

Wissenschaft in die Schulen – Zusatzinformationen für Lehrer

Thema: Unsichtbares „Licht“ – Infrarotastronomie im Schulunterricht

Autor: Dr. Oliver Schwarz, Universität Koblenz-Landau

Die Entwicklung der Physik im zurückliegenden Jahrhundert ist schon vielfach charakterisiert worden. Aus didaktischer Sicht war diese Entwicklung auch ein immer weiteres Entfernen von der sinnlich wahrnehmbaren Naturforschung hin zu den - menschlichen Sinnen nicht zugänglichen - Teilen der materiellen Welt, die wir uns nur mithilfe von Modellvorstellungen oder komplizierten Apparaten zugänglich machen. Die Schulphysik konnte diese Entwicklung (natürlich auch aus guten Gründen) nur teilweise mitgehen: Das typische Schulexperiment arbeitet noch immer mit Massen im Kilogramm-Bereich, mit Temperaturen in der Nähe der menschlichen Körpertemperatur, mit hörbaren Schallwellen und mit der sichtbaren elektromagnetischen Strahlung. Entsprechend eingeschränkt ist der physikalische Blick der Schüler, der umso stärker mit ihrer eigenen Alltagserfahrung kontrastiert, je mehr die menschliche Umgebung mit technischen Geräten und Entwicklungen aus der modernen Physik an- und ausgefüllt wird.

In der Optik wird dieses Phänomen im wahrsten Sinne des Wortes „augenscheinlich“:

Für den relativ schmalen Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes (780 nm–390 nm) werden in allen Schularten brechende und beugende Systeme, Linsenarten, optische Geräte und technische Anwendungen besprochen. Lernt der Schüler dann - meist gegen Ende seines Physikunterrichtes - in den höheren Klassenstufen den „Rest“ des elektromagnetischen Spektrums kennen, dann werden naheliegende Fragen nur teilweise oder gar nicht geklärt, wie beispielsweise:

- Gibt es spezielle Linsen für Infrarotstrahlung?
- Kann man ein Fernrohr für Röntgenstrahlung bauen?
- Funktioniert ein versilberter Spiegel für Mikrowellen ebenso wie für sichtbares Licht?
- Wie registriert man die Richtung einfallender Gamma-Strahlung?
- Wie würde die Welt aussehen, wenn die menschlichen Augen Infrarotstrahlung wahrnehmen könnten?

Den wohl größten *zusammenhängenden Überblick* über alle Bereiche des elektromagnetischen Spektrums hat sich die Astronomie verschafft! Und sie beantwortet auch die Frage, wie die Welt in diesen einzelnen Spektralbereichen „aussieht“.

Zur Behandlung im Schulunterricht eignet sich besonders der Komplex Infrarotstrahlung/Infrarotastronomie – lassen sich doch ohne größeren Aufwand Experimente zur Infrarotstrahlung durchführen, sodass der Lehrer nicht nur auf theoretischen Unterricht angewiesen ist.

Einfache Schulexperimente zur Infrarotstrahlung

Verdeutlichen wir uns zunächst den Wellenlängenbereich der Infrarotstrahlung:

Das nahe Infrarot schließt sich an den roten Bereich des sichtbaren Lichtes an und beginnt bei etwa 800 nm. Bis etwa 5 μm spricht man vom nahen, bis rund 30 μm vom mittleren und darüber hinaus vom fernen Infrarot, dass ab etwa 300 μm in den Submillimeterbereich übergeht.

Die physikalischen Voraussetzungen zur Registrierung des nahen Infraroten unterscheiden sich kaum von denen zur Untersuchung des sichtbaren Lichtes. Dies ist für die technische Seite der Infrarotastronomie von großem Belang und kann anhand einiger einfacher Experimente verdeutlicht werden.

Versuch 1: Existenz einer lichtähnlichen elektromagnetischen Strahlung im Anschluss an den Wellenlängenbereich des roten Lichtes

Versuchsmaterialien: Lichtquelle (Glühlampe) mit Kondensorlinse, Sammellinse, Spalt, Glasprisma, Spiegelreflexkamera mit frei wählbarer Belichtungszeit, Infrarotkleinbildfilm, Infrarotfilter.

Aufbau

und Durchführung:

Man erzeugt das kontinuierliche Spektrum der Lichtquelle, indem man den gut ausgeleuchteten Spalt mithilfe der Sammellinse scharf auf einer Projektionsfläche abbildet und anschließend das Prisma hinter dem Spalt platziert. An der Projektionsfläche wird das wahrnehmbare rote Ende des Spektrums markiert. Als dann wird das Spektrum mit dem Infrarotfilm fotografiert. Um den sichtbaren Bereich des Spektrums sicher auszublenden, muss dazu unbedingt ein Infrarotfilter vor dem Objektiv der Kamera angebracht werden.

Resultat:

Jenseits des roten Lichtes hat das Spektrum der Lichtquelle weitere Anteile.

Probleme:

Das wohl größte Problem dieses Versuches dürfte die Beschaffung des Filmmaterials sein. Obwohl praktisch alle größeren Hersteller Infrarotfilme anbieten (z.B. Kodak HIE oder

Konica 750) kann man sie zumeist nicht beim Händler um die Ecke kaufen, schon gar nicht in kleineren Stückzahlen. Im Internet ist die Bestellung meist problemlos. Die Filme müssen gekühlt gelagert werden. Der Innenbelichtungsmesser liefert Angaben, die beim Einsatz von Infrarotfilmen allenfalls als ganz grobe Richtwerte angesehen werden können. Unerlässlich ist also die Aufnahme einer ganzen Bildsequenz mit verschiedenen Belichtungszeiten, die je nach Blendenwahl zumeist zwischen 0,5 und 10 Sekunden variieren können.

Versuch 2:

Infrarotstrahlung als Teil der thermischen Strahlung

Versuchsmaterialien:

Zwei über einen Vorwiderstand regelbare identische Glühlampen (12 V oder 24 V), Schülernetzgerät, Spiegelreflexkamera mit Infrarotfilter, Infrarotfilm.

Aufbau und Durchführung:

Teil a) Der Versuch erfolgt in einem abgedunkelten Raum. Man regelt die Spannung an der zunächst gelblich leuchtenden Glühlampe herunter; deren Glühfarbe wechselt dabei vom hellroten hin zum dunkelroten Leuchten. Kurz nachdem man das letzte Licht der Lampe wahrnehmen konnte, beendet man die Spannungsregulierung und nimmt mit einer längeren Belichtungszeit das Bild der Glühlampe auf (Infrarotfilter nicht vergessen). Auf den Bildern erkennt man eine leuchtende Glühwendel (Abb.1).



Abb. 1

Teil b) Bei unveränderter Spannungseinstellung schraubt man die Glühlampe heraus und setzt stattdessen eine noch nicht erwärmte identische Glühlampe ein. Nach einiger Zeit ist die von dieser Glühlampe emittierte Wärmestrahlung zu spüren.

Resultat: Auch im nicht sichtbaren Wellenlängenbereich geht von erhitzten Körpern elektromagnetische Strahlung aus. Dieser Teil der Temperaturstrahlung liegt in einem langwelligen Spektralbereich, der sich an das rote Licht anschließt.

Probleme: Dieser und der vorherige Versuch leiden unter dem zeitversetzten „AHA-Effekt“, jedenfalls dann, wenn die belichteten Filme in ein Labor eingeschickt werden. Schwarz-Weiß-Infrarotfilme lassen sich zwar selbst entwickeln, man benötigt aber einen völlig dunklen Raum und eine wärmeunempfindliche Edelstahlentwicklerdose.

Versuch 3: Nachweis von Infrarotstrahlung mit CCD-Chips
Die Hersteller treiben teilweise größeren Aufwand, um den CCD-Chips ihrer handelsüblichen Fotodigitalkameras die Infrarotempfindlichkeit abzugewöhnen; zum Glück (für unsere Zwecke) ist dies aber nicht vollständig gelungen. Als Infrarotquelle eignen sich Fernbedienungen hervorragend, die je nach eingebauter Leuchtdiode Strahlung im Wellenlängenbereich von 900 nm bis ca. 1200 nm emittieren.

Versuchsmaterialien: Digitalkamera (oder Videokamera), Infrarotfernbedienung, optisches Gitter, Spiegel

Aufbau und Durchführung:

Teil 1: Man bestrahlt die Kamera in einem abgedunkelten Raum mit der gedrückt gehaltenen Fernbedienung. Die Aufnahmen zeigen einen leuchtenden Punkt – die Fotodiode (Abb. 2, 3).



Abb. 2

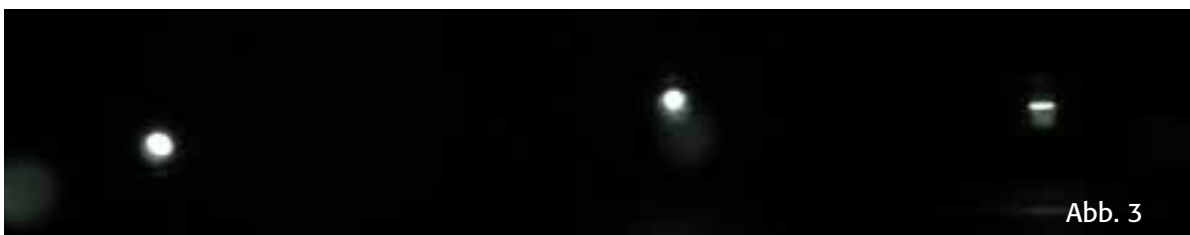


Abb. 3

Teil 2: Man hält zwischen Digitalkamera und Fernbedienung ein optisches Gitter. Auf den CCD-Bildern sind die Beugungsbilder der Fotodiode zu erkennen (Abb. 4)



Abb. 4

Teil 3: Man richtet die Fernbedienung auf einen Spiegel und fotografiert diesen Spiegel aus der Richtung, in der sich dem Reflexionsgesetz folgend elektromagnetische Strahlen ausbreiten müssten. Tatsächlich erkennt man im Spiegelbild der Fernbedienung die leuchtende Infrarotdiode.

Resultat: Nahe Infrarotstrahlung kann unter Ausnutzung des lichtelektrischen Effektes mithilfe von CCD-Chips registriert werden. Diese Strahlung besitzt wegen der beobachteten Beugungsphänomene Welleneigenschaften. Sie wird von verspiegelten Oberflächen reflektiert.

Infrarotbeobachtung in der Astronomie

Die oben geschilderten Experimente stellen eine solide Grundlage dar, auf welcher die Schüler eigene Vorstellungen zum Aufbau von Infrarotteleskopen entwickeln können. Die Fähigkeit zur Reflexion infraroter Strahlung legt die Nutzung von Spiegelteleskopen nahe. Bewährt hat sich der Einsatz von Geräten des Typs Cassegrain. Da Infrarotstrahlung auch von den Bauteilen des Teleskops ausgeht, müssen diese, ebenso wie die Strahlungsdetektoren selbst, eventuell gekühlt und natürlich, bis auf den Hauptspiegel, möglichst klein gebaut werden. Als Detektoren im nahen Infrarot eignen sich spezielle CCD-Chips, andere Wellenlängenbereiche werden mithilfe von Mikrobolometer-Detektor-Anordnungen erforscht. Ein Bolometer ist ein Bauteil, in dem die einfallende Strahlung eine Temperaturerhöhung bewirkt, die dann anhand von thermoelektrischen Effekten (Widerstandsänderung) gemessen wird. Die Welleneigenschaften der Infrarotstrahlung gestatteten prinzipiell die Zusammenschaltung mehrerer Teleskope in Interferometeranordnungen.

Erdgebundene Infrarotastronomie

Die Abb. 5 zeigt die Durchlässigkeit der Erdatmosphäre für Licht und nahe Infrarotstrahlung. Man erkennt die sehr selektive Absorption dieser Strahlung, die durch verschiedene Moleküle in der irdischen Gashülle verursacht wird. Da im Schulunterricht selbst bis zur Abiturstufe allenfalls die diskrete Absorption einzelner Linien im bohrschen Atommodell und nicht die Molekülabsorption besprochen wird, sollte man es bei einer einfachen Interpretation des atmosphärischen Absorptionsspektrums belassen. Wichtig ist jedoch der Hinweis auf die besondere Rolle des Wasserdampfes als absorbierendes Material und die Existenz einzelner Infrarotfenster. In großen Höhen gibt es kaum noch Wasserdampf in der Erdatmosphäre. Somit erklärt sich die Bevorzugung von Flugzeugteleskopen bzw. die Standortwahl auf extrem hohen Bergen.

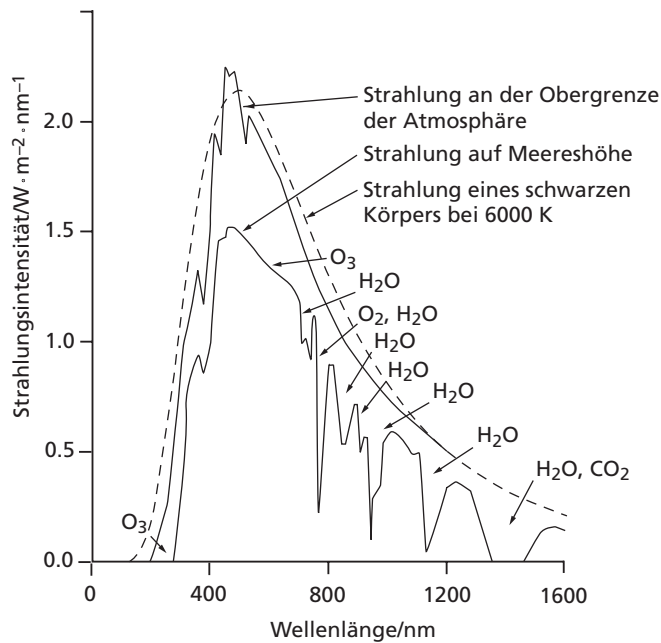


Abb. 5

Die Infrarotwelt

Wie aber sieht unsere Welt im infraroten Spektralbereich überhaupt aus? Um diese Frage zu beantworten, muss man klären, welche Körper in welchem Wellenlängenbereich Infrarotstrahlung aussenden. Dazu geht man vereinfachend davon aus, dass alle Körper annähernd schwarze Körper sind (in der Astronomie ist diese Annahme zumeist gut erfüllt). Wie man dem planckschen Strahlungsgesetz (für den Schulunterricht besser einer Abbildung mit verschiedenen Planck-Kurven, Abb. 6) entnimmt, senden Körper, die aufgrund ihrer Temperatur sichtbares Licht emittieren, natürlich auch immer infrarote Strahlung aus.

Da eine Planck-Kurve höherer Temperatur immer alle Planck-Kurven geringerer Temperatur einhüllt, gilt: Ist ein Körper heißer als ein anderer, dann sendet er in jedem Wellenlängenbereich auch die intensivere Infrarotstrahlung aus. Sichtbare Körper leuchten also auch im Infraroten, Körper die eine intensivere Infrarotstrahlung als andere aussenden, leuchten auch stärker im Submillimeterbereich. Nun ist die Beobachtung von sichtbaren Objekten im Infraroten natürlich auch aufschlussreich, für Schüler viel spannender dürfte aber die Frage sein, welche im optischen Spektralbereich unsichtbaren Objekte im Infrarotbereich zu erkennen sind. Für eine grobe Abschätzung stützen wir uns lediglich auf das wiensche Verschiebungsgesetz, das eine Aussage darüber gestattet, bei welcher Wellenlänge λ_{max} die intensivste Strahlungsabgabe eines schwarzen Körpers der Temperatur T erfolgt.

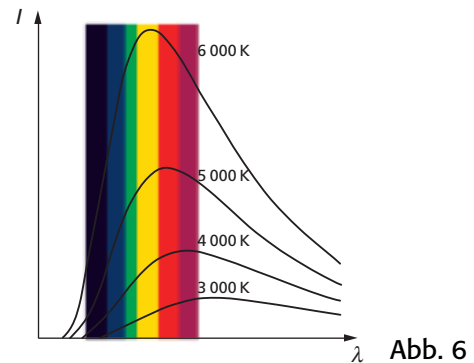


Abb. 6

Es lautet:
$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$$

Die Konstante b , die so genannte wiensche Konstante, hat einen Wert von $b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$.

Die folgende Tabelle gibt für Körper verschiedener Temperaturen die dazugehörigen wienschen Wellenlängen an. Als Variante bietet sich an, die Schüler diese Tabelle selbst berechnen zu lassen. Die eingetragenen Beispieloobjekte können im Unterrichtsgespräch gemeinsam gefunden werden.

Die jeweiligen Himmelskörper kennen die Schüler freilich überhaupt nur dann, wenn sie einen regulären Astronomieunterricht genossen haben – wie er glücklicherweise noch in einigen Bundesländern erteilt wird.

Temperatur des Objektes in K	Wellenlänge der Strahlung in μm	Beispiel/Bemerkungen
10	290	Molekülwolke; fernes Infrarot, Übergang in den Submillimeterbereich
50	58	Wasserstoffwolke, Sternentstehungsgebiete, etwa Strahlung des Zodiakallichtes; fernes Infrarot
100	29	Temperatur an der Wolkenobergrenze von Jupiter
200	14,5	Temperatur in der Troposphäre der Venus; mittleres Infrarot
310	9,4	Körpertemperatur des Menschen
660	4,4	Schmelztemperatur von Aluminium; noch nahes Infrarot
1200	2,4	typische Oberflächentemperatur brauner Zwerge; nahes Infrarot

Wissenschaft in die Schulen - Bildquellen

Abbildung 1: Eigenes Bild

Abbildung 2: Eigenes Bild

Abbildung 3: Eigenes Bild

Abbildung 4: Eigenes Bild

Abbildung 5: Nach einer Vorlage zeichnerisch im Layout bei Paetec verändert

Abbildung 6: Physik 11, Sachsen-Anhalt, Paetec-Verlag, 2000 S. 14, auch in anderen