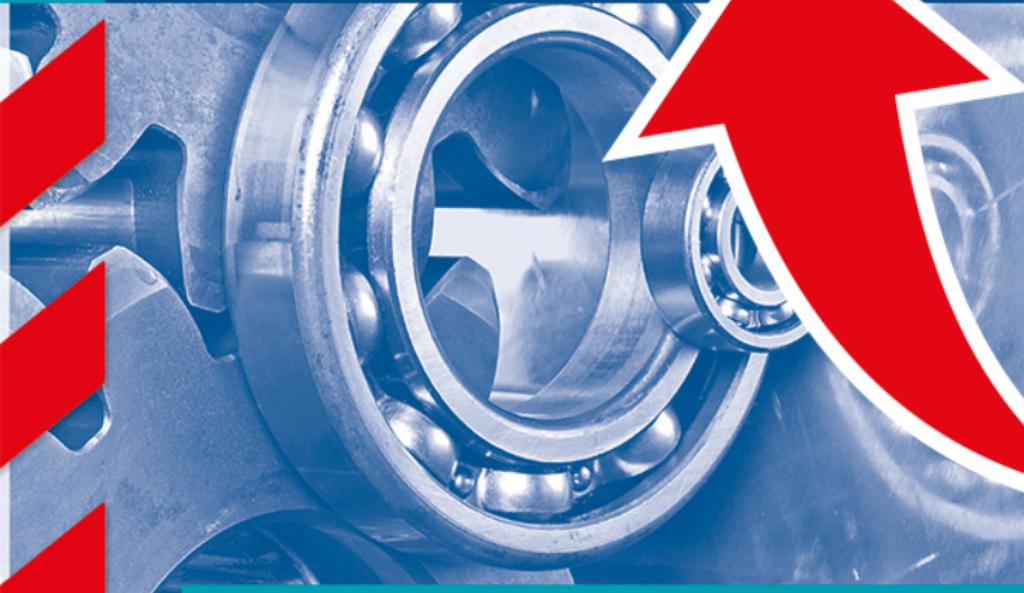


KOMPAKT PHYSIK

MEHR
ERFAHREN



Horst Lautenschlager

Physik 1

Mechanik · Wärme · Relativität

STARK

Inhalt

Vorwort

Elemente der Kinematik	1
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
Elemente der Dynamik	21
7 Kraftbegriff und Newton'sche Gesetze	21
8 Einfache Kraftgesetze	22
9 Anwendung der Kraftgesetze	24
Erhaltungssätze	29
10 Arbeit und Leistung	29
11 Mechanische Energie und Energieerhaltung	34
12 Impuls und Impulserhaltung	37
13 Gerade zentrale Stöße	40
Kreisbewegung	45
14 Kinematik der gleichförmigen Kreisbewegung	45
15 Zentripetalkraft	49
16 Trägheitskräfte	51
Gravitation	57
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
	Mechanische Schwingungen	75
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
	Eindimensionale mechanische Wellen	97
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
	Ebene Wellen	111
34	Entstehung und Ausbreitung ebener Wellen	111
35	Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz von ebenen Wellen	113
36	Dopplereffekt bei Schallwellen	117
	Mechanik des starren Körpers	119
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

Elemente der phänomenologischen Wärmelehre	131
42 Temperatur und Temperaturmessung	131
43 Gasgesetze	133
44 Wärmemenge	139
Kinetische Gastheorie	143
45 Modellannahmen und Grundgleichung	143
46 Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung	146
47 Kinetische Deutung der Temperatur	150
48 Mittlere freie Weglänge und Molekülgröße	153
Hauptsätze der Wärmelehre und Wärmekraftmaschinen	155
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
Grundlagen der Speziellen Relativitätstheorie	175
55 Zeitlich-räumliches Bezugssystem	175
56 Zeiten und Längen in gegeneinander bewegten Bezugssystemen	177
57 Herleitung und Anwendung der Lorentztransformation	184
Relativistische Dynamik	189
58 Relativistische Masse und relativistischer Impuls	189
59 Relativistische Energie	192
Stichwortverzeichnis	197

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.

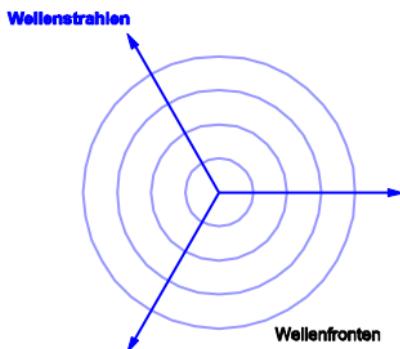
Modellhaft stellt man sich einen zweidimensionalen Wellenträger als Netz identischer, gekoppelter Schwinger vor (1 28), die im ungestörten Zustand alle ihre Ruhelage einnehmen. Wird ein Oszillatator zu erzwungenen Schwingungen angeregt, breiten sich diese infolge der Kopplung allseitig aus und erreichen 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.

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).



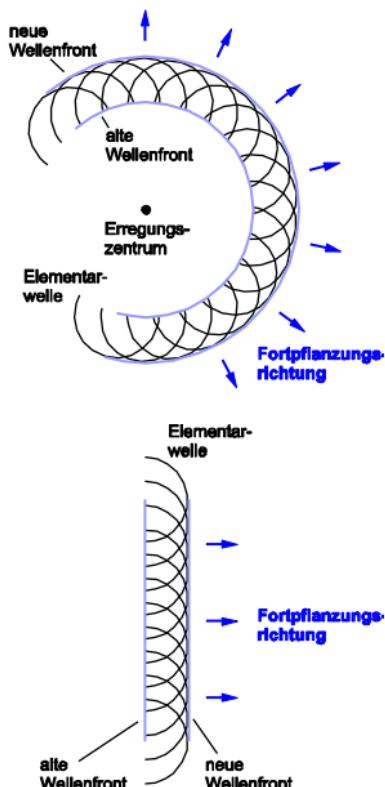
A

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. Hierach 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 (1 31) aller Elementarwellen als Einhüllende der Elementarwellen. Befinden sich Kreiswellen in genügend großer Entfernung vom Erregerzentrum, 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 (1 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:

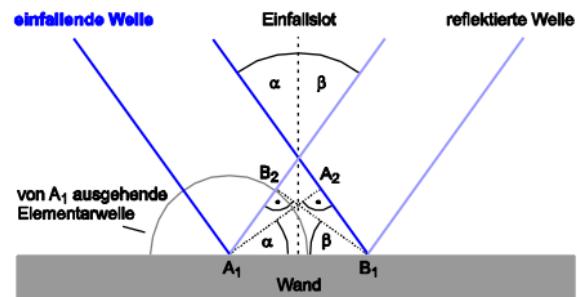
$$\frac{P}{2\pi \cdot r} = \frac{P'}{L} \Rightarrow P' = \frac{P \cdot L}{2\pi} \cdot \frac{1}{r} \Rightarrow P' \sim \frac{1}{r}$$

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 Einfallsslot gebildeten **Einfalls- und Reflexionswinkel gleich** sind.

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



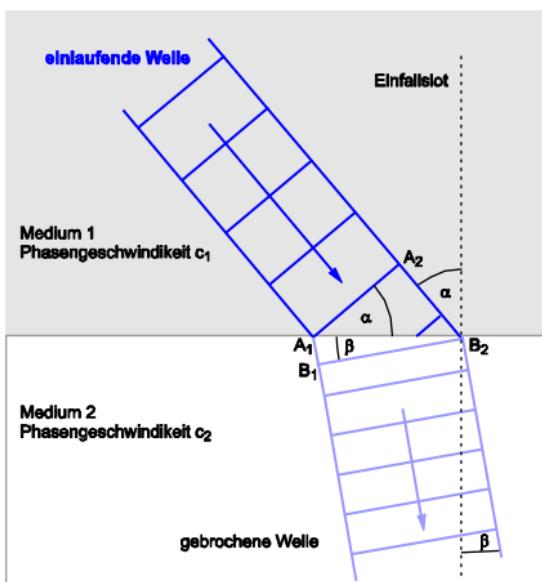
- Jeder Punkt der Strecke $[A_1B_1]$ wird Ausgang einer kreisförmigen Elementarwelle, sobald die Wellenfront A_1A_2 ihn erreicht.
- Der Radius der von A_1 ausgehenden Elementarwelle ist auf A_1B_2 angewachsen, wenn die Wellenfront A_1A_2 den Punkt B_1 erreicht hat.
- Die Einhüllende all dieser Elementarwellen, 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°) 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:

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

α und β bezeichnen dabei die von den Wellenstrahlen der einlaufenden bzw. gebrochenen Welle mit dem Einfallslot gebildeten Einfalls- bzw. Brechungswinkel, c_1 bzw. c_2 die Phasengeschwindigkeiten der Wellen in den Medien 1 bzw. 2.



Das **Brechungsgesetz** kann mithilfe des **Huygens'schen Prinzips** 4 (§ 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:

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

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

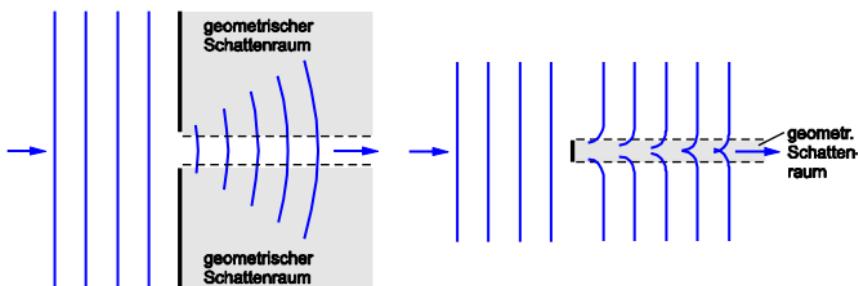
Daher folgt:

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

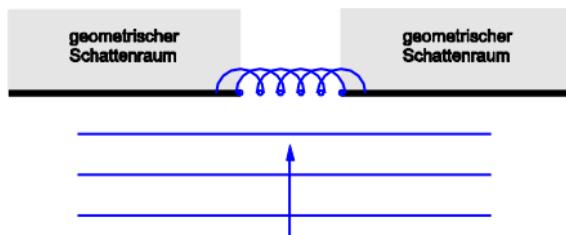
Beugung 5

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** (O 34|4) entsteht **Beugung** dadurch, dass den von den Hinderniseckpunkten ausgehenden kreisförmigen Elementarwellen einseitig Interferenzpartner fehlen.



7 Interferenz

Ebenso wie eindimensionale lineare Wellen (O 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 (destructive) Interferenz k -ter Ordnung, wenn ihr Gangunterschied (O 31|3) ein ganzzahliges (ungeradzahliges) Vielfaches der ganzen (halben) Wellenlänge ist.

- Konstruktive Interferenz:

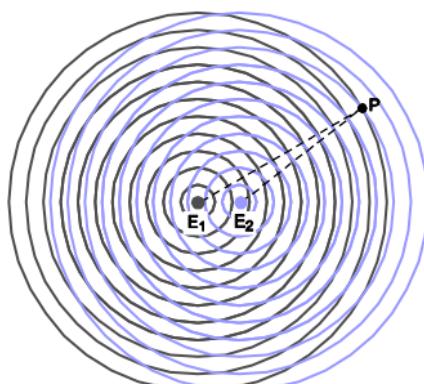
$$\overline{PE_1} - \overline{PE_2} = k \cdot \lambda$$

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

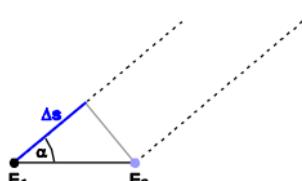
- Destruktive Interferenz:

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

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



- 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 α ausdrücken, den $[\text{PE}_1]$ und $[\text{PE}_2]$ mit der Verbindungsgeraden $[\text{E}_1\text{E}_2]$ der Quellen einschließen:

$$\Delta s = \overline{\text{E}_1\text{E}_2} \cdot \cos \alpha$$

Daher beobachtet man

- konstruktive Interferenz, wenn

$$\overline{\text{E}_1\text{E}_2} \cdot \cos \alpha = k \cdot \lambda, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

- destruktive Interferenz, wenn

$$\overline{\text{E}_1\text{E}_2} \cdot \cos \alpha = (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Auf einem allseits begrenzten zweidimensionalen Wellenträger können nur stehende Wellen dauerhaft bestehen (§ 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
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