

Astronomie mit unsichtbarem Licht

(Die Story von SOFIA)

Einführung

CECILIA SCORZA, OLAF FISCHER,
SEBASTIAN NEU



Die Teilnehmer des Astronomiekurses im Selbstversuch. Oben sieht man uns „normal“ im reflektierten Licht der Zimmerbeleuchtung. Unten sieht man uns vor allem im IR-Licht unserer Körper (Aufnahme mit Thermokamera). Im unteren Bildteil ist die Reflexion an der Tischplatte zu sehen.

Im Jahre 2009 wird erneut Luftfahrtgeschichte geschrieben werden. SOFIA - das bis dahin größte Flugzeugobservatorium - wird in Betrieb gehen. Seine Hauptaufgabe besteht darin, die Strahlung zu empfangen, welche die Himmelskörper jenseits des roten Lichts, also im Infraroten (IR), abgeben. Die Astronomen erfahren aus dem IR, woraus die abstrahlende Materie besteht, wie sie sich bewegt und in

welchem Zustand sie sich befindet. Es werden Objekte nachweisbar, die im visuellen Spektralbereich unsichtbar sind, weil sie zu kühl sind oder weil sie hinter kosmischen Staubvorhängen, die das IR weit weniger als das Visuelle verschlucken, verborgen liegen.

Würde man das IR mit einem großen See vergleichen, so entspräche der dem menschlichen Auge zugängliche Bereich der elektromagnetischen Strahlung nur einer Pfütze. Das IR ist auch ein irdischer Sachverhalt; wir baden förmlich in einem IR-Meer. Mittlerweile nutzen wir es an vielen Stellen technisch aus.

Die Inhalte des Astronomiekurses rankten sich um das infrarote Licht. Angefangen bei seiner Entdeckung und seiner physikalischen Beschreibung ging es erst um IR-Strahlung in Haushalt und Technik und dann um IR-Astronomie. Das Projekt SOFIA bildete den krönenden Abschluss.

Wir haben den Infrarotbereich der elektromagnetischen Strahlung mittels preiswerter IR-Empfänger und -sender (Thermometer, Digitalfotoapparat, IR-Film, Fernbedienung, Bewegungsmelder, IR-Lampen, Infrarot- und Fotodioden, usw.) kennen gelernt. Es wurde gebastelt, experimentiert und beobachtet. Eine Kamera für das thermische Infrarot zeigte uns eine Welt, in der mehr als nur die Sonne strahlt. Und es gab viel zu hören und auch zu verstehen: über IR-Strahlung auf der Erde und im Kosmos und vor allem über das Projekt SOFIA.

Das Infrarote (IR)

DANIELA SASS, NICO RÖCK

Der Entdecker der Infrarotstrahlung, der Musiker Friedrich Wilhelm Herschel (1738-1822), machte sein Hobby zum Beruf und wurde königlicher Astronom. In einem seiner Experi-

mente wollte er die Temperaturen der Spektralfarben des Sonnenlichts messen. Dazu zerlegte er das Sonnenlicht mithilfe eines Prismas in ein Spektrum und positionierte darin mehrere Thermometer (siehe Abb. 1).

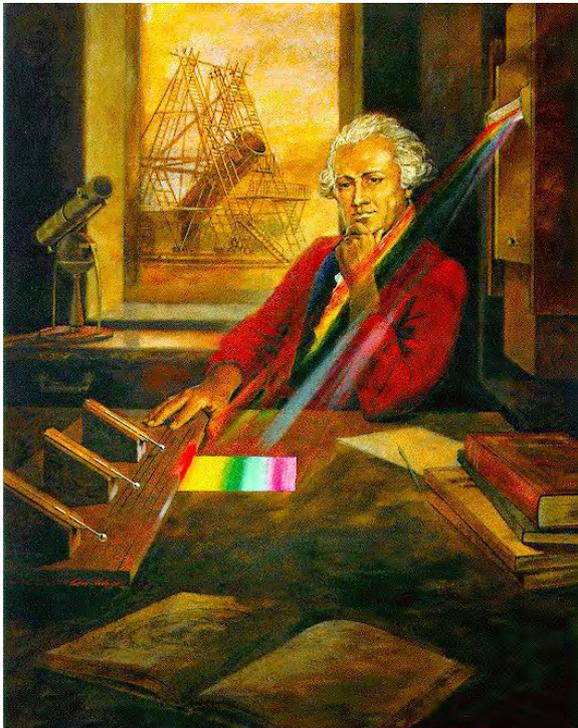


Abbildung 1: Herschel und sein Versuch, der zur Entdeckung des IR führte.

Eine Anekdote besagt, dass Herschel sein Experiment aufgrund einer Teepause unbeaufsichtigt ließ. Als er zurückkehrte, hatte sich das Spektrum wegen der Rotation der Erde um die Sonne verschoben. Das Thermometer, das sich zu Beginn im roten Bereich befand, war nun „unterhalb“ (lat.: infra) des Roten, also in einem Teil des Spektrums, der für unser Auge nicht sichtbar ist. Überraschenderweise zeigte genau dieses Thermometer die höchste Temperatur an. Herschel war sich sicher, dass es eine Strahlung geben musste, die der Mensch nicht sehen kann - die Infrarotstrahlung.

Der Herschel-Versuch zu Hause

Für den Herschel-Versuch benötigt man ein Glasprisma, schwarze Farbe, drei Alkoholthermometer, eine Uhr und einen Karton. Damit die Thermometer die Strahlung besser aufnehmen können, färbt man zuerst deren Unter-

teil schwarz. Nun misst man mit dem Thermometer die Umgebungstemperatur im Schatten. Mit dem Prisma erzeugt man ein möglichst breites Spektrum und positioniert anschließend im blauen, grünen und infraroten Bereich jeweils ein Thermometer. Im Abstand von einer Minute überprüft man die Temperatur und vergleicht diese nach ca. fünf Minuten mit der Umgebungstemperatur. Bei allen drei Thermometern fällt sofort eine Temperaturerhöhung auf, am stärksten im infraroten Bereich (um ca. 3°C).

Untersuchungen des elektromagnetischen Spektrums

Im Folgenden untersuchen wir das Licht des Glühfadens einer Lampe (siehe Abb. 2). Wie sind die Spektralfarben im Licht einer Glühlampe verteilt und wie verändert sich das Licht, wenn sich die Temperatur des Glühfadens ändert?



Abbildung 2: Experiment zur Untersuchung der Strahlung einer Glühlampe (Bestandteile: Glühlampe, Dimmer, Thermosäule nach Moll und einen Mikrovoltmeter).

Die Temperatur T des Glühfadens ermittelten wir aus ihrem Widerstand R , der sich ja mit steigender Temperatur vergrößert:

$$R = R_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_0) + \beta \cdot (T - T_0)^2].$$

R_0 ist der Widerstand bei der Temperatur T_0 (273 K) und α und β sind Temperaturkoeffizienten (für das Glühfadenmetall Wolfram gilt $\alpha = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ und $\beta = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2}$). Vorab mussten wir den Widerstand R_Z für $T_Z = 20^\circ\text{C}$ bestimmen, um daraus R_0 zu er-

mitteln:

$$R_0 = \frac{R_Z}{[1 + \alpha \cdot (T - T_0) + \beta \cdot (T - T_0)^2]}$$

Für R_0 haben wir $12,5 \Omega$ errechnet. Die mithilfe der oben genannten Formel ermittelten Temperaturen sind in Abb. 3 über den jeweils beobachteten Farbeindrücken des Glühlampens Lichts dargestellt.

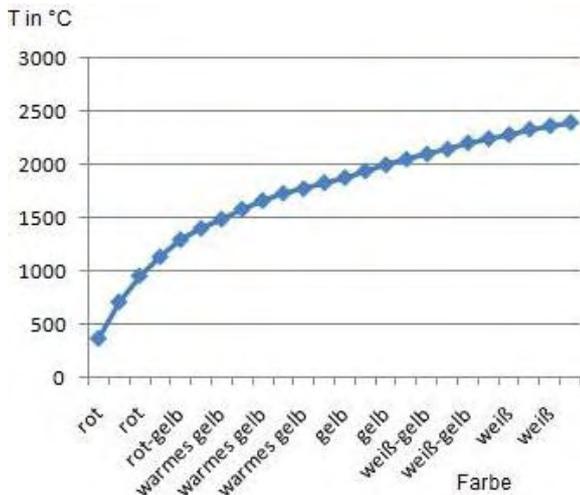


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen der Temperatur des Glühfadens einer Glühlampe und der Lichtfarbe.

Unsere Messungen ergaben folgende Ergebnisse:

1. Der Farbeindruck verändert sich mit zunehmender Temperatur von Rot über Gelb nach Weiß. Diese Gesetzmäßigkeit hat schon Wilhelm Wien (1864-1928) festgestellt und in seinem Wienschen Verschiebungsgesetz beschrieben:

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2898 \mu\text{m K} = \text{konstant.}$$

Mit diesem Gesetz lässt sich die Wellenlänge berechnen, bei der die meiste Strahlung abgegeben wird. Dies haben wir für die Glühlampe angewendet und herausgefunden, dass diese bei einer Temperatur von 2126 K am intensivsten strahlt:

$$\lambda_{\max} = \frac{2898 \mu\text{m K}}{2126\text{K}} \approx 1,363 \mu\text{m.}$$

Das Strahlungsmaximum der Glühlampe liegt somit im NIR, d. h., dass bei einer Glühlampe

nur ein kleiner Teil der elektrischen Energie in Energie des sichtbaren Lichts umgewandelt.

Mit dem Wienschen Verschiebungsgesetz ist es aber auch umgekehrt möglich, aus dem Strahlungsmaximum (Maximumwellenlänge λ_{\max} kann aus der Lichtfarbe abgeschätzt werden) auf die Temperatur eines strahlenden Körpers, z. B. der eines Sternes, zu schließen. So ergibt sich für die Sonne mit einer Maximumwellenlänge von etwa 500 nm eine Oberflächentemperatur von

$$T = \frac{2898 \mu\text{m K}}{0,5 \mu\text{m}} \approx 5796 \text{ K.}$$

2. Trägt man die Spannung U (sie ist direkt proportional zur Strahlungsleistung P) über T^4 auf, so erkennt man ein lineares Verhalten (siehe Abb. 4). Es gilt daher annähernd, dass die Ausstrahlung eines Körpers proportional zur 4. Potenz seiner Temperatur (T^4) ist. Exakt haben dies Josef Stefan und Ludwig Boltzmann nachgewiesen und im Stefan-Boltzmann-Gesetz zusammengefasst:

$$P = \sigma \cdot T^4.$$

Darin ist $\sigma = 5,6 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ die Stefan-Boltzmann-Konstante. Damit erhält P die Dimension W/m^4 , d. h. die einer Strahlungsdichte.

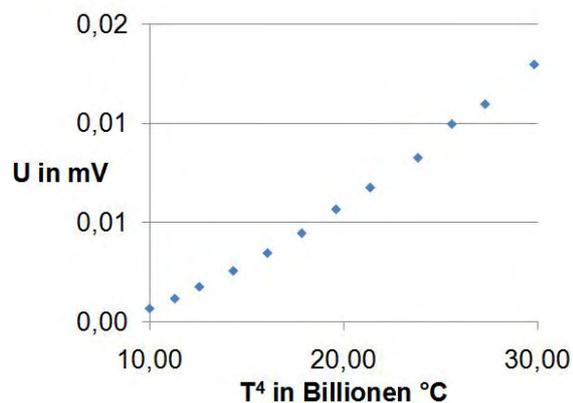


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen der Spannung der Thermosäule (Strahlungsleistung) bzw. Helligkeit des Glühfadens und seiner Temperatur.

Um die gesamte von einem Körper ausgestrahlte Energie zu ermitteln, muss man P noch

mit der Oberfläche des abstrahlenden Körpers A multiplizieren. Außerdem ist die Strahlung realer Körper stets geringer als die des Hohlraumstrahlers. Für die gesamte Strahlungsleistung eines Körpers erhält man die verallgemeinerte Gleichung

$$P_{\text{ges}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4.$$

ϵ ist eine dimensionslose Konstante und heißt (Gesamt-)Emissionsgrad (des Materials der Wandung). Dieser hat nur für Hohlraumstrahler den Wert Eins, für die Oberfläche realer Körper ist er immer kleiner als Eins und in den meisten Fällen temperaturabhängig. Bei Kenntnis der Größe der abstrahlenden Oberfläche einer Glühwendel, ihres Emissionsgrades und ihrer Gesamtstrahlungsleistung kann ihre Temperatur berechnet werden. Unsere Glühbirne war eine 100-W-Birne mit einem Wolframdraht, der etwa 0,1 mm dünn und 200 mm lang ist. Daraus ergibt sich eine Strahlungsdichte von $1,59 \text{ W/mm}^2$. Um die Temperatur zu berechnen, muss man diesen Wert durch σ teilen (für ϵ nehmen wir den Wert 1 an). Dabei gilt:

$$T = \sqrt[4]{\frac{1590000 \text{ W/m}^2}{5,6 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)}} \approx 2300 \text{ K.}$$

Die Oberflächentemperatur der Glühwendel beträgt somit 2300 K also etwa 2027°C . Wir nehmen an, wir haben die gesamte Strahlungsleistung des Sirius gemessen. Sie beträgt $6,4 \text{ kW/cm}^2$. Sternstrahlung kann annähernd als Hohlraumstrahlung betrachtet werden. Um die Temperatur des Sterns zu berechnen, gilt nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$T = \sqrt[4]{\frac{1,2 \cdot 10^9 \text{ W/m}^2}{5,6 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)}} \approx 12000 \text{ K.}$$

Die Oberflächentemperatur des Sirius beträgt somit etwa 12000 K.

Das Nahe Infrarot (NIR)

MAX ALLMENDINGER, MELINA BECKER,
MARTIN SCHIMASSEK

Vor der Verwendung des Infraroten in der Astronomie widmeten wir uns zuerst der Anwendung auf der Erde, und zwar unter anderem

der Infrarotfotografie. Aufgrund der Unsichtbarkeit des Infrarotlichts gibt es keine für uns Menschen realistischen Farben. Deswegen verwendet man entweder Falschfarben oder Grautöne. Wo viel Infrarotlicht aufgenommen wird, erscheint das Bild heller und umgekehrt.

NIR-Fotografie

Die analoge Infrarotfotografie im NIR wurde ursprünglich vom US-amerikanischen Militär entwickelt, um durch künstlichen Nebel zu sehen und künstliches von echtem Pflanzengrün zu unterscheiden. Entgegen der landläufigen Meinung eignet sich die analoge Infrarotfotografie überhaupt nicht zum Detektieren von Wärme und Wärmeunterschieden in den irdischen Verhältnissen, da hier nur der ganz nah am roten Licht liegende Bereich des IR-Spektrums (NIR) erfasst wird. Entsprechend kann auch nicht im Dunkeln fotografiert werden.



Abbildung 5: Schwarz-weißes Landschaftsbild im NIR. Auffällig sind die helle Wiedergabe des Chlorophylls (Blattgrüns) und der dagegen recht dunkel erscheinende Himmel.

(Quelle: Martin Allmendinger)

Das nahe infrarote Licht wird von relativ heißen Objekten, wie zum Beispiel unserer Sonne oder einer Glühbirne ausgesandt. Hätte man für das NIR empfindliche Augen, würde die Welt damit deutlich anders aussehen, wie man in Abb. 5 sehr gut erkennen kann. Sichtbares Licht und NIR-Licht unterscheiden sich darin, wie sie reflektiert oder absorbiert werden. Wasser reflektiert beispielsweise kaum das NIR.

Entsprechend wenig kommt beim Fotoapparat an und lässt Wasser auf den Bildern sehr dunkel erscheinen. Das Gleiche passiert mit dem Himmel. Alle Pflanzen werden dank ihrer starken Reflexion im NIR sehr hell abgebildet. Dieser Effekt der Infrarotfotografie wird nach seinem Entdecker Robert Williams Wood als Wood-Effekt bezeichnet.

NIR-Fotos selbst gemacht

Will man NIR-Bilder selber aufnehmen, so besorge man sich Folgendes: Eine analoge Kamera, die kein infrarotgestütztes Bildzählsystem verwendet, einen Infrarotfilm (der Einfachheit halber einen Schwarz-Weiß-Film) und einen möglichst dunklen Rotfilter, da Infrarotfilme auch für alle sichtbaren Farben des Lichts empfindlich sind. Optimal wäre ein Infrarotfilter, der ausschließlich Licht jenseits der Sichtbarkeitsgrenze durchlässt und für uns deswegen völlig schwarz aussieht. Abgesehen von dem, was in der visuellen Analogfotografie beachtet werden muss, gelten für einen Infrarotfilm folgende Besonderheiten:

1. Der Film muss bei vollständiger Dunkelheit eingelegt werden, da er eine Licht leitende Schicht besitzt, die sonst den gesamten Film belichten würde. Ist kein geeigneter Raum in der Nähe, kann man sich eines so genannten Wechselsacks bedienen (siehe Abb. 6). Dieser ist aus absolut "lichtdichtem" Material hergestellt und ermöglicht das Wechseln des Films in völliger Dunkelheit auch im Freien, wie in der obigen Fotomontage.

2. Durch die Verwendung von Filtern, die für einen richtigen Infrarot-Effekt unbedingt erforderlich sind, und die Aufnahme von Belichtungsreihen (s. unten) erhöht sich die Belichtungszeit erheblich. Darum ist ein Stativ meist unentbehrlich, um ein Verwackeln zu verhindern. Besonders problematisch wird es bei einem Infrarotfilter. Da das Licht, das er noch durchlässt für menschliche Augen nicht und für Belichtungsmesser, wenn überhaupt, nur schlecht wahrnehmbar ist, muss man das Objekt ohne Filter anvisieren und das Bild scharf stellen. Dann nimmt man die ohne Filter gemessene Belichtungszeit und multipliziert sie mit dem vom Hersteller angegebenen oder dem

eigenen Erfahrungswert, stellt diese ein und macht mit Filter und Stativ das Bild.



Abbildung 6: Wechselsack mit Anwendungsbeispiel in einer Fotomontage (Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Wechselsack>).

3. Da man nie genau weiß, wie groß der Anteil des NIR-Lichts in dem vom Belichtungsmesser gemessenen Licht ist, ist es unerlässlich, so genannte Belichtungsreihen zu machen. Dazu benutzt man den manuellen Korrekturhebel der Kamera. Tendenziell muss man die gemessene Zeit eher nach oben korrigieren, wobei mehr unterschiedliche Belichtungen vom gleichen Motiv natürlich mehr Sicherheit geben, aber auch teurer sind.

4. Da infrarotes Licht weniger stark gebrochen wird als sichtbares Licht, gibt es eine Fokussdifferenz. Das bedeutet, dass man ganz normal im Visuellen scharf stellt und anschließend davon ausgehend das Scharfstellrädchen bis zum roten Korrekturstrich auf dem Objektiv verstellt. Auch wenn das Bild durch den Sucher jetzt unscharf aussieht, ist es im Infraroten scharf. Ist das zu kompliziert, kann man eine sehr kleine Blende (große Zahl, z. B. 22) und/oder ein Weitwinkelobjektiv nehmen. Die damit verbundene große Tiefenschärfe beseitigt das Problem weitgehend, weil dann sehr viel vor und hinter dem im Sucher scharf erscheinenden Objekt scharf wird. Ist man mit den Aufnahmen fertig, muss der Film mit den Bildern entwickelt und diese vergrößert werden. Das könnte man in einem Fotoladen machen lassen, doch dann werden alle Bilder gleich entwickelt und die gestalterischen Möglichkeiten der Entwicklung und Vergrößerung nicht

genutzt. Dies könnte im wesentlich teureren Speziallabor etwas besser gemacht werden. Zusätzlich zu dem, was bei der Entwicklung eines jeden Schwarz-Weiß-Films zu beachten ist, gilt für Infrarotfilme, dass die Herausnahme des Films aus der Kamera und das Einlegen in die (lichtdichte) Entwicklungsdose in absoluter Dunkelheit zu erfolgen hat. Weitere Hinweise und Tipps zur NIR-Fotografie und zur weiteren Verarbeitung der Bilder finden sich u. a. im folgenden Buch von Rudolf Hillebrand: „Infrarot-Fotografie auf anderer Wellenlänge“, 1992, Verlag Fotografie AG, Schaffhausen.

Weitere Anwendungen für das NIR

Der Woodeffekt wird nicht nur in der NIR-Fotografie, sondern auch in der Kartografie genutzt, um Vegetationskarten der Erde anzufertigen. Die Erde ist in drei Landschaftstypen eingeteilt: Kahle Erde, Wasser und Vegetation. Um diese zu unterscheiden, betrachtet man sie nicht nur durch eine „normale“ Kamera aus der Luft, sondern auch mit einer Kamera für nahes Infrarotlicht, denn im NIR zeigen die spektralen Reflexionsgrade (wie stark ein Gegenstand das Licht reflektiert) größere Unterschiede. Wasser wirft das NIR kaum zurück, die Vegetation hingegen reflektiert das NIR zum größten Teil und erscheint deswegen heller als Wasser. Kahlen Boden und Vegetation unterscheidet man auch durch den hohen Reflexionsgrad der Vegetation, denn die kahle Erde absorbiert das NIR stark.

Das NIR wird auch bei Überwachungskameras genutzt. Diese können so auch in der Dunkelheit funktionieren, vorausgesetzt, dass die zu überwachende Region mit NIR-Licht bestrahlt wird. Im Rahmen des Kurses haben wir eine solche Kamera verwendet, um verschiedene Objekte im Dunkeln, allein beschienen durch NIR-LEDs (Licht emittierende Dioden), zu betrachten.

Die Haut reflektiert/absorbiert die NIR-Strahlen so, dass die Adern deutlicher sichtbar werden. Cola wird im NIR durchsichtig. Ein Pflanzenblatt reflektiert das NIR stark und leuchtet somit sehr hell und bei einem Geldschein sieht man im NIR nur noch etwa ein Drittel des

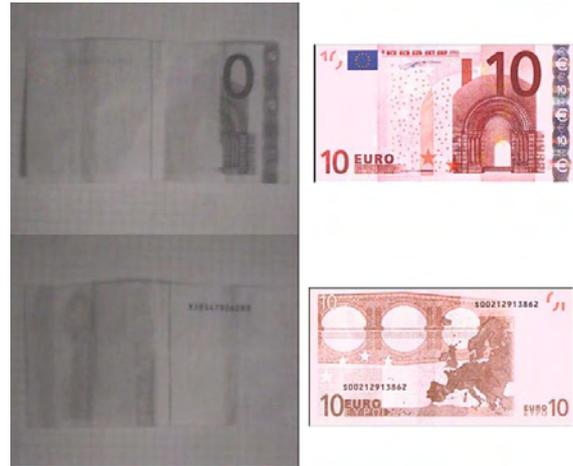


Abbildung 7: 10 EURO-Schein rechts, so wie wir ihn kennen (im visuellen Licht) und links im NIR-Licht betrachtet (nach Übertragung ins sichtbare Licht).

Quelle: http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:10_euro_infrarot_aufnahme.JPG.

Scheins, was ein Anhaltspunkt für die Echtheit des Geldscheines ist (siehe Abb. 7).

NIR-Alltag: Digicam und Handy

Digital- und Handykameras machen das NIR sichtbar, Fernbedienungen senden es aus. So kann man die Funktion einer Fernbedienung prüfen, indem man ihre Sendediode durch eine Kamera anschaut. Ein anderer Bezug des Handys zum NIR betrifft die Datenübertragung. Über die Datenschnittstelle können Daten von Handy zu Handy (oder von PC zu Drucker) mittels NIR-Licht geschickt werden.

NIR-Technik selbst erlebt

Im Folgenden wollen wir eine NIR-Lichtschranke bauen, um z.B. die NIR-Transparenz von Stoffen testen zu können. Wir brauchen dazu folgende Bauteile:

Für den NIR-Sender:

- eine IR-LED SFH485, 5 mm Durchmesser, blau (1)
- Widerstände für Sender und Empfänger: 220, 330, 1000 Ω (2)
- eine Low-current-LED grün, 3 mm Durchmesser (3)

Für den NIR-Empfänger:

- eine Low-current-LED, rot, 3 mm Durchmesser (4)
- einen IR-Fototransistor LPT-80A (5)

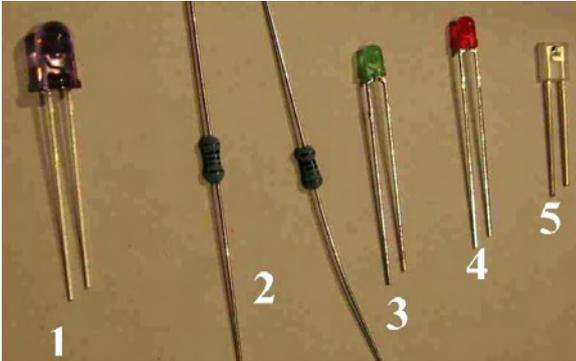


Abbildung 8: Bauelemente für die NIR-Lichtschranke.

Außerdem braucht man noch eine Stromversorgung mit 6 V Gleichspannung. Wir haben ein fertiges Steckernetzteil verwendet, das über eine Anschlussklemme an die Lochrasterplatte angeschlossen wurde. Die einzelnen Bauteile werden hier im Einzelnen erklärt:

1. Die NIR-LED gibt bei Stromfluss in Durchlassrichtung NIR-Licht ab.
2. Die Widerstände begrenzen den Strom. Mit ihnen kann die geeignete Stromstärke für die einzelnen Komponenten geregelt werden, wodurch der max. zulässige Strom für die empfindlichen LEDs bzw. den Transistor nicht überschritten wird.
3. Die LED (Licht emittierende Diode) ist ein Halbleiterbauteil. Sie ist erst ab einer bestimmten Spannung leitend und gibt dabei Licht in einer bestimmten Wellenlänge (d. h. Farbe) ab. Low Current heißt lediglich, dass diese Diode bereits bei 2-3 mA Strom so hell wie eine „normale“ LED bei 20 mA ist.
4. siehe 3.
5. Die Leitfähigkeit des Transistors ist von der Intensität des einfallenden IR-Lichtes abhängig.

Erklärung der Schaltung

Die Schaltung besteht aus zwei Teilen: Sender
Der Sender (in Abb. 9 links vom roten Strich) ist aus 2 Widerständen: 1 k Ω und 220 Ω , der grünen LED und der NIR-LED aufgebaut. Die

grüne LED hat einen größeren Vorwiderstand als die NIR-LED, denn sie „braucht“ nur 2-3 mA Strom, die NIR-LED ca. 20 mA. Hierbei dient die grüne LED nur als Kontrolle für das Anliegen der Betriebsspannung. Empfänger Der Empfänger (rechts vom roten Strich) wird so aufgebaut, dass der Fototransistor, die rote LED und der 330 Ω -Widerstand in Reihe geschaltet sind. D. h., der Stromkreis wird geschlossen, wenn der Fototransistor durchschaltet. Dann leuchtet die rote LED, ansonsten nicht. Der Widerstand ist kleiner als beim Empfänger, weil hier die Bauteile bereits in Reihe geschaltet sind und die Spannungsabfälle an den einzelnen Teilen selbst zur Verringerung des Stromes führen.

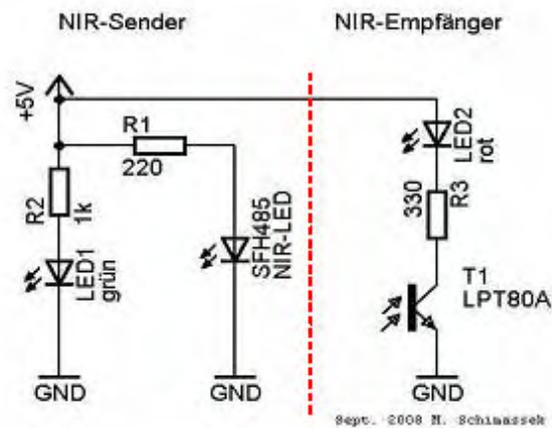


Abbildung 9: Schaltplan für die NIR-Lichtschranke.

Bauanleitung

Zuerst wird der Sender aufgebaut:

1. Auf der Lochrasterplatte wird zuerst die Anschlussklemme (1.) befestigt (vgl. Abb. 10). Beide Kontakte werden separat angelötet. Eine Seite der Klemme wird als Plus markiert (im Bild rot).
2. Dann lötet man den 1k Ω -Widerstand R2 (2.) am Pluspol der Klemme an.
3. Den freien Pol des Widerstandes lötet man an die grüne LED1 (3.). Hierbei muss die Polarität der LED beachtet werden. Die Diode muss in Durchlassrichtung geschaltet sein. Dazu wird der Pluspol, d. h. der längere Anschluss der LED, mit dem Widerstand verlötet. Es ist zweckmäßig, die Polarität der LED

vor dem Löten zu überprüfen.

4. Nun verbindet man den freien Pol der Diode mit Masse (dem Minuspol).

5. Anschließend lötet man an die Plusklemme den 220 Ω -Widerstand R1 an. Er sollte so auf der Platine angebracht werden (siehe Abb. 10), dass später das Licht der NIR-LED nicht von dem Fototransistor abgeschattet wird (d. h., „dass dem Licht nichts im Wege steht“).

6. Nun wird die NIR-LED in Durchlassrichtung (hier gilt dasselbe wie bei 3.) an den freien Pol des Widerstands R1 angeschlossen. Der 2. Pol wird mit dem Minuspol verbunden. Hierbei darf die LED nicht zu tief hineinsteckt werden, damit sie noch umgebogen werden kann. So kann das Licht der NIR-LED direkt den Foto-Transistor erreichen (vgl. Abb. 10).

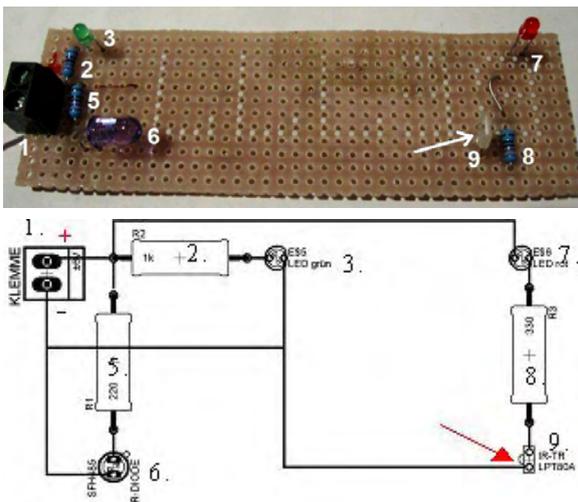


Abbildung 10: Aufbau der Lichtschranke auf der Platine im Foto (oben) und schematisch (unten).

Die Lichtschranke ist somit fertig für den Test. Nach Anschluss der Stromquelle können die Versuche beginnen. Ein Experiment wäre z. B., den Lichtweg durch verschiedene Gegenstände zu versperren und zu beobachten, ob und wie diese für das NIR durchlässig sind.

Damit wäre der Sender bereit für den Funktionstest. Dazu legt man Spannung an (auf Polarität achten!). Die grüne LED muss dabei leuchten. Mit einer Digitalkamera muss das Leuchten der NIR-LED zu sehen sein. Nach Abklemmen der Spannung kann es mit dem 2. Teil der Schaltung, dem Empfänger, weiter

gehen:

7. Um etwas Platz für Testgegenstände zu bekommen, werden die Empfängerteile am anderen Ende der Platine angebracht. Die rote LED2 wird mit dem Pluspol (dem längeren Anschluss) über einen längeren Draht auf der Unterseite der Platine mit dem Pluspol der Klemme verbunden und festgelötet.

8. Nun wird an den freien Pol der LED2 (den Minuspol) des 330 Ω -Widerstandes gelötet. Er sollte hinter dem später zu platzierenden Fototransistor liegen, damit eine direkte Linie zwischen den beiden NIR-Bauteilen entsteht.

9. Jetzt kann der NIR-Fototransistor angelötet werden. Dieser Transistor hat nur 2 Pole. Der längere Anschluss ist der Kollektor, der andere der Emitter. Es empfiehlt sich jedoch, alle polaren Bauteile vor dem Festlöten auf Polarität und Funktion mit z. B. einem Multimeter zu prüfen. Der Kollektor des Transistors muss an den freien Pol des Widerstandes angelötet werden. Der Transistor ist so zu platzieren, dass die kleine Linse (kleine Halbkugel auf einer Seite des Transistors, siehe roter Pfeil in Abb. 10) in Richtung der NIR-LED zeigt. Der andere Pol (Emitter) wird an den Minuspol angeschlossen.



Abbildung 11: Franziska und Corinna beim Löten der Schaltung für die NIR-Lichtschranke.

Die Lichtschranke ist somit fertig für den Test. Nach Anschluss der Stromquelle können die Versuche beginnen. Ein Experiment wäre z. B., den Lichtweg durch verschiedene Gegenstände zu versperren und zu beobachten, ob und wie diese für NIR durchlässig sind.

Das Mittlere Infrarot (MIR)

NINA HELD, LASSE WURZEL

Das Mittlere Infrarot (MIR), in einem Teilbereich auch als thermisches Infrarot oder auch Wärmestrahlung bekannt, schließt sich mit einem Wellenlängenbereich von 4 bis 40 μm direkt an das NIR an. Der Name Wärmestrahlung kommt von der Eigenschaft des MIR, die Moleküle unserer Haut zum stärkeren Schwingen anzuregen, wodurch die Temperatur erhöht wird. Das MIR kann man z. B. mit Hilfe einer Thermografiekamera (siehe Abb. 12) nachweisen. Diese macht Aufnahmen im thermischen Infrarot, d. h. in einem Wellenlängenbereich von meist 3,5 bis 14 μm .



Abbildung 12: Thermografiekamera vom Typ Ti 10 von FLUKE.

Bei Farbbildern, die im MIR aufgenommen wurden, handelt es sich bei den Farben um sogenannte Falschfarben zum Zwecke der Verbildlichung („Übersetzung“ ins Sichtbare). Bei Schwarz-Weiß-Bildern, die im MIR aufgenommen wurden, handelt es sich bei den helleren Stellen um wärmere Stellen und bei dunkleren um kältere. Bei Farbbildern der Thermografiekamera, mit der wir im Kurs gearbeitet haben, ebenso bei Abb. 12 und Abb. 13, bedeutet schwarz eine kalte Stelle und rot eine heiße.

Irdische Anwendungen

Das MIR wird von Militär und Polizei zur Suche nach Vermissten, entflohenen Verbrechern etc. und bei zielsuchenden Waffen verwendet. Die Industrie verwendet es, um kritische Zustände (Hot Spots) bei Maschinen, Anlagen und Installationen früher zu erkennen. Baufirmen verwenden Thermografiekameras zur Suche nach Wärmelecks bei Gebäuden. In Abb. 13 sieht man eine solche Aufnahme, auf der sehr gut zu erkennen ist, dass die Fenster im Bereich der Rollläden schlecht isoliert sind und dort deshalb sehr viel Wärme austritt.

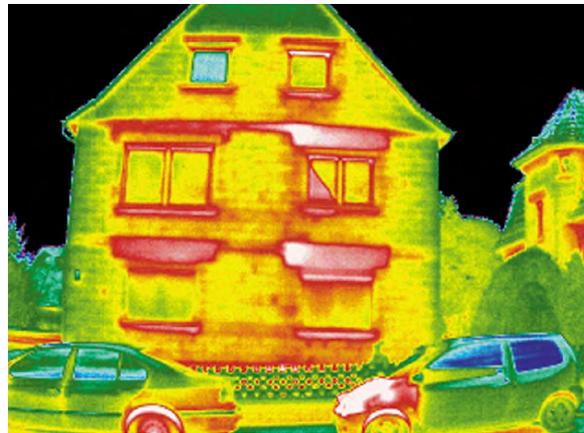


Abbildung 13: Haus im Mittleren Infrarot, aufgenommen von einer Baufirma (Bildquelle: <http://www.firthermography.de/images/gallery/HausRollladenkasten.jpg>).

MIR-Strahlung in der Medizin

Infrarotstrahlung wird in der Medizin in den Bereichen Prophylaxe (Vorbeugen und Verhüten von Krankheiten), Diagnose (Erkennen von Krankheiten) und Therapie (Behandeln und Heilen von Krankheiten) eingesetzt.

Prophylaxe

Seit einigen Jahren werden als Alternative zur Sauna Infrarotwärmekabinen angeboten. In diesen Kabinen wird der Körper durch Infrarotstrahlung erwärmt. Die positiven Wirkungen auf den Organismus beim Aufenthalt in einer Infrarotwärmekabine sind mit denen beim

Saunieren vergleichbar: Anregung des Herz-Kreislauf-Systems und des Stoffwechsels, Stärkung des Immunsystems, Absenkung des Blutdrucks, Ausscheidung von Giftstoffen, bessere Durchblutung besonders der Haut und Reinigung der Haut von Verunreinigungen und verhornten Hautzellen.

Diagnose

Das einfachere der beiden verwendeten Diagnoseverfahren ist die Fiebertemperaturmessung mithilfe eines so genannten Infrarotpyrometers. Dieses Infrarotthermometer misst die Temperatur des Trommelfells im Ohr, wobei das Gerät einfach vor den Eingang des Gehörganges gehalten wird. Diese Methode ist sehr viel verlässlicher und genauer als die üblichen Verfahren zur Fiebertemperaturmessung und benötigt außerdem nur wenige Sekunden.

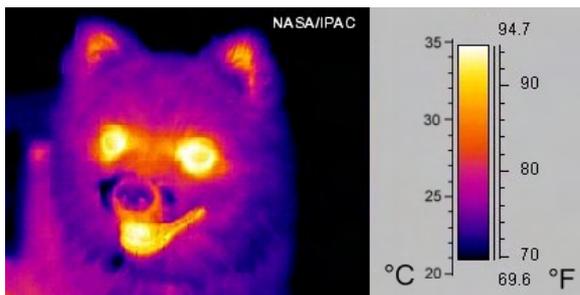


Abbildung 14: Visualisiertes MIR-Bild eines Hundeskopfs. (Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0c/Infrared_dog.jpg)

Das zweite diagnostische Verfahren ist die hochauflösende medizinische Infrarotthermografie (HIRT), bei der die Wärmeabstrahlung der Körperoberfläche mithilfe einer Infrarotkamera aufgezeichnet wird. Die daraus berechneten Temperaturen werden auf den erhaltenen Bildern mit verschiedenen Farben dargestellt. Abb. 14 zeigt das Bild eines Hundes, das mit diesem Verfahren aufgenommen wurde. Man erkennt deutlich, dass am Kopf des Hundes das Maul, die Augen und die Ohren die stärkste Wärmeabstrahlung zeigen, während die Nase deutlich kälter ist. Jede Abweichung der ermittelten Temperatur vom typischen Temperaturmuster der Körperoberfläche bedeutet eine verstärkte oder eingeschränkte Durchblu-

tung des betroffenen Bereiches und weist auf eine Funktionsstörung hin. Erkrankungen, die mithilfe der HIRT erkannt werden können, sind z. B. Entzündungen, innere Verletzungen, Tumore, Nervenschädigungen, Störungen der Schilddrüsenfunktion, rheumatische Leiden, Durchblutungsstörungen und Venenerkrankungen.

Therapie

In der Therapie stammt die verwendete Infrarotstrahlung im einfachsten Fall von Rotlichtlampen, die vor allem in der Heimanwendung verbreitet sind. Die von ihnen ausgestrahlte Infrarotstrahlung dringt wenige Millimeter ins Gewebe ein. Der therapeutische Effekt besteht in einer Blutgefäßerweiterung und damit einer verbesserten Durchblutung des bestrahlten Körperbereiches. Zu den Erkrankungen, die mit Rotlichtlampen behandelt werden können, gehören vor allem Muskelverspannungen, rheumatische Beschwerden und Entzündungen, z. B. Entzündungen des Mittelohrs und der Nasennebenhöhlen.

Für die gleichen Zwecke wie Rotlichtlampen können Infrarot-Laser mit geringer Leistung verwendet werden. Der Vorteil der Infrarot-Laser gegenüber den Rotlichtlampen liegt zum einen darin, dass sich mit dem Laserstrahl eine Körperstelle genauer und enger begrenzt bestrahlen lässt. Außerdem besitzt der Laserstrahl eine größere Eindringtiefe, die bis zu 5 cm beträgt. Daher eignen sich diese Infrarot-Laser auch für tiefer liegende Erkrankungen. Infrarot-Laser mit starker Leistung werden in der Chirurgie eingesetzt. Laserstrahlen lassen sich als Skalpell zum Setzen sehr präziser und feiner Schnitte z. B. in der Neurochirurgie und der Augenheilkunde verwenden. Durch die Hitzeentwicklung kommt es gleichzeitig zu einer „Verschweißung“ des Gewebes (Koagulation), so dass bei der Verwendung eines Laserskalpells keine Blutungen auftreten. Die Fähigkeit zur Koagulation nutzt man bei den Laserkoagulatoren, die man bei Operationen oder bei massiven Blutungen zum Verschließen von Blutgefäßen einsetzt.

Spiegelnde und diffuse Reflexion

Jegliche Anwendung von Infrarotstrahlung erfordert deren Richtungsänderung durch Reflexion. Im Folgenden wird die Reflexion etwas genauer betrachtet.

Die Art der Reflexion von Strahlung an einer Oberfläche ist abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit. Bei einer glatten Oberfläche, die gegenüber der Wellenlänge der auftreffenden Strahlung nur kleine Rauigkeiten aufweist, wird ein Lichtstrahl entsprechend dem Reflexionsgesetz vorhersagbar reflektiert. Man spricht in diesem Fall von einer spiegelnden Reflexion (links in Abb. 15).

Bei einer Oberfläche mit einer großen Rauigkeit relativ zur Wellenlänge wird die Strahlung in verschiedene Richtungen reflektiert. Diese Reflexion wird als diffuse Reflexion bezeichnet (in Abb. 15: rechts). Damit bei Teleskopspiegeln keine diffuse Reflexion auftritt, muss deren Oberflächengenauigkeit mindestens im Bereich der Wellenlänge der Strahlung liegen, die beobachtet werden soll.

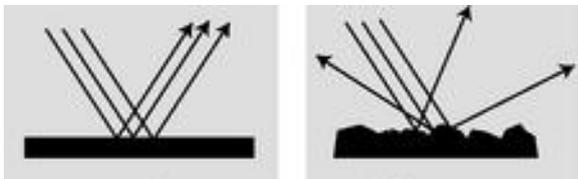


Abbildung 15: Spiegelnde (links) und diffuse Reflexion (rechts, auch Streuung genannt) eines Lichtbündels.

Infrarot-Astronomie

UMUT YILDIZ, ADRIAN PROCHASKA,
CORINNA KUNZ

Das Sonnensystem im Infraroten

Alle Objekte in unserem Sonnensystem (Planeten, Asteroiden, Kometen und die Sonne) sind auch im Infraroten (IR) beobachtbar. Diese IR-Strahlung ist zum einen auf reflektiertes Sonnenlicht zurückzuführen (NIR). Zum anderen stammt sie aus der Emission der erwärmten Festkörper oder von angeregten Gasteilchen (MIR). Infrarotbeobachtungen auf der Er-

de werden durch die Erdatmosphäre stark behindert. Besonders der Wasserdampf und das Kohlenstoffdioxid absorbieren die Infrarotstrahlung bei bestimmten Wellenlängen. Doch diese Absorptionslinien (stoffspezifische Absorption, z. B. Natrium absorbiert das Licht in zwei bestimmten Orangetönen) und -banden verhelfen den Astronomen herauszufinden, welche Moleküle in den Atmosphären anderer Planeten vorkommen. H_2O und CO_2 absorbieren die Strahlung der für sie typischen Wellenlängen. So entdeckte man beispielsweise, dass ca. 97 % der Venusatmosphäre aus CO_2 besteht oder dass ein Teil der Uranusatmosphäre (ca. 2 %) aus Methan besteht.

So, wie die Moleküle bei bestimmten Wellenlängen Strahlungsenergie aufnehmen (absorbieren), so können sie diese auch wieder abgeben (emittieren). Das Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer (VIRTIS) an Bord der ESA Sonde Venus Express wies zum ersten Mal das Hydroxyl-Molekül (OH) in den oberen Bereichen der Venusatmosphäre durch dessen Infrarotemission nach. Dieses bekannte Radikal (Atom bzw. Molekül mit mindestens einem nicht gepaarten Elektron, sehr reaktionsfreudig) besteht aus einem Wasserstoff- und einem Sauerstoffatom. Es ist sehr reaktionsfähig. Aufgrund seiner geringen Lebensdauer war es sehr schwer nachzuweisen. Auf der Erde spielt es eine große Rolle bei der Bindung von Sauerstoffatomen, auf dem Mars stabilisiert es das Kohlenstoffdioxid, damit es sich nicht in Kohlenstoffmonoxid umwandelt.

Die Menge der IR-Strahlung hängt von der Menge der OH-Moleküle und diese wiederum von der Menge der Ozon-Moleküle der Atmosphäre ab. Demzufolge versuchen die Forscher, aus der Abstrahlung des Hydroxylmoleküls auf die Ozonmenge zu schließen. Sie stellten große Schwankungen der IR-Strahlung fest (bis zu 50 % pro Umlauf), die vermutlich durch große Veränderungen der Ozonwerte entstanden sind. Nun versuchen die Wissenschaftler über verschiedene Computermodelle auf weitere Zusammenhänge zu schließen. Dennoch wies Venus Express nach, dass dieser Planet erdähnlicher ist, als vorher angenommen wurde.

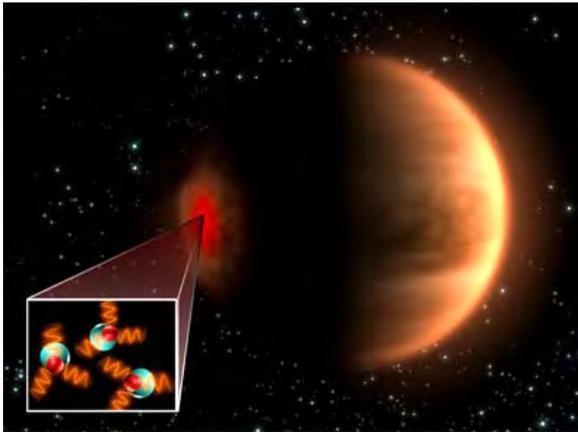


Abbildung 16: Das Hydroxyl-Molekül, bestehend aus einem Sauerstoffatom (blau im Bild) und einem Wasserstoffatom (rot im) wurde in der Venusatmosphäre nachgewiesen. Quelle: ESA/ C. Carreau.

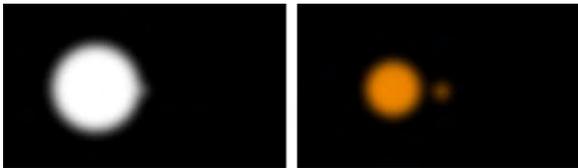


Abbildung 17: Helligkeitsunterschied zwischen Stern und Planet im Visuellen (links) und im MIR (rechts) - ein Modell.

Exoplaneten im Infraroten

Was ist ein Exoplanet?

Ein Exoplanet, auch extrasolarer Planet, ist ein Planet außerhalb des gravitativen Einflusses unserer Sonne. Exoplaneten gehören nicht zu unserem Sonnensystem und umlaufen einen anderen Stern. Planetenartige Objekte, die keinen Stern umkreisen, nennt man Planemos.

Suche nach Exoplaneten im IR

Die Suche nach extrasolaren Planeten im Infraroten ist erfolgversprechender als im sichtbaren Bereich, da die Infrarotstrahlung weniger durch kosmischen Staub aufgehalten wird. Außerdem ist der Helligkeitsunterschied zwischen Stern und Planet im IR deutlich geringer als im Visuellen.

Nachweismethoden

Fast alle Exoplaneten wurden bisher nur indirekt nachgewiesen. Für den indirekten Nachweis existieren die folgend aufgelisteten Methoden. Die direkte Abbildung wird meist noch durch den großen Helligkeitsunterschied zwischen Stern und Planet verhindert.

Transitmethode:

Durch das Umlaufen des „Muttersterns“ entsteht eine periodische Absenkung der Helligkeit, die sich mit hochpräziser Helligkeitsmessung des Sterns (Photometrie) bestimmen lässt. Nachteil: Diese Methode funktioniert nur, wenn die Planetenlaufbahn etwa in der Betrachtungsebene liegt.

Radialgeschwindigkeitsmethode:

Durch Blau- und Rotverschiebungen des Lichts eines Sterns schließt man auf einen Begleitplaneten. Nachteil: Wenn die Umlaufbahn orthogonal zur Betrachtungsebene liegt, klappt dies nicht.

Astrometrische Methode:

Die Astrometrische Methode nutzt den gleichen Effekt wie die Radialgeschwindigkeitsmethode. Allerdings misst man dabei nicht die Bewegung des Sterns auf den Beobachter zu oder von ihm weg, sondern die Bewegung in der Ebene des Himmels. Nachteil: Die Winkelablenkung der Sterne ist sehr klein (z. B. 0,001" für die durch Jupiter ausgelenkte Sonne, betrachtet aus einer Entfernung von 10 pc).

Bisher ist es kaum möglich, erdähnliche Exoplaneten nachzuweisen.

Untersuchung der Atmosphäre

Um die Atmosphäre eines Exoplaneten auf chemische Elemente zu untersuchen, wird sein IR-Spektrum untersucht. Die Erforschung der Atmosphäre eines Exoplaneten ist sehr viel einfacher, wenn der Planet noch jung ist, da er dann mehr IR-Strahlung aussendet.

Einige Entdeckungen

2M1207b: Etwa 5-fache Jupitermasse, Exoplanet des Braunen Zwergs 2M1207 (20-fache

Jupitermasse), Brauner Zwerg: planetenartiges Objekt, mit 13- bis 75-facher Jupitermasse und einem Status zwischen Planet und Stern, bisher wahrscheinlich erster direkter fotografischer Bildnachweis eines extrasolaren Planeten

HD 149026: Gelber Stern mit 1,3-facher Sonnenmasse, Exoplanet mit 0,36-facher Jupitermasse und der Größe des Saturns, einziger Gasriese, bei dem mehr als 50 % der Masse auf den festen Kern zurückfällt, ein Jahr dauert für diesen Exoplaneten nur 2,87 Erdtage

CoRoT-Exo-4b: Entdeckung am 24. Juli 2008 mit Hilfe des Satelliten CoRoT, riesiger Gasball mit 1,2-fachem Jupitervolumen und 70 % seiner Masse, Rotationsdauer = Umlaufzeit

Gliese 876: Stern mit 32 % Sonnenmasse und 36 % Sonnendurchmesser, im Sternbild Wassermann, der kleinste bisher entdeckte Exoplanet, 8-fache Erdmasse und doppelter Erddurchmesser



Abbildung 18: Gliese 876 und seine Umgebung in einer künstlerischen Darstellung (Quelle: <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2002/27/image/a/>).

Kosmischer Staub und das Infrarote

In unserem Universum gibt es interplanetaren, interstellaren und auch intergalaktischen Staub. Er besteht aus den Resten gestorbener Sterne, die schwerere Elemente als Helium in ihrem Inneren durch Kernfusion erzeugt haben. Interplanetarer Staub befindet sich zwi-

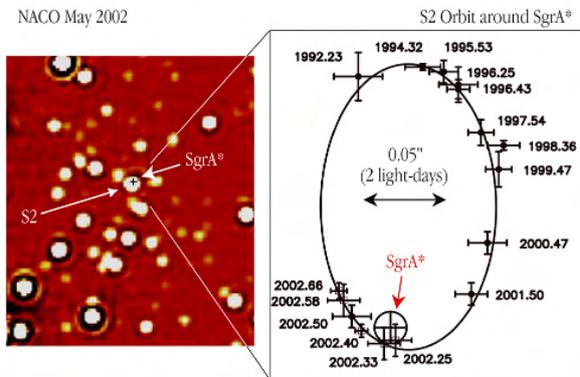
schen den Planeten eines Sonnensystems, interstellarer Staub im Raum zwischen den Sternen einer Galaxie und intergalaktischer Staub zwischen den Galaxien. Der Staub liegt in Wolken vermischt mit Gas vor, wobei das Massenverhältnis Gas zu Staub etwa 100:1 beträgt. Durch die interstellare Materie wird die Lichtausbreitung im Universum mehr oder weniger behindert, ein Sachverhalt, der uns schon aus der Absorption mancher Wellenlängen des elektromagnetischen Spektrums aufgrund unserer Atmosphäre bekannt ist. Die Absorption der Strahlung erfolgt im Gas bei bestimmten Wellenlängen (entsprechend der Energie, die für einen Quantenübergang bei einem Atom oder für eine Schwingung bei einem Molekül nötig ist), wobei Absorptionslinien oder -banden entstehen. Der Staub verursacht in der Regel eine kontinuierliche Absorption, d. h. sehr große Bereiche des elektromagnetischen Spektrums werden so stark absorbiert, dass sie nicht mehr nachweisbar sind. Im IR-Bereich ist die Absorption im Weltraum deutlich geringer, weswegen dieser Wellenlängenbereich mehr Durchblick auf unbekannte Gegenden ermöglicht.

Blick ins Milchstraßenzentrum

Lange bestand die Frage, ob sich im Zentrum des Milchstraßensystems ein supermassives Schwarzes Loch befindet. Wir können diesen Bereich nicht im sichtbaren Licht beobachten, da dieses Licht vom Staub in der galaktischen Scheibe wie oben beschrieben völlig absorbiert wird. Weil NIR-Licht eine größere Wellenlänge hat, wird es vom Staub weit weniger absorbiert, da die Energie der Strahlung nicht so gut in Bewegungsenergie der Staubteilchenbausteine umgesetzt werden kann.

Mit diesem Wissen konnten europäische Wissenschaftler an der Südsternwarte ESO in Chile 1992 die Sterne im galaktischen Zentrum erstmals beobachten und fanden dabei heraus, dass diese einen kleinen Bereich mit hoher Geschwindigkeit umlaufen. Dabei fiel vor allem der so genannte Stern S2 auf, der dem Zentrum sehr nahe ist. In den darauf folgenden Jahren bestimmten sie immer wieder seinen Standort und konnten somit seine Umlaufzeit

von 15,2 Jahren bei einer mittleren Umlaufgeschwindigkeit von 5000 km/s und die Halbachse seiner Umlaufbahn in Erfahrung bringen.



The Motion of a Star around the Central Black Hole in the Milky Way
 ESO PR Photo 23c-02 (© October 2002) © European Southern Observatory
 Abbildung 19: Galaktisches Zentrum im NIR (links), Umlaufbahn des Sterns S2 (rechts) (Quelle: <http://www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-2002/phot-23c-02-preview.jpg>).

Aufgrund dieser Daten konnte mithilfe des dritten Keplerschen Gesetzes die Masse im Zentrum errechnet werden, die dazu im Stande ist, eine solche Gravitationskraft aufzubringen, um den Stern S2 auf seiner Bahn zu halten. Es ergab sich eine Punktmasse von 3,7 Millionen Sonnenmassen. Da die Umlaufbahn von S2 das Volumen des Objektes jedoch begrenzt, muss es sich hierbei um ein supermassives Schwarzes Loch handeln, da kein anderes Objekt eine solche Masse in einem so kleinen Gebiet vorweisen kann. Dieses Schwarze Loch wird Sagittarius A* (Sgr A*) genannt.

Probleme der IR-Beobachtung

FRANZISKA MÜLLER, STIPE CIKES

Es gibt verschiedene Probleme bei der IR-Beobachtung. Diese kommen einerseits von der Erdatmosphäre und andererseits von der Eigenstrahlung der Teleskope (das so genannte Rauschen).

Die Wirkungen der Erdatmosphäre

Die wesentliche Beeinflussung der Strahlung in der Erdatmosphäre geht auf die Absorpti-

on zurück. Abb. 20 zeigt den Unterschied zwischen der Strahlung, die auf der Atmosphärenoberfläche und auf der Erdoberfläche auftrifft. Abb. 21 zeigt die Absorption verschiedener Stoffe in der Atmosphäre. Die bunten Abschnitte bedeuten, dass hier keine Strahlung durchgelassen wird. Man kann hier gut erkennen, dass Ozon (gelb) uns vor den gefährlichen UV-Strahlen schützt und Wasserdampf fast die gesamte FIR-Strahlung absorbiert. Der Nachteil der Absorption ist, dass Beobachtungen von der Erdoberfläche erschwert werden, da wir nicht alle Wellenlängen empfangen können. Dieser Nachteil kann aber auch von Vorteil für die Astronomen sein, weil durch die absorbierte Strahlung die chemische Zusammensetzung der Atmosphären anderer Planeten bestimmt werden kann.

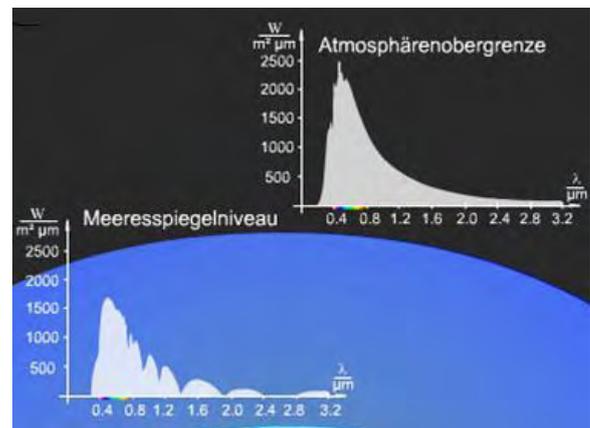


Abbildung 20: Einfluss der Erdatmosphäre auf die Strahlung der Sonne (Quelle: www.webgeo.de).

IR-Observatorien

Es gibt drei verschiedene Arten von IR-Observatorien: Die erste Möglichkeit sind Satelliten, die aber sehr teuer sind und bei Fehlfunktionen in der Regel nicht repariert werden können. Ein Beispiel dafür ist HERSCHEL, der im Jahre 2009 gestartet wird. Die zweite Möglichkeit bieten umgebaute Flugzeuge, die in der Stratosphäre fliegen, so dass die Absorption durch die Wirkung der Erdatmosphäre im IR drastisch verringert werden kann. Ein Beispiel dafür ist das SOFIA-Projekt der NASA und DLR, aber darüber später mehr.

Die dritte Art wird sehr häufig angewendet, weil sie am preiswertesten ist: Fest installierte

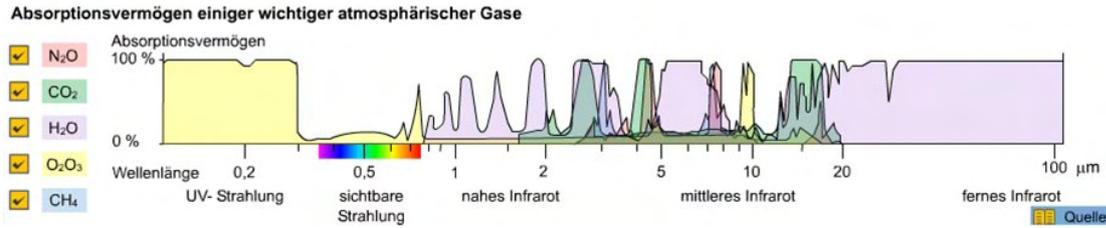


Abbildung 21: Selektive Absorption verschiedener Gase in der Atmosphäre (Quelle: www.webgeo.de).

Teleskope auf der Erde. Diese werden meist auf hohen Bergen aufgebaut, öffnen aber nur ein kleines Fenster für das IR. Zwei Beispiele dafür sind das Kitt-Peak-Observatorium in Arizona (2100 m hoch in der Wüste), sowie das Observatorium in Hawaii in der Höhe von 4480 m auf dem Berg Mauna Kea. Aber jedes dieser verschiedenen Observatorien hat Vor- und Nachteile.

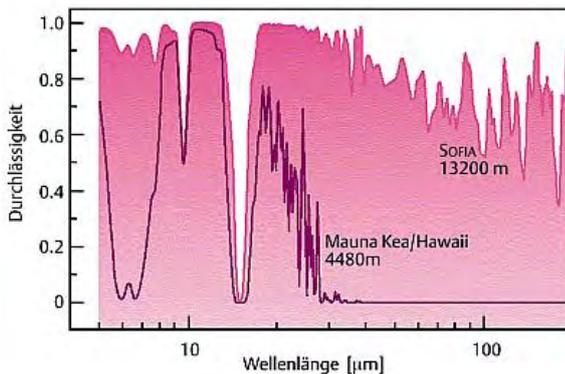


Abbildung 22: Vergleich SOFIA mit Mauna Kea Observatorium (Quelle: www.dsi.uni-stuttgart.de).

In Abb. 22 ist der Vorteil von SOFIA gegenüber dem Keck-Teleskop auf dem erloschenen Vulkan Mauna Kea dargestellt. Die große rosa Fläche zeigt die Strahlung, die von SOFIA empfangen werden kann und als durchgezogene dunkle Linie diejenige, die auf dem Mauna Kea eintrifft. Man kann erkennen, dass SOFIA im Mittleren sowie im Fernen Infrarot durch ihre Höhe einen deutlichen Vorteil gegenüber dem Teleskop auf der Erdoberfläche hat. Beide können aber im Bereich von $15 \mu\text{m}$ nur sehr wenig empfangen. Dieser Wellenlängenbereich wird hauptsächlich von Kohlenstoffdioxid absorbiert, der sich vor allem in sehr großen Höhen befindet.

Die Kühlung: Mittel Nr.1 gegen das Rauschen

Der Detektor muss mit sehr dünnen aber sehr zugfesten Speichen in der Hülle befestigt werden, damit er fest verankert wird, aber die Speichen dürfen die Hitze von der Außenhülle nicht an den Detektor weiterleiten. Außerdem muss der Empfänger auf eine sehr niedrige Temperatur gebracht werden, da dieser sonst noch zu viel Eigenstrahlung aussendet. Diese Kühlung erreicht man, indem man flüssiges Helium, dessen Siedetemperatur bei 2,8 K liegt, verdampfen lässt. Außerdem ist eine Abschirmung gegen Fremdeinstrahlung z. B. die der Sonne oder die der Erde sehr wichtig.

Das Chopper: Mittel Nr. 2 gegen das Rauschen

Der Chopper-Spiegel lässt das Bild eines Himmelsobjekts auf der Kamera periodisch mit 3 Hz um ca. 1-3 Bogenminuten hin- und herspringen. Auf ein Pixel des Detektors fällt nun abwechselnd Signal 1 also Grundrauschen mit Objekt und danach Signal 2 nur Grundrauschen ohne Objekt. Signal 2 wird dann von Signal 1 subtrahiert. Diese Differenz ist dann das verbesserte Bild. Der Chopper wird bei einer Temperatur von -270°C betrieben und benötigt nur zwei Milliwatt Antriebsleistung.

SOFIA

Das Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie (SOFIA) ist eine umgebaute Boeing 747 SP (verkürzte Version) mit einem Teleskop mit 2,7 m Durchmesser an Bord. Es handelt sich dabei um eine fliegende Sternwar-

te. Erste Beobachtungen werden voraussichtlich ab 2009 stattfinden. Später wollen Astronomen dann mehrmals wöchentlich mit SOFIA abheben, um die Entstehung junger Sterne und Planetensysteme zu beobachten oder das Zentrum unserer Heimatgalaxie, der Milchstraße, genau zu untersuchen.

Das infrarote Licht dieser Objekte, für das sich die Wissenschaftler besonders interessieren, ist vom Boden aus nur eingeschränkt zu empfangen, da insbesondere der Wasserdampf in der Erdatmosphäre diese Strahlung absorbiert. In einer Flughöhe von etwa 13 Kilometern ist der Einfluss des Wasserdampfs vernachlässigbar und somit der Weg frei für die Beobachtung der infraroten Strahlung astronomischer Objekte.



Abbildung 23: SOFIA in einem Testflug (Quelle: www.dsi.uni-stuttgart.de).

Das Teleskop befindet sich hinter einer verschließbaren Öffnung im hinteren Teil des Flugzeugrumpfes. Ein Druckschott trennt die Passagierkabine und den Teleskopraum voneinander. Beim Betrieb mit geöffneter Luke ist das Teleskop den äußeren Bedingungen ausgesetzt. Bei dieser Flughöhe bedeutet dies eine Temperatur von ca. -60°C und ungefähr ein Fünftel des Luftdrucks am Erdboden. Um die Anpassung des Teleskops an diese Bedingungen zu beschleunigen, wird es bereits am Boden mit flüssigem Helium heruntergekühlt. Bei Start und Landung ist die Kabine durch eine Rolltür

vor Staub, Schmutz und allzu starken Luftwirbeln geschützt. Sie soll auch verhindern, dass die Spiegeloberfläche des Teleskops beim Aufstieg mit Wasserdampf beschlägt und zufriert. Erst bei Erreichen der Beobachtungshöhe wird die Kabine geöffnet.

Gemeinsam haben die NASA und das DLR diese einzigartige Beobachtungsplattform entwickelt und werden sie gemeinschaftlich betreiben. Das gesamte Projekt wird zu 80 % von der NASA und zu 20 % von dem DLR finanziert; dies betrifft sowohl den Bau des Observatoriums als auch den 20-jährigen Betrieb.

Besuch beim DSI

Am Montag, den 01.09.2008 war es endlich soweit: Der Besuch beim Deutschen Sofia Institut (DSI) stand auf der Tagesordnung! Dies war der Höhepunkt des Astronomiekurses auf den wir lange gewartet haben. Wir freuten uns sehr und waren auch schon ein bisschen aufgeregt.

Nach dem kraft spendenden Frühstück trafen wir uns alle mit Rucksäcken und Digitalkameras bewaffnet vor dem LSZU II, und dann ging es gleich los. Zuerst liefen wir zum Adelsheimer Bahnhof und von dort ging es mit der Bahn über Osterburken nach Stuttgart. Dort angekommen, fuhren wir mit der S-Bahn zur Technischen Universität, in der sich das Deutsche Sofia Institut befindet. Nach einem kleinen Spaziergang über den Campus betraten wir dann das Institut für Luft- und Raumfahrtssysteme, wo wir von Frau Dr. Dörte Mehler herzlich begrüßt wurden. Sie hielt einen interessanten Vortrag über das SOFIA-Projekt und über weitere Projekte des Instituts. Darauf gingen wir in eine Werkhalle, in dem uns Dr. Stefan Löhle einiges über Raketenantriebe und Wiedereintrittsexperimente berichtete. Wir waren erstaunt, als wir die großen Kammern sahen, in denen die Verhältnisse in den Atmosphären der Erde und der anderen Planeten simuliert werden (siehe Abb. 24).

Danach wechselten wir den Raum und kamen zu Stefan Belz, einem Ingenieur, der uns an Versuchen die Funktion von Brennstoffzellen erklärte. Wir waren alle begeistert, als er uns ein Modellauto mit Wasserstoffantrieb zeigte,

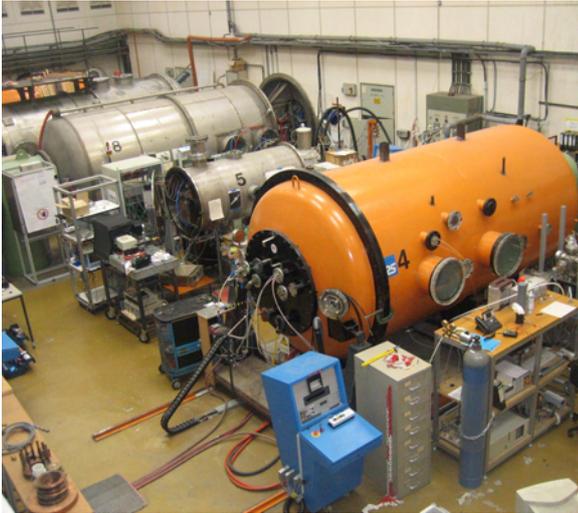


Abbildung 24: Maschinen im Institut für Raumfahrtssysteme Stuttgart zur Simulation der Bedingungen beim Eintritt von Satelliten in Planetenatmosphären.

das über den ganzen Tisch fuhr. Nach diesen tollen Experimenten gingen wir dann zu Uwe Putze, einem weiteren Ingenieur, der uns sein Projekt, den Stuttgarter Adler, erklärte. Das ist ein kleines ferngesteuertes Flugzeug, das über ganz Stuttgart fliegt und Fotos aus der Luft macht.



Abbildung 25: Stuttgarter Adler.

Er ließ uns mithilfe eines Beamers ein Modellflugzeug virtuell fliegen, und somit konnte jeder sein Geschick unter Beweis stellen. Das hat uns viel Spaß gemacht, und wir haben sehr viel über die virtuellen Flugzeugabstürze gelacht. Nach diesem Simulationsspiel gingen wir zum Ingenieur Jochen Noll, der uns einiges über

Raumstationen im Weltall erzählte, insbesondere über die Internationale Raumstation (ISS). Er erklärte uns auch, was die Astronauten alles beachten müssen, um mit ihrer Sojus-Kapsel erfolgreich an die ISS andocken zu können. Dazu standen zwei Computer bereit, mit denen wir das Andocken an die ISS mit Hilfe eines Simulationsspiels übten, was sich als sehr schwer erwies.



Abbildung 26: Daniela dockt das Sojus-Raumschiff am Simulator an die ISS an.

Abschließend hatten wir die Gelegenheit, Fragen, die uns brennend interessierten, an Frau Mehlert und die Ingenieure zu stellen. Wir bedankten uns ganz herzlich und im Laufschrift ging es dann zur S-Bahn, mit der wir dann zum Stuttgarter Hauptbahnhof zurück fuhren. Von dort aus ging es nach Adelsheim zurück zum Eckenberg-Gymnasium. Wir kamen gerade noch rechtzeitig zum Abendessen. Dieser Tag, der viel Spaß und Interessantes beinhaltet hat, war ein voller Erfolg!

Der Sternenhimmel

MARTIN SCHIMASSEK, UMUT YILDIZ

Die Menschen waren schon seit Anbeginn des Denkens am Sternhimmel interessiert, da vieles für sie unerklärbar war. Daher versuchten die Menschen ihren Glauben bzw. ihre Götter darin wiederzuerkennen. So fassten die alten Griechen Sterne zu Sternkonstellationen zusammen.



Abbildung 28: Herbstviereck.



Abbildung 30: Andromedagalaxie.

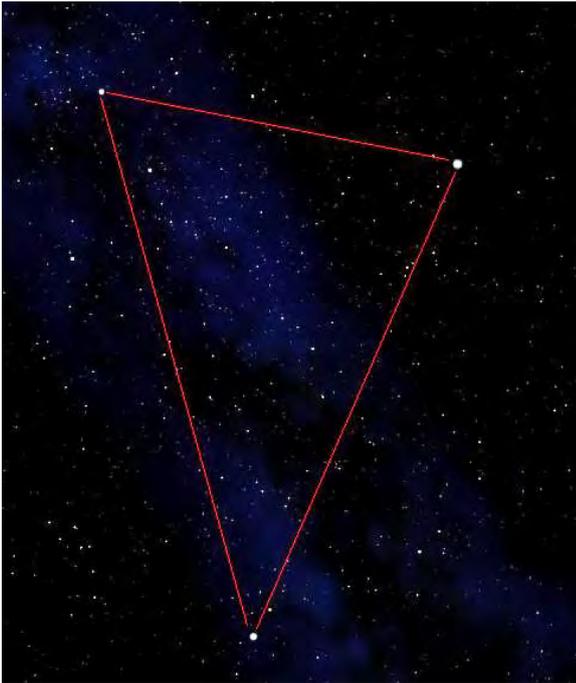


Abbildung 29: Sommerdreieck.

Besondere Objekte

Am Himmel gibt es Objekte, die man nicht alle Tage zu Gesicht bekommt, so kann man z. B. nur wenn es dunkel genug ist, die Andromedagalaxie mit bloßem Auge oder genauer mit dem Fernglas beobachten.

Ein weiteres Objekt, das man während der Akademie 2008 beobachten konnte war der Planet Uranus. Er ist gerade für uns IR-Astronomen etwas Besonderes. Der Entdecker des Infraroten W. Herschel beobachtete ein Objekt monatelang, weil er einen Kometen entdecken wollte, um sich einen Namen in der Astronomie zu machen. Er merkte aber nach einiger Zeit, dass es kein Komet war, es war ein Planet, Uranus.

Es ist nicht einfach Uranus zu finden, da er relativ lichtschwach ist. Während der Akademie war er im Wassermann zu sehen. Dort gibt es ein markantes Dreieck aus Sternen, von dem man nach „links oben“ gehend den Uranus sehen kann. Es war nicht der von uns erwartete blaue Planet, sondern ein schwach leuchtender Punkt.

Ein Blick in den Himmel lohnt sich immer, es ist eine schöne Herausforderung, die Sternbilder zu suchen und zu finden. Außerdem ist es immer wieder erstaunlich, wie viel man am Sternenhimmel sehen kann, wenn man nur will.

Nachtwanderung

LASSE WURZEL UND NICO RÖCK

„Es ist die Sprache geheimnisvoller Zeichen und Vorbedeutungen - die Eingebung der Götter - ganz durchgeistigt. Sollten am Ende die Bewohner irgendeiner anderen Welt, des Mars, die über gewaltige Kräfte verfügen, auf diese Weise unseren Erdball mit feurigen Symbolen umgeben, mit einer goldenen Schrift, zu deren Entzifferung wir nicht den Schlüssel besitzen?“

So beschrieb Robert Scott, ein berühmter Forscher und Abenteurer, den Nachthimmel. Funkelnd, mit Sternenlicht übersät und klar wie Quellwasser könnte man den Himmel über Adelsheim an jenem Samstag in der Mitte der Akademiezeit beschreiben, an dem wir, die Teilnehmer des Astronomie-Kurses, unsere Nacht-

wanderung anboten. Im Vorfeld hatten wir viel über die Sternbilder, ihre Beziehungen untereinander und die Jahrtausende alten griechischen Mythen und Geschichten der Sternkonstellationen gelernt. Wir lernten jedoch nicht nur etwas über die Anwendung der Sternbilder in der Nautik, so kann z.B. mit einem Sextanten der Standort mithilfe der Sterne bestimmt werden. Wir erfuhren auch, wie Sterne entstehen und vergehen.



Abbildung 31: Route der Nachtwanderung über den Eckenberg bei Adelsheim.

All dieses Wissen wollten wir natürlich auch an die anderen weitergeben und ihnen mit unserer Nachtwanderung einen Einblick in unsere Kursarbeit und die Astronomie geben. Dazu führten jeweils zwei Teilnehmer unseres Kurses eine Gruppe von etwa 15 Leuten.

Als es endlich dunkel genug war, gegen 21 Uhr, konnte die erste Gruppe starten. Diese Gruppe war allerdings eine besondere Gruppe, denn sie war für unsere chinesischen Freunde bestimmt und wurde deshalb auf Englisch durch die Nacht geführt. Am Anfang hatten die Lei-

ter dieser Gruppe, Lasse und Unmut, noch ein wenig Bedenken, denn es war sehr schwierig, die Geschichten und Sternbilder auf Englisch zu erklären und zu übersetzen. Doch es funktionierte sehr gut, da die Chinesen ein breites Grundwissen mitbrachten. So kannten sie beispielsweise sämtliche griechischen Götter und Göttinnen, die in den Geschichten der Sternbilder eine wesentliche Rolle spielen. Begeistert von den Geschichten, die sie teilweise zweimal hören wollten, erklärten die Chinesen aber auch ihre Sternbilder und deren Geschichten. Es war sehr interessant, denn die Chinesen sehen ganz andere Bilder und Formen in den Sternen als wir.



Inzwischen waren auch die anderen Gruppen, die später gestartet waren, durch den Waldweg zur großen Lichtung gelangt, bis auf eine Gruppe, die sich verlaufen hatte und in einem Dorf stand. Sie fanden dann jedoch ohne Hilfe wieder zum Akademiegelände zurück und erklärten den Teilnehmern, statt auf der Lichtung, auf dem Weg die Sternbilder und Geschichten. Trotzdem muss man sagen, dass es die anderen Gruppen auf der Lichtung gemüthlicher hatten, denn dort hatten unsere Kursleiter Decken ausgelegt, auf die man sich setzen und entspannt den Geschichten und Erklärungen lauschen, in den Nachthimmel schauen und sich entspannen konnte. Hinzu kam, dass in dieser Nacht Neumond war und nur wenige Wolken den Himmel bedeckten, sodass man

eine gute Sicht auf die Sterne hatte. Auch die Milchstraße konnte man besonders deutlich sehen.

Vor allem unsere chinesischen Gäste waren vom Nachthimmel begeistert, denn sie sagten, dass man in ihrer Heimat (Großstadt) wenn man Glück hätte, nur einen Stern am Himmel sehe und die Milchstraße nie so deutlich erkennen könne. Doch die vielen Sterne machten es auch für uns schwieriger, den anderen die Sternbilder zu zeigen, denn es waren nicht nur hellere, sondern auch lichtschwächere Sterne sichtbar. Abhilfe verschafften da manchmal aber auch Flugzeuge, die wir, wenn sie an der richtigen Position waren, teilweise auch zum Zeigen benutzten.

Um jedoch Objekte am Himmel genauer zu betrachten, reichte das bloße Auge oder auch ein Fernglas oft nicht aus, daher hatten unsere Kursleiter das große Fernrohr mit auf die Lichtung gebracht und jeder durfte einmal den Jupiter ein bisschen genauer betrachten. Da viele noch mehr sehen wollten, stellte unser netter Schülermentor dann auch noch das Fernrohr auf die Andromedagalaxie ein. Doch schließlich war es sehr spät geworden und so machten sich dann auch die Letzten auf den Weg zurück zum Akademiegelände. Glücklicherweise und um viele Erfahrungen reicher, aber auch müde, waren kurz vor 1 Uhr alle Gruppen wieder zurückgekehrt. Die Teilnehmer lernten viel über die Sternbilder und ihre Geschichten. Auch die Gäste aus Fernost waren eine große Bereicherung. Für uns, die Teilnehmer des Astronomie-Kurses, aber auch für alle anderen und die Chinesen war diese Nachtwanderung ein voller Erfolg, denn jeder konnte am Schluss neue Eindrücke mitnehmen.

Wir vom Astrokurs

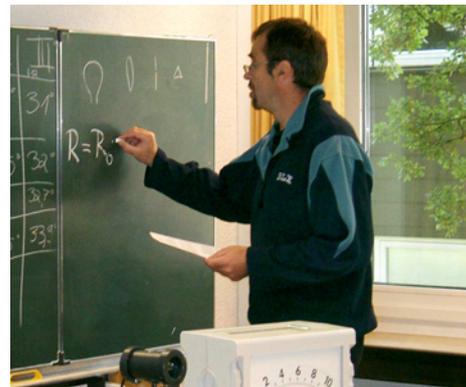
Cecilia:

Cecilia hat für die Leidenschaft gesorgt, sowohl im Kurs als auch beim Tanzen. Durch sie haben wir auch viele Venezuelanische Bräuche kennen gelernt. Ihre kleinen Diskussionen mit Olaf über HERSCHEL und SOFIA haben uns alle unterhalten.



Olaf:

Egal, was wir versucht haben, wir konnten ihn nicht aus der Ruhe bringen. Seine Begeisterung ist auf uns alle übergesprungen - Widerstand war zwecklos! Vor allem sein Laser beim nächtlichen Sternegucken hat es uns angetan!



Sebastian:

Der gute Geist mit dem großen Herz und dem breitesten Grinsen. Er hat uns alle mit seinem Schauspieltalent begeistert. Sein Gang - unverwechselbar, seine nächtlichen Tänze - legendär.



Adrian:

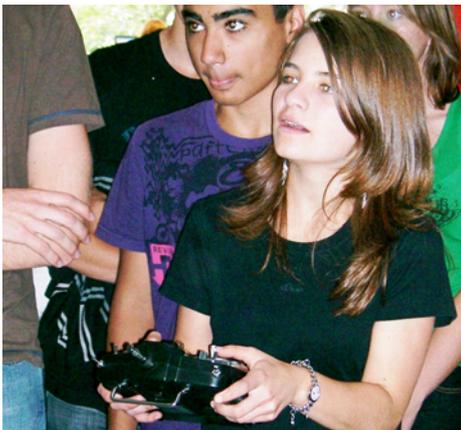
Während andere arbeiten, hat er die Ruhe, eine Folge seiner Lieblingsserie „Simpsons“ an-

zuschauen. Den Kurs hat er immer mit seinen lustigen Grimassen aufgeheitert. Auch mit seinem Handy, denn das hat während des Kurses geklingelt. Wenn er das nicht gemacht hat, hat er sich mit Nico und dem Stellarium beschäftigt oder grandiose Beiträge zum Kursthema gemacht. Und er weiß, wie man gerecht ist, denn das übt er am Wochenende als Schiedsrichter.



Corinna:

Unsere kleine Corinna ist zwar erst etwas später zu uns gekommen, stand uns aber deswegen in nichts nach. Oft war sie sehr verpennt, das sah aber ganz süß aus, und selbst dann war sie nett.



Daniela:

Sie guckt zwar wie ein scheues Reh, ist aber auch nicht auf den Mund gefallen. Auch beim Tanzen gibt sie eine gute Figur ab. Ihr Spezialgebiet am Sternenhimmel ist Herkules: Sie findet ihn immer und überall, auch wenn er von Wolken bedeckt ist. Sie ist wie ein kleines Kind von allem zu begeistern.



Franziska:

Sie ist klein, aber oho! Sie war immer sehr aufgeschlossen und freundlich und hat viel zum Gelingen des Kurses beigetragen.



Stipe:

Auch auf ihn passt das Sprichwort: Stille Wasser sind tief. Sein verdecktes Tanz- und Kommunikationstalent kam erst später zum Vorschein, aber dann hat der „Handballgott“ richtig losgelegt. Aber leider kamen wir nicht oft



in den Genuss seiner wahren „Muttersprache“: dem urtiefen Schwäbisch. Seine Spezialwitze und das Wikipedia-Spektrum haben uns alle zum Lachen gebracht. Nach dem nächtli-

chen Sternegucken stolperte er fast über einen „Iridium-Igel“, der auf dem Campus „sein Unwesen“ trieb!

Lasse:

Stille Wasser sind tief ... Obwohl er ein Pfadfinder ist, fand er den Pfad bei der Nachtwanderung nicht. Aber da war er ja nicht der einzige, denn sein Teamkollege hat den Pfad auch nicht gefunden, und auch ein paar andere Gruppen der hochbegabten Juniorakademiker haben sich im dunklen Wald verirrt.



Martin:

Unser Elektronikexperte baut zu Hause Infrarotroboter und IR-Lichtschranken und verwirrt uns stets mit seinen Fachbegriffen („den Draht an Masse anschließen“ ; deutsche Übersetzung: „An den Minuspol“ ; Martin-Deutsch, Deutsch-Martin). Auch für die Aussprache mancher Wörter bräuchte man einen Übersetzer.



Max:

„Joooa ... “ ;der waschechte Schwoob mit dem einzig wahren Schwoobedialekt. Kann auf alle erdenklichen Arten NIR photographieren und das auch lang und breit erklären ... Ohne ihn und seine grandiosen Deutschkenntnisse wä-

re dieses Dokument mit Fehlern übersät. Was man auf jeden Fall noch über ihn erwähnen muss, ist seine Teilnahme an der Jonglier-KüA - wirklich zirkusreif!



Melina:

Unsere Melli ist nicht nur eine Sports-, sondern auch eine Stimmungskanone, mit der man einfach jede Menge Spaß haben kann. Ob bei einem spannenden Volleyballspiel, einem heißen Tanz oder beim einfachen Sternegucken - Melli ist immer dabei und kaum zu bremsen! Nicht zu vergessen hat sie zu allem immer einen tollen Kommentar auf Lager!



Nico:

Trotz seines enormen Fachwissens ist er nicht abgehoben und ist sehr hilfsbereit und immer für einen da. Durch sein Engagement sind uns viele tolle Projekte gelungen. Außerdem ist er das super Sportass und seine Riesenschramme hat ihn nicht davon abgehalten beim Sportfest vollen Einsatz für sein Team zu zeigen.



Umut:

Er vertritt seinen Standpunkt mit allem was geht, akzeptiert aber auch die Meinungen anderer, wenn sie es schaffen, zu Wort zu kommen und ihn zu überzeugen, aber das ist schon eine schwere Aufgabe. Eine andere tolle Eigenschaft von ihm ist auch seine Geduld, denn er erklärt der lieben Melli die Sachen auch 3-mal, wenn's sein muss. Gut gestylt gibt er zu allem einen Kommentar ab. Aber er hat ein sehr großes Herz und verzeiht Fehler gern, wenn man ihn darum bittet.

Nina:

Der Superstar hat es nicht nur im Schwimmen drauf, sondern auch in der Schule, deswegen ist sie ja hier. Sie stand uns immer mit Rat und Tat zur Seite und hat sich gut mit in den Kurs eingebracht. Mit ihrer entspannten und lockeren Art kann man mit ihr viel Spaß haben!

