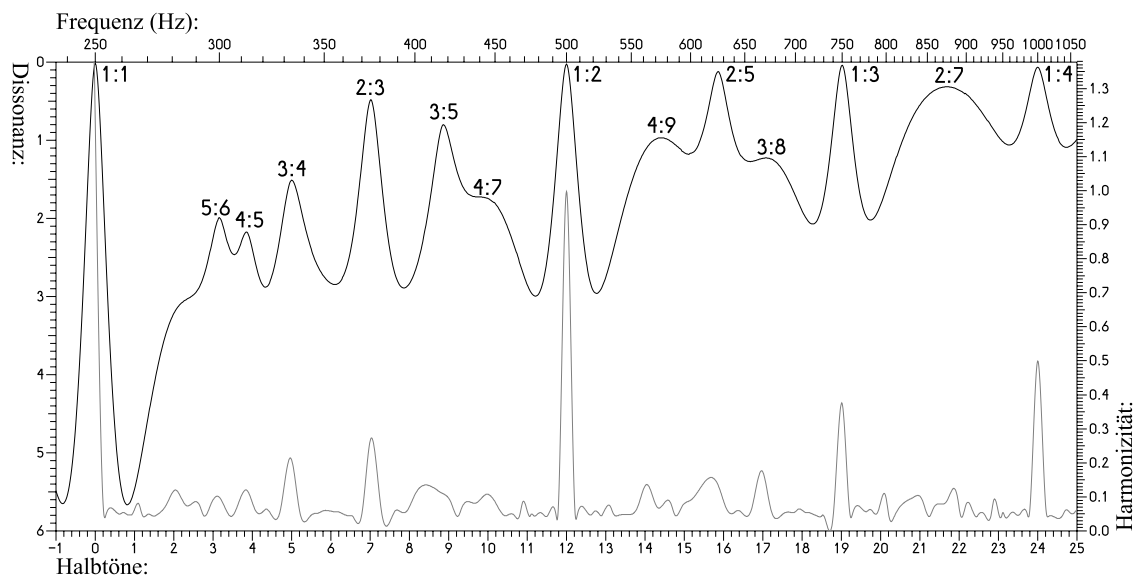


...F45...

c) Dissonanzberechnung nach Plomp und Levelt eines Tritonus mit sechs gleich lauten Teiltönen

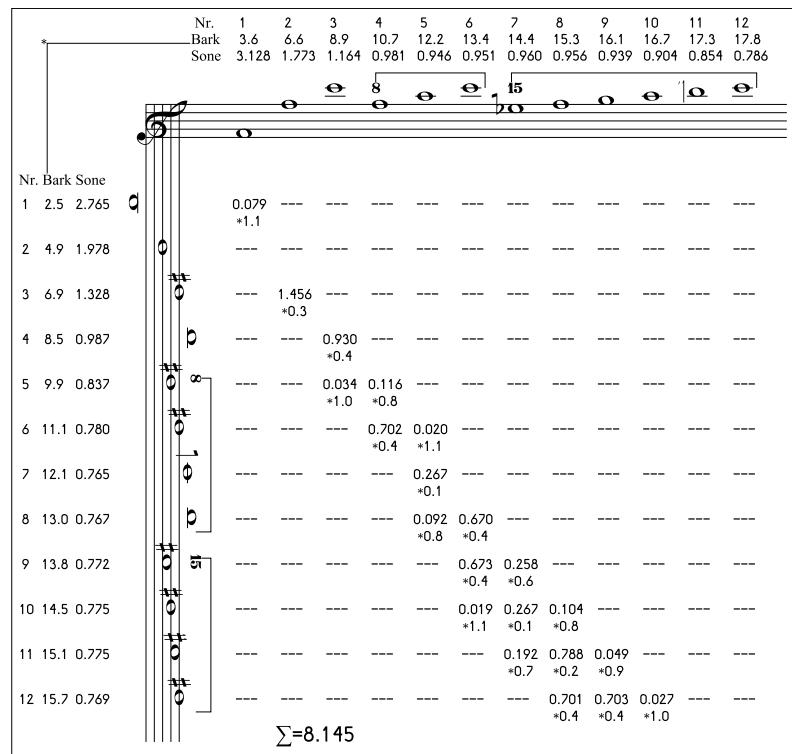


d) Berechnung von Plomp und Levelt der Gesamtdissonanz verschiedener Tonpaare mit sechs gleich lauten Teiltönen, hier auf einen Umfang von zwei Oktaven erweitert und zum Vergleich mit einer (in Kapitel 19 beschriebene) Harmonizitätskurve gezeigt (grau).

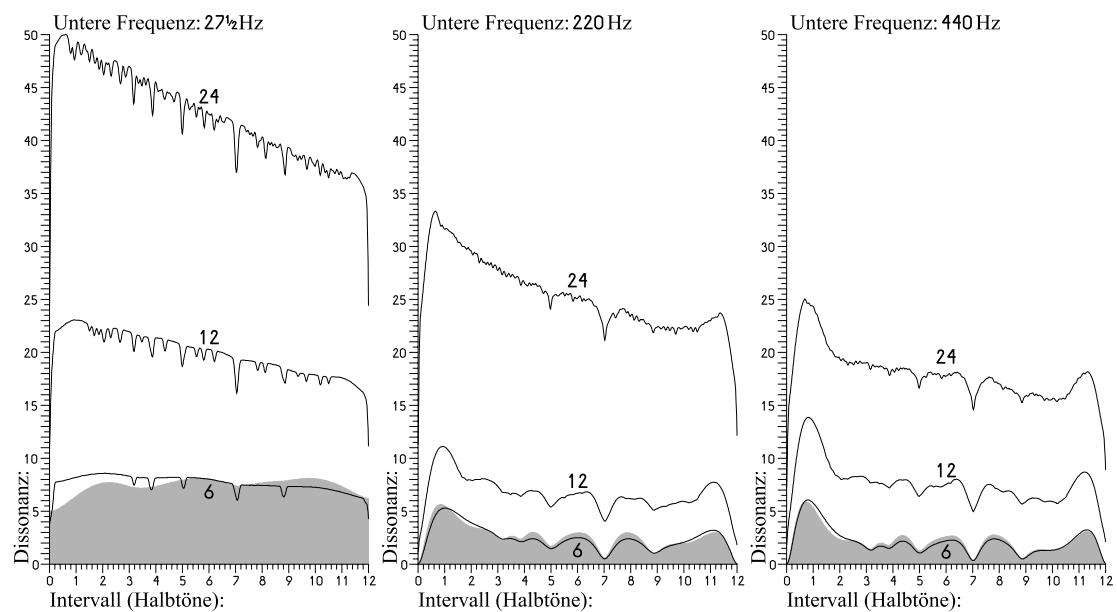


...F45...

- e) Berechnung nach Plomp und Levelt der Gesamtdissonanz eines Sägezahntritonus (55 dB(SPL)) bei zusätzlicher Einbeziehung der Lautheit



- f) Drei Dissonanzberechnungen von Sägezahntronpaaren mit Teiltonanzahl 6, 12 und 24 bei Einbeziehung der Lautheit jeweils über eine Oktav, beginnend bei der angegebenen festen unteren Frequenz (Berechnung nach Plomp und Levelt mit sechs gleichlauten Teiltönen in grau)



T46 – Orthographische Darstellung von Vokalen und Konsonanten nach der Internationalen Phonetischen Gesellschaft (IPA)

a) Vokale mit Angaben über deren physiologische Erzeugung

<u>Öffnungsgrad</u>	<u>Zungenlage</u>			<u>Zungenhöhe</u>
	vorne	zentral	hinten	
geschlossen	i y	+ K	3 u	hoch
		I Y	U	halbhoch
halbgeschlossen	e O	, P	F o	obermittelhoch
		`		mittel
halboffen	E #	- .	^ W	untermittelhoch
	Q	&		halbtief
offen	a O		A @	tief

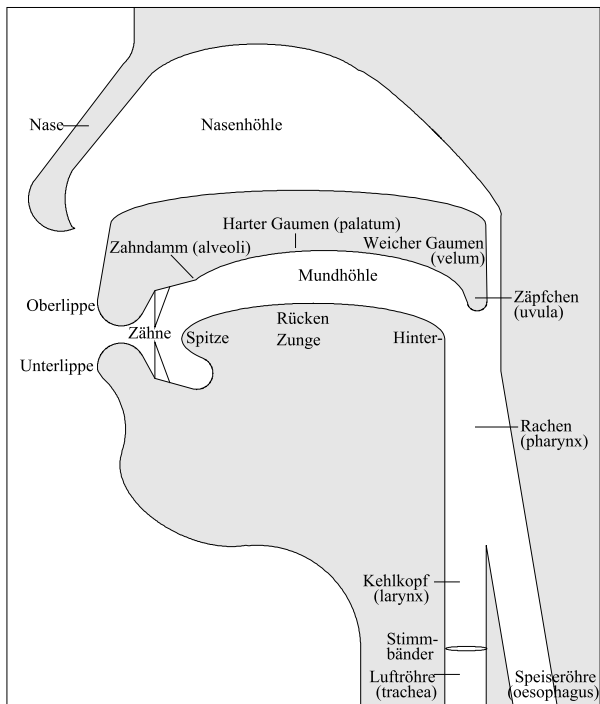
b) Konsonanten mit Angaben über deren physiologische Erzeugung

<u>Artikulationsart</u>	<u>Artikulationsort</u>					
	Bilabial	Labiodental	Dental	Alveolar	Postalveolar	Retroflex
Plosiv (Verschlusslaut)	p b			t d		ʈ ɖ
Nasal (Nasenlaut)	m	M		n		ɳ
Vibrant	=		r			
Flap			R			ɽ
Frikativ (Reibelaut)	% B	f v	T D	s z	S Z	ʂ ʐ
Lateral-Frikativ				ɬ ɮ		
Approximant		V		ɹ		
Lateral-Approximant				l		

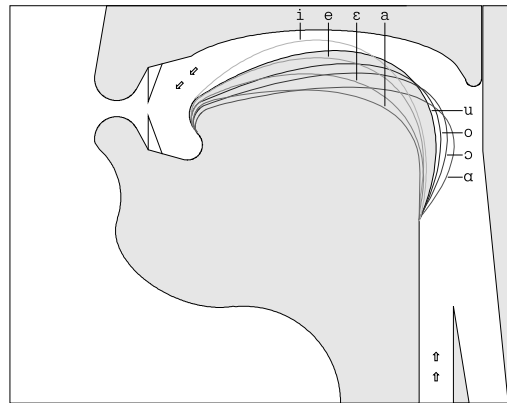
<u>Artikulationsart</u>	<u>Artikulationsort</u>				
	Palatal	Velar	Uvular	Pharygeal	Glottal
Plosiv (Verschlusslaut)	c ɟ	k ɡ	q ɢ		/
Nasal (Nasenlaut)	ɲ	ŋ	ɴ		
Vibrant			{		
Frikativ (Reibelaut)	ç ʝ	x ɣ	χ ʁ	ħ ʕ	h ʁ
Approximant	j	ɰ			
Lateral-Approximant	\	;			

Γ47 – Der Vokaltrakt

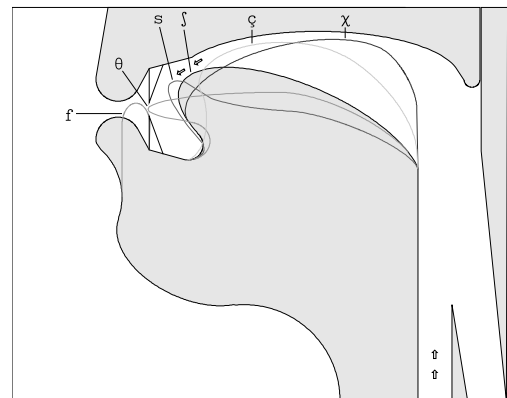
a) in anatomisch schematisierter Darstellung



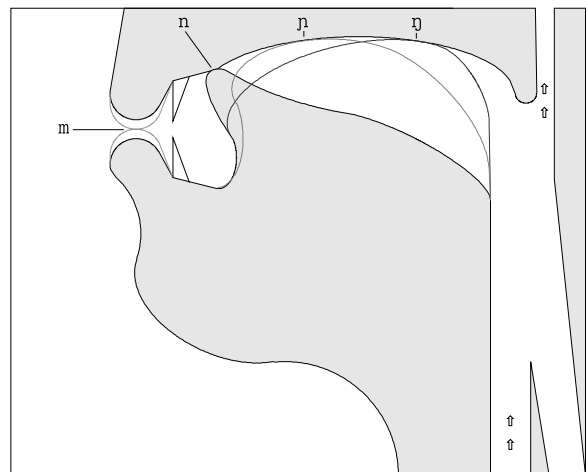
b) die Rolle der Zunge
...zur Erzeugung vorderer ([i eEQ])
und hinterer ([uoW@]) Vokale



c) ... zur Erzeugung der Reibelaute [fTSSCX]

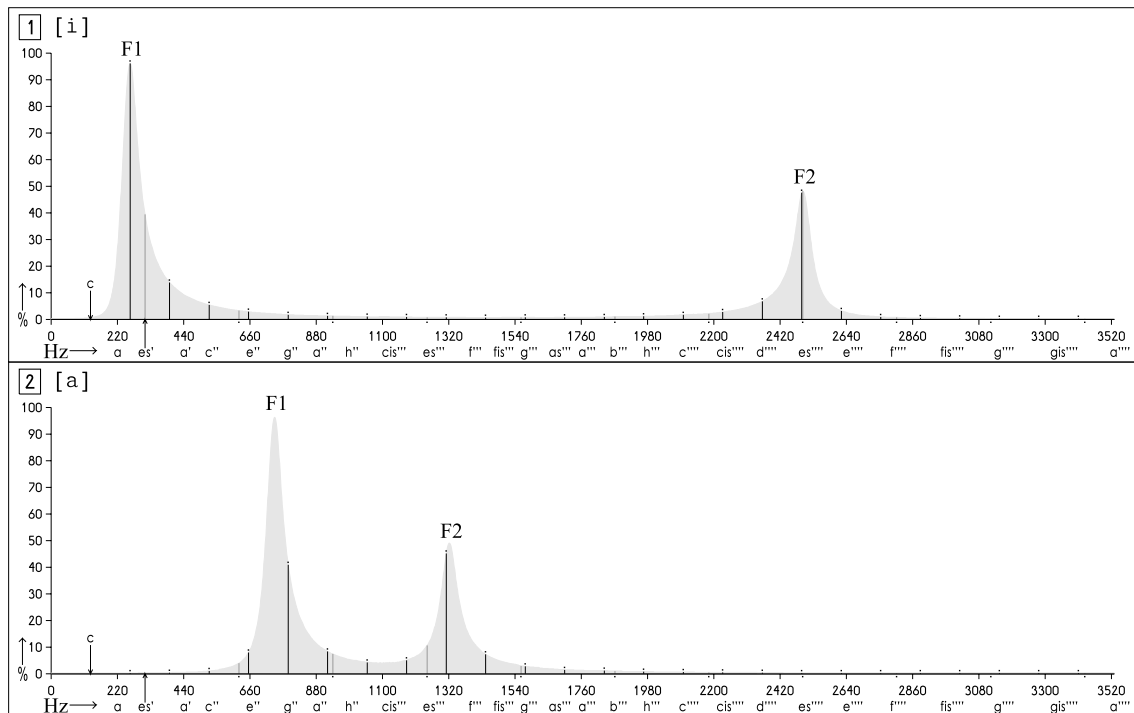


d) ... zur Erzeugung der Nasalen [mn7N]

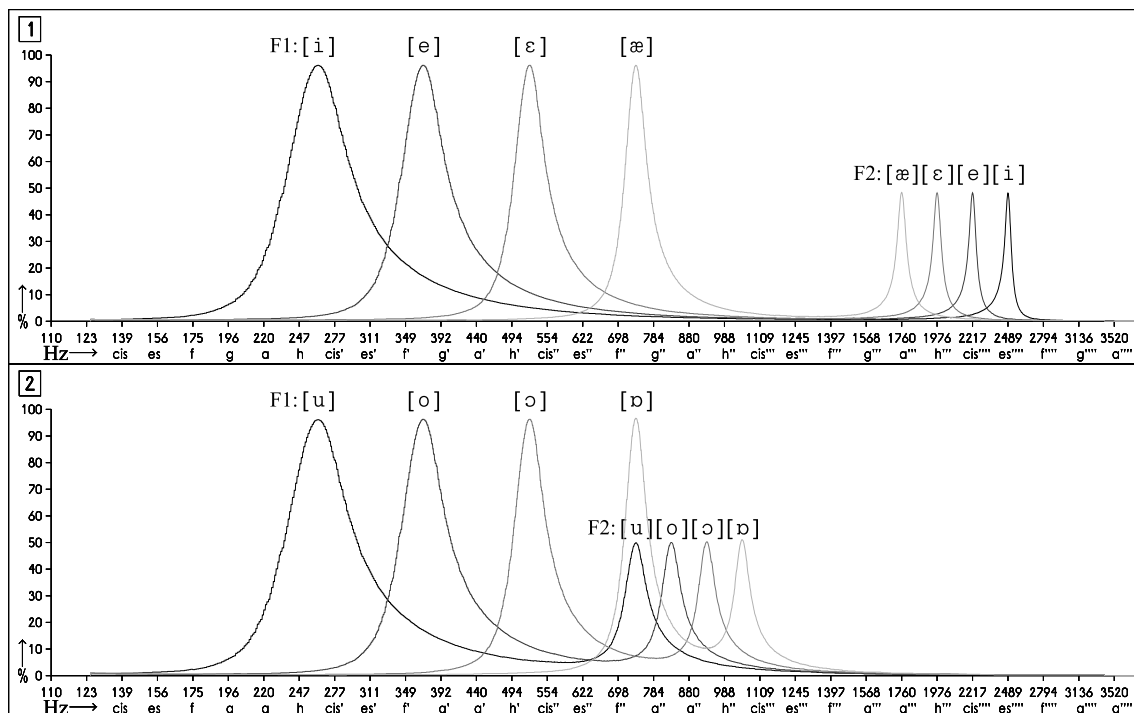


Γ48 – Sprachformanten

a) Je zwei Spektren von [i] und [a] auf Grundtönen c und es' mit Formanten F1 und F2



b) Formantenvergleiche: F1 und F2 1) der Vokale [i eEQ] sowie 2) der Vokale [uOW@]

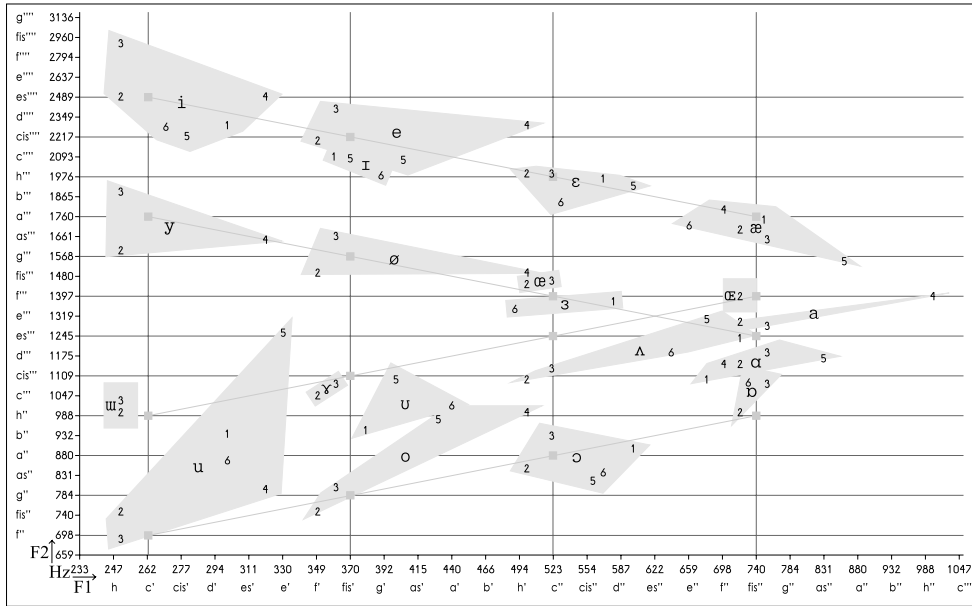


...Γ48...

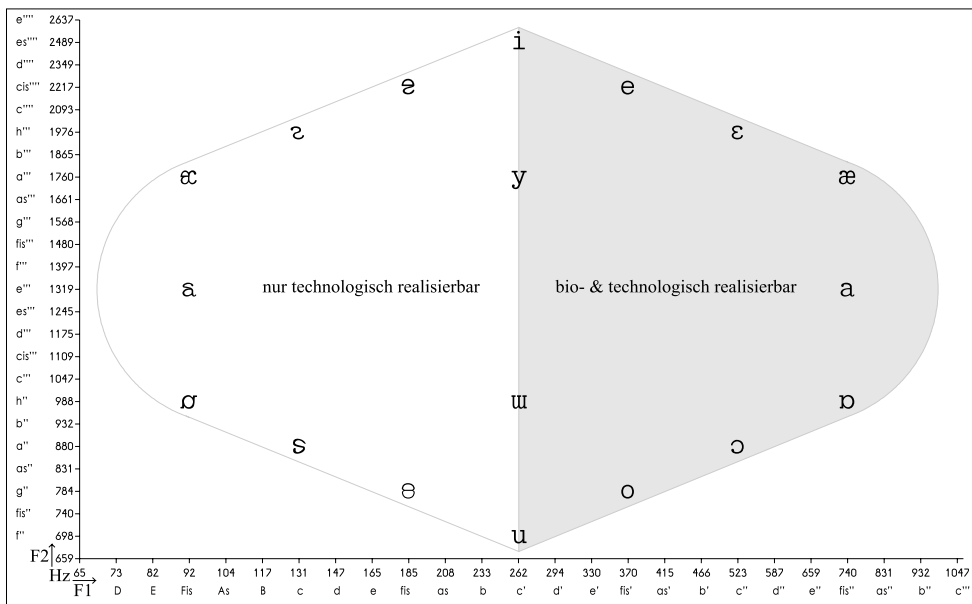
- c) Zweidimensionale Formantenkarte einiger Vokale mit Verweise auf sechs (s.u.) Quellen sowie die vier Stränge [i eEQ], [yO#A], [3F^O] und [uoW@]

Quellen:

- 1' nach J. C. Wells (1962), zitiert in D.B.Fry: *The Physics of Speech* von (1979), S.79
2' aus Institut für Phonetik der Universität Köln: *Berichte/Nr.1* (1973), S.11
3' aus Delattre et al.: *Voyelles synthétiques a' deux formants et voyelles cardinales* (1951),
zitiert in
Wolfgang Hess, Universität Bonn: *Grundlagen der Phonetik/Deskriptive Phonetik* (2002), S.4
4' aus Wikipedia: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Formant>>
5' aus Kevin Russell, Universität Manitoba: *General Phonetics* (2003)
6' aus Gordon Peterson & Harold Barney: *Control methods used in a study of the vowels* (1952),
JASA Nr. 24, S. 175-184, zitiert in verschiedenen Internetquellen

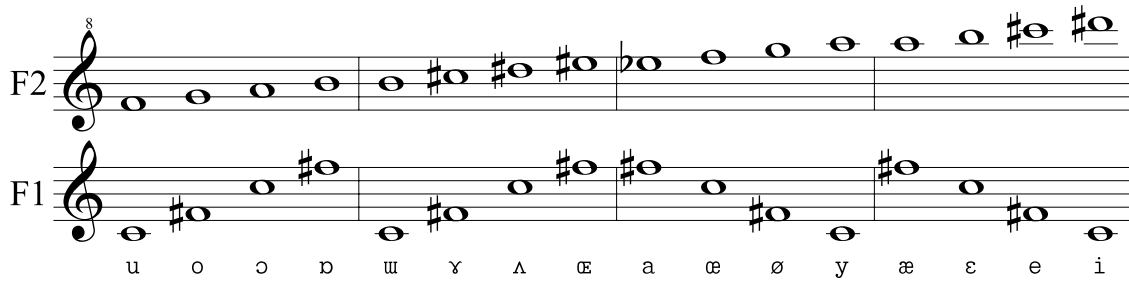


- d) Zweidimensionale Formantenkarte der Vokale [i eEQa@Wou3y] mit deren (abiologischen) F1-Spiegelungen

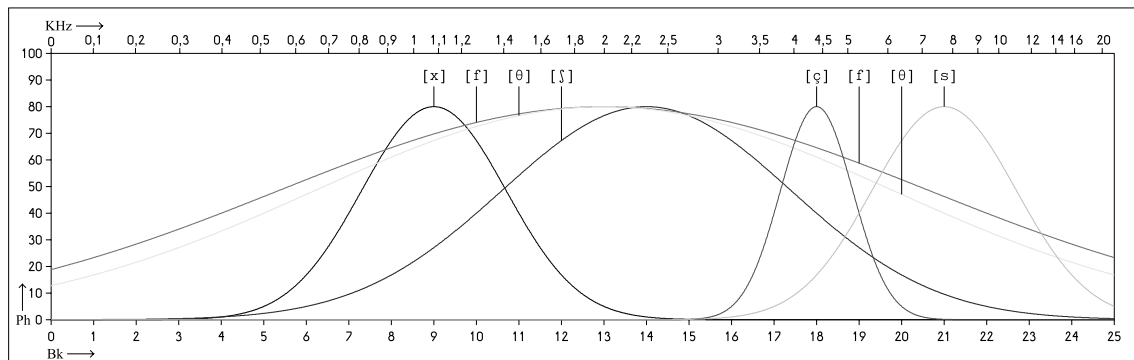


...F48...

e) notierte Formanten F1 und F2 der 16 Vokale [u o ɔ ɒ ʊ ʏ ʌ œ a æ ø y æ ε e i]



f) Spektralhüllkurven der sechs Reibelaute [x f t s] als Phon (y) gegen Bark (x)



g) Sonagramm eines nahtlosen Übergangs durch die Reibelaute [x]–[f]–[t]–[s]–[ç]–[s]

