

# Physik für Maschinenbau

**Prof. Dr. Stefan Schael  
RWTH Aachen**

**Vorlesung 11**

# Physik (für Maschinenbau)

Lehrveranstaltungsnummer: 11ws-00856  
 Lehrveranstaltungstyp: Vorlesung  
 Erfasste Fragebögen: 994



## Globalwerte

### Globalindikator

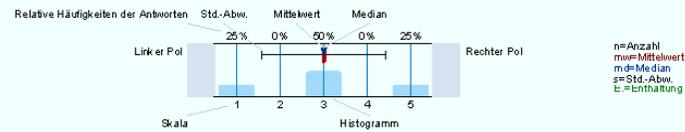
Konzept der Vorlesung



## Auswertungsteil der geschlossenen Fragen

### Legende

Frage

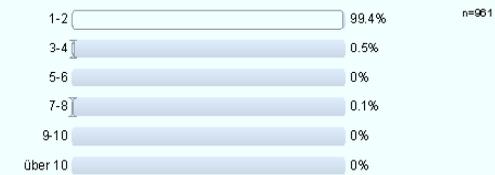


## Angaben zur Person

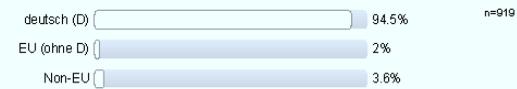
Geschlecht



Fachsemester

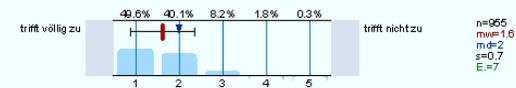


Nationalität

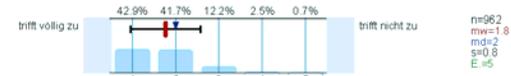


## Konzept der Vorlesung

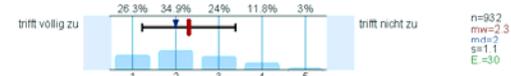
Mir ist klar, wozu die Vorlesung gut ist.



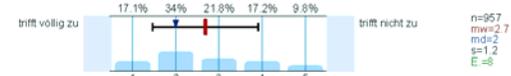
Die Vorlesung hat eine klar erkennbare Struktur.



Die Vorlesung kann mit den zur Verfügung gestellten Materialien (Skript, Lehrbuch, Handouts ...) gut nachbereitet werden.



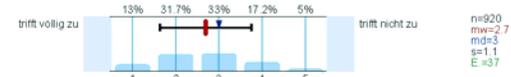
Ich habe das nötige Vorwissen für diese Vorlesung.



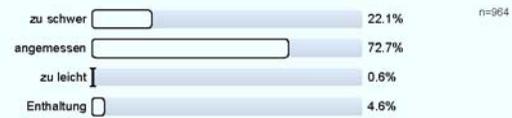
Die ausgewählten Beispiele helfen mir, die Inhalte der Vorlesung zu verstehen.



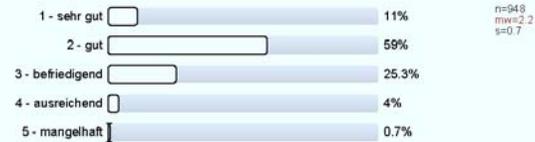
Es werden Zusammenfassungen an sinnvollen Stellen gemacht.



Der Schwierigkeitsgrad ist ...



Ich gebe der Vorlesung die Gesamtnote.



Vermittlung und Verhalten

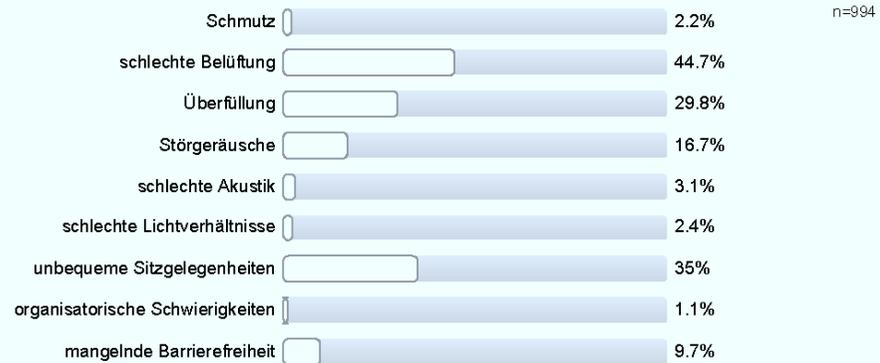
Die Dozentin/der Dozent ...

Rahmenbedingungen

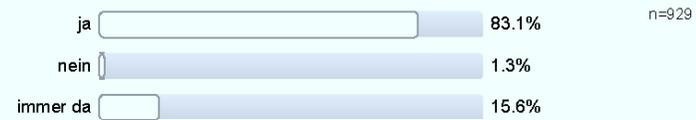
Wie oft hat die Vorlesung an regulären Terminen gar nicht stattgefunden? (Feiertage sind nicht gemeint!)



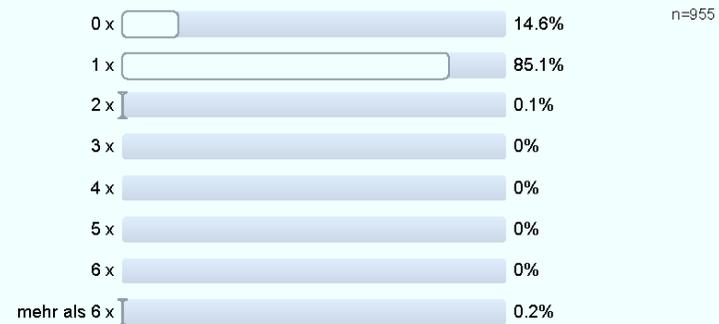
Gibt es äußere Bedingungen, die Sie während oder in Bezug auf die Vorlesung beeinträchtigen?  
(Mehrfachnennungen möglich; Erläuterungen ggf. unter 5.1 eintragen)



Hat sich die Dozentin/der Dozent geeignet vertreten lassen?



Wie häufig wurde die Veranstaltung nicht von der angegebenen Dozentin/dem angegebenen Dozenten gehalten?



Besondere Anregungen / Kritik / Wünsche:

Für Fragen und Anregungen rund um diese Studierendenbefragung <a href="mailto:lehre@rwth-aachen.de">lehre@rwth-aachen.de</a>

Vielen Dank für Ihre Teilnahme an der Befragung!

# Physik (für Maschinenbau)

Lehrveranstaltungsnummer: 11ws-00856  
 Lehrveranstaltungstyp: Vorlesung  
 Erfasste Fragebögen: 994



## Globalwerte

### Globalindikator

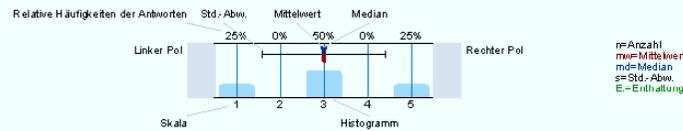
Vermittlung und Verhalten



## Auswertungsteil der geschlossenen Fragen

### Legende

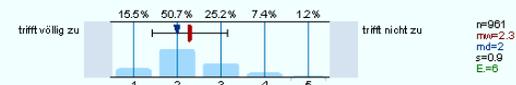
Fragetext



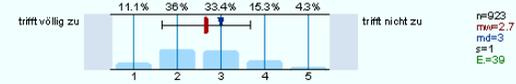
## Vermittlung und Verhalten

Die Dozentin/der Dozent ...

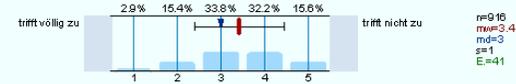
... kann den Stoff verständlich erklären.



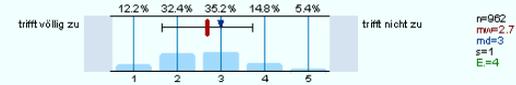
... geht sorgfältig auf Verständnisfragen ein.



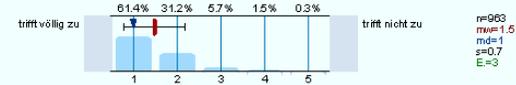
... berücksichtigt unterschiedliche Kenntnisstände der Studierenden.



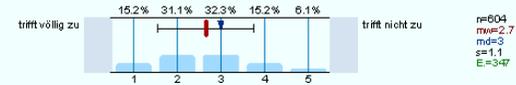
... schafft es, mich für den Vorlesungsstoff zu begeistern.



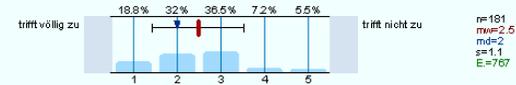
... spricht angemessen laut und deutlich.



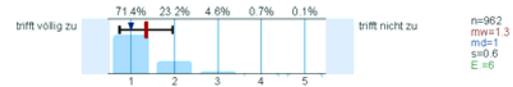
... ist offen für Verbesserungsvorschläge.



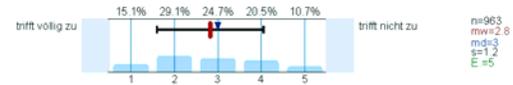
... lässt sich außerhalb der Vorlesung gut ansprechen, z.B. in Sprechstunden oder per Email.



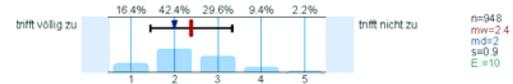
Der Einsatz von Hilfsmitteln wie Wandtafel, Overhead, Beamer und Demonstrationen ist gut.



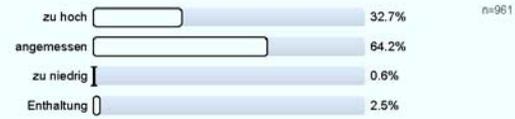
Schrift und Zeichnungen in der Vorlesung sind gut lesbar.



Tafelanschrieb / Folien sind übersichtlich.



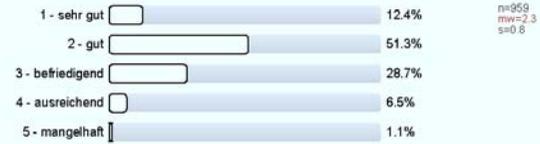
Das Tempo ist ...



Haben Sie den Eindruck, dass Sie in der Vorlesung benachteiligt werden?  
(Bitte Kommentar unter 5.1)

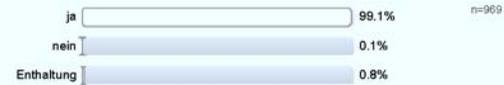


Ich gebe der Dozentin/dem Dozenten die Gesamtnote.

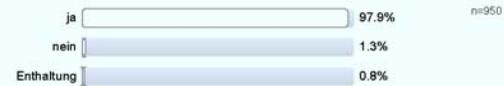


Rahmenbedingungen

Die Vorlesung beginnt in der Regel pünktlich.



Die Vorlesung endet in der Regel pünktlich.



Besondere Anregungen / Kritik / Wünsche:

Für Fragen und Anregungen rund um diese Studierendenbefragung <a href="mailto:lehre@rwth-aachen.de">lehre@rwth-aachen.de</a>

die beste Vorlesungsreihe ♥

Einfach überragend. ♥

Traumhaft ♥♥

Das Skript ist sehr schlecht und die  
Formelsammlung unübersichtlich

- 
- sehr guter Predireinsatz
  - große gute Vorleser
  - leider ist der Unterschied zwischen Übung und Vorlesung sehr groß, d.h. der abgefragte Stoff stimmt meist nicht überein.

positiv: viele anschauliche Versuche

negativ: Die Übung, da

- zu schnell
- zu kompliziert
- zu unendlich geschrieben

Vorlesung ist in Ordnung, aber <sup>der</sup> Stoff ist sehr anspruchsvoll.

Die Übung ist allerdings sehr schlecht ☹

Videoaufzeichnung ist sehr hilfreich.

Gute Veranschaulichungen / Versuche, exzellente Filmqualität. Leider wird die Vorlesung nach einer Woche rausgenommen.  
Darstellung der Schrift, besonders Formelsymbole könnte deutlich besser sein.

Veranstaltung findet nicht überschneidungsfrei mit Organisations und Kommunikationsentwicklungs Labor statt.

Video von Experimenten zu dunkel

Deutlicher schreiben, gilt auch für die Übung!

Die Schrift des Dozenten muss deutlicher lesbarer werden.

sorgfältig und sehr gut vorbereitete  
Experimente erleichtern das Verständnis und  
lockern die Veranstaltung auf → Sehr gut

- Skript ist fehlerhaft
- Schrift unleserlich
- Tempo zu hoch
- keine genauen Erläuterungen
- Schriftbild ist sehr unleserlich
- Tempo zu hoch
- Skript ist fehlerhaft

- Skript ist fehlerhaft
- Schrift unleserlich
- zu hohes Tempo

Manche von den Herleitungen sind zu detailliert, sodass man in der Vorlesung Probleme hat, den Sinn hinter der genauen Herleitung zu verstehen, da man sie sowieso nicht mehr braucht

Da ich nie Physik hatte, habe ich keine Ahnung von dem Stoff. Deswegen würde ich mich freuen wenn der Prof bisschen langsamer die Sache angehen würde

In der Schule haben wir teilweise nicht einmal die Grundlagen in Physik übermittelt bekommen, was es schwer macht, der Vorlesung zu folgen.

VORLESUNGS VIDEOS UND SKRIPT BIETEN  
EINE GUTE MÖGLICHKEIT ALLES NACHZUBEREITEN  
VORLESUNG IST GUT VORBEREITET UND STRUKTURIERT

Medieneinsatz sehr gut.

Manchmal etwas zu schnell beim Beschriften der Folien.

Man kommt nicht immer mit beim Abschreiben.

-Deutlicher schreiben

Der Einsatz von Versuchen ist immer interessant und eine gute Abwechslung.

- zusätzliche Lernangebote für Studenten, ohne besondere Vorkenntnisse in der Physik: Übungen etc.

---

Die Wlan-Router aus der Projektionsfläche entfernen!!!!

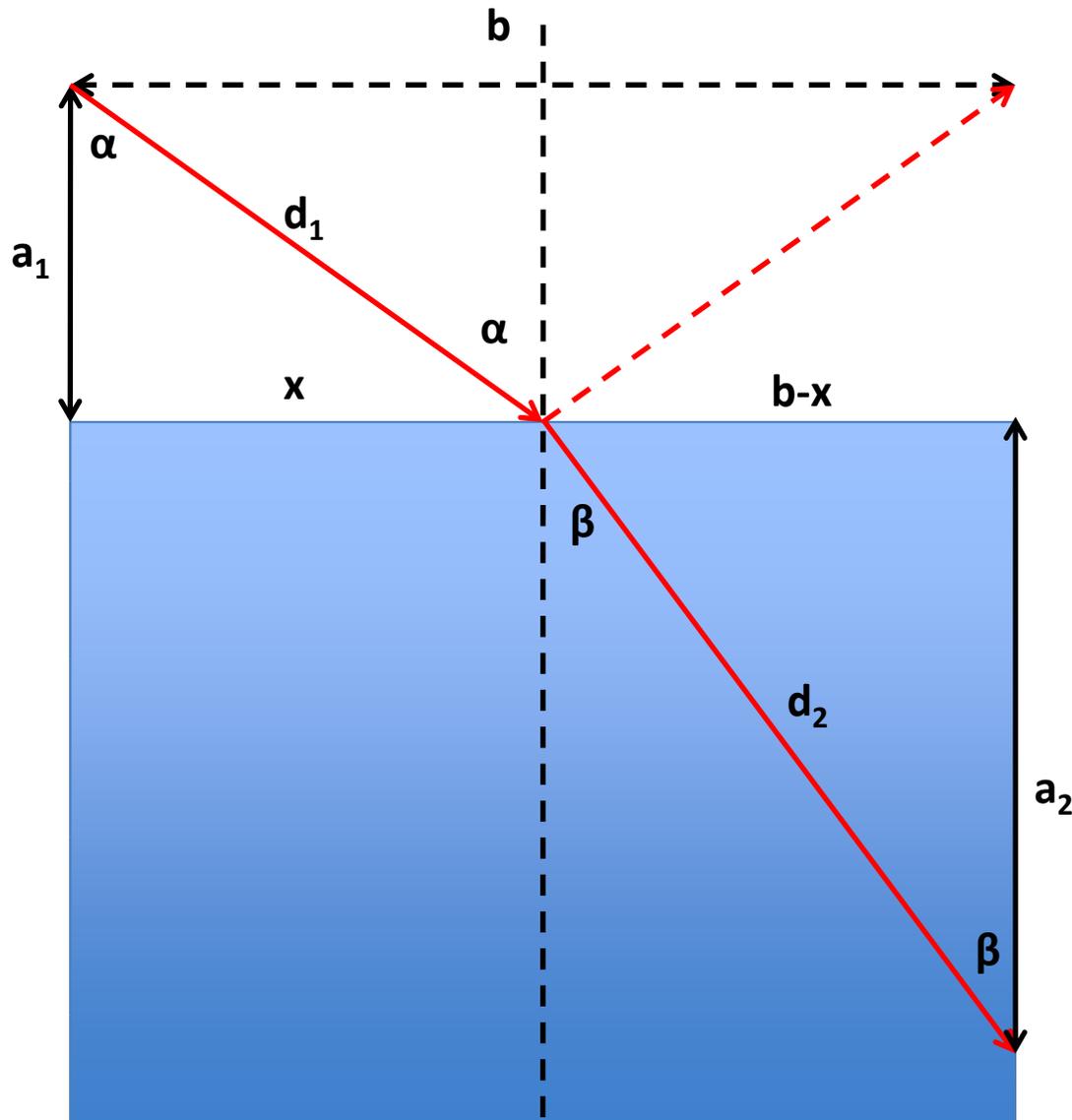
Die Router an der Projektionsfläche  
umhängen!

positiv: viele Versuche

Weiter so Stefan!

---

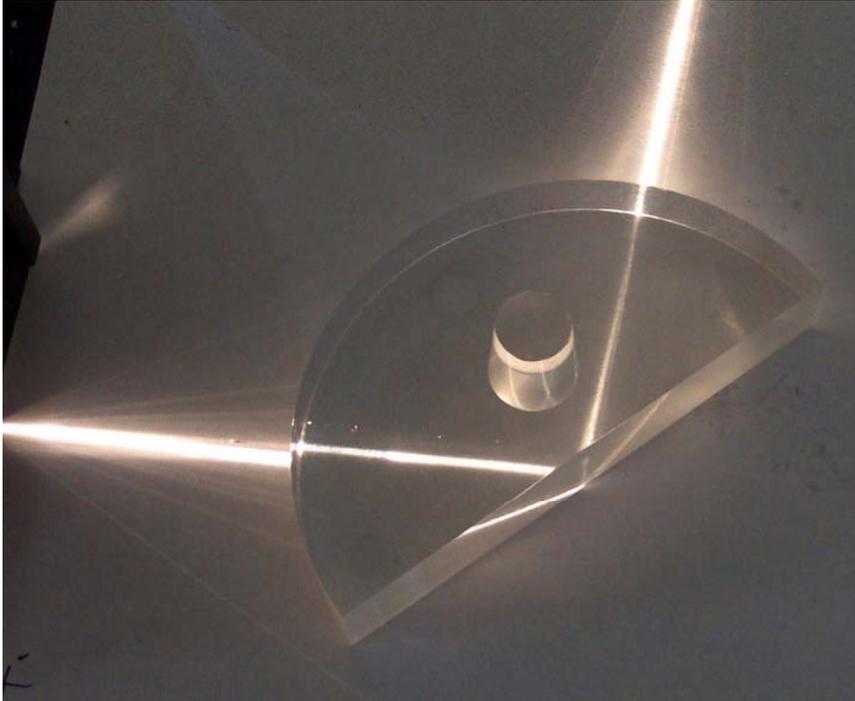
# Brechung



$$n = \frac{c_0}{c_M}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

# Totalreflexion



## Totalreflexion

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\Rightarrow \sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1 \geq 1 \Leftrightarrow \text{Totalreflexion}$$

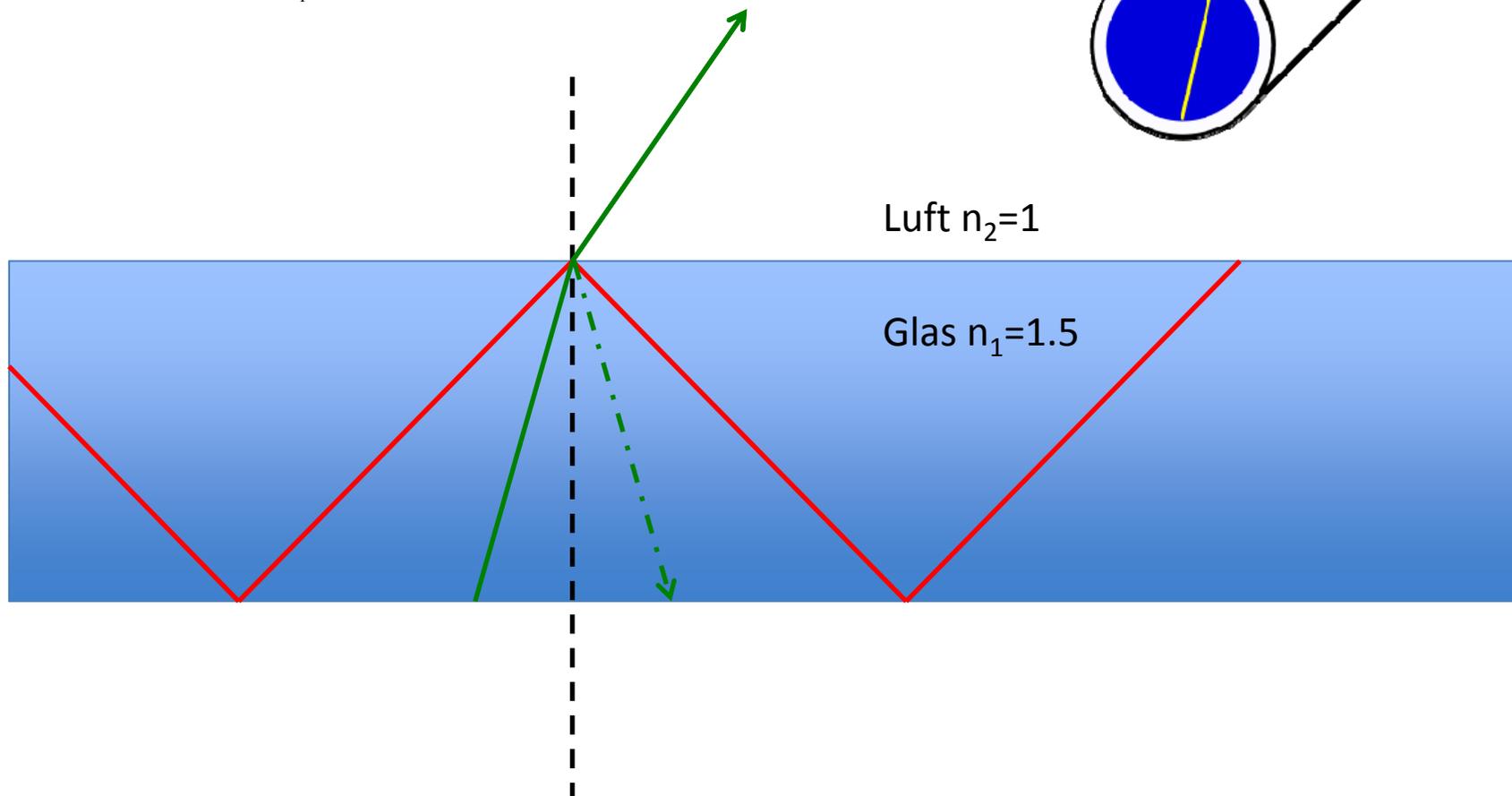
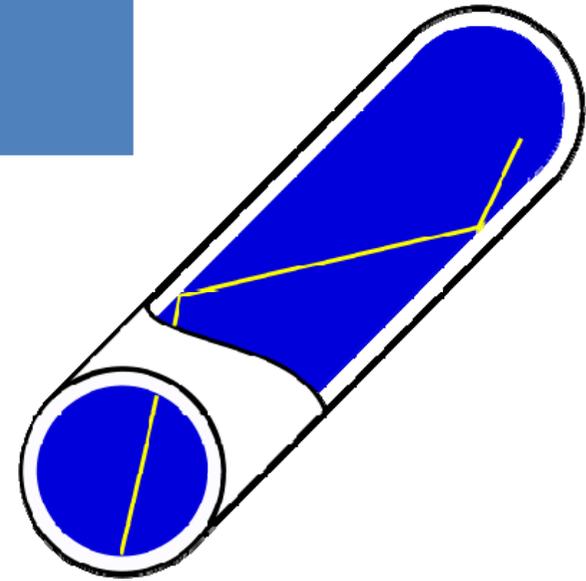
$$\Rightarrow \sin \theta_1 \geq \frac{n_2}{n_1}$$

$$\Rightarrow \theta_1 \geq \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

# Glasfaserkabel

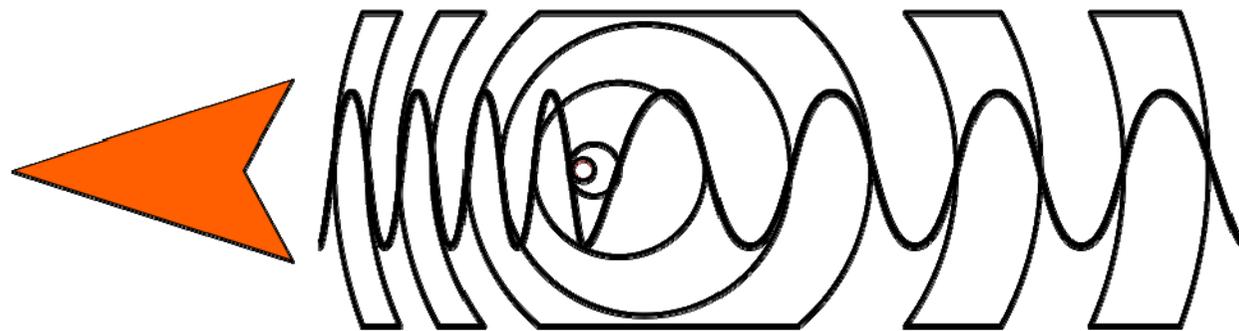
$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \arcsin\left(\frac{1.0}{1.5}\right) = 41,8 \text{ Grad}$$



# Dopplereffekt

Veränderung der Frequenz von Wellen, während sich Quelle und der Beobachter **relativ** zueinander bewegen.



# Dopplereffekt

**Ruhender Beobachter, bewegte Quelle:**

$$f_B = f_Q \frac{1}{1 \mp \frac{v_Q}{c_{Luft}}}$$

**-: Quelle bewegt sich auf Beobachter zu,  
Frequenz wird höher**

**+: Quelle entfernt sich vom Beobachter,  
Frequenz wird kleiner**



# Dopplereffekt

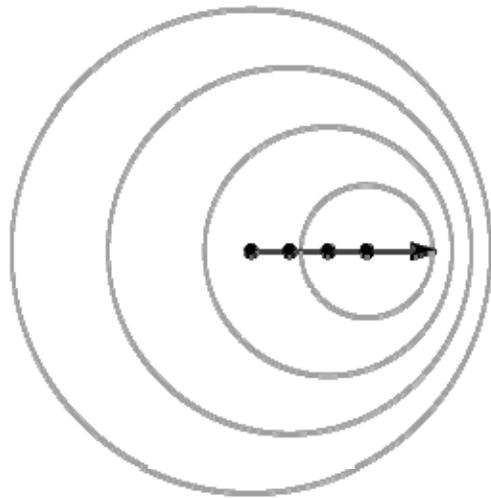
**Bewegter Beobachter, ruhende Quelle:**

$$f_{\mathbf{B}} = f_{\mathbf{Q}} \cdot (1 \pm v/c)$$

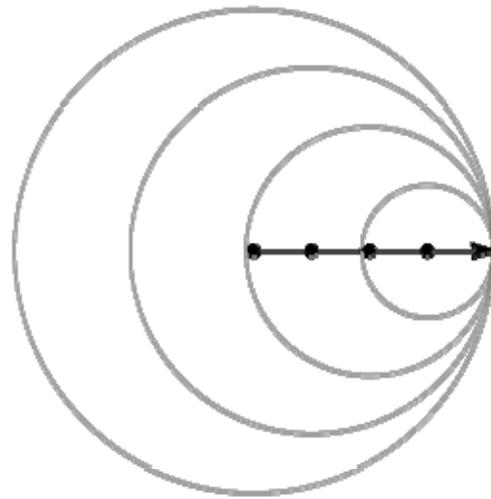
**-: Beobachter entfernt sich von Quelle,  
Frequenz wird niedriger**

**+: Beobachter nähert sich der Quelle,  
Frequenz wird höher**

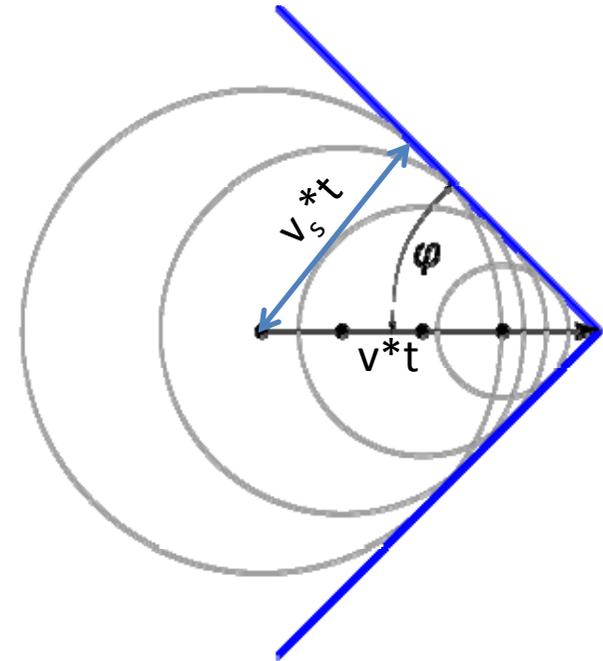
# Mach-Kegel



$$v < v_s$$

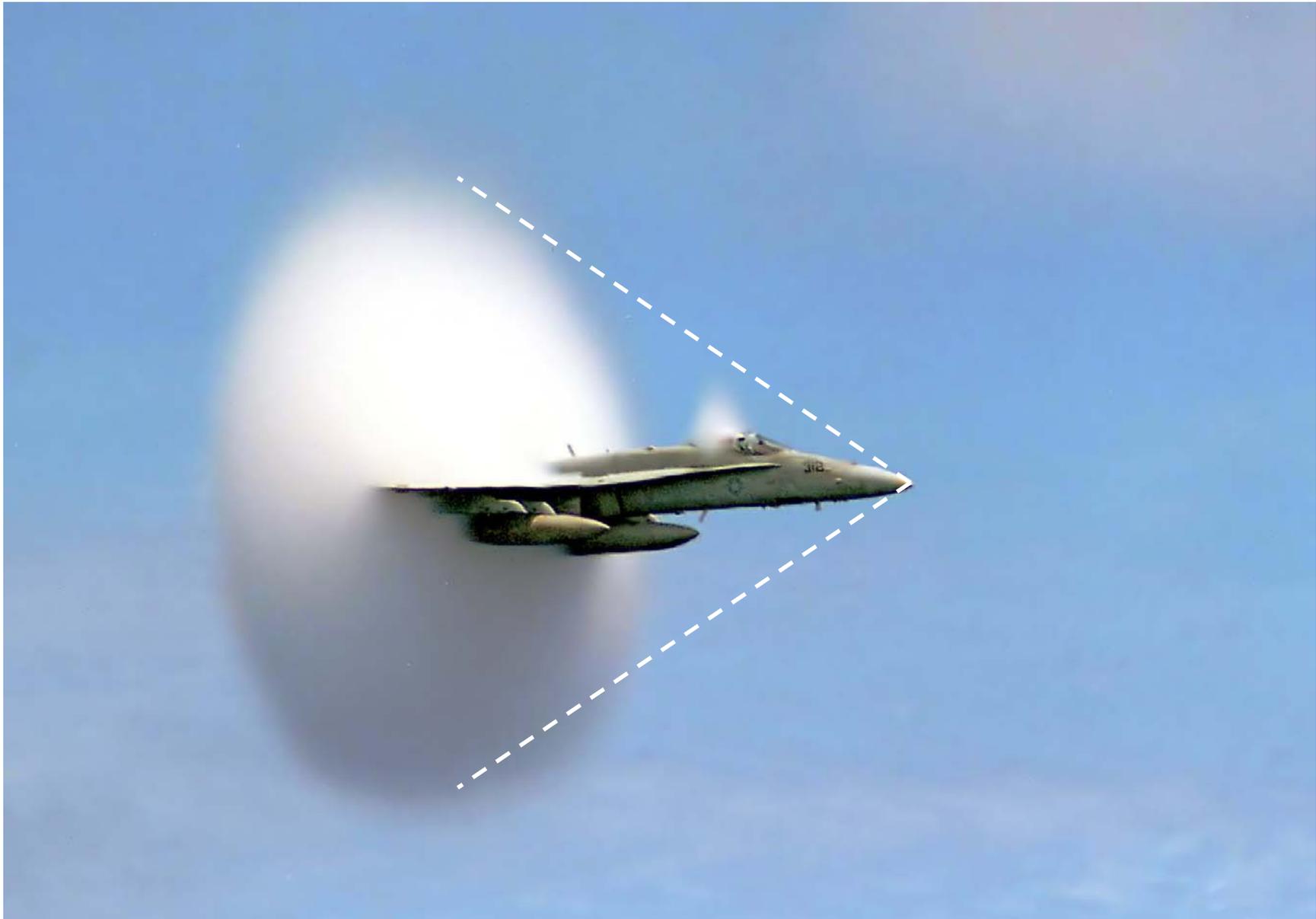


$$v = v_s$$

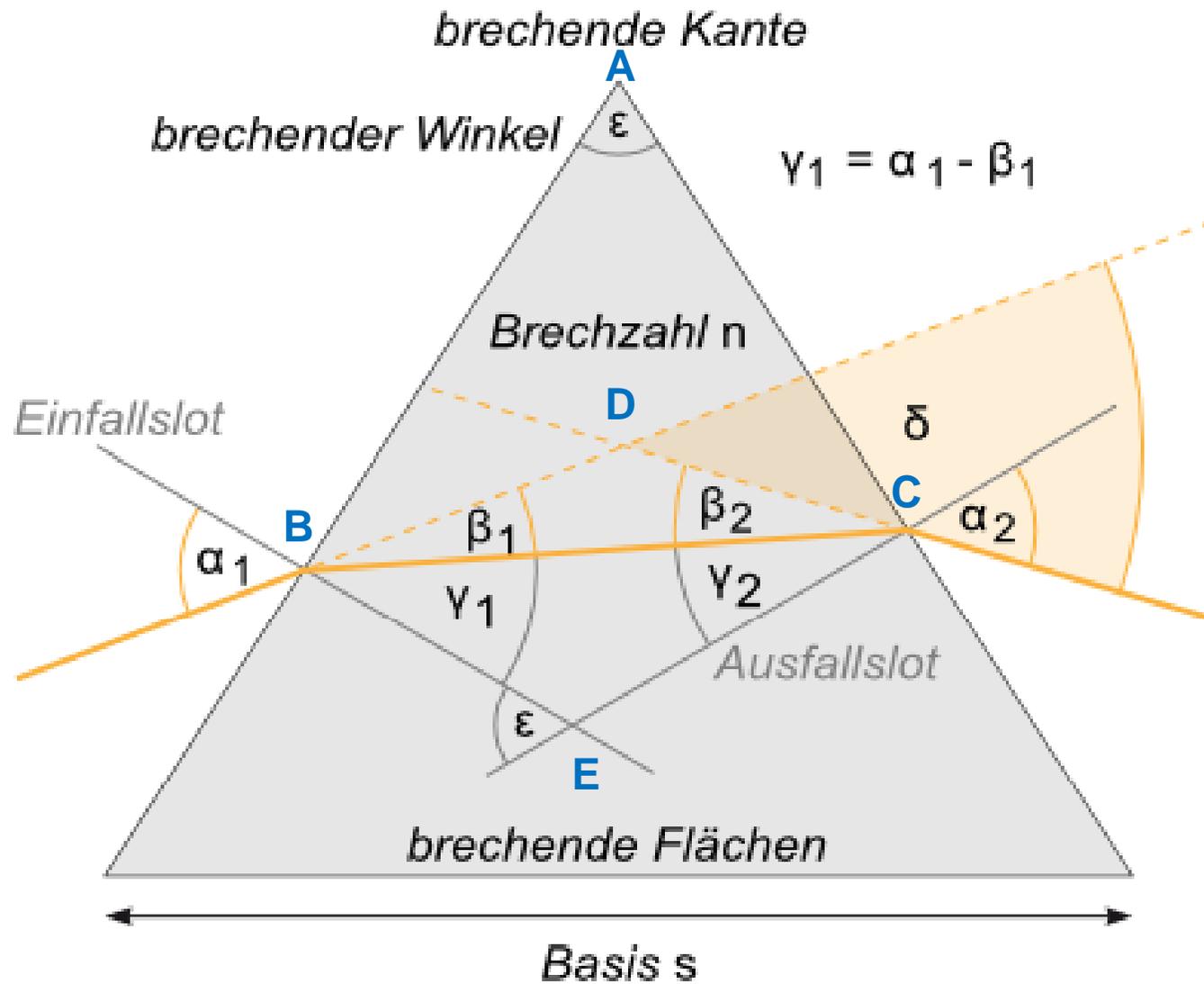


$$v > v_s$$

# Mach-Kegel

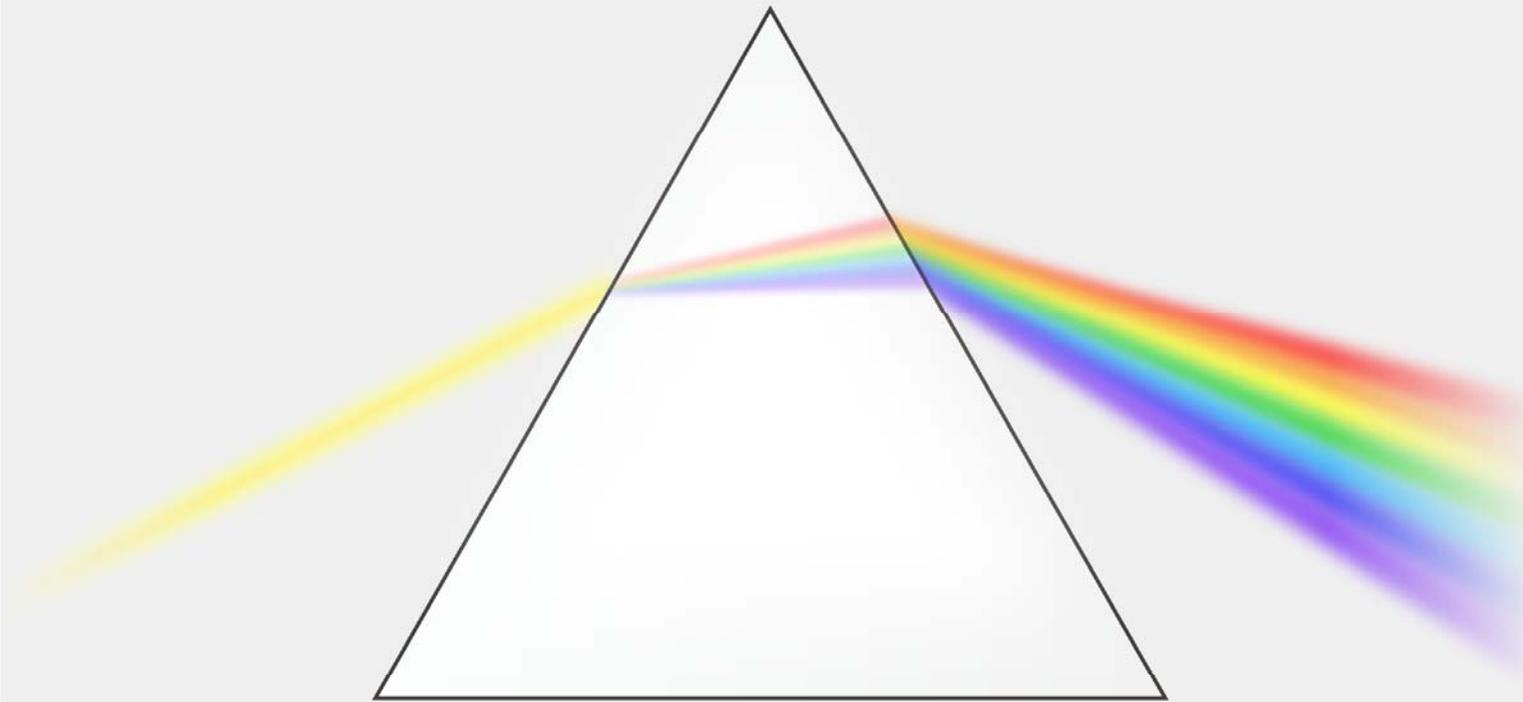


# Prisma

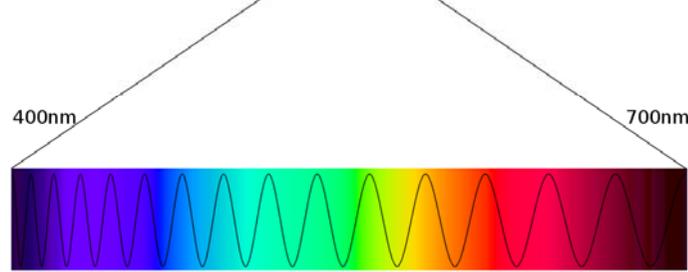
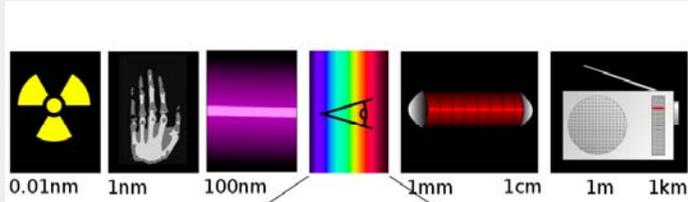




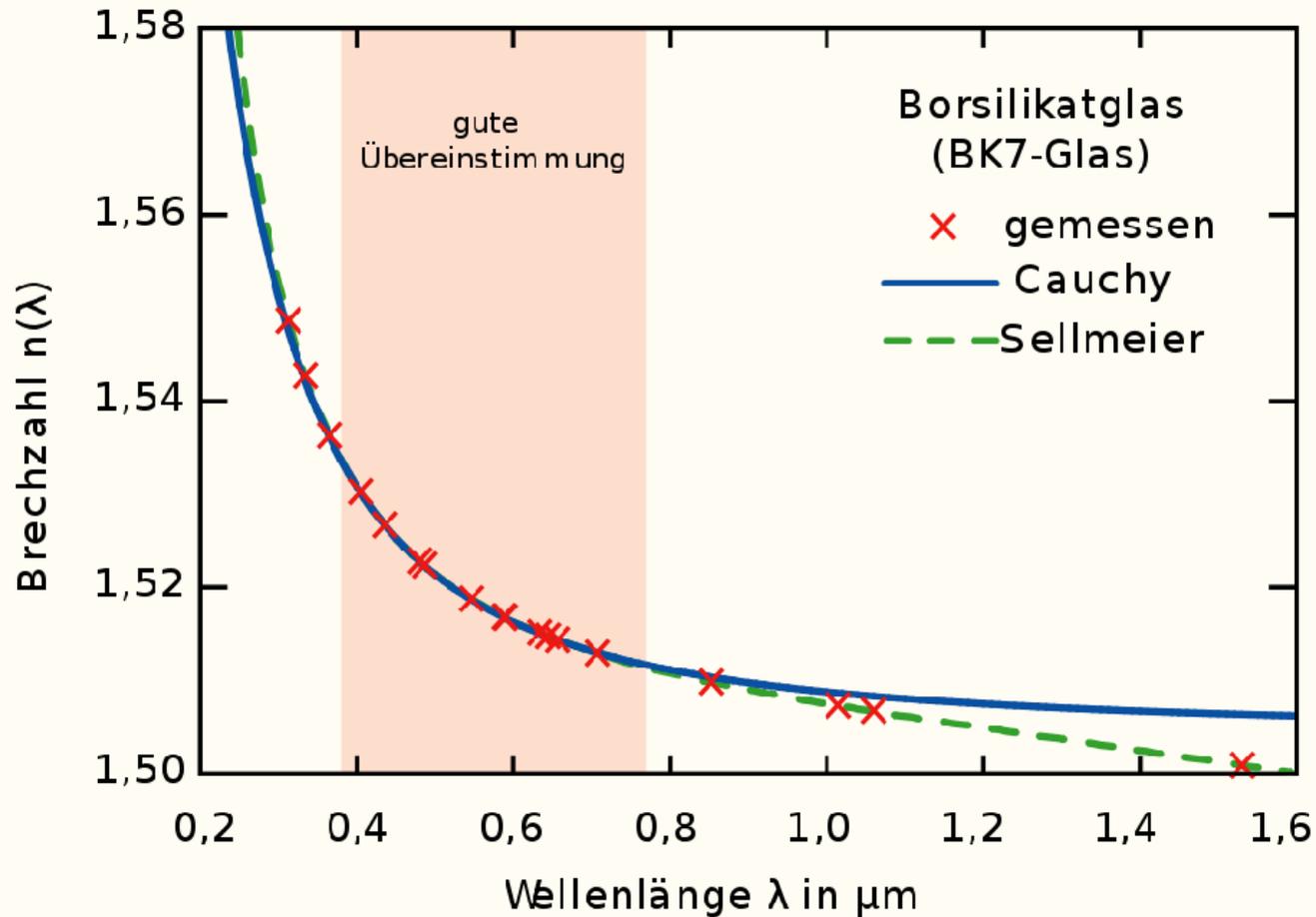
# Prisma



Farbe	Wellenlänge in nm
rot	≈ 790–630
orange	≈ 630–580
gelb	≈ 580–560
grün	≈ 560–480
blau	≈ 480–420
violett	≈ 420–390



# Dispersion



$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

Cauchy-Parameter im sichtbaren Spektralbereich für ausgewählte

Materialien

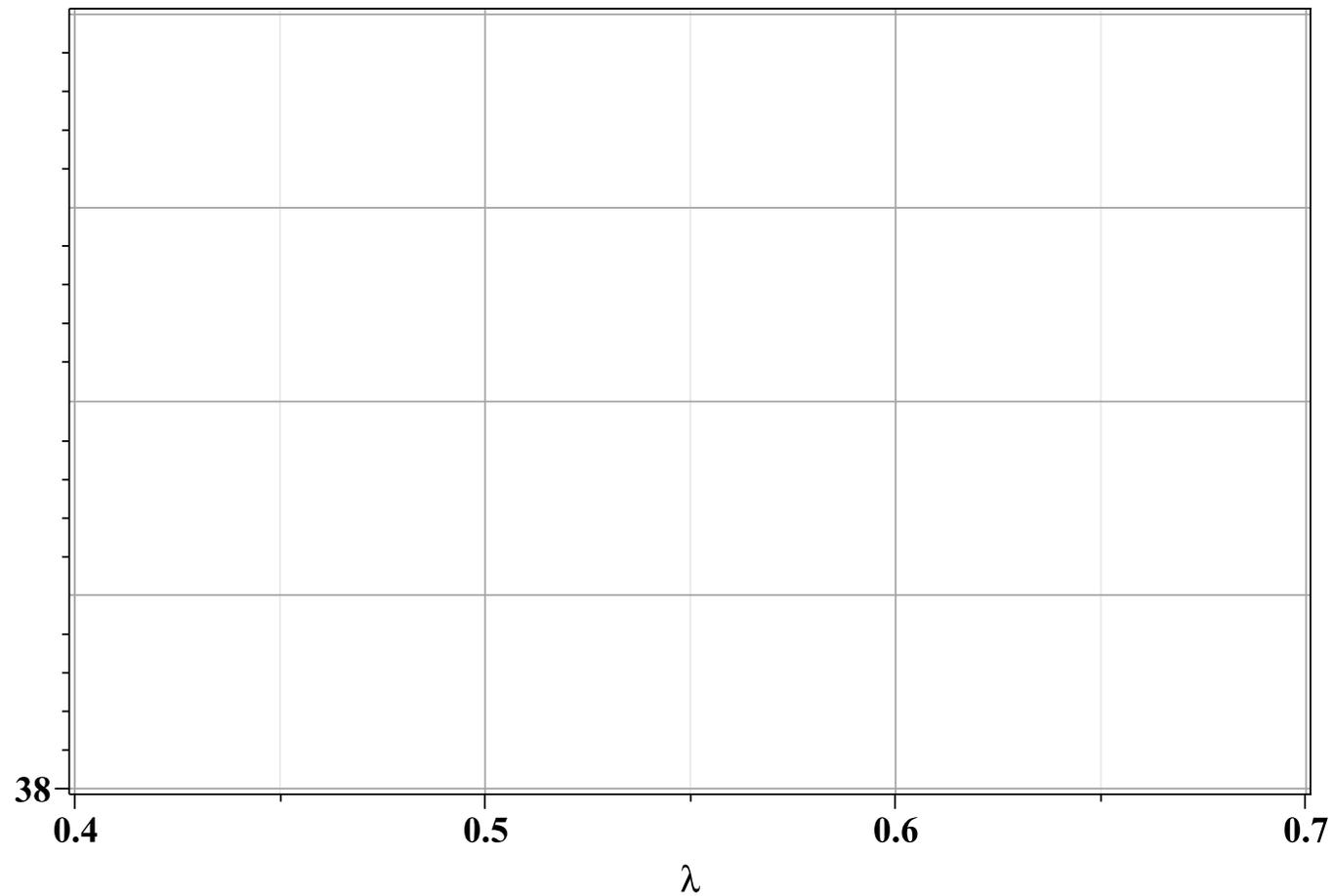
Material	A	B in $\mu\text{m}^2$
Quarzglas	1,4580	0,00354
Borsilikatglas (BK7)	1,5046	0,00420
Kronglas (K5)	1,5220	0,00459
Barium-Kronglas (BaK4)	1,5690	0,00531
Barium-Flintglas (BaF10)	1,6700	0,00743
dichtes Flintglas (SF10)	1,7280	0,01342

$$\delta_{\min} = 2 \cdot \arcsin \left[ n(\lambda) \cdot \sin \frac{\varepsilon}{2} \right] - \varepsilon$$

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

$$\Rightarrow \delta_{\min}(\lambda) = 2 \cdot \arcsin \left[ \left( A + \frac{B}{\lambda^2} \right) \cdot \sin \frac{\varepsilon}{2} \right] - \varepsilon$$

Für  $\varepsilon=60^\circ$  und Borsilikatglas d.h.  $A=1.5046$  und  $B=0.00420 \mu\text{m}^2$  ergibt sich:



# Lichterzeugung, Lichtquellen: Wärmestrahlung

Jeder Körper **emittiert** elektromagnetische Strahlung  
(Grund: thermische Bewegung seiner atomaren Bausteine)  
→ Temperaturstrahlung ← Energie aus Wärmeinhalt des Körpers;  
Strahlungsintensität und spektrale Verteilung abhängig von Temperatur  
und Beschaffenheit des Körpers.

Jeder Körper **absorbiert** aus der Umgebung einfallende Strahlung  
→ Temperatúrausgleich zwischen Körper und Umgebung,  
Strahlungsgleichgewicht (auch im Vakuum)

## **Kirchhoff'sches Gesetz (1860):**

*„Für alle Körper ist bei gegebener Temperatur das Verhältnis von  
spezifischer Ausstrahlung und Absorptionsgrad konstant.“*

Ein Körper kann nur solche Wellenlängen aussenden, die er bei gleicher  
Temperatur auch zu absorbieren vermag und umgekehrt.

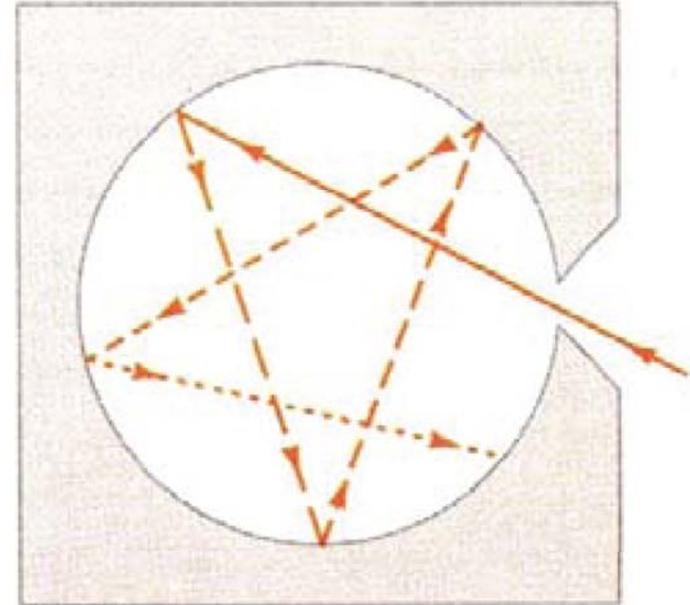
# Lichtquellen: Wärmestrahlung

## Schwarzer Körper:

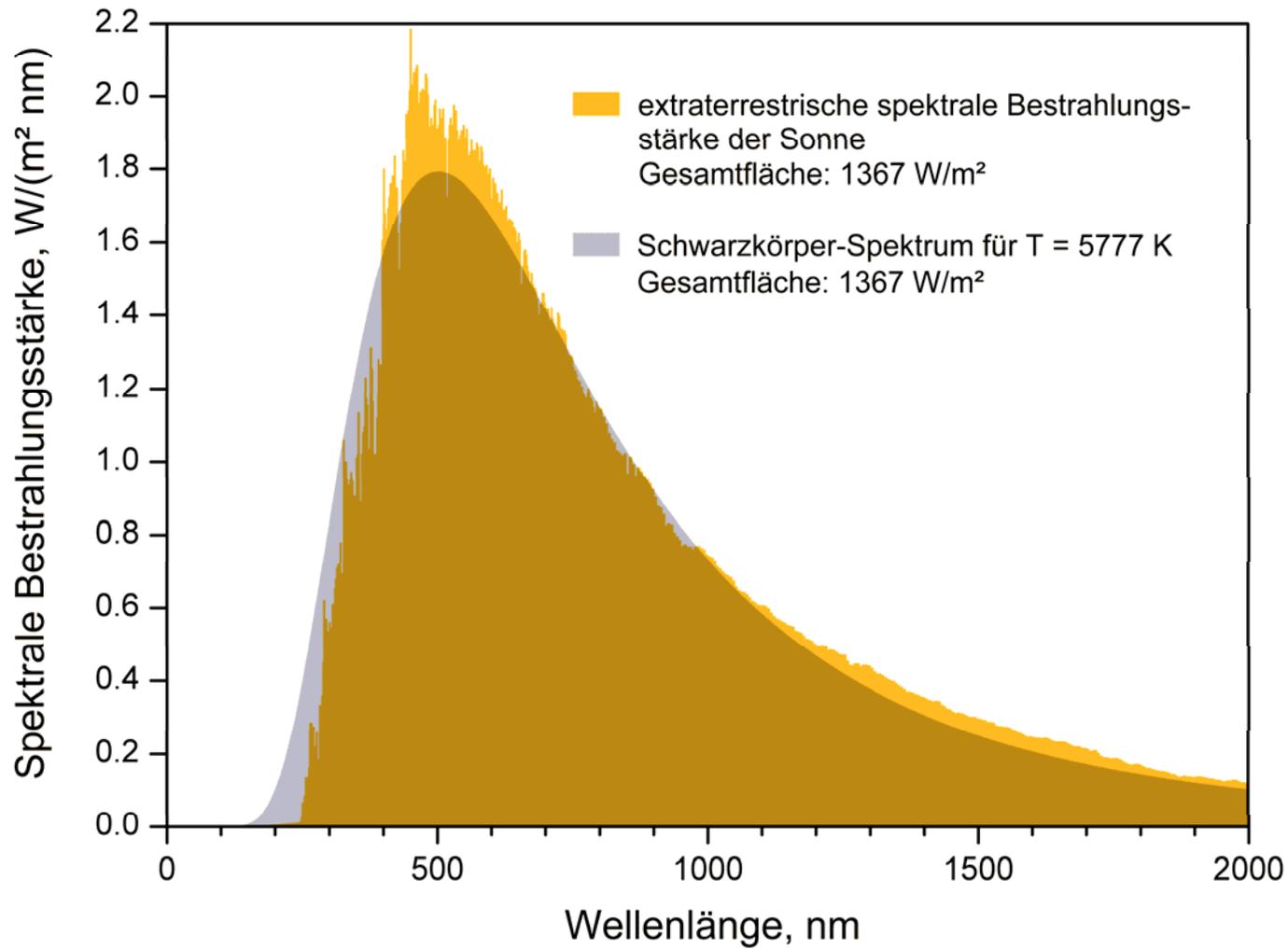
Absorbiert einfallende Strahlung vollständig bei jeder Temperatur, unabhängig von der Wellenlänge (Absorptionsgrad  $\rightarrow 1$ ).

Realisierung (in guter Näherung):  
Hohlkörper mit kleiner Öffnung,  
Reflektion und Absorption der von außen eintretenden Strahlung im Inneren,  
Hohlkörper überall auf gleicher Temperatur  $T$ ,  
 $\rightarrow$  homogen und isotrop mit Strahlung erfüllt,  
identisch mit der eines schwarzen Körpers bei Temperatur  $T$

$\rightarrow$  Hohlraumstrahlung



# Wärmestrahlung



# Lichtquellen: Wärmestrahlung

Raleigh-Jeans Strahlungsgesetz:

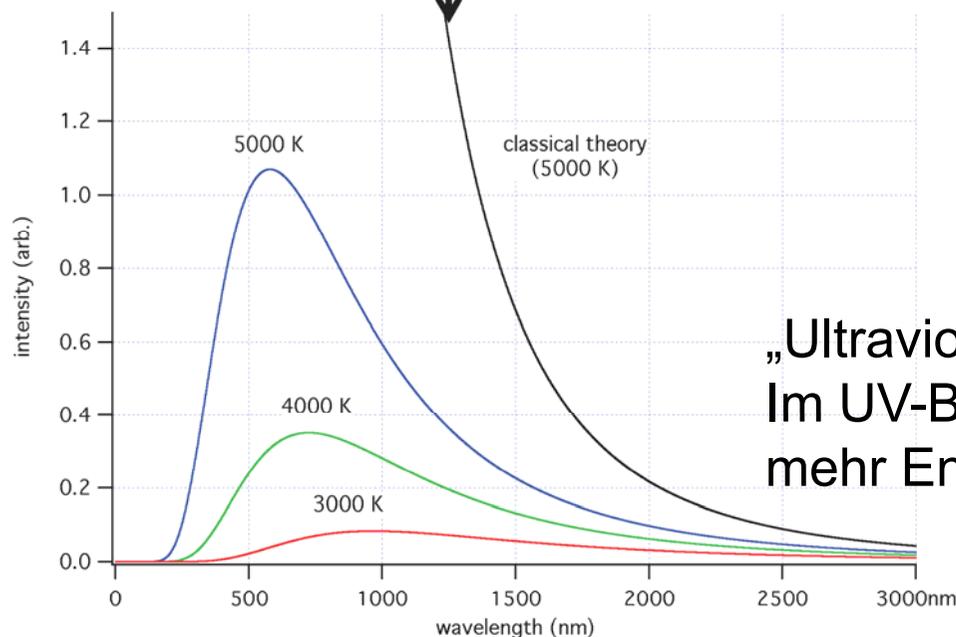
$$\frac{dI}{d\lambda}(\lambda, T) = \frac{8\pi k_B T}{\lambda^4}$$

T ist die Temperatur des schwarzen Körpers

$k_B = 1,3806504 \cdot 10^{-23} J / K$  ist die Boltzmann-Konstante.

Klassische Annahme:

Jedes Teilchen kann jede beliebige Energie annehmen, d.h. die Energie von harmonischen Oszillatoren oder von stehenden EM-Wellen ist kontinuierlich verteilt



„Ultraviolettkatastrophe“  
Im UV-Bereich müsste Sonne  
mehr Energie abstrahlen

# Wärmestrahlung

Planck'sches Postulat:

Jeder harmonische Oszillator, (auch EM-Wellen), kann nur diskrete und quantisierte Energien annehmen. Nur diese Energiewerte sind erlaubt. Zwischen den einzelnen Energieniveaus gibt es einen konstanten Abstand:  $\Delta E = h \cdot \nu$

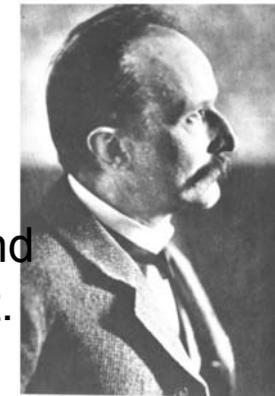
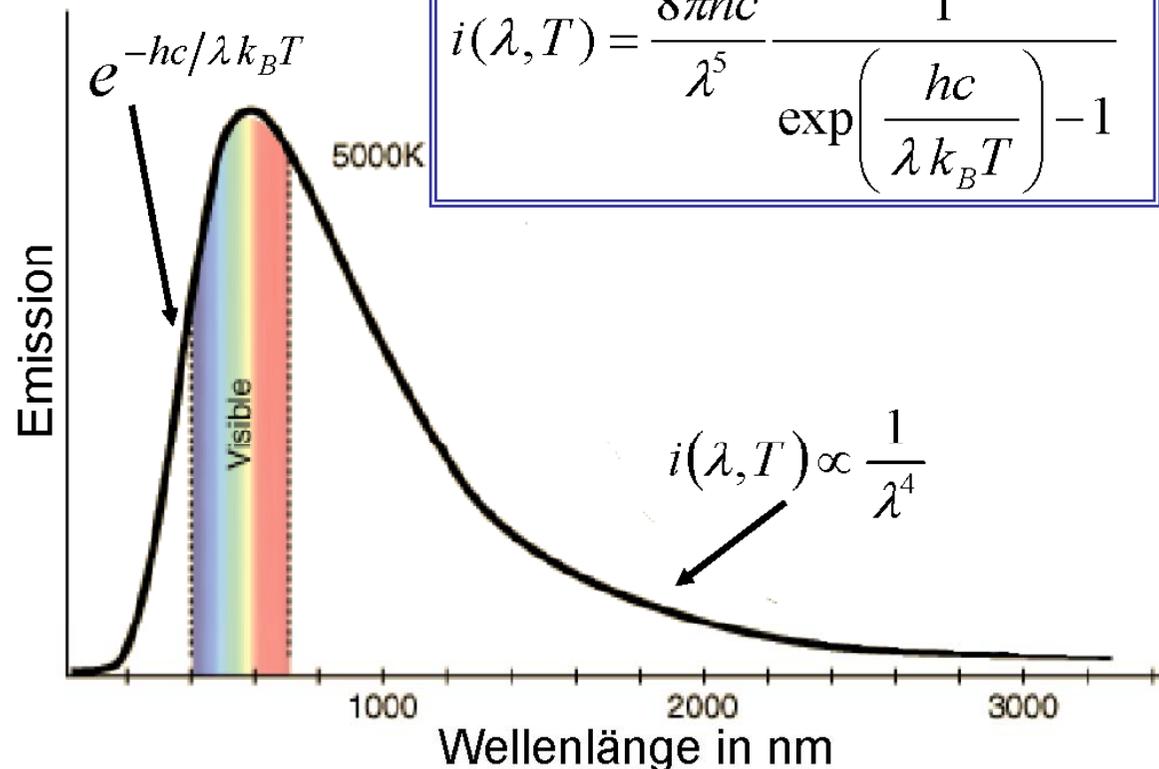
Energieniveau des Oszillators auf dem n-ten Niveau ist dann  $E_n = nh\nu$

Planck'sches Strahlungsgesetz:

$$i(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1}$$

Energie der Photonen

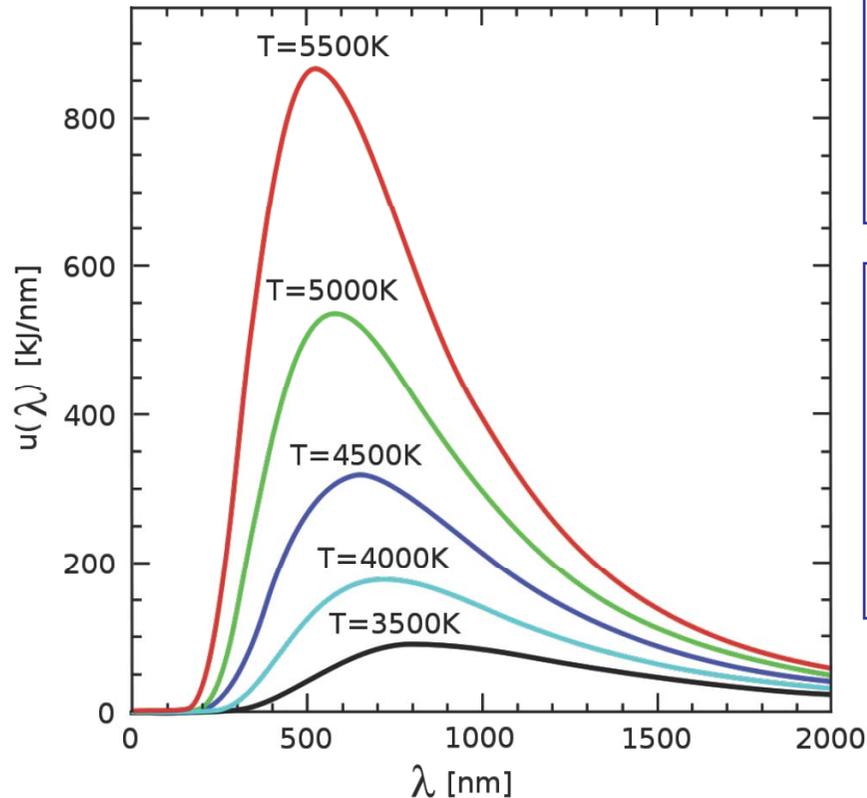
$$E = h\nu = \hbar\omega$$



Max Planck  
1858 - 1947

# Wärmestrahlung

$$\frac{dI}{d\lambda}(\lambda) = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{c_2/\lambda T} - 1}$$



Beispiele:

- 1) Schwarzer Körper ( $\epsilon=1$ ), Oberfläche  $A = 1 \text{ m}^2$  strahlt bei  $T = 500 \text{ K}$  ( $227^\circ\text{C}$ ) eine Leistung  $P = A \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \approx 3600 \text{ W}$  ab ( $P$ : Energie/sec).
- 2) Sonne ( $\epsilon \approx 1$ ):  $r = 6,96 \cdot 10^8 \text{ m} \Rightarrow$  Sonnenoberfläche  $A = 4\pi r^2 = 6,09 \cdot 10^{18} \text{ m}^2$   
 $T \approx 5780 \text{ K} \Rightarrow P = A \cdot I = A \cdot \sigma T^4 = 3,87 \cdot 10^{26} \text{ W}$

Wien'sches Verschiebungsgesetz:  
Wellenlänge maximaler Strahlungsleistung verschiebt sich bei Temperaturänderung umgekehrt proportional:

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$$

Stefan – Boltzmann Gesetz:

Integration von  $dI/d\lambda \rightarrow I = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$   
gesamt abgestrahlte Intensität eines Körpers mit Fläche  $A$ , absoluter Temperatur  $T$  und Emissivität  $\epsilon$ ,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^4)$

Körper schwarz

$$\rightarrow \epsilon = 1$$

Körper verspiegelt

$$\rightarrow \epsilon = 0$$

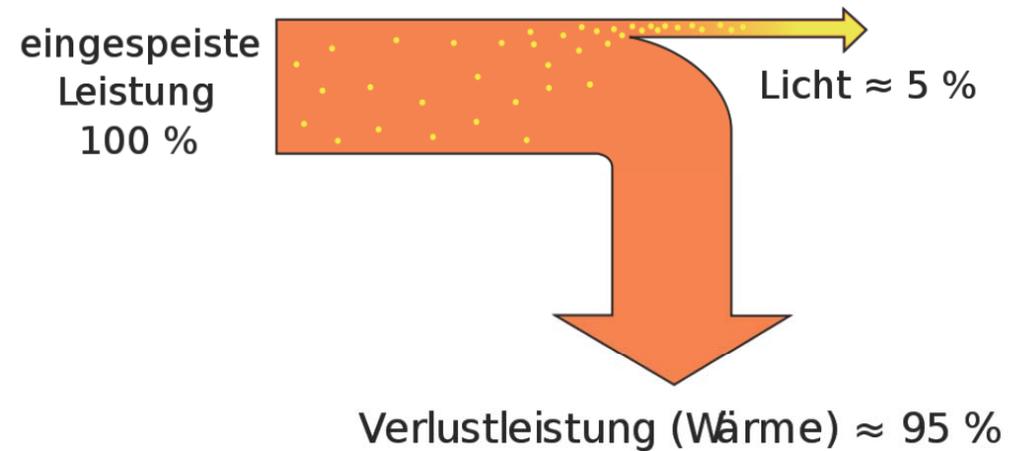
ansonsten  $0 < \epsilon < 1$

**Versuch:**  
**Leslie-Würfel,**  
**Lichtmühle**

# Wärmestrahlung



Glühfaden aus Wolfram  
( $T = 2000 - 3000 \text{ K}$ ), Schutzgas ( $\text{N}_2/\text{Ar}$  - Gemisch),  
Lebensdauer ca. 1000h



$$n = P_{\text{Nutzen}} / P_{\text{Aufwand}} \approx 5 \%$$

Versuch: Spektrum Glühlampe

# Lichterzeugung: Spektrallampen

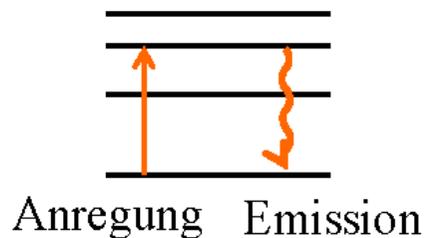
## Lumineszenz:

optische Strahlung eines physikalischen Systems, die beim Übergang von einem angeregten Zustand zum Grundzustand entsteht .

**Spektrallampen** strahlen kein kontinuierliches, sondern diskretes Linienspektrum ab, Elektronen der Atome haben charakteristische Energien  $E_n$

Energie einfallender Photonen  $E_{\text{Licht}} = h \cdot \nu \rightarrow$  absorbiert von Elektronen, Übergang von einem Energiezustand  $E_n$  in Zustand  $E_m$ , dabei Energieerhaltung:  $E_m - E_n = E_{\text{Licht}} = h \cdot \nu$

**Umgekehrt Emission:** Bei Rückfall vom Energiezustand  $E_m$  nach  $E_n$  Abstrahlung eines Photons mit Frequenz  $\nu = (E_m - E_n) / h$



# Lichterzeugung: Spektrallampen

## Technische Umsetzung (z.B. Hg-Lampe):

Elektronenstrom durch Gas

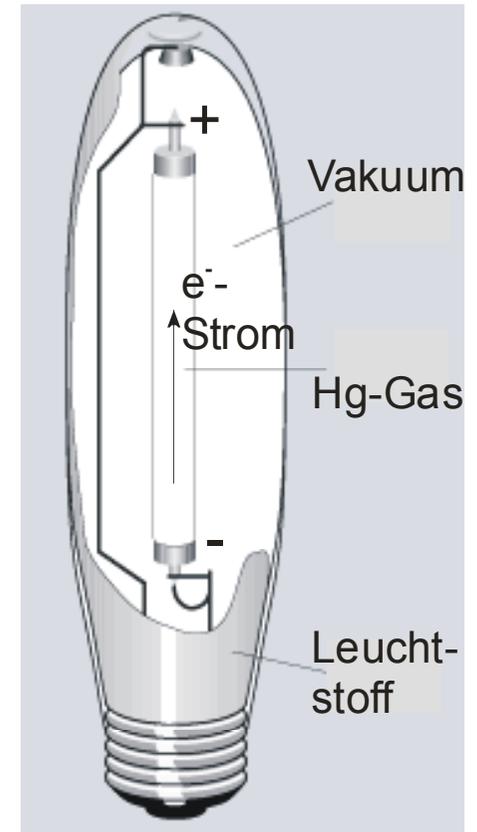
→ Anregung durch Stöße mit Elektronen der Gas-Atome

→ Abstrahlung der zugeführten elektrischen Leistung  
durch Licht mit Frequenz  $\nu = (E_m - E_n) / h$

hoher Wirkungsgrad, aber Teil des Lichts im nicht sichtbaren  
UV-Bereich

→ Umwandlung vom UV-Licht in sichtbares Licht durch  
Leuchtstoff auf Innenseite des Glaskolbens

→ Abstrahlung von ca. 25% der zugeführten Leistung durch  
sichtbares Licht, z.B. Energiesparlampen, Lebensdauer ca. 10000h

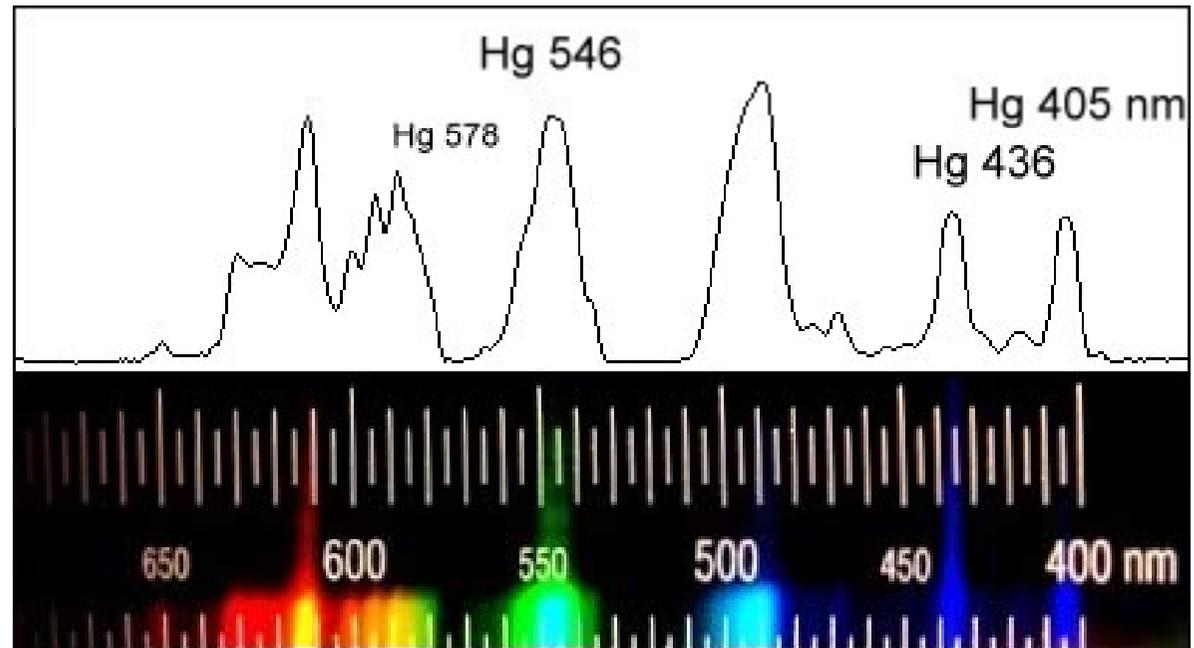


**Versuch: Modell Gasentladungslampe**

# Lichterzeugung: Spektrallampen



## Versuch: Spektrum Energiesparlampe

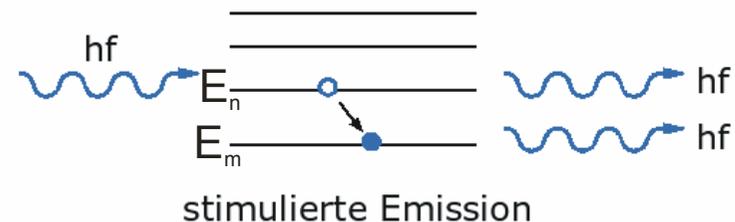


# Lichterzeugung: Laser

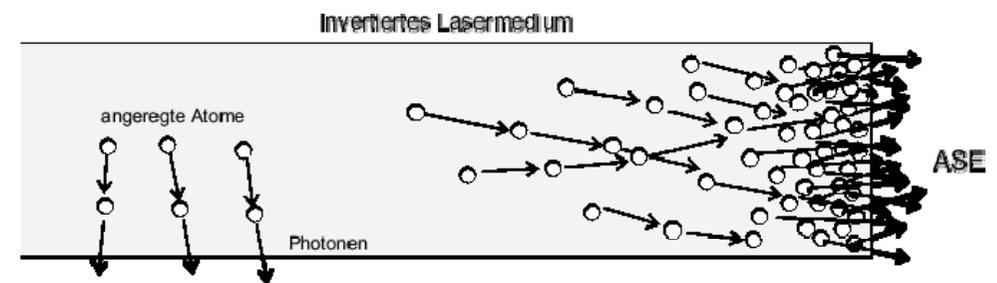
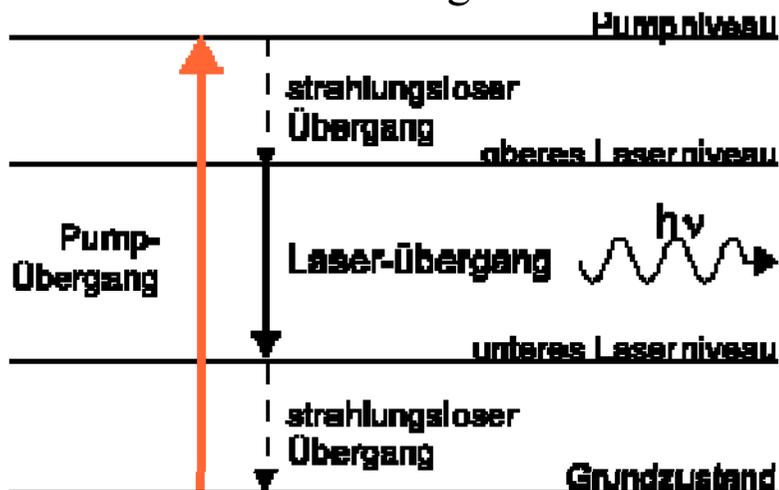
(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

Erneut: Elektron kann im Atom verschiedene Energiezustände  $E_n$  und  $E_m$  ( $E_n > E_m$ ) besetzen, Licht mit passender Frequenz  $\nu = (E_m - E_n) / h$  trifft Elektron  $\rightarrow$  2 Möglichkeiten:

1. Elektron im Zustand  $E_m$ , Absorption des Photons
2. Elektron im Zustand  $E_n$ , Emission eines Photons  
 $\rightarrow$  stimulierte Emission



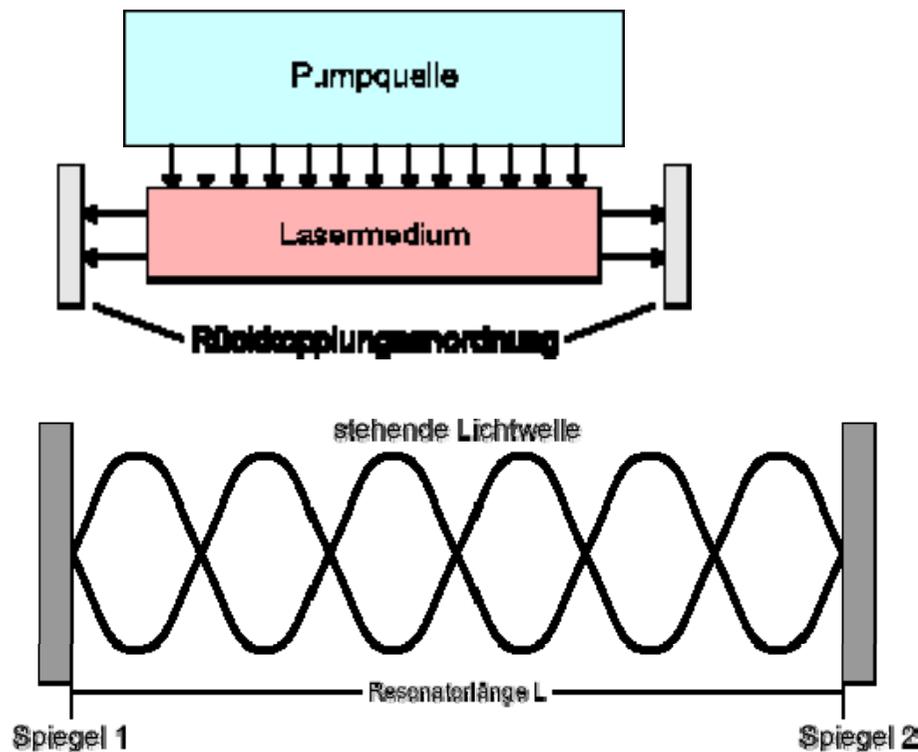
Pumpen: z.B. Stöße von He-Atomen mit Ne-Atomen  $\rightarrow$  Besetzungsinversion  $\rightarrow$  spontane Emission in alle Richtungen



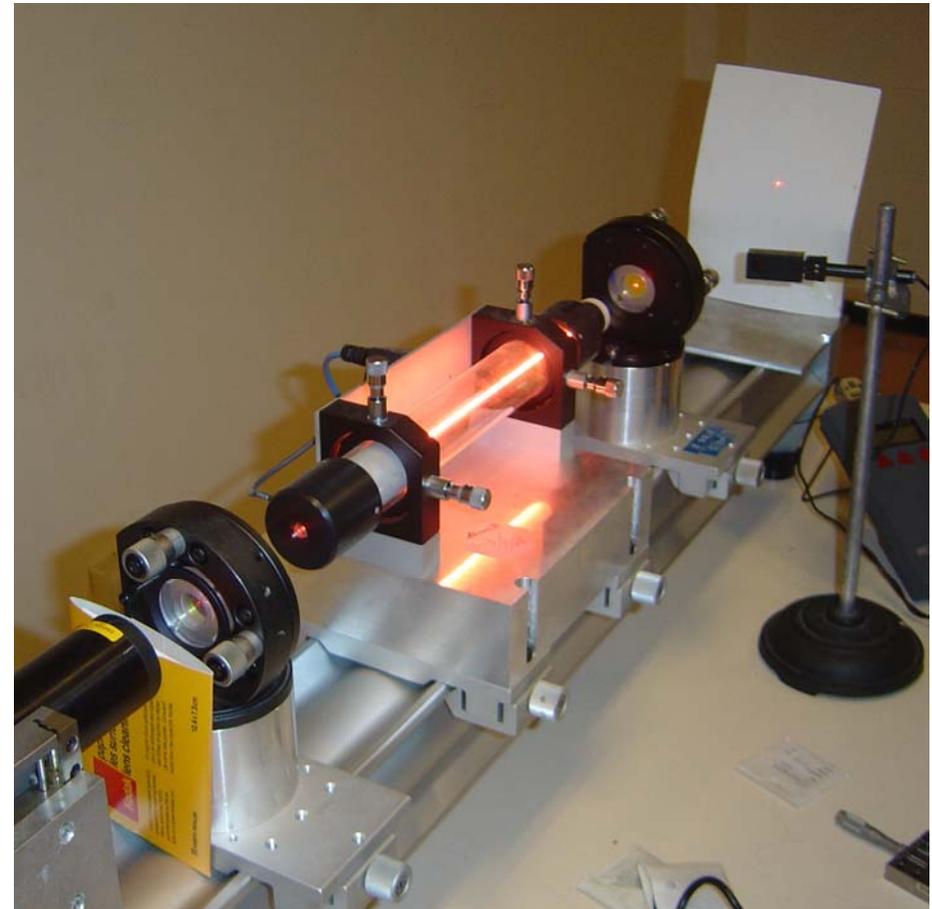
# Lichterzeugung: Laser

(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

Pumpen: z.B. Stöße von He-Atomen mit Ne-Atomen → Besetzungsinversion → spontane Emission in alle Richtungen



Stehende EM-Welle zwischen Spiegeln,  
Abstand L zwischen Spiegeln:  $L = n\lambda$



**Versuch: Modell Laser**

# Lichterzeugung: Laser

(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

Vorteile Laser:

- Extrem hohe Leistungsdichte und Fokussierbarkeit → Laserschweißen
- Extrem hochmonochromatisch → Spektroskopie
- Kohärente Strahlung → Interferenz  
Beugung

