

ISSN 0073-8433

# **PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN**

SEKTION  
**TECHNISCHE WISSENSCHAFTEN  
NATURWISSENSCHAFTEN**

SERIE 7 · NUMMER 21 · 1981

FILM C 1287

**Entstehung und Klassifikation von Wellen**



INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM · GÖTTINGEN

*Angaben zum Film:*

Tonfilm (Komm., deutsch oder engl.), 16 mm, schwarzweiß, 70 m, 6 1/2 min (24 B/s). Hergestellt 1977, veröffentlicht 1978.

Der Film ist für die Verwendung im Hochschulunterricht bestimmt.

Veröffentlichung aus der Fakultät für Physik der Universität Freiburg, Prof. Dr. Ch. SCHLIER, A. SANDLER, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Dr. G. GLATZER; Kamera: Ing. G. MATZDORF; Schnitt: L. RÜPPEL.

*Zitierform:*

SCHLIER, Ch., A. SANDLER und INST. WISS. FILM: Entstehung und Klassifikation von Wellen. Film C 1287 des IWF, Göttingen 1978. Publikation von Ch. SCHLIER, Publ. Wiss. Film., Sekt. Techn. Wiss./Naturw., Ser. 7, Nr. 21/C 1287 (1981), 8 S.

*Anschrift des Verfassers der Publikation:*

Prof. Dr. Ch. SCHLIER, Albert-Ludwigs-Universität, Fakultät für Physik, Hermann-Herder-Str. 3, D-7800 Freiburg i. Br.

---

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN

Sektion BIOLOGIE

Sektion ETHNOLOGIE

Sektion MEDIZIN

Sektion GESCHICHTE · PUBLIZISTIK

Sektion PSYCHOLOGIE · PÄDAGOGIK

Sektion TECHNISCHE WISSENSCHAFTEN

NATURWISSENSCHAFTEN

Herausgeber: H.-K. GALLE · Schriftleitung: E. BETZ, I. SIMON

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN sind die schriftliche Ergänzung zu den Filmen des Instituts für den Wissenschaftlichen Film und der Encyclopaedia Cinematographica. Sie enthalten jeweils eine Einführung in das im Film behandelte Thema und die Begleitumstände des Films sowie eine genaue Beschreibung des Filminhalts. Film und Publikation zusammen stellen die wissenschaftliche Veröffentlichung dar.

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN werden in deutscher, englischer oder französischer Sprache herausgegeben. Sie erscheinen als Einzelhefte, die in den fachlichen Sektionen zu Serien zusammengefaßt und im Abonnement bezogen werden können. Jede Serie besteht aus mehreren Lieferungen.

Bestellungen und Anfragen an: Institut für den Wissenschaftlichen Film  
Nonnenstieg 72 · D-3400 Göttingen  
Tel. (0551) 202202

## FILME FÜR FORSCHUNG UND HOCHSCHULUNTERRICHT

CHRISTOPH SCHLIER, ADELHEID SANDLER, Freiburg, und INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM, Göttingen:

Film C 1287

### Entstehung und Klassifikation von Wellen

Verfasser der Publikation: CHRISTOPH SCHLIER

Mit 2 Abbildungen

#### *Inhalt des Films:*

**Entstehung und Klassifikation von Wellen.** Einleitend wird die Entstehung einer Welle  $A(x, t)$  aus der harmonischen Schwingung eines Erregers gezeigt. Dann folgt überblickartig eine Darstellung von laufender und stehender Welle, ebener und Kugelwelle, Transversal-, Longitudinal- und Dichtewelle.

#### *Summary of the Film:*

**Wave Generation and Classification.** As an introduction the excitation of a wave  $A(x, t)$  by a harmonic oscillator is shown. Then the classification of waves is reviewed as running or standing, plane or spherical, transversal or longitudinal or density wave.

#### *Résumé du Film:*

**Naissance et classification d'ondes.** La naissance d'une onde  $A(x, t)$  issue de l'oscillation harmonique d'un exciteur est montrée en introduction. Puis vient une représentation succincte d'une onde courante et stationnaire, d'une onde plane et sphérique, d'une onde transversale, longitudinale et de densité.

### Allgemeine Vorbemerkungen

Die Wellenlehre gehört glücklicherweise zu denjenigen Gebieten der Physik, die in einer Einführungsvorlesung (ebenso wie im Unterricht der Sekundarstufe II) in realen Experimenten veranschaulicht werden können. Dabei ist es didaktisch wichtig, alle Arten von Wellen (mechanische, akustische, elektromagnetische u. a.) gemeinsam zu behandeln. In der Tat kommt es für die meisten Wellenerscheinungen auf das Substrat der Welle, d. h. die Art der physikalischen Größe, die sich wellenförmig ausbreitet, gar nicht an: Wellenlehre kann abstrakt betrieben werden.

Der Film dient dazu, nach der Behandlung der Einzelercheinungen diese Abstraktion zu fördern, er zeigt nur eine „Amplitude“  $A(x, t)$  (skalar) oder  $\vec{A}(x, t)$  (vektoriell). Abb. 1. und 2. zeigen zwei Beispiele zum Thema Transversal- und Longitudinalwelle.

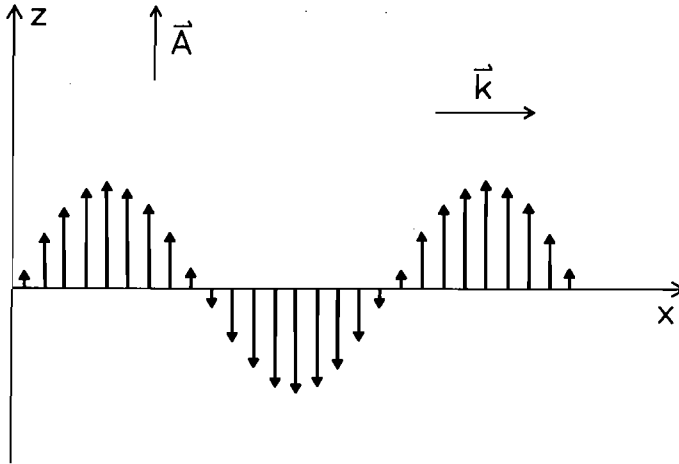


Abb. 1. Transversalwelle. Die schwingende Größe ist ein Vektorfeld  $\vec{A}$ , das senkrecht zur Ausbreitungsrichtung  $\vec{k}$  steht

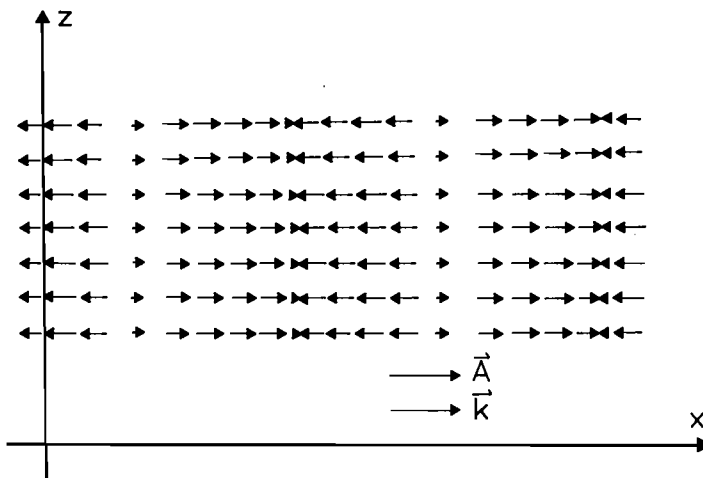


Abb. 2. Longitudinalwelle. Die schwingende Größe ist ein Vektorfeld  $\vec{A}$ , das parallel zur Ausbreitungsrichtung  $\vec{k}$  gerichtet ist

Seit Lord Rayleigh's „Theorie des Schalls“ [6] hat es unübersehbar viele Darstellungen der Wellenlehre gegeben, und jedes Lehrbuch der Physik enthält einen Abschnitt darüber. Wir zitieren daher im Literaturverzeichnis nur eine kleine Auswahl ([1], [3]–[5]), dort und anderswo können die im Film benutzten Begriffe nachgelesen werden.

## Zur Entstehung des Films

Der Film gehört zu einer Serie von Filmen (SCHLIER et al. [7]–[12]), die vollautomatisch computerunterstützt gezeichnet und abfotografiert wurden. Hierzu wurde eine Kamera mit der Möglichkeit der Einzelbildschaltung vor einen Speicherbildschirm gesetzt und ein Programm geschrieben, das Bild für Bild auf den Bildschirm zeichnet, die Kamera auslöst und schließlich den Bildschirm löscht (BENZ [2]). Die Benutzung eines Prozeßrechners (hier: DIETZ MINCAL 621) erleichtert die dazu notwendigen Direktanschlüsse von Bildschirm und Kamera und die Realzeit-Programmierung. Auch das Zeichnen der Titel und die Buchführung über die Filmbilder geschehen computergesteuert.

## Erläuterungen zum Film

### Wortlaut des gesprochenen Kommentars<sup>1</sup>

#### *Das Entstehen einer Welle*

*Ein Erreger schwingt harmonisch*

$$A = \sin(\omega t)$$

Bei einer abstrakten Welle lassen wir zunächst offen, welche physikalische Bedeutung der Amplitude  $A$  zukommt. Der einfachsten Form einer Welle begegnen wir, wenn ein Gebilde vorhanden ist, das harmonische Schwingungen ausführt. Dann ergibt die Schwingung in Abhängigkeit von der Zeit eine Sinuskurve.

#### *Entstehen einer sinusförmigen Welle*

Eine Welle entsteht, wenn sich von dem Erreger in den Ortsraum hinein Erregungen ablösen. Nach rechts ist die  $X$ -Achse aufgetragen: Es ist diejenige Richtung, in der die Welle laufen soll. Die Größe, die die Welle charakterisiert, hängt sinusförmig sowohl vom Ort als auch von der Zeit ab.

#### *Bestimmungsgrößen einer Welle*

$v$  = Frequenz;

$\lambda$  = Wellenlänge;

$c$  = Phasengeschwindigkeit

Zu den Bestimmungsgrößen einer einzelnen harmonischen Welle gehören Frequenz, Wellenlänge und Phasengeschwindigkeit. Letztere ist das Produkt der beiden ersten. Hier die Periode der Welle im Bild links und die zugehörige Wellenlänge rechts. Die Frequenz ist gleich dem Kehrwert der Periode.

$$c = \lambda \cdot v$$

#### *Laufende und Stehende Welle*

Hier zunächst eine laufende Welle, z. B. eine akustische Welle, wie sie ein sinusförmig erregter Lautsprecher aussendet. Die eindimensionale Darstellung wurde beibehalten. Mathematisch wird eine laufende Welle in der Form  $A \cdot \sin(\omega t - kx)$  wiedergegeben.

$$\text{Laufende Welle: } A = \sin(\omega t - kx)$$

<sup>1</sup> Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

A ist eine beliebige physikalische Größe.

Eine stehende Welle tritt auf, wenn zwei Wellen in entgegengesetzter Richtung aufeinanderzulaufen und sich gegenseitig überlagern. Stehende Wellen beobachtet man dann, wenn ausgedehnte physikalische Gebilde schwingungsfähig sind. Man kann sie auch als deren Eigenschwingungen auffassen. Hier entsteht gerade durch Überlagerung zweier gleich großer und gleich schneller Wellen gleicher Wellenlänge eine stehende Welle. Jetzt wird nur noch die stehende Welle allein gezeigt. Orts- und Zeitabhängigkeit sind Sinusfunktionen.

$$\text{Stehende Welle: } A \cdot \sin \omega t \cdot \sin kx$$

Im Gegensatz zur laufenden Welle multiplizieren sich bei der stehenden Welle der Ortsanteil und der Zeitanteil miteinander.

#### *Ebene Welle und Kugelwelle*

Wellen mit ebenen Wellenfronten erhält man bei sinusförmigen Bewegungen eines flächenhaften Erregers, hier in der Projektion als Stab wiedergegeben, zusammen mit der Auslenkung der ausgesandten Wellen, die hier ebenfalls um eine Dimension verkürzt erscheinen. Da die Fortpflanzung wie zuvor in X-Richtung erfolgt, erhalten wir mathematisch die gleiche Formel wie bisher.

$$\text{Ebene Welle: } A \cdot \sin (\omega t - kx)$$

Ein punktförmiger pulsierender Erreger erzeugt Kugelwellen. Deren Phasenflächen sind Kugeln oder, bei Projektion auf die Ebene, Kreise. Die unabhängige Variable ist der Erregerabstand R. Er tritt wegen des Energiesatzes in der Amplitudenfunktion im Nenner auf.

$$\text{Kugelwelle: } \frac{A}{R} \cdot \sin (\omega t - kx)$$

#### *Transversal- und Longitudinalwelle*

Die physikalische Größe der Wellenamplitude kann ein Vektor sein. Bei einer elektromagnetischen Welle sind es der elektrische und der magnetische Vektor. Bei einer Transversalwelle steht der Amplitudenvektor senkrecht auf der Ausbreitungsrichtung.

Bei der Longitudinalwelle liegen Amplitudenvektor  $\vec{A}$  und Ausbreitungsvektor  $\vec{k}$  parallel zueinander. Dies gilt z. B. für Schallwellen in Luft. Eine wichtige Vektorgröße ist die sog. Schallschnelle, ein Maß für die momentane Geschwindigkeit der Volumenelemente der Luft parallel zur Fortpflanzungsrichtung.

#### *Dichtemodulation*

Bei Schallwellen spricht man gewöhnlich nicht von einem wellenförmig veränderlichen Vektor, sondern von der zugehörigen Dichtemodulation oder den örtlichen Dichteschwankungen der Moleküle, hier veranschaulicht durch die sinusförmig veränderliche Dichte der Striche. Die Welle bewegt sich mit der Phasengeschwindigkeit  $v$  durch den Raum.

## English Version of the Spoken Commentary<sup>1</sup>

### *Harmonic vibrations of an oscillator*

In an abstract wave, we do not fix the physical entity of the wave amplitude  $A$ . It may represent quite different entities. We meet the simplest kind of wave, if we start from an oscillating object performing a harmonic motion. Plotting the oscillating amplitude versus time results in a sinusoidal curve.

### *Generation of a sine wave*

A wave is generated if excitation energy flows from the oscillator into its surrounding space. The  $x$ -axis, which is the direction in which the wave propagates, is plotted from left to right. The physical quantity which represents the wave depends both on space and time.

### *Wave parameters*

A simple harmonic wave is characterized by frequency, wavelength, and phase velocity. The latter is the product of the former two. Here, the period is shown at left, the wavelength at right. The frequency is the reciprocal period.

### *Travelling and standing waves*

We continue to use a one-dimensional picture.

Here, we see again a travelling wave like, for instance, the acoustic wave emitted from a loudspeaker driven by a sinusoidal signal. Capital  $A$  can be any physical quantity.

Mathematically a travelling wave is represented by  $A \cdot \sin(\omega t - kx)$ .

A standing wave can be generated from two superposed waves travelling in opposite directions. Standing waves are also the result of an oscillating motion of extended physical bodies. They are identical with the eigenvibrations of these bodies. Here, the superposition of two waves of equal amplitude and wavelength forms a standing wave. Now, only the standing wave is left. The space and time dependences are sinusoidal. Contrary to the travelling wave, in the description of a standing wave the space function and the time function are multiplied.

### *Plane and spherical waves*

Waves with planar wave fronts are emitted from planar emitters, here shown in one dimension less. Every point of the rod emits a wave. The wavelength of all these waves is the same. Mathematically nothing changes since nothing depends on the  $x$ -dimension. A pulsating globular emitter generates a spherical wave. Its wavefronts are spheres, or, in two dimensions, circles. The space variable is the distance  $R$  from the emitter. Energy conservation makes it also appear in the denominator of the amplitude.

### *Transversal and longitudinal waves*

The physical quantity denoted by the Amplitude  $A$  may be a vector. In an electromagnetic wave there are two vectors: the electric and the magnetic field strength. In a transversal wave the amplitude vector is perpendicular to the direction

<sup>1</sup> The headlines in *italics* correspond with the subtitles in the film.

of propagation. In a longitudinal wave the amplitude and the propagation vectors are parallel, for example in sound waves in air.

In this case the vector amplitudes are the instantaneous velocities of the volume elements of the air. They are always parallel to the direction of wave propagation. Usually, sound waves in air are not discussed as a vector wave but as a density modulation of the local air density. It is depicted here by the line density, which oscillates harmonically. The wave propagates with its phase velocity  $v$ .

### Literatur

- [1] ALONSO, M., u. E. J. FINN: Physik, Inter European Editions. Amsterdam 1977, (Kap. 3).
- [2] BENZ, A.: Rechnerunterstützte Herstellung von Lehrfilmen. Zulassungsarbeit für das Staatsexamen, Freiburg 1971.
- [3] Berkely Physik Kurs, Bd. 3: Schwingungen und Wellen (Autor F. S. CRAWFORD Jr.) Wiesbaden 1974.
- [4] GERTHSEN, Ch., H. O. KNESER u. H. VOGEL: Physik. 13. Auflage, Berlin 1977, (Kap. 4).
- [5] JAWORSKI, B. M., u. A. A. DETLAF: Physik Griffbereit. Braunschweig 1972, (Kap. V).
- [6] RAYLEIGH, J. W. BARON: Die Theorie des Schalls. Braunschweig 1880.

### Filmveröffentlichungen

- [7] SCHLIER, Ch., A. BENZ und INST. WISS. FILM: Signalextraktion durch Mittelwertbildung. Film C 1285 des IWF, Göttingen 1978. Publikation von Ch. SCHLIER, Publ. Wiss. Film., Sekt. Techn. Wiss./Naturw., Ser. 7, Nr. 20/C 1285 (1981), 8 S.
- [8] SCHLIER, Ch., A. BENZ und INST. WISS. FILM: Keplersche Gesetze der Planetenbewegung. Film C 1286 des IWF, Göttingen 1978. Publikation von Ch. SCHLIER, Publ. Wiss. Film., Sekt. Techn. Wiss./Naturw., Ser. 7, Nr. 6/C 1286 (1980), 9 S.
- [9] SCHLIER, Ch., G. LODE und INST. WISS. FILM: Diffusion in Gasen. Film C 1325 des IWF, Göttingen 1978. Publikation von Ch. SCHLIER, Publ. Wiss. Film., Sekt. Techn. Wiss./Naturw., Ser. 7, Nr. 23/C 1325 (1981), 11 S.
- [10] SCHLIER, Ch., A. SANDLER und INST. WISS. FILM: Klassische Atom-Atom-Streuung. Film C 1291 des IWF, Göttingen 1978. Publikation von Ch. SCHLIER, Publ. Wiss. Film., Sekt. Techn. Wiss./Naturw., Ser. 7, Nr. 22/C 1291 (1981), 11 S.
- [11] SCHLIER, Ch., W. SIEVERS und INST. WISS. FILM: Stöße von Protonen auf schweren Wasserstoff. Film C 1330 des IWF, Göttingen 1979. Publikation von Ch. SCHLIER, Publ. Wiss. Film., Sekt. Techn. Wiss./Naturw., Ser. 7, Nr. 7/C 1330 (1980), 11 S.
- [12] SCHLIER, Ch., U. WEISHAAR und INST. WISS. FILM: Orbiting-Stöße von Atomen. Film C 1329 des IWF, Göttingen 1979. Publikation von Ch. SCHLIER, Publ. Wiss. Film., Sekt. Techn. Wiss./Naturw., Ser. 7, Nr. 24/C 1329 (1981), 9 S.

### Abbildungsnachweis

Abb. 1 und 2: Einzelbilder aus dem Film.