



## **Inhalte "Angewandte Raumakustik für professionelle Planer" (Stand Februar 2017)**

dunkelblau = erweitertes Programm Tage 3+4

### **Messtechnik - Grundlagen und Methoden**

- Impulsantwort, Delta-Impuls
- Lineare, zeitinvariante Systeme
- Faltung (Convolution) und Entfaltung (Deconvolution)
- 2-Kanal FFT
- Asynchrone 2-Kanal-FFT-Messungen, nachträgliches Streaming und nachträgliche Faltung
- [Heysers Time Delay Spectrometry \(TDS\) und der TEF-Analyzer](#)
- Moderne, Computergestützte Mess-Systeme
- Ausrüstung für Raumakustik-Messungen
- Elektroakustische Schallquellen, Dodekaeder
- Verwendung von Impulsschallquellen
- Fallstudien: Einfluss der verwendeten Stimuli und Schallquellen auf das Messergebnis
- Amplituden- und Phasenfrequenzgänge
- Fensterung (Windowing) der Impulsantwort
- Energie-Zeitkurven (ETC)
- Schroeder-Rückwärtsintegration, Auswertung und Analysen von Schroeder-Kurven
- Nachhallzeit, T60, T20, Tx
- Frühe Abklingzeit / Early Decay Time (EDT)
- Energieverhältnismasse: C50, C80, C7 etc.
- Seitenschallgrad, Interaurale Kreuzkorrelation, Schwerpunktzeit, Stärke
- Sprachverständlichkeitsindex STI
- [Auswertung von Wasserfalldiagrammen](#)
- Mikrofonposition(en); Unterschiede Mikrofone und Ohren; Physik vs. Psychoakustik
- 3D-Impulsantworten und 3D-Raumanalysen
- Auralisation

### **Psychoakustik**

- Definition, Sinn und Zweck Psychoakustik
- Psychoakustische Reihenuntersuchungen
- Psychometrische Funktion und statistische Methoden
- Intra- und Interindividualität

### **Akustische Simulation**

- Sinn, Zweck und Grenzen akustischer Simulationen
- Statistische Methoden
- Geometrisch basierte Methoden, Spiegelschallquellenmodelle, Raytracing
- Wellentheoretisch basierte Modelle
- Analytische und numerische Ansätze
- Randelement- (BEM) und Finite Element Methoden (FEM)



## Nachhallzeit

- Nachhall, diffuses Schallfeld, Hallradius
- Psychoakustische Aspekte
- [Relevanz der Nachhallzeit in kleinen Räumen](#)
- Messung der Nachhallzeit (ISO 3382)
- Schröder-Rückwärtsintegration der quadrierten Impulsantwort
- [Normen und Empfehlungen für Tonstudios, Heimkinos, Hörräume etc.](#)
- Normen und Empfehlungen für Aufführungsräume
- Normen und Empfehlungen für Unterrichtsräume, Grossraumbüros etc.
- Fallbeispiele: Auswertung der Nachhallzeit, Feststellung von Anomalien, typische Fehler
- Statistische Nachhallzeit-Modelle und Prognosen (Sabine, Eyring, Fitzroy u.a)
- Nachhallzeitprognose mittels Raytracing und Hybridansätze
- Optimierung der Nachhallzeit: Strategien, Planung, Vorgehen, Massnahmen, Fallbeispiele

## Geometrische Raumplanung

- Planungshinweise DIN 18041
- Volumenkenzahl
- Grundlegende geometrische Anforderungen
- Schall-Lenkung und Erhöhung von Anfangsreflexionen
- Präzedenzeffekt und Echounterdrückung
- Reflektoren (plane Flächen)
- Konvexe und konkave Strukturen
- Reflexion und Streuung an unregelmässigen Flächen
- Numerische Optimierung von Oberflächen

## Reflexionskontrolle

- [Psychoakustik: Wahrnehmungsschwellen, Störungsschwellen](#)
- Erhebung und Auswertung von Messdaten, inkl. 3D-Raumanalysen
- [Grenzwerte und Zielvorgaben](#)
- [Massnahmen, Konzepte, Strategien](#)
- [Fallbeispiele aus der Praxis](#)

## Raummoden / Modale Kontrolle

- Physikalische Grundlagen des modalen Schallfelds
- Schroederfrequenz
- Akustisch kleine und grosse Räume
- [Psychoakustische Untersuchungen und Hintergründe zu modalen Effekten](#)
- [Kriterien modaler Verteilung und Empfehlungen Raumdimensionen: Bolt, Louden, Bonello, Cox u.a.](#)
- [Berechnungsgrundlagen, Werkzeuge, Simulation](#)
- [Erhebung und Auswertung von Messdaten](#)
- [konkretes Vorgehen bei der Zuordnung von modalen Effekten](#)
- [Massnahmen, Konzepte, Strategien](#)
- [Fallbeispiele aus der Praxis](#)



## Grundlagen Absorber, Resonatoren, Diffusoren

- Normen und Verfahren zur Bestimmung der Absorptionsgrade
- Bestimmung der Absorptionswerte im Hallraum und im Impedanzrohr
- Winkelabhängigkeit der Absorption und deren Bedeutung für die Interpretation der publizierten Absorptionswerte
- Bestimmung von realem Absorptionsverhalten mit Messtechnik, In-Situ-Messungen
- Bewerteter und praktische Absorptionsgrad
- Äquivalente Absorptionsfläche
- Laborwerte vs. reale Werte im Einzelfall
- Unsicherheitsfaktoren: Messverfahren, Materialstreuungen, Interaktionen
- Definition und Bestimmung von Streu- und Diffusionsgraden

## Poröse Absorber

- Grundsätzliches Verhalten von porösen Absorbern
- Unterschiedliche Typen von porösen Absorbern
- Technische Daten zur Bestimmung der Absorptionswirkung
- Berechnungen und Simulationswerkzeuge
- Dimensionierung, Positionierung von porösen Absorbern
- Fallbeispiele

## Plattenresonatoren / Membranabsorber

- Grundsätzliche Wirkungsweise von Plattenresonatoren
- Berechnungen und Simulationswerkzeuge
- Wahl der Elementtiefe und der Plattenmasse
- Verlustfaktoren verschiedener Materialien und deren Einfluss auf die Absorberwirkung
- Einfluss von unterschiedlichen Bedämpfungen (Materialien, prozentuale Füllmenge)
- Berechnung, Design und Konstruktion mehrschichtiger Plattenresonatoren
- Fallbeispiele

## Helmholtzresonatoren

- Grundsätzliche Wirkungsweise und Konstruktion von Helmholtzresonatoren
- Einfluss von Bedämpfungen des Hohlraums
- Einfluss des Strömungswiderstandes in den Öffnungen
- Berechnungen und Simulationswerkzeuge
- Fallbeispiele

## Mikroperforierte Absorber

- Wirkungsweise, Einsatz, Vorteile



## Diffusoren

- Definition und Messung von Streugraden und Diffusitätsgraden
- Funktionsweise, Grundlagen und Hintergründe diverser Typen
- Fallbeispiel: Analyse in der realen Welt: Wirkungsweise unterschiedlicher Diffusoren
- Berechnungsformeln und Simulationswerkzeuge
- Unregelmässige und konvexe Strukturen
- 1D- und 2D-Schröderdiffusoren
- Wirkungsweise und Planung eines Phasengitter
- Konkreter Einsatz von Diffusoren in Regie-/Abhörräumen und Aufnahme Räumen
- Aktive Diffusoren: Wirkungsweise und Einsatz

## Elektronische Massnahmen

- Aktive, elektronische Absorber: Wirkungsweise, Vorteile, Fallbeispiele
- Equalizer: Möglichkeiten, Einschränkungen, Grenzen
- Raumkorrektursysteme, automatische Einmess-Systeme
- Multisub-Anwendungen

## Design-Konzepte für Regieräume und Hörräume

- Vor- und Nachteile von Design-Konzepten
- Direktionale Konzepte und das Surround-Dilemma, Non-Direktionale Konzepte
- Designs der Vor-60er Jahre
- Davis: Live-End-Dead-End, LEDE
- D'Antonio: Reflection Free Zone, RFZ
- Hidley: Non Environment Room, NER
- Joujean: Front to Back, FTB
- Massenburg / D'Antonio: Reflection Rich Zone, RRZ und Ambechoic
- Davidovic / Petrovic: Non-Coherent, N-C / Early Reflections Delay Encryption, ERDE
- Parry: Early Sound Scattering, EES
- Walker: Controlled Image Design, CID
- Jensen: Jensen-Raum
- ...

## Lautsprecher

- Unterschiedliche Lautsprecherkonzepte und deren Zusammenspiel mit dem Raum
- Welcher Lautsprecher für welchen Raum? Welcher Raum für welchen Lautsprecher?
- Einfluss des Abhörpegels auf Wahrnehmung
- Freifeld, vs. Diffusfeld-optimierte Lautsprecher
- Kugelstrahler, Dipole, Flächenstrahler
- Positionierung von Lautsprechern und Hörzone für 2-Kanal-Stereo und Surroundformate
- Grenzflächeneffekte
- Flächenbündiger Wandeinbau (Flush Mounting)
- Mechanische Entkopplung von Lautsprechern



## Vorgaben, Fallbeispiele und konkrete Vorgehensweise

- Vorgaben DIN 18041
- Büroräume
- Auditorien, Mehrzweckanlagen u.ä.
- Kriterien für Regieräume, Abhörräume, Heimkinos
- Sanierung von Tonstudios, Abhörräumen, Heimkinos
- Neubau eines Tonstudio
- Aufnahmeräume und Proberäume
- Klassische Fehler

## Schalldämmung

- Luftschalldämmung, Körperschalldämmung
- Impedanz
- Bergersches Massegesetz
- Schalldämmeigenschaften ein- und zweischaliger Bauteile
- Spuranpassung, Koinzidenzfrequenz
- Erhöhung der Luftschalldämmung bestehender Strukturen
- Grundlagen Federsysteme, Nachgiebigkeit, Resonanzverhalten, Setzverhalten
- Raum-In-Raum-Konstruktionen, mechanische Lagerung und Entkopplung von Böden, Wänden, Decken
- Fenster und Türen
- Fallbeispiele

## Exkursionen

- Besichtigung [mehrerer](#) Tonstudios