



Inhaltsübersicht (Stand Juni 2019)

Sound System Engineering

weitere Infos und Anmeldung: <http://www.zehner.ch/schulung.htm>

Grundlagen Akustik

- Akustik und Schall
- Schallausbreitung
- Frequenz, Frequenz-Darstellungen, -Bereiche
- ISO-Mittelfrequenzen und Frequenzbildungsgesetz
- Elongation, Amplitude, Schallschnelle
- Phase
- Interferenz, Superposition, lineare Überlagerung

Psychoakustik

- Lautheit und Pegel
- Lautheit und Signaldauer
- (einige) Einflussfaktoren Lautheit (Loudness)
- Kurven gleicher Lautstärke (Isophone; ISO 226)
- Filterkurven
- Pegel und Frequenzgang
- Bass-Verlust bei Pegelabfall
- Summenlokalisation und Phantomquellen-Bildung
- Interaurale Zeit- und Pegeldifferenzen (ITD+ILD)
- Kopfbezogene Übertragungsfunktionen (HRTF)
- Gesetz der ersten Wellenfront / Präzedenzeffekt
- Echschwelle
- Simultan-Verdeckung/-Maskierung
- Binaurale Verdeckung
- Kritische Bandbreite / Frequenzgruppen
- Hörbarkeit von Phasen- und Gruppenlaufzeit-Verzerrungen

Messtechnik

- Messen wozu?
- Ausrüstung für Messungen im Beschallungsbereich
- Verwendung von Drahtlos-Übertragung
- 1-Kanal-Messungen
- Kalibrierung
- Messung Schalldruckpegel (dB SPL)
- Vorschriften, Richtlinien Pegelmessungen
- Frequenzanalysen, RTA, Zeitfunktion
- Diskrete und schnelle Fourier-Transformation
- FFT-Blockgrösse und Frequenzauflösung
- Stimuli: Impulse, Rauschen, Sweeps, Musik
- Impulsantwort, Delta-Impuls
- Energie-Zeit-Kurven (ETC)
- Latenzmessung
- Messung Lautsprecher-Polarität
- Einmessen von Delaylinien
- Fenster-Techniken (Windowing)
- Charakteristik von linearen, zeitinvarianten Systemen (LTI-Systeme)
- Messung und Interpretation von Phasenfrequenzgängen und Gruppenlaufzeiten
- Einmessung von Lautsprecher-Systemen

Schallausbreitung im Freien und in Räumen

- Schallgeschwindigkeit
- Distanz-/Entfernungsgesetz Freifeld
- Wettereinflüsse
- Luftabsorption (atmosphärische Absorption)
- Refraktion/Brechung durch Temperatur-/ Wind-Geschwindigkeits-Gradienten
- Hallradius/Hallabstand
- Auf-/Abbau des Schallfeldes
- Nachhallzeit RT_{60}
- Raumresonanzen / stehende Wellen

Phase, Gruppenlaufzeit, Interferenzen,

Kammfilter

- Superpositions-Prinzip
- Phasendifferenz vs. Pegel
- Auslöschung bei relativen Pegeldifferenzen
- Kammfilter
- Komplexe Übertragungsfunktion
- Linear- und minimalphasige Systeme
- Einfluss von Equalizern und Filtern auf Phasenfrequenzgang und Gruppenlaufzeit

Lautsprecher

- Ideale und reale Strahler
- Q (Bündelungsgrad) / DI (Bündelungsmass)
- Darstellung der Richtwirkung (horizontal/vertikal)
- Winkel-Frequenzgänge, Polarplots, Isobarendiagramme
- 3D-Balloon-Darstellung
- Elektrodynamische Lautsprecher
- Kompressionstreiber und Hörner
- Dispersion
- CD-Horn (Constant Directivity)
- Line-Array-Waveguides
- Phasen- und Gruppenlaufzeit-Verhalten von Lautsprechern
- Treiber-Interferenz bei Mehrwegsystemen

Line Arrays

- Linienquelle / Zylinderwelle
- Theorie Linienanordnungen
- Nahfeld/Fernfeld
- Interferenzmuster
- Abstände Einzelquellen
- Vertikales Abstrahlverhalten
- Curving und Intensitäts-Shading
- Waveguides / Wellenformer
- Kompensation Kopplung (Coupling-Filter)
- Optimierung mit Gain und Filter
- Geflogenes Linearray vs. Groundstack Subwoofer
- inverse Design-Ansätze
- Optimierung mit FIR-Filtern
- Beam-Steering



Immersive/Spatial Sound, 3D-Audio

- Mono, Stereo, Surround, 3D Audio
- Ambisonics
- Wellenfeldsynthese
- Elektronische Nachhall-Systeme
- Virtuelle Akustik und Echtzeit-Faltung
- Soundscape, L-ISA, Spacemap & Co

Crossover-Filter (HPF/LPF)

- Analoge und digitale Filterschaltungen
- Klassische Filter-Topologien
- Linwitz-Riley- und Butterworth-Filter
- Tschebyscheff- / Cauer-Filter (Eliptic)
- NTM- (Neville-Thielle-Method) / Hardman-Filter
- Allpassfilter
- Finite Impulse Response Filter (FIR)
- Taps, Berechnung von Filter-Koeffizienten
- Filterdesign in der Praxis

Spezifikation und Dimensionierung

Lautsprecher und Endverstärker

- Technische Spezifikationen
- Beispiele Lautsprecherdatenblatt
- Systemdynamik
- Spitzen- (Peak), Effektivwerte (RMS, Root-Mean-Square)
- Crestfaktor
- Anzeigeinstrumente
- Elektrische Impedanz
- Parallelschaltung und Kabelquerschnitte
- Belastbarkeit/Leistungsangaben Lautsprecher
- Powercompression / Leistungskompression
- Sensitivity (Empfindlichkeit) Lautsprecher
- Technische Daten Endverstärker
- Dimensionierung Endverstärker
- Elektrische Systempegelung (Gainstruktur)
- Limiter-Berechnungen
- Berechnung Leistungsbedarf

Geometrische Planung

- Trigonometrie
- Fallbeispiel geometrische Planung
- Horizontale und vertikale Abdeckung
- Fliegen von Lautsprechern und minimale Varianzlinie
- Systematischer Höhenfehler 2D vs. 3D
- Hauptsystem und Subsysteme
- Forward Aspect Ratio (FAR)
- Lateral Aspect Ratio (LAR) / Lateral Multiplier

Akustische Simulation

- Übersicht Methoden, Vor-/Nachteile, Grenzen
- Direktschall-Mapping
- Statistische Modelle
- Geometrische Modelle, stochastisches und hybrides Raytracing
- Wellenbasierte Methoden, modale Schallfeldanalysen mittels FEM
- Auralisation

Systemdesign

- Interferenzen mehrere Quellen
- Kohärente Koppelung
- Grundlegende Varianten Winkelung zweier Lautsprecher
- Überlapp 2 Lautsprechersysteme
- Systeme auf Ohrhöhe
- Geflogene Systeme
- Main geflogen, Fill Ohrhöhe
- Systeme mit Pegeldifferenzen
- Linienanordnungen
- Mono- vs. Stereo-Systeme
- Verzögerungs-/Delaylinie
- Abgleich mit akustischen Quellen
- Time-/Phase-Alignment (TA) Subwoofer/Top
- TA: Fallbeispiele, Schritt-für Schritt-Anleitung

Systemplanung

- Planungsablauf
- Grundlegende Anforderungen an Systeme
- Erforderliche Schalldruckpegel
- Erforderlicher Amplitudenfrequenzgang
- Erforderlicher Signal-/Rauschabstand
- Zielkurven Amplitudenfrequenzgang
- Charakteristik Sprache
- Sprachverständlichkeit
- Speech Transmission Index (STI)
- STI - Auswirkungen SNR und Pegel

Subwoofer(-Arrays)

- Spiegelschallquellen
- Grenzflächeneffekte
- Mono- und Stereo-Systeme
- Zeilenanordnungen
- Verzögerung und mechanischer Versatz von Subwoofer-Zeilen
- Cardioid-Systeme (CSA)
- End-Fire-Anordnungen
- Nah-/Fernfeldeffekte, Pegelabfall über Distanz
- Einmessung, Prüfung, Optimierung

Logarithmen und Dezibel

- Dekadischer Logarithmus
- Bel und Dezibel,
- Absolute dB-Grössen / Pegelmasse
- Quadratische und lineare Grössen
- Zusammenhang verschiedener Grössen
- Entfernen von Logarithmen (Anti-Log)
- Addition und Mittelung von Pegeln
- Flussdiagramm Pegelrechnung
- Beispiele dB-Rechnen für Audiofachleute

Praxis

- Aufbau Line-Array und Subwoofer-System
- Einmessung von Subwoofer-Arrays (Zeilenanordnungen, Cardioid-Systeme, End-Fire)
- Inbetriebnahme und Komponententest
- Integration Zusatz-Lautsprecher (Fills, Delays)
- System-Einmessung