

Wie die kosmischen Radiowellen in die Schule kommen

Im täglichen Leben nutzen wir Radiosignale, um Daten über große Strecken hinweg zu übertragen. „Bild- und Musikdaten“ spielen dabei eine große Rolle. Doch unsere „Schüssel“ können auch Signale empfangen, wenn sie nicht auf die TV-Satelliten ausgerichtet sind. Die ersten Schritte zur Radioastronomie in der Schule lassen sich mit sehr geringem Aufwand tun und können den Begriff der Radiowellen etwas mit Leben erfüllen.

Dreierlei wird angeboten. Zum einen werden in der Rubrik „[Nachgefragt und nachgerechnet](#)“ Bezüge zum dazugehörigen SuW-Beitrag (12/2006, S. 74-77) hergestellt. Dann werden Aufgaben anderer Art („[Astrobilder lesen lernen](#)“ und ein [Lückentext](#)) zum Thema Fernsehsatelliten angeboten. Schließlich wird es [ganz praktisch](#). Es kann gebastelt und experimentiert werden.

Übersicht der Bezüge im WiS!-Beitrag		
Physik	Schwingungen und Wellen, Mechanik Thermodynamik	Radiowellen, Mikrowellen, Wellenlänge-Frequenz-Beziehung , Auflösungsvermögen , thermische Strahlung, Strahlungsmechanismen, Strahlungsleistung, Zentripetalkraft
Astronomie	Astropraxis, Raumfahrt, Positionsastronomie	Radioastronomie, Astrofotografie, geostationäre Satelliten , Äquatorkoordinaten , Himmelsäquator
Fächer- verknüpfung	Astro-Ma	Dekadischer Logarithmus

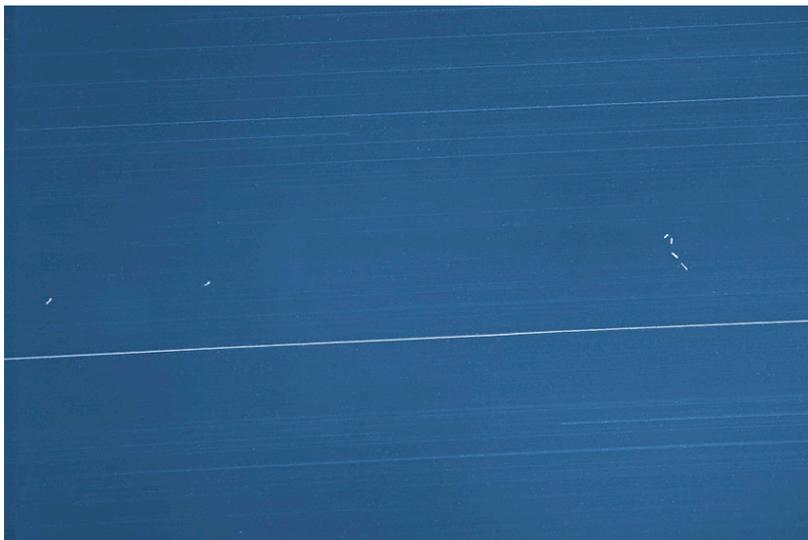


Abbildung 1: Aufnahme des Astra 1-Satelliten-Clusters (23.08.2009). Zusätzlich gibt es eine GIF-Animation ([animation-astra.gif](#)) aus mehreren Bildern, die zeigt, dass die Geostationarität nur in Nähe- rung machbar ist.

©: Andreas Möller –

http://www.high-iso.de/bilder/satelliten/astra_tv-satelliten_20090823,

CC BY-SA 3.0 de,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11247138>.

Astrobilder lesen lernen

Der Astra 1-Satelliten-Cluster ist von Offenbach aus bei einer Deklination von ca. 10° unter dem Himmelsäquator zu sehen.

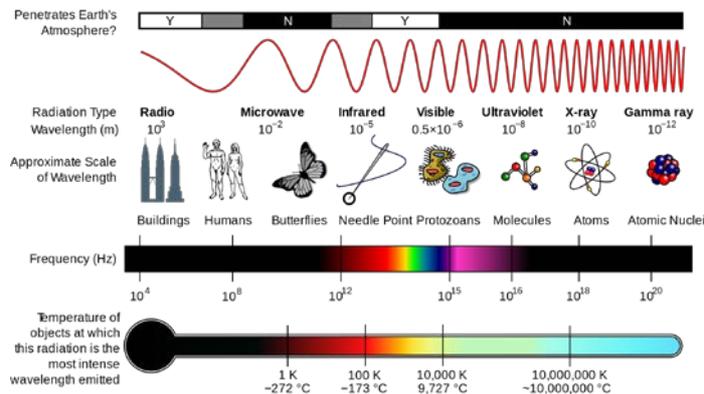
Wie groß ist der dargestellte Himmelsausschnitt des Fotos (Belichtungszeit: 30 min) maximal?

Antwort:

Die Sterne bewegen sich während der Belichtungszeit von 30 min scheinbar um einen Winkel von $\cos(-10^\circ) \cdot (30 \text{ min}/23 \text{ h } 56 \text{ min}) \cdot 360^\circ \approx 7,4^\circ$ am Himmel. Für einen Stern auf dem Himmelsäquator ($\delta = 0^\circ$) ist der Faktor $\cos \delta = 1$. Außerdem ist zu beachten, dass sich die Erde gegenüber den Sternen in rund 23h 56min um 360° dreht und nicht etwa in 24 h. Da die Strichspuren länger als die Bildbreite sind, muss das Bild kleiner als $9,9^\circ$ in seiner Breite sein.

Nachgefragt und nachgerechnet (konkrete Bezüge zum SuW-Beitrag)

[\(→zurück zum Anfang\)](#)



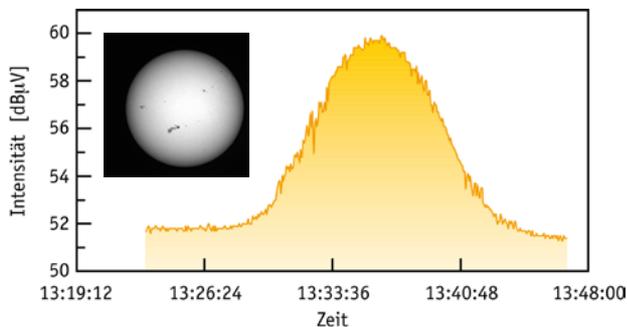
©: By Inductiveload, NASA - self-made, information by NASA Based off of File: EM Spectrum3-new.jpg by NASA, The butterfly icon is from the P icon set, File:P biology.svg The humans are from the Pioneer plaque, File: Human.svg, The buildings are the Petronas towers and the Empire State Buildings, both from File: Skyscrapercompare.svg, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2974242>

Wellenlängen können wir uns besser vorstellen

Auf Seite 75 (SuW 12/2006) heißt es, dass der LNB (Low Noise Block Converter) für Signale zweier Frequenzbänder empfindlich ist, für das Low_Band (10,7-11,7 GHz) und für das High-Band (11,7-12,5 GHz).

Welche Wellenlängen haben Radiowellen in diesen Frequenzbereichen, und um was für eine Art von Radiowellen handelt es sich?

Die Sonne als Punktquelle?



Bei der Betrachtung von Abbildung 4 auf S. 76 von SuW 12/2006 könnte sich die Frage ergeben, warum die Sonne nur als Punktquelle wahrgenommen wird, d. h. warum kein Plateau im Kurvenverlauf erscheint, wo wir mit bloßem Auge die Sonne doch ausgedehnt als Scheibe sehen können.

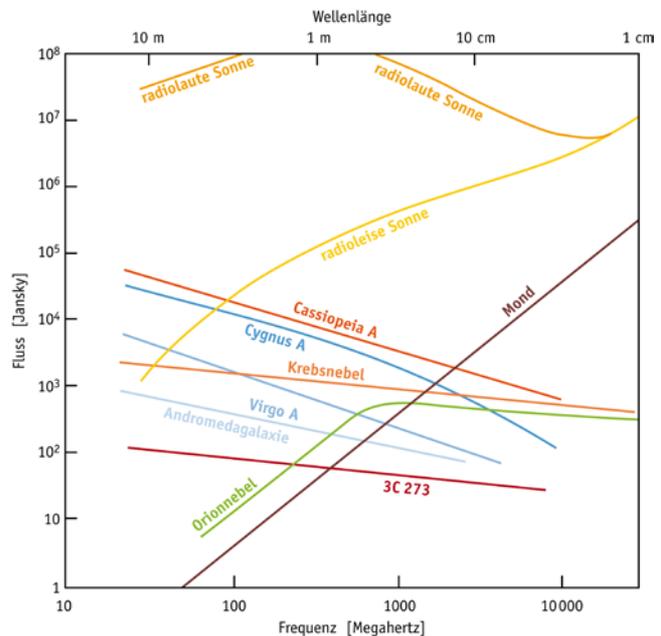
Radiodaten aus dem lg-lg-Diagramm

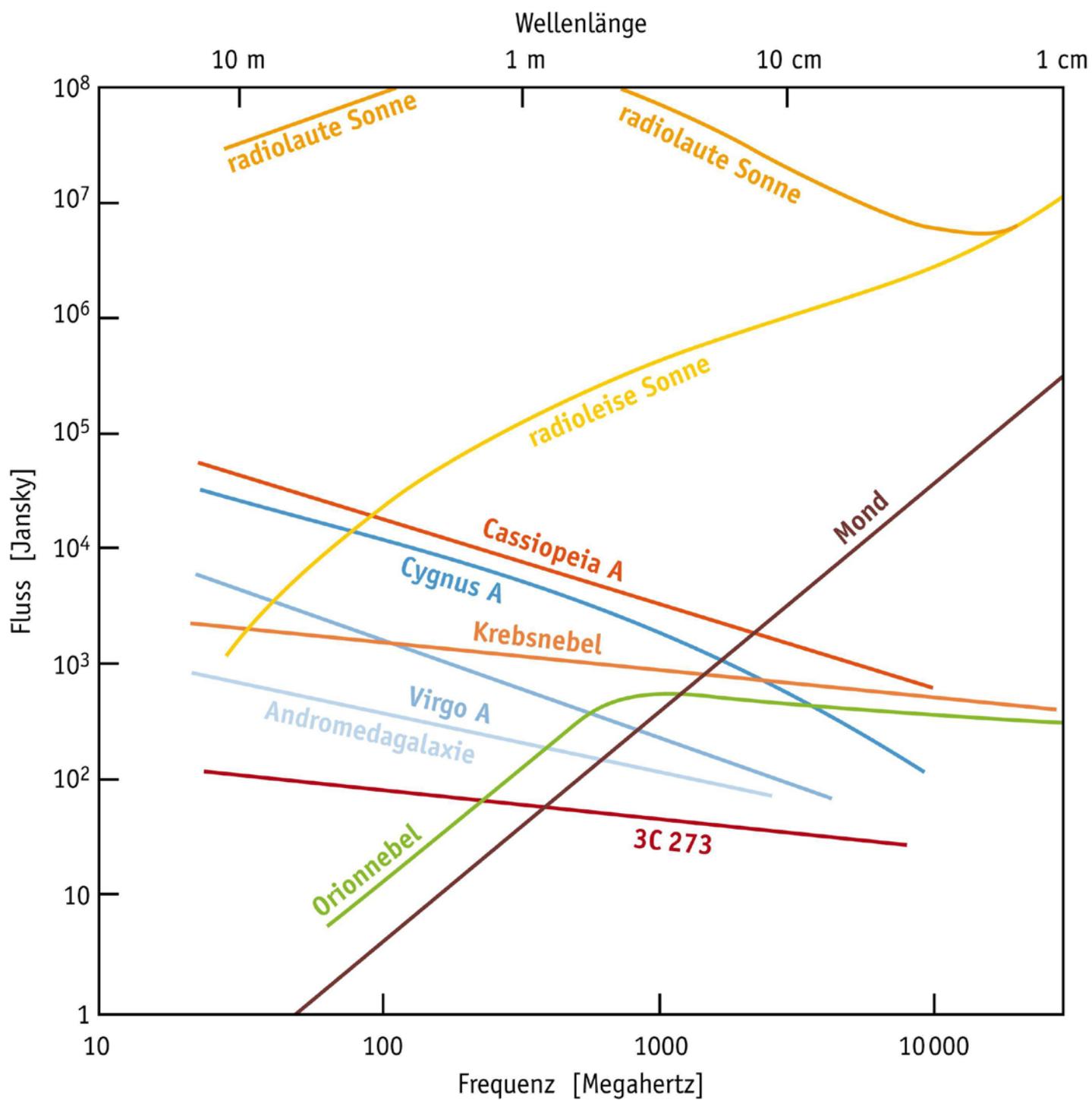
(Ableseung in einem Diagramm mit logarithmisch geteilten Achsen)

Auf Seite 76 des zugehörigen SuW-Beitrags (SuW 12/2006) findet man mit Abbildung 5 ein Diagramm, welches den Verlauf des Radioflusses über der Wellenlänge für die stärksten kosmischen Radioquellen zeigt. (Das Diagramm wird nachfolgend extra mitgegeben.)

Was kann man sich unter einem Radiofluss vorstellen, und was bedeutet die Einheit Jansky?

Die für eine Wellenlänge von 26 mm zu erwartenden Radioflüsse sind im Diagramm für die stärksten kosmischen Radioquellen abzulesen.



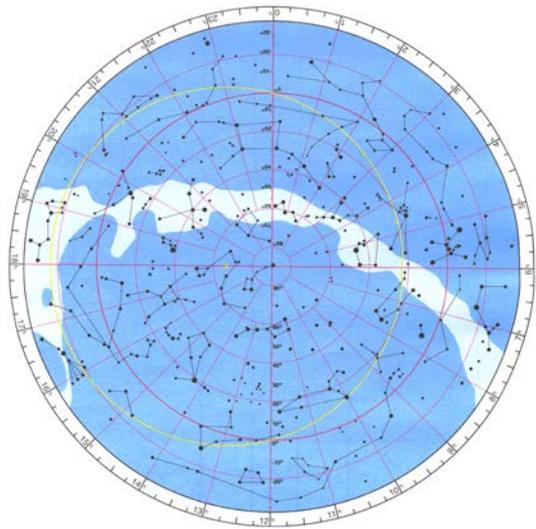


Wo sind die kosmischen „Sendestationen“?

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

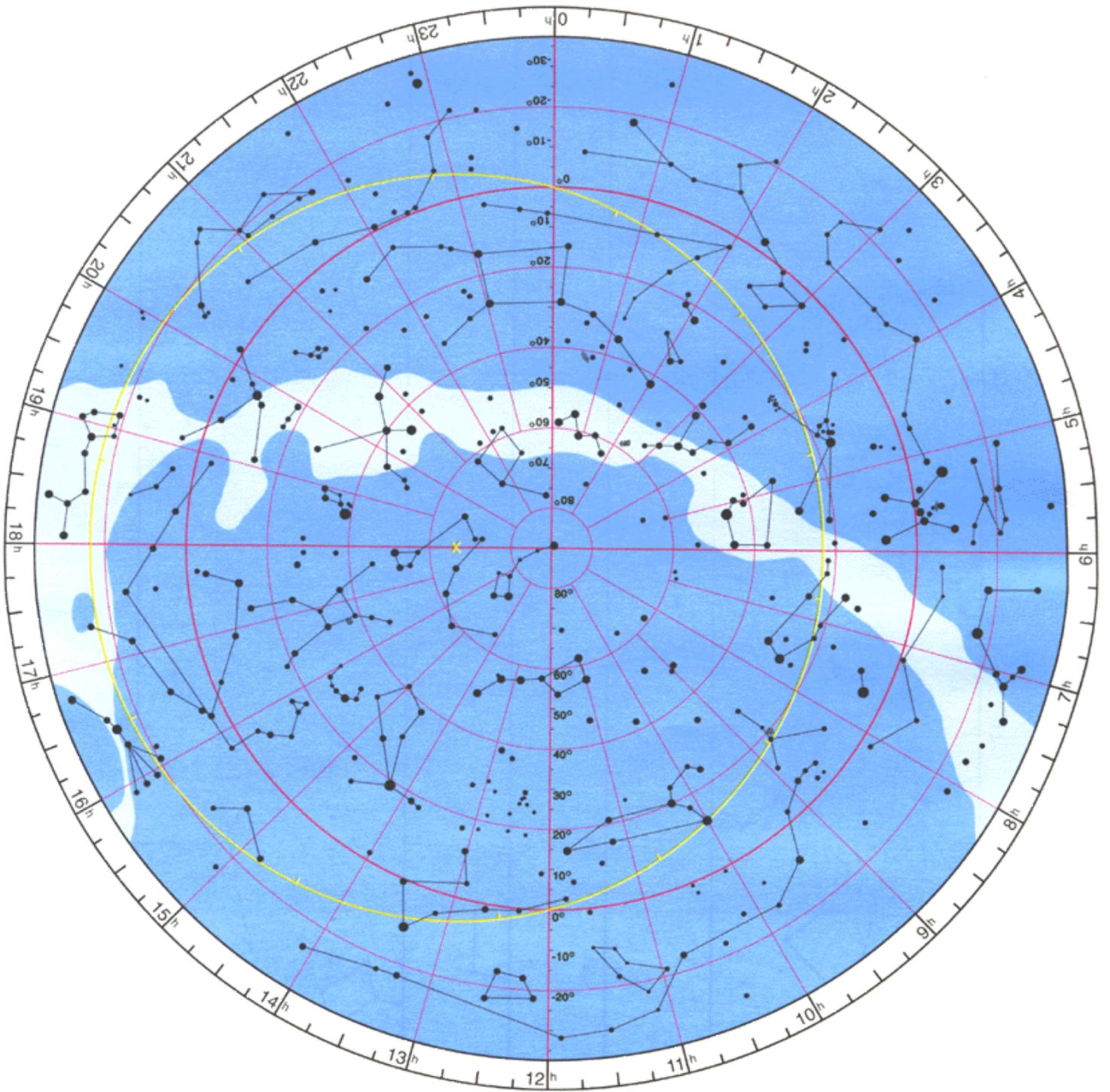
(Koordinaten von Radioquellen in Sternkarte aufsuchen, Leuchtkraft berechnen)

In der folgenden Tabelle sind die stärksten kosmischen Radioquellen des Himmels aufgeführt (die hellste Radioquelle in einem Sternbild wird u. a. so bezeichnet, dass an den Sternbildnamen oder dessen Kürzel der Großbuchstabe A angehängt wird, z. B. Cassiopeia A oder Cas A). Die Positionen der Quellen sind in einer Sternkarte (siehe auch Folgeseite) aufzufinden (d. h. einem Ort am Himmel zuzuordnen, um sie am Beobachtungsabend zeigen zu können) zu markieren und zu beschriften. Was lässt sich hinsichtlich der Verteilung der Radioquellen am visuell sichtbaren Himmel sagen?



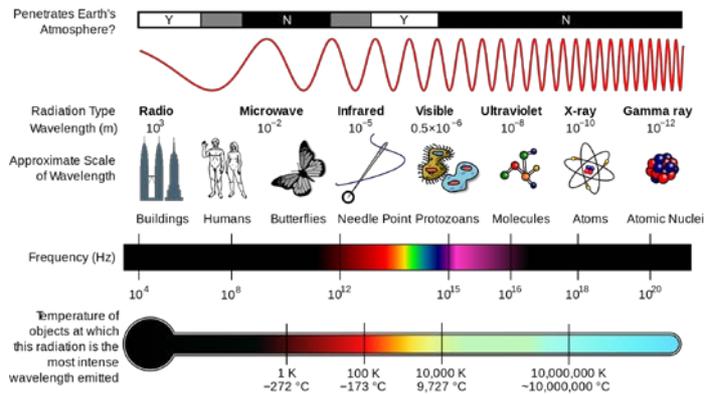
Quelle	Typ	Bezeichnung im 3. Cambridge Katalog	optisches Objekt	Position (2000) α [h min], δ [° ' "]	a x b [' x ']	Entfernung [Lj]
Andromeda	Galaxie		M 31	00 42,7 +41 16	178 x 63	$2,5 \cdot 10^6$
Cassiopeia A	Supernovaüberrest	3C 461		23 23,4 +58 50	5 x 5	11000
Cygnus A	Radio-Galaxie	3C 405		19 59,5 +40 44	0,5 x 0,3	$790 \cdot 10^6$
Virgo A	Elliptische Riesengalaxie	3C 274	M 87	12 30,8 +12 23,5	8,3 x 6,6	$60 \cdot 10^6$
Krebsnebel	Supernovaüberrest		M 1	05 34,5 +22 01	6 x 4	6300
Orionnebel	Gasnebel		M 42+43	05 35,4 -05 27	85 x 60	1500
	Quasar	3C 273		12 29,1 +02 03		$2 \cdot 10^9$

Die in der Aufgabe zuvor abgelesenen Radioflüsse (empfangen auf der Erde) sagen noch nichts über die von den Objekten abgestrahlten Radioflüsse (hier bei $\lambda=26$ mm) aus. Um diese zu erhalten, braucht man noch die Entfernungen der Objekte. Ordnen Sie die Quellen ihrer Leuchtkraft nach, d. h. nach der in alle Richtungen abgegebenen Strahlungsleistung (bei $\lambda=26$ mm). Welches der in der Tabelle aufgeführten Objekte besitzt bei $\lambda=26$ mm die größte Radioleuchtkraft?



Nachgefragt und nachgerechnet – Antworten

[\(→zurück zum Anfang\)](#)



Wellenlängen können wir uns besser vorstellen

Auf Seite 75 (SuW 12/2006) heißt es, dass der LNB (Low Noise Block Converter) für Signale zweier Frequenzbänder empfindlich ist, für das Low_Band (10,7-11,7 GHz) und für das High_Band (11,7-12,5 GHz).

Welche Wellenlängen haben Radiowellen in diesen Frequenzbereichen, und um was für eine Art von Radiowellen handelt es sich?

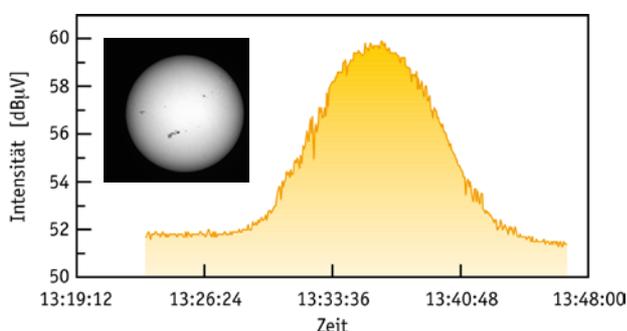
Antwort:

$$c = \lambda \cdot f \quad \rightarrow \quad \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{10,9 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}} \approx \underline{\underline{28 \text{ mm}}},$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{12,5 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}} = \underline{\underline{24 \text{ mm}}}.$$

Es handelt sich also um Mikrowellen. Diese haben Wellenlängen zwischen 1 mm und 1 m, d. h. Mikrowellen umfassen Millimeterwellen, Zentimeterwellen und Dezimeterwellen.

Die Sonne als Punktquelle?



Bei der Betrachtung von Abbildung 4 auf S. 76 von SuW 12/2006 könnte sich die Frage ergeben, warum die Sonne nur als Punktquelle wahrgenommen wird, d. h. warum kein Plateau im Kurvenverlauf erscheint, wo wir mit bloßem Auge die Sonne doch ausgedehnt als Scheibe sehen können.

Antwort:

Auch wenn ein strahlendes Objekt ausgedehnt ist (und das sind die meisten Objekte); die Möglichkeit, dies festzustellen, hängt entscheidend von der Messung ab. Die Beugung an der Eintrittsöffnung des Messgeräts spielt dabei die wesentliche Rolle, und diese hängt ab vom Durchmesser der beugenden Berandung (Teleskope sind meist kreisrund) und von der Wellenlänge, bei der gemessen wird. Nach dem Rayleighschen Auflösungskriterium gilt für eine Kreisblende

$$\hat{\alpha} \approx 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D}.$$

Für die beim Schul-Radioteleskop zutreffenden Werte (Wellenlänge 26 mm, Schüsseldurchmesser 1,2 m) erhält man dann

$$\hat{\alpha} \approx 1,22 \cdot \frac{0,026 \text{ m}}{1,2 \text{ m}} \approx 0,0217.$$

$$\frac{\alpha}{\hat{\alpha}} = \frac{180^\circ}{\pi} \quad \rightarrow \quad \alpha = 0,0217 \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \approx \underline{\underline{1,2^\circ}}.$$

Das bedeutet, dass das Radioteleskop in der Lage ist, zwei Punkte voneinander zu trennen, die mindestens $1,2^\circ$ voneinander entfernt sind (zumindest nach dem genutzten Rayleighschen Auflösungskriterium). Da linker und rechter Sonnenrand (größter möglicher Abstand auf der Sonne) nur ca. $0,5^\circ$ zueinander entfernt sind, erscheint die Sonne dem genutzten „Radioauge“ nur als Punkt. Damit die Radioastronomen die Sonne trotzdem als Scheibe sehen, verwenden sie sehr große „Schüsseln“.

Radiodaten aus dem lg-ig-Diagramm

(Ablesung in einem Diagramm mit logarithmisch geteilten Achsen)

Auf Seite 76 des zugehörigen SuW-Beitrags (SuW 12/2006) findet man mit Abbildung 5 ein Diagramm, welches den Verlauf des Radioflusses über der Wellenlänge für die stärksten kosmischen Radioquellen zeigt.

Was kann man sich unter einem Radiofluss vorstellen, und was bedeutet die Einheit Jansky?

Antwort:

Der Radiofluss bezeichnet eine Energieflussdichte. Die Einheit $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ Hz})$ verrät schon, dass es sich dabei um eine Größe handelt, die aussagt, welche Energiemenge (Einheit Ws) pro Zeiteinheit (Einheit s) durch ein Empfängerflächenelement (Einheit m^2) strömt. Nun bleibt noch die Einheit Hz übrig. Diese zeigt an, dass die Energieflussdichte auf eine bestimmte Frequenz bezogen ist.

Zusatzinfo:

Auf die entsprechende Wellenlänge bezogen ergibt sich ein anderer Wert. Die im infinitesimalen Frequenzbereich $d\nu$ bei der Frequenz ν transportierte Energie muss aber natürlich gleich der im infinitesimalen Wellenlängenbereich $d\lambda$ bei der entsprechenden Wellenlänge λ transportierten Energie sein. Damit dies gilt, muss folgendes beachtet werden:

$$d\nu = \frac{c}{\nu^2} \cdot d\lambda \quad \text{bzw.} \quad d\lambda = \frac{c}{\lambda^2} \cdot d\nu,$$

was sich einfach aus der Ableitung von $\lambda = c/\nu$ ergibt.

Die Einheit Jansky wurde zu Ehren des Entdeckers der Radiostrahlung der Milchstraße Karl Guthe Jansky (1905-1950) eingeführt. Es gilt: $1 \text{ Jansky} = 1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ Hz})$.

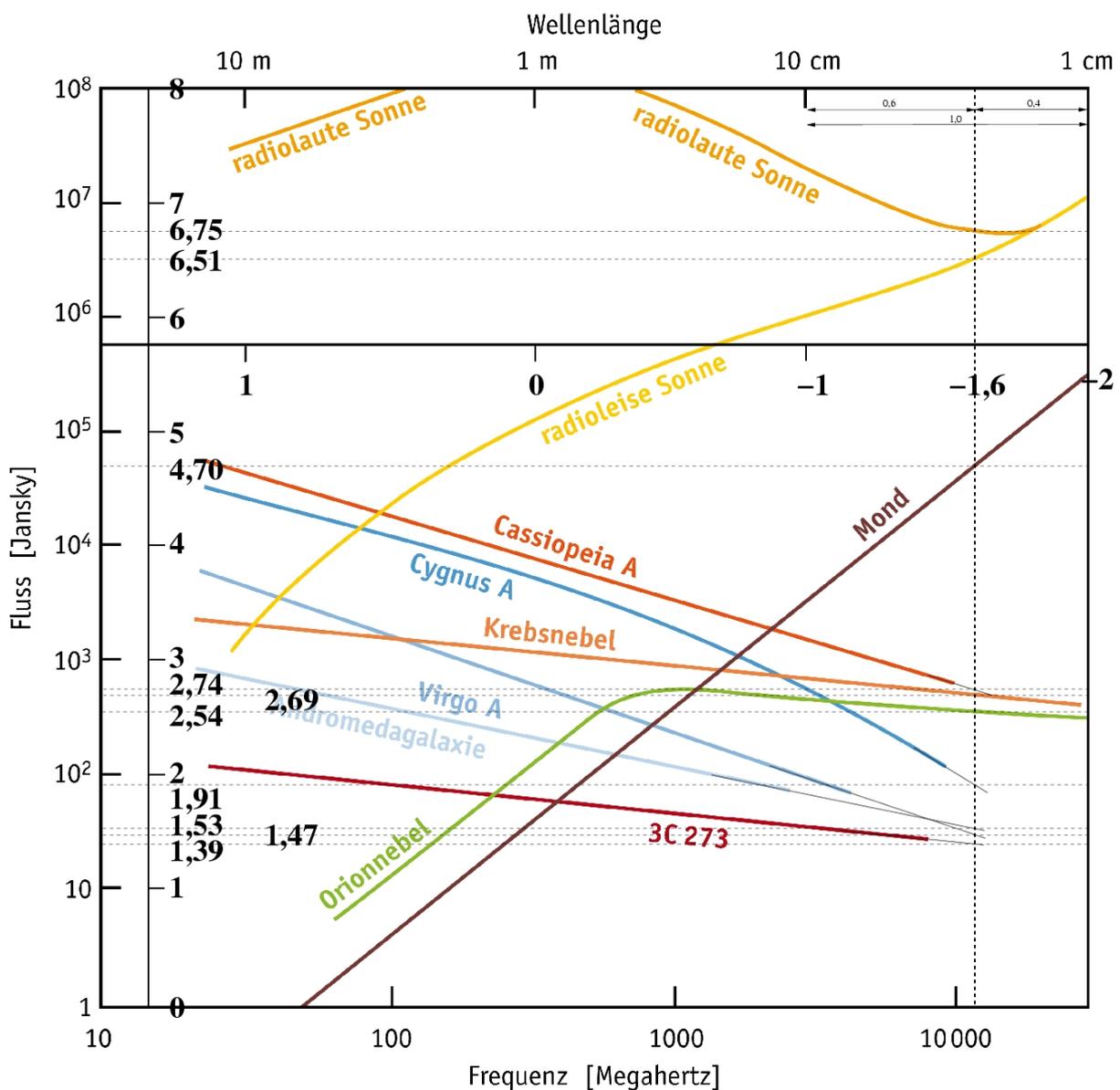
Die für eine Wellenlänge von 26 mm zu erwartenden Radioflüsse sind im Diagramm für die stärksten kosmischen Radioquellen abzulesen.

Antwort:

Die Abszisse zeigt die Wellenlänge in dekadisch logarithmischer Teilung. Würde man anstatt der Wellenlänge ihren dekadischen Logarithmus abtragen, so erhielte man für das gezeigte Diagramm eine linear geteilte Achse mit den Skalenwerten 1, 0, -1, -2. Als Achsengröße hätte man es dann mit $\lg(\lambda/m)$ (m ... Meter) zu tun. Zur Ablesung der Radioflüsse bei $\lambda=26$ mm müsste man bei einem Skalenwert von etwa -1,6 eine Hilfslinie in Ordinatenerichtung ziehen.

$$\lg\left(\frac{0,1 \text{ m}}{\text{m}}\right) = -1, \quad \lg\left(\frac{0,01 \text{ m}}{\text{m}}\right) = -2 \quad \rightarrow \quad \lg\left(\frac{0,026 \text{ m}}{\text{m}}\right) \approx \underline{\underline{-1,6}}$$

Für die linear geteilte Achse lässt sich der Skalenwert von -1,6 einfach durch Verhältnisbildung (siehe Diagramm) ermitteln.

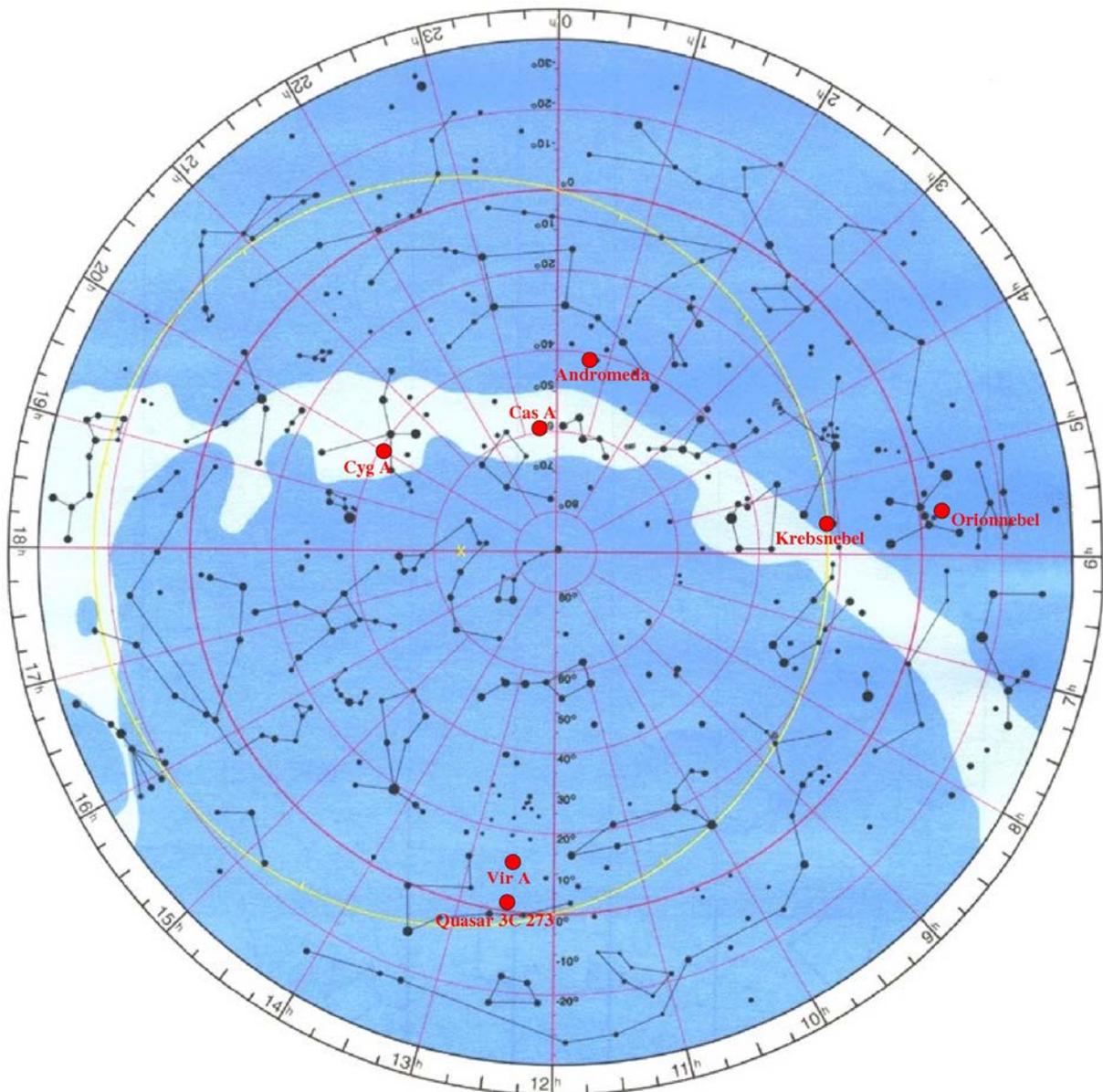


Wo sind die kosmischen „Sendestationen“?

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Anforderungen an Schüler:

Koordinaten von Radioquellen in Sternkarte aufsuchen, Verteilung der Radioquellen mit der der visuell sichtbaren Quellen vergleichen und beschreiben (evt. erklären), Radioflüsse in \lg -Diagramm ablesen, dazu ist zum Teil Extrapolation der Kurven notwendig, Erkennen, dass die Kugeloberfläche, deren Element die Messfläche auf der Erde ist, zur Berechnung des gesamten, d. h. in alle Richtungen abgegebenen, spektralen Radioflusses (bei $\lambda=26$ mm) benötigt wird, Umrechnung der Entfernung von Lichtmaß ins Metermaß und Umrechnung des Radioflusses von Jansky in die SI-Einheiten, Rechnen mit gebrochenen zahligen Exponenten.



Es fällt auf, dass viele helle Radioquellen in oder nahe der Milchstraße liegen. Dabei handelt es sich um galaktische Quellen (wie Supernovaüberreste, Gasnebel), die natürlich zur Scheibe hin konzentriert sind. Die anderen Quellen sind extragalaktischer Natur und stammen von anderen (aktiven) Galaxien.

Quelle	Typ	3. Cambridge Katalog	optisches Objekt	Position (2000) α [h min], δ [° ' "]	a x b [' x ']	Entfernung [Lj]
Andromeda	Galaxie		M 31	00 42,7 +41 16	178 x 63	$2,5 \cdot 10^6$
Cassiopeia A	Supernovaüberrest	3C 461		23 23,4 +58 50	5 x 5	11000
Cygnus A	Radio-Galaxie	3C 405		19 59,5 +40 44	0,5 x 0,3	$790 \cdot 10^6$
Virgo A	Elliptische Riesengalaxie	3C 274	M 87	12 30,8 +12 23,5	8,3 x 6,6	$60 \cdot 10^6$
Krebsnebel	Supernovaüberrest		M 1	05 34,5 +22 01	6 x 4	6300
Orionnebel	Gasnebel		M 42+43	05 35,4 - 05 27	85 x 60	1500
	Quasar	3C 273		12 29,1 +02 03		$2 \cdot 10^9$

Die in der Aufgabe zuvor abgelesenen Radioflüsse (empfangen auf der Erde) sagen noch nichts über die von den Objekten abgestrahlten Radioflüsse (hier bei $\lambda=26$ mm) aus. Um diese zu erhalten, braucht man noch die Entfernungen der Objekte. Ordnen Sie die Quellen ihrer Leuchtkraft nach, d. h. nach der in alle Richtungen abgegebenen Strahlungsleistung (bei $\lambda=26$ mm). Welches der in der Tabelle aufgeführten Objekte besitzt bei $\lambda=26$ mm die größte Radioleuchtkraft?

Antwort:

Zunächst gilt es, die empfangenen Radioflüsse F im lg-lg-Diagramm abzulesen. Nimmt man an, dass die Radioquellen in alle Richtungen gleich viel abstrahlen, so kann man aus der in der Quellenentfernung r ($1 \text{ Lj} = 9,4605 \cdot 10^{15} \text{ m}$) pro Quadratmeter empfangenen Strahlung auf die Strahlung schließen, die die gesamte Kugeloberfläche O mit dem Radius des Quellenabstandes r empfängt (das entspricht dann der Leuchtkraft L).

$$L = 4\pi \cdot r^2 \cdot F$$

Ergebnisse:

radiolaute Sonne:	$F=10^{6,75} \text{ Jy}$,	$r \approx 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$,	$O \approx 2,8 \cdot 10^{23} \text{ m}^2$,	$L \approx 16.000 \text{ W/Hz}$
radioleise Sonne:	$F=10^{6,51} \text{ Jy}$,	$r \approx 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$,	$O \approx 2,8 \cdot 10^{23} \text{ m}^2$,	$L \approx 9.000 \text{ W/Hz}$
Mond :	$F=10^{4,7} \text{ Jy}$,	$r \approx 3,8 \cdot 10^8 \text{ m}$,	$O \approx 1,8 \cdot 10^{18} \text{ m}^2$,	$L \approx 0,0001 \text{ W/Hz}$
Cassiopeia A:	$F=10^{2,74} \text{ Jy}$,	$r \approx 1,04 \cdot 10^{20} \text{ m}$,	$O \approx 1,4 \cdot 10^{41} \text{ m}^2$,	$L \approx 7,7 \cdot 10^{17} \text{ W/Hz}$
Krebsnebel:	$F=10^{2,69} \text{ Jy}$,	$r \approx 5,96 \cdot 10^{19} \text{ m}$,	$O \approx 4,5 \cdot 10^{40} \text{ m}^2$,	$L \approx 2,2 \cdot 10^{17} \text{ W/Hz}$
Orionnebel:	$F=10^{2,54} \text{ Jy}$,	$r \approx 1,42 \cdot 10^{19} \text{ m}$,	$O \approx 2,5 \cdot 10^{39} \text{ m}^2$,	$L \approx 8,7 \cdot 10^{15} \text{ W/Hz}$
Cygnus A:	$F=10^{1,91} \text{ Jy}$,	$r \approx 7,47 \cdot 10^{24} \text{ m}$,	$O \approx 7,0 \cdot 10^{50} \text{ m}^2$,	$L \approx 5,7 \cdot 10^{26} \text{ W/Hz}$
Andromedagalaxie:	$F=10^{1,53} \text{ Jy}$,	$r \approx 2,36 \cdot 10^{22} \text{ m}$,	$O \approx 7,0 \cdot 10^{45} \text{ m}^2$,	$L \approx 2,4 \cdot 10^{21} \text{ W/Hz}$
Virgo A:	$F=10^{1,47} \text{ Jy}$,	$r \approx 5,68 \cdot 10^{23} \text{ m}$,	$O \approx 4,1 \cdot 10^{48} \text{ m}^2$,	$L \approx 1,2 \cdot 10^{24} \text{ W/Hz}$
Quasar 3C 273:	$F=10^{1,39} \text{ Jy}$,	$r \approx 1,89 \cdot 10^{25} \text{ m}$,	$O \approx 4,5 \cdot 10^{51} \text{ m}^2$,	$L \approx 1,1 \cdot 10^{27} \text{ W/Hz}$

Es ergibt sich die folgende Reihenfolge nach der Größe der Radioleuchtkraft (bei $\lambda=26$ mm):
 Quasar 3C 273 > Cygnus A > Virgo A > Andromedagalaxie > Cassiopeia A > Krebsnebel > Orionnebel > radiolaute Sonne > radioleise Sonne > Mond.

LÜCKENTEXT: Der Text ist zu vervollständigen!

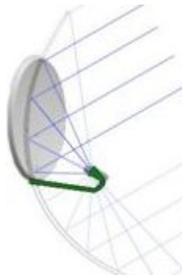
[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Sie sind immer über uns – die Fernseh-Satelliten

Der heutige Fernsehempfang beruht zu einem großen Teil auf dem Einsatz von Kommunikationssatelliten, auf die wir unsere so genannten Satellitenschüsseln ausrichten. Wo am Himmel befinden sich aber diese Satelliten?



Zunächst lässt sich sofort sagen, dass sie eine [] Position am Himmel über unserem Wohnort haben müssen, da wir ja ansonsten die Schüsseln ständig [] müssten. Es gibt also doch Himmelsobjekte, für die die Horizontkoordinaten [] sind. Schauen wir also unsere Schüssel einmal genauer an und schätzen zunächst die Richtung, aus der die Strahlung zu ihr zu kommen scheint.



Der Azimutwinkel a (gemessen von Süd über West) fast aller Astra 1-Satelliten beträgt ganz grob $-19^\circ + \lambda$ (genauer siehe <http://www.fen-net.de/satellitentechnik-online/texte/orbit/winkel.htm>). Für Heidelberg mit einer geografischen Länge von $\lambda \approx 9^\circ$ wäre a also etwa [].

Beim Höhenwinkel kommen wir vermutlich ins Grübeln, steht doch die Schüssel fast senkrecht, und der Empfänger (LNB) befindet sich gar nicht vor der Schüsselmitte. Das liegt daran, dass wir es mit einer Offset-Schüssel zu tun haben, bei der die Radiostrahlung beim Empfang schräg aus der Schüssel heraus auf den LNB

reflektiert wird. Doch die Höhe können wir uns auch anders überlegen. Doch dazu später.

Einen Satelliten, der am Beobachterhimmel eine feste Position einnimmt, nennt man geostationär. Damit ein Satellit geostationär ist, muss er in der [] ebene umlaufen (bei einer dazu geneigten Bahn würde ein gedachter Faden vom Satelliten zu einem Punkt auf der Erde pendeln und nicht stillstehen) und seine Bahngeschwindigkeit muss immer gleich sein, d. h. er muss eine [] einnehmen.

Ein geostationärer Satellit muss die Erde mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit umkreisen, wie diese []. Die Erde rotiert um 360° , d. h. einmal gegenüber den Sternen in einer Zeit von etwa 23 h 56 min und 4s. (In 24 h rotiert die Erde einmal gegenüber der [].)

Die Satelliten werden durch eine zentripetal wirkende Kraft ($m \cdot \omega^2 \cdot r$, m ...Satellitenmasse, ω ... [], r ... []) auf ihrer Kreisbahn gehalten. Im Falle des Satelliten wird die Zentripetalkraft durch die [] kraft ($\gamma \cdot m \cdot M / r^2$, γ ...Gravitationskonstante, m ... [], M ... [], r ... []) aufgebracht. Bestimmt man die Winkelgeschwindigkeit aus der Umlaufzeit T mittels der Formel $\omega = \frac{2\pi}{T}$, so kann die Höhe h eines geostationären Satelliten über dem Erdboden aus folgender Formel berechnet werden: []

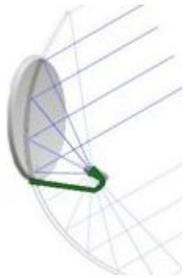
Die Bahnen fast aller Astra 1-Satelliten haben laut <http://www.satsig.net/sslist.htm> einen Längengrad von $19,2^\circ$ Ost. Das bedeutet, dass diese (geostationären) Satelliten derart über dem Äquator stehen, dass sie bei der geografischen Position mit der Breite 0° und der Länge $19,2^\circ$ Ost genau im Zenit auf dem Himmelsäquator zu finden sind. Geht man zu nördlichen geografischen Breiten, so erscheinen die geostationären Satelliten nicht mehr auf dem Himmelsäquator, sondern darunter. Dies ist ein Parallaxeneffekt, den man sich mit einem Modell klarmachen kann. Man skizziere dazu auf ein stabiles Blatt Papier die halbe Umlaufbahn eines geostationären Satelliten. In der Papierebene liegt die [] ebene (und entsprechend auch die Himmelsäquatorebene). Auf dem Äquator zu stehen heißt im Modell auf die Kante des Blattes zu blicken. Steht man dagegen auf einem nördlich vom Äquator liegenden Breitengrad, so bedeutet das im Modell, schräg von oben auf die Papierebene zu blicken. Die Umlaufbahn erscheint nun [] vom unendlich weit weg gedachten Blattrand, der den Himmelsäquator darstellt. Von Deutschland aus findet man das Astra 1-Satelliten-Cluster etwa 10° unterhalb des Himmelsäquators, also bei $h \approx 30^\circ$.

Sie sind immer über uns – die Fernseh-Satelliten

Der heutige Fernsehempfang beruht zu einem großen Teil auf dem Einsatz von Kommunikationssatelliten, auf die wir unsere so genannten Satellitenschüsseln ausrichten. Wo am Himmel befinden sich aber diese Satelliten?



Zunächst lässt sich sofort sagen, dass sie eine feste Position am Himmel über unserem Wohnort haben müssen, da wir ja ansonsten die Schüsseln ständig nachführen müssten. Es gibt also doch Himmelsobjekte, für die die Horizontkoordinaten fest sind. Schauen wir also unsere Schüssel einmal genauer an und schätzen zunächst die Richtung, aus der die Strahlung zu ihr zu kommen scheint.



Der Azimutwinkel a (gemessen von Süd über West) fast aller Astra 1-Satelliten beträgt ganz grob $-19^\circ + \lambda$ (genauer siehe <http://www.fen-net.de/satellitentechnik-online/texte/orbit/winkel.htm>). Für Heidelberg mit einer geografischen Länge von $\lambda \approx 9^\circ$ wäre a also etwa -10° . Beim Höhenwinkel kommen wir vermutlich ins Grubeln, steht doch die Schüssel fast senkrecht, und der Empfänger (LNB) befindet sich gar nicht vor der Schüsselmitte. Das liegt daran, dass wir es mit einer Offset-Schüssel zu tun haben, bei der die Radiostrahlung beim Empfang schräg aus der Schüssel heraus auf den LNB

reflektiert wird. Doch die Höhe können wir uns auch anders überlegen. Doch dazu später.

Einen Satelliten, der am Beobachterhimmel eine feste Position einnimmt, nennt man geostationär. Damit ein Satellit geostationär ist, muss er in der Äquatorebene umlaufen (bei einer dazu geneigten Bahn würde ein gedachter Faden vom Satelliten zu einem Punkt auf der Erde pendeln und nicht stillstehen) und seine Bahngeschwindigkeit muss immer gleich sein, d. h. er muss eine Kreisbahn einnehmen.

Ein geostationärer Satellit muss die Erde mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit umkreisen, wie diese rotiert. Die Erde rotiert um 360° , d. h. einmal gegenüber den Sternen in einer Zeit von etwa 23 h 56 min und 4s. (In 24 h rotiert die Erde einmal gegenüber der Sonne.)

Die Satelliten werden durch eine zentripetal wirkende Kraft ($m \cdot \omega^2 \cdot r$, m ...Satellitenmasse, ω ...Winkelgeschwindigkeit, r ...Bahnradius) auf ihrer Kreisbahn gehalten. Im Falle des Satelliten wird die Zentripetalkraft durch die Gravitationskraft ($\gamma \cdot m \cdot M / r^2$, γ ...Gravitationskonstante, m ...Satellitenmasse, M ...Erde, r ...Abstand Erdmittelpunkt-Satellit) aufgebracht. Bestimmt man die Winkelgeschwindigkeit aus der Umlaufzeit T mittels der Formel $\omega = 2\pi/T$, so kann die Höhe h eines geostationären Satelliten über dem Erdboden aus folgender

Formel berechnet werden:
$$h = \sqrt[3]{\frac{\gamma}{4\pi^2} \cdot M \cdot T^2} - R_{\text{Erde}}$$

Die Bahnen fast aller Astra 1-Satelliten haben laut <http://www.satsig.net/sslist.htm> einen Längengrad von $19,2^\circ$ Ost. Das bedeutet, dass diese (geostationären) Satelliten derart über dem Äquator stehen, dass sie bei der geografischen Position mit der Breite 0° und der Länge $19,2^\circ$ Ost genau im Zenit auf dem Himmelsäquator zu finden sind. Geht man zu nördlichen geografischen Breiten, so erscheinen die geostationären Satelliten nicht mehr auf dem Himmelsäquator, sondern darunter. Dies ist ein Parallaxeneffekt, den man sich mit einem Modell klarmachen kann. Man skizziere dazu auf ein stabiles Blatt Papier die halbe Umlaufbahn eines geostationären Satelliten. In der Papierebene liegt die Äquatorebene (und entsprechend auch die Himmelsäquatorebene). Auf dem Äquator zu stehen heißt im Modell auf die Kante des Blattes zu blicken. Steht man dagegen auf einem nördlich vom Äquator liegenden Breitengrad, so bedeutet das im Modell, schräg von oben auf die Papierebene zu blicken. Die Umlaufbahn erscheint nun unterhalb vom unendlich weit weg gedachten Blattrand, der den Himmelsäquator darstellt. Von Deutschland aus findet man das Astra 1-Satelliten-Cluster etwa 10° unterhalb des Himmelsäquators, also bei $h \approx 30^\circ$.

Und nun zur Praxis - die ersten Schritte zur Radioastronomie

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Der Nachweis der Radiostrahlung von irdischen und kosmischen Objekten mit einer Experimentierausstattung, die zumindest teilweise in vielen Haushalten vorhanden ist (was Lebensnähe ermöglicht) und die damit verbundenen Phänomene können so manchen Schüler zum Staunen bringen.

Für die „**Erstausrüstung**“ werden folgende Bauteile für den Satellitenfernsehempfang benötigt (mögliche Bezugsquellen: www.reichelt.de, www.pollin.de, u. a.):

<p>Sat-Finder (etwa 7 Euro) als Messgerät mit sichtbarer und akustischer Anzeige</p>  A black rectangular device with a digital display showing numbers 0-10 and a speaker grille. The text 'SATELLITE FINDER' and 'SAT MASTER' is visible on the front.	<p>Single LNB (Low Noise Block converter) als Umsetzer und Verstärker (etwa 5 Euro) als Detektor für 26 mm-Radiostrahlung</p>  A white cylindrical device with a coaxial connector on the side and a mounting bracket on top.
<p>Koaxialkabel (50 m für etwa 14 Euro)</p>  A roll of white coaxial cable with one end stripped to show the inner conductors.	<p>Fünf F-Stecker für den Durchmesser des Kabels (etwa 1 Euro)</p>  A metal F-connector with a threaded end and a crimped end.

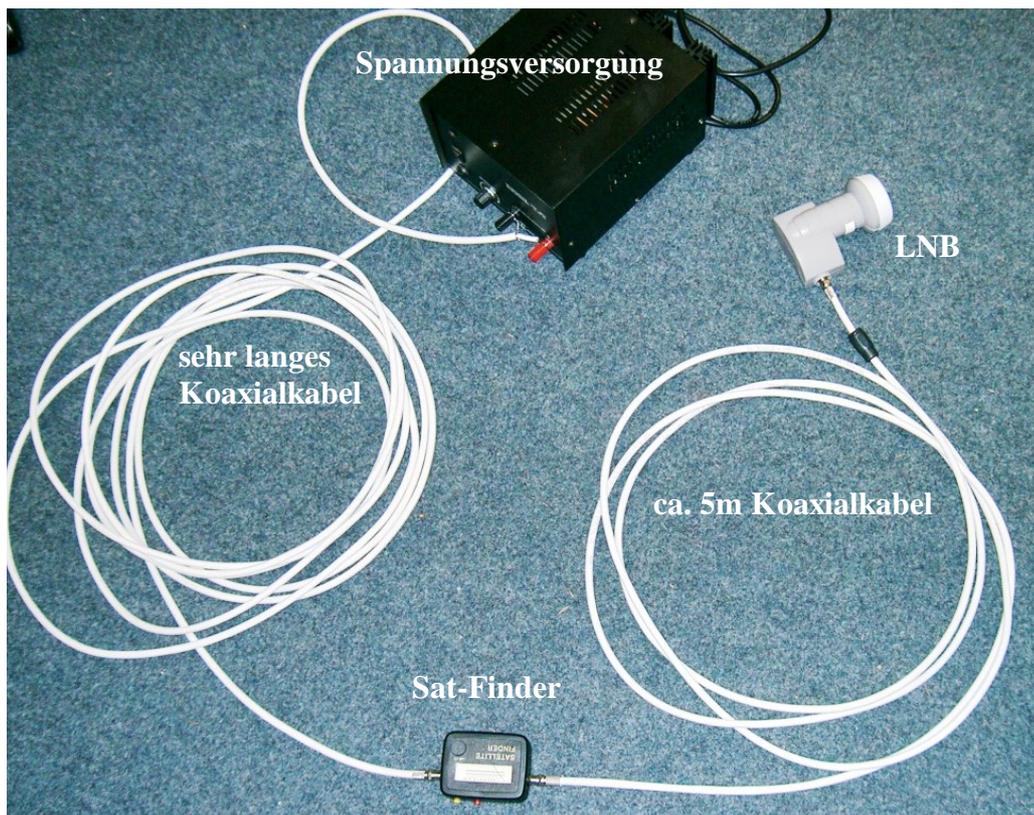
Die **ersten praktischen Schritte** betreffen die Konfektionierung der Verbindungsleitungen. Eine Anleitung dazu findet sich in der angehängten Datei [konfektionierung-kabel.pdf](#).

<p>Zum Betrieb von LNB und Sat-Finder wird noch eine stabilisierte Spannungsquelle (14-18 V, > 1A) aus der Physiksammlung benötigt. Zwei in Reihe geschaltete Blockbatterien genügen nicht.</p>	 A silver electronic device with two meters labeled 'DC-SPANNUNG' and 'DC-STROM', and two output terminals labeled 'AUSGANG'.
--	---

Zur **Verbesserung** des Empfangs (höhere Empfindlichkeit und höhere Winkelauflösung) sind noch folgende Bauteile nötig:

<p>Inline-Verstärker für TV-Satellitenanlagen, 20 dB, (etwa 12 Euro)</p>  A metal inline amplifier with two coaxial connectors and technical specifications printed on it.	<p>Satelliten-Spiegel (z. B. Stahl, 80 cm für etwa 30 Euro)</p>  A white parabolic satellite dish with a mounting bracket.
---	---

Zusammenbau und erste Versuche – die erste Empfangsanordnung für Radiowellen



Die ersten Versuche mit der dargestellten Empfangsanordnung können im Klassenraum erfolgen.

- *VERSUCH 1: Nachweis von thermischer Radioemission*
Die Messung beginnt mit einer Eichung des Zeigerausschlags beim Sat-Finder. Dazu wird der LNB-Empfänger im Raum z. B. zum Fußboden oder zur Wand gehalten, und der Zeiger wird mittels Drehknopf am Sat-Finder auf Mittelstellung gebracht. Man bedenke, dass der reine LNB eine sehr weit geöffnete Antennenkeule bzw. eine ganz geringe Winkelauflösung besitzt. Um mit ihm zwei Radioquellen getrennt sehen zu können, müssen diese sicherlich einige 10° voneinander entfernt sein.
Nun wird der LNB in Richtung eines aktiven Heizkörpers gehalten (der ist wärmer als die Wand), und der Zeiger schlägt stärker aus (und das akustische Signal wird lauter). Hält man den LNB in Richtung zur kühlen Fensterscheibe, so ergibt sich kaum eine Verringerung des Signals, obwohl die Fensterscheibe weniger emittiert als die (wärmere) Wand. Dies liegt daran, dass die Fensterscheibe auch die Radiostrahlung der Wände (zumindest teilweise) reflektiert.
- *VERSUCH 2: Radiostrahlung einer Leuchtstofflampe*
Hält man den LNB in Richtung einer Leuchtstofflampe, so erhält man einen starken Ausschlag, der diesmal nicht durch thermische Strahlung bedingt sein kann, wo doch die Leuchtstoffröhre ein so genanntes „kaltes Licht“ aussendet. Die Quelle dieser hochfrequenten Radiostrahlung ist noch zu klären. Findet sich hier ein interessierter Schüler?

Und nun geht es in die freie Natur.

- *VERSUCH 3: Die Radiostrahlung des (Wolken-)Himmels*

Die Messung beginnt wieder mit einer Anpassung der Verstärkung. Dazu wird der LNB in Richtung Erdboden (ca. 300 K) gehalten und der Zeiger wird auf Maximalausschlag eingestellt. Richtet man den LNB nun in Richtung des klaren Himmels (am besten in Richtung zum Polarstern), so geht der Ausschlag fast auf Null zurück. Dies kann wieder mit der unterschiedlichen Temperatur von Erdboden und Himmel erklärt werden. Ist der Himmel klar, so steht vor allem die Luftmasse in der Keule, und deren thermische Radiostrahlung ist sehr gering. Wolken dagegen haben eine deutlich größere Masse und damit verbunden erzeugen sie deutlich mehr thermische Strahlung.



Eine wie links im Bild fest aufgestellte Anordnung (Quelle: Peter Wright, Radio-Sternwarte Mannheim) könnte also als **Wolkendetektor** dienen.

Interessant ist die Tatsache, dass eine Wolke mit flüssigem Wasser als kontinuierlicher Wärmestrahler, eine Wolke mit kristallinem Wasser (Eis-/Schneewolken) dagegen als diskreter Wärmestrahler fungiert. Eine Schneewolke würde durch den Wolkendetektor also nicht nachgewiesen werden, weil deren Abstrahlung nicht im nachweisbaren Wellenlängenbereich erfolgt.

- *VERSUCH 4: Die Radiostrahlung der Fernsehsatelliten und der Sonne*

Auch die Radiostrahlung von TV-Satelliten und von der Sonne kann mit dem LNB bei hoch geregelter Verstärkung wahrgenommen werden.

Jetzt wird zum LNB die Schüssel hinzugenommen. Die Keule wird damit deutlich kleiner, d. h. ein kleinerer Ausschnitt des Himmels wird „gesehen“ und das Signal einer Flächenquelle kann damit sogar reduziert werden. Die Winkelauflösung wird aber deutlich besser und die Signale von Punktquellen (wozu für die genutzte Schüssel auch die Sonne zählt) werden stärker, weil Strahlung gesammelt wird. Auch beginnt jede Messung wieder mit einer Anpassung der Verstärkung.

- *VERSUCH 5: Die Radiostrahlung von Körpern der Umgebung*



Die Schüssel wird so aufgestellt, dass ihre Empfangskeule den Nordhimmel zeigt (dort sind keine TV-Satelliten und auch keine kosmischen Radioquellen). Nun kann man, wie dargestellt, die warme Hand als Radioquelle nutzen, um die Keule der Schüssel etwas einzugrenzen. Dabei wird auch der Richtungs-Offset der Antennenschüssel deutlich. Der im Bild gezeigte Öffnungswinkel der Keule ist größer als für die Schüssel angegebene (der sich anders definiert).

- *VERSUCH 6: Die Radiostrahlung der Fernsatsatelliten und der Sonne*

Bei Sonnenschein kann die Schüssel trotz ihres Offsets freihändig auf die Sonne gerichtet werden. Zur Ausrichtung nutzt man einfach den Schattenwurf der LNB-Halterung und schließlich den sichtbaren „Brennfleck“ des Sonnenlichts, der auf dem LNB erscheinen muss. Zum Schutz des LNB vor übermäßiger Erwärmung sollte man diesen mit etwas Styropor verkleiden. Die Sonne gibt ein sehr deutliches Signal.



Mit der „Offset-Erfahrung“, die mit der Einstellung der Sonne gewonnen wurde, lässt sich das Satellitensignal z. B. des Astra 1-Satelliten-Clusters schnell finden.

Mit einem vor den LNB gehaltenen Drahtstreifengitter könnte mit der

Polarisation der Radiowellen von den TV-Satelliten experimentiert werden.



- *VERSUCH 3: Die Durchlaufmethode*

Große Radioteleskope, wie z. B. das in Arecibo im Talkessel liegende, machen es vor - man kann auch so beobachten, dass man das Teleskop fest installiert und den Himmel daran „vorbei marschieren“ lässt. Um dennoch eine Objektauswahl treffen zu können, wird in Arecibo die Position des über dem Spiegel hängenden Empfängers geändert. Im Falle der Satellitenschüssel besteht die Möglichkeit, diese an einem senkrecht stehenden Pfahl stabil anzubringen (dazu ist an der Rückseite des Spiegels eine Halterung angebracht). Der Spiegel kann dann um



eine Achse parallel zur Horizontebene gekippt werden. Er sollte so ausgerichtet sein, dass er in Richtung zum Meridian, also Richtung Süd oder Nord zeigt. Im Meridian erreichen die Himmelsobjekte ihre größte und kleinste Höhe (obere und untere Kulmination). Die Kulminationshöhen h lassen sich aus der geografischen Breite φ des Beobachtungsortes und der Deklination δ des Objektes einfach berechnen ($h=90^\circ-\varphi\pm\delta$).

Auf diese Art und Weise lassen sich starke kosmische Radioquellen wie der Mond oder Cas A oder der Krebsnebel nachweisen. Mit Hilfe der drehbaren Sternkarte ermittelt man den ungefähren Kulminationszeitpunkt und kann so den Beobachtungszeitraum festlegen.

Für Cas A ergibt sich z. B. Mitte Mai eine Zeitspanne von etwa 19-22 Uhr für die untere Kulmination und 7-10 Uhr für die obere Kulmination. Die Zeitabstände (siderischer Tag) zwischen zwei oberen Kulminationen zeigen dann auch, dass es sich um kosmische Quellen handelt.

Zur Verbesserung und Automatisierung solcher Durchlaufmessungen kann die Empfangsanordnung, wie in der angehängten Datei [modifikation-satfinder.pdf](#) gezeigt, modifiziert werden.

Es wäre prima, wenn Erfahrungen, die Schüler mit der Empfangsanordnung machen, zur Verfügung gestellt werden.



Einige Quellen

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

- [1] Wright, Peter: Ein Radioteleskop für Einsteiger, SuW 9/1999, S. 787-789
- [2] Wright, Peter; Neumann, Martin: Signale aus dem Kosmos, SuW Basics 1 (Astronomie für alle), S. 124-127
- [3] Hagn, Hermann (DK8CI – TU München): Empfang und Messung astronomischer Radioquellen, Praxisheft 3 für Amateurfunk und Elektronik in Schule und Freizeit, S. 61-66, zu beziehen beim Arbeitskreis Amateurfunk & Telekommunikation in der Schule e. V., Wolfgang Lipps, Sedanstraße 24, 31177 Harsum
- [4] http://www.mpifr-bonn.mpg.de/public/Dir_MHamm/index.html
(Die stärksten Radioquellen am Himmel)
- [5] <http://www.mpifr-bonn.mpg.de/public/images/radiohimmel.html>
(Radioposter des MPIfR)
- [6] <http://www.stmg.de/ags/jufo/1994/radioteleskop/dkrt dw.htm>
(Jugend-forscht-Arbeit 1994)
- [7] http://www.monstein.de/astronomypublications/Moon_html/Mond2001V2German.htm
(Erfahrungsbericht eines Amateurs)
- [8] <http://www.zum.de/Faecher/A/Sa/LB5/A12G54.HTM>
(Radioastronomie in der Schule)
- [9] http://saturn.ethz.ch/rapp/praktikum/pages/skript_g_nf.html
(Uni-Versuch zur Radioastronomie)