

## Vorwort

Die heutige digitale Digitaltechnik ist sehr leistungsfähig. Es gibt kaum noch technisch bedingte Grenzen. Besonders deutlich wird das bei der Audiotechnik. Die Audio-CD erreicht mit 1,4 MBit/s eine so hervorragende Qualität, dass der SA-CD (Super-Audio) mit etwa 4 MBit/s kein Erfolg zuteil wurde. Ganz im Gegenteil hat sich das verlustbehaftete MP3-Format mit 196 kBit/s – oder sogar weniger – weitgehend durchgesetzt. Dennoch sind – wenn auch zunächst nur formal – erhebliche Verbesserungen möglich. Dies zeigen u. a. Bild 2 und 3 (s. S. 4 u. 5). Doch es gibt auch theoretische Probleme. So kann zwar aus den einzelnen Proben gemäß dem Sampling-Theorem wieder das originale kontinuierliche Signal hergestellt werden. Durch die Amplituden-Quantisierung geht jedoch immer unwiederbringlich Information verloren. Dies war der gedankliche Ausgangspunkt für die kontinuierliche Digitaltechnik. Sie benutzt Zeit-Intervalle des kontinuierlichen Signals und bildet dazu eine einfachere Approximations-Funktion, von der dann nur die Koeffizienten übertragen bzw. gespeichert werden (vgl. Bild 1). Hierdurch wird eine völlig neue, wesentlich höhere Qualität der Digitalisierung erreicht, die es ermöglicht, das ursprünglich kontinuierliche Signal praktisch verlustfrei wieder herzustellen. Zudem erfolgt dies auch noch mit extrem kleinen Datenraten. Selbst die Qualität der SA-CD ist dann bereits mit etwa 0,2 MBit/s zu erreichen. Grundsätzlich ermöglicht diese neue kontinuierliche Digitaltechnik die Datenrate aller korrelierten Signale, auch die der bereits komprimierten und digitalen Signale praktisch verlustfrei deutlich zu senken. Zu den weiteren Vorteilen zählt, dass es kein Sampling-Rauschen gibt. Leider sind jedoch zur Nutzung der kontinuierlichen Digitaltechnik ein völliges Umdenken und z. T. neue Hard- (spezielle Signal-Prozessoren) und Software nötig. Das erschwert ihre Verbreitung. Deswegen wurde dieses Buch geschrieben. Sein Aufbau dürfte gut aus dem Inhaltsverzeichnis hervorgehen und bedarf daher hier keiner weiteren Erklärung.

Notwendig sind jedoch einige formale Bemerkungen zur Textgestaltung. Durch die mehrfache Reform der Rechtschreibung dürften sich einige Ungereimtheiten ergeben haben. Zur besseren Übersicht sind teilweise spezielle Schriftfonts benutzt. Das gilt z. B. für die Etymologie: z. B. *Theorie* (griechisch *theoria* schlicht, anschauen, betrachten). Für Personennamen werden stets Kapitälchen, auch bei Zusammensetzungen benutzt. In Klammern sind – sofern verfügbar – die gekürzten Lebensdaten, z. B. DAVID A. HUFFMAN (1925 – 1999) – zumindest im Namensverzeichnis hinzugefügt. Ins *Sachwortverzeichnis* sind sowohl der Text als auch die Inhalte von Bildern (gekennzeichnet bei den Seitenzahlen durch \*, Tabellen durch # und Fußnoten berücksichtigt. Bei den Begriffen werden bevorzugt die kürzeren Darstellungen und der Singular benutzt. Bei zusammengesetzten Begriffen wird ein Teil durch • ersetzt. Zur weiteren Vereinfachung werden eingefügte „s“, „r“ usw. ausgelassen. Aus Amplitudenabweichung wird so **Amplitude**, •Abweichung und •Gang. Ferner gilt **Amplitude-Stufe**, ••nichtlinear und ••Verteilung. Meist wurden Komposita zerlegt und in mehreren Umstellungen berücksichtigt. Die o. g. Begriffsvielfalt erscheint

auch unter Vielfalt und Begriff. Bei der Seitenzahl mit \* (Bild) oder # (Tabelle) wird vorausgesetzt, dass in ihrer unmittelbaren Umgebung auch ein dazugehöriger Text steht. Deshalb entfallen dann die benachbarten Seitenzahlen. Eine Erklärung der Begriffsherkunft (Etymologie) wird ähnlich durch eine angehängte Tilde (~) gekennzeichnet. Wird ein Begriff auch auf der folgenden bzw. mehreren folgenden Seiten behandelt, so folgt f bzw. ff. Wenn ein Begriff ausführlich und grundlegend behandelt wird, so ist die Seitenzahl **fett** gedruckt.

Das Buch wendet sich an einen Leserkreis, der theoretisch und/oder am technischen Fortschritt interessiert ist. Primär richtet es sich daher an Wissenschaftler, Hochschullehrer und Entwickler.

Wieder habe ich einigen Kollegen und Freunden zu danken. So hat sich immer wieder Herr STEFAN POHLE intensiv mit dem Manuskript auseinandergesetzt und dabei gute Vorschläge zur Verbesserung eingebracht. Er las auch mehrfach Korrektur. Ähnlich gründlich setzte sich Herr THOMAS GÜNTHER mit dem Manuskript auseinander. Weitere Anregungen erhielt ich von Herrn Dr. BJÖRN WOLTER (Fa. Sennheiser). Auch meine Frau RUTH ROMA-VÖLZ stand der umfangreichen Arbeit immer interessiert gegenüber und las fleißig Korrektur. Insgesamt ist das Manuskript aus vielen Entwürfen mehrfach gründlich überarbeitet und von Mängeln und Fehlern befreit, sowie didaktisch verbessert worden. Natürlich schlichen sich dabei auch wieder neue Fehler ein. Letztlich gehen alle Mängel und Fehler auf mich zurück. Dafür bitte ich die Leser um Nachsicht. Für jeden Hinweis bin ich außerdem sehr dankbar. Schließlich geht mein Dank an den Shaker-Verlag für die unkomplizierte Zusammenarbeit.

Horst Völz

Im November 2008

## Inhalt

1 Vergleich von heutiger und Kontinuierlicher Digitaltechnik .....	1
1.1 Prinzip der heutigen Digital-Technik.....	1
1.2 Prinzip der Kontinuierlichen Digitaltechnik .....	2
1.3 Zwei vermeidbare Schwächen der üblichen Technik .....	3
1.4 Vergleich der Schaltungsstrukturen .....	5
2 Allgemeine Grundlagen .....	6
2.1 Kontinuierlich und diskret.....	6
2.2 Das Sampling-Theorem.....	8
2.3 Kontinuierliche und digitale Signale.....	11
2.4 Zusammenhang zwischen kontinuierlich und diskret .....	13
3 Interpolation und Approximation.....	15
3.1 Überblick zu den mathematischen Methoden .....	15
3.2 Orthogonale Funktionssysteme .....	18
3.2.1 Harmonische Funktionen .....	18
3.2.2 LEGENDRE- und TSCHEBYSCHEFF-Funktionen.....	19
3.3 Verfahren der Ausgleichsrechnung bzw. Approximation.....	21
3.3.1 GAUß'sches Fehlerquadrat und $L_2$ .....	22
3.3.2 Vergleich von Approximationen.....	23
3.3.3 REMEZ-Algorithmus für eine gleichmäßige Approximation $L_\infty$ .....	25
3.3.4 Geeignete Algorithmen für die Kontinuierliche Digitaltechnik .....	25
4 Modelle zur Fehlertoleranz .....	27
4.1 WEBER-FECHNER-Gesetz und Amplitudenschwellen.....	27
4.2 Toleranzen der Zeit .....	29
4.3 Eigenschaften des Gehörs .....	30
4.4 Eigenschaften des Sehens.....	33
4.5 Beispiel Messtechnik.....	35
5 Erzeugung der Datenpaare .....	36
5.1 Amplitudenvorgabe und Taktausgabe.....	37
5.2 Iterative Methode .....	40
5.2.1 Toleranzbetrachtungen.....	41
5.3 Rekursives Verfahren.....	44
5.3.1 Dynamik und Amplitudenstufen.....	46
5.3.2 Toleranzbetrachtungen.....	49
5.4 Quasikontinuierliche Verfahren .....	51
5.4.1 Toleranzbetrachtungen.....	52
5.5 RC-Entladung.....	53
5.6 Nutzung heute üblicher Technik .....	54
5.7 Weglassen von Datenpaaren .....	55
5.8 Bildung der Intervalle.....	56
5.8.1 Aneinanderfügen von Intervallen.....	57

---

6 Nutzung der Kontinuierlichen Digitaltechnik, Wiedergabe .....	58
6.1 Wiedergabe.....	58
6.2 Ein vollständiges Schema.....	60
6.3 Prozessschritte der Kontinuierlichen Digitaltechnik.....	62
6.4 Einige Vorteile und Besonderheiten .....	64
6.5 Umgang mit Dateien .....	64
6.6 Vergleiche .....	66
6.7 Besonderheit der Kontinuierlichen Digitaltechnik.....	69
6.8 Unterschiede zu JPEG, MPEG, MP3 usw. ....	71
6.9 Grenzen der Anwendung.....	72
7. Anhang .....	73
7.1 Zum Logarithmus.....	73
7.1.1 Wiederholung und Exponentialfunktion.....	74
7.1.2 Zusammenhang mit der Rekursion .....	75
7.1.3 Naturgesetze.....	76
7.1.4 Menschliches Erfassen.....	77
7.1.5 Zahlenbereiche .....	78
7.1.6 Logarithmus .....	80
7.1.7 Logarithmische Naturgesetze.....	81
7.1.8 ZIPF'sches Gesetz.....	82
7.2 Zur geschichtlichen Entstehung .....	83
7.2.1 Nennung des Problems.....	83
7.2.2 Grundlegende Idee und Probleme.....	85
7.2.3 Umwege zur Problemlösung.....	86
7.2.4 Wünsche an die Mathematik.....	87
7.3 Literatur .....	87
7.4 Personenverzeichnis .....	89
7.5 Sachwortverzeichnis.....	90