

Formelsammlung Physik 2

Tim Hilt

10. Juli 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	1
1.1	Umrechnungen	1
1.1.1	$\frac{g}{cm^3} \rightarrow \frac{kg}{m^3}$	1
2	Schwingungen	2
2.1	Formelzeichen	2
2.2	Konstanten	2
2.3	Formeln	3
2.3.1	Allgemein	3
	k_{Ges} , wenn Federn parallel	3
	k_{Ges} , wenn Federn seriell	3
	Eigenkreisfrequenz	3
	Umrechnung f / T	3
	Allgemeine Schwingungsdgl	3
	Drehmoment	3
2.3.2	Ungedämpfte Systeme	3
	Kriterium für harmonische Schwingung:	3
	Weg-Zeit-Gesetz	3
	Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz	3
	Beschleunigung-Zeit-Gesetz	3
	Maximale Geschwindigkeit im Schwingvorgang	3
	Maximale Beschleunigung	3
	Amplitude x_m	4
	Kreisfrequenz ungedämpft	4
	Hookesches Gesetz	4
	Hookesches Gesetz bei Drehbewegungen	4
	U-Rohr	4
	Schwingungsdgl am U-Rohr	4
	Fadenpendel	4
	Schwingungsdauer beim Fadenpendel	4
	Winkelgeschwindigkeit	4
	Grad zu Radian	4
	Rückstellkraft F_R beim Fadenpendel	4
	Auslenkungswinkel-Zeit-Gesetz	4
	Winkelgeschwindigkeit-Zeit-Gesetz	4
	Winkelbeschleunigungs-Zeit-Gesetz	5
	v_{max} beim Fadenpendel	5
	Anfangsauslenkung φ_0	5

	Federpendel	5
	Schwingungsdauer beim Federpendel	5
	Kinetische Energie	5
	Elastische Energie	5
2.3.3	Gedämpfte Systeme	5
	Abklingfunktion Federpendel	5
	Abklingfunktion Fadenpendel	5
	Kreisfrequenz gedämpft	5
	Abklingkoeffizient	5
	Dämpfungskonstante	5
	Schwingungszeit gedämpft	6
	Reibkonstante	6
	Logarithmisches Dekrement	6
	Güte	6
	Schwingungsenergie	6
	Energieverlust	6
	Aperiodischer Grenzfall	6
2.3.4	Erzwungen schwingende Systeme	6
3	Akustik	7
3.1	Formelzeichen	7
3.2	Konstanten	7
3.3	Formeln	7
	Schallgeschwindigkeit	7
	Schallintensitätspegel	8
	Summe mehrerer gleich lauter Schallpegel	8
	Summe mehrerer unterschiedlich lauter Schallquellen	8
	Schallpegeldifferenz:	8
	Schallintensität	8
	Schallintensität Halbkugel	8
	Schallintensität Kugel	9
	Schallkennimpedanz / Wellenwiderstand	9
	Schalldruckamplitude	9
	Umrechnung vom Effektivwert	9
	Dopplereffekt	9
	Machscher Kegel	9
	Machzahl	9
	Ab wann Überschallknall?	9
	Zentrifugalbeschleunigung	9
4	Wellen	10
4.1	Formelzeichen	10
4.2	Formeln	10
5	Stehende Wellen	11
5.1	Formelzeichen	11
5.2	Konstanten	11
5.3	Formeln	11
	Schallgeschwindigkeit	11

	Länge der Saite/des Rohres (gleiche Enden)	11
	Länge der Saite/ des Rohres (ungleiche Enden)	12
	Länge einfachster Fall (gleiche Enden)	12
	Länge einfachster Fall (ungleiche Enden)	12
	Grundschwingung/Wellenlänge gleiche Enden	12
	Grundschwingung ungleiche Enden	12
	Frequenzverhältnis	12
	Wellenzahl	12
	Wellengeschwindigkeit	12
6	Optik	13
6.1	Formelzeichen	13
6.2	Konstanten	13
6.3	Formeln	14
	Zusammenhang Frequenz / Ausbreitungsgeschwindigkeit	14
	Abstand berechnen (Radarpestle u.Ä.)	14
	Frequenzverschiebung	14
	Geschwindigkeit Zielfahrzeug	14
	Frequenzverschiebung beim Dopplereffekt	14
	Optischer Dopplereffekt	14
	Violett- / Rotverschiebung	14
	Reflexionsgrad R	14
	Transmissionsgrad T	14
	Transmissionsgrad durch Medium	14
6.3.1	Entspiegelung	15
	Brechungsindex von Entspiegelungsschicht	15
	Gangunterschied zwischen den beiden Schichten	15
	Schichtdicke d	15
6.3.2	Brechung	15
	Umrechnungen	15
	Ausbreitungsgeschwindigkeit im Medium	15
	Grenzwinkel der Totalreflexion	16
	Brewsterwinkel	16
6.3.3	Beugung	16
	Einzelspalt	16
	Doppelspalt	16
	Intensitätsmaxima	16
	Intensitätsminima	16
	Gitter	16
	Intensitätsmaxima	16
	Schirmposition x_k der Maxima	16
	Spektralüberlappungen ab dem k -ten Maximum am Schirm	16

Abbildungsverzeichnis

6.1	Farbspektrum	13
6.2	Entspiegelung	15

1 Allgemeines

1.1 Umrechnungen

1.1.1 $\frac{g}{cm^3} \rightarrow \frac{kg}{m^3}$

Beispiel:

$$7.87 \frac{g}{cm^3} = 7870 \frac{kg}{m^3}$$

$$\frac{g}{cm^3} = \frac{1 * 10^{-3} kg}{1 * 10^{-6} m^3}$$

2 Schwingungen

2.1 Formelzeichen

Formelzeichen	Physikalische Größe	Einheit
f	Frequenz	Hz
T	Schwingungsdauer	s
ω_0	Winkelgeschwindigkeit (ungedämpftes System)	s^{-1}
ω_d	Winkelgeschwindigkeit (gedämpftes System)	s^{-1}
k	Federkonstante	$\frac{N}{m}$
x	Auslenkung	m
l	Länge Fadenpendel	m
D	Dämpfungskonstante	Einheitenlos
δ	Abklingkoeffizient	s^{-1}
b	Reibkonstante	$\frac{kg}{s}$
F_E	Anregende Kraft	N
E	Energie	J
E_v/E_n	Energie davor / Energie danach	
J	Massenträgheitsmoment	$kg * m^2$
φ	Drehwinkel	Bogenmaß
M	Drehmoment	Nm
Λ	Logarithmisches Dekrement	Einheitenlos

2.2 Konstanten

- Gravitationskonstante $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

2.3 Formeln

2.3.1 Allgemein

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

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

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

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

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

Drehmoment $M = k * J = F * x$ (wobei x die Länge des Hebelarms darstellt)

2.3.2 Ungedämpfte Systeme

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

Weg-Zeit-Gesetz $x(t) = x_0 * \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$

Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz $v(t) = -x_0 * \omega_0 * \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$

Beschleunigung-Zeit-Gesetz $a(t) = -x_0 * \omega_0^2 * \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$

Maximale Geschwindigkeit im Schwingvorgang $v_{\max} = x_m * \omega_0$
 v_{\min} ist immer = 0!

Maximale Beschleunigung $a_{\max} = x_m * \omega_0^2$

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

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

Hookesches Gesetz $F_R = k * x$

Hookesches Gesetz bei Drehbewegungen $M = k * \varphi$

U-Rohr

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

Fadenpendel

Schwingungsdauer beim Fadenpendel $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

Winkelgeschwindigkeit $\omega = \sqrt{\frac{l}{g}}$

Grad zu Radian $\varphi \rightarrow \frac{\varphi \pi}{180}$

Rückstellkraft F_R beim Fadenpendel $F_R = m * g * \sin(\varphi) = F_G * \sin(\varphi)$

Auslenkungswinkel-Zeit-Gesetz $\varphi(t) = \varphi_0 * \cos(\omega_0 t + \alpha_0)$

**Wobei α_0 die anfängliche Phasenverschiebung beschreibt,
diese gilt nur bei angeregten Schwingungen**

Winkelgeschwindigkeit-Zeit-Gesetz $\omega(t) = -\varphi_0 * \omega_0 * \sin(\omega_0 t + \alpha_0)$

Winkelbeschleunigungs-Zeit-Gesetz $\alpha(t) = -\varphi_0 * \omega_0^2 * \cos(\omega_0 t + \alpha_0)$

v_{\max} beim Fadenpendel $v_{\max} = \sqrt{2 * g * h} = \frac{\varphi_0 \pi}{180} * \omega_0 * l$

Wobei h der Wert ist, um den sich das Pendel anhebt
 l = Länge d. Pendels

Anfangsauslenkung φ_0 $\varphi_0 = \sqrt{\frac{2h}{l}}$

Federpendel

Schwingungsdauer beim Federpendel $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_{\text{ges}}}}$

Kinetische Energie $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m * v^2$

Elastische Energie $E_{\text{el}} = \frac{1}{2} k_{\text{ges}} * x^2$

2.3.3 Gedämpfte Systeme

Abklingfunktion Federpendel $x_m = x_0 * e^{-\delta * n * T_0}$

Abklingfunktion Fadenpendel $\varphi_m = \varphi_0 * e^{-\delta * n * T_0}$
 $n \in 1, 2, 3, \dots$ Anzahl Schwingungen / $n \cdot T_0$: Dauer des Schwingungsvorgangs

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

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

$$D = 1$$

$$\delta = \omega_0$$

$$b = 2m * \omega_0$$

2.3.4 Erzwungen schwingende Systeme

3 Akustik

3.1 Formelzeichen

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

3.2 Konstanten

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

3.3 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: $\frac{c}{r} = \frac{v}{r} = \omega$

Zentrifugalbeschleunigung $a = r \cdot \omega^2$

4 Wellen

4.1 Formelzeichen

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

4.2 Formeln

5 Stehende Wellen

5.1 Formelzeichen

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

5.2 Konstanten

- Menschlicher Hörbereich: $16 - 20000 Hz$

5.3 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) $l = (2k + 1) * \frac{\lambda}{4} = (2k + 1) * \frac{c}{4f}$

$k \in 0, 1, 2, \dots$ **Achtung:** n entspricht $k + 1$!

„ 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 $f = \frac{c}{2 * l}; \lambda = 2 * l$

Grundschiwingung ungleiche Enden $f = \frac{c}{4 * l}; \lambda = 4 * l$

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

6 Optik

6.1 Formelzeichen

Formelzeichen	Physikalische Größe	Einheit
λ	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
α_k	Ablemkungswinkel am k -ten Maximum	rad

6.2 Konstanten

- Lichtgeschwindigkeit $c_0 = 3 * 10^8 \frac{m}{s}$
- Wellenlängenempfindlichkeit des Auges: 400 – 750 nm

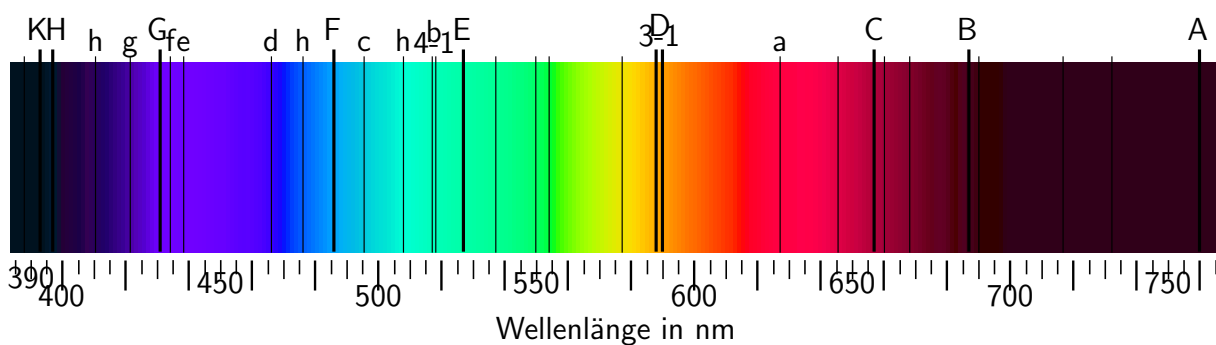


Abbildung 6.1: Farbspektrum und menschlicher Sehbereich

6.3 Formeln

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

Abstand berechnen (Radar pistole 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 $T_{Ges} = (1 - R)^2 = T_1 \cdot T_2$

6.3.1 Entspiegelung

Hierbei sei n_1/λ_1 die Wellenlänge und Brechzahl **in Luft**, n_2/λ_2 die Brechzahl und Wellenlänge **in der Entspiegelungsschicht** der Dicke d und n_3/λ_3 die Wellenlänge und Brechzahl **des Brillenglases**.

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

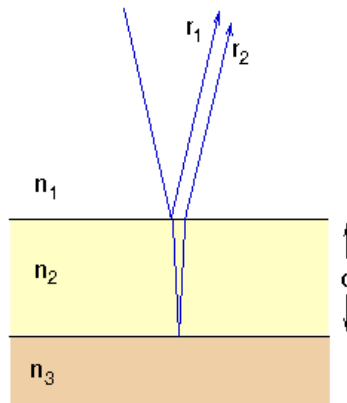


Abbildung 6.2: Grafik zur Veranschaulichung der Entspiegelung

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

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

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

6.3.2 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.

6.3.3 Beugung

Einzelspalt

Doppelspalt

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

Intensitätsminima $g \sin(\alpha_k) = \left(k + \frac{1}{2}\right) \lambda$ **$k \in 0, 1, 2, \dots$**

Gitter

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

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

α kann maximal 90° sein

arcsin muss zwischen -1 und 1 liegen!

Schirmposition x_k der Maxima $x_k = \tan(\alpha_k) \cdot L$

L ist Abstand des Gitters zum Schirm

Spektralüberlappungen ab dem k -ten Maximum am Schirm $k = \frac{\lambda_{\text{klein}}}{\lambda_{\text{groß}} - \lambda_{\text{klein}}}$