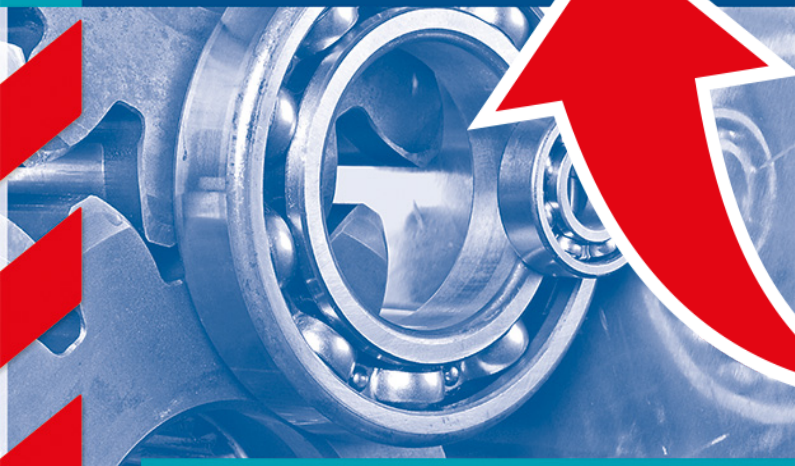


GYMNASIUM

ABITUR

# KOMPAKT PHYSIK

MEHR  
ERFAHREN



Horst Lautenschlager

## Physik 1

Mechanik • Wärme • Relativität

**STARK**

# Inhalt

## Vorwort

<b>Elemente der Kinematik</b> .....	<b>1</b>
1    Größen zur Beschreibung einer Bewegung .....	1
2    Geradlinig gleichförmige Bewegung .....	5
3    Geradlinig gleichmäßig beschleunigte Bewegung .....	6
4    Senkrechter Wurf .....	11
5    Waagerechter Wurf .....	15
6    Schiefer Wurf .....	17
<b>Elemente der Dynamik</b> .....	<b>21</b>
7    Kraftbegriff und Newton'sche Gesetze .....	21
8    Einfache Kraftgesetze .....	22
9    Anwendung der Kraftgesetze .....	24
<b>Erhaltungssätze</b> .....	<b>29</b>
10  Arbeit und Leistung .....	29
11  Mechanische Energie und Energieerhaltung .....	34
12  Impuls und Impulserhaltung .....	37
13  Gerade zentrale Stöße .....	40
<b>Kreisbewegung</b> .....	<b>45</b>
14  Kinematik der gleichförmigen Kreisbewegung .....	45
15  Zentripetalkraft .....	49
16  Trägheitskräfte .....	51
<b>Gravitation</b> .....	<b>57</b>
17  Das Gravitationsgesetz .....	57
18  Einfache Anwendungen des Gravitationsgesetzes .....	59
19  Das Gravitationsfeld .....	63

*Fortsetzung siehe nächste Seite*

20	Planeten- und Erdsatellitenbewegung .....	67
21	Träge und schwere Masse .....	73
	<b>Mechanische Schwingungen .....</b>	<b>75</b>
22	Begriffe und Größen zur Beschreibung mechanischer Schwingungen .....	75
23	Harmonische Schwingungen .....	78
24	Gedämpfte Schwingungen .....	84
25	Entdämpfung mechanischer Schwingungen .....	86
26	Erzwungene mechanische Schwingungen .....	87
27	Überlagerung von Schwingungen .....	90
28	Gekoppelte mechanische Schwingungen .....	93
	<b>Eindimensionale mechanische Wellen .....</b>	<b>97</b>
29	Entstehung und Ausbreitung linearer harmonischer Wellen .....	97
30	Reflexion linearer elastischer Wellen .....	101
31	Interferenz linearer elastischer Wellen .....	102
32	Eigenschwingungen beidseitig begrenzter Wellenträger .....	105
33	Polarisation .....	109
	<b>Ebene Wellen .....</b>	<b>111</b>
34	Entstehung und Ausbreitung ebener Wellen .....	111
35	Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz von ebenen Wellen .....	113
36	Dopplereffekt bei Schallwellen .....	117
	<b>Mechanik des starren Körpers .....</b>	<b>119</b>
37	Massenmittelpunkt .....	119
38	Statik des starren Körpers .....	120
39	Starrer Rotator mit konstanter Winkelgeschwindigkeit .....	123
40	Beschleunigter starrer Rotator .....	127
41	Analogien zwischen Translation und Rotation .....	130

<b>Elemente der phänomenologischen Wärmelehre</b> .....	<b>131</b>
42 Temperatur und Temperaturmessung .....	131
43 Gasgesetze .....	133
44 Wärmemenge .....	139
<b>Kinetische Gastheorie</b> .....	<b>143</b>
45 Modellannahmen und Grundgleichung .....	143
46 Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung .....	146
47 Kinetische Deutung der Temperatur .....	150
48 Mittlere freie Weglänge und Molekülgröße .....	153
<b>Hauptsätze der Wärmelehre und Wärmekraftmaschinen</b> .....	<b>155</b>
49 Erster Hauptsatz der Wärmelehre .....	155
50 Analyse von Zustandsänderungen idealer Gase .....	156
51 Zweiter und Dritter Hauptsatz der Wärmelehre.....	162
52 Carnot'scher und Stirling'scher Kreisprozess .....	164
53 Zur Physik thermischer Maschinen .....	168
54 Wärmestrahlung .....	172
<b>Grundlagen der Speziellen Relativitätstheorie</b> .....	<b>175</b>
55 Zeitlich-räumliches Bezugssystem .....	175
56 Zeiten und Längen in gegeneinander bewegten Bezugssystemen .....	177
57 Herleitung und Anwendung der Lorentztransformation .....	184
<b>Relativistische Dynamik</b> .....	<b>189</b>
58 Relativistische Masse und relativistischer Impuls .....	189
59 Relativistische Energie .....	192
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>197</b>

**Autor:** Horst Lautenschlager

# Vorwort

Liebe Schülerinnen und Schüler,

dieser Band aus der Reihe Kompakt-Wissen bietet Ihnen eine kompakte und gleichzeitig präzise Darstellung des Unterrichtsstoffs zur Mechanik, Wärmelehre und zur Speziellen Relativitätstheorie. Er eignet sich damit hervorragend für den täglichen Schulgebrauch und zur gründlichen Vorbereitung auf das Abitur.

- Alle lehrplanrelevanten Themen werden **verständlich erklärt**.
- Der Inhalt ist übersichtlich aufbereitet und systematisch in überschaubare Abschnitte gegliedert, sodass Sie sich **effektiv und zeitsparend** auf den Unterricht und auf Klausuren **vorbereiten** können.
- **Kernaussagen** und wichtige **physikalische Begriffe** sind **blau** hervorgehoben. Mithilfe vieler **Grafiken** und **Diagramme** wird der im Text behandelte Stoff zusätzlich veranschaulicht.
- **Zahlreiche Querverweise** helfen Ihnen dabei, Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Stoffgebieten zu erkennen.
- Das **umfangreiche Stichwortverzeichnis** erleichtert Ihnen die gezielte Suche nach bestimmten Begriffen und Inhalten.

Viel Freude bei der Lektüre wünscht Ihnen



Horst Lautenschlager



## Ebene Wellen

### 34 Entstehung und Ausbreitung ebener Wellen

**Wellen**, die sich auf einem flächigen Wellenträger ausbreiten, werden als **zweidimensional** bezeichnet. 1

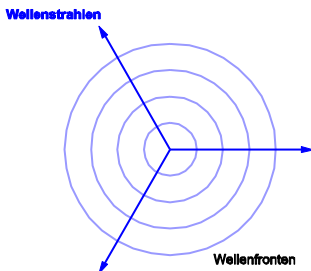
Modellhaft stellt man sich einen zweidimensionalen Wellenträger als Netz identischer, gekoppelter Schwinger vor (U 28), die im ungestörten Zustand alle ihre Ruhelage einnehmen. Wird ein Oszillator zu erzwungenen Schwingungen angeregt, breiten sich diese infolge der Kopplung allseitig aus und erreichen zeitversetzt jeden Punkt des Netzes.

Die Eigenschaften zweidimensionaler Wellen werden in der Schule fast ausschließlich an **Wasserwellen** untersucht. Dabei handelt es sich um **Oberflächenwellen**, für deren Fortpflanzung sowohl die Schwerkraft als auch die Oberflächenspannung verantwortlich sind. Eine genaue Theorie der Wasserwellen ist kompliziert und geht über die Schulphysik hinaus, weil die Wasserteilchen nicht linear schwingen, sondern **gleichzeitig Longitudinal- und Transversalschwingungen** ausführen. Sie bewegen sich auf Kreisen, Ellipsen oder noch komplizierteren geschlossenen Bahnen. 2

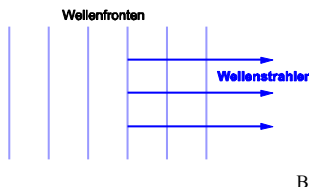
Benachbarte Punkte eines von einem Wellenvorgang erfassten zweidimensionalen Mediums, die mit gleicher Phase schwingen, bilden eine **Wellenfront**.

Spezielle Wellenfronten sind

- **Kreiswellen**, die von konzentrischen Kreisen um das Erregerzentrum gebildet werden (Bild A) und
- **ebene Wellen**, die aus parallelen Geraden bestehen (Bild B).

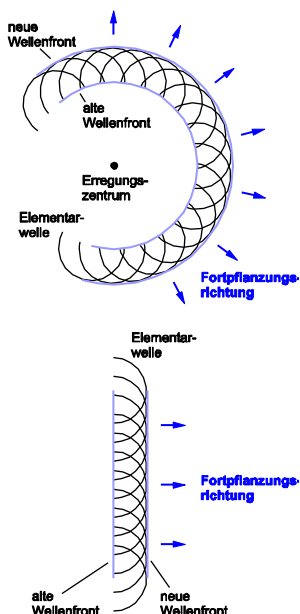


Senkrecht zu den Wellenfronten verlaufen die **Wellenstrahlen**. Sie geben die Ausbreitungsrichtung der Wellenbewegung an. Bei Kreiswellen verlaufen sie radial vom Zentrum nach außen, bei ebenen Wellen parallel zueinander.



B

- 4 Die Ausbreitung ebener Wellen lässt sich mit einem einfachen Modell, dem **Huygens'schen Prinzip**, beschreiben. Hiernach wird jeder Punkt einer Wellenfront zum Ausgangspunkt einer elementaren Kreiswelle, die sich mit der gleichen Geschwindigkeit und Wellenlänge wie die ursprüngliche Welle ausbreitet. Die neuen Wellenfronten ergeben sich durch Interferenz (U 31) aller Elementarwellen als Einhüllende der Elementarwellen. Befinden sich Kreiswellen in genügend großer Entfernung vom Erregerszentrum, liegen benachbarte Wellenfronten praktisch parallel; die Welle kann innerhalb eines begrenzten Raumbereichs als ebene Welle aufgefasst werden.



- 5 Die Begriffe Schwingungsdauer, Frequenz, Wellenlänge und Phasengeschwindigkeit aus (U 29|5; 6) lassen sich auf zweidimensionale Wellen sinngemäß übertragen. Auch für zweidimensionale Wellen gilt:

$$c = \lambda \cdot f$$



Ebenso wie bei eindimensionalen Wellen pflanzen sich auch bei zweidimensionalen Wellen Energie und Impuls (U 29|9; 10) ohne Materietransport fort.

Bei **Kreiswellen** ist die **mechanische Leistung**, die durch eine senkrecht zum Wellenstrahl liegende kurze Strecke transportiert wird, **umgekehrt proportional** zu deren **Entfernung r vom Erregerzentrum**.

*Begründung:* Die vom Erregerzentrum Z einer Kreiswelle ausgesandte mechanische Leistung P durchsetzt jeden Kreisring vom Radius r um Z. Bezeichnet P' die Leistung, die auf eine zu einem Wellenstrahl senkrecht liegende Strecke der Länge L trifft, so verhält sich die Gesamtleistung zum Kreisumfang wie P' zu L:

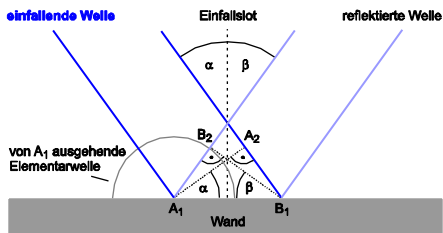
$$\frac{P}{2\pi \cdot r} = \frac{P'}{L} \Rightarrow P' = \frac{P \cdot L}{2\pi} \cdot \frac{1}{r} \Rightarrow P' \sim \frac{1}{r}$$

## 35 Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz von ebenen Wellen

### Reflexionsgesetz

Die Erfahrung zeigt, dass eine gerade, ebene Welle von einer ebenen Wand so reflektiert wird, dass die von den Wellenstrahlen der ein- und auslaufenden Welle mit dem Einfallslot gebildeten **Einfalls- und Reflexionswinkel gleich** sind.

Das **Reflexionsgesetz** kann mithilfe des **Huygens'schen Prinzips** (U 34|4) hergeleitet werden:



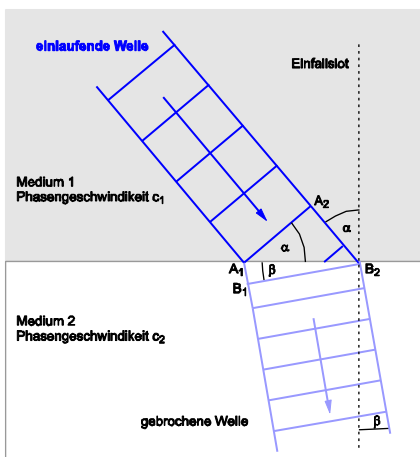
- Jeder Punkt der Strecke  $[A_1B_1]$  wird Ausgang einer kreisförmigen Elementarwelle, sobald die Wellenfront  $A_1A_2$  ihn erreicht.
- Der Radius der von  $A_1$  ausgehenden Elementarwelle ist auf  $\overline{A_1B_2}$  angewachsen, wenn die Wellenfront  $A_1A_2$  den Punkt  $B_1$  erreicht hat.
- Die Einhüllende all dieser Elementarwellen, also die Wellenfront der reflektierten Welle, ist  $B_1B_2$ .
- Da die Geschwindigkeiten der einlaufenden und der reflektierten Welle gleich sind, gilt  $\overline{A_1B_2} = \overline{A_2B_1}$ .
- Die Dreiecke  $A_1B_2B_1$  und  $A_1A_2B_1$  sind nach dem SSW-Satz kongruent, weil sie in 2 Seiten ( $[A_1B_1]$  und  $[A_1B_2]$  bzw.  $[B_1A_2]$ ) und dem Gegenwinkel der größeren Seite ( $90^\circ$ ) übereinstimmen.
- Daher gilt  $\alpha = \beta$ .

### 3 Brechungsgesetz

Eine schräg auf die ebene Grenzfläche zweier Medien treffende gerade, ebene Welle wird beim Übertritt vom Medium 1 ins Medium 2 so aus ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt, dass gilt:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

$\alpha$  und  $\beta$  bezeichnen dabei die von den Wellenstrahlen der einlaufenden bzw. gebrochenen Welle mit dem Einfallslot gebildeten Einfallswinkel,  $c_1$  bzw.  $c_2$  die Phasengeschwindigkeiten der Wellen in den Medien 1 bzw. 2.



Das **Brechungsgesetz** kann mithilfe des **Huygens'schen Prinzips** (U 34|4) hergeleitet werden:

- Jeder Punkt der Strecke  $[A_1B_2]$  wird Ausgang einer kreisförmigen Elementarwelle, sobald die Wellenfront  $A_1A_2$  ihn erreicht.
- In der Zeit  $t$ , in welcher der Punkt  $A_2$  der Wellenfront  $A_1A_2$  bis  $B_2$  vorgedrungen ist, hat die von  $A_1$  ausgehende Elementarwelle  $B_1$  erreicht:

$$\overline{A_1B_1} = c_2 \cdot t,$$

$$\overline{A_2B_2} = c_1 \cdot t.$$

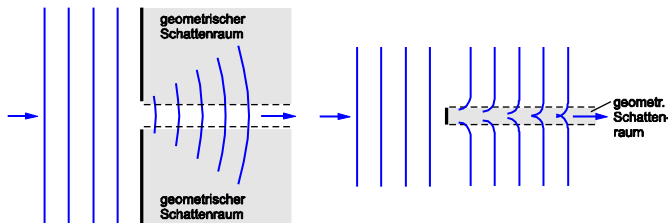
Daher folgt:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_2}}}{\frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{A_1B_2}}} = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{c_1 \cdot t}{c_2 \cdot t} = \frac{c_1}{c_2}$$

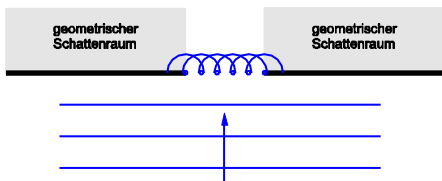
## Beugung

Treffen ebene Wellen auf Hindernisse, so sind sie dahinter stellenweise auch im geometrischen Schattenraum beobachtbar. Man bezeichnet diese Erscheinung als Beugung.

Sie tritt besonders deutlich auf, wenn die Abmessungen des Hindernisses in der Größenordnung mit der Wellenlänge übereinstimmen. Die Abbildungen zeigen die Beugung ebener Wellen an einem Spalt (Bild links) und an einer Blende (Bild rechts).



- 6 Gemäß dem **Huygens'schen Prinzip** (U 34|4) entsteht **Beugung** dadurch, dass den von den Hindernisseckpunkten ausgehenden kreisförmigen Elementarwellen einseitig Interferenzpartner fehlen.



## 7 Interferenz

Ebenso wie eindimensionale lineare Wellen (U 31|2) können auch zweidimensionale Wellen interferieren. Überlagern sich z. B. zwei Kreiswellen, deren ortsfeste Quellen  $E_1$  und  $E_2$  gleiche Frequenz, Schwingungsrichtung und Schwingungsphase aufweisen, so beobachtet man in einem Überlagerungspunkt P konstruktive (destruktive) Interferenz k-ter Ordnung, wenn ihr Gangunterschied (U 31|3) ein ganzzahliges (ungeradzahliges) Vielfaches der ganzen (halben) Wellenlänge ist.

- Konstruktive Interferenz:

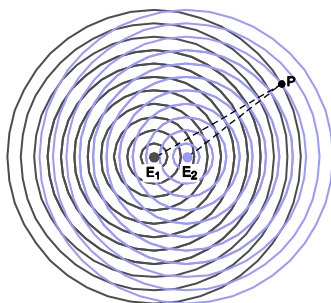
$$\overline{PE_1} - \overline{PE_2} = k \cdot \lambda$$

$$k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

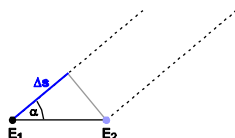
- Destruktive Interferenz:

$$\overline{PE_1} - \overline{PE_2} = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$k = 0, 1, 2, 3, \dots$$



- 8 Ist der Punkt P der Überlagerung sehr weit von den Wellenquellen entfernt, können die Strecken  $[PE_1]$  und  $[PE_2]$  in guter Näherung als parallel angesehen werden. Der Gangunterschied lässt sich



dann durch den Winkel  $\alpha$  ausdrücken, den  $[PE_1]$  und  $[PE_2]$  mit der Verbindungslinie  $[E_1E_2]$  der Quellen einschließen:

$$\Delta s = \overline{E_1E_2} \cdot \cos \alpha$$

Daher beobachtet man

- konstruktive Interferenz, wenn

$$\overline{E_1E_2} \cdot \cos \alpha = k \cdot \lambda, \quad k=0, 1, 2, 3, \dots$$

- destruktive Interferenz, wenn

$$\overline{E_1E_2} \cdot \cos \alpha = (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad k=0, 1, 2, 3, \dots$$

Auf einem allseits begrenzten zweidimensionalen Wellenträger können nur stehende Wellen dauerhaft bestehen (9 32|1). Um deren Knotenlinien sichtbar zu machen, spannt man z. B. eine dünne Metallplatte an einer Stelle ein und regt sie an einer anderen mit einem Geigenbogen oder einem Schallkopf zu Schwingungen an. Feiner und gleichmäßig auf der Platte verteilter Sand sammelt sich dann längs der ruhenden Stellen an. Die entstehenden Sandfiguren sind außerordentlich vielfältig und werden als **Chladni'sche Klangfiguren** bezeichnet.

## 36 Dopplereffekt bei Schallwellen

Bewegen sich ein Beobachter und eine Schallquelle aufeinander zu (von einander weg), nimmt der Beobachter eine höhere (kleinere) Frequenz wahr, als die Schallquelle ausstrahlt, weil ihn mehr (weniger) Schwingungen pro Zeiteinheit erreichen. Diese Erscheinung nennt man **Dopplereffekt**.

Bei Schallwellen besteht ein Unterschied, ob sich der Beobachter oder die Schallquelle gegenüber dem ruhenden Ausbreitungsmedium für Schallwellen bewegen.

- Bewegt sich der Beobachter relativ zum Wellenträger, so ändert sich für ihn die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle.
- Bewegt sich die Schallquelle relativ zum Wellenträger, so ändert sich die Wellenlänge.



© **STARK Verlag**

[www.stark-verlag.de](http://www.stark-verlag.de)

[info@stark-verlag.de](mailto:info@stark-verlag.de)

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH  
ist urheberrechtlich international geschützt.  
Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung  
des Rechteinhabers in irgendeiner Form  
verwertet werden.

**STARK**