

## Wie das unsichtbare Infrarotweltall seine Geheimnisse Preis gibt

Cecilia Scorza

Einen großen Teil ihrer Information über die kosmischen Objekte erhalten die Astronomen im Infrarotbereich, einem Bereich der elektromagnetischen Strahlung, den wir nicht mit unseren Augen, sondern nur mit Hilfe spezieller Detektoren wahrnehmen können. Weil der Wasserdampf der Wolken in der Atmosphäre die Infrarotstrahlung absorbiert, gelangt nur ein winziger Teil davon zur Erde. Dies wollen wir auf einfache Art und Weise den Schüler erleben lassen. Astronomen mussten jahrzehntelang Wege suchen, um dieses Hindernis zu überwinden, damit sie neue Erkenntnisse z. B. über die Zusammensetzung der Atmosphären von Planeten oder die Entstehung von Sternen in riesigen Gaswolken gewinnen konnten. In diesem Beitrag finden Sie eine kurze Einführung in die Welt der Infrarotastronomie. Es wird gezeigt, wie die Infrarottechnik jedem Schüler täglich begegnet.

Übersicht der Bezüge im WiS!-Beitrag		
Astronomie	Astropraxis	Infrarotbeobachtung
Physik	Schwingungen und Wellen, Thermodynamik	elektromagnetisches Spektrum, Infrarot, thermische Lichtquellen, Absorption
Fächerverknüpfung	Astronomie-Werken (Technik)	IR-Dioden



**Abbildung 1:** Gemeinsam haben NASA und DLR die fliegende Infrarotsternwarte SOFIA entwickelt und werden sie ebenso gemeinschaftlich betreiben. Von dieser einzigartigen Beobachtungsplattform aus werden die Astronomen ihre ersten wissenschaftlichen Beobachtungen im Jahr 2009 durchführen.

### Einleitung: Ein kurzer Blick in das unsichtbare Infrarotweltall

Wenn wir Abb. 2 betrachten, glauben wir im ersten Augenblick eine Aufnahme der Sonne zu sehen. Nie würden wir auf der Idee kommen, das es sich um ein (Infrarot-)Bild der Erde handelt! Ähnlich ist es auch bei anderen astronomischen Objekten, seien es nun Planeten, Asteroiden, Kometen, Sterne oder ferne Galaxien - sie erscheinen uns im Infraroten meist anders als im visuellen Bereich. Gerade diese Andersartigkeit zeigt uns, dass der andere Wellenlängenbereich neue Informationen offenbart. Ein astronomisches Objekt lässt sich physikalisch um so besser beschreiben, je mehr Beobachtungen bei unterschiedlichen Wellenlängen wie in einer Art Puzzle zusammen gebracht und erklärt werden können.

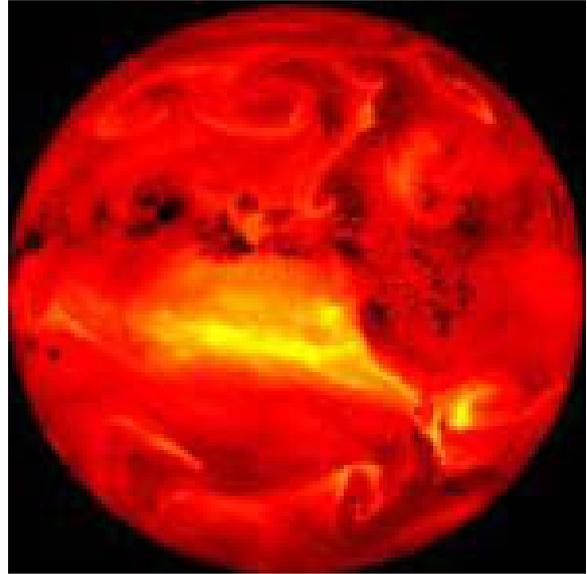
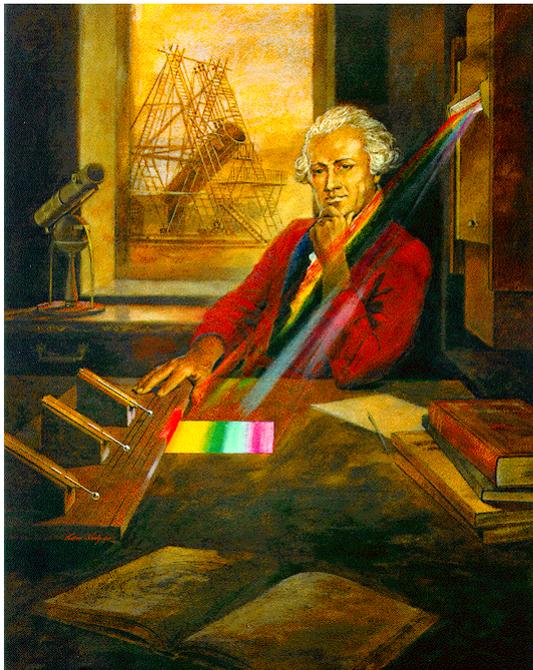


Abbildung 2: Infrarotbild der Erde

### Was ist Infrarotstrahlung?

Entdeckt wurde die Infrarotstrahlung per Zufall als der deutsche Astronom William Herschel im Jahre 1800 an einem Sonnenspektrum die Temperatur der unterschiedlichen Spektralfarben maß. Er wollte herausfinden, ob es Farben gibt, die mehr Wärme als andere transportieren.



Erzählt wird, dass sich das Sonnenspektrum nach einer kurzen Arbeitspause auf seinem Tisch verschoben hatte. Zu seiner Überraschung stellte Herschel fest, dass jenseits der roten Farbe des Spektrums, dort wo scheinbar das Spektrum aufhört, eines der Thermometer die höchste Temperatur anzeigte. Herschel entdeckte so die unsichtbare Infrarotstrahlung.

Heut zu Tage können wir diese Strahlung anders nachweisen, zum Beispiel mit unseren Handy-Kameras. Man braucht nur eine Fernbedienung anzuschalten und durch die Kamera zu betrachten. Der unsichtbare Infrarotstrahl, der uns erlaubt, Geräte fern zu bedienen, wird sichtbar!

*(Siehe Arbeitsblatt „IR-Handy“)*

Abbildung 3: William Herschel bei den Messungen der Farbtemperaturen im Sonnenspektrum

## Die elektromagnetische Strahlung

Die Infrarotstrahlung ist Teil des elektromagnetischen Strahlungsspektrums. Vertraut sind wir mit dem sichtbaren Teil der elektromagnetischen Strahlung, den wir unter dem Namen „Licht“ kennen. Licht kann als Wellenphänomen beschrieben werden. Hierbei spricht man von elektromagnetischen Wellen. Die „Wellensorte“ wird durch zwei Größen charakterisiert: die Wellenlänge  $\lambda$  - der Abstand zwischen zwei Wellenbergen oder Wellentälern - und die Frequenz  $f$ , die uns sagt, wie viele Wellenberge oder Wellentäler pro Sekunde bei uns

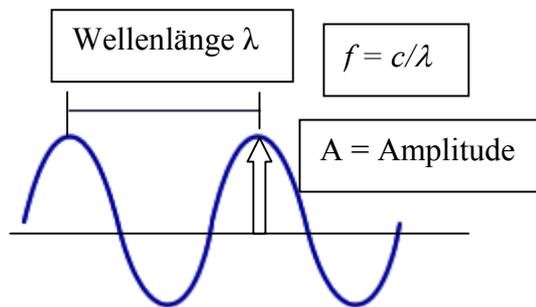


Abbildung 4: Parameter einer Welle

ankommen. Je kürzer die Wellenlänge ist, desto mehr Wellen können pro Sekunden gezählt werden, und entsprechend höher ist die Frequenz (siehe Abb. 4). Umgekehrt wird die Frequenz kleiner, wenn die Wellenlänge zunimmt. Da sich alle elektromagnetischen Wellen (im Vakuum) mit einer Geschwindigkeit  $c \approx 300.000$  km pro Sekunde bewegen, lässt sich die Frequenz aus der Wellenlänge  $\lambda$  über die Beziehung  $f = c/\lambda$  berechnen.

Uns allen ist das Farbspektrum des Sonnenlichtes aus einem Versuch mit einem Prisma bekannt. Nun, das farbige Spektrum des Lichts wird durch elektromagnetische Wellen erzeugt, die unterschiedliche Frequenzen haben. Die Wellen des Violettbereiches haben eine höhere Frequenz als die des Blauenbereiches und diese wiederum eine höhere als diejenigen aus dem roten Bereich.

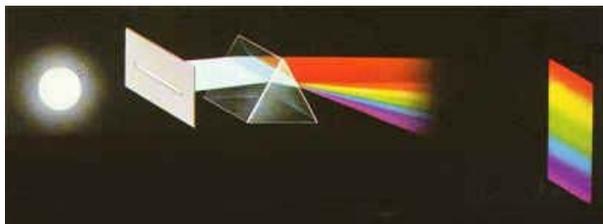
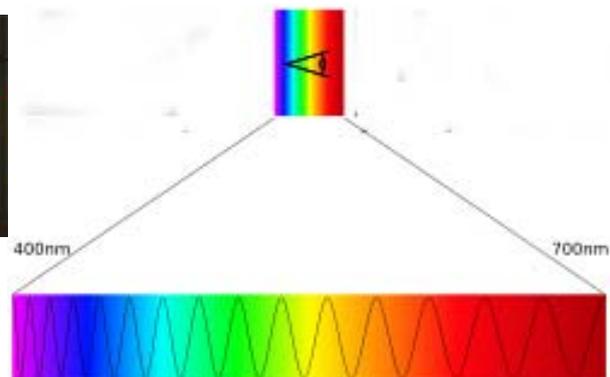


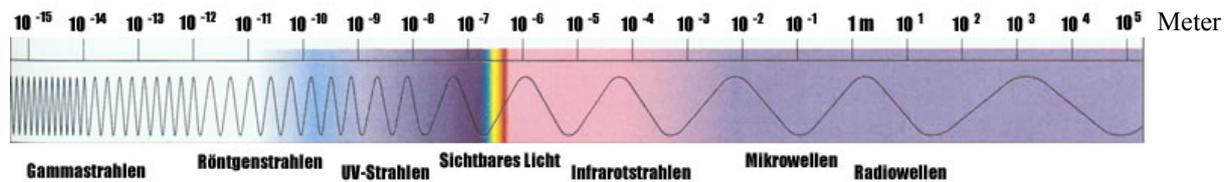
Abbildung 5: Farbspektrum des Lichtes. Das Lichtspektrum besteht aus Farben, deren Wellen unterschiedliche Wellenlängen besitzen.



Das Farbspektrum des Lichtes, das für uns sichtbar ist, stellt jedoch nur einen sehr kleinen Ausschnitt des gesamten elektromagnetischen Spektrums dar. Jenseits des Rot- und des Violettbereichs erstreckt sich das elektromagnetische Spektrum weiter zu kleineren (Ultraviolett-, Röntgen- und Gammastrahlung) und größeren (Infrarot-, Mikrowellen- und Radiostrahlung) Wellenlängen. Diese elektromagnetischen Wellen können wir mit unseren Augen nicht wahrnehmen, weil die „Detektoren“ unserer Augen (die Sehzellen in der Netzhaut des Auges) nicht empfindlich dafür sind.

*Das „Spektrino“, ein Modell zur Veranschaulichung des elektromagnetischen Spektrums wird im Arbeitsblatt „Spektrino“ vorgestellt.*

Elektromagnetische Wellen transportieren Energie. Die Strahlungsenergie einer Welle hängt von der Frequenz und von der Amplitude der Welle ab. Je höher die Frequenz, desto mehr Energie kann von einem Strahl transportiert werden:  $E \sim f$  (5 Hammerschläge pro Sekunde auf einen Amboss übertragen mehr Energie als nur 3 Hammerschläge). Je größer die Amplitude der Welle, desto mehr Energie wird transportiert (ein Vorschlaghammer überträgt mehr Energie als ein Goldschmiedehammer). Die Gammastrahlung (sehr hohe Frequenz, Abb. 6 links) ist am energiereichsten, die Radiostrahlung (sehr niedrige Frequenz, Abb. 6 rechts) am energieärmsten.



**Abbildung 6:** Darstellung des gesamten elektromagnetischen Spektrums

Eine Quelle der elektromagnetischen Strahlung sind die so genannten thermischen Quellen. Hier wird die kinetische Energie der thermisch „zappelnden“ Teilchen eines Körpers in Strahlungsenergie umgewandelt. Beispiele sind Glühlampen, brennendes Holz, die Sterne oder unsere Körper. Erhitzt man z. B. eine Eisenstange, beginnt sie nach einiger Zeit zu glühen. Bei einer Temperatur von  $50^\circ\text{C}$  liegt das Strahlungsmaximum im mittleren Infrarotbereich (für uns nicht sichtbar) und entsprechend nehmen wir keine Änderung in der Farbe des Eisenstanges wahr. Jedoch bei  $1100^\circ\text{C}$  ist das Licht dunkelorange und bei einer Temperatur von  $1300^\circ\text{C}$  ist es weiß. Je heißer ein thermischer Strahler ist, desto kleiner sind die Frequenzen der erzeugten elektromagnetischen Wellen.

### Die Infrarotstrahlung als Teil des elektromagnetischen Spektrums

Die Infrarotstrahlung befindet sich im Wellenlängenbereich zwischen dem visuellen (roten) Licht und den Mikrowellen (siehe Abb. 6). Sie wird in drei Hauptbereiche unterteilt:

- nahes Infrarot (NIR): 0,7 bis 4,0 Mikrometer ( $\mu\text{m}$ )
- mittleres Infrarot (MIR): 4,0 bis 40  $\mu\text{m}$
- Ferninfrarot (FIR): 40 bis 300  $\mu\text{m}$

Außerdem gibt es den Submillimeterbereich zwischen 300 und 1000  $\mu\text{m}$ .

Strahlung aus dem mittleren Infrarotbereich (MIR) wird auch Wärmestrahlung genannt, weil wir sie als warm empfinden. Es scheint uns paradox zu sein, dass wir diesen Bereich der Infrarotstrahlung als „Wärme“ wahrnehmen, wissend, dass die elektromagnetischen Wellen des Infrarotbereiches weniger Energie transportieren als z. B. die der Röntgenstrahlung (die, eine höheren Frequenz besitzen). Dies kann man sich mit der Tatsache erklären, dass die MIR-Strahlung in der Lage ist, ganze Moleküle der Körper oder Objekte, auf die sie einwirkt, in Bewegung zu bringen – so auch die Moleküle in unserer Haut. Im Gegensatz dazu wirkt die Röntgen- und Gammastrahlung auf sub-atomarer Ebene auf Gegenstände ein. Wir nehmen sie nicht wahr, aber unsere Atome werden davon beschädigt!

### Infrarotastronomie

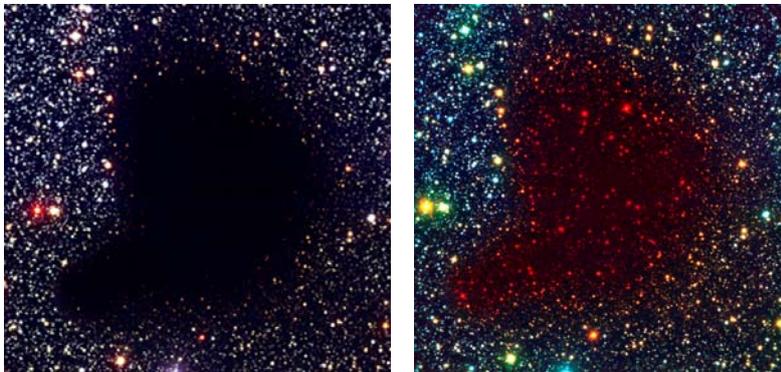
Viele astronomische Objekte besitzen niedrige Temperaturen und strahlen entsprechend hauptsächlich im Infrarotbereich. Beispiele sind die Asteroiden, Monde, Kometen (wenn sie weit weg von der Sonne sind) und auch der Staub, der unseren Mond bedeckt.

Die Gasplaneten wie Saturn und Jupiter strahlen im Infraroten sogar mehr Energie ab als sie von der Sonne bekommen. Dies rührt her von der Kontraktion der Planeten, die dazu führt, dass das Gas erhitzt wird und entsprechend im Infraroten strahlt.



**Abbildung 7:** Infrarotbild des Planeten Jupiter. Der helle Punkt ist der Jupitermond Io, der sehr aktive Vulkane besitzt und entsprechend eine helle Infrarotquelle ist.

Von großem Interesse ist die Erforschung entstehender Sterne (und Planeten), die in dunklen Staub- und Gaswolken eingebettet sind. Diese Objekte sind jedoch nicht im sichtbaren (visuellen) Licht zu sehen, weil der Staub den sichtbaren Anteil ihrer Strahlung absorbiert. Strahlung, die eine größere Wellenlänge hat als die Staubkörner groß sind (im Mikrometerbereich, also Infrarot), kann sich fast ungehindert in den Wolken ausbreiten.



**Abbildung 8:** Die Dunkelwolke B68 in visuellem Licht (links) und in NIR (rechts). Bild ESO

### Warum die Astronomen in die Luft gehen müssen

Ein großes Hindernis für Beobachtungen im Infraroten stellt die starke Absorption der Infrarotstrahlung in der Erdatmosphäre dar. Das größte Hindernis ist dabei der Wasserdampf. Schon bei relativ geringer Luftfeuchtigkeit sind Messungen im IR praktisch unmöglich, und das, obwohl der Himmel wolkenlos erscheint. Eine Lösung fanden die Astronomen in den flugzeuggetragenen Sternwarten, wie KAO und SOFIA. Diese können Höhen erreichen, in denen kaum noch Wassermoleküle existieren - das Infrarotweltall kann somit deutlich besser erforscht werden.

*Auf dem Arbeitsblatt „IR-Absorption-H<sub>2</sub>O“ finden Sie einen einfachen Versuch zur Absorption der Infrarotstrahlung in Wasser.*