

# Infrarotmesstechnik

## 0. Einführung

*PD Dr.-Ing. habil. Helmut Budzier*

Institut für Festkörperelektronik

Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

Technische Universität Dresden



# Gliederung

## **0. Einführung**

1. Grundlagen
2. Infrarotsensoren
3. IR-Messsysteme
4. Allgemeine Anwendungen
5. Gasanalyse
6. Spektroskopie

## Inhalt:

- 0.1 Einleitung
- 0.2 Infraroter Spektralbereich
- 0.3 Strahlungsgrößen
- 0.4 Thermische Strahler
- 0.5 Infrarotsensor/-kamera
- 0.6 Anwendungen
- 0.7 Historisches

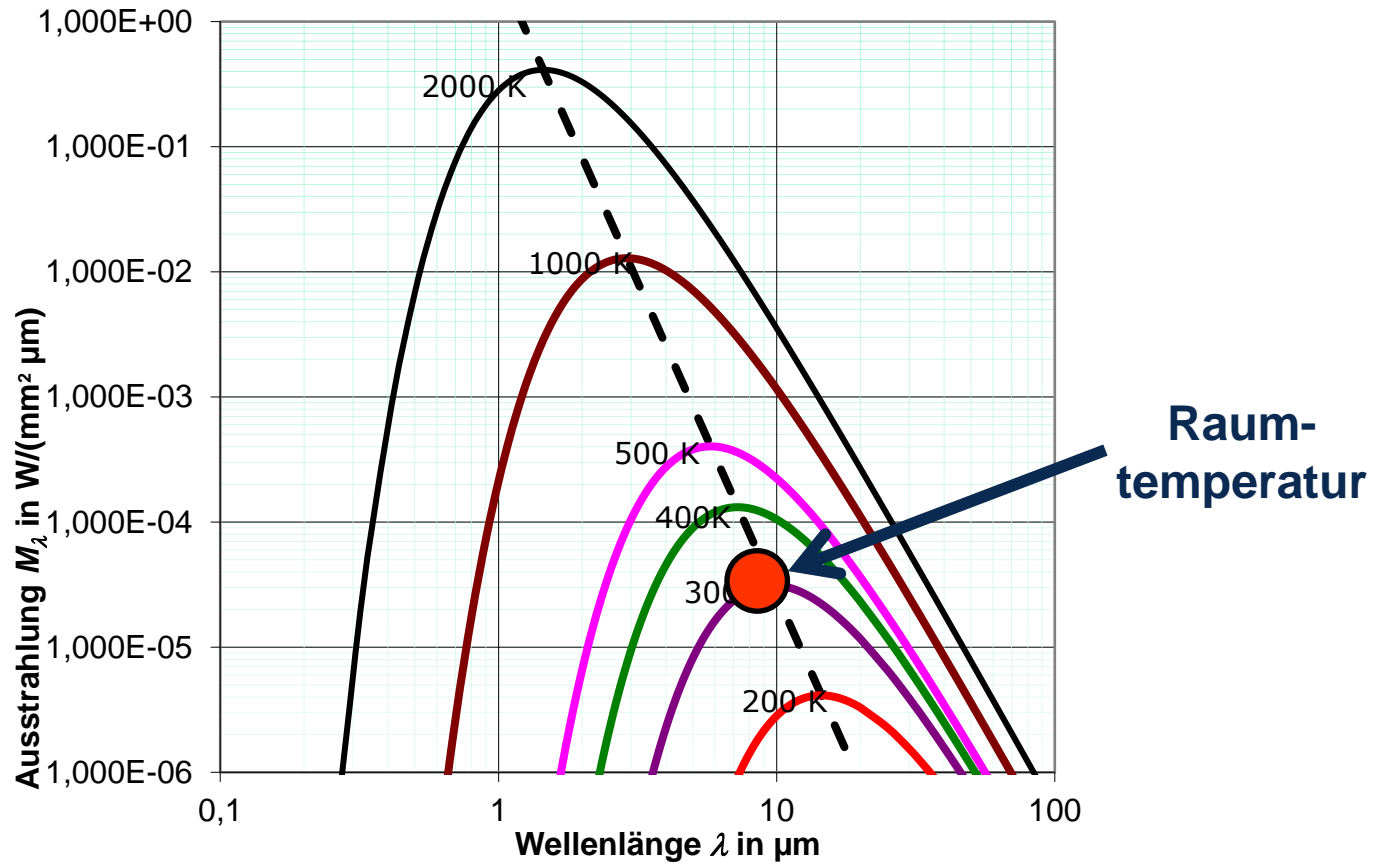
## 0.1 Einleitung

Jedes Objekt mit  $T > 0$  sendet gemäß dem PLANCKSchen Strahlungsgesetz Strahlung aus!

Infrarot-Strahlung = „natürliche“ Strahlung eines Körpers

→ Messung der Oberflächentemperatur

## PLANCKSches Strahlungsgesetz



## 0.2 Infraroter Spektralbereich

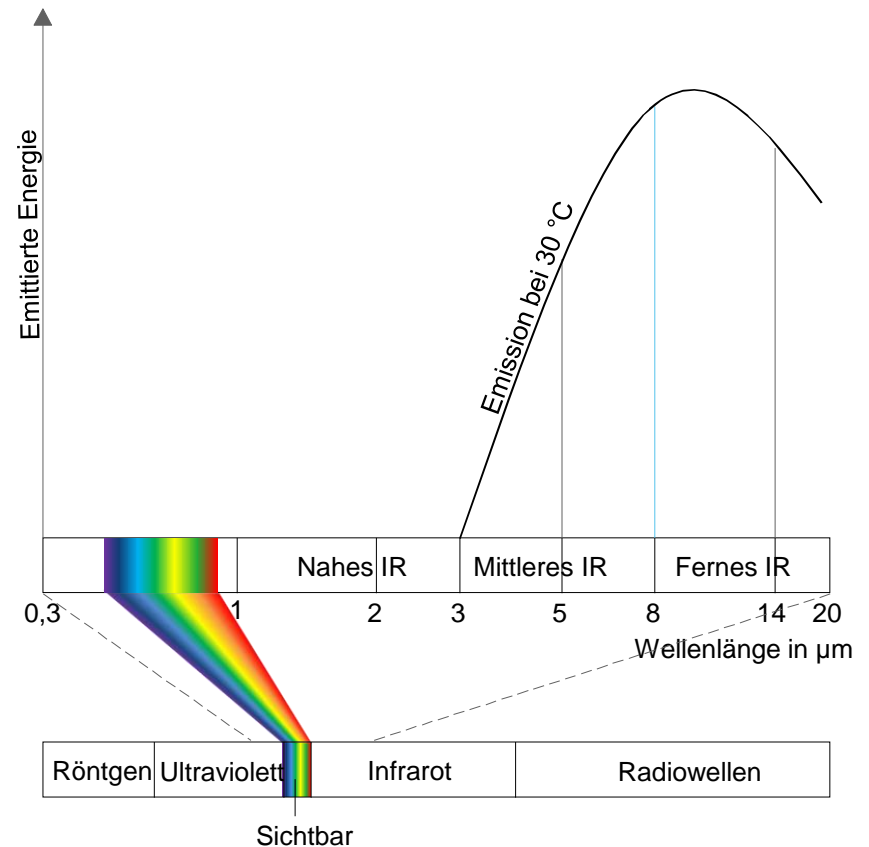
VIS (visible)	(0,38... 0,78) $\mu\text{m}$	
NIR (near IR)	(0,78... 1,5) $\mu\text{m}$	} (0,78 ... 1000) $\mu\text{m}$
MIR (mid IR)	(1,5 ... 6,0) $\mu\text{m}$	
FIR (far IR)	(6,0 ... 40) $\mu\text{m}$	
UFIR (ultra far IR)	(40 ... 1000) $\mu\text{m}$	

Nach DIN 5031:

NIR	IR-A	0,78 ... 1,4 $\mu\text{m}$
	IR-B	1,4 $\mu\text{m}$ ... 3,0 $\mu\text{m}$
MIR		3 ... 50 $\mu\text{m}$
FIR		50 ... 1000 $\mu\text{m}$

US-amerikanisch:

NIR	0,78 ... 1,4 $\mu\text{m}$
SWIR	1,4 ... 3,0 $\mu\text{m}$
MWIR	3,0 ... 8,0 $\mu\text{m}$
LWIR	8,0 ... 15 $\mu\text{m}$



# Infraroter Spektralbereich

Wellenlänge  $\lambda$        $[\lambda] = 1 \mu\text{m}$

Wellenzahl             $[\sigma] = 1 \text{ cm}^{-1}$

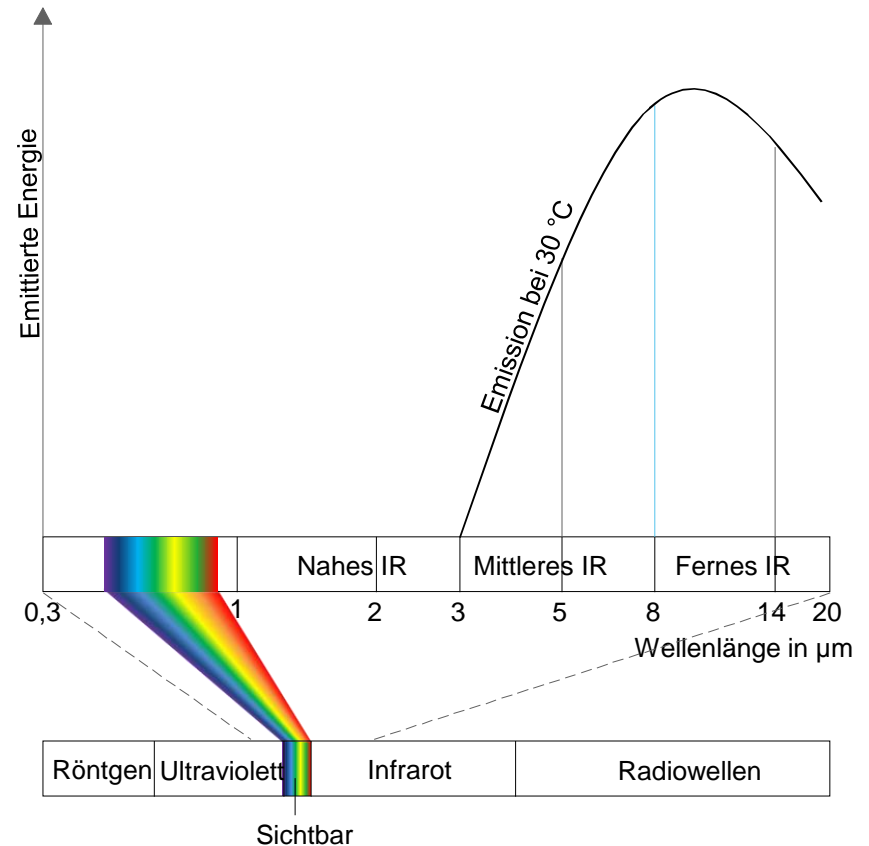
Frequenz               $[\nu] = 1 \text{ s}^{-1} = 1 \text{ Hz}$

Photonenenergie     $[E] = 1 \text{ eV}$

	NIR	<->	UFIR
$\lambda =$	0,78 $\mu\text{m}$	...	1000 $\mu\text{m}$
$\sigma =$	12 000 $\text{cm}^{-1}$	...	10 $\text{cm}^{-1}$
$\nu =$	$3,85 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$	...	$3 \cdot 10^{11} \text{ Hz}$
	385 THz	...	300 GHz
$E =$	1,6 eV	...	$1,24 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$

$$c = \nu \lambda$$

$$E = h\nu = hc/\lambda$$



## Atmosphärische Fenster

### Atmosphärische Fenster

I.  $\lambda \leq 2,8 \mu\text{m}$

Strahlung sehr heißer Quellen, Sonnenreflexionen

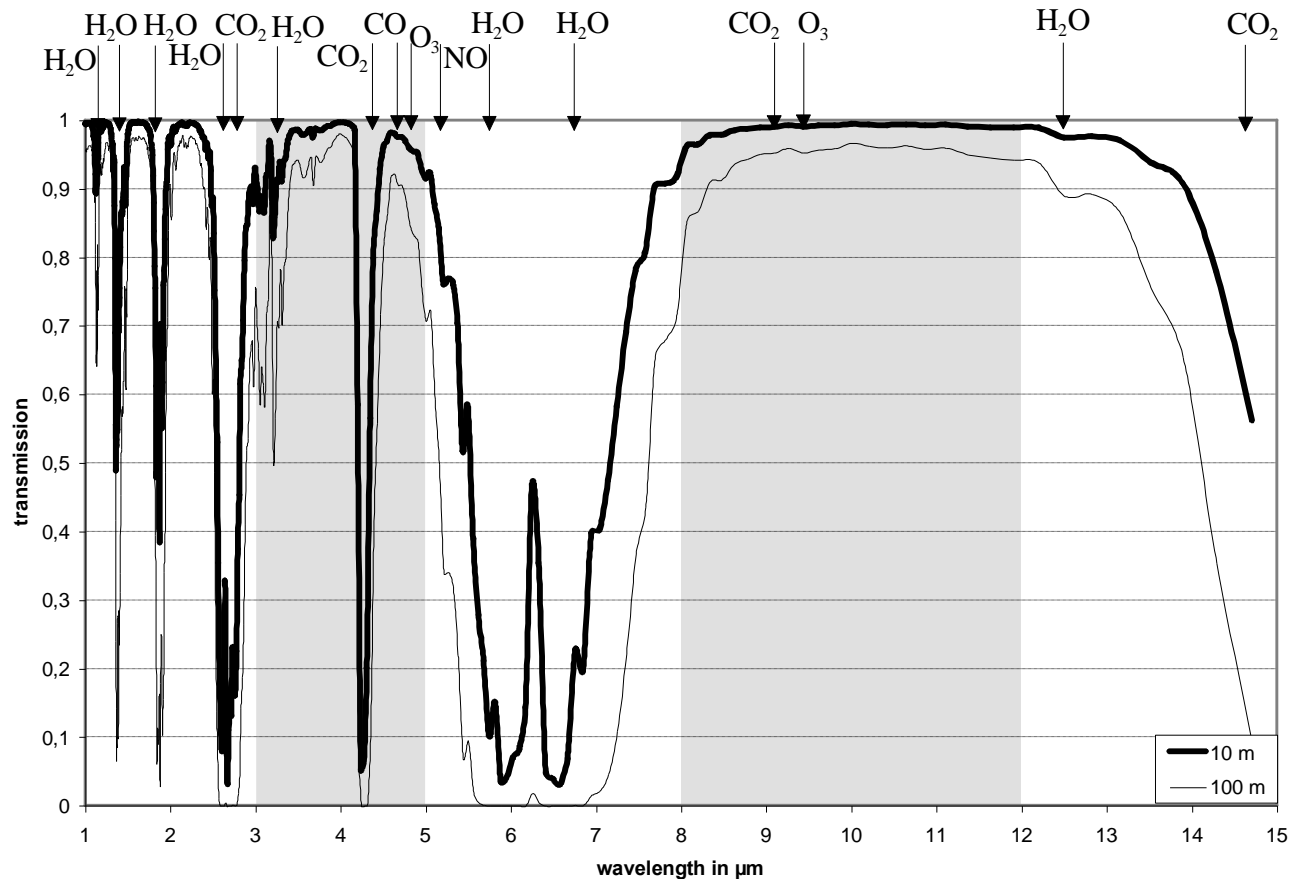
II.  $3 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 5 \mu\text{m}$

Emission heißer Körper, Verbrennungsgase

III.  $8 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 14 \mu\text{m}$

Emission von Körpern bei Raumtemperatur

## Atmosphärische Fenster



## 0.3 Strahlungsgrößen

3 Gruppen:

- Strahlungsfeld bezogene Größen
- Senderseitige Größen
- Empfängerseitige Größen

# Strahlungsgrößen

## Strahlungsfeld bezogene Größen:

Strahlungsenergie  $Q$   
radiant energy

$$[Q] = 1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

Strahlungsfluss  $\Phi = dQ/dt$

$$[\Phi] = 1 \text{ W}$$

= durch eine Fläche je Zeiteinheit hindurch tretende Strahlungsenergie  
radiant flux

# Strahlungsgrößen

## Senderseitige Größen:

spezifische Ausstrahlung  $M_S = d\Phi/dA$        $[M] = 1 \text{ Wm}^{-2}$   
= Strahlungsfluss in den Halbraum je Flächeneinheit der  
strahlenden Oberfläche  
radiant exitance

Strahldichte  $L = dM_S/d\Omega$        $[L] = 1 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$   
= Strahlungsfluss je Flächeneinheit und Raumwinkel  
radiance

# Strahlungsgrößen

## Empfängerseitige Größen:

Bestrahlungsstärke  $E = d\Phi/dA$

$$[E] = 1 \text{ Wm}^{-2}$$

= Strahlungsfluss je Flächeneinheit der bestrahlten  
Oberfläche

irradiance

## Anmerkung:

- Strahlungsmessung muss objektiv erfolgen
- radiometrische/strahlungsphysikalische Größen verwenden  
**!keine fotometrische Größen!**
- Vermeidung des Begriffes „Licht“  
(Ausnahme: Laser, Lichtwellenleiter)

## 0.4 Thermische Strahler

### PLANCKsches Strahlungsgesetz

Spektrale spezifische Ausstrahlung eines schwarzen Strahlers:



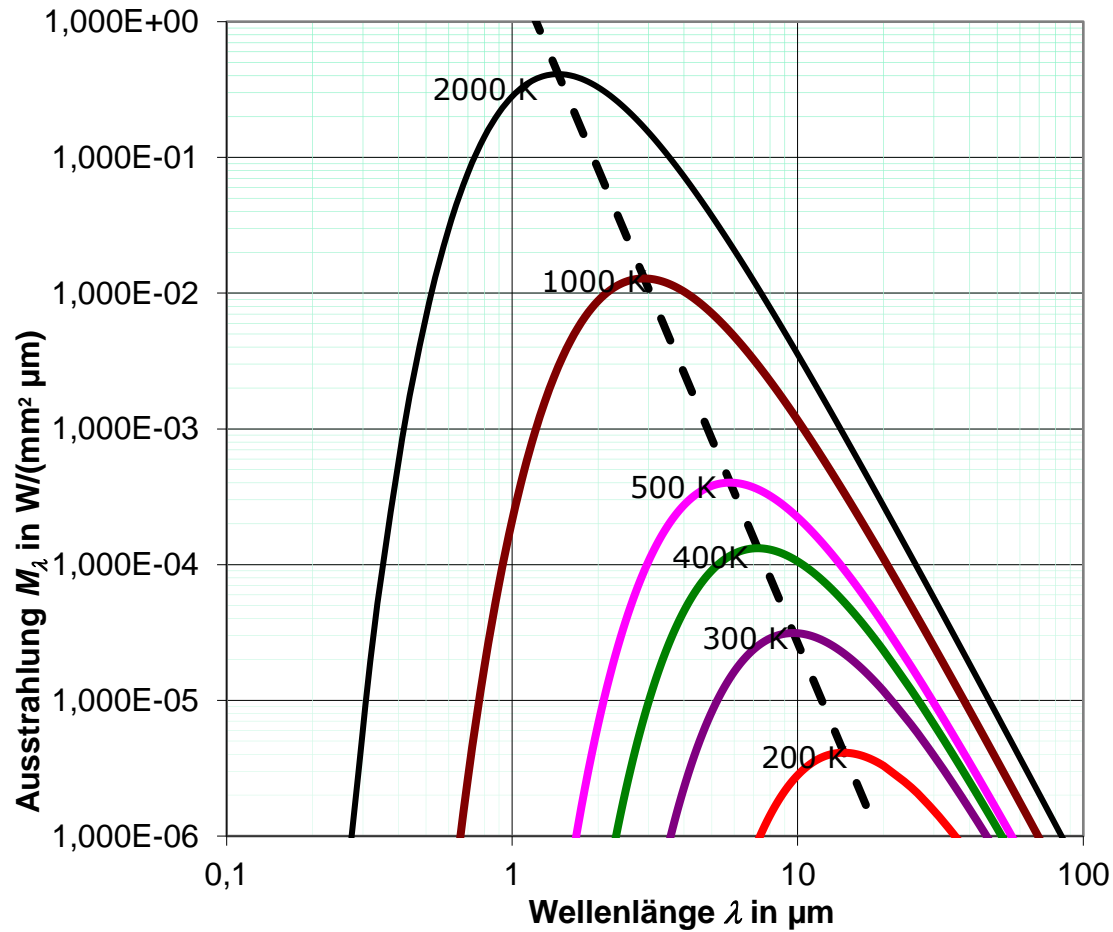
mit PLANCKsche Strahlungskonstanten:

$$c_1 = 1,19104 \text{ Wm}^2\text{sr}^{-1}$$

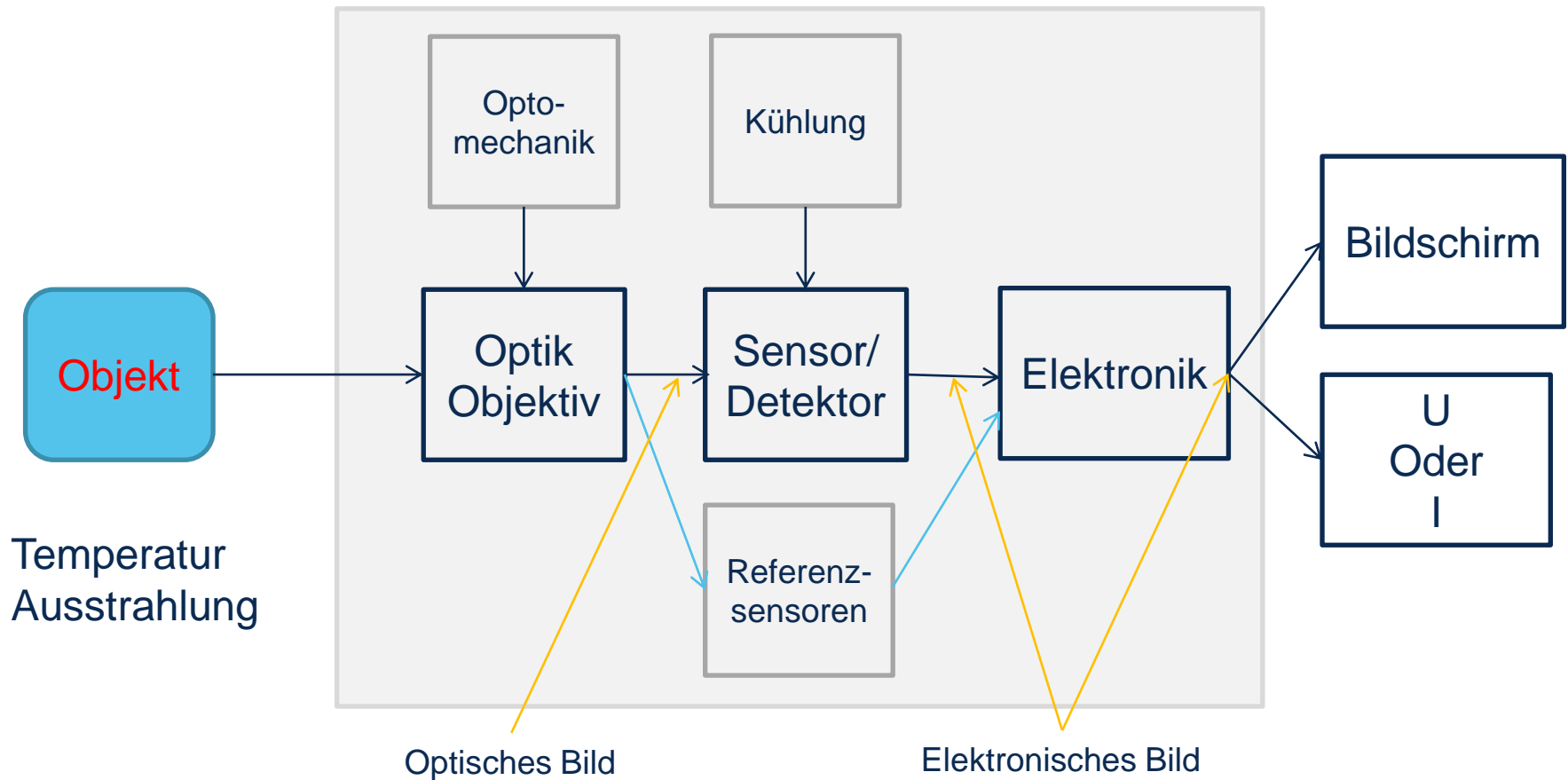
$$c_2 = 1,4387752 \cdot 10^{-2} \text{ m K}$$

Die Strahlungsgesetze gelten ausschließlich für thermische Strahler!

# PLANCKSches Strahlungsgesetz



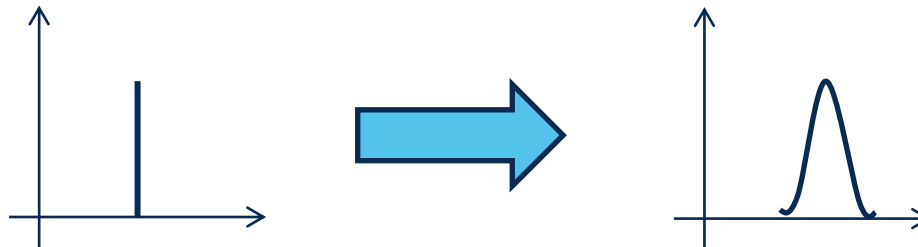
## 0.5 Infrarotsensor/-kamera



## Begrenzung der räumliche Auflösung durch Streuung:

Streufeldradius (Airy-Formel):  $r_d = 1,22\lambda \frac{f}{D}$

Brennweite  $f$   
Wellenlänge  $\lambda$   
Durchmesser der Optik  $D$



Räumliche Auflösung: Modulationstransferfunktion MTF

## 0.6 Anwendungen

- Radiometrie (Messung der absoluten Strahlung)
  - Pyrometrie ( $Q \rightarrow T$ )
  - Spektroskopie ( $\lambda$ -Verteilung)
- Wärmebildtechnik
  - Quantitativ (Thermografie)
  - Relative (Nachtsichtgeräte)
  - 3 Dimensionen (räumlich + zeitlich)
- Bewegungsmelder (Präsenzdetektion)
  - Thermischer Kontrast: Fläche und zeitliche Änderung
- Aktive Thermografie
  - Wärmefluss-Thermografie

## 0.6 Anwendungen

### 4 Anwendungsfelder

- Militär
- Industrie
- Medizin
- Wissenschaft

### 5 Funktionen

- suchen, auswählen, verfolgen
- Strahlungsmessung
- Spektralmessung
- Wärmebilder
- reflektierte Strahlung

## 0.6 Anwendungen

Vorteile:

- Strahlung wird direkt emittiert -> keine Hilfsquellen

 komplett passiv

- Strahlungsfluss =  $f(\text{Energiezustand der Quelle})$

 erlaubt Analyse physik. Phänomene

- Kontaktlose Messung ohne Messobjektänderung

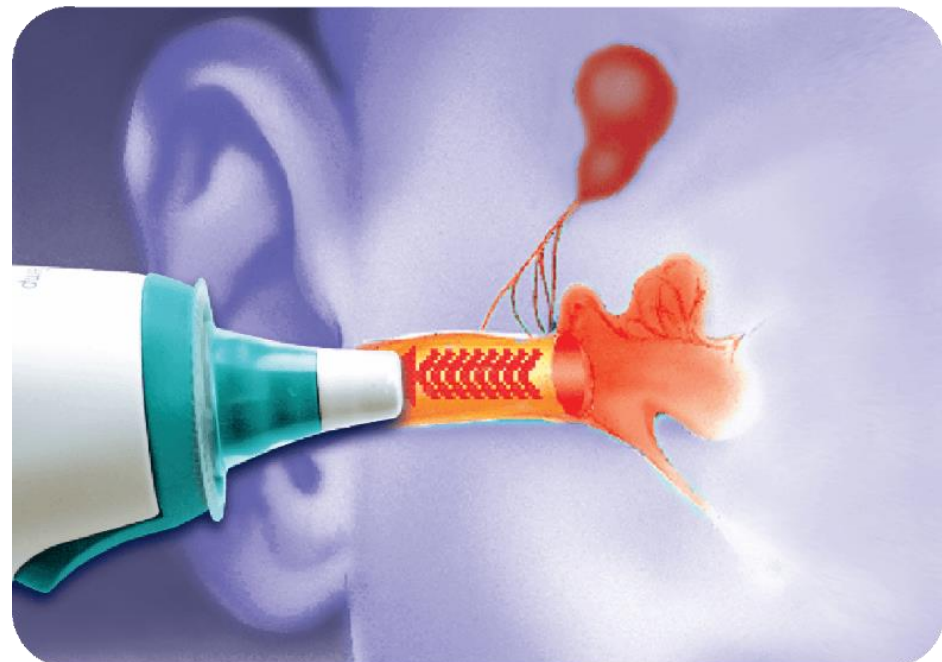
- Messung aus Distanz

 entfernte oder gefährliche Objekte

- Messung sehr hoher Temperaturen  
ohne Zerstörung des Sensors

# Pyrometrie

## Ohrthermometer



Quelle: <http://www.mediamarkt.de>

## Pyrometrie



### **PYROSPOT Serie 10**

Pyrometer für Industrie und Forschung

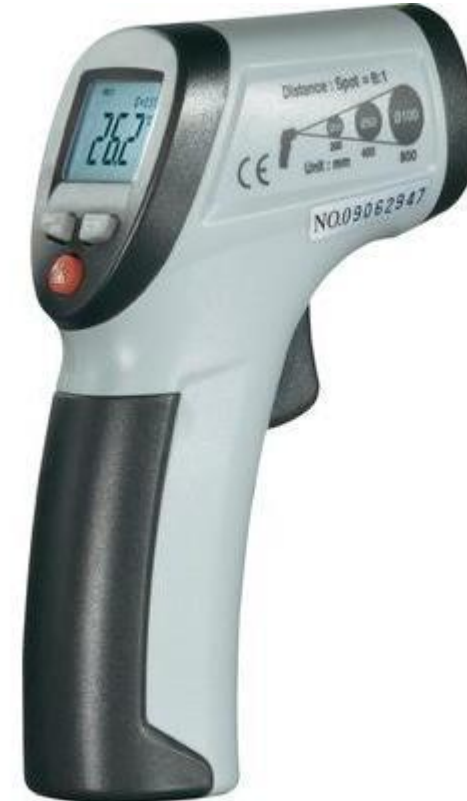
50 °C bis 3000 °C

Kurze Einstellzeiten  $t_{95}$  ab 1,5 ms

0/4 bis 20 mA Ausgang (einstellbar)

Durchblickvisier oder Pilotlichtvisier

(Quelle: <http://www.dias-infrared.de>)



### **VOLT CRAFT® IR 260-8S**

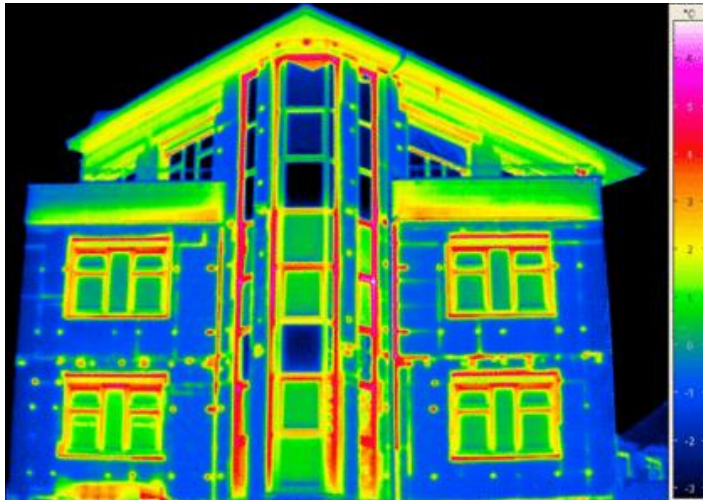
Infrarot-Thermometer, Optik 8:1 -30 bis +260 °C mit Fixierlaser

(Quelle: [www.conrad.de](http://www.conrad.de))

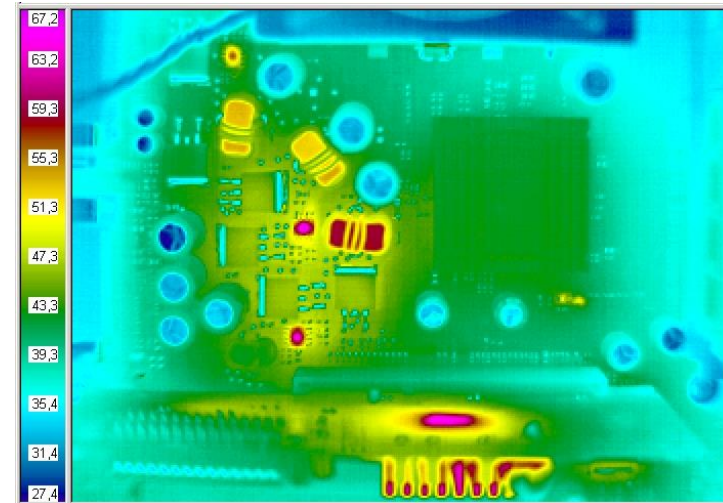
# Thermografie



# Thermografie



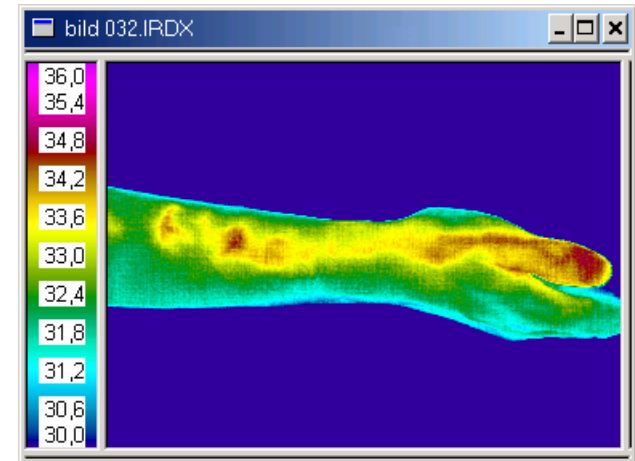
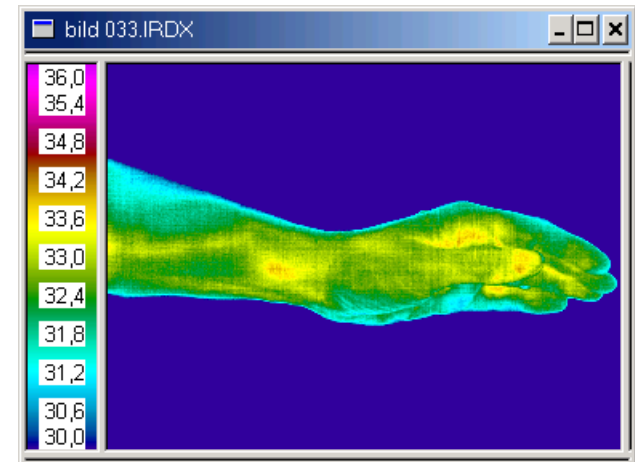
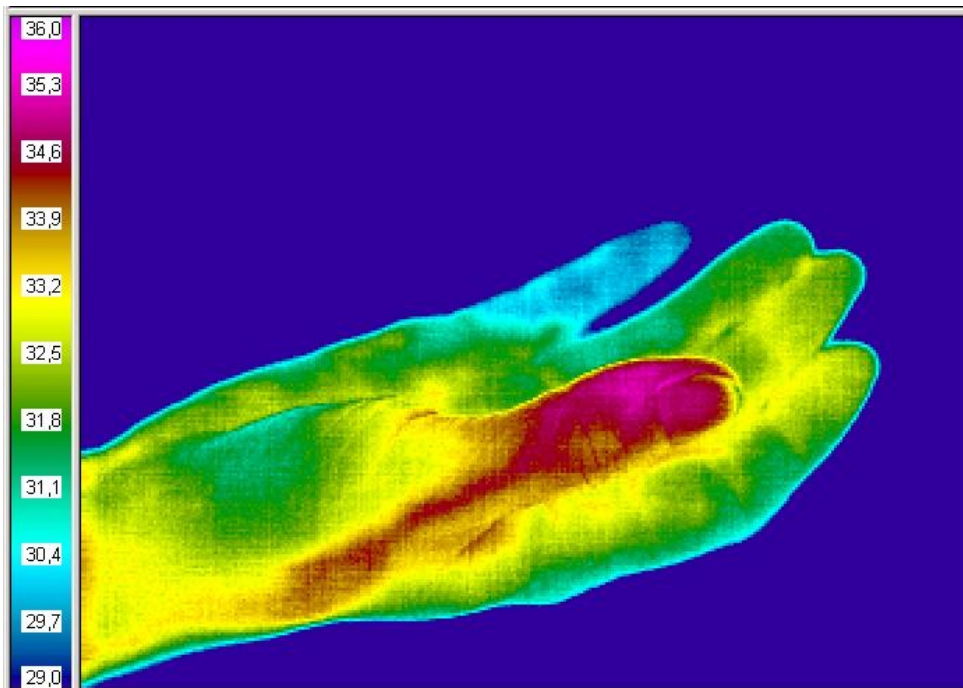
Quelle: <http://www.infratec.de>



Quelle: <http://www.diasinfraed.de>

## 0.6 Anwendungen

### Medizinische Anwendungen

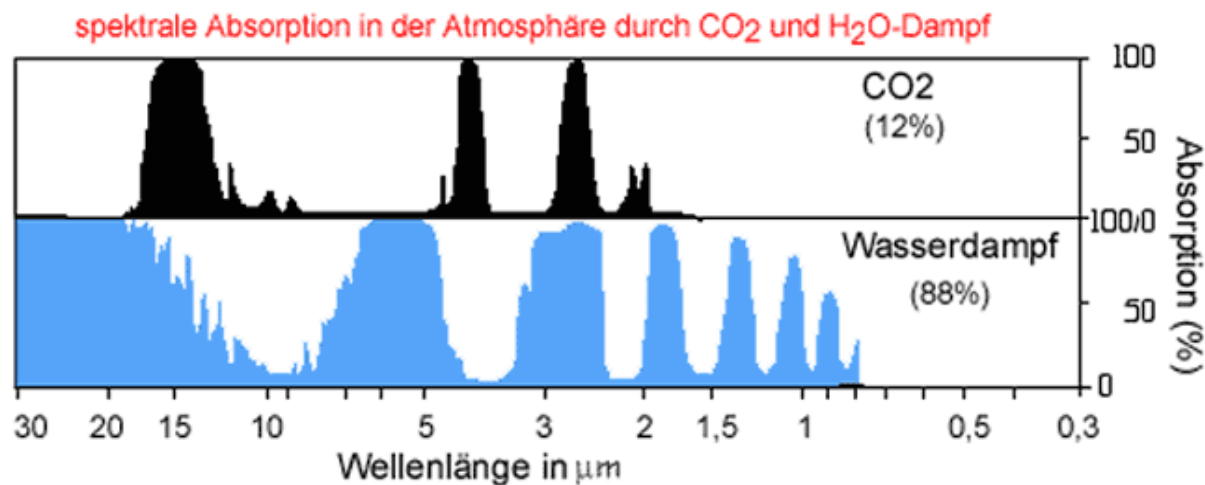


Quelle: <http://www.diasinfraed.de>

## 0.6 Anwendungen

# Spektroskopie

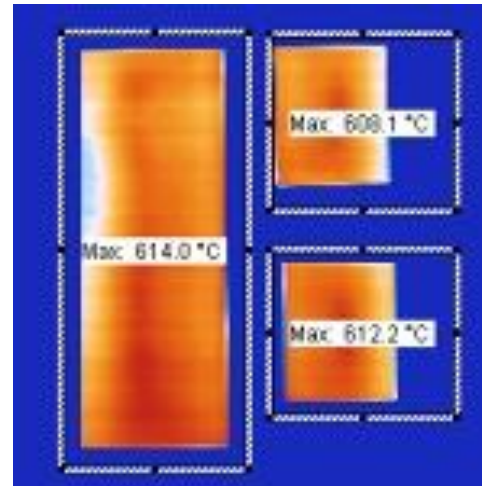
Ausnutzung der spektralen Absorption von Gasen im IR-Bereich



(Quelle: [http://www.greeningearthsociety.org/climate/previous\\_issues/vol4/v4n19/cutting1.htm](http://www.greeningearthsociety.org/climate/previous_issues/vol4/v4n19/cutting1.htm))

## 0.6 Anwendungen

### Prozessüberwachung in der Glasindustrie

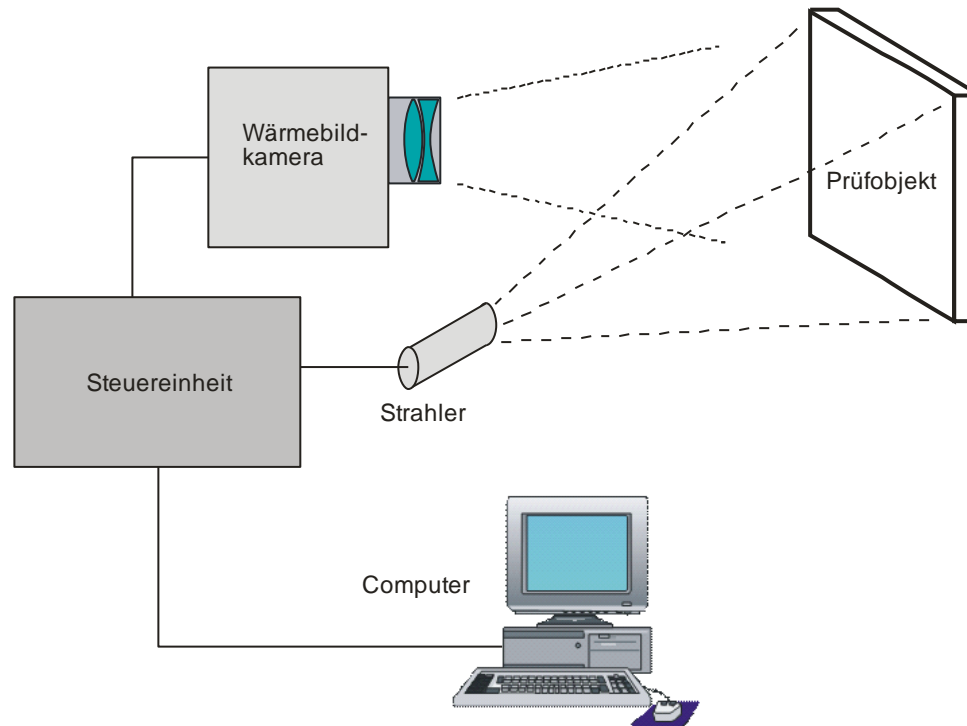


### Flachglas-Produktion mit Temperaturüberwachung

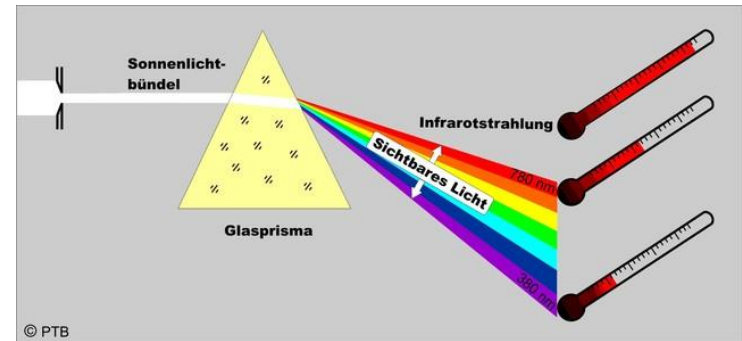
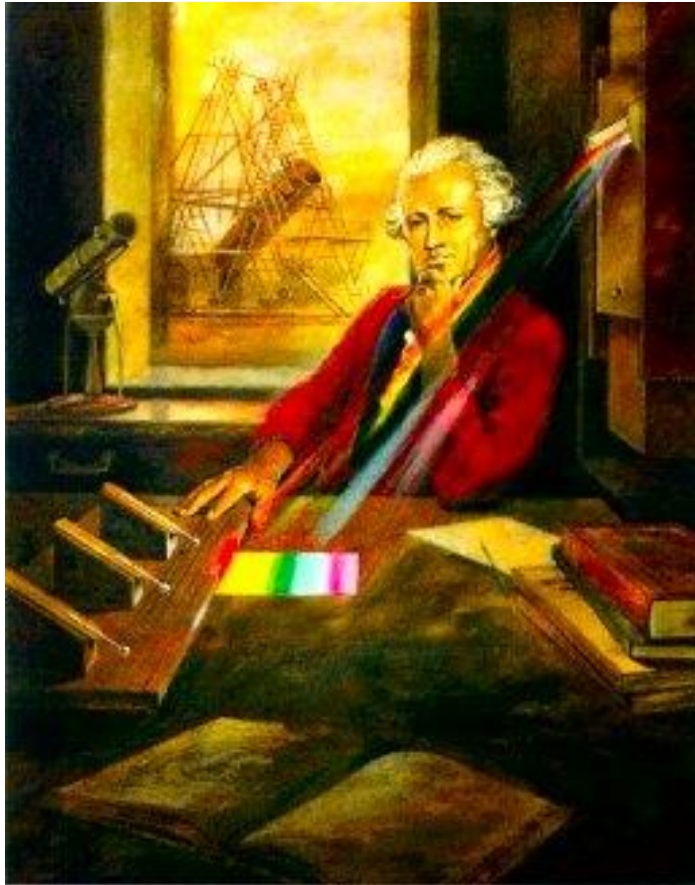
Quelle: DIAS-Infrared GmbH

## 0.6 Anwendungen

### Wärmefluss- Thermografie



## 0.7 Historisches



**1800:**  
**Sir Frederick William Herschel**  
**(1738-1822)**

Quellen:

[http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic\\_classroom/classroom\\_activities/herschel\\_bio.html](http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/classroom_activities/herschel_bio.html)

<http://www.weltderphysik.de/de/7019.php?i=7081>

## 0.7 Historisches

Jahr	Ereignis
1800	W. HERSCHEL: Entdeckung der IR-Wärmestrahlung
1822	T.J. SEEBECK: Entdeckung des thermoelektrischen Effekts (Sb-Cu-Paar)
1830	L. NOBILI: Thermoelement zur Wärmestrahlungsmessung
1833	L. NOBILI, M. MELLONI: Thermosäule aus 10 Sb-Bi-Thermoelementen
1839	M. MELLONI: Solares Absorptionsspektrum der Atmosphäre und Rolle des Wasserdampfs
1840	J. HERSCHEL (Sohn von W. HERSCHEL): Entdeckung der drei atmosphärischen Fenster

## 0.7 Historisches

Jahr	Ereignis
1903	W.W. COBLENTZ: Messung der Temperatur von Sternen und Planeten mittels IR-Spektroskopie
1930	IR-Peilgeräte für militärische Anwendungen; WW II: Reichweite 7 km für Panzer, 30 km für Schiffe (3...5 $\mu\text{m}$ )
1939	USA: erste IR-Sichtgeräte (Sniperscope, Snooperscope)
1947	GOLEY-Zelle: Pneumatisch wirkender IR-Detektor
1955	USA: Massenfertigung von IR-Suchköpfen für IR-gelenkte Raketen (PbS-, PbTe-Detektoren; Sidewinder-Rakete)
1965	Schweden: Massenfertigung von IR-Kameras für zivile Anwendungen (AGA Thermografiesystem 660): Einelementsensor mit optomechanischem Scanner

## 0.7 Historisches

Jahr	Ereignis
1968	Beginn der Produktion von IR-Sensorarrays (1968 Si; 1970 IR-CCD; 1973 SCHOTTKY-Diodenarrays; 1980 IR-CMOS)
Ab 1990	Sensoren auf der Basis von Quanteneffekte
1995	Industrielle Ungekühlte IR-Sensorarrays



**Ende**