

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	10
2	Psychoakustische Grundlagen	12
2.1	Grundlegende Gehöreigenschaften	12
2.1.1	Aufbau des Ohrs	12
2.1.2	Frequenzskalen	13
2.1.3	Hörfläche	15
2.1.4	Kurven gleicher Lautheit	17
2.2	Modelle und Berechnung der Erregung	18
2.3	Maskierung, Berechnung der Verdeckungsschwelle	20
2.3.1	Simultanmaskierung	20
2.3.2	Zeitliche Maskierung	22
2.3.3	Addition von Maskierungsschwellen	24
2.3.4	Binaurale Effekte	24
2.4	Nichtlineare Eigenverzerrungen des Ohres	24
2.5	Psychoakustische Empfindungsgrößen	27
2.5.1	Lautheit	27
2.5.2	Schärfe	28
2.5.3	Modulationskenngrößen	29
2.5.4	Klanghaftigkeit	32
2.5.5	Sensorischer Wohlklang	33
2.6	Gerade wahrnehmbare Schalländerungen	34
2.7	Wahrnehmbarkeit von nichtlinearen Verzerrungen	37
2.7.1	Theoretischer Verlauf der Klirrschwellen für Quinten	38
2.7.2	Klirrschwellen bei der Übertragung von Instrumentenklängen	40
2.7.3	Untersuchungen von C. Günthersen	41
2.8	Kognitive Effekte	44
2.9	Qualitätsbewertungsverfahren	45
2.9.1	Speech Signal Degradation	46
2.9.2	ASD - Auditory Spectral Distance	47
2.9.3	PAQM - Perceptual Audio Quality Measure	48
2.9.4	NMR - Noise to Mask Ratio	48
2.9.5	OASE - Objective Audio Signal Evaluation	49
2.9.6	DIX - Disturbance Index	49
2.9.7	PERCEVAL - PERCEptual EVALuation	50

2.9.8	POM - Perceptual Objective Measurement	50
2.9.9	Qualitätsbeurteilung mittels BARK-Transformation	51
2.9.10	Toolbox	51
2.9.11	Verfahren von Stuart	52
2.9.12	DS und Rnonlin	52
2.9.13	GedLee metric	53
2.9.14	PEAQ - Perceptual Evaluation of Audio Quality	53
2.9.15	Einschätzung der existierenden Verfahren zur Beurteilung der Hörbarkeit nichtlinearer Verzerrungen	54
3	Frequenzgangmessung	56
3.1	Verfahren zur Frequenzgangmessung	59
3.2	Messung des Frequenzgangs mit Pseudozufallsfolgen	60
3.2.1	Familien binärer Korrelationsfolgen	61
3.2.2	Eigenschaften der Testsignale	63
3.2.3	Frequenzgangmessung schwach nichtlinearer Audiosysteme	65
3.3	Messung nichtlinearer Verzerrungen mit Pseudozufallsfolgen	70
4	Perzeptuelles Messverfahren	78
4.1	Übersicht über das Messverfahren	78
4.2	Auswahl des geeigneten psychoakustischen Modells	79
4.2.1	Anforderungen an das psychoakustische Modell	79
4.2.2	Bewertung psychoakustischer Messverfahren	79
4.2.3	Verzerrungsmessung mit PEAQ	80
4.3	Messung von Klirrschwellen bei Zweitönen	81
4.3.1	Nachbildung der Klirrschwellen mit einem einfachen FFT-basierten psychoakustischen Modell	83
4.3.2	Nachbildung der Klirrschwellen mit einem erweiterten FFT-basierten Modell	85
4.3.3	Nachbildung der Klirrschwellen mit einem Filterbankmodell	88
4.4	Nachbildung der Klirrschwellen für Sägezahnsignale	89
4.5	Zeitliche Maskierung	91
4.6	Implementierung	93
4.6.1	Filterbankbasierte Erregungsberechnung	93
4.6.2	Lautheit	103
4.6.3	Schärfe	105
4.6.4	Rauigkeit	107
4.6.5	Klanghaftigkeit	111
4.6.6	Sensorischer Wohlklang	117
4.6.7	Mittelwertbildung	117

5	Ergebnisse	119
5.1	Bestimmung der Klirrschwellen bei Musiksignalen	119
5.1.1	Messungen an Systemen mit regulären Verzerrungen	119
5.1.2	Simulation von Systemen mit Quantisierung	125
5.2	Auswirkung von nichtlinearen Verzerrungen auf psychoakustische Empfindungsgrößen	131
5.3	Audioanalysator	144
5.3.1	Audioanalysator-Hardware	144
5.3.2	Audioanalysator Software	146
5.4	Messungen an Verzerrerschaltungen	147
6	Zusammenfassung	154
7	Glossar	156
8	Literaturverzeichnis	159
9	Anhang	165
9.1	Ergebnisse der Berechnung psychoakustischer Empfindungsgrößen	165
9.1.1	Lautheit	165
9.1.2	Schärfe	167
9.1.3	Rauigkeit	168
9.1.4	Klanghaftigkeit	169
9.2	Auswirkung von Verzerrungen auf psychoakustische Empfindungsgrößen.	170
9.2.1	Lautheit	170
9.2.2	Schärfe	171
9.2.3	Rauigkeit	172
9.2.4	Klanghaftigkeit	173
9.3	Schaltpläne der Verzerrerschaltungen	174
10	Symbolverzeichnis	176