

Schwingungen und schwingungsfähige Systeme

Teil 1: Grundbegriffe, Einteilung

DIN**1311-1**

ICS 17.160; 01.040.17

Ersatz für
Ausgabe 1974-02(Mechanical) vibration, oscillation and vibration systems —
Part 1: Basic concepts, surveyVibrations (mécaniques), oscillations et systèmes de vibrations —
Partie 1: Notions fondamentales, vue d'ensemble**Vorwort**

Diese Norm wurde vom Gemeinschaftsarbeitsausschuß NATG-A.32/NALS C 1 erarbeitet.

DIN 1311 „Schwingungen und schwingungsfähige Systeme“ besteht aus:

Teil 1: Grundbegriffe, Einteilung

Teil 2: Lineare, zeitinvariante schwingungsfähige Systeme mit einem Freiheitsgrad^{*)}

Teil 3: Lineare, zeitinvariante schwingungsfähige Systeme mit endlich vielen Freiheitsgraden

Folgende Normen dieser Reihe sind zur Zeit in Vorbereitung:

Teil 4: Lineare Kontinua, Wellen

Teil 5: Schwingungen nichtlinearer, selbsterregter und parametererregter Systeme

Änderungen

Gegenüber Ausgabe Februar 1974 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Inhalt vollständig überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN 1311-1: 1939x-05, 1970-02, 1971-11, 1974-02

1 Anwendungsbereich

Diese Normenreihe legt Begriffe zu Schwingungen und schwingungsfähigen Systemen vorwiegend im Bereich der Mechanik fest. Im Einzelfall werden Hinweise zu analogen Begriffsbestimmungen in der Akustik und Elektrotechnik gegeben.

Diese Norm soll Grundlage für andere Normen bezüglich der Begriffe, Benennungen und Definitionen in den genannten Fachgebieten sein. Sie soll die interdisziplinäre Zusammenarbeit durch einheitliche Begriffe und allgemeingültige Darstellung der Zusammenhänge erleichtern.

normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

DIN 1301-1

Einheiten — Teil 1: Einheitenamen, Einheitenzeichen

DIN 1311-4

Schwingungslehre — Teil 4: Schwingende Kontinua, Wellen

DIN 45667

Klassiervverfahren für das Erfassen regelloser Schwingungen

2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese

^{*)} Z. Z. Entwurf

Fortsetzung Seite 2 bis 18

Normenausschuß Technische Grundlagen (NATG) — Einheiten und Formelgrößen —
im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
Normenausschuß Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI

3 Schwingung

Eine Schwingung ist eine zeitliche Änderung einer Zustandsgröße eines Systems, bei der im allgemeinen diese Zustandsgröße abwechselnd zu- und abnimmt. Spezielle zeitliche Änderungen wie Stoß- und Kriechvorgänge werden im erweiterten Sinn auch als Schwingungen bezeichnet.

4 Zustandsgrößen

Bei mechanischen Schwingungen sind die Zustandsgrößen die mechanischen Größen zur Beschreibung

- von Bewegungen, also Wege, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Drehwinkel, Winkelgeschwindigkeiten, Winkelbeschleunigungen,
- von inneren Belastungen eines Systems, also Normalkräfte, Querkkräfte, Biege- und Torsionsmomente,
- von inneren Beanspruchungen, also Normalspannungen und Schubspannungen sowie
- von Verzerrungen (Dehnungen und Scherungen).

Zur Beschreibung des momentanen Zustands eines mechanischen Systems sind für jeden Freiheitsgrad zwei Zustandsgrößen erforderlich. Häufig werden dafür Weg und Geschwindigkeit oder Drehwinkel und Winkelgeschwindigkeit verwendet.

In der Akustik sind die Zustandsgrößen z. B. Schalldruck, Schallschnelle.

In der Elektrotechnik sind die Zustandsgrößen z. B. Spannung, Stromstärke, Feldstärke.

5 Einteilung der Schwingungen nach dem zeitlichen Verlauf

Schwingungen können hinsichtlich des Zeitverlaufes nach Bild 1 unterteilt werden. Zu stationären und instationären Schwingungen siehe Abschnitt 16.

5.1 Deterministische Schwingung

Eine deterministische Schwingung hat einen Zeitverlauf, der sich durch eine funktionale Abhängigkeit $x(t)$ zwischen der Zeit t und dem Augenblickswert x beschreiben läßt. Daher kann eine deterministische Schwingung auch als funktional beschreibbare Schwingung bezeichnet werden.

Eine periodische Schwingung nach 5.1.1 ist ein Sonderfall einer deterministischen Schwingung. Alle anderen deterministischen Schwingungen werden als nichtperiodische Schwingungen bezeichnet. Diese werden ihrerseits nach Bild 1 noch in transiente Schwingungen und allgemein nichtperiodische Schwingungen unterteilt.

5.1.1 Periodische Schwingung

Eine periodische Schwingung (siehe Bild 2) ist eine deterministische Schwingung. Sie hat einen Zeitverlauf, der sich nach einer Periodendauer T (siehe 5.1.1.3) wiederholt:

$$x(t + T) = x(t) \quad \text{für alle } t.$$

Die Wiederholung ist dann auch für n (ganze Zahl) Periodendauern gegeben:

$$x(t + nT) = x(t).$$

Periodische Schwingungen können mittels der harmonischen Analyse (Fourier-Reihe, siehe Abschnitte 7 und 8.3) als Summe von harmonischen Schwingungen dargestellt werden.

ANMERKUNG 1: Eine harmonische Schwingung nach 5.1.1.1 ist ein Sonderfall einer periodischen Schwingung. Alle anderen periodischen Schwingungen werden als allgemein periodische Schwingungen bezeichnet.

5.1.1.1 Harmonische Schwingung

5.1.1.1.1 Beschreibung

Läßt sich der Zeitverlauf einer Schwingung durch eine Kosinus- oder eine Sinus-Funktion beschreiben, deren

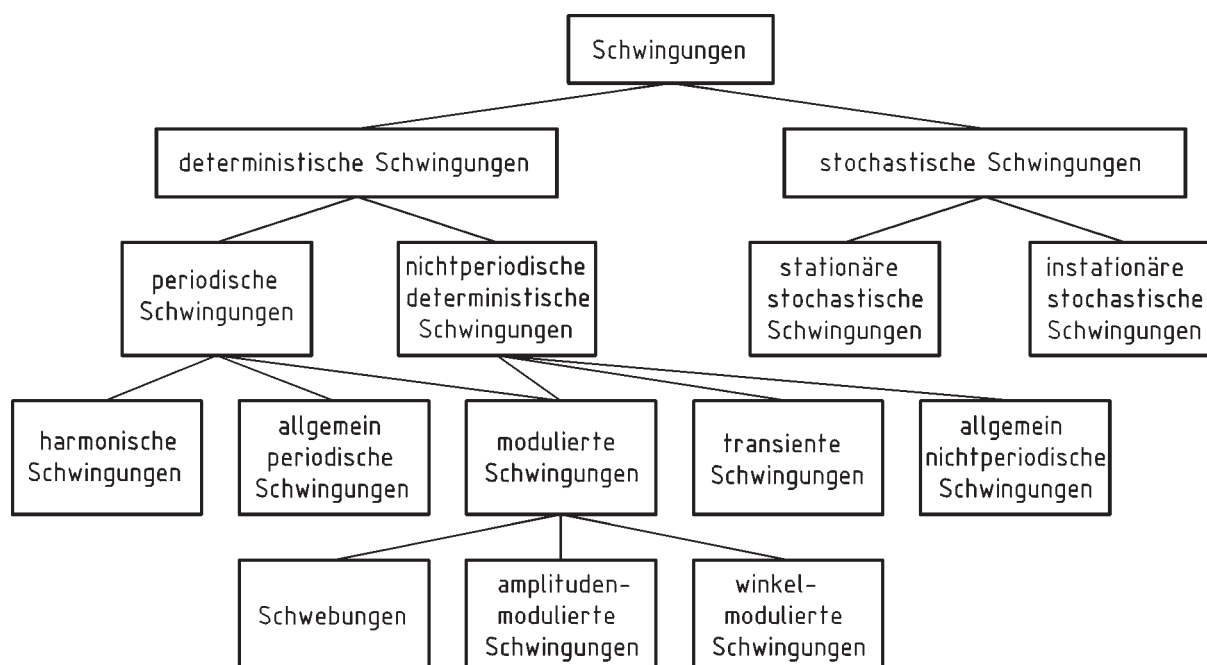


Bild 1: Einteilung der Schwingungen hinsichtlich ihres Zeitverlaufs

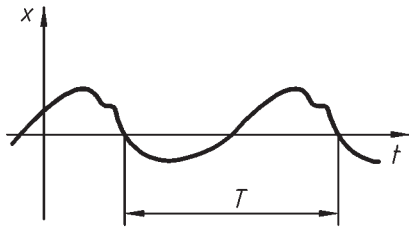


Bild 2: Beispiel einer allgemein periodischen Schwingung

Argument (siehe 5.1.1.1.6) eine lineare Funktion der Zeit ist, so heißt die Schwingung harmonische Schwingung.

Eine harmonische Schwingung ist ein spezieller Fall einer periodischen Schwingung (siehe 5.1.1) und damit auch eine deterministische Schwingung (siehe 5.1).

Eine harmonische Schwingung $x(t)$ kann angegeben werden in reeller Darstellung vorzugsweise als

$$x(t) = \hat{x} \cos(\omega t + \varphi_0),$$

$$x(t) = \hat{x} \sin(\omega t + \varphi_{0s}) \text{ oder}$$

$$x(t) = x_c \cos \omega t + x_s \cdot \sin \omega t$$

und in komplexer Darstellung (siehe auch DIN 5483-3) als

$$\underline{x}(t) = \hat{x} e^{i(\omega t + \varphi_0)}$$

$$\underline{x}(t) = \hat{x} [\cos(\omega t + \varphi_0) + i \sin(\omega t + \varphi_0)]$$

$$\underline{x}(t) = \hat{x} e^{i\varphi_0} e^{i\omega t}$$

$$\underline{x}(t) = \hat{x} e^{i\omega t}.$$

Bild 3a) zeigt den Zeitverlauf einer harmonischen Schwingung, die in Bild 3b) als Zeigerdiagramm dargestellt ist.

Daraus folgt:

$x(t) = \operatorname{Re}(\underline{x}(t))$ oder $x(t) = \operatorname{Im}(\underline{x}(t))$, je nach dem Ansatz im Reellen.

Darin sind:

$\hat{x}$	die Amplitude der Schwingung (siehe 5.1.1.1.2),
x_c, x_s	Koeffizienten mit $\hat{x} = \sqrt{x_c^2 + x_s^2}$,
$\underline{\hat{x}} = \hat{x} e^{i\varphi_0}$	die komplexe Amplitude der Schwingung (siehe 5.1.1.1.10),
ω	die Kreisfrequenz der Schwingung (siehe 5.1.1.1.5),
φ_0	der Nullphasenwinkel (siehe 5.1.1.1.7),
φ_{0s}	mit $\varphi_{0s} = \varphi_0 + \pi/2$,
t	die Zeit,
i	die imaginäre Einheit, $i = \sqrt{-1}$ (siehe Anmerkung 4),
$\operatorname{Re}(\dots)$	Realteil von ... ,
$\operatorname{Im}(\dots)$	Imaginärteil von ...

ANMERKUNG 1: Die harmonische Schwingung ist der einfachste Schwingungsverlauf. Sie nimmt deshalb eine Sonderstellung ein. Die harmonische Schwingung zeichnet sich unter anderem dadurch aus, daß die Addition und die Subtraktion zweier harmonischer Schwingungen derselben Kreisfrequenz sowie deren Integration und Differentiation wieder zu harmonischen Schwingungen derselben Kreisfrequenz führen.

ANMERKUNG 2: Die harmonischen Schwingungen werden auch als Sinus-Schwingungen (Kosinus-Schwingungen) bezeichnet. In der Akustik wird das Wort „harmonisch“ auch in Anlehnung an die musikalischen Intervalle benutzt, um auszusagen, daß die Frequenzen mehrerer harmonischer Schwingungen in ganzzahligen Verhältnissen zueinander stehen (siehe 7.1).

ANMERKUNG 3: In der Akustik wird die harmonische Schwingung auch Sinusschall oder Sinustonschall genannt.

ANMERKUNG 4: Dem Brauch in der Mathematik, der Mechanik, dem Maschinenbau, der Fahrzeugtechnik, dem Bauingenieurwesen und anderen Gebieten folgend wurde der Buchstabe i für die imaginäre Einheit verwendet. In der Akustik, Elektrotechnik und anderen Gebieten wird die imaginäre Einheit mit j gekennzeichnet.

ANMERKUNG 5: Als Kennzeichnung für eine komplexe Größe wird die Unterstreichung nach DIN 5483-3 verwendet.

5.1.1.1.2 Amplitude

Die Amplitude $\hat{x}$ ist der Scheitelwert (siehe 5.3.4) einer harmonischen Schwingung $x(t)$ (siehe Bild 3a).

5.1.1.1.3 Periodendauer

Die Periodendauer T ist die kürzeste Zeitspanne, nach der sich der Zeitverlauf der Schwingung wiederholt (siehe Bilder 2 und 3a).

5.1.1.1.4 Frequenz

Die Frequenz f ist der reziproke Wert der Periodendauer T . Für die SI-Einheit s^{-1} der Frequenz wird der besondere Name Hertz (Einheitenzeichen: Hz) verwendet (siehe DIN 1301-1).

5.1.1.1.5 Kreisfrequenz

Die Kreisfrequenz ω ist das 2π -fache der Frequenz f . Bei der Darstellung des Zeitverlaufes einer harmonischen Schwingung im Zeigerdiagramm (Bild 3b) rotiert der Zeiger mit einer Winkelgeschwindigkeit, die gleich der Kreisfrequenz der Schwingung ist. Die SI-Einheit der Kreisfrequenz ist s^{-1} (auch rad/s, siehe DIN 1301-1 und DIN 1304-1).

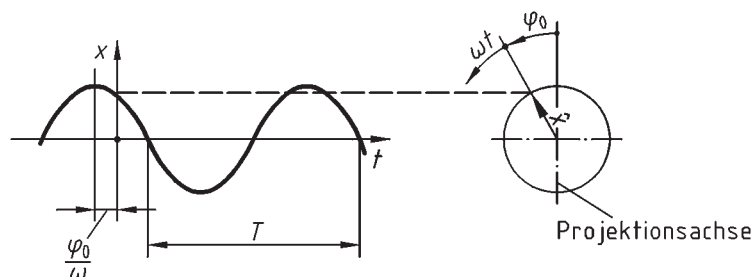


Bild 3: Zeitverlauf a) und Zeigerdiagramm b) einer harmonischen Schwingung

5.1.1.1.6 Phasenwinkel

Das Argument $\varphi(t) = \omega t + \varphi_0$ der Kosinusfunktion einer harmonischen Schwingung $x(t) = \hat{x} \cos \varphi(t)$ heißt Phasenwinkel φ . Die SI-Einheit des Phasenwinkels φ führt den besonderen Namen Radiant (Einheitenzeichen: rad).

5.1.1.1.7 Nullphasenwinkel

Der Nullphasenwinkel φ_0 ist der für $t = 0$ auftretende Phasenwinkel (siehe 5.1.1.1.6).

5.1.1.1.8 Phasenverschiebungswinkel

Die Differenz $\Delta\varphi$ der Phasenwinkel, also auch die der Nullphasenwinkel, zweier harmonischer Schwingungen $x_1(t)$, $x_2(t)$ derselben Kreisfrequenz heißt Phasenverschiebungswinkel (siehe Bild 4):

$$\Delta\varphi = (\omega t + \varphi_{02}) - (\omega t + \varphi_{01}) = \varphi_{02} - \varphi_{01}.$$

5.1.1.1.9 Phasenverschiebungszeit

Die Phasenverschiebungszeit Δt ist die Zeitspanne, die dem Phasenverschiebungswinkel $\Delta\varphi$ zugeordnet ist:

$$\Delta t = \Delta\varphi / \omega.$$

5.1.1.1.10 Komplexe Amplitude

Die komplexe Amplitude $\hat{x}$ ist eine Zusammenfassung der Amplitude $\hat{x}$ und des Nullphasenwinkels φ_0 zu einer komplexen Größe nach

$$\hat{x} = \hat{x} \cdot e^{i\varphi_0}.$$

Sie stellt in der Gaußschen Zahlenebene einen ruhenden Zeiger $\hat{x}$ der Länge $\hat{x}$ dar, der mit der reellen Achse den Winkel φ_0 einschließt.

5.1.1.2 Allgemein periodische Schwingung

Die periodischen Schwingungen nach 5.1.1 werden unterteilt in den Sonderfall der harmonischen Schwingung nach 5.1.1.1 und den allgemeinen Fall der allgemein periodischen Schwingung.

5.1.2 Nichtperiodische Schwingung

Eine nichtperiodische Schwingung ist eine deterministische Schwingung, deren Zeitverlauf $x(t)$ sich nicht wiederholt. Es existiert also keine Zeitspanne $T \neq 0$, für die $x(t+T) = x(t)$ für alle t ist.

Nichtperiodische Schwingungen können mittels der Fourier-Transformation (siehe Abschnitt 8) in Integralform

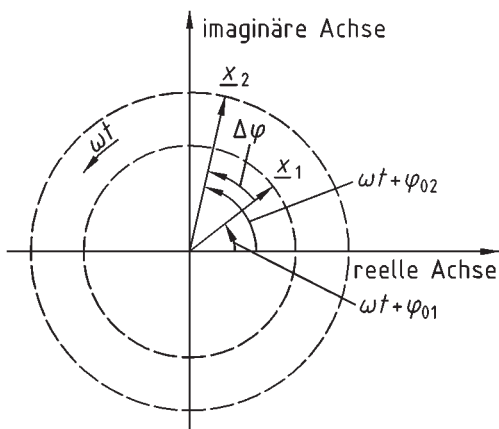


Bild 4: Phasenverschiebungswinkel

als Überlagerung von harmonischen Schwingungen dargestellt werden.

ANMERKUNG: Sofern mehrere harmonische Schwingungen mit Frequenzen, die in einem nicht rationalen Verhältnis zueinander stehen, überlagert werden, entstehen nichtperiodische Schwingungen.

5.1.2.1 Transiente Schwingung

Eine transiente Schwingung ist eine nichtperiodische deterministische Schwingung, die den Übergang zwischen zwei Zuständen beschreibt (siehe Bild 5). Ihr Zeitverlauf läßt sich auf eine Überlagerung von harmonischen Schwingungen mit unendlich dicht benachbarten Kreisfrequenzen zurückführen. Transiente Schwingungen haben ein kontinuierliches Fourier-Spektrum.

ANMERKUNG: Auch die häufig als quasiharmonische Schwingungen bezeichneten Ausschwingvorgänge gemäß

$$x(t) = A e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$$

sind transiente Schwingungen.

Hierin bedeuten:

δ Abklingkoeffizient,

ω Quasikreisfrequenz.

Der Wert A und der Nullphasenwinkel φ_0 sind aufgrund der Anfangsbedingungen für den Zeitpunkt $t = 0$ bestimmt. Die Größe $2\pi/\omega$ heißt Quasiperiodendauer.

5.1.2.1.1 Sinusschwingungsstoß

Ein Sinusschwingungsstoß (siehe Bild 6) ist eine transiente Schwingung, die nur für ein Zeitintervall $0 \leq t \leq T_M/2$ einen von null verschiedenen Zeitverlauf hat:

$$x(t) = \begin{cases} \hat{x} \sin \omega_M t \cdot \sin \omega_T t & \text{für } 0 \leq t \leq T_M/2 \\ 0 & \text{sonst,} \end{cases}$$

mit $T_M = 2\pi/\omega_M$.

Die Schwingung $x(t)$ ist eine amplitudenmodulierte Schwingung nach 5.1.3.2 mit $\hat{x}_1 = 0$, $\hat{x}_2 = \hat{x}$, $\varphi_{0T} = 0$ und $\varphi_{0M} = 0$. Ferner ist die Trägerkreisfrequenz ω_T ein ganzzahliges Vielfaches der Modulationskreisfrequenz ω_M .

5.1.2.1.2 Gleitsinus-Schwingung

Eine Gleitsinus-Schwingung ist eine transiente Schwingung der Form

$$x(t) = \hat{x} \sin \varphi(t).$$

Die augenblickliche Kreisfrequenz ist monoton veränderlich:

$$\omega(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt}.$$

Für die zeitliche Änderung der Kreisfrequenz, ausgehend von der Kreisfrequenz ω_0 , sind besonders zwei Fälle von praktischer Bedeutung:

a) $\omega(t) = \omega_0 \pm r_1 t$

mit zeitlich linearer Kreisfrequenzänderung und der Kreisfrequenzänderungsrate r_1 , die die Dimension Zeit⁻² hat (siehe Bild 7).

b) $\lg(\omega(t)/\omega_0) = r_2 \cdot t$ oder $\omega(t) = \omega_0 \cdot 10^{r_2 t}$

mit zeitlich exponentieller Kreisfrequenzänderung. Sie ordnet einer linearen Zeitskala eine logarithmische Frequenzskala zu. Die Größe r_2 kann z. B. in der Einheit Dekaden je Minute angegeben werden. Häufiger wird die Größe $r_2/\lg 2$ verwendet, die in Oktaven je Minute angegeben und als Durchlaufgeschwindigkeit bezeichnet wird.

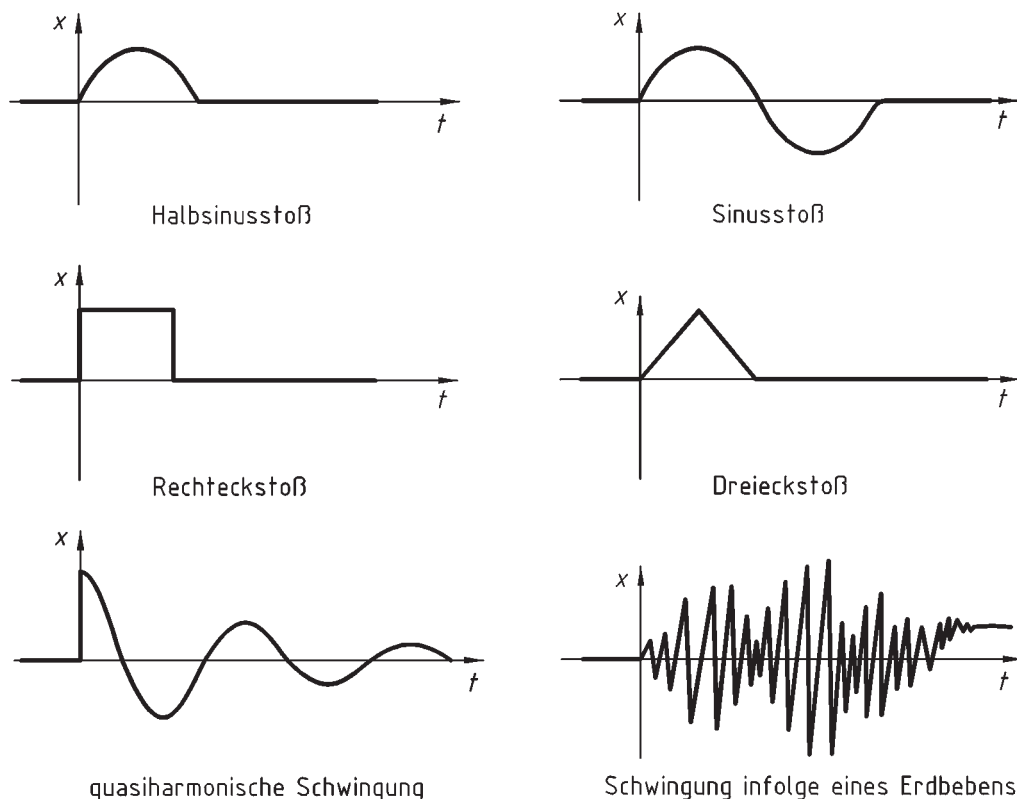


Bild 5: Beispiele für transiente Schwingungen

5.1.2.2 Allgemein nichtperiodische Schwingung

Eine allgemein nichtperiodische Schwingung ist eine nichtperiodische deterministische Schwingung, deren Zeitverlauf sich auf eine Überlagerung von einer begrenzten Anzahl harmonischer Schwingungen, deren Kreisfrequenzen nicht in einem rationalen Verhältnis zueinander stehen, zurückführen läßt. Allgemein nichtperiodische Schwingungen haben ein diskretes Fourier-Spektrum (siehe Abschnitt 7).

5.1.3 Schwebung und modulierte Schwingung

5.1.3.1 Schwebung

Eine Schwebung ist eine deterministische Schwingung, die sich aus zwei harmonischen Schwingungen mit wenig verschiedenen Kreisfrequenzen zusammensetzt nach

$$x(t) = \hat{x}_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_{01}) + \hat{x}_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_{02}).$$

Diese Schwebung ist dann periodisch, wenn die beiden Kreisfrequenzen ein rationales Verhältnis bilden. Aber

auch wenn das nicht der Fall ist, hat die Schwebung eine Einhüllende, die periodisch mit der Kreisfrequenz $\omega_S = |\omega_2 - \omega_1|$ ist. Diese Kreisfrequenz ω_S wird Schwebungskreisfrequenz genannt.

Bei der Schwebung sind die Einhüllenden

$$x_S(t) = \pm \sqrt{\hat{x}_1^2 + \hat{x}_2^2 + 2\hat{x}_1\hat{x}_2 \cos((\omega_2 - \omega_1)t + \varphi_{02} - \varphi_{01})},$$

ihre Grundkreisfrequenz (siehe 7.1) ist ω_S .

Im speziellen Fall gleich großer Amplituden ($\hat{x}_1 = \hat{x}_2$), der auch reine Schwebung genannt wird, ergibt sich durch trigonometrische Umformung

$$x(t) = 2\hat{x}_1 \sin\left[\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t + \frac{\varphi_{01} + \varphi_{02}}{2}\right] \cdot \cos\left[\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t + \frac{\varphi_{01} - \varphi_{02}}{2}\right].$$

Die Einhüllenden sind

$$x_S(t) = \pm 2\hat{x}_1 \left| \cos\left[\frac{\omega_2 - \omega_1}{2}t + \frac{\varphi_{02} - \varphi_{01}}{2}\right] \right|,$$

ihre Grundkreisfrequenz (siehe 7.1) ist $\omega_S = |\omega_1 - \omega_2|$.

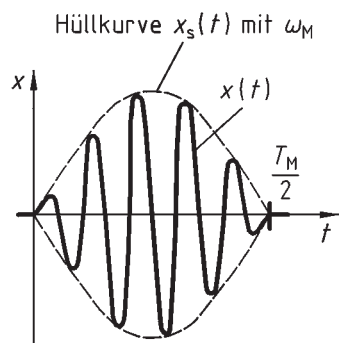


Bild 6: Sinusschwingungsstoß

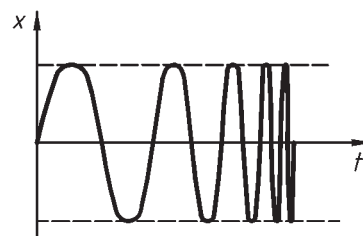


Bild 7: Gleitsinus-Schwingung mit zeitlich linearer Kreisfrequenzänderung

Im Fourier-Spektrum (siehe Abschnitt 7) sind bei einer Schwebung nur die Kreisfrequenzen ω_1 und ω_2 enthalten, jedoch nicht die Schwebungskreisfrequenz ω_s und der Mittelwert $\omega_s = (\omega_2 + \omega_1)/2$ der beiden Kreisfrequenzen.

ANMERKUNG: Eine Schwebung stellt eine Modulation von Amplitude und Phase dar.

5.1.3.2 Amplitudenmodulierte Schwingung

Eine amplitudenmodulierte Schwingung $x(t)$ entsteht, wenn die Amplitude einer harmonischen Schwingung mit der Trägerkreisfrequenz ω_T sich einem modulierenden Vorgang $x_M(t)$ entsprechend zeitlich ändert:

$$x(t) = x_M(t) \sin(\omega_T t + \varphi_{0T}).$$

Im einfachsten Fall ist $x_M(t)$ selbst eine harmonische Schwingung mit der Modulationskreisfrequenz ω_M :

$$x_M(t) = \hat{x}_1 + \hat{x}_2 \sin(\omega_M t + \varphi_{0M})$$

$$x_M(t) = \hat{x}_1 [1 + m \sin(\omega_M t + \varphi_{0M})].$$

Hierin ist $m = \hat{x}_2/\hat{x}_1$ der Modulationsgrad.

Somit wird

$$x(t) = \hat{x}_1 [1 + m \sin(\omega_M t + \varphi_{0M})] \sin(\omega_T t + \varphi_{0T}).$$

Nach trigonometrischer Umformung ergibt sich die spektrale Darstellung

$$x(t) = \hat{x}_1 \left\{ \sin(\omega_T t + \varphi_{0T}) + \frac{m}{2} \cos[(\omega_T - \omega_M)t + \varphi_{0T} - \varphi_{0M}] - \frac{m}{2} \cos[(\omega_T + \omega_M)t + \varphi_{0T} + \varphi_{0M}] \right\}.$$

Sofern die beiden Kreisfrequenzen ω_T und ω_M ein rationales Verhältnis bilden, ist die Schwingung $x(t)$ periodisch.

ANMERKUNG: Eine sinusförmig amplitudenmodulierte Schwingung wird auch als harmonische Schwingung zweiter Art bezeichnet.

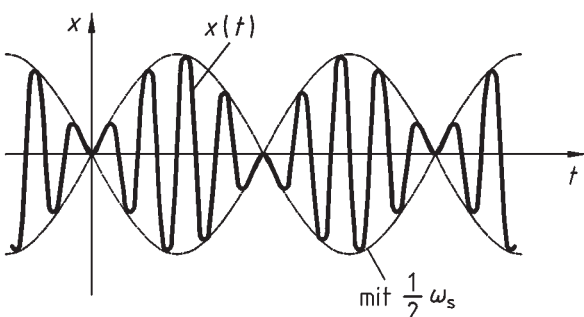
5.1.3.3 Winkelmodulierte Schwingung

Eine winkelmodulierte Schwingung mit der Amplitude $\hat{x}_T$ ist eine deterministische Schwingung $x(t) = \hat{x}_T \sin \varphi(t)$, bei der sich der Phasenwinkel $\varphi(t)$ zeitlich in eindeutiger Abhängigkeit von einem modulierenden Vorgang ändert.

a) Phasenmodulierte Schwingung

Der Phasenwinkel $\varphi(t)$ ändert sich in Abhängigkeit von einem modulierenden Vorgang $\Delta\varphi(t)$ gemäß $\varphi(t) = \omega_T t + \varphi_{0T} + \Delta\varphi(t)$.

Ist der modulierende Vorgang selbst eine harmonische Schwingung mit der Modulationskreisfrequenz ω_M , so ist $\Delta\varphi(t) = \Delta\varphi \sin(\omega_M t + \varphi_{0M})$ mit dem Phasenhub $\Delta\varphi$.



b) Frequenzmodulierte Schwingung

Die Augenblicks-Kreisfrequenz $\omega(t) = d\varphi(t)/dt$ ändert sich entsprechend einem modulierenden Vorgang. Der

Phasenwinkel wird $\varphi(t) = \int \omega(t) dt + \varphi_{0T}$.

Ist der modulierende Vorgang selbst eine harmonische Schwingung mit der Modulationskreisfrequenz ω_M , so ist $\omega(t) = \omega_T + \Delta\omega_T \cos(\omega_M t + \varphi_{0M})$.

Damit wird

$$x(t) = \hat{x}_T \sin \left[\omega_T t + \varphi_{0T} + \frac{\Delta\omega_T}{\omega_M} \sin(\omega_M t + \varphi_{0M}) \right].$$

Hierin bedeuten:

$\Delta\omega_T$ Kreisfrequenz-Hub,

$\frac{\Delta\omega_T}{\omega_M}$ Modulationsindex.

Sofern die beiden Kreisfrequenzen ω_M und ω_T ein rationales Verhältnis bilden, ist die Schwingung $x(t)$ periodisch.

5.2 Stochastische Schwingung

5.2.1 Beschreibung

Eine stochastische Schwingung kann nicht durch eine funktionale (formelmäßige) Abhängigkeit zwischen der unabhängigen Veränderlichen, der Zeit t , und der abhängigen Veränderlichen, der Größe x , beschrieben werden. Für eine stochastische Schwingung kann der Wert x der Schwingung $x(t)$ für keinen vorgegebenen Zeitpunkt t vorausgerechnet werden.

ANMERKUNG 1: Die stochastischen Schwingungen werden auch als regellose Schwingungen oder Zufallsschwingungen bezeichnet. Zu den stochastischen Schwingungen gehört auch das Rauschen.

ANMERKUNG 2: Beispielsweise ist eine registrierte Schwingung nach einem Erdbeben eine deterministische Schwingung. Der noch unbekannte Zeitverlauf eines zu erwartenden Erdbebens ist eine stochastische Schwingung.

Die Eigenschaften solcher Schwingungen lassen sich mit den Methoden der Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung, insbesondere durch Mittelwertbildungen verschiedener Art, durch Kenngrößen und Kennfunktionen, beschreiben. Dabei wird zwischen der Zeitmittelung bei einem einzelnen zeitlichen Verlauf einer stochastischen Schwingung und einer Ensemblemittelung bei einem stochastischen Prozeß unterschieden.

ANMERKUNG 3: In der Praxis werden stochastische Schwingungen als Einzelvorgänge betrachtet.

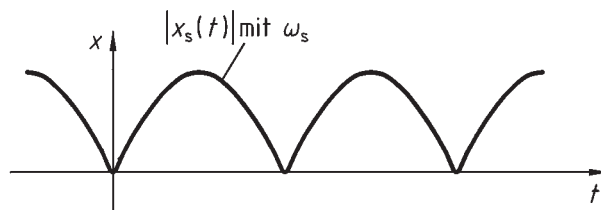


Bild 8: Die reine Schwebung mit $\hat{x}_1 = \hat{x}_2$ sowie Betrag der Einhüllenden $|x_s(t)|$