

Die gestörte Sicht von Planck - eine faszinierende Welt

Uwe Herbstmeier

Wissenschaftliche Satelliten sind ausgetüftelte Messinstrumente. Oft entstehen aus ihren Signalen mit Hilfe genauer Mess- und Auswertemethoden wunderschöne, aber auch spannende Bilder, wie die Nachricht in *Sterne und Weltraum* 9/2010 an Hand der ersten Ergebnisse des ESA-Satelliten Planck zeigt. Dass bis dahin ein ganzes Stück Arbeit geleistet werden muss, und dass auf diesem Weg nicht nur viel Schweiß vergossen wird, sondern auch spannende Geschichten über das Universum anfallen, kann ausgehend von den Ergebnissen der Planck-Mission aus diesem Beitrag erfahren werden.

Im [ersten Schritt](#) wird das Thema „Messen in der Physik“ an Hand einer Kleingruppenarbeit näher untersucht.

Im [nächsten Schritt](#) wird hinterfragt, was der Satellit Planck beobachtet und welche Ergebnisse daraus ermittelt werden.

Im [dritten Schritt](#) ist es das Ziel, mit Hilfe eigener künstlerischer Arbeiten die Sinne für genaues Beobachten zu schärfen.

Im [vierten Schritt](#) werden eine Reihe der spannenden Geschichten angerissen, denen man auf dem Weg zum eigentlichen Beobachtungsziel, der Kosmischen Hintergrundstrahlung, begegnet.

Auf viele Themen wurde in bereits erschienenen WIS-Beiträgen detailliert eingegangen. Auf sie wird Bezug genommen. Die Quellen sind im [Anhang](#) aufgeführt. Der Artikel ist als Ergänzung dieser Vorarbeiten konzipiert. Die Sammlung könnte als Anregung für eine Projektwoche zur Struktur des Universums verwendet werden.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Raumfahrt, Astropraxis, Diffuses Medium, Kleinkörper, Galaxien	Planck-Satellit , astronomische Datenauswertung , Staub , Zirrus , Asteroiden , Zwergplaneten , kosmische Entfernungen , Aufbau des Universums
Physik	Thermodynamik, Optik	Temperatur , Farbe , Farbtemperatur
Fächer- verknüpfung	Astro-Technik, Astro-Kunst, Astro-Deutsch	Thermometer , Fotografie , Perspektive , genaues Beobachten , Farben , Falschfarben , Farbmischung , Wortfindung , Gedicht
Lehre allgemein	Kompetenzen (Wissen, Erkenntnis, Kommunikation), Lehr- und Sozialformen, Unterrichtsmittel	Strömungsexperiment , Messverfahren , Messgenauigkeit , Messungen auswerten , Modellierung , Lesekompetenz , Bilder analysieren , Exkursionen , Kleingruppenarbeit , Vergleichen , Aufgaben , Lesetexte , Bilder (Beiblätter 1+2)

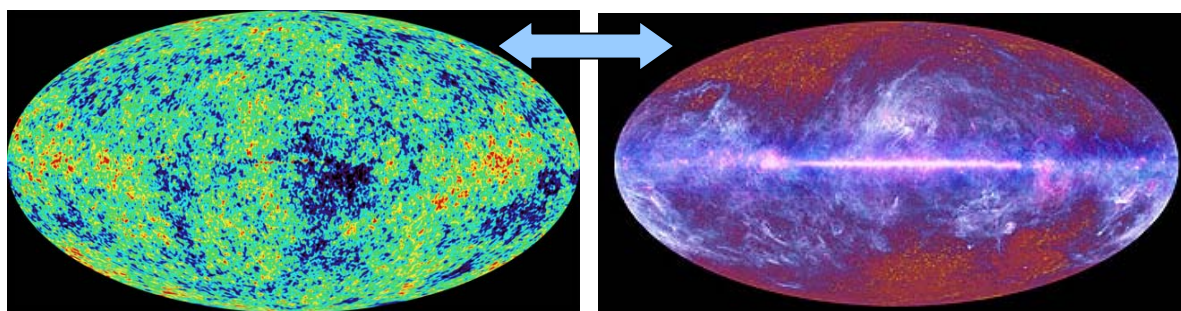


Abbildung 1 (links): Ein Abbild des frühen Universums: Falschfarbenkarte der Temperaturschwankungen der Kosmischen Hintergrundstrahlung verteilt über den ganzen Himmel, ermittelt aus den Daten der NASA-WMAP-Mission (Quelle: NASA/WMAP Science Team).

Abbildung 2 (rechts): Der Himmel wie er im ersten Jahr der Beobachtungen (bis Juli 2010) durch den ESA-Satelliten Planck gesehen wurde. Das Falschfarbenbild wurde zusammengestellt aus den Messungen bei den Wellenlängen zwischen 0,3 mm und 11,1 mm (Quelle: ESA/ LFI & HFI Consortia, Nr.: SEM4N4PZVAG).

Die Planck-Mission

[\[zurück zum Titel\]](#)

Am 14. Mai 2009 startete eine Ariane 5-Trägerrakete vom ESA-Raumbahnhof in Kourou, Franz. Guyana. An Bord war neben Herschel, dem bisher größten Infrarot-Teleskop im All, der Satellit Planck, benannt nach dem Begründer der Quantentheorie Max Planck. Dieser Satellit hat eigentlich nur ein Ziel: Er soll innerhalb von etwa 18 Monaten die Kosmische Hintergrundstrahlung, ein Nachleuchten des Urknalls, mit bisher unerreichter Präzision über den ganzen Himmel kartieren.

Eine genaue Beschreibung des Satelliten und seiner Aufgabe kann man im Artikel von Tauber, Bersanelli und Lamarre in *Sterne und Weltraum* [\[WIS-01\]](#) finden. Was die Kosmische Hintergrundstrahlung ist und warum sie so genau gemessen werden muss, kann im WIS-Beitrag [\[WIS-02\]](#) erarbeitet werden.



Der Satellit Planck (Grafik, Quelle: ESA – D. Ducros Nr.: SEMHZNOYDUF)

Nach gut einem Jahr hat Planck den ganzen Himmel einmal in vielen Spektralfarben beobachtet (siehe [Abb. 2](#)). Doch das Ergebnis ist auf den ersten Blick nicht das, was man von den Vorgänger-Satelliten, wie z.B. der NASA-Mission WMAP, kennt (siehe [Abb. 1](#)). Eigentlich sollte der Satellit doch nur dieses „Fleckenmuster“ mit deutlich höherer Genauigkeit vermessen? Es erscheinen aber ganz andere Strukturen?

Was wird überhaupt in diesen beiden Bildern dargestellt? Sind das wirklich nur einfache Abbildungen des Himmels?

Schritt 1: Temperatur-Messung - vor Ort ausgeführt

[\[zurück zum Titel\]](#)

Was ist genau das Ziel der Planck-Messungen?

Die Planck-Mission soll die Temperaturschwankung der Kosmischen Hintergrundstrahlung über den ganzen Himmel mit höherer Genauigkeit vermessen, als es die letzte Mission WMAP der NASA erreicht hat. Dabei heißt ‚genauer‘ zum einen mit besserer räumlicher Auflösung (noch enger zusammenstehende Nachbarpunkte sollen noch deutlich unterschieden werden können), und zum anderen soll der entsprechende Temperaturwert pro Himmelspunkt mit noch größerer Genauigkeit vermessen werden.

Aktion:

Messungen im Klassenzimmer

Um den Aufwand für eine genaue Messung zu verdeutlichen, soll die Temperaturverteilung im Klassenzimmer gemessen werden. (Alternativ könnte man auch die Temperatur an verschiedenen Stellen in der Schule vergleichen.) Die Messungen sollen in Kleingruppen vorbereitet, durchgeführt, ausgewertet und dargestellt werden.

Fragestellungen, die dabei zu bedenken und besprechen sind (vor jedem Schritt Antworten notieren, präsentieren und das weitere Vorgehen besprechen):

1. Grundsätzliches

- Was verstehen wir eigentlich unter **Raumtemperatur**? Was genau soll gemessen werden?
- Welche Ergebnisse werden erwartet? Gibt es Bereiche die sich in der Temperatur deutlich unterscheiden?
- Welche Einflüsse der Umgebung könnten eine Rolle spielen?



2. Messverfahren

- Welche **Geräte zur Temperaturmessung** stehen zur Verfügung?
- Was und wie messen die Temperaturmessgeräte?
(Zum Strahlungsthermometer siehe [\[WIS-03, AB4\]](#))
- Welche Genauigkeit der Messgeräte kann ich erwarten?
- Wie muss gemessen werden (Messzeit, Messort)? Wie muss gemessen werden, um die Genauigkeit zu erhöhen?
- Welche anderen Größen können gemessen bzw. erfasst werden?



3. Vorbereitung

- Vorbereitung der Messapparatur.
- Vorbereitung des Protokollblatts/-hefts.
- Erstellen einer Messvorschrift.

4. Die Messung an Hand der Messvorschrift durchführen und die gewünschten Beobachtungen mitschreiben.

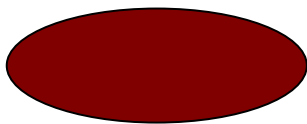
Ort	Zeit	Temperatur	Umgebung	Bemerkung

5. Auswertung

- Wie werden die gewünschten Werte ermittelt? Welche mittlere Temperatur hat der Raum?
- Wie genau konnte ich die Temperaturwerte messen?
- Welche Schwankungen der Temperatur konnten festgestellt werden?
- Wie können die Werte anschaulich dargestellt werden?
- Werden die Erwartungen bestätigt, widerlegt, verfeinert?
- Gibt es Zusammenhänge zwischen der Temperaturverteilung und Beobachtungen der Umgebung?

Vergleich mit der erwarteten Genauigkeit der Temperatur-Messung von Planck

Würde man die Temperatur der Kosmischen Hintergrundstrahlung vergleichbar genau messen wie mit den Schulgeräten, dann würde man eine Himmelskarte erhalten, die an jeder Stelle den gleichen Wert hat: 2,7 K, d.h. 2,7 Grad oberhalb des absoluten Temperaturnullpunkts bei -273,15 °C (mehr zu dieser Temperatur in [\[WIS-02\]](#)).



Um die Strukturen der WMAP-Karte sicher zu erkennen, muss man bereits die Temperatur auf 0,000.001 K, d.h. auf ein Millionstel K genau messen.

Planck soll dabei nochmals einen Faktor 10 besser sein, d.h. die Messunsicherheit der Temperatur wird 0,000.000.1 K (ein Zehnmillionstel K) betragen.

Aufgabe

Um ein Gefühl für die Anforderungen an die Genauigkeit der Planck-Messungen zu erhalten, soll dies an Hand einer Längenmessung veranschaulicht werden. Wie genau muss man sie Strecke eines Schulwegs von ca. 3 km messen, um eine relative Genauigkeit zu erreichen, die mit der der Planck-Messung identisch ist? Finde noch weitere ähnliche **Vergleiche**.

Infokasten: Geschichte eines Satellitenexperiments - Beispiel ISO, das Infrarotteleskop vor Herschel und Planck

"Es geschah an zwei eisigen Februartagen des Jahres 1983 in Scheveningen an der niederländischen Nordseeküste.... Im Kurhaus dagegen, einige hundert Meter vom Strand entfernt ging es heiß her: Die Europäische Weltraum-Agentur ESA wählte die nächste wissenschaftliche Mission." So beginnt der Artikel von D. Lemke zur spannenden Geschichte der ISO-Mission (siehe Anhang). Diesen Tagen vorangegangen waren jahrelange technische und wissenschaftliche Machbarkeitsstudien. Anschließend wurden die einzelnen Instrumente ausgewählt, darunter das Heidelberger ISOPHOT. Die Planung der Messungen begann (was und wie sollte beobachtet werden) und die Instrumente wurden gebaut. 1989 wurde der erste Prototyp ausgeliefert, 1994 nach manchen technischen Rückschlägen das funktionierende Flug-Model. Am 17. 11. 1995 startet ISO, bestens getestet und mit vorbereiteten Messprogrammen, beobachtet gut 2 Jahre lang den Himmel. Anschließend wurden die Daten über ca. 4 Jahre ausgewertet und die Nutzung des daraus entstandenen Archivs dauert an.

Schritt 2: Temperatur-Messung - im All, wie ist das zu verstehen?

[\[zurück zum Titel\]](#)

Im ersten Schritt konnte man direkt an den Ort gehen, um Temperaturen zu messen. Aber wie kann ein Satellit die Temperatur des Urknallblitzes messen? Was versteht man überhaupt unter dieser Temperatur? Jetzt kommt Max Planck ins Spiel. Er hat etwa um das Jahr 1900 genau das Spektrum eines Körpers in Abhängigkeit von seiner Temperatur gemessen. Dabei wurde der Körper so konstruiert, dass er die gesamte Strahlung, die auf ihn fällt, verschluckt (ein so genannter Schwarzer Körper, nicht zu verwechseln mit einem Schwarzen Loch), eine recht gute Näherung für viele Körper im Weltall. Vor ihm hatte bereits Wilhelm Wien festgestellt, dass man der hellsten Spektralfarbe dieses Körpers seine Temperatur, zuordnen kann.



Zuordnung der Farbtemperatur (ungefähr) im Sichtbaren (Quelle: in wikipedia, Artikel Farbtemperatur 21.07.2010)

So kann man also aus der **Mischfarbe** eines Objekts (z.B. eines Eisenklumpens im Schmeldeofen) eine Temperatur, die sog. **Farbtemperatur**, ablesen. Dies gilt auch für Körper, die heißer als 16.000 K oder kälter als 1.000 K sind. Denn jenseits der Grenzen des sichtbaren Spektrums schließen sich noch weitere Bereiche des elektromagnetischen Spektrums an. Und auch aus diesen unsichtbaren Farben können Temperaturen abgeleitet werden.

Eine Reihe von WIS-Artikeln widmet sich diesen für unsere Augen unsichtbaren Spektralbereichen, so z.B. [\[WIS-04\]](#). Hier wird auch erarbeitet, dass die Länge der elektromagnetischen Wellen ein Maß für die Farbe ist: je größer die Wellenlänge, desto rötlicher im sichtbaren Bereich.

Aufgabe 1

Unsere Sonne erscheint gelblich-weiß. Welche Temperatur kann man so für ihre Oberfläche abschätzen?

Aufgabe 2

Auf welcher Seite der Farbskala muss der Satellit Planck beobachten, um die Temperatur der Kosmischen Hintergrundstrahlung zu ermitteln?

Die hellste „Spektralfarbe“ der Kosmischen Hintergrundstrahlung entspricht einer Temperatur von 2,7 K [\[WIS-02\]](#). Diese Spektralfarbe hat eine Wellenlänge von ca. 2 mm. Um aber die Eigenschaften der Kosmischen Hintergrundstrahlung, insbesondere Abweichungen der Farbtemperatur an den verschiedenen Orten am Himmel, genauestens erfassen zu können, wird mit dem Planck-Satelliten durch 9 „Farbfilter“, im Wellenlängenbereich zwischen 0,3 mm und 11,1 mm gleichzeitig beobachtet.



Aufgabe 3

Erfindet Namen für die Farben, die nicht sichtbar sind und verwendet sie in einem kurzen **Gedicht**.

Das Planck-Bild in den Nachrichten von *Sterne und Weltraum* 9/2010, das einen Himmelsausschnitt um die Richtung zum galaktischen Zentrum zeigt (siehe das Beiblatt 1), ist eine Karte der Farbtemperatur dieser Region. Sie wurde aus 2 der 9 Beobachtungsbänder (bei 0,35 mm und 0,54 mm) und einer Karte bei 0,1 mm von IRAS, einer Infrarot-Mission aus den 1980er Jahren, ermittelt. Dabei wurden die Rot- und Weißtöne ausgewählt, um die einzelnen Temperaturwerte zu unterscheiden. Man nennt dies auch eine Falschfarbendarstellung. Die Temperaturwerte reichen von etwa 10 K (dunkles Rot) bis zu einigen 10 K (weiße Stellen).

Aufgabe 4

Malt ein eigenes Bild des Himmelsausschnitts in eurer eigenen **Farbskala (Falschfarben)**, behaltet aber die Temperaturverteilung bei.

Schritt 3: Temperatur-Messung - was kann man aus diesem Bild lesen?

[\[zurück zum Titel\]](#)

Bisher ist es immer noch unklar, warum die beiden Bilder (Abb. 1 von WMAP und Abb. 2 von Planck) so völlig unterschiedlich aussehen, obwohl sie doch im Prinzip dasselbe zeigen sollten.

Aktion:

Ein Bild mit Perspektive

Es wird ein **Ausflug** in die Stadt oder aufs Land organisiert. Dabei wird eine Stelle gesucht, die sowohl in der Nähe Objekte (Häuser, Bäume etc.) erkennen lässt, als auch einen weiten Blick in die Ferne (Straße in der Stadt, Hang an einem Hügel) mit ähnlichen Objekten bietet. (Alternativ: Auch zu Hause lassen sich oft Blicke aus dem Fenster oder im Garten finden mit dieser Blicktiefe.) Das Szenarium wird **fotografiert**. Auf den Fotos



können auch Rucksäcke, Fahrräder, Mitschüler etc. im Vordergrund stehen (sie sollten aber nicht alles abdecken).

Anschließend sollen folgende Fragen in **Kleingruppen** diskutiert und notiert werden, dabei kann das Foto auch als Grundlage für ein eigenes Bild (beliebige Technik) genommen werden, um die verschiedenen Blickwinkel intensiver zu erfahren.

- Was kann auf dem Bild im Einzelnen erkannt werden?
- Vergleiche Objekte in der Nähe mit ähnlichen in der Ferne, wie ändert sich das Erscheinungsbild?
- Wovon hängt diese Änderung ab, nur von der Entfernung?
- Was kann von den fernen Objekten gesehen werden, was fehlt?
- Welche Eigenschaften machen den Unterschied der verschiedenartigen Objekte aus?

Weitere Bilder können das **genaue Beobachten** unterstützen. Schneide die Strukturen in der Ferne, die teilweise verdeckt sind, aus und ergänze sie mit der eigenen Erwartung. Es soll ein Bild erstellt werden, das die verschiedenen Elemente des Fotos / Bildes (z.B. als Collage) neu zusammenstellt.

Ähnliches gilt für den Planck-Satelliten

Planck beobachtet wie ein umgekehrter Leuchtturm. Mit einer Drehung pro Minute um die Satelliten-Achse streicht der Sehstrahl über den Himmel. Dann wird der Satellit leicht geschwenkt und deckt den benachbarten Streifen ab (siehe auch das [Video](#) auf den ESA-Planck-Internet-Seiten). Dieser drehende Sehstrahl erfasst alles, was im entsprechenden Farbband leuchtet, egal ob die Lichtquelle nah steht oder in weiter Ferne.

Es gibt einen Unterschied, der aber durchaus wichtig ist, um durch den Vordergrund auch die Hintergrundstrahlung zu erkennen. Während die Vordergrundobjekte in den Bildern der Schüler die Teile des Hintergrunds meist völlig abdecken, sind die Objekte beim Blick von Planck ins All oft durchscheinend. Dies hängt mit den Farben zusammen, bei denen Planck beobachtet.

Der umgekehrte Effekt, eine Infrarot-Lampe ist hinter einem Wassertank im Optischen sichtbar, im Infraroten aber nicht, kann an Hand eines Experiments in [\[WIS-04\]](#) selbst untersucht werden.

Schritt 4: Temperatur messen - und das ganze Universum nebenbei

[\[zurück zum Titel\]](#)

Das Teleskop des Satelliten Planck erfasst auf seinem Sehstrahl in den ausgewählten Farbbändern (Wellenlänge 0,3 mm - 11,1 mm) nicht nur den kosmischen Hintergrund, sondern alles von der näheren Umgebung bis zu den fernsten Galaxien im Universum. Daher können uns die Bilder von Planck nebenbei auch viel Spannendes über das ganze Universum erzählen, viel zu viel für ein einziges Arbeitsblatt. Aber in diesem Schritt soll mit Hilfe der Nachricht in *Sterne und Weltraum* 9/2010 (siehe auch das Beiblatt) die grundlegende Struktur des Universums erarbeitet werden.

Infokasten: Astronomische Maßeinheiten für die Entfernung

Die Entfernungen im Sonnensystem werden meistens in Astronomischen Einheiten (AU) gemessen. 1 AU entspricht der mittleren Entfernung zwischen Erde und Sonne, 1 AU \approx 149,6 Millionen km. Die weiteren Entfernungen im All beziehen sich oftmals auf die Strecke, die das Licht in einem Jahr zurücklegt, dem so genannten Lichtjahr (Lj). Das Lj ist also eine Längeneinheit. Da die Lichtgeschwindigkeit knapp $300\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ beträgt, entspricht 1 Lj einer Strecke von ca. $9,5\cdot 10^{12}$ km, oder 1 AU = 8 Lichtminuten.

Unser Sonnensystem

[siehe auch [WIS-05](#)]

[\[zurück zum Titel\]](#)

Als erstes erfasst der Blick des Satellitenauges die Objekte in unserem Sonnensystem: Planeten, Monde, Asteroiden und Zwergplaneten, Kometen und das Zodiakallicht. Immer den Rücken kehrt Planck dabei Erde, Erdmond und Sonne (und damit auch dem inneren Bereich des Sonnensystems, Merkur und Venus). Denn diese drei sind viel zu nah und zu hell und würden die empfindlichen Messgeräte dauerhaft blenden und beschädigen.

Erfasst werden die Planeten Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, die **Zwergplaneten** wie Ceres und Pluto und tausende von Asteroiden und Kometen. Der nächste äußere Planet, Mars (Durchmesser 6.800 km), kam zu Beginn 2010 der Erde auf 0,66 AU nahe, der größte, Jupiter (143.000 km), ca. 4 AU. Die nahen Asteroiden befinden sich im Bereich zwischen Mars- und Jupiterbahn (Entfernung zur Erde ca. 1,1 bis 2,3 AU). Einer der größten **Asteroiden** ist Pallas mit einem Durchmesser von ca. 500 km. Weit draußen sind dann die äußeren Zwergplaneten (z.B. Makemake bei ca. 45 AU mit einem Durchmesser von ca. 1.800 km), die sog. Edgeworth-Kuiper-Asteroiden und Kometen zu finden.



Der Asteroid Lutetia, aufgenommen von der Raumsonde Rosetta (Quelle: ESA 2010 MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/RSSD/INTA/UPM/DASP/IDA, Nr.: SEML0DZOFBG)

Aufgabe 1

Aus den Angaben im Text ist abzuschätzen, wie groß der Sehwinkel ist, unter dem ein Planet, ein naher Asteroid und ein ferner Zwergplanet im Sichtfeld des Planck-Teleskops erscheinen. Vergleiche dies mit dem Bild der Himmelsregion in Beiblatt 1 und dem Winkel des kleinsten von Planck noch trennbaren Abstands am Himmel von ca.5' (bei einer Wellenlänge von 0,3 mm).

Die Planeten und Kleinkörper werden von der Sonne beleuchtet und erwärmt. Die Temperatur hängt von der Oberfläche ab (dunkle, von Kohlenstoff bedeckte Körper werden stärker aufgewärmt als helle, (vielleicht wurde das in Schritt 1 bereits selbst ausprobiert). Daher können Farbtemperaturmessungen von Planck dazu beitragen, die Oberfläche der Planeten und Kleinkörper besser zu verstehen.

Umgekehrt ist ein Körper im Sonnensystem dicht und undurchsichtig. Das heißt, er schirmt die Helligkeit aller Bereiche dahinter, insbesondere auch die Kosmische Hintergrundstrahlung ab. Jedoch ist die bedeckte Fläche so klein (siehe Aufgabe), dass dieser Effekt nicht ins Gewicht fällt. Nur helle Objekte überstrahlen mit ihrem Licht die Hintergrundstrahlung aus dieser Richtung.

Aufgabe 2

Wie kann man diese Störung der Messung durch ein geschicktes Messverfahren bestimmen? Welche Eigenschaften der Körper im Sonnensystem kann dabei genutzt werden?

Unser Milchstraßensystem

[siehe auch [WIS-06](#)]

[\[zurück zum Titel\]](#)

Wenn der Blick von Planck über die Grenzen des Sonnensystems hinausgeht, dann ist es so, wie wenn wir morgens unser Zuhause verlassen: Wir kommen vorbei an anderen Häusern und an vielen Dingen dazwischen (Gärten, Straßen, ...). Und auch die Häuser sind nicht alle gleich verteilt, sondern stehen meist zusammen in Dörfern und Städten. So passiert nun der Sehstrahl von Planck andere Sterne und gigantische Gaswolken zwischen den Sternen, die in einem riesigen System angeordnet sind, unserem Milchstraßensystem oder auch Galaxis. Wir können auf unsere „Sternenstadt“ zwar nicht von außen blicken, doch gibt es viele Galaxien, die der Galaxis ähneln.



Eine Galaxie, wie unsere eigene von der Seite: NGC 891
(Quelle: Dale Cupp / Flynn Haase / NOAO/AURA/NSF)



Eine Galaxie, von oben gesehen: M83
(Quelle: ESO)

Die Dimensionen des Milchstraßensystems sind riesig: Durchmesser 100.000 Lj und Dicke 3.000 Lj bis 16.000 Lj (im Zentrum), allerdings nicht scharf abgrenzbar. Die Sonne steht in einer Entfernung von ca. 30.000 Lj zum Zentrum der Galaxis.

Auf unserem Bild von Planck sehen wir in Richtung des Zentrums der Galaxis. Das weiße Band (die Milchstraße) markiert die Ebene des Milchstraßensystems, in die wir von der Seite her hineinschauen. Da die Sterne je nach Typ vor allem im Sichtbaren, im Ultravioletten und im nahen Infrarotbereich leuchten, sind sie in den Farbbändern von Planck mehrere tausend Mal schwächer als im Sichtbaren. Damit beherrschen sie das Bild nicht. Hauptsächlich ist es die Materie zwischen den Sternen, die zu sehen ist, und davon im Wesentlichen der Staub, der mit einem Anteil von ca. 1 % in Gaswolken eingemischt ist. **Interstellarer Staub** besteht aus kleinen Teilchen ($< 1 \mu\text{m}$) unterschiedlicher Zusammensetzung (aus Graphit, Ruß, Silikaten, die auch im Sand zu finden sind, mit und ohne Eismantel und so manches mehr). Dieser Staub wird von den Sternen der Milchstraße auf Temperaturen von 10 bis zu mehreren 10 K geheizt.

Aufgabe 3

Warum ist das Milchstraßenband in unserem Bild weiß?



Oberhalb der Milchstraßenebene finden sich aber noch weitere Wolkenstrukturen. Insbesondere fällt eine warme Wolke rechts oberhalb des Milchstraßenzentrums auf, an der lang gestreckte Ausläufer hängen. Es handelt sich um ein Gebiet, in welchem gerade neue Sterne aus einer Ansammlung von Gas und Staub entstehen, der sog. Rho-Ophiuchus-Molekülwolkenkomplex (benannt nach dem Sternbild Ophiuchus).

Aufgabe 4

Das Sternentstehungsgebiet ist ca. 425 Lj von der Sonne entfernt. Wie hoch steht es über der Milchstraßenebene (obere Kante)? Wenn wir das Gebiet in die Nähe des galaktischen Zentrums schieben könnten, wie groß wäre der Winkelabstand von der Mittellinie des weißen Bands in unserem Bild?



Daneben findet sich über den ganzen Himmel verteilt ein Gespinnst aus fadenartigen, ausgefransten Gas- und Staubwolken. Diese Wolken erinnerten die Entdecker sehr an die hohen Zirruswolken in der Erdatmosphäre, so dass sie seither als **galaktischer Zirrus** bezeichnet werden. Die Wolken sind sehr gut vermischt mit den fein verteilten Gasschichten in unserer Milchstraße, die sich nicht zu dichteren Wolkenkomplexen zusammengeballt haben. Zum Teil lässt sich der Ursprung einiger der Wolken besonderen Ereignissen zuordnen. So sind die dunkelroten Wolken im **Beiblatt 1** bei $l=30^\circ$ und $b=30^\circ$ Überreste einer gewaltigen

Sternexplosion (Supernova), die vor langer Zeit in der Nähe der Sonne stattgefunden hat. Die Schale des ausgeworfenen Materials ist zum Teil noch als Bogen über den Himmel zu erkennen (siehe SN im Beiblatt 2).

Viele der Strukturen werden durch die Kräfte in der Milchstraße (die Schwerkraft, die Rotation und die Sternwinde und Sternexplosionen) verwirbelt.

Experiment

Mit Hilfe einfacher Mittel kann der Einfluss der verschiedenen Kräfte dargestellt werden. Man nehme ein feuerfestes Becherglas, fülle es voll Wasser. Anschließend setze man mit Hilfe eines Röhrchens (z.B. ein Trinkhalm, in den man die Tinte einsaugt und ihn dann mit dem Finger abschließt, so dass die Tinte nicht heraus laufen kann) einen Tropfen Tinte in das Wasser möglichst im oberen Drittel und beobachtet dann den weiteren Verlauf. Weitere Möglichkeiten die Tinte zu beeinflussen sind, das Wasser vorsichtig in Rotation zu versetzen (Rühren) oder eine erhitzte Schraubmutter (Metallkugel o.ä.) als Simulation eines heißen Sterns mit Sternwind mitten in die Tintenwolke zu hängen. Anstatt im Becherglas kann man auch verfolgen, wie sich die Tinte bei Rotation in einem wassergefüllten Teller verhält. Die sich bildenden Strukturen sollen verfolgt werden.

Wie kann man sich die Ergebnisse erklären? Welche Ähnlichkeiten, welche Unterschiede findet man zu den Strukturen am Himmel?



[\[zurück zum Titel\]](#)

Das Bild von Planck wird in vielen Bereichen unserer Milchstraße wichtige Informationen über die Verteilung von sehr kaltem Staub liefern, der von den Sternen nur leicht aufgeheizt wird. So können auch Staub- und Gasschichten entdeckt werden, die bisher noch nicht gesehen worden waren.

Allerdings ist die weite Verbreitung dieser Staubwolken auch wie ein lästiger Vorhang, der den Blick auf den interessanten kosmischen Hintergrund verstellt. Ähnlich wie hohe Zirruswolken dazu führen, dass an einem schönen Sommertag immer weniger vom blauen Himmel zu sehen ist (s. Bild oben).

Galaxien, Galaxienhaufen

Wenn nun auch die Milchstraße vom Sehstrahl des Planck-Teleskops verlassen wird, dann begeben wir uns in die fernen Weiten des Universums hin zu unseren Nachbargalaxien, der Großen und der Kleinen Magellanschen Wolke (Entfernung ca. 150.000 Lj) oder der Andromedagalaxie M31 (Entfernung ca. 2,5 Millionen Lj) bis hin zu Quasaren (Galaxien mit einem sehr hellen Zentrum) wie z.B. 3C273 (Entfernung ca. 2,4 Milliarden Lj) und zu Objekten, die noch viel weiter entfernt stehen. All diese Sternsysteme leuchten im Licht der Planck-Bänder ähnlich wie unsere Milchstraße zusammengenommen. Man kann sie auch bereits in den Karten von Planck erkennen (siehe **Beiblatt 2**).

Aktion

Es soll an Hand der angegebenen Entfernungsdaten ein **Modell des Universums** überlegt und dargestellt werden. Dabei ist die gesamte Ausdehnung des Sonnensystems ca. 1 Lj. Es können in Büchern noch weitere **kosmische Entfernungen** gefunden und in das Modell eingepasst werden.

Was ist nun mit der Hintergrundstrahlung?

[\[zurück zum Titel\]](#)

Zu all den erwähnten Strukturen kommt die überall fast gleichförmig leuchtende Kosmische Hintergrundstrahlung hinzu, die eigentlich das Ziel der Planck-Mission ist. Um die Helligkeit dieser Strahlung in den 9 Farbbändern von Planck zu ermitteln, müssen alle Beiträge der anderen Objekte von nah bis in weite Ferne bestimmt und vom Gesamtergebnis abgezogen werden. So erhält man dann die korrigierte Helligkeit. Aus den 9 Helligkeitskarten kann dann für jeden Punkt die Farbtemperatur der Hintergrundstrahlung bestimmt und aus der Abweichung von der mittleren Temperatur von ca. 2,7 K der erwartete „Fleckenteppich“ gewonnen werden (So funktioniert die **astronomische Datenauswertung**)- mit sehr hoher Genauigkeit. Da, wie gesehen, dies ein aufwändiges Verfahren ist, werden die Wissenschaftler an den Planck-Daten noch einige Jahre arbeiten müssen, um ein wirklich verlässlich gutes Ergebnis zu erzielen.

Anhang - WIS-Artikel mit nahe liegenden Themen

[\[zurück zum Titel\]](#)

[WIS-01] zur Übersicht	Die Planck Mission (der Artikel in <i>Sterne und Weltraum</i>)	Jan Tauber, Marco Bersanelli, Jean-Michel-Lamarre
	Eine genaue und verständliche Beschreibung der Ziele des Satelliten Planck, der Messgeräte und der erforderlichen Datenauswertung	
[WIS-02] zur Übersicht zu Schritt 1 zu Schritt 2	Auf der Suche nach den Fingerabdrücken des Urknalls	Cecilia Scorza de Appl
	Mit diesen Materialien kann herausgearbeitet werden, wieso wir in der Kosmischen Hintergrundstrahlung den Urknall sehen und warum es für das Verständnis der Welt so wichtig ist, die leichten Schwankungen dieses Hintergrunds so genau zu kennen.	
[WIS-03] zu Schritt 1	Der kleine praktische Einstieg in die infrarote Welt	Cecilia Scorza, Olaf Fischer
	Die Infrarot-Welt um uns herum wird an Hand verschiedener praktischer Beispiele dargelegt. Arbeitsblatt 4 erläutert die Funktionsweise des Strahlungsthermometers	
[WIS-04] zu Schritt 2 zu Schritt 3	Wie das unsichtbare Infrarotweltall seine Geheimnisse Preis gibt	Cecilia Scorza
	Hier werden die Bereiche des elektromagnetischen Spektrums jenseits der Grenzen des sichtbaren Lichts insbesondere im Infraroten betrachtet. An Hand eines Arbeitsblatts wird die Undurchsichtigkeit von Wasser im Infraroten gezeigt.	
[WIS-05] zu Schritt 4	Die Entdeckungsreise zu den Planeten	Siegfried Zedler
	Neben manch anderen WIS-Artikeln, die zu einzelnen Aspekten im Sonnensystem Material bieten, findet man hier Vorlagen zur Erkundung des Planetensystems.	
[WIS-06] zu Schritt 4	Eine galaktische Armillarsphäre	Dirk Brockmann
	Ein allgemeines Modell über den Aufbau der Milchstraße und die Position des Sonnensystems in unserer Galaxie.	

Anhang - Sonstige Links und Literaturquellen

Video von der Planck-Beobachtungsmethode: in der ESA-Rubrik:

<http://www.esa.int/SPECIALS/Planck/index.html>: Planck Videos - ESA, C. Carreau -
Planck scans the full sky - Nr. SEMZU7PZVAG

D. Lemke, ISO - Die Geschichte der ISO-Mission aus der Sicht eines beteiligten Wissenschaftlers - in
Mars Express & Co, *Sterne und Weltraum*, Special 1/04, S52 (2004)

A. Thalmayr, Lyrik nervt, Carl Hanser Verlag 2004

Ergebnisse

Schritt 1

Aktion

Grundsätzliches:

- Messziel: Es kann entweder die Temperatur der Luft an verschiedenen Stellen des Raums gemessen werden, oder die der Wand, des Bodens, eines Möbelstücks etc. Nur eine Variante sollte ausgewählt werden.
- Erwartungen: Hier kann man Vermutungen zu Papier bringen, wie konstant die Temperatur über den Raum verteilt ist. Meistens werden im Bereich der Fenster andere Werte erwartet (Sonne und/oder Heizung) als in dunklen Ecken. Unterschied zwischen Boden und Decke?
- Umgebungseinflüsse: Sonneneinstrahlung, Heizung, die Nähe der Schüler. Interessant ist auch ein Vergleich von dunklen Oberflächen mit hellen spiegelnden (siehe auch Schritt 4).

Messverfahren:

- Geräte, Messmethode und Genauigkeit:

Flüssigkeitsthermometer: Leicht verfügbar, meist nicht sehr genau ablesbar, lange Stabilisierungszeiten. Prinzip: Volumenänderung der Flüssigkeit ist temperaturabhängig. Ohne besondere Anpassungen geeignet für die Temperaturmessung der Umgebungsluft.

Strahlungsthermometer: messen Wärmestrahlung einer Objektoberfläche. Wegen der großen Unterschiede der Oberflächen müssen die einzelnen Mess-Stellen vorab vorbereitet werden (identische Blechstücke, dunkler Filz etc.).

Halbleitertemperatursensoren oder Widerstandsthermometer: messen Eigenschaftsänderungen eines elektronischen Bauteils auf Grund einer Temperaturänderung. In der Luft oder an Objekte befestigbar.

Allgemein: Funktionalität und prinzipielle Messgenauigkeit kann aus den Datenblättern der Geräte abgelesen werden (siehe auch die entsprechenden Firmen-Seiten im Internet)

Meßgenauigkeit, T1, T2 oder T1-T2 (Modell 54)	J-, K-, T-, E- und N-Typ: $\pm[0,05 \%$ der Messung $+ 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ($0,5 \text{ }^\circ\text{F}$)] [Unter $-100 \text{ }^\circ\text{C}$ ($- 148 \text{ }^\circ\text{F}$): $0,15 \%$ der Messung für J-, K-, E- und N- Typ, $0,45 \%$ der Messung für T- Typ hinzufügen] R- und S-Typ: $\pm[0,05 \%$ der Messung $+ 0,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ($0,7 \text{ }^\circ\text{F}$)]
--	--

- Messgrößen der Umgebung: Abstand zur Heizung, Helligkeitsmessung (Sonneneinstrahlung)

Vorbereitung:

- Es sollte darauf geachtet werden, dass eine Planung der Messungen (wo, wann, wie) erfolgt und ein entsprechendes Protokollblatt mit allen Eintragungsmöglichkeiten geschaffen wird.

Durchführung: Beispiel

Messvorschrift:
An jedem Ort wird 5 s lang gemessen. Es werden 5 Messwerte pro Ort erfasst.
Ort 1 = 1. Fenster hinten, Mitte Fensterbank

Ort	Zeit	Temperatur	Helligkeit	Bemerkung
1	09:30:00	24,5°C	sonnig	
1		24,6°C	sonnig	Wind kommt auf
1		24,4°C	sonnig	

Auswertung:

- Berechnungen:
Zunächst wird der mittlere Temperatur-Wert an jedem Messort und seine Unsicherheit berechnet (n Messwerte pro Messort, $n = 5$):

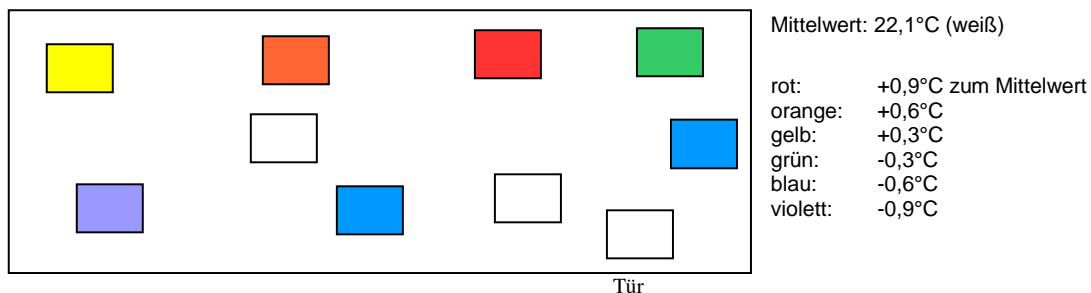
$$T_{\text{Ort1}} = \frac{1}{n} \cdot (T_1 + T_2 + \dots + T_n)$$

$$\text{Unsicherheit dieses Mittelwerts: } \Delta T_{\text{Ort1}} = \sqrt{\frac{(T_1 - T_{\text{Ort1}})^2 + \dots + (T_n - T_{\text{Ort1}})^2}{n \cdot (n - 1)}}$$

- Um die Schwankungen besser darstellen zu können, wird der Mittelwert des ganzen Raums berechnet (N Messorte): $T = \frac{1}{n} \cdot (T_{\text{Ort1}} + T_{\text{Ort2}} + \dots + T_{\text{OrtN}})$

Dann zieht man diesen Mittelwert von allen Werten im Raum ab und erhält die Abweichungen an jedem Messort vom Mittelwert im Raum.

- Eine Möglichkeit diese Schwankungen darzustellen ist es, den Raum in Messfelder einzuteilen. Die Felder mit Werten nahe am Mittelwert bleiben weiß, alle Felder darüber gelb, orange, rot (je nach dem wie stark sie abweichen), alle darunter grün, blau, violett (erinnert sei an die Wetterkarten mit Temperaturangaben in Zeitung oder Fernsehen):



- Erwartungen und Zusammenhänge: Die gelb-orange-rotten Felder liegen alle am Fenster / an der Heizung. Die relativ warme Zone an der Tür wurde durch eine Gruppe Mitschüler bestimmt, die sich dort aufgehalten hat.

Aufgabe

Die relative Genauigkeit der Planckmessung beträgt $\frac{1 \cdot 10^{-7} \text{ K}}{2,7 \text{ K}} = 3,7 \cdot 10^{-8}$. Man muss die Strecke

von ca. 3 km auf $3 \text{ km} \cdot 10^{-8} = 0,1 \text{ mm}$ genau messen um ein vergleichbar gutes Ergebnis zu erhalten.

Schritt 2

Aufgabe 1

Vergleicht man die Farbtemperatur auf der Skala in der Abbildung, dann schätzt man ca. 4000 K ab. Dies ist leicht unterhalb des Wertes von 5780 K, den man aus genaueren Analysen des Sonnenspektrums außerhalb der Erdatmosphäre erhält. Dies ist auch zu verstehen, da die Luft vor allem die blaue Komponente aus dem Licht der Sonne heraus streut (blauer Himmel) und damit die Sonne eher gelblich erscheinen lässt.

Aufgabe 2

Die Kosmische Hintergrundstrahlung entspricht einem 2,7 K warmen Körper. Daher ist das Beobachtungsfenster für Planck weit jenseits des roten Endes, im sog. Millimeter-Wellenlängenbereich.

Aufgabe 3

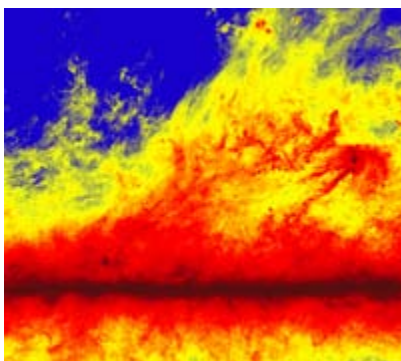
Wie wär's mit rusch, ors und mor für drei Farben im Bereich des Planck-Spektrums. Und hier das Gedicht eines möglichen Kosmologen:

*Planck, du schaust in rusch,
hinaus ins ferne All!
Ors-mor mir sage mehr
zum heftigen Urknall.*

Nun, ja nicht besonders originell. (Angeregt von Hr. Thalmayr, siehe Anhang)

Aufgabe 4

Hier ein Bild, das von den Planck-Wissenschaftlern etwas anders eingefärbt worden ist:



**Falschfarbenbild der Himmelsregion aus *Sterne und Weltraum*
gemessen von Planck
(Quelle: ESA und das HFI Consortium, Nr.: SEM7D6CKP6G)**

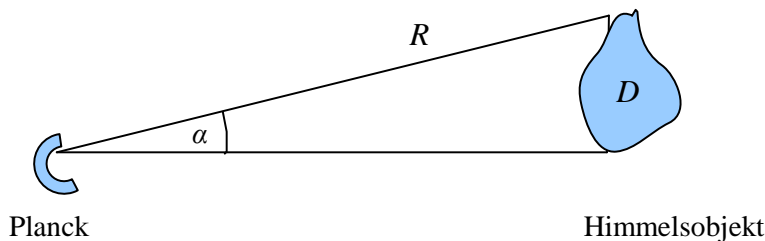
Schritt 3

Aktion

Stichwortartig, basierend auf dem Beispielbild: Erkennbar sind, Bäume, Büsche, Häuser, ein Fluss, eine Brücke, Hügel, der Himmel. Gleiche Objekte, wie z.B. die Bäume werden in der Ferne kleiner, ändern aber auch ihre Helligkeit, manche verschwimmen im Dunst. Die scheinbare Größe der Bäume hängt von der Entfernung ab, die Helligkeit ist bedingt durch die Beleuchtung bzw. durch die Luftschichten davor. Von der Brücke ist nur der tragende Bogen zu sehen. Unterschiedliche Objekte unterscheiden sich durch ihre Form aber auch durch ihre Farben.

Schritt 4

Aufgabe 1



Aus zwei der drei Größen lässt sich die Dritte bestimmen. In diesem Falle sind die Durchmesser der Planeten und Kleinkörper und ihre Abstände zur Erde bekannt. Zwar zieht der Satellit in ca. 1,5 Millionen Kilometern Entfernung zur Erde seine Bahnen, aber der Unterschied ist für eine Abschätzung nicht bedeutend.

Es gilt: $\sin \alpha = \frac{D}{R}$ und damit $\alpha = \arcsin \left(\frac{D}{R} \right)$.

Objekt	Durchmesser	Entfernung	Schwinkel
Mars	6.800 km	0,66 AU	14"
Jupiter	143.000 km	4 AU	49"
Pallas	500 km	1,7 AU	0,"4
Makemake	1.800 km	45 AU	0,"06

Die Körper unseres Sonnensystems erscheinen sehr klein. Verglichen mit dem Auflösungsvermögen von 5' können die Objekte nur als Punkte erkannt werden. Nur falls sie hell genug leuchten, sind sie als Punkte in der Karte von Planck zu erkennen.

Aufgabe 2

Die Beobachtung des Himmels durch Planck dauert etwa 18 Monate, dabei wird der Himmel mehrfach überdeckt. In dieser Zeit bewegt sich Planck zusammen mit der Erde und den anderen Objekten des Sonnensystems um die Sonne. Das bedeutet, dass die Planeten, Zwergplaneten und Asteroiden im Bild des Satelliten ein Stück „weitergewandert“ sind und somit an anderer Stelle gefunden werden. So kann man die Anteile heller Sonnensystemobjekte herausrechnen.

Aufgabe 3

Wie im Schritt 3 herausgearbeitet wurde, stellen die Farben des Bildes die Temperatur der leuchtenden Objekte dar. Dabei sind die weißen Teile, so auch das Milchstraßenband, relativ warm. Hier finden sich auch die meisten Sterne der Galaxis. Viele Sterne heizen die Staubteilchen in ihrer Umgebung entsprechend stärker auf. Beim Blick in die Ebene sieht man immer mehr dieser warmen Staubbereiche. Blickt man aus der Ebene heraus, ist dies nicht mehr so eindeutig.

Aufgabe 4

Siehe das Bild und die Gleichungen in Aufgabe 1. Zusammen mit den Angaben im Text erhält man: D ist nun der gesuchte Abstand. $R = 425 \text{ Lj}$. Aus der Karte wird ein Winkel der Oberkante von ca. 20° abgelesen relativ zur Milchstraßenebene.

$D = R \cdot \sin \alpha = 425 \text{ Lj} \cdot \sin(20^\circ) = 145 \text{ Lj}$. Dies ist bei einer halben Dicke der Milchstraße von ca. 1500 Lj noch relativ nahe an der Ebene.

Um den Winkelabstand zu berechnen, wenn die Wolke in der Nähe des galaktischen Zentrums stehen würde, setzt man das berechnete D ein und erhält zusammen mit $R = 30.000 \text{ Lj}$:

$\alpha = \arcsin\left(\frac{D}{R}\right) = 17'$. Also so gut wie ununterscheidbar von der Fülle der Strukturen nahe an der Milchstraßenebene.

Experiment



Links: Die Tropfen sinken, der größeren Dichte der Schwerkraft folgend, nach unten. Dabei werden sie stark in die Länge gezogen. Auch in unserer Milchstraße strömen oftmals dichtere kalte und dünnere heiße Gasströme aneinander vorbei und bilden so bizarre Formen.

Rechts: Die heiße Schraube bewirkt, dass die Flüssigkeit in der Umgebung nach oben aufsteigt, so auch der Bodensatz an Tinte. Es entstehen regelrecht Fahnen, die von der Heizquelle ausgehen. Auch dies kann man im Weltall beobachten. Heißes Gas strömt dabei von den Sternexplosionen aus gegen die Schwerkraft und bildet Kanäle zu den Bereichen in den Außenzonen der Galaxien (dem so genannten Halo).

Aktion

Man könnte das ganze Sonnensystem (ca. 1 Lj) in die Dicke eines Haares packen (ca. 0,1 mm), dann ergeben sich folgende Entfernungen:

Rho Ophiuchus Molekülwolke	42,5 mm
Galaktisches Zentrum	3 m
Durchmesser der Milchstraße	10 m
Magellansche Wolken	15 m
M31	250 m
3C273	240 km