

Klassische Experimentalphysik III

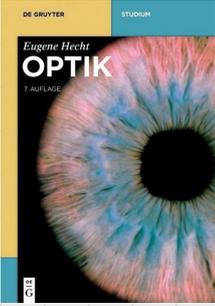
WS 2020/2021

von Prof. Wulf Wulfhekel, Karlsruher Institut für Technologie

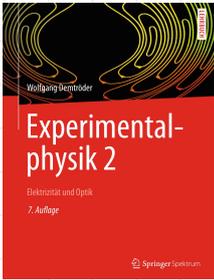
Optik-Teil, 3 SWS



Literatur zur Vorlesung



- Ausgezeichnetes und moderndes Buch
- Fast alle Themen sind abgedeckt



- Ausführliches Buch
- Gute Abdeckung des Stoffs
- e-Book am KIT



- Recht vollständig und viel zu LASERN
- Recht knapp
- e-Book am KIT

Bücher sind Geschwindigkeit !

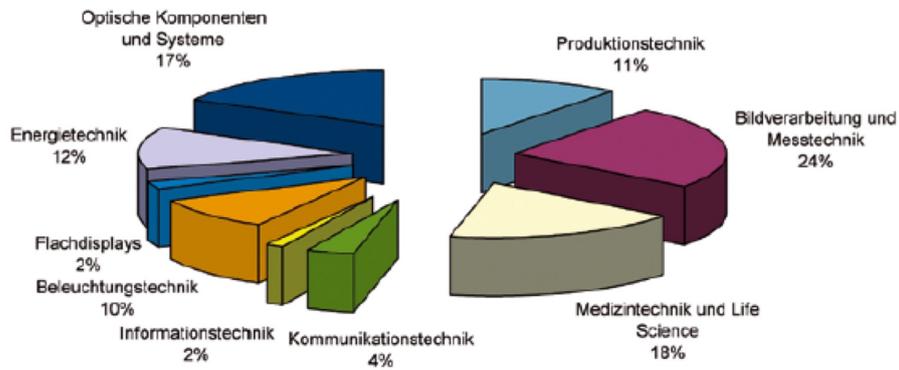
Überblick über die Vorlesung

1. Elektromagnetische Wellen im Vakuum
2. Lichtausbreitung in Medien
3. Licht an Grenzflächen
4. Licht in anisotropen Medien
5. Geometrische Optik
6. Interferenz und Beugung
7. Optische Instrumente
8. Moderne Aspekte der Optik

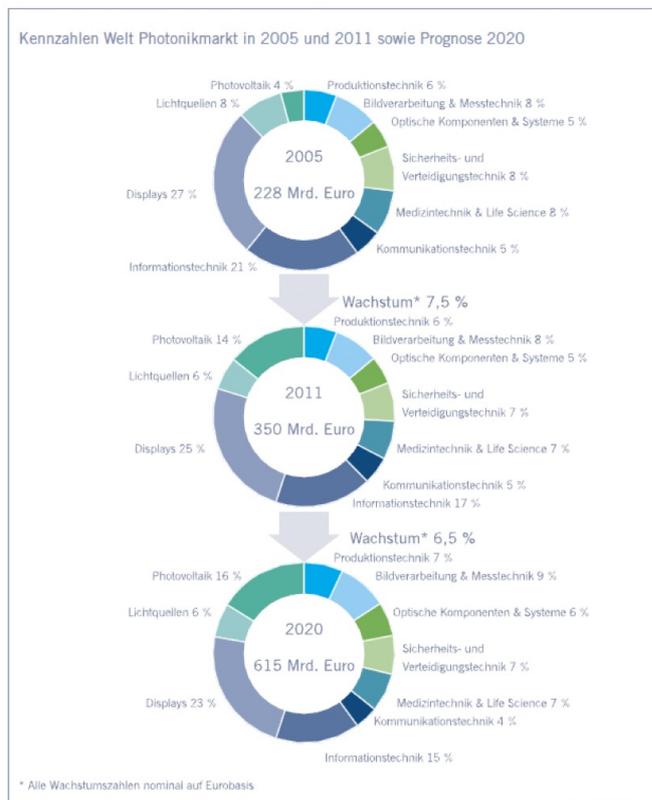
Anwendungen der Optik

- Optische Instrumente (Mikroskope, Kameras, Teleskope, Brillen ...)
- Laser (Glasfaserkabel für Internet, CD, DVD, Wasserstoffkernfusion, Medizintechnik, Strahlentherapie, Holographie)
- Displays
- Beleuchtung
- Optische Lithographie

Insgesamt ca. 110,000 Beschäftigte (2008)



<http://www.optischetechnologien.de/fileadmin/MEDIENDATENBANK/SERVICE/OT-Studie-final.pdf>



Quelle: Branchenreport Photonik 2013 / Optech Consulting, Studie „Photonik 2013“

1. Elektromagnetische Wellen im Vakuum

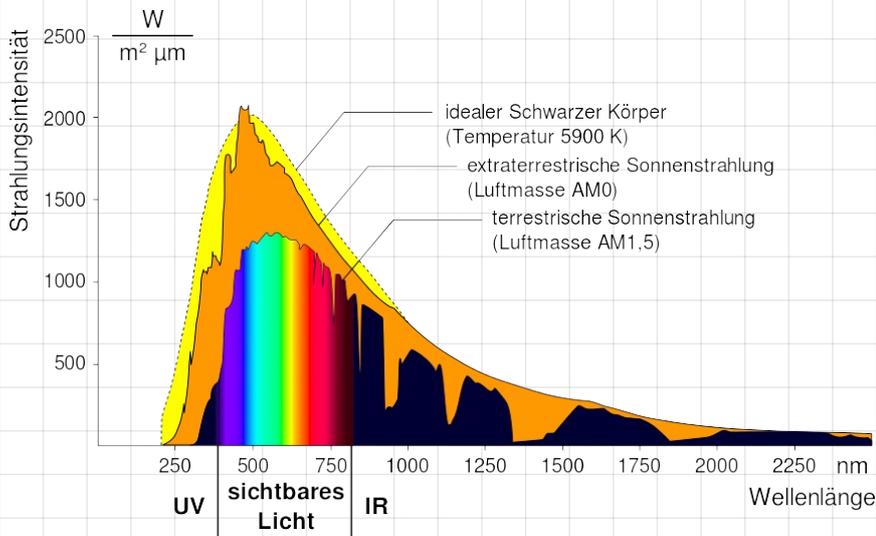
1.1 Das elektromagnetische Spektrum



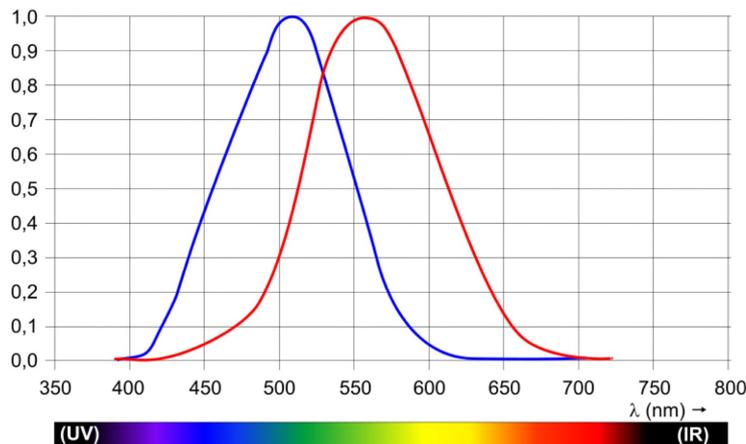
Quelle/ Anwendung/ Vorkommen	Höhen- strahlung	Gamma- strahlung	harte- Röntgenstrahlung	mittlere- Röntgenstrahlung	weiche- Röntgenstrahlung	UV- C/B/A Ultraviolett- strahlung	Infrarot- strahlung	Terahertz- strahlung	Radar	MW-Herd	UHF VHF	UKW Kurzwelle Rundfunk	Mittelwelle Langwelle	hoch- mittel- nieder- frequente Wechselströme									
Wellenlänge in m	1 fm	1 pm	1 Å	1 nm	1 μm	1 mm	1 cm	1 m	1 km	1 Mm													
Frequenz in Hz (Hertz)	10^{23}	10^{22}	10^{21}	10^{20}	10^{19}	10^{18}	10^{17}	10^{16}	10^{15}	10^{14}	10^{13}	10^{12}	10^{11}	10^{10}	10^9	10^8	10^7	10^6	10^5	10^4	10^3	10^2	
		1 Zettahertz		1 Exahertz		1 Petahertz		1 Terahertz		1 Gigahertz		1 Megahertz		1 Kilohertz									

wiki

Licht ist eine elektromagnetische Welle oder
Strahlung aus Photonen.

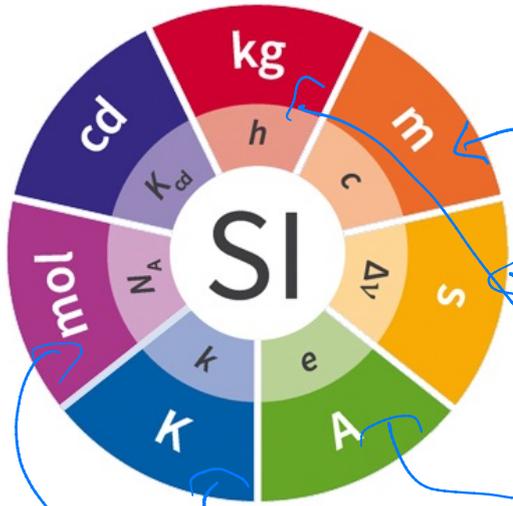


wiki



wiki

SI - Basiseinheiten



$$c = 299.792.458 \text{ m/s}$$

$$\Delta v_{CS} = 9.192.631.770 \text{ 1/s}$$

$$h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}}$$

$$e = 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

$$k = 1,380649 \cdot 10^{-23} \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2 \text{K}}$$

$$N_A = 6,02214076 \cdot 10^{23} \cdot \frac{1}{\text{mol}}$$

Candela : $1 \text{ cd} = \frac{1}{683} \frac{1}{\text{sr}} \text{ W (zu } 555 \text{ nm)}$



Einheit der Lichtquelle

$$1 \text{ lm (Lumen)} = 1 \text{ cd} \times 1 \text{ sr}$$

$$1 \text{ lx (Lux)} = 1 \text{ lm/m}^2$$

1.2 Die Maxwell Gleichungen

James Clark Maxwell

1831 - 1879



$$\vec{\nabla} = \begin{pmatrix} \partial/\partial x \\ \partial/\partial y \\ \partial/\partial z \end{pmatrix}$$

Mikroskopische Maxwell Gleichungen

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Gaußsche Gesetz

Ladungen sind Quellen für elektrische Feld \vec{E}

ϵ_0 dielektrische Feldkonstante
Permittivität

$$\epsilon_0 = 8,8541878128 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

geschlossene magnetische Flussdichte \vec{B}

ϵ_0 existieren keine magnetischen Monopole

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Induktionsgesetz

Änderung des magnetischen Flussdichte führt zu elektrischen Wirbelfeldern

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Durchführungsgesetz

elektrische Ströme \vec{j} und Verschiebungsstrom

$\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ führt zu magnetischen

Wirbelfeldern

μ_0 : Induktionskonstante
Permeabilität

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

makroskopische Maxwellgleichungen (in Materialien)

\vec{D} : elektrische Flussdichte \vec{H} : magnetische Feldstärke

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_{\text{frei}}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j}_{\text{frei}} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

mit $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$ \vec{P} : elektrische Polarisation

$\vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \vec{B} - \vec{M}$ \vec{M} : Magnetisierung

1.3 Wellengleichung im Vakuum

$$\rho = 0, \quad \vec{j} = 0$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = -\vec{\nabla} \times \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{B}) = -\epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\begin{aligned} & \vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{E}) - \Delta \vec{E} \\ & \quad \quad \quad = 0 \end{aligned}$$

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

$$\Rightarrow \Delta \vec{E} - \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

$\approx \frac{1}{c^2}$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = 0$$

Wellengleichung

$$\Rightarrow c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

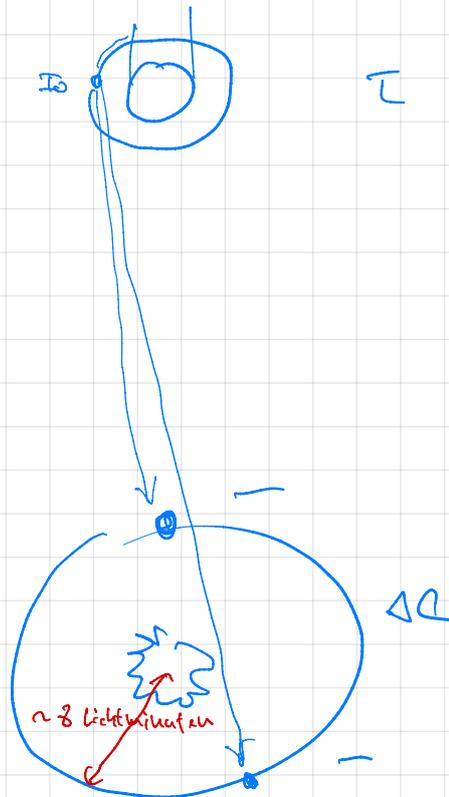


Ole Rømer 1676



Jupiter

H₀



$$\Delta t = 22 \text{ min}$$

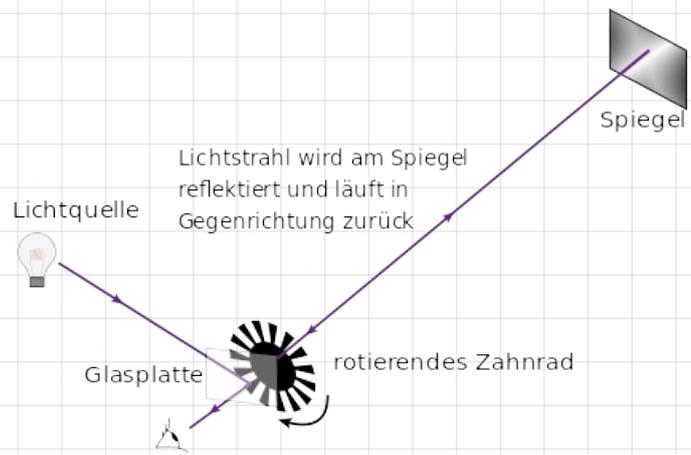
$$\Delta t = 16 \text{ min } 48 \text{ s}$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta R}{c}$$

Huygens : $c \approx 215\,000 \text{ km/s}$

Armand Fizeau

1849

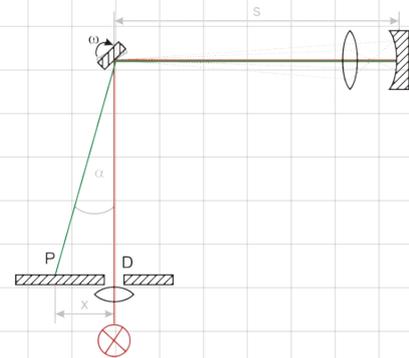


wiki

$$c = 315\,000 \text{ km/s}$$

Leon Foucault

1851



wiki

$$298\,000 \text{ km/s} \pm 500 \text{ km/s}$$