

# Die infraroten Strahlen

Autor(en): **[s.n.]**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen**

Band (Jahr): **37 (1964)**

Heft 1

PDF erstellt am: **18.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-560412>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Übersicht

1. Einleitung, Definitionen
2. Physikalische Grundlagen
  - 2.1 Die Strahlungsquelle
  - 2.2 Wechselwirkung der Strahlung mit der Materie
  - 2.3 Der Strahlungsempfänger
    - 2.31 Der thermische Empfänger
    - 2.32 Der photoelektrische Empfänger
    - 2.33 Infrarot-empfindliche Filme
3. Einige Anwendungen
  - 3.1 Aktive IR-Geräte
  - 3.2 Passive IR-Geräte
4. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit bezweckt, einen knappen Einblick in dieses aktuelle, jedoch nicht sehr bekannte Gebiet der Technik zu bieten. Das Literaturverzeichnis am Ende des Artikels ermöglicht eine eingehende Orientierung und eröffnet ausgiebige Quellennachweise. Die Koeffizienten der mathematischen Beziehungen werden nicht zahlenmässig angegeben, einige Funktionen sind maßstäblich graphisch dargestellt.

### 1. Einleitung, Definitionen

Unter «Infrarot»<sup>1</sup> (IR) versteht der Mann von der Strasse: Heizlampen, IR-Küchen, Raketensteuerungen und andere «Wunderdinge». Der Physiker denkt eher an ein schmales Spektrum der elektromagnetischen Wellen (Abb. 1), der Chemiker an ein geeignetes Instrument zur Molekülanalyse und der Techniker an den Wärmeaustausch durch Strahlung.

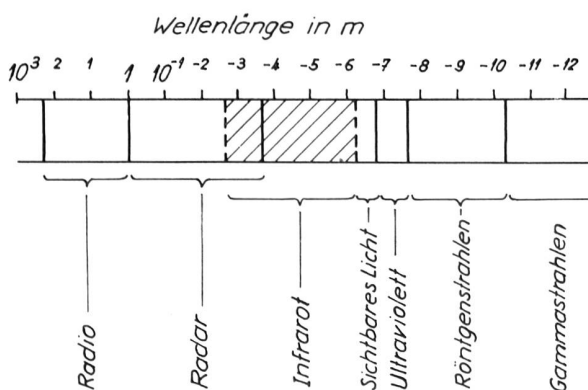


Abb. 1 Übersicht über das elektromagnetische Spektrum. Das sichtbare Licht umfasst rund eine Oktave ( $\lambda_{rot} : \lambda_{violett} 2 : 1$ ). Das IR-Gebiet erstreckt sich über etwa 10 Oktaven. Von diesen können heute die ersten vier (0,76  $\mu\text{m}$ ...12,2  $\mu\text{m}$ ) als erforscht betrachtet werden, die fünfte und sechste (12,2  $\mu\text{m}$ ...48,6  $\mu\text{m}$ ) sind in Erforschung begriffen. Darüber hinaus besitzt man erst mangelhafte Kenntnisse.

Sichtbares Licht und Infrarotstrahlung sind einander wesensgleich, unterscheiden sich aber durch ihre physiologische Wirkung auf das Auge, bzw. den Wärmesinn unserer Haut. Die Grenze zwischen dem sichtbaren und dem infraroten Spektralbereich ist bei 0,76  $\mu\text{m}$  festgesetzt. Dieser Wert ist von Beobachter zu Beobachter verschieden und hängt für ein und denselben Beobachter von der Lichtstärke der Strahlungsquelle ab.

Die langwellige Grenze des IR-Spektrums ist nicht genau anzugeben. Man hat mit experimentellen Hilfsmitteln der IR-Physik Strahlen bis zu einer Wellenlänge von ca. 2000  $\mu\text{m} = 2 \text{ mm}$  nachgewiesen. Andererseits wurden mit elektronischen Mitteln bereits Wellenlängen von ca. 0,2 mm hergestellt. Der ganze Spektralbereich des IR-Gebietes wird eingeteilt in:

kurzwelliges IR	0,76 $\mu\text{m}$ ...ca. 1,5 $\mu\text{m}$
mittelwelliges IR	ca. 1,5 $\mu\text{m}$ ...ca. 30 $\mu\text{m}$
langwelliges IR	oberhalb ca. 30 $\mu\text{m}$

Im Jahre 1800 wurde die IR-Strahlung anlässlich von Untersuchungen über die Energieverteilung im Sonnenspektrum entdeckt. Die ersten Nutzenanwendungen brachte der Erste Weltkrieg hervor. 1917 gelangte in den USA ein System zur Anwendung, mit unsichtbarem «Licht» Blinksignale von Schiff zu Schiff zu übermitteln. Die Reichweite betrug über 20 km. 1919 erschien von Hoffmann ein Artikel über die Entdeckung unsichtbarer Körper durch Wärmestrahlung. Mit einem Versuchsgerät konnte ein Mann auf 200 m, ein Flugzeug auf 1500 m nachgewiesen werden.

### 2. Physikalische Grundlagen

Zuerst seien an einige Erlebnisse und Beobachtungen aus dem täglichen Leben erinnert:

Ein Beobachter sitzt in einem dunklen Raum. Einem Eisenkörper, z. B. einer Kochplatte, wird eine konstante Leistung zugeführt, sie wird aufgeheizt. Bald einmal nimmt die Haut des Beobachters eine Wärmestrahlung<sup>2</sup> wahr. Ihre Intensität wächst mit der Temperatur. Bei etwa 525 °C stellt man erstmals einen Helligkeitseindruck fest. Bei höheren Temperaturen wird der Eindruck farbig und geht vom Roten ins Gelbe über. Befindet sich der strahlende Körper im Vakuum, wird die ge-

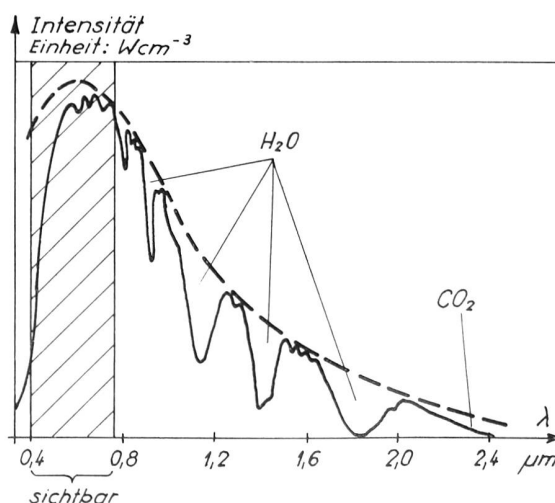


Abb. 2 Spektrum der Sonnenstrahlung. Gestrichelt: Intensitätsverlauf ohne atmosphärische Absorption. Das Sonnenlicht falle z. B. durch eine Öffnung von 1  $\text{cm}^2$  auf das Prisma. Die Gesamtleistung wird somit in  $\text{W}/\text{cm}^2$  angegeben.  $\lambda$  ist mit der Einheit cm behaftet. Die Summe der Leistungen in jedem Wellenlängengebiet (die unter der Kurve liegende Fläche) entspricht der einfallenden Gesamtleistung gemessen in  $\text{W}/\text{cm}^2$ . Folglich besitzt die Intensität die Einheit  $\text{W}/\text{cm}^2$

samte zugeführte Leistung durch elektromagnetische Strahlung abgeführt<sup>3</sup>.

Das Sonnenlicht bricht sich in einem Prisma und wird in seine «Regenbogenfarben» zerlegt. Den verschiedenen Farben sind entsprechende Wellenlängen zugeordnet. Mit einem empfindlichen Thermometer kann die Intensitätsverteilung in Abhängigkeit von der Wellenlänge bestimmt werden (Abb. 2).

Thermosflaschen werden von einem aufgedampften Metallspiegel umgeben. Dieser reflektiert die ausgestrahlte Leistung ins Innere zurück. Die untergehende Sonne leuchtet am Horizont schwächer und rötlich. Die Atmosphäre absorbiert die kurzwelligen Strahlen. Die langwelligen Rot- und IR-Strahlen dringen, wenn auch gedämpft, durch.

### 2.1 Die Strahlungsquelle

Wird ein Teil eines Festkörpers (z. B. eines Isolators, keine freien Elektronen) erhitzt, schwingen dessen Atome um ihre «Ruhelage» ( $0^\circ\text{K}$ )<sup>4</sup> hin und her und geben diese Bewegung an ihre Nachbarn weiter. Die kinetische Energie der Atome wird dabei von den wärmeren Stellen zu den kälteren geleitet. Beim Wärmetransport handelt es sich um Schwingfrequenzen des IR-Spektrums, z. B. um  $10^{13}$  Hz. Gemäss der Quantennatur der Materie erfolgen die Wärmeschwingungen bündelweise, vergleichbar mit dem Wellenzug, der sich im Wasser ausbreitet, wenn ein Stein hineingeworfen wird. An den Randzonen des Festkörpers werden diese Wellenzüge in den Raum abgestrahlt.

Das Zustandekommen einer elektromagnetischen Schwingung kann man sich an Hand einer vereinfachten Modellvorstellung erklären: Auch bei reinen Elementen lagern sich mehrere Atome zu einem Molekül zusammen. Dieses wirkt aus grosser Entfernung neutral. Der Schwerpunkt der positiven Atomkerne liegt jedoch nicht am selben Ort wie der Schwerpunkt der negativen Elektronen. Durch das Schwingen der Atome im Molekül bewegen sich diese Schwerpunkte relativ zueinander (atomarer Dipol). Die elektrische Feldstärke zwischen den Schwerpunkten ändert sich mit dem Abstand (elektro-), die be-

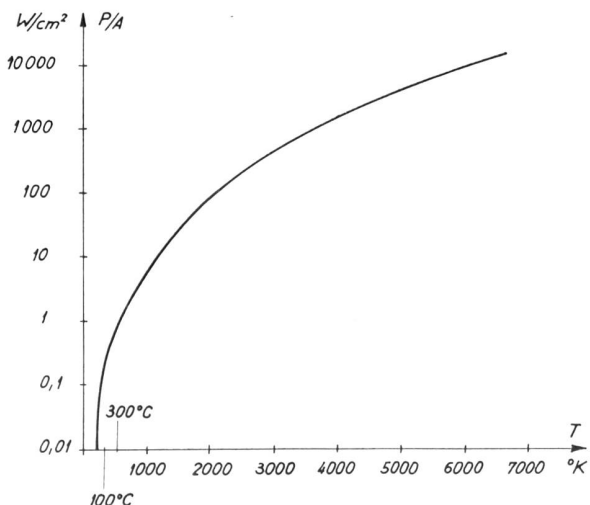


Abb. 3 Boltzmannsches Gesetz des schwarzen Körpers. Für Temperaturen unter  $50^\circ\text{C}$  nimmt die abgestrahlte Leistung sehr kleine Werte an. Zwischen  $1000^\circ\text{K}$  und  $2000^\circ\text{K}$  steigt sie von  $5,7 \text{ W/cm}^2$  auf  $91 \text{ W/cm}^2$ , um das  $2^4 = 16$ fache.

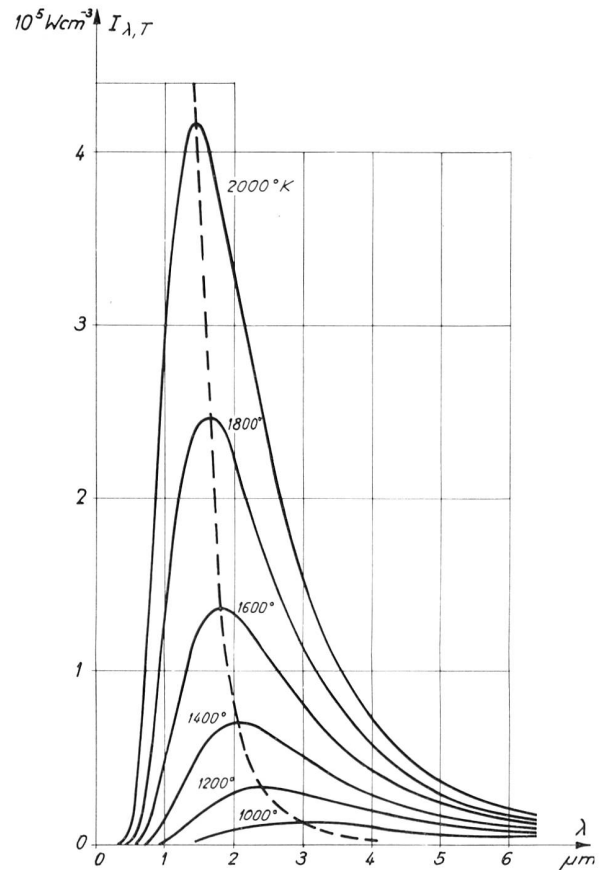


Abb. 4 Spektrale Intensitätsverteilung der schwarzen Strahlung (Plancksches Gesetz). Die Fläche unter einer Kurve entspricht dem Leistungswert der entsprechenden Temperatur in Abb. 3. Schätzt man z. B. die Kurve  $2000^\circ\text{K}$  als Dreieck mit den Werten  $h = 4,2 \cdot 10^5 \text{ W/cm}^3$  und Basis  $c = 4,5 \mu\text{m} = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$ , erhält man als Fläche  $A = 0,5 \cdot 4,2 \cdot 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ W/cm}^{-3+1} = 94 \text{ W/cm}^2$ . Für  $2000^\circ\text{K}$  findet man in Abb. 3 den Wert  $95 \text{ W/cm}^2$ . Die gestrichelte Kurve verbindet die Maximalstellen (Wiensches Verschiebungsgesetz).

wegen Ladungen entsprechen Strömen und haben magnetische Felder zur Folge (-magnetisch). Im Grossen finden diesen Vorgang bei einer Dipolantenne wieder.

Das Stefan-Boltzmannsche Gesamtstrahlungsgesetz sagt aus, dass die pro Flächeneinheit  $A$  ausgestrahlte Leistung  $P$  mit der 4. Potenz der absoluten Temperatur  $T$  wächst. Am besten strahlt der in der Praxis kaum zu findende schwarze Körper.

$$\frac{P}{A} = c_1 T^4 \quad [\text{W/cm}^2] \quad (1)$$

Abb. 3 veranschaulicht den Inhalt dieses Ausdruckes. Es fällt auf, dass die abgestrahlte Leistung für tiefe Temperaturen sehr klein wird.

Das Plancksche Strahlungsgesetz beschreibt die spektrale Intensitätsverteilung  $J(\lambda, T)$  der schwarzen Strahlung.

$$J = \frac{c_2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{c_3/\lambda \cdot T} - 1} \quad [\text{W/cm}^3] \quad (2)$$

Daraus ist direkt ersichtlich, dass die Intensität  $J$  mit wachsender Temperatur  $T$  steigt. Der Einfluss der Wellenlänge  $\lambda$  ist nicht ohne weiteres zu überblicken. Die Dimension  $W/cm^3$  der Einheit wurde bei Abb. 2 besprochen.

Abb. 4 zeigt die Intensität der schwarzen Strahlung  $J$  in Abhängigkeit von der Wellenlänge  $\lambda$  mit  $T$  als Parameter.

Das Wiensche Verschiebungsgesetz gibt Auskunft über die maximale Intensität  $J_{Max}$  und die dazugehörige Wellenlänge  $\lambda_{Max}$  in Abhängigkeit von der absoluten Temperatur  $T$ .

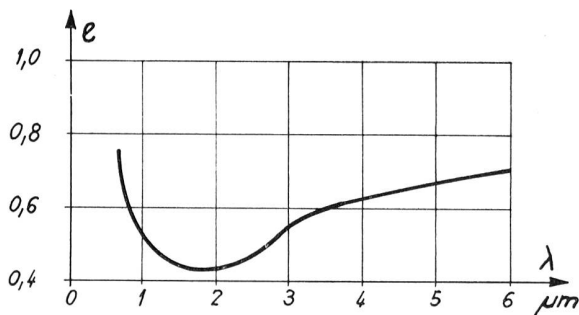


Abb. 5 Spektrales Emissionsvermögen von Chromstahl.  $e$  ist dimensionslos und gibt an, wie viele Prozent der Intensität der schwarzen Strahlung bei einer bestimmten Wellenlänge herrscht.

$$J_{Max} = c_4 \cdot T^5 \quad [W/cm^3] \quad (3)$$

$$\lambda_{Max} = c_5/T \quad [\mu m] \quad (4)$$

Die Konstanten  $c_4$  und  $c_5$  sind mit dem Planckschen Gesetz verknüpft. Das Strahlungsmaximum wandert mit sinkender Temperatur hyperbolisch ins langwellige Gebiet (Abb. 4). Für  $T = 100^\circ C \triangleq 373^\circ K$  beträgt  $\lambda_{Max} = 7,8 \mu m$ .

Die Strahlung nicht-schwarzer Körper. Während die Wärmestrahlung des fiktiven schwarzen Körpers in ihrer Abhängigkeit von Temperatur und Wellenlänge durch einige wenige Gesetze dargestellt werden kann, ist dies für nicht-schwarze reale Körper nicht möglich.

Durch Vergleich der nicht-schwarzen Strahlung eines beliebigen Körpers mit der schwarzen Strahlung erhalten wir sein Emissionsvermögen  $e$ . Es wird in der Regel empirisch bestimmt. Abb. 5 zeigt das spektrale Emissionsvermögen von Chromstahl. Bei normalen Gebrauchstemperaturen (ca.  $800^\circ K$ ) und darüber ist es nur wenig temperaturabhängig. Multiplizieren wir die Intensitätswerte des schwarzen Strahlers (z. B.  $1400^\circ K$  der Abb. 4) mit den entsprechenden Werten des spektralen Emissionsvermögens, erhalten wir die spektrale Intensitätsverteilung.

## 2.2 Wechselwirkung der Strahlung mit der Materie

Grundsätzlich gehorchen die IR-Strahlen den Gesetzen der geometrischen Optik und der Wellenoptik. Dasselbe lässt sich z. B. auch für die elektromagnetischen Wellen des 3-cm-Bandes aussagen. Gewisse Grössen sind allerdings wellenlängenabhängig. So sind Glaslinsen für langwellige IR-Strahlen undurchlässig und müssen z. B. durch solche aus Germanium ersetzt werden. Im 3-cm-Band erreicht man die Brechung durch ein nach optischen Gesichtspunkten geformtes Dielek-

trikum mit möglichst hohen Dielektrizitätskonstanten. Dabei ist noch zu bemerken, dass die Abmessungen einer solchen Optik um Grössenordnungen grösser sein müssen als die verwendete Wellenlänge, will man die 3-cm-Optik mit jener des sichtbaren Lichtes vergleichen.

Absorption. Beim Durchgang durch Materie wird Strahlungsenergie in Wärme umgewandelt. Als Beispiel diene Abb. 2. Der  $H_2O$ - und der  $CO_2$ -Gehalt der Atmosphäre absorbieren gewisse Wellenlängen teilweise, während andere kaum beeinflusst werden. Auch diese Erscheinung lässt sich durch das mechanische Modell des atomaren Dipols veranschaulichen. Das Kirchhoffsche Gesetz sagt aus, dass das Absorptionsvermögen  $a$  eines Körpers gleich seinem Emissionsvermögen  $e$  sei (ähnlich wie ein elektrischer Schwingkreis durch jene Frequenzen erregt werden kann, die er bei einem Ein- oder Ausschaltvorgang selbst erzeugt). Ein Körper absorbiert jene Wellenlänge der eintreffenden Strahlung am stärksten, welche er als Strahlungsquelle am intensivsten ausstrahlt.

Während die Atmosphäre einem IR-Strahl pro Streckeneinheit wenig Energie durch Absorption entzieht, besitzt er für viele Körper nur eine geringe Eindringtiefe. Je nach Art und Grösse der Materie wird die Strahlung teilweise absorbiert und teilweise durchgelassen oder aber auch gänzlich absorbiert.

Von Streuung oder diffuser Reflexion spricht man, wenn die Strahlung mit Teilchen in Wechselwirkung steht, deren Grösse der Wellenlänge vergleichbar ist. 3-cm-Wellen werden an Regentropfen gestreut (nach verschiedenen Richtungen reflektiert). Sichtbares Licht streut sich bereits an Luftmolekülen. Deshalb erscheint die Ferne immer dunstig. Dazu kommt die Streuung an kleinsten Staubteilchen. Die IR-Strahlung, weil langwelliger, ist diesem Einfluss weniger unterworfen. Nebel streut auch IR-Strahlung. Meist treten an einem Körper Reflexion und teilweise Absorption gleichzeitig auf (Abb. 6). Es wird auch deutlich, dass die Strahlen beim Verlassen des Körpers teilweise wieder in sein Inneres reflektiert werden. Das «innere» und das «äussere» Reflexionsvermögen entsprechen einander. So erklärt sich auf andere Art die Tatsache, dass das weiter oben besprochene Emissionsvermögen dem Absorptionsvermögen entspricht. (Fortsetzung folgt)

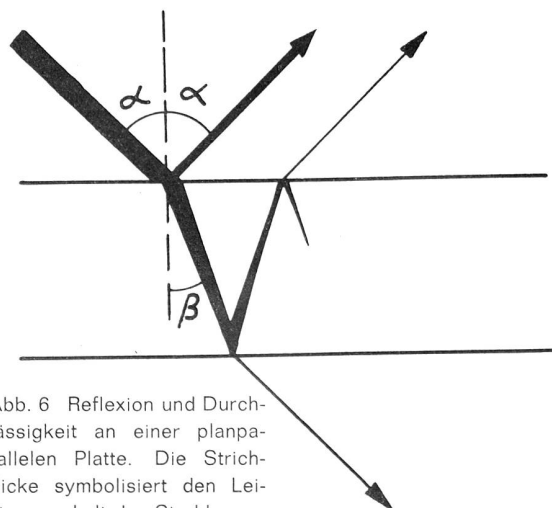


Abb. 6 Reflexion und Durchlässigkeit an einer planparallelen Platte. Die Strichdicke symbolisiert den Leistungsgehalt des Strahles.