

Technische Beschreibung der akustischen Signalkette

→ Wichtige Aufgabe:

Gestaltung akustischer Kommunikationsketten

→ Vielfältige Medien

(Sprache, Geräusche, Musik, CD, Radio, mp3,...)

→ Unterschiedlichste Information

(Nachrichten, Musik, Werbung, Filmtone,...)

→ Wichtig:

unabhängig von Anforderung, Medium, Information

einheitliche Beschreibung von akustischen Ereignissen

einheitliche Beschreibung der einzelnen Teile der Kommunikationskette

Signal- und Systemtheorie

→ Die physikalische Repräsentation eines akustischen Ereignisses bzw. der zu übertragenden Information

nennt man **SIGNAL**

→ Die **SIGNALTHEORIE** ermöglicht eine einheitliche Beschreibung von Signalen unabhängig vom Medium.

Schallsignale, elektrische, elektromagnetische, digitale etc. Signale können mit den Methoden der Signaltheorie beschrieben werden.

Signal- und Systemtheorie

→ Die physikalische Repräsentation einer Teilkomponente einer (akustischen) Kommunikationskette

nennt man **SYSTEM**

→ Die **SYSTEMTHEORIE** ermöglicht eine einheitliche Beschreibung von Systemen unabhängig von der genauen Beschaffenheit, Funktion, Ausführung, etc.

Lautsprecher, Mikrofone, Instrumente, Räume, etc. können mit den Methoden der Systemtheorie beschrieben werden.

Beschreibung von Signalen

PRIMÄREMPFINDUNGEN der akustischen Wahrnehmung

(Vgl. 1. Vorlesung)

WAHRNEHMUNG

Tonhöhe

→

Lautstärke

→

Klangfarbe

→

TECHNIK

(GRUND-)FREQUENZ

AMPLITUDE

SIGNALFORM

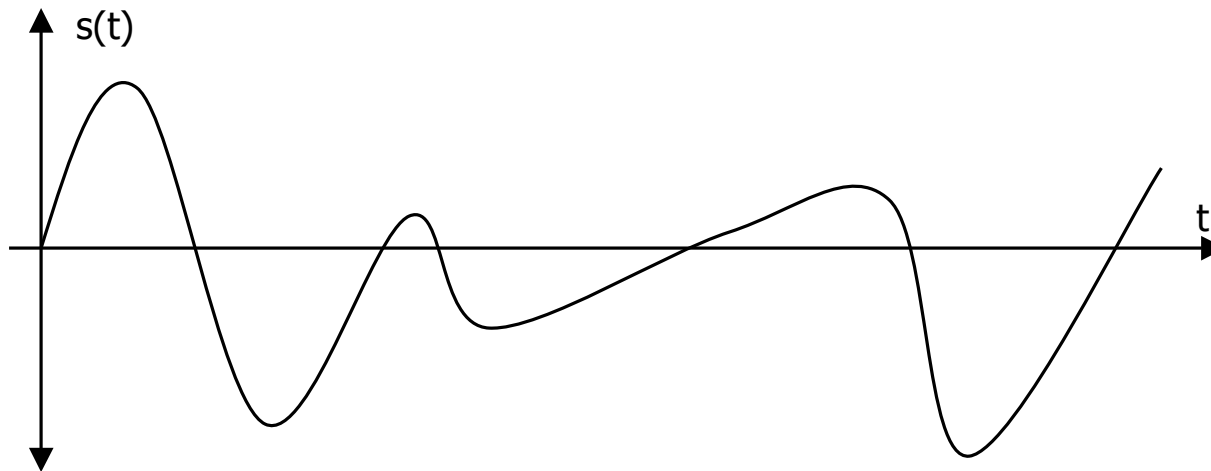
Beschreibung von Signalen

Akustische Signale sind ZEITABHÄNGIGE Größen!

$s(t)$... Signalgröße s in Abhängigkeit von der Zeit t

$s(t)$... Schalldruck, el. Strom, el. Spannung etc.

$s(T_0)$... AMPLITUDE des Signals zum Zeitpunkt T_0



Beschreibung von Signalen

Wichtigster Unterschied bei der KLANGFARBE:

Klang



Geräusch

Beobachtung der **SIGNALFORM**

regelmäßig,

sich wiederholend



unregelmäßig,

unstrukturiert

PERIODISCH



APERIODISCH

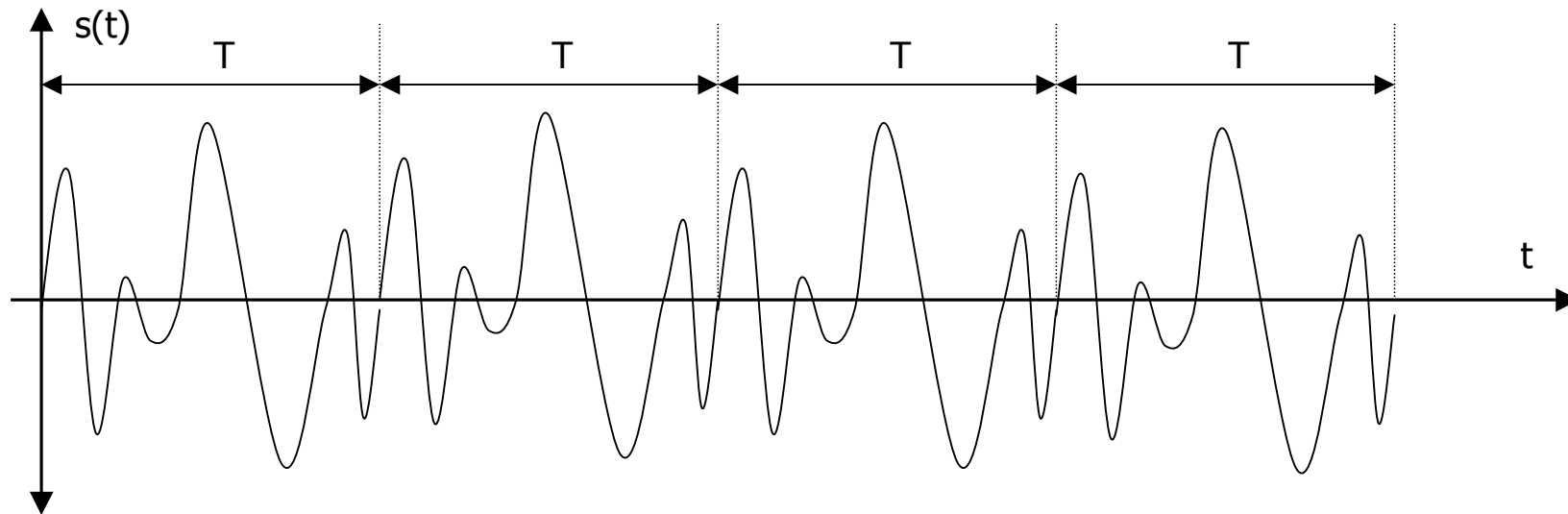
Beschreibung von Signalen

PERIODISCH:

$$s(t) = s(t + T)$$

T ... Periodendauer

Der Abschnitt, den das Signal innerhalb der Zeit T durchläuft, heißt
(SCHWINGUNG)PERIODE



Beschreibung von Signalen

GRUNDFREQUENZ:

Die Grundfrequenz gibt an, wie viele Perioden innerhalb einer Sekunde vom Signal durchlaufen werden.

Die Grundfrequenz entspricht somit dem Reziprokwert der Periodendauer.

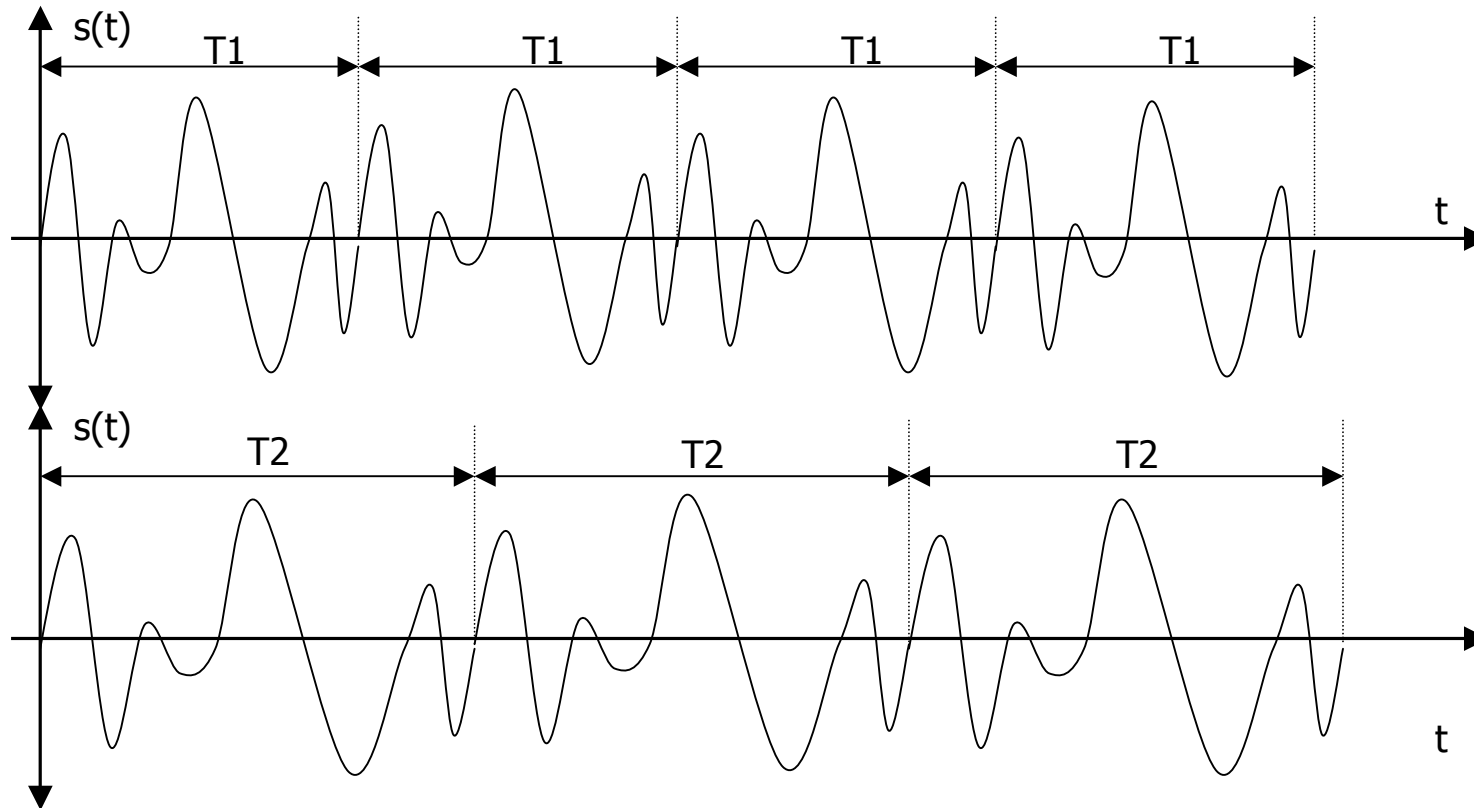
$$\mathbf{f = 1 / T}$$

Die Einheit der Frequenz ist ein Hertz, abgekürzt Hz.

→ Die Grundfrequenz kann nur bei KLÄNGEN bestimmt werden!

→ Bei GERÄUSCHEN kann keine (eindeutige) TONHÖHE
wahrgenommen werden!

Beschreibung von Signalen



$$f_1 = 1 / T_1$$

$$f_1 > f_2$$

$$T_1 < T_2$$

$$f_2 = 1 / T_2$$

Beschreibung von Signalen

HARMONISCHE TÖNE

Signale, die durch die Winkelfunktionen (SINUS, COSINUS) beschreibbar sind, werden harmonische Töne genannt.

$$s(t) = A \cdot \sin(2 \pi f t + \varphi) = A \cdot \cos(2 \pi f t + \varphi + \pi/2)$$

In der Natur kommen harmonische Töne kaum vor!

ABER:

Harmonische Töne sind die GRUNDBAUSTEINE
jedes beliebigen (SCHALL)SIGNALS

Beschreibung von Signalen

KLÄNGE: KOMPLEXE TÖNE

Jean Baptiste Joseph FOURIER (1768 – 1830):

„Jedes periodische Signal

kann aus mehreren harmonischen TEILTÖNE zusammengesetzt werden, deren Frequenzen stets ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz sind.

Die TEILTÖNE eines Schallsignals werden auch als

Grundton und Obertöne bezeichnet:

GRUNDTON = 1. Teilton $f = f_G$

1. OBERTON = 2. Teilton $f = 2 f_G$

2. OBERTON = 3. Teilton $f = 3 f_G$

3. OBERTON = 4. Teilton $f = 4 f_G$

Beschreibung von Signalen

Aus der NATUR kennen wir akustische Ereignisse,
deren Tonhöhe sich nicht exakt bestimmbar ist, die aber trotzdem
einen ausgeprägten Klangcharakter aufweise.

(z.B. Glocken, Pauken, Tempelgongs etc.)

Meist setzen sich diese Schallsignale ebenfalls
aus mehreren harmonischen Teiltönen zusammen,
deren Frequenzen jedoch keine ganzzahligen Vielfachen
einer gemeinsamen Grundfrequenz sind.

Beschreibung von Signalen

FREQUENZSPEKTRUM

Klänge setzen sich aus einzelnen harmonischen Teiltönen mit dem

Amplitudenfaktor S_n

und der

Frequenz $f_n = n \cdot f_G$

Die Amplitudenfaktoren der Teiltöne bestimmen die Signalform und sind daher ein wichtiges Kriterium für die Klangfarbe. Sie sind also eine bedeutende Eigenschaft des Schallsignals, obwohl sie aus der Signalform nicht direkt ermittelt werden können!

→ Zusätzlich zum zeitlichen Verlauf $s(t)$

ist eine weitere Betrachtungsweise des Signals hilfreich:

Amplitudenfaktoren in Abhängigkeit von der Frequenz

$S(f)$... Frequenzspektrum (kurz: Spektrum) des Signals

Beschreibung von Signalen

FREQUENZSPEKTRUM

- Das Spektrum eines harmonischen Ton besteht definitionsgemäß aus einer einzigen Spektrallinie
- Klänge setzen sich aus einzelnen harmonischen Teiltönen zusammen. Ihr Frequenzspektrum setzt sich aus einer Anzahl von Spektrallinien zusammen.

Periodische Signale werden durch ein **diskretes Linienspektrum** beschrieben.

(Geringfügige) Abweichungen von der Periodizität bewirken eine gewisse Verbreiterung der Spektrallinien.

Beschreibung von Signalen

FREQUENZSPEKTREN wichtiger periodischer Signale

SINUS:

$$S_n = 0 \quad \text{für } n > 1$$

DREIECK:

$$S_n = S_1 / n^2 \quad \text{für } n \text{ ungerade}$$

$$S_n = 0 \quad \text{für } n \text{ gerade}$$

RECHTECK:

$$S_n = S_1 / n \quad \text{für } n \text{ ungerade}$$

$$S_n = 0 \quad \text{für } n \text{ gerade}$$

SÄGEZAHN:

$$S_n = S_1 / n \quad \text{für alle } n$$

Beschreibung von Signalen

FREQUENZSPEKTRUM von GERÄUSCHEN

- Geräusche haben keine Grundfrequenz
- Theoretisch können Geräusche aber beschrieben werden mit:
 - $T = \text{unendlich}$
 - $f = 1 / T = \text{null}$
- Je größer die Periodendauer, desto kleiner die Grundfrequenz, desto geringer der Abstand zwischen zwei Spektrallinien
- Bei Geräuschen gibt es keinen Abstand zwischen benachbarten Spektrallinien

Im Gegensatz zu Klängen werden **GERÄUSCHE** durch ein **KONTINUIERLICHES SPEKTRUM** beschrieben.

Beschreibung von Signalen

FREQUENZSPEKTRUM von GERÄUSCHEN

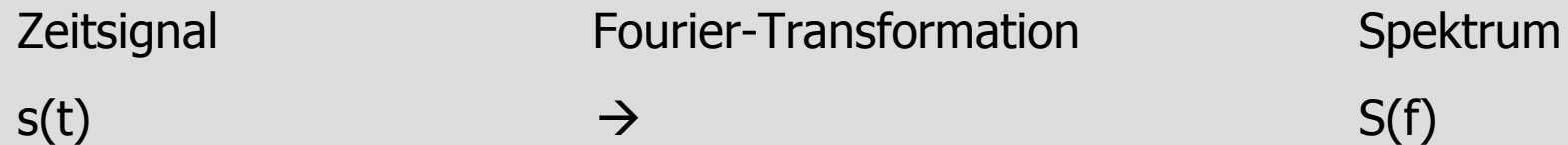
- Geräusche haben keine Grundfrequenz
- Theoretisch können Geräusche aber beschrieben werden mit:
 - $T = \text{unendlich}$
 - $f = 1 / T = \text{null}$
- Je größer die Periodendauer, desto kleiner die Grundfrequenz, desto geringer der Abstand zwischen zwei Spektrallinien
- Bei Geräuschen gibt es keinen Abstand zwischen benachbarten Spektrallinien

Im Gegensatz zu Klängen werden **GERÄUSCHE** durch ein **KONTINUIERLICHES SPEKTRUM** beschrieben.

Beschreibung von Signalen

FOURIER-TRANSFORMATION

Mit Hilfe der **Fourier-Transformation** ist es möglich, für jedes beliebige (Schall)signal das entsprechende Frequenzspektrum zu ermitteln.



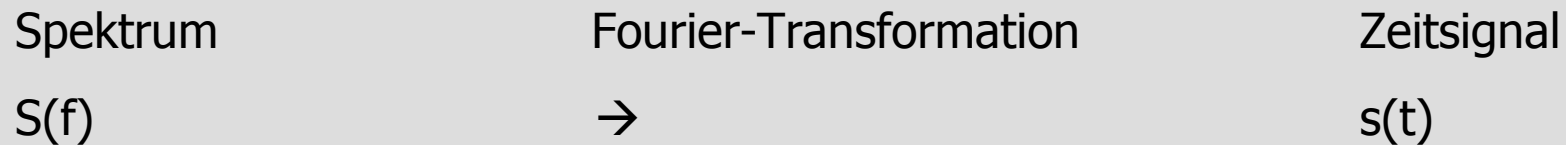
Anmerkung:

Der zur Berechnung notwendige Formelapparat ist verhältnismäßig komplex, weshalb hier lediglich auf weiterführende Fachliteratur bzw. auf einschlägig Vorlesungen verwiesen wird.

Beschreibung von Signalen

INVERSE FOURIER-TRANSFORMATION

Mit der **inversen Fourier-Transformation** kann umgekehrt aus einem bekannten Frequenzspektrum der zeitliche Signalverlauf ermittelt werden.



Anmerkung:

Der zur Berechnung notwendige Formelapparat ist verhältnismäßig komplex, weshalb hier lediglich auf weiterführende Fachliteratur bzw. auf einschlägig Vorlesungen verwiesen wird.

Beschreibung von Signalen

FAST-FOURIER-TRANSFORMATION

Mit der **Fast-Fourier-Transformation** - kurz **FFT** genannt - steht ein effizienter Algorithmus für die Berechnung der Fourier-Transformation zu Verfügung, der auch in vielen Softwarepaketen für die digitale Audiodbearbeitung implementiert ist.

Beachte:

- Die Frequenzauflösung der FFT ist nicht beliebig genau
- FFT-Size beeinflusst die Frequenzauflösung
- Je größer die FFT-Size, desto genauer die Frequenzauflösung

Beschreibung von Signalen

GLIEDERUNG der FREQUENZBEREICHES

HÖR-BEREICH:

$$20 \text{ Hz} < f < 20000 \text{ Hz}$$

BASS:

$$20 \text{ Hz} < f < 250 \text{ Hz}$$

TIEFE MITTEN:

$$250 \text{ Hz} < f < 2000 \text{ Hz}$$

HOHE MITTEN:

$$2000 \text{ Hz} < f < 4000 \text{ Hz}$$

HÖHEN:

$$4000 \text{ Hz} < f < 20000 \text{ Hz}$$

Beschreibung von Signalen

GLIEDERUNG der FREQUENZBEREICHES

Klangfarben werden oft mit Adjektiven wie hohl, hölzern, dumpf, metallisch, warm, schrill etc. beschrieben.

Eine **Zuordnung** von spektralen Eigenschaften zu diesen verbalen Beschreibungen **ist leider schwierig** und gelingt derzeit nur in Einzelfällen!

Verbale Beschreibung	Spektrale Eigenschaft
dumpf	wenig Höhen bzw. hohe Mitten
brillant	ausgeprägte hohe Mitten (Höhen)
schrill	zu viele Höhen
metallisch	Teiltöne keine ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz

Anmerkung:

Eine differenzierte Betrachtung dieser Thematik erfolgt in den Kapiteln „Bearbeitung von Schallsignalen“ und „Aspekte der Wahrnehmung“ ab dem 2. Semester