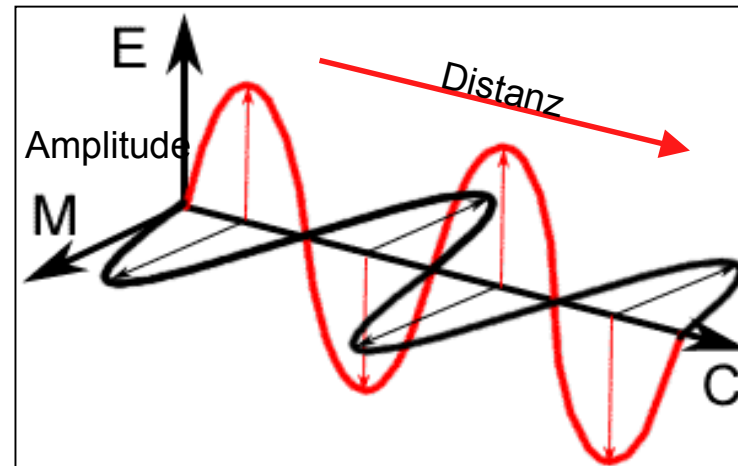


## Grundlagen **Elektromagnetische Strahlung:**

- Form der Energieausbreitung,
- kann als Wellenstrahlung aufgefaßt werden,
- Feld breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit aus
- gekennzeichnet durch Frequenz  $n$  (Einheit: Hertz (Hz)) oder Wellenlänge  $\lambda$  (teilweise wird für Frequenz auch  $f$  verwendet)

$$\text{Wellenlänge} = \frac{\text{Lichtgeschwindigkeit}}{\text{Frequenz}} = \lambda = \frac{c}{n}$$

$c$  = Lichtgeschwindigkeit (299.893 km / sec)



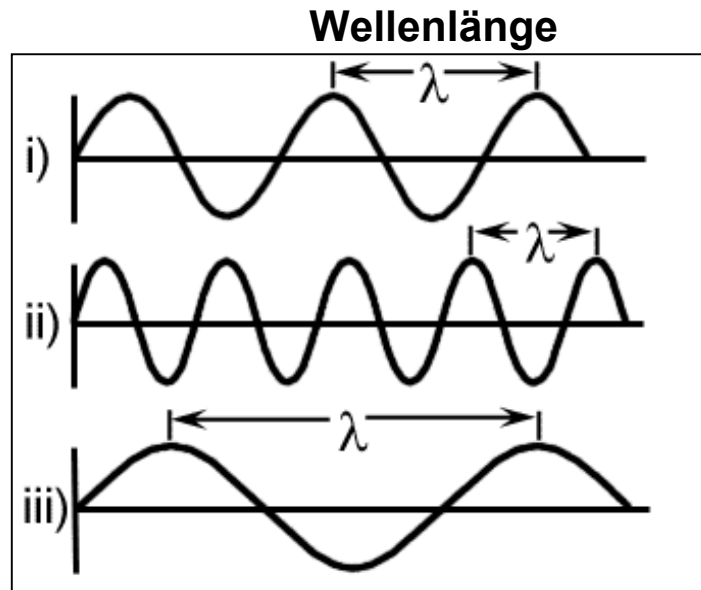
**E** = elektrisches Feld

**M** = magnetisches Feld

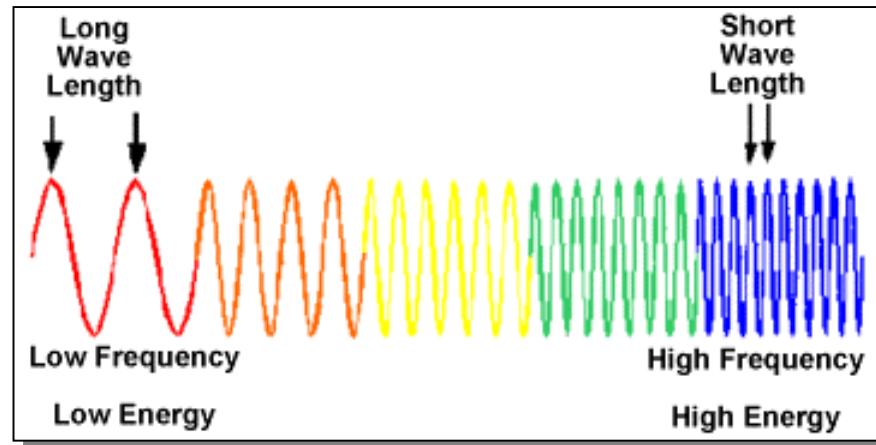
**C** = Ausbreitungsgeschwindigkeit

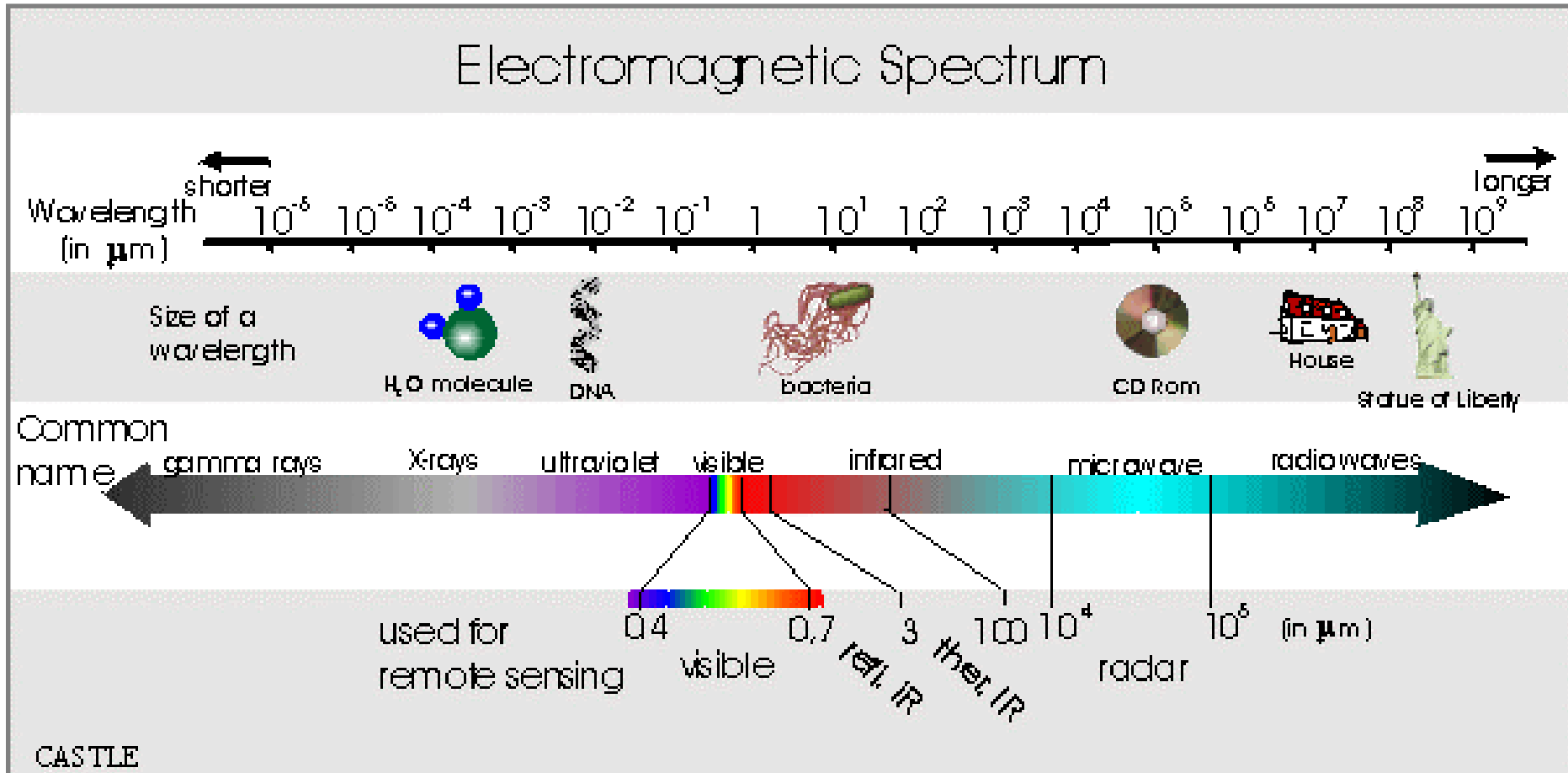
Die Länge der Pfeile gibt die Stärke der Felder an.

## Grundlagen



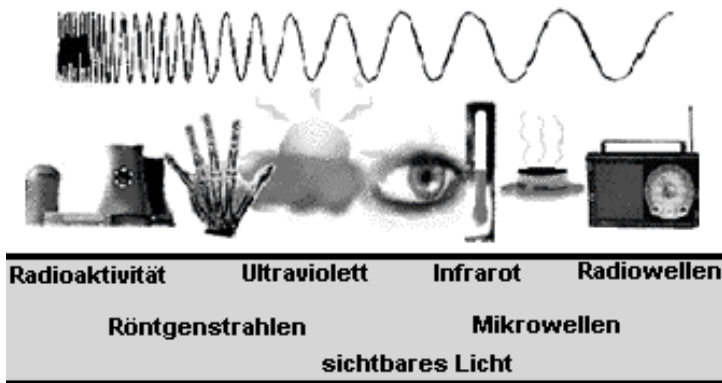
Je kürzer die Wellenlänge,  
desto höher ist die  
Frequenz





Gesamtheit der bei der elektromagnetischen Strahlung vorkommenden Wellenlängen nennt man **elektromagnetisches Spektrum**.

## Elektromagnetisches Spektrum



Das elektromagnetische Spektrum reicht von radioaktiven Strahlen bis zu Radiowellen

Fernerkundung

**Radioaktive Gammastrahlung:** wird von radioaktiven Atomen und nuklearen Reaktionen freigesetzt. Anwendungen in der Medizin und der Erkundung des Weltalls, jedoch nicht in der Fernerkundung der Erde.

**Röntgenstrahlen:** medizinische Anwendungen; außerdem zur Sonnenbeobachtung eingesetzt.

**Ultraviolette Strahlung:** der größte Teil der UV-Strahlung vom Ozon in der Atmosphäre absorbiert. Der übrige Teil ist nicht für die Fernerkundung geeignet, wird jedoch für astronomische Beobachtungen und atmosphärische Messungen verwendet.

**Bereich des sichtbaren Lichts:** Blau-Grün-Rot. In der Fernerkundung vor allem zur Identifikation von Objekten nach ihrer (sichtbaren) Farbe (und in für Vegetationsuntersuchungen).

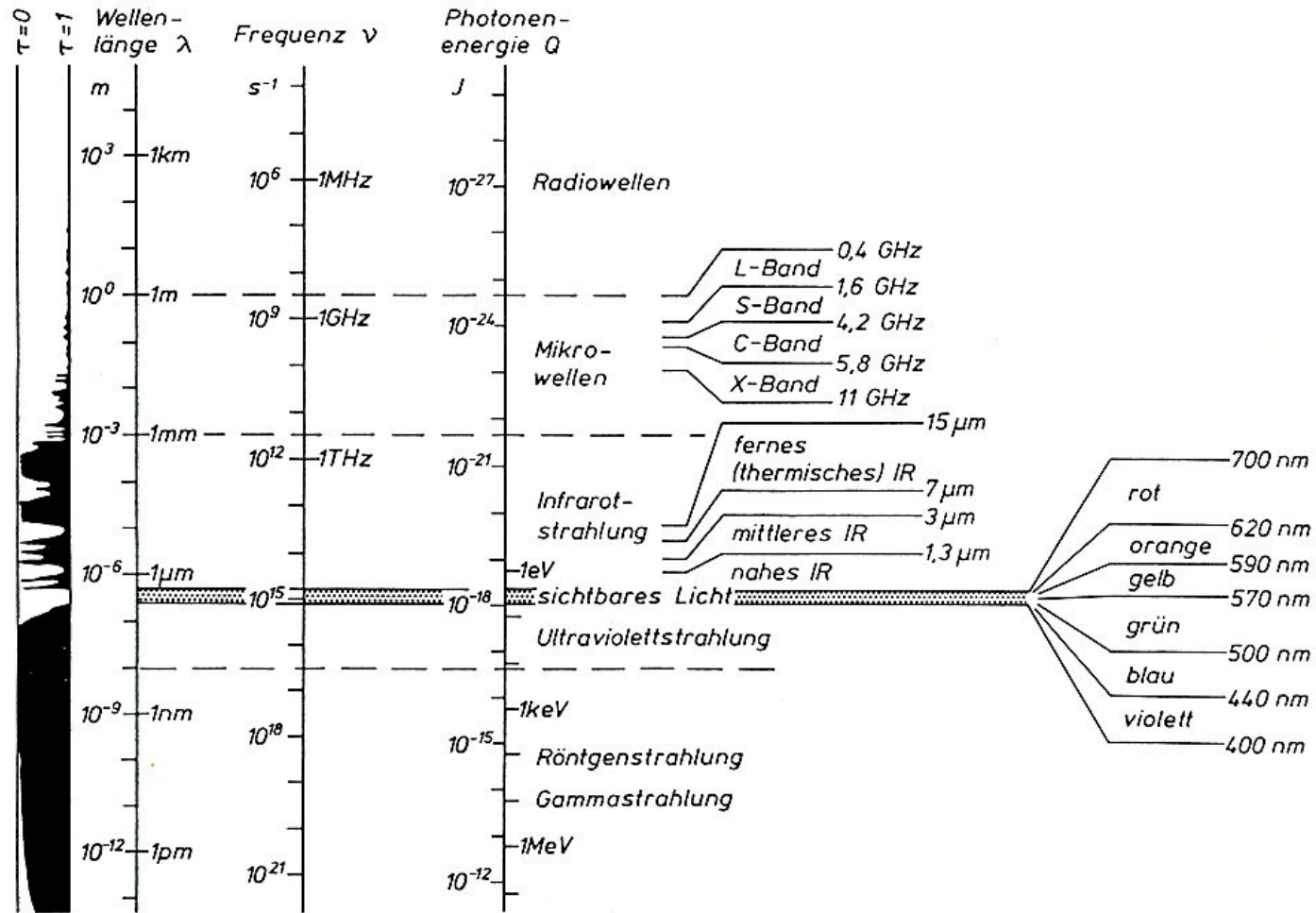
**Infrarot:** a) *reflektiertes Infrarot* (angrenzend an sichtbares Licht) ist in den Sonnenstrahlen enthalten. Häufige Verwendung in FE - insbesondere für Vegetationsuntersuchungen. b) *thermales Infrarot* (emittierte Strahlung, Thermalstrahlung, Wärmestrahlung). Mit Hilfe der Fernerkundung Wärmequellen detektieren

**Mikrowellen:** Anwendung in Fernerkundung in aktiven (Radarsysteme) und passiven Aufnahmesystemen. Vorteil: Mikrowellen von atmosphärischen Einflüssen (Wolken, Regen, Schnee) kaum beeinflusst werden.

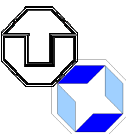
**Radiowellen:** Übermittlung von Radio- und Fernsehsignalen.



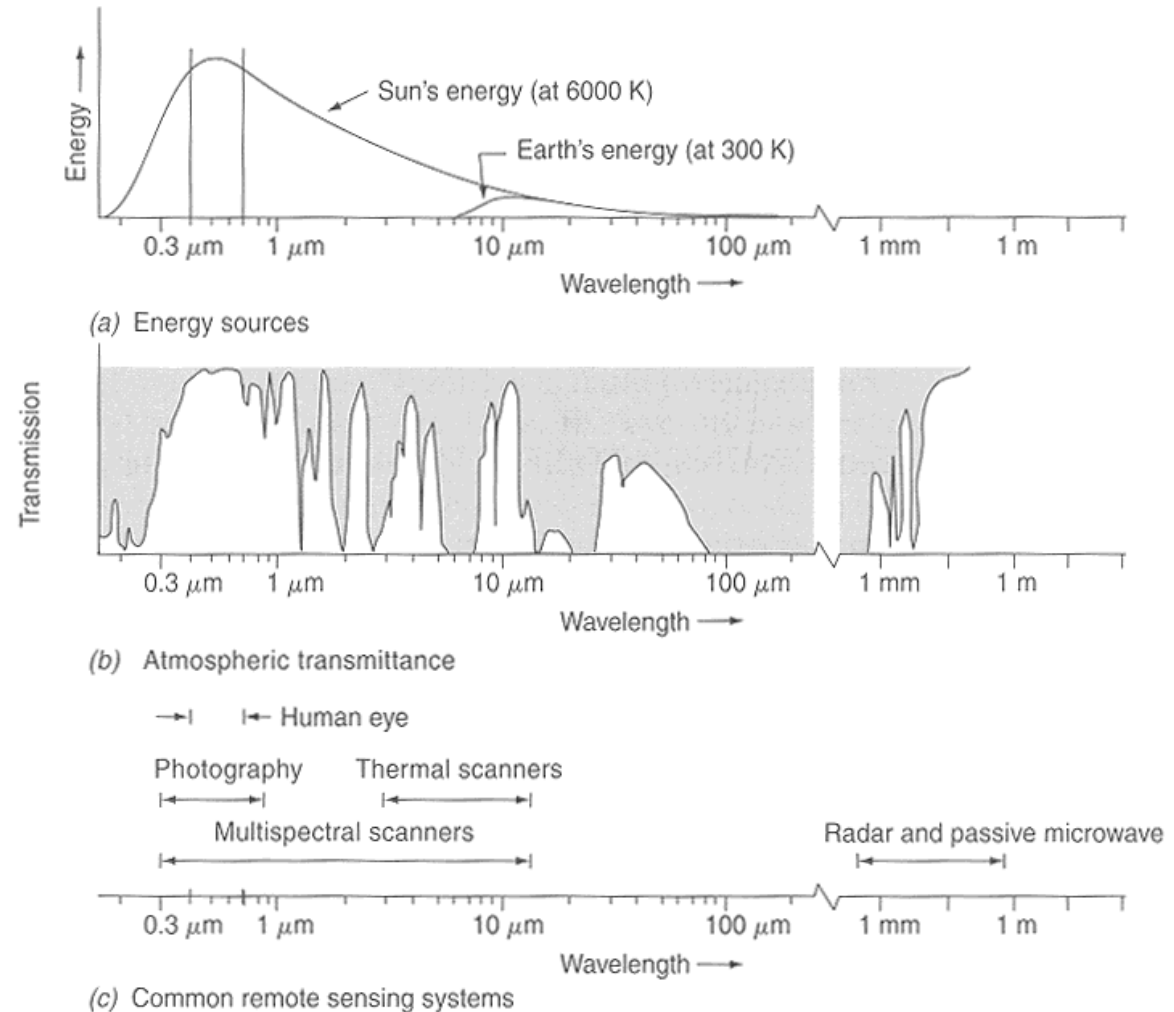
## Elektromagnetisches Spektrum



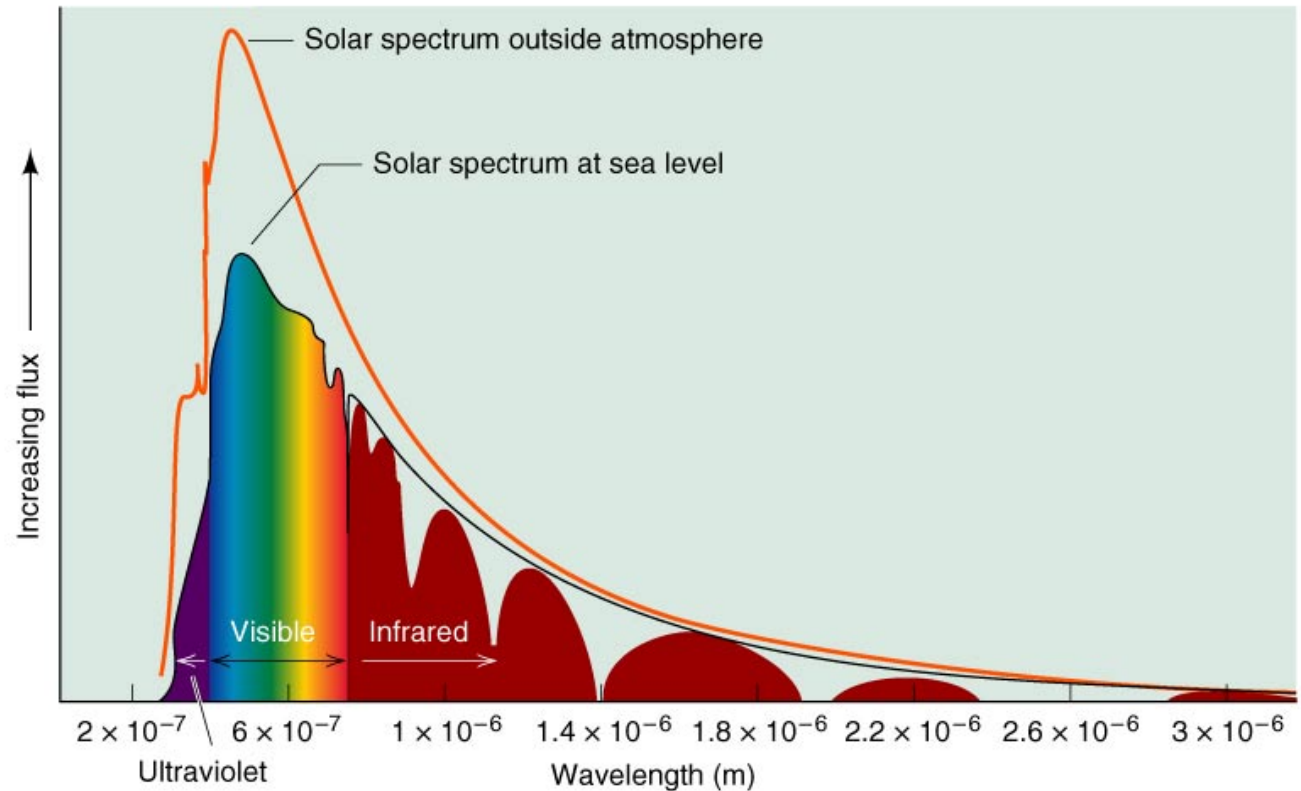
Fernerkundung



## Elektromagnetisches Spektrum



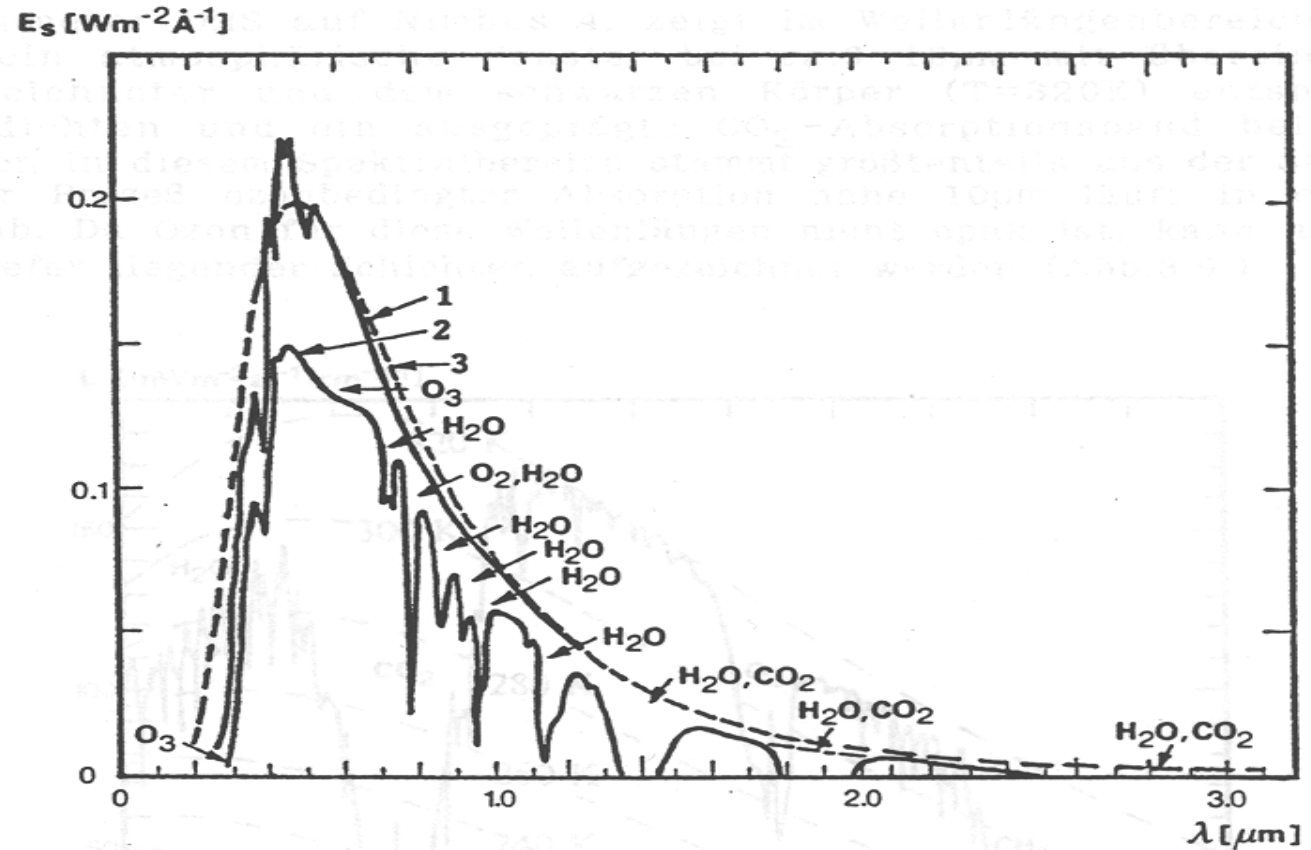
## Solare Bestrahlungsstärke



Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

- (1) Solare Bestrahlungsstärke außerhalb der Erdatmosphäre
- (2) Solare Bestrahlungsstärke auf Meeresniveau
- (3) Strahlung eines schwarzen Körpers mit  $T = 5900^\circ\text{C}$

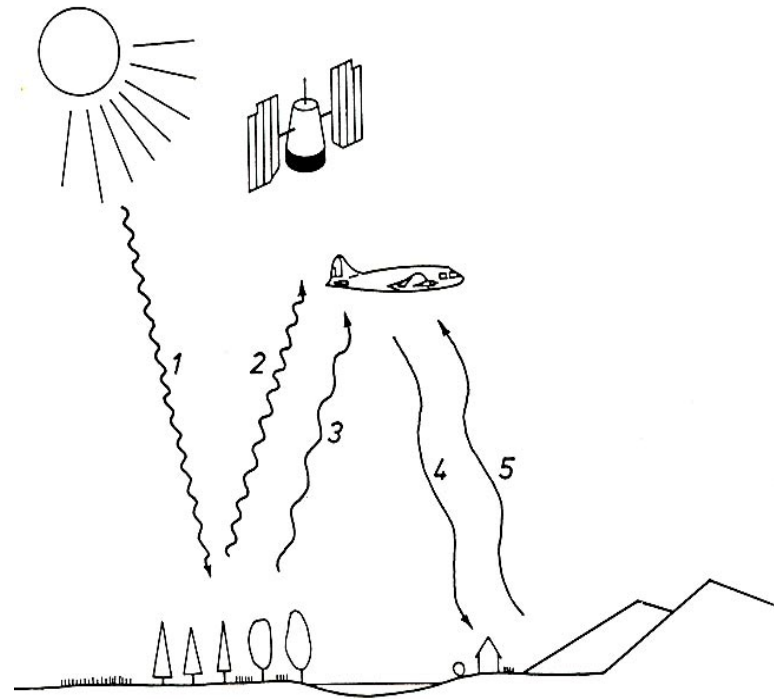
Solare  
Bestrahlungs-  
stärke



- (1) Solare Bestrahlungsstärke außerhalb der Erdatmosphäre
- (2) Solare Bestrahlungsstärke auf Meeresniveau
- (3) Strahlung eines schwarzen Körpers mit  $T = 5900^\circ\text{C}$



## Parameter der Datenerfassung

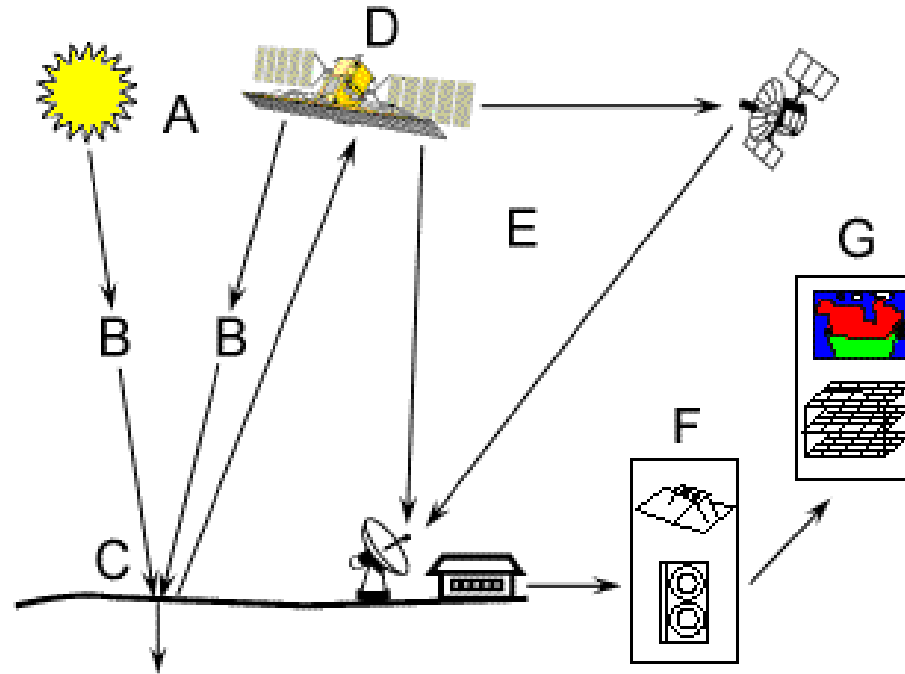


- (1) von natürlicher Quelle kommende Strahlung
- (2) reflektierte Strahlung
- (3) emittierte Strahlung
- (4) ausgesendete künstliche Strahlung
- (5) reflektierte Strahlung

Als grundlegende, wellenlängenabhängige Komponenten eines jeden Systems gelten:

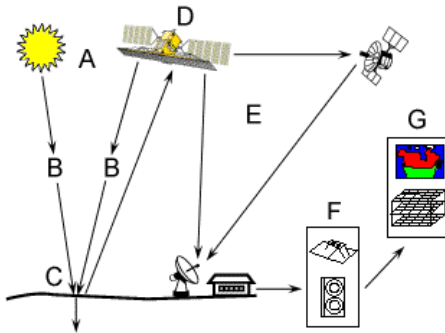
- Strahlungsquelle (z.B. Sonne)
- Strahlungsweg (z.B. Atmosphäre)
- Objekt (z.B. Böden)
- Sensor (z.B. Scanner, Kamera)

## Parameter der Datenerfassung



- Energy Source or Illumination (A)
- Radiation and the Atmosphere (B)
- Interaction with the Target (C)
- Recording of Energy by the Sensor (D)
- Transmission, Reception, and Processing (E)
- Interpretation and Analysis (F)
- Application (G)

## Parameter der Datenerfassung



**Energy Source or Illumination (A)** - the first requirement for remote sensing is to have an energy source which illuminates or provides electromagnetic energy to the target of interest.

**Radiation and the Atmosphere (B)** - as the energy travels from its source to the target, it will come in contact with and interact with the atmosphere it passes through. This interaction may take place a second time as the energy travels from the target to the sensor.

**Interaction with the Target (C)** - once the energy makes its way to the target through the atmosphere, it interacts with the target depending on the properties of both the target and the radiation.

**Recording of Energy by the Sensor (D)** - after the energy has been scattered by, or emitted from the target, we require a sensor (remote - not in contact with the target) to collect and record the electromagnetic radiation.

**Transmission, Reception, and Processing (E)** - the energy recorded by the sensor has to be transmitted, often in electronic form, to a receiving and processing station where the data are processed into an image (hardcopy and/or digital).

**Interpretation and Analysis (F)** - the processed image is interpreted, visually and/or digitally or electronically, to extract information about the target which was illuminated.

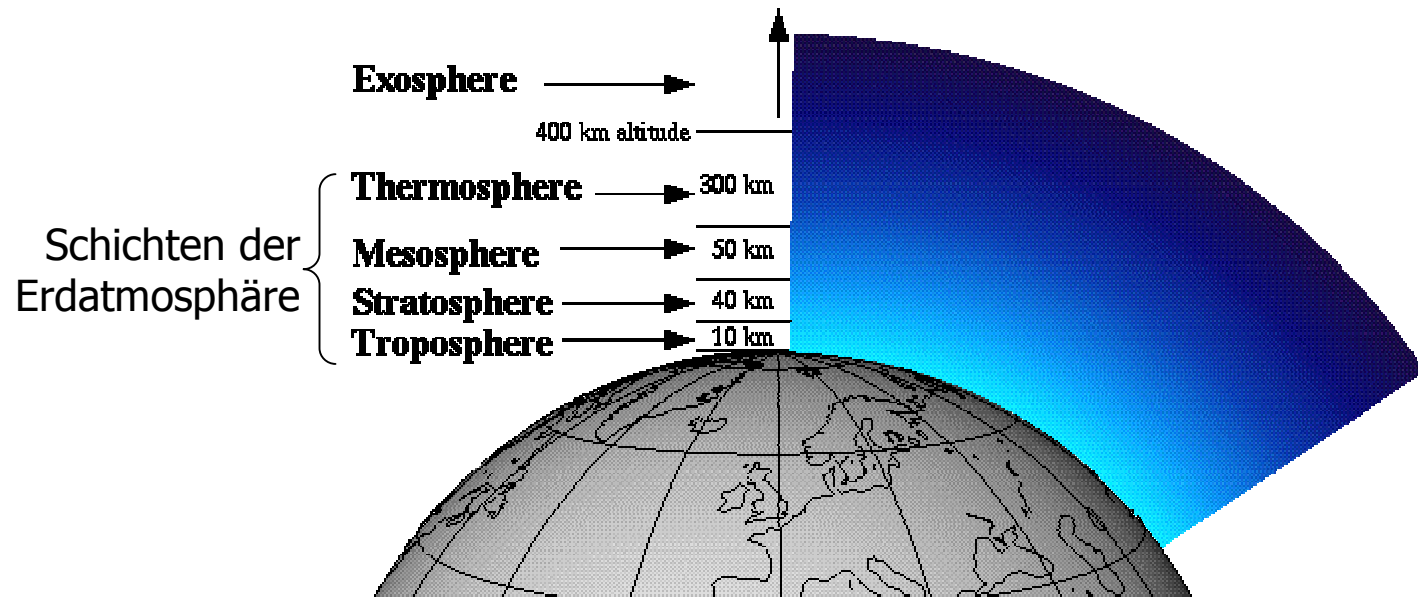
**Application (G)** - the final element of the remote sensing process is achieved when we apply the information we have been able to extract from the imagery about the target in order to better understand it, reveal some new information, or assist in solving a particular problem.

Interaktion mit  
der Atmosphäre

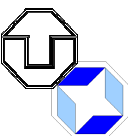
## Atmosphäre:

griech.: "atmós" = Dampf, Dunst und "sphaira" = (Erd)kugel.  
Die Atmosphäre ist die gasförmige Hülle eines  
Himmelskörpers.

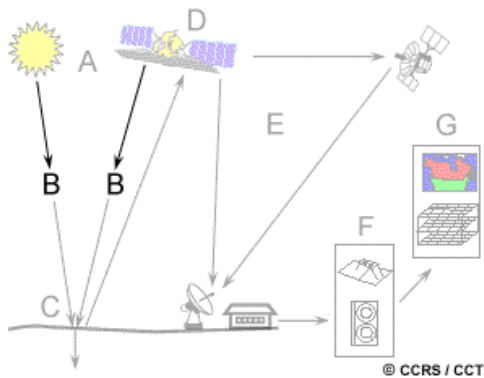
Die Erdatmosphäre lässt sich mit Hilfe des Temperatur-  
verlaufs in vier verschiedene Schichten unterteilen:



Fernerkundung



## Interaktion mit der Atmosphäre



Die von der Sonne ausgehende extraterrestrische Strahlung erreicht zunächst die oberen Schichten der Atmosphäre, wo sie z.T. in den Weltraum reflektiert wird. Die restliche Strahlung unterliegt auf dem Weg zur Erdoberfläche der

- **Refraktion (Brechung),**
- **Streuung und**
- **Absorption.**

Die **Refraktion** ist eine Folge der Dichtänderungen der Luft. Sie führt zu Strahlungskrümmung und muß bei sehr genauen photographischen Auswertungen korrigiert werden, wird aber sonst vernachlässigt.

**Absorption und Streuung** spielen jedoch eine große Rolle, denn beide Prozessen beinhalten Energieumwandlungen, bei denen ein Teil der elektromagnetischen Strahlung in Wärme oder andere kinetische Energieformen überführt wird. Streuungsprozesse generieren weitere Energieeinbußen und führen damit zu einer Beeinträchtigung des möglichen Reflexionsgrades. Intensität der Absorption und Streuungscharakteristik hängen in starkem Maße von der Wellenlänge der Strahlung und der Aerosol-Teilchengröße (Dunst, Staub, Wassertröpfchen) ab. Beide Vorgänge werden auch unter dem Begriff **Extinktion** zusammengefaßt.

## Interaktion mit der Atmosphäre **Atmosphärische Refraktion**

der Atmosphäre

Ausbreitungsgeschwindigkeit in Materie

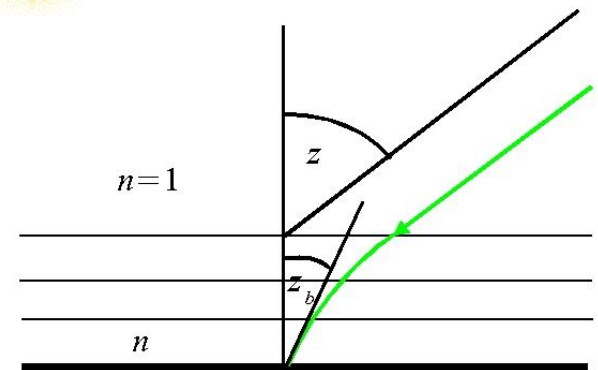
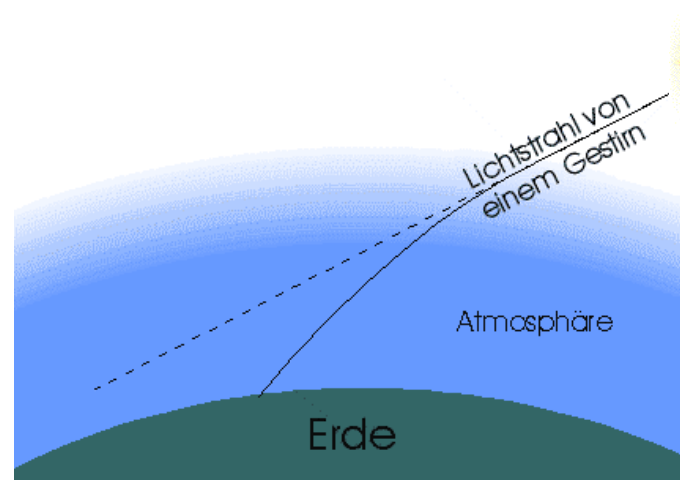
$$n = \frac{c}{v}$$

$v$  = Geschwindigkeit in Materie

$n$  = Brechungsindex =  $\sqrt{\epsilon_r}$

$\epsilon_r$  = Dielektrizitätskonstante, die stark von den Materialeigenschaften und der Wellenlänge abhängt

$c$  = Lichtgeschwindigkeit



Fernerkundung



Technische Universität Dresden  
Institut für Photogrammetrie  
und Fernerkundung  
Lehrstuhl Fernerkundung

## Interaktion mit der Atmosphäre

### Zusammensetzung der Atmosphäre

- „permanente Gase“: Stickstoff, Sauerstoff, Edelgase. Kommen in allen Höhen zu etwa gleichen Anteilen vor.
- Wasserdampf: Vorkommen in variabler Konzentration
- Kohlendioxid
- Ozon: vor allen in Höhen zwischen 15 und 30 km
- Teilchen verschiedener Größen (Teilchendurchmesser 0.01 bis 100  $\mu\text{m}$ ) = „Aerosole“



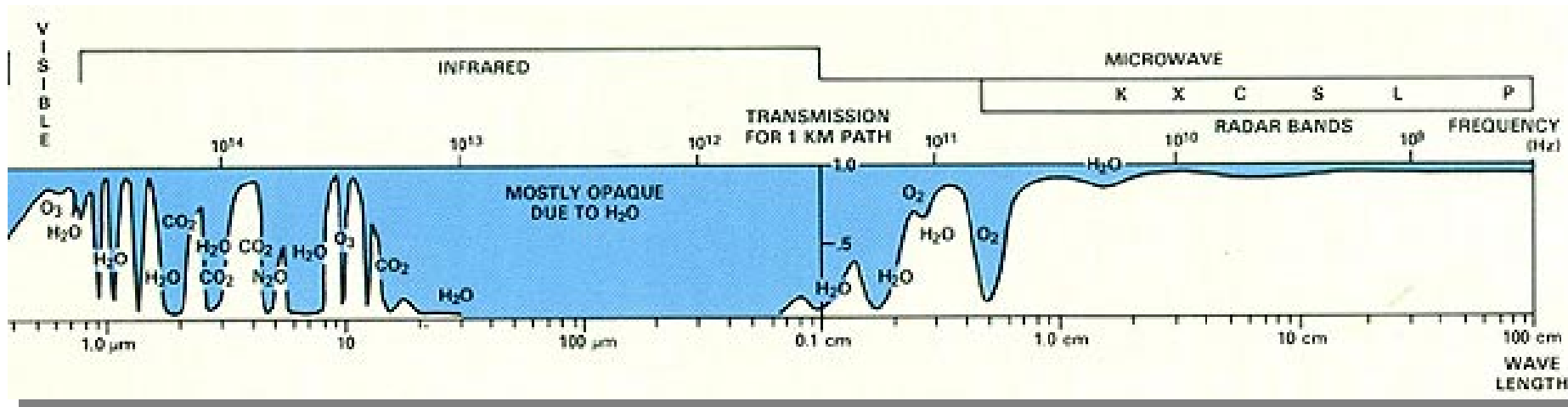
Unter **Aerosolen** versteht man die in der Luft schwebenden festen oder flüssigen Teilchen. Kommen als Dunst, Staub, Nebel oder Wolken besonders in niedrigen Höhen bis wenige km vor; trüben die Atmosphäre. Setzt sich zusammen aus:

- natürlichen organischen Anteilen: Pollen, Sporen, Bakterien
- natürlichen anorganischen Anteilen: Staub, Rauch, Seesalz
- vom Mensch eingebrachten Anteilen: diverse Verbrennungsprodukte wie Rauch, Asche oder Stäube.

## Interaktion mit der Atmosphäre

## Atmosphärische Transmission und Absorption

Der Transmissionsgrad der Atmosphäre ist in starkem Maße wellenlängenabhängig. Dies ist die Folge der Absorptionseigenschaften der vorkommenden Gase, insbesondere von Wasserdampf sowie von Kohlendioxid und Ozon.

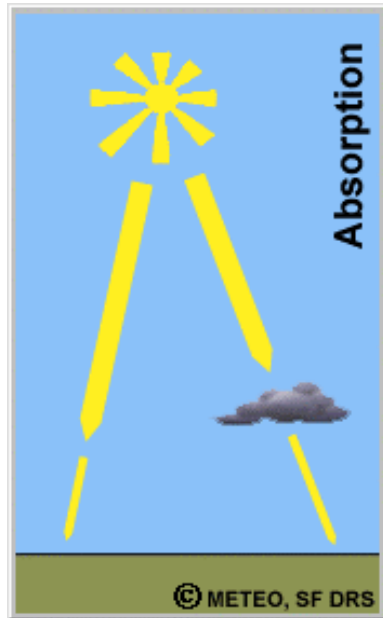


Fernerkundung





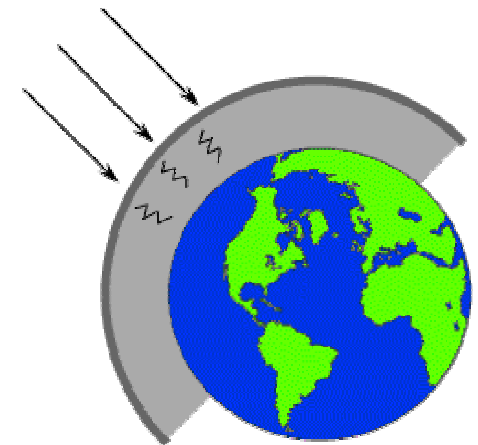
Interaktion mit  
der Atmosphäre



## Atmosphärische Transmission und Absorption

### Zusammensetzung der Atmosphäre:

- „permanente Gase“ (Stickstoff, Sauerstoff, Edelgase)  
→ geringe Absorption
- Wasserdampf und Kohlendioxid haben  
→ ausgeprägte Absorption im Infrarot
- Ozon (15-30 km hoch) hat  
→ deutliche Absorption bei ca.  $9.5 \mu\text{m}$
- Aerosole  
→ verursachen vor allem Streuung



Fernerkundung

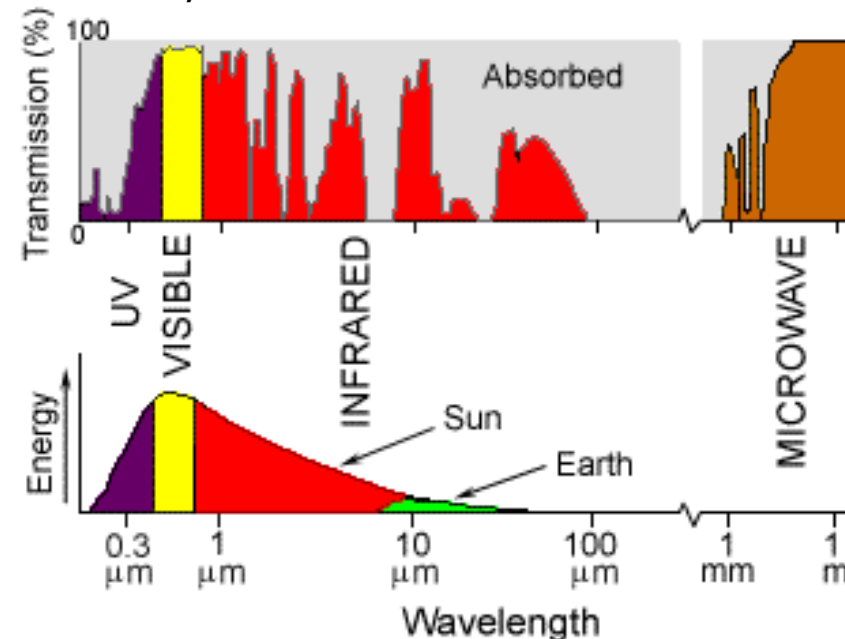


Technische Universität Dresden  
Institut für Photogrammetrie  
und Fernerkundung  
Lehrstuhl Fernerkundung

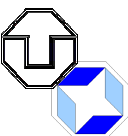
Interaktion mit  
der Atmosphäre

## Atmosphärische Transmission und Absorption

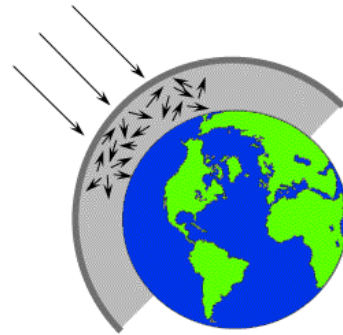
- Fernerkundungssysteme können die Absorption und damit die Zusammensetzung der Atmosphäre ermitteln.
- Atmosphäre ist nicht in allen Wellenlängenbereichen durchlässig; es können nur gewisse **atmosphärische Fenster** zur Fernerkundung mittels reflektierter Sonnenstrahlung genutzt werden.
- **Wichtige atmosphärische Fenster** für die FE im
  - sichtbaren Bereich,
  - nahen und mittleren Infrarot,
  - thermalen Infrarot,
  - Mikrowellenbereich
  - ...



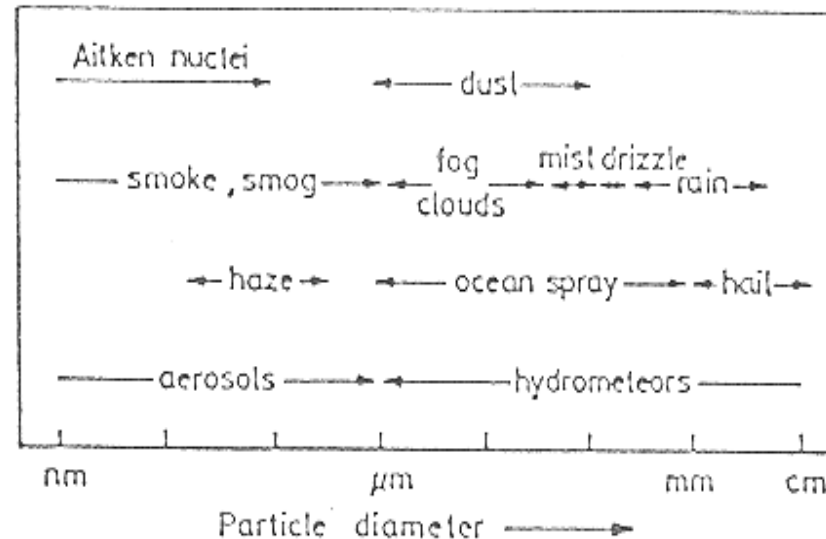
Fernerkundung



## Interaktion mit der Atmosphäre Streuung (Scattering)



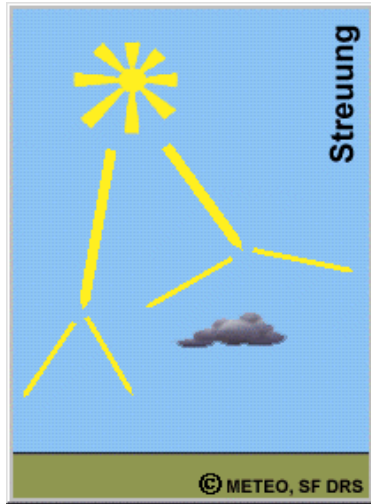
Unter Streuung versteht man die Änderung der Ausbreitungsrichtung von Photonen bzw. Strahlung, verursacht durch Partikel in der Atmosphäre wie Atome oder Moleküle. Die Wellenlänge oder die Frequenz der Strahlung wird dabei nicht geändert.



Atmosphärenpartikel  
und deren Größen

Interaktion mit  
der Atmosphäre

## Streuung (Scattering)



Man unterscheidet Streuungs-Phänomene in:

**selektive Streuung (Mie- und Rayleigh-Streuung):**  
durch Teilchen wie Gasmoleküle, Rauch und Dunstpartikel,  
deren Durchmesser **kleiner oder gleich** der Wellenlänge  
der Strahlung ist; wellenlängenabhängig

**nicht-selektive Streuung:**  
bei Nebel und Wolken; durch Partikel, die bis zu 10 mal  
**größer** sind als die Wellenlänge; wellenlängenunabhängig



Fernerkundung



## Interaktion mit der Atmosphäre

Unter **Mie-Streuung** versteht man die Streuung von Strahlung an Aerosol-Partikeln. Sie hängt sowohl von der Wellenlänge als auch von der Grösse der streuenden Partikel ab: Die Wellenlänge der gestreuten Strahlung entspricht dem Durchmesser der streuenden Partikel.

Die Mie-Streuung ist verantwortlich für das Weiß der Wolken.

Unter **Rayleigh-Streuung** versteht man die Streuung von Strahlung an Luftmolekülen. Der Durchmesser der streuenden Teilchen ist viel kleiner als die Wellenlänge der gestreuten Strahlung. Strahlung mit kleiner Wellenlänge wird stärker gestreut als Licht mit grosser Wellenlänge:

Die kurzwelligen blauen Anteile des Sonnenlichts werden stark gestreut, was den blauen Himmel erklärt. Weil die blauen Anteile weggestreut werden, erscheint die Sonne gelb.

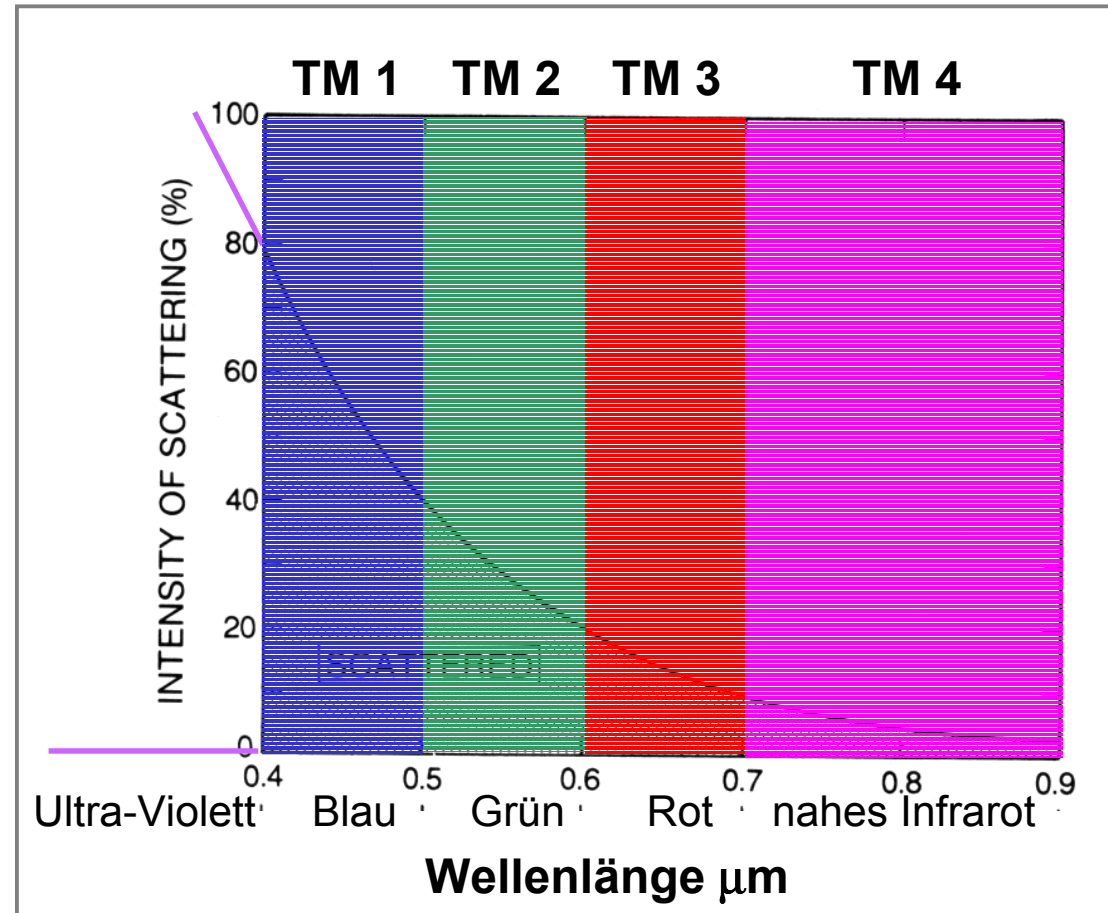


Fernerkundung

Steht die Sonne tief am Horizont, hat das Sonnenlicht eine lange Strecke in der Erdatmosphäre zurückzulegen. Auf dieser langen Strecke werden die kurzwelligen blauen und grünen Anteile weggestreut, so dass nur noch die gelben und roten Anteile (weil langwellig) zu uns gelangen und die Sonne rot erscheint.

Interaktion mit  
der Atmosphäre

## Rayleigh-Streuung



**Rayleigh Streuung** ist umgekehrt proportional zur Wellenlänge: Je kürzer die Wellenlänge, umso stärker der Streuungs-Effekt!

Fernerkundung



Technische Universität Dresden  
Institut für Photogrammetrie  
und Fernerkundung  
Lehrstuhl Fernerkundung

aus: Christiansen, Uni Giessen



Interaktion mit  
der Atmosphäre

## Rayleigh-Streuung



Großraum Dämmer  
Landsat TM 3,2,1 RGB

Großraum Dämmer  
Landsat TM 5,4,3 RGB

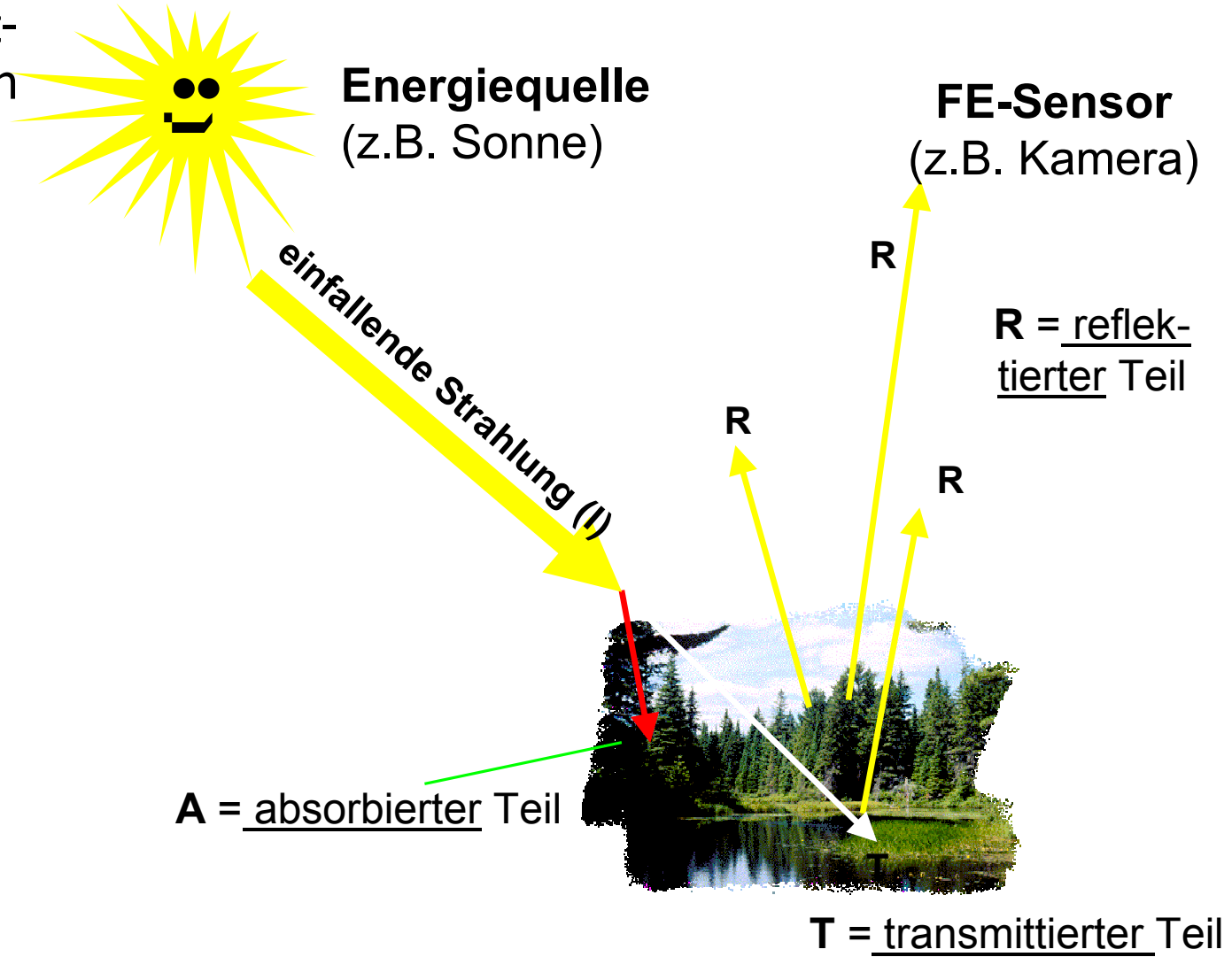


Die kürzeren Wellenlängen der Landsat-TM-Bänder 1 (blau) und 2 (grün) werden stärker gestreut, als die längeren Wellenlängen der ‚infraroten‘ Bänder 4 und 5!

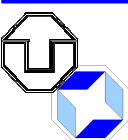
Fernerkundung



Strahlung-Objekt-  
Interaktion



Fernerkundung



Technische Universität Dresden  
Institut für Photogrammetrie  
und Fernerkundung  
Lehrstuhl Fernerkundung

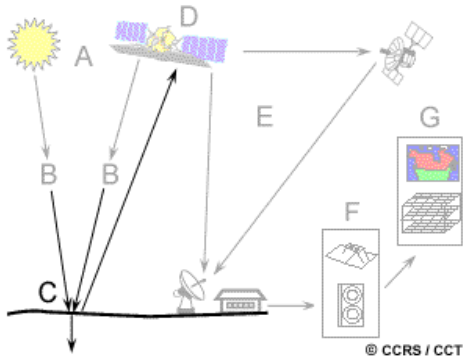
**Energieerhaltungsgesetz:**

$$I = A + T + R$$



## Strahlung-Objekt- Interaktion

## Absorption, Transmission, Reflexion



### Absorption

Strahlung wird vom Objekt **absorbiert** und in eine andere Form von Energie (= Strahlung anderer Wellenlänge) umgewandelt.

### Transmission

Strahlung durchdringt (transmittiert) das Objekt, ohne dass sich die Wellenlänge der Strahlung ändert.

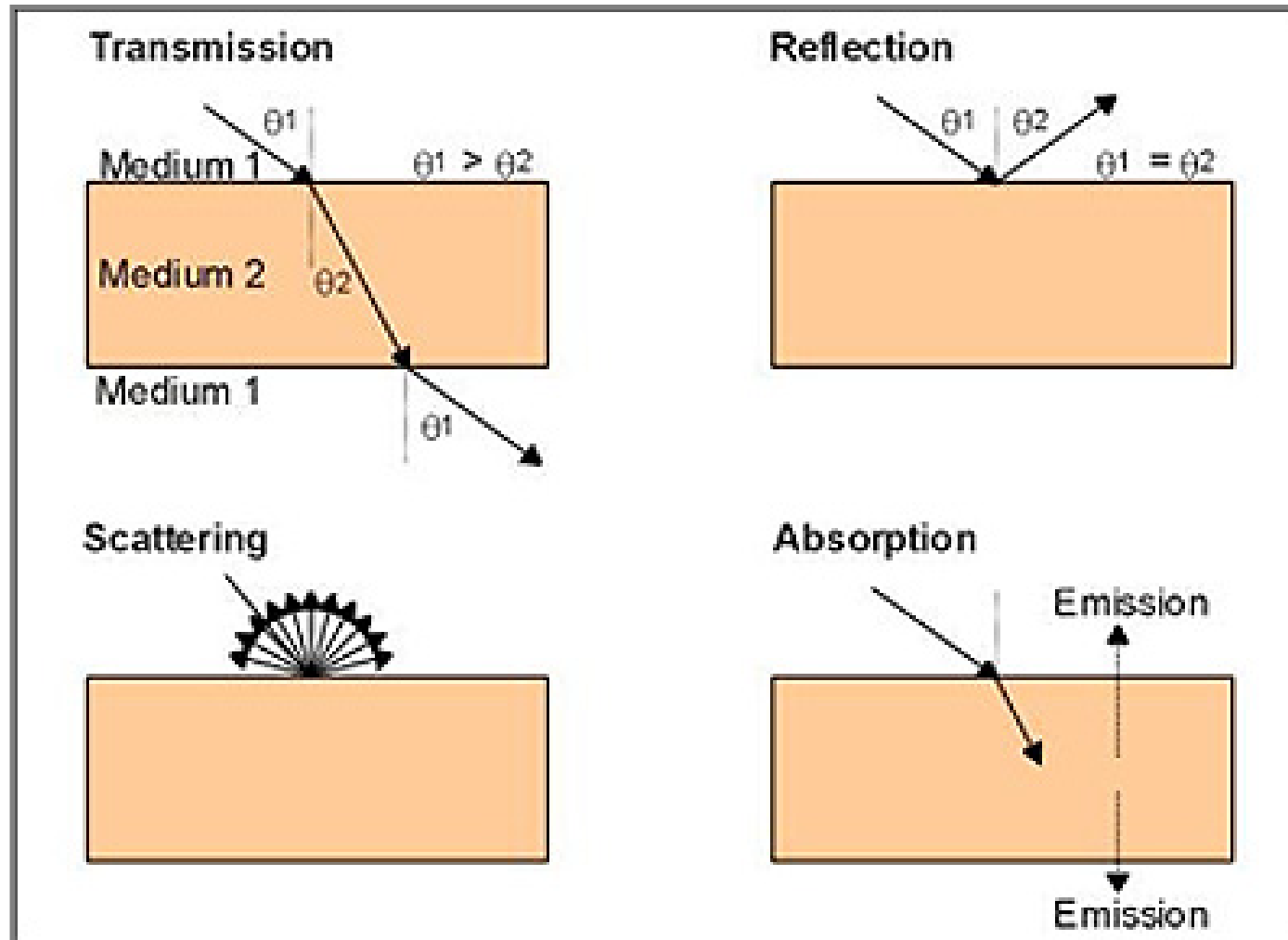
### Reflexion

Strahlung wird reflektiert. Man unterscheidet **gerichtete** und **diffuse** Reflexion.



Anteile von **Absorption**, **Transmission** und **Reflexion** variieren je nach Wellenlänge und abhängig von Art und Temperatur des Objektes!

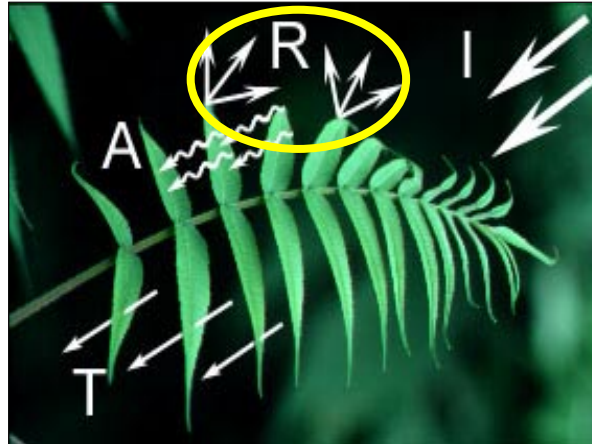
## Strahlung-Objekt-Interaktion



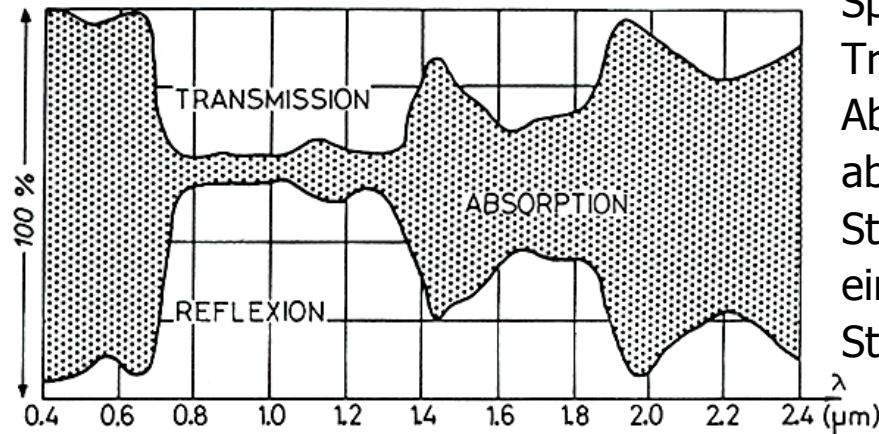
Fernerkundung



## Strahlung-Objekt-Interaktion



- I = ankommende Energie (Incident)
- A = Absorption
- T = Transmission
- R = Reflexion



Spektrale Reflexion, spektrale Transmission, spektrale Absorption: Reflektierte, absorbierte und transmittierte Strahlung als Anteil der auf ein Laubblatt auftreffenden Strahlung



Die **Reflexion** vom Objekt ist der ausschlaggebende Parameter für die Fernerkundung!

- siehe Kapitel Reflexionscharakteristika
- „spektrale Signaturen“

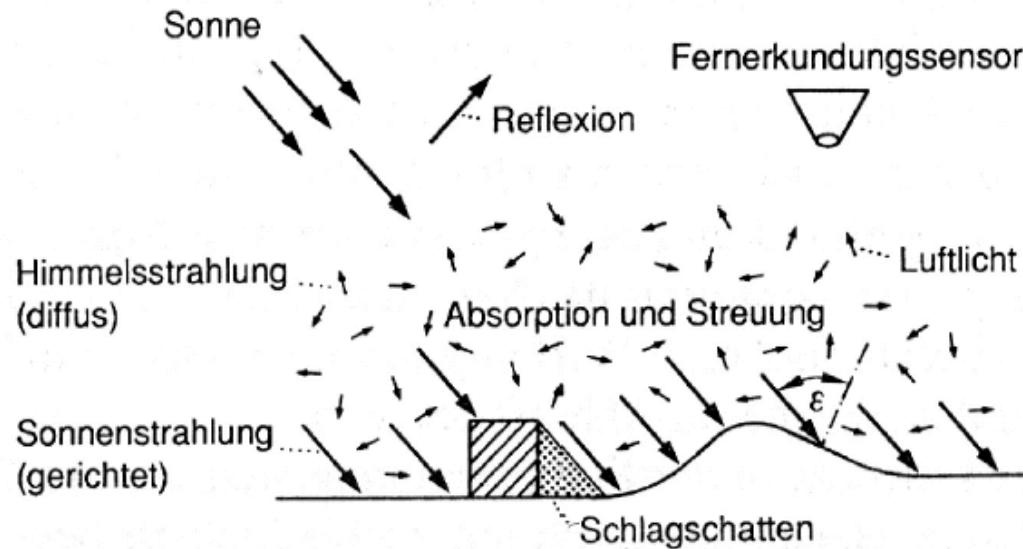
Fernerkundung



Technische Universität Dresden  
Institut für Photogrammetrie  
und Fernerkundung  
Lehrstuhl Fernerkundung

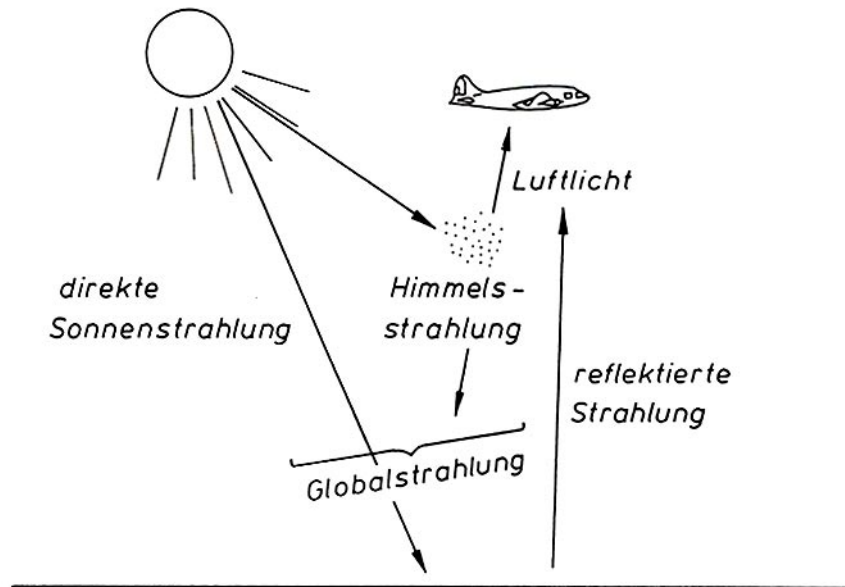
## Zusammenhang von Strahlung, Atmosphäre und Sensor

### Strahlungskomponenten



Quelle: ALBERTZ (1991), S.15

## Zusammenhang von Strahlung, Atmosphäre und Sensor



Von der Sonne ausgehende Strahlung wird in Atmosphäre teilweise absorbiert und teilweise gestreut. Restliche Anteil der Sonnenstrahlung erreicht als **direkte Sonnenstrahlung** die Geländeoberfläche.

Gestreute Strahlungsanteile „bestrahlen“ als **Himmelsstrahlung** ebenfalls die Geländeoberfläche.

Direkte Sonnenstrahlung und Himmelsstrahlung bilden zusammen die **Globalstrahlung**.

In Richtung Sensor gestreute Strahlung überlagert sich als **Luftlicht** der von der Geländeoberfläche **reflektierten Strahlung** (und wirkt kontrastmindernd auf das Fernerkundungsbild).

## Zusammenhang von Strahlung, Atmosphäre und Sensor

Die **Streuung** in der Atmosphäre ist von großer Bedeutung für die Beleuchtungsverhältnisse auf der Erdoberfläche und damit auch für die Fernerkundung.

Ohne sie wäre der Himmel so schwarz wie während einer klaren Nacht und die Sonne würde sich von ihm extrem hell und scharf abheben. Durch Streuung wird jedoch der ganze Raum mit einer diffusen Strahlung erfüllt, so dass er zur sekundären Energiequelle wird (Albertz, 1991) und in jede Richtung Strahlung abgibt. Diese **diffuse Himmelsstrahlung** hat ihr Maximum im kurzwelligen Bereich, im ultravioletten und blauen Wellenlängenbereich (blauer Himmel).



Mit zunehmender Trübung der Atmosphäre (Dunst, Staub, Wasserdampf, etc.) nimmt die Streuung und damit die Intensität der Himmelsstrahlung zu, der Relativanteil der kurzwelligen Strahlung jedoch ab (grau-weißliche Himmelsfarbe).

## Zusammenhang von ... über den Wolken ... Strahlung, Atmosphäre und Sensor

**Bender & Gudd**  
Infodienst für Wetter und Natur

**Die Reise beginnt!**

Sammeln Sie Punkte und lassen Sie es regnen! Wie Sie das machen? Ganz einfach: Mit Ihrer PC-Maus und mit ein bißchen Grips. Je mehr Fragen Sie richtig beantworten, umso besser! Am Ende wissen Sie nicht nur alles über Wolken - es winkt sogar eine Super-Überraschung als Download!!

**Dieser blaue Himmel bietet mehr, als Sie ahnen...**



**Warum ist der wolkenfreie Himmel tagsüber eigentlich blau?**

- Das sind die Wassermoleküle in der Luft. Wasser ist ja schließlich blau.
- Das ist der blaue Dunst aus den Ex-Raucherabteilen der Lufthansa.
- Sonnenlicht wird an den Luftmolekülen gestreut. Was übrig bleibt, erscheint blau.
- Was soll er sonst sein? Etwa grün?

Und ab geht's

Home  
Wetter  
Shop  
Produkte  
Über uns

## Emission von Strahlung



### Grundprinzip:

Jeder Körper, dessen Temperatur größer als 0° Kelvin ist, sendet elektromagnetische Strahlung unterschiedlicher Wellenlängenbereiche aus, er **emittiert Strahlung**.

Die Menge der Energie, die der Körper abstrahlt, hängt von seiner Temperatur und seiner Emissivität ab und ist eine Funktion der Wellenlänge.

### Plank'sches Gesetz:

beschreibt die Strahlungsleistung eines Körpers als Funktion der Temperatur ( $T$ ) und der Wellenlänge ( $\lambda$ ).

### Stefan-Boltzmann Gesetz:

Je höher die Temperatur eines Körpers, umso mehr Energie strahlt er ab.

$$M \text{ (abgestr. Energie)} = \sigma T^4 \text{ (T in } ^\circ\text{K)}$$

( $\sigma$  = Stefan-Boltzmann Konstante)

### Wien'sches Verschiebungsgesetz:

Je höher die Temperatur eines Körpers ist, umso kurzwelliger ist das Maximum der Emission.

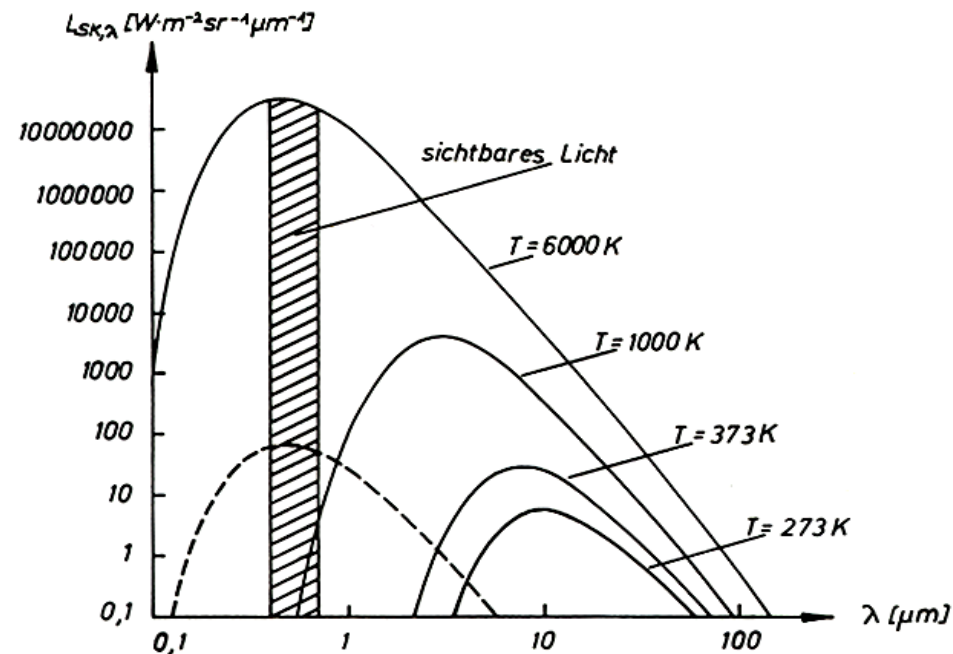
$$\lambda_{\max} \text{ (in } \mu\text{m)} = 2897.9 / T \text{ (in } ^\circ\text{K)}$$



## Emission von „Schwarzer Körper“:

Strahlung Körper, der bei jeder Temperatur das jeweilige Maximum an Energie ausstrahlt („idealer“ Strahler).

Die thermische Ausstrahlung eines **schwarzen** Körpers ist **nur** von der Temperatur  $T$  abhängig und wird durch das Plancksche Strahlungsgesetz beschrieben



Spektrale Strahldichte von schwarzen Körpern verschiedener Oberflächentemperaturen

gestrichelt : von der Erde reflektierte Sonnenstrahlung ( $\rho = 0.1$ )

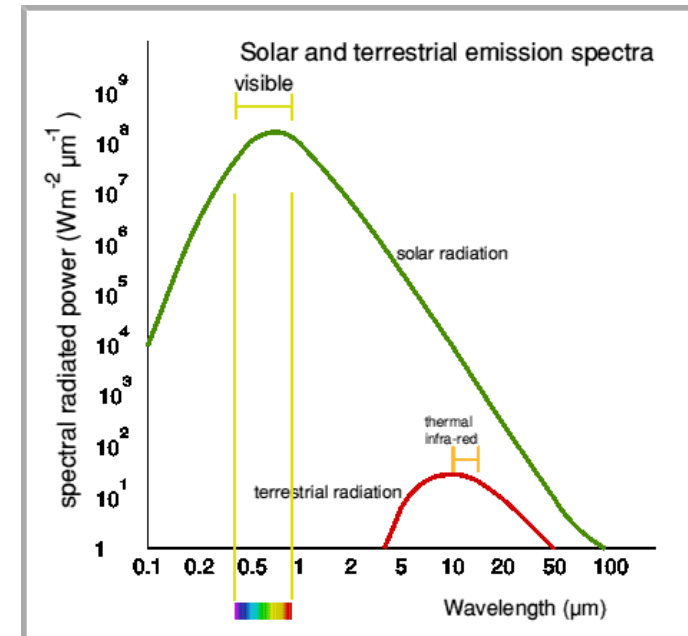
## Emission von **Anwendung der Emissionsgesetze:**

Strahlung (1) Die maximale Sonnenstrahlung liegt bei ca.  $0.5 \mu\text{m}$ . Für diesen Bereich ist auch das menschliche Auge sensibilisiert. Mit dem Wienschen Verschiebungsgesetz ergibt sich, dass die **Sonne** eine Oberflächentemperatur haben muss von:

$$T_{\text{Sonne}} = 2898/0.5 = 5800 \text{ K}$$

(2) Die Erdoberfläche hat eine Temperatur von etwa 300 K. Nach dem Wienschen Verschiebungsgesetz erhält man die Wellenlänge, mit der die **Erde** am stärksten strahlt:

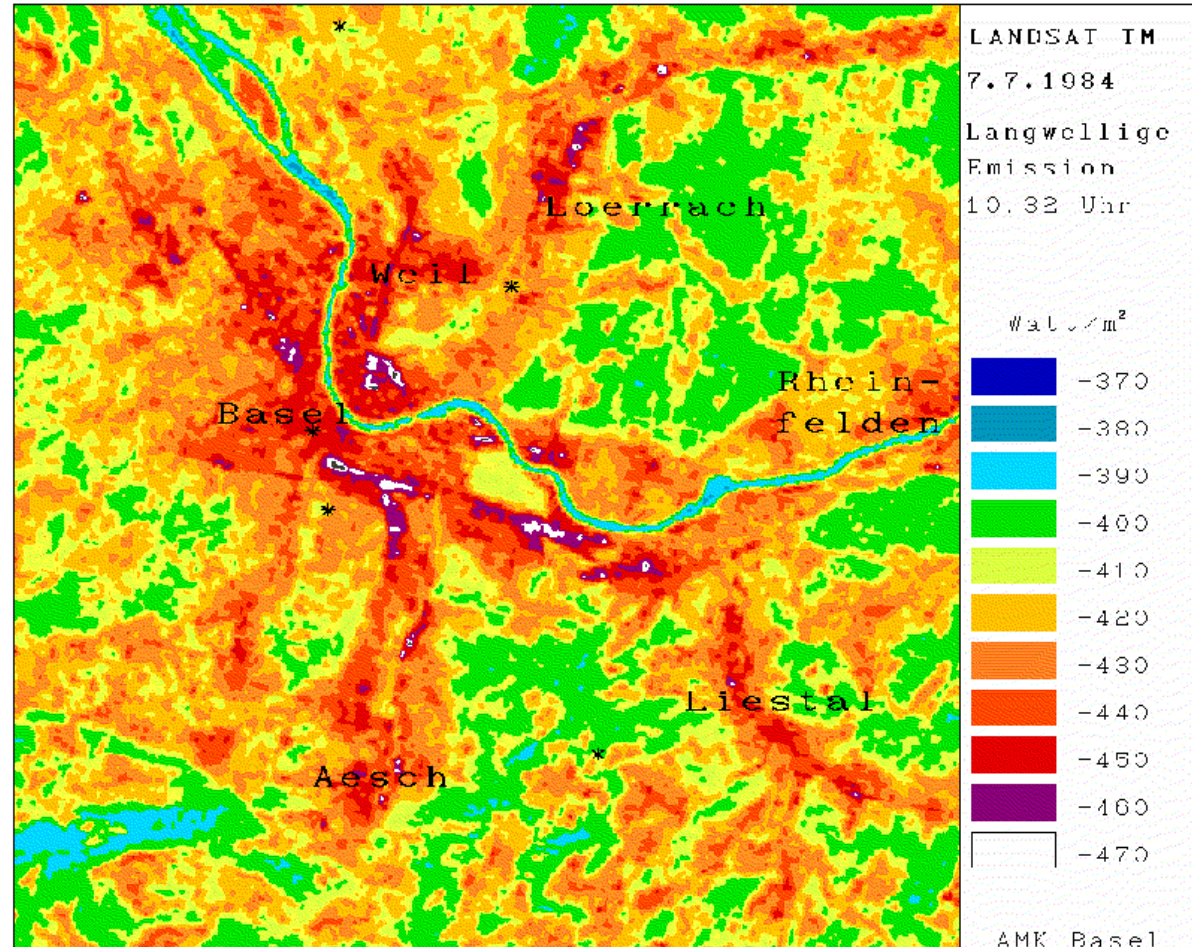
$$\lambda_{\text{max}} = 2898/300 = 9.7 \mu\text{m}$$



## Emission von Strahlung

Langwellige Emission, abgeleitet aus Landsat-TM-Daten,  
Ausschnitt Basel

Landsat-TM-Aufnahme vom 7.7.1984, 10.32 Uhr



Fernerkundung



Technische Universität Dresden  
Institut für Photogrammetrie  
und Fernerkundung  
Lehrstuhl Fernerkundung

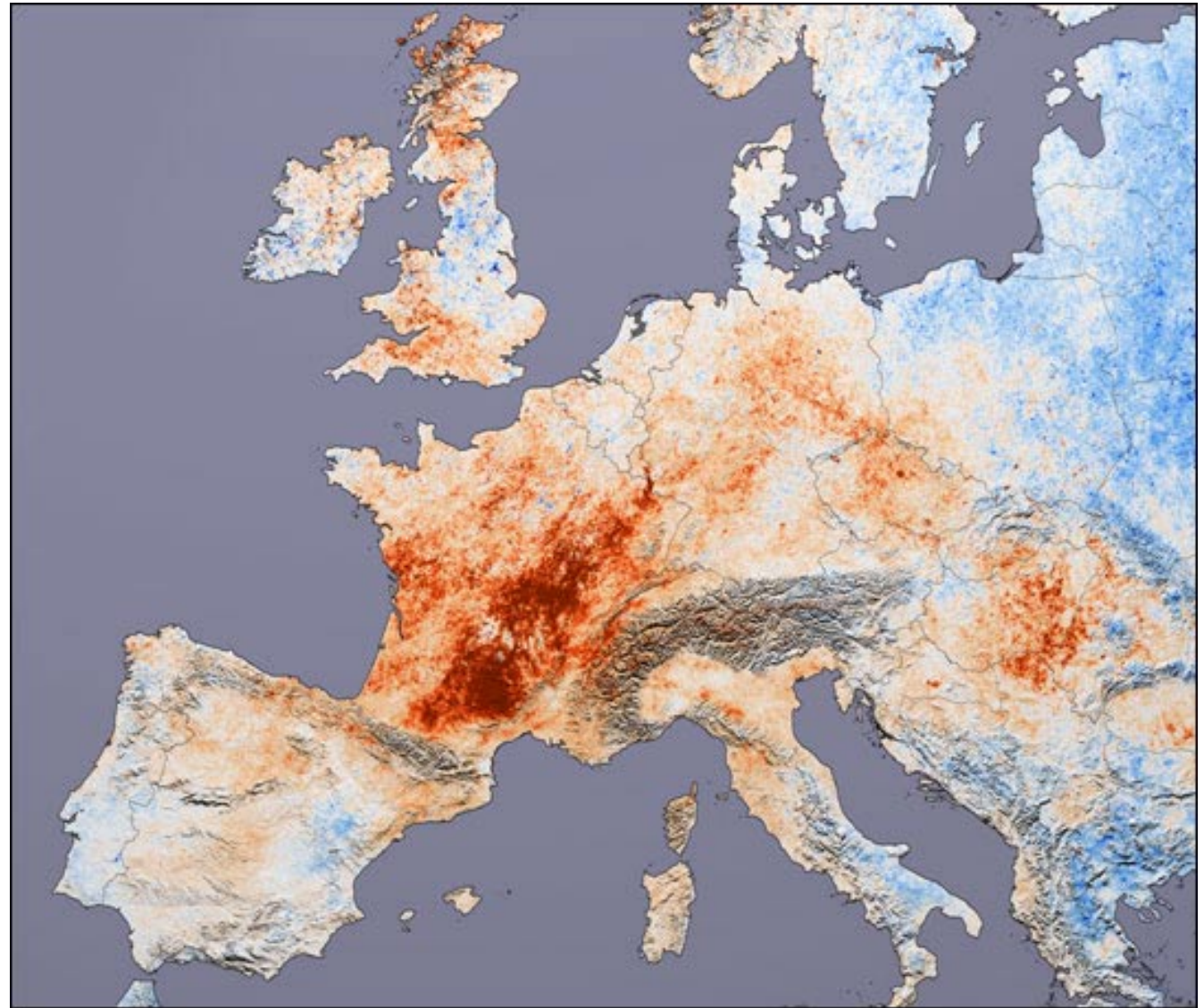


## Emission von Strahlung

### European Heat Wave

This image shows the differences in day time land surface temperatures collected in July 2001 and July 2003 by the **Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)** on NASA's Terra satellite.

A blanket of deep red across southern and eastern France shows where temperatures were 10 degrees Celsius hotter in summer 2003.



Fernerkundung



Technische Universität Dresden  
Institut für Photogrammetrie  
und Fernerkundung  
Lehrstuhl Fernerkundung

Temperature Anomaly ( $^{\circ}$  C)

