

# Formelsammlung Physik 2

Tim Hilt

22. Juni 2018

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Schwingungen</b>	<b>1</b>
1.1	Formelzeichen . . . . .	1
1.2	Formeln . . . . .	1
1.2.1	Allgemein . . . . .	1
	$k_{Ges}$ , wenn Federn parallel . . . . .	1
	$k_{Ges}$ , wenn Federn seriell . . . . .	2
	Eigenkreisfrequenz . . . . .	2
	Umrechnung $f / T$ . . . . .	2
	Allgemeine Schwingungsdgl . . . . .	2
	Drehmoment . . . . .	2
1.2.2	Ungedämpfte Systeme . . . . .	2
	Kriterium für harmonische Schwingung: . . . . .	2
	Weg-Zeit-Funktion ungedämpfter Systeme . . . . .	2
	Schwingungsdauer ungedämpft . . . . .	2
	Maximale Geschwindigkeit im Schwingvorgang . . . . .	2
	Amplitude $x_m$ . . . . .	2
	Kreisfrequenz ungedämpft . . . . .	2
	Hookesches Gesetz . . . . .	2
	Hookesches Gesetz bei Drehbewegungen . . . . .	2
	U-Rohr . . . . .	3
	Schwingungsdgl am U-Rohr . . . . .	3
1.2.3	Gedämpfte Systeme . . . . .	3
	Abklingfunktion . . . . .	3
	Kreisfrequenz gedämpft . . . . .	3
	Abklingkoeffizient . . . . .	3
	Dämpfungskonstante . . . . .	3
	Schwingungszeit gedämpft . . . . .	3
	Reibkonstante . . . . .	3
	Logarithmisches Dekrement . . . . .	3
	Güte . . . . .	3
	Schwingungsenergie . . . . .	3
	Energieverlust . . . . .	3
	Aperiodischer Grenzfall . . . . .	4
1.2.4	Erzwungen schwingende Systeme . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Akustik</b>	<b>5</b>
2.1	Formelzeichen . . . . .	5
2.2	Konstanten . . . . .	5
2.3	Formeln . . . . .	5
	Schallgeschwindigkeit . . . . .	5

	Schallintensitätspegel . . . . .	6
	Summe mehrerer <b>gleich lauter</b> Schallpegel . . . . .	6
	Summe mehrerer <b>unterschiedlich lauter</b> Schallquellen . . . . .	6
	Schallpegeldifferenz: . . . . .	6
	Schallintensität . . . . .	6
	Schallintensität Halbkugel . . . . .	6
	Schallintensität Kugel . . . . .	7
	Schallkennimpedanz / Wellenwiderstand . . . . .	7
	Schalldruckamplitude . . . . .	7
	Umrechnung vom Effektivwert . . . . .	7
	Dopplereffekt . . . . .	7
	Machscher Kegel . . . . .	7
	Machzahl . . . . .	7
	Ab wann Überschallknall? . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Wellen</b>	<b>8</b>
3.1	Formelzeichen . . . . .	8
3.2	Formeln . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Stehende Wellen</b>	<b>9</b>
4.1	Formelzeichen . . . . .	9
4.2	Konstanten . . . . .	9
4.3	Formeln . . . . .	9
	Schallgeschwindigkeit . . . . .	9
	Länge der Saite/des Rohres (gleiche Enden) . . . . .	9
	Länge der Saite/ des Rohres (ungleiche Enden) . . . . .	10
	Länge einfachster Fall (gleiche Enden) . . . . .	10
	Länge einfachster Fall (ungleiche Enden) . . . . .	10
	Grundschwingung/Wellenlänge gleiche Enden . . . . .	10
	Grundschwingung ungleiche Enden . . . . .	10
	Frequenzverhältnis . . . . .	10
	Wellenzahl . . . . .	10
	Wellengeschwindigkeit . . . . .	10
<b>5</b>	<b>Optik</b>	<b>11</b>
5.1	Formelzeichen . . . . .	11
5.2	Konstanten . . . . .	11
5.3	Formeln . . . . .	12
	Zusammenhang Frequenz / Ausbreitungsgeschwindigkeit . . . . .	12
	Abstand berechnen (Radarpistole u.Ä.) . . . . .	12
	Frequenzverschiebung . . . . .	12
	Geschwindigkeit Zielfahrzeug . . . . .	12
	Frequenzverschiebung beim Dopplereffekt . . . . .	12
	Optischer Dopplereffekt . . . . .	12
	Violett- / Rotverschiebung . . . . .	12
	Reflexionsgrad $R$ . . . . .	12
	Transmissionsgrad $T$ . . . . .	12
	Transmissionsgrad <b>durch</b> Medium . . . . .	12

5.3.1	Entspiegelung . . . . .	13
	Brechungsindex von Entspiegelungsschicht . . . . .	13
	Gangunterschied zwischen den beiden Schichten . . . . .	13
	Schichtdicke $d$ . . . . .	13
5.3.2	Brechung . . . . .	13
	Umrechnungen . . . . .	13
	Ausbreitungsgeschwindigkeit im Medium . . . . .	13
	Grenzwinkel der Totalreflexion . . . . .	14
	Brewsterwinkel . . . . .	14
5.3.3	Beugung . . . . .	14
	Einzelspalt . . . . .	14
	Doppelspalt . . . . .	14
	Intensitätsmaxima . . . . .	14
	Intensitätsminima . . . . .	14
	Gitter . . . . .	14
	Intensitätsmaxima . . . . .	14

# Abbildungsverzeichnis

5.1	Farbspektrum	11
5.2	Entspiegelung	13

# 1 Schwingungen

## 1.1 Formelzeichen

Formelzeichen	Physikalische Größe	Einheit
$f$	Frequenz	Hz
$T$	Schwingungsdauer	s
$\omega_0$	Winkelgeschwindigkeit (ungedämpftes System)	$s^{-1}$
$\omega_d$	Winkelgeschwindigkeit (gedämpftes System)	$s^{-1}$
$k$	Federkonstante	$\frac{N}{m}$
$x$	Auslenkung	m
$D$	Dämpfungskonstante	(Einheitenlos)
$\delta$	Abklingkoeffizient	$s^{-1}$
$b$	Reibkonstante	$\frac{kg}{s}$
$F_E$	Anregende Kraft	N
$E_v / E_n$	Energie davor / Energie danach	
$J$	Massenträgheitsmoment	$kg * m^2$
$\varphi$	Drehwinkel	Bogenmaß
$M$	Drehmoment	Nm

## 1.2 Formeln

### 1.2.1 Allgemein

$k_{Ges}$ , wenn Federn parallel .....  $k_{Ges} = k_1 + k_2 + k_3 + \dots + k_n$

$$k_{Ges}, \text{ wenn Federn seriell} \dots\dots\dots \frac{1}{k_{Ges}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots + \frac{1}{k_n}$$

$$\text{Eigenkreisfrequenz} \dots\dots\dots \omega = 2\pi * f = \frac{2\pi}{T}$$

$$\text{Umrechnung } f / T \dots\dots\dots f = \frac{1}{T}; T = \frac{1}{f}$$

$$\text{Allgemeine Schwingungsdgl} \dots\dots\dots m * \ddot{x} + b * \dot{x} + k * x = F_E$$

$$\text{Drehmoment} \dots\dots\dots M = k * J = F * x \text{ (wobei } x \text{ die Länge des Hebelarms darstellt)}$$

## 1.2.2 Ungedämpfte Systeme

Kriterium für harmonische Schwingung:  $\frac{x}{F}$ , bzw.  $\frac{\varphi}{M}$  muss linear sein!

$$\text{Weg-Zeit-Funktion ungedämpfter Systeme} \dots\dots\dots x(t) = x_m * \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$\text{Schwingungsdauer ungedämpft} \dots\dots\dots T_0 = 2\pi * \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$\text{Maximale Geschwindigkeit im Schwingvorgang} \dots\dots\dots v_{\max} = x_m * \omega_0$$

$v_{\min}$  ist immer = 0!

$$\text{Amplitude } x_m \dots\dots\dots x_m = \sqrt{x_0^2 + \left(\frac{v_0}{\omega_0}\right)^2}$$

$$\text{Kreisfrequenz ungedämpft} \dots\dots\dots \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ Und bei Drehbewegungen: } \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{J}}$$

$$\text{Hookesches Gesetz} \dots\dots\dots F_s = k * x$$

$$\text{Hookesches Gesetz bei Drehbewegungen} \dots\dots\dots M = k * \varphi$$

## U-Rohr

Schwingungsdgl am U-Rohr .....  $\underbrace{\rho * A * l}_{m} * \ddot{x} + \underbrace{\rho * A * g * 2}_{k} x = 0$   
 $(x = x_0 * \cos(\omega_0 * t))$

### 1.2.3 Gedämpfte Systeme

Abklingfunktion .....  $x_m = x_0 * e^{-\delta * t}$

Kreisfrequenz gedämpft .....  $\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = \omega_0 \sqrt{1 - D^2}$

Abklingkoeffizient .....  $\delta = \frac{b}{2m} = D * \omega_0$

Dämpfungskonstante .....  $D = \frac{\delta}{\omega_0}$

Schwingungszeit gedämpft .....  $T_D = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}} = \frac{T_0}{\sqrt{1 - D^2}}$

Reibkonstante .....  $b = \delta * 2m$

Logarithmisches Dekrement .....  $\Lambda = \delta * T_0$

Güte .....  $Q = \frac{\pi}{\delta * T} = \frac{1}{2D}$

Schwingungsenergie .....  $E = \frac{1}{2} * c * x^2$

Energieverlust .....  $\frac{\Delta E}{E} = 1 - \frac{E_n}{E_v} = 1 - \frac{\frac{1}{2} c x_1^2}{\frac{1}{2} c x_0^2}$

Kann noch gekürzt werden! .....  $1 - \frac{x_1^2}{x_0^2}$



### Aperiodischer Grenzfall

$$D = 1$$

$$\delta = \omega_0$$

$$b = 2m * \omega_0$$

### 1.2.4 Erzwungen schwingende Systeme

## 2 Akustik

### 2.1 Formelzeichen

Formelzeichen	Physikalische Größe	Einheit
$f$	Frequenz	$Hz$
$L$	Schallpegel	$dB$
$c$	Ausbreitungsgeschwindigkeit	$\frac{m}{s}$
$\lambda$	Wellenlänge	$m$
$I$	Schallintensität	$\frac{W}{m^2}$
$P$	Schallleistung	$W$
$A$	Oberfläche (Kugelwelle)	$m^2$
$Z$	Wellenwiderstand/Schallkennimpedanz	$\frac{kg}{m^2 s}$
$\rho$	Dichte	$\frac{kg}{m^3}$
$p$	Schalldruckamplitude	$Pa$
$Ma$	Machzahl	Einheitenlos

### 2.2 Konstanten

$$I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$$

### 2.3 Formeln

Schallgeschwindigkeit .....  $c = \lambda * f$

Schallintensitätspegel .....  $L_I = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$   
**Wichtigste Formel für Rechnung mit Schallwellen!**

Summe mehrerer **gleich lauter** Schallpegel .....  $L_\Sigma = 10 \log(n) + L_0$   
 , wobei  $n$  die Anzahl der Schallquellen ist und  $L_0$  der Pegel einer einzelnen Schallquelle.

Summe mehrerer **unterschiedlich lauter** Schallquellen .....  $L_\Sigma = 10 * \log(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + 10^{L_3/10} + \dots + 10^{L_n/10})$

Beispiel:

$$L_1 = 90dB, L_2 = 80dB, L_3 = 65dB$$

$$L_\Sigma = 10 * \log(10^9 + 10^8 + 10^{6.5})$$

$$L_\Sigma = 90.426dB$$

Schallpegeldifferenz:

$$\begin{aligned} \Delta L &= L_2 - L_1 \\ &= 10 \log \left( \frac{I_2}{I_1} \right) \end{aligned}$$

Und bei unterschiedlichem Radius/Abstand:

$$= 20 \log \left( \frac{r_1}{r_2} \right)$$

wobei  $L_2$  der größere beider Werte ist

Schallintensität .....  $I = \frac{P}{A} = \frac{\rho * x^2 * \omega^2 * c}{2}$

Bei allen fahrenden / mit der Erde verbundenen Schallquellen gilt  $A = 2\pi r^2$ . Dies entspricht der Oberfläche einer Halbkugel. Dementsprechend gilt für alle fliegenden oder in der Luft aufgehängten Schallquellen  $A = 4\pi r^2$

Schallintensität Halbkugel .....  $I = \frac{P}{2\pi * r^2}$

Schallintensität Kugel .....  $I = \frac{P}{4\pi * r^2}$   
 z.B bei Aufgabenstellung „ Geben Sie Intensität in einer Entfernung von (r) Metern an.“

Schallkennimpedanz / Wellenwiderstand .....  $Z = \rho * c$

Schalldruckamplitude .....  $p = Z * \omega * x$

Umrechnung vom Effektivwert .....  $p = \sqrt{2} * p_{\text{eff}}$

Dopplereffekt

Ruhender Empfänger, bewegter Sender:	$f_E = f_S \frac{1}{1 \mp \frac{v_S}{c}}$
Runder Sender, bewegter Empfänger:	$f_E = f_S \left(1 \pm \frac{v_E}{c}\right)$
Bewegter Sender, bewegter Empfänger:	$f_E = f_S \frac{c \pm v_E}{c \mp v_S}$

Oberes Zeichen: Annäherung; Unteres Zeichen: Entfernung

Machscher Kegel .....  $\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{c}{v_S} = \frac{1}{Ma}$

Machzahl .....  $Ma = \frac{v_S}{c}$

Ab wann Überschallknall? .....  $c = v$  Bei Drehbewegung:  $\frac{c}{r} = \frac{v}{r} = \omega$

## 3 Wellen

### 3.1 Formelzeichen

$\lambda =$  .....Wellenlänge  
Umrechnung von Bogensekunden in Grad: ..... 0°0°Wert° Danach ist Wert für weitere  
Berechnungen nutzbar

### 3.2 Formeln

## 4 Stehende Wellen

### 4.1 Formelzeichen

Formelzeichen	Physikalische Größe	Einheit
$\lambda$	Wellenlänge	$m$
$\rho$	Dichte	$\frac{kg}{m^3}$
$f$	Frequenz	$Hz$
$l$	Länge	$m$
$k$	Anzahl d. Wellenbäuche	Wellen/m
$p$	Luftdruck	$Pa$
$\kappa$	Isentropenexponent; $\frac{c_p}{c_v}$	Einheitenlos

### 4.2 Konstanten

Menschlicher Hörbereich:  $16 - 20000 Hz$

### 4.3 Formeln

Schallgeschwindigkeit .....  $c = \sqrt{\frac{\kappa * p}{\rho_T}} = 331 \frac{m}{s} * \sqrt{\frac{273K + \dots^\circ C}{273K}}$

Länge der Saite/des Rohres (gleiche Enden) .....  $l = (k + 1) * \frac{\lambda}{2} = (k + 1) * \frac{c}{2f}$   
 $k \in 0, 1, 2, \dots$

Länge der Saite/ des Rohres (ungleiche Enden) .....  $l = (2k + 1) * \frac{\lambda}{4} = (2k + 1) * \frac{c}{4f}$

$k \in 0, 1, 2, \dots$

„ 1. Harmonische“  $\equiv$  „ Grundschiwingung “  $\equiv$  „ 0. Oberschiwingung“

Länge einfachster Fall (gleiche Enden) .....  $l = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2f_0}$

Gilt nur für Grundschiwingung!

Länge einfachster Fall (ungleiche Enden) .....  $l = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4f_0}$

Gilt nur für Grundschiwingung!

Grundschiwingung/Wellenlänge gleiche Enden .....  $f = \frac{c}{4 * l}; \lambda = 4 * L$

Grundschiwingung ungleiche Enden .....  $f = \frac{c}{2 * l}; \lambda = 2 * L$

Frequenzverhältnis ..... Bsp.  $\frac{5}{4} \rightarrow \frac{\text{Frequenz nachher}}{\text{Frequenz vorher}}$

Wellenzahl .....  $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$

Wellengeschwindigkeit .....  $c = \sqrt{\frac{F_G}{\rho * A}}$  bzw.  $= \sqrt{\frac{F(x)_G}{\rho * A}}$

, Wenn nicht die gesamte, sondern die Geschwindigkeit an einer bestimmten Stelle gesucht ist

# 5 Optik

## 5.1 Formelzeichen

Formelzeichen	Physikalische Größe	Einheit
$\lambda$	Wellenlänge	$m$
$c$	Lichtgeschwindigkeit	$\frac{m}{s}$
$f$	Frequenz	$Hz$
$R$	Reflexionsgrad	Gibt reflektierten Anteil
$T$	Transmissionsgrad	Gibt transmittierten Anteil
$g$	Gitterkonstante / Abstand der Spaltmitten	$m$
$\alpha_k$	Ablemkungswinkel am $k$ -ten Maximum	$rad$

## 5.2 Konstanten

$$c_0 = 3 * 10^8 \frac{m}{s}$$

Wellenlängenempfindlichkeit des Auges: 400 – 750 nm

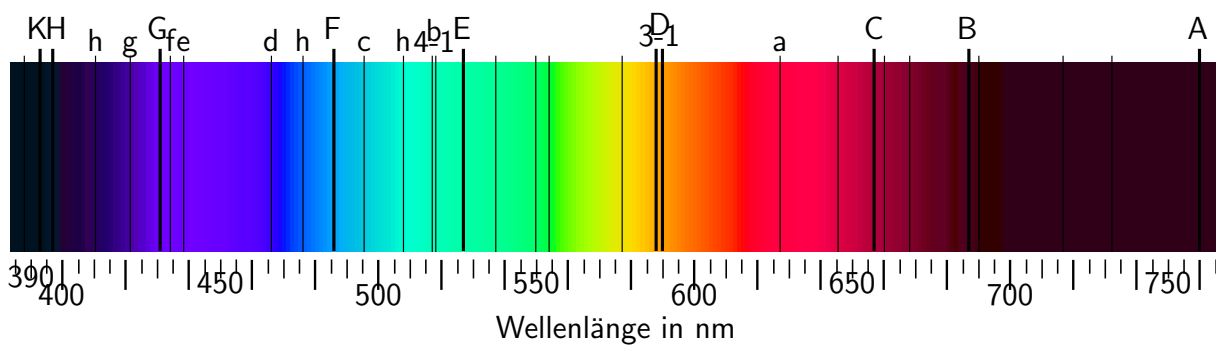


Abbildung 5.1: Farbspektrum und menschlicher Sehbereich



## 5.3 Formeln

Zusammenhang Frequenz / Ausbreitungsgeschwindigkeit .....  $c = f * \lambda$

Abstand berechnen (Radarpistole u.Ä.) .....  $s = \frac{c * t}{2}$   
 Aus Formel der Kinetik  $v = \frac{s}{t}$

Frequenzverschiebung .....  $\Delta f = \frac{2 * f_s * v}{c} = \frac{2 * v}{\lambda_s}$

Geschwindigkeit Zielfahrzeug .....  $v = \frac{\Delta f * \lambda_s}{2} = c * \left( \frac{\Delta f}{f'_R + f_R} \right)$   
 Wenn beide Objekte sich bewegen ist  $v = \Delta v$

### Frequenzverschiebung beim Dopplereffekt

Annäherung → höhere Frequenz / kleinere Wellenlänge → Violett-Verschiebung  
 Entfernung → niedrigere Frequenz / größere Wellenlänge → Rot-Verschiebung

Optischer Dopplereffekt .....  $f_E = f_S * \sqrt{\frac{c \pm v}{c \mp v}}$

Violett- / Rotverschiebung .....  $\lambda_E = \lambda_S * \sqrt{\frac{1 \mp \frac{v}{c}}{1 \pm \frac{v}{c}}}$   
 Oberes Zeichen: Annäherung; Unteres Zeichen: Entfernung

Reflexionsgrad  $R$  .....  $R = \left( \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2$

Transmissionsgrad  $T$  .....  $T = 1 - R = \frac{4n_1n_2}{(n_1 + n_2)^2}$

Gibt jeweils nur **einen** Übergang an!

Falls Medium nicht transparent gilt mit dieser Formel der **Absorptionsgrad**

Transmissionsgrad **durch** Medium .....  $T_{Ges} = (1 - R)^2 = T_1 \cdot T_2$

### 5.3.1 Entspiegelung

Hierbei sei  $n_1/\lambda_1$  die Wellenlänge und Brechzahl in Luft,  $n_2/\lambda_2$  die Brechzahl und Wellenlänge in der Entspiegelungsschicht der Dicke  $d$  und  $n_3/\lambda_3$  die Wellenlänge und Brechzahl des Brillenglases.

Bei perfekt entspiegelten Oberflächen beträgt der Gangunterschied an der Oberfläche immer  $\frac{\lambda_1}{2}$

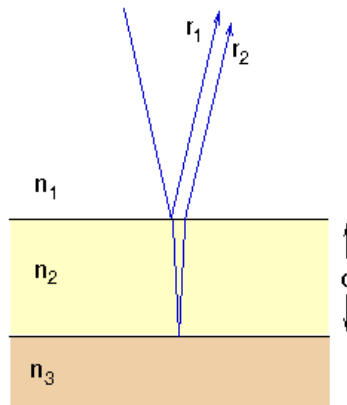


Abbildung 5.2: Grafik zur Veranschaulichung der Entspiegelung

Brechungsindex von Entspiegelungsschicht .....  $n_2 = \sqrt{n_1 * n_3}$

Gangunterschied zwischen den beiden Schichten .....  $\Delta x = 2 * n_2 * d$

Schichtdicke  $d$  .....  $d = \frac{\lambda_1}{4n_2}$

### 5.3.2 Brechung

Umrechnungen .....  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$

Von dünn nach dicht → zum Lot hin; von dicht nach dünn → vom Lot weg

Ausbreitungsgeschwindigkeit im Medium .....  $c_n = \frac{c_0}{n}$

Grenzwinkel der Totalreflexion .....  $\sin \alpha = \frac{n_1}{n_2}$   
Von dichtem nach dünnem Medium

Brewsterwinkel .....  $\tan \alpha = \frac{n_2}{n_1}$

Gilt jeweils, wenn vollständig polarisierter Winkel gefragt ist

90° zwischen reflektiertem und gebrochenem Strahl

Der reflektierte Strahl ist vollständig linear polarisiert, der transmittierte Anteil wird vorwiegend parallel polarisiert.

### 5.3.3 Beugung

#### Einzelspalt

#### Doppelspalt

Intensitätsmaxima .....  $g \sin(\alpha_k) = k\lambda = \Delta s$

Intensitätsminima .....  $g \sin(\alpha_k) = \left(k + \frac{1}{2}\right) \lambda$

#### Gitter

Intensitätsmaxima .....  $g \sin(\alpha_k) = k\lambda = \Delta s$   
 $k \in 0, 1, 2, \dots$