

# *Einblicke und Erklärungen*

*zur*

## *Radioastronomie*

*Seit 70 Jahren ist die Radioastronomie ein wichtiger Forschungszweig  
der Astronomie*

# Gliederung

1. Vorbemerkungen zur Radioastronomie
2. Gegenüberstellung optische Astronomie und Radioastronomie
3. Etwas Geschichte zur Astronomie
4. Elektromagnetische Welle Definition
5. Darstellung des elektromagnetischen Spektrums
6. Entstehung elektromagnetischer Wellen
7. Empfang elektromagnetischer Wellen
8. Visualisierung elektromagnetischer Wellen
9. Ergebnis-Beispiele
10. Quellenangabe

# Vorbemerkungen zur Radioastronomie

**Nein**, bei der Radioastronomie kann man keine Musik vom Mars empfangen oder mit dem Radio die Sterne beobachten.



*Bei der Radioastronomie kann man Tag und Nacht elektromagnetische Wellen, umgangssprachlich Radiowellen, aus dem Weltraum empfangen.  
Es darf aber nicht gesendet werden.*

*Radioastronomie müsste eigentlich „Strahlen-Astronomie“ heißen.  
Das Wort „Radio“ kommt aus dem Lateinischen und heißt auf Deutsch „Strahl“.*

*Man hat aber einfach das englische Wort „Radioastronomy“ eingedeutscht und so ist der Begriff „Radioastronomie“ entstanden.*

# Vergleich der Beobachtungsarten

## Optische Astronomie

Bei einem wolkenfreien dunklen Himmel sehen wir mit unseren Augen die Planeten, Sterne oder Galaxien als kleine mehr oder weniger helle Lichtpunkte oder diffuse Flecken (Nebel).

Diese Objekte emittieren für uns sichtbare (Licht-) Strahlen. Beobachten wir diese, so bezeichnet man das als **optische Astronomie**.

...und das braucht man dazu



Astroshop.de



Astroshop.de

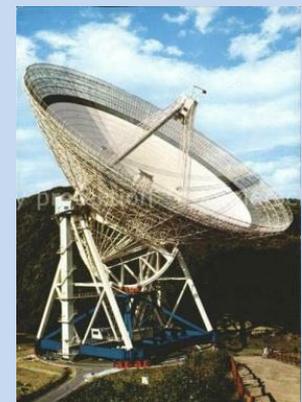
22.02.2020

## Radioastronomie.

Wenn wir ein geeignetes Sinnesorgan hätten, könnten wir auch die von den astronomischen Objekten zusätzlich abgestrahlten elektromagnetischen Wellen (Radiowellen) wahrnehmen.

Wir können dies aber nicht, und müssen deshalb die **Radioastronomie**-Technik zu Hilfe nehmen um diese Radiowellen zu „sehen“.

...und dazu braucht man Radioteleskope

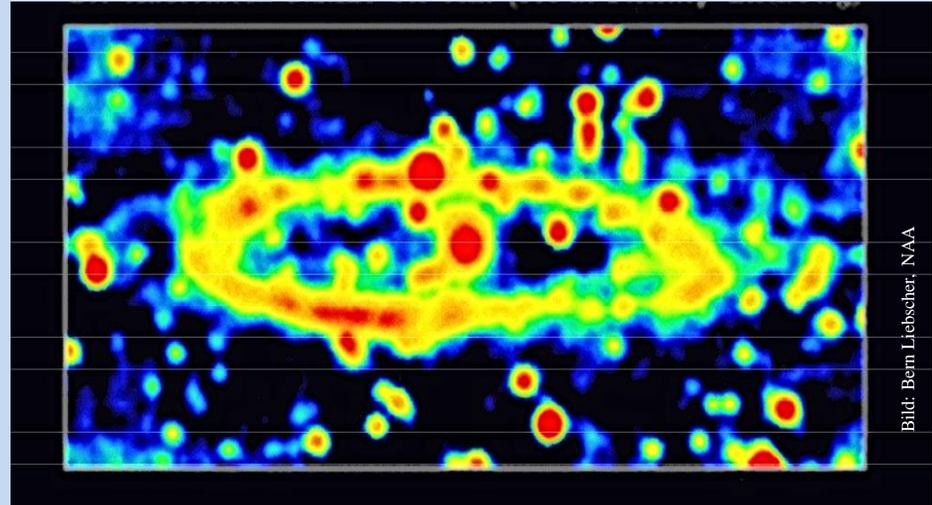


## Gegenüberstellung von Bildern aus der optische Astronomie und von Bildern aus der Radioastronomie.

Andromeda-Galaxie optisch mit  
Fernrohr oder Kamera beobachtet



Das gleiche Objekt  
radioastronomisch beobachtet



Damit der Mensch sich auch vorstellen kann was  
man bei der Radioastronomie sieht, visualisiert  
man die gemessenen Werte mit dem PC und  
entsprechender Software.

Die Intensität (Stärke) der Strahlung „beschreibt“  
man mit Farben.  
Rot steht dabei für den größten gemessenen Wert.

## Geschichtliches zur Radioastronomie - die wenig bekannte Wissenschaft

Der Physiker **Karl Guthe Jansky** arbeitete ab 1928 bei Bell Laboratories. Er untersuchte unter anderem die Ursache der Störsignale, die im Kurzwellenband (bei 20 MHz) zu hören waren.

Er entdeckte 1931, dass die Störsignale aus dem Weltraum kamen. 1932 konnte er bestimmen, dass diese Störsignale = elektromagnetische Wellen aus der Mitte unserer Milchstraße abgestrahlt werden.

Diese Störsignale werden umgangssprachlich als Radiowellen oder Radiostrahlung bezeichnet.

Am 5. Mai 1933 veröffentlichte Karl Jansky dann den Nachweis zum Empfang von Radiowellen aus dem Weltall.

Quelle: Encyclopaedia Britannica

**Diese Radiowellen**, die sich auf der Erde mit entsprechenden Antennen messen lassen, umfassen den Frequenzbereich von 14 Megahertz bis 300 Gigahertz.

## Geschichtliches zur Radioastronomie - die wenig bekannte Wissenschaft

Ab 1933 beschäftigte sich auch der amerikanische Ingenieur und Funkamateurliebig Grote Reber mit den Arbeiten des Astronomen Karl Jansky zum Thema der Radiostrahlung.



Reber baute bis 1937 an einem eigenen Radioteleskop mit **9,5 Meter** Durchmesser.

Mit diesem Teleskop durchmusterte er den beobachtbaren Himmel bei verschiedenen Frequenzen im Radiobereich.

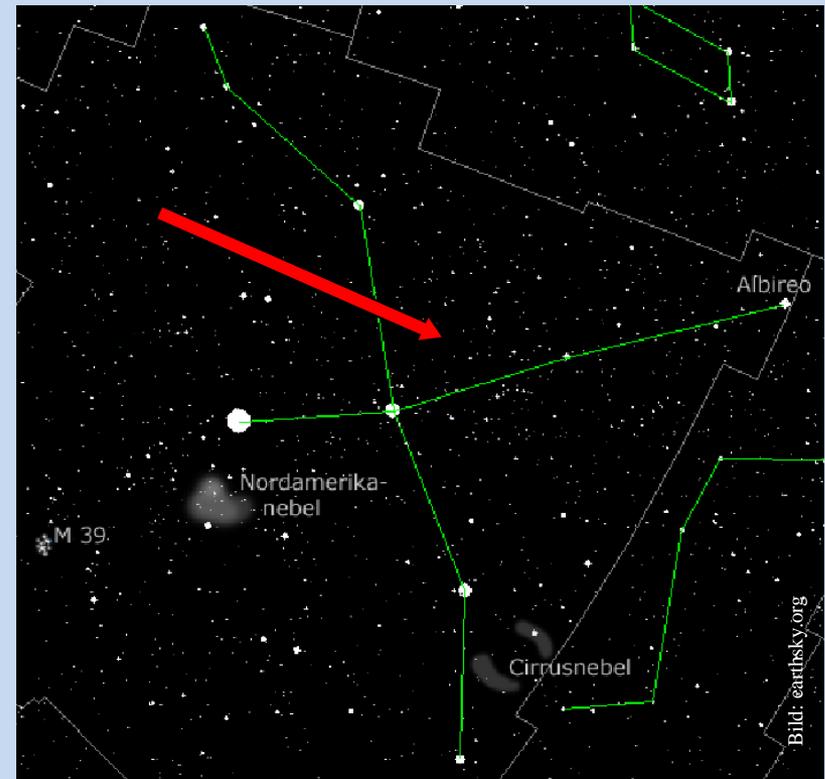
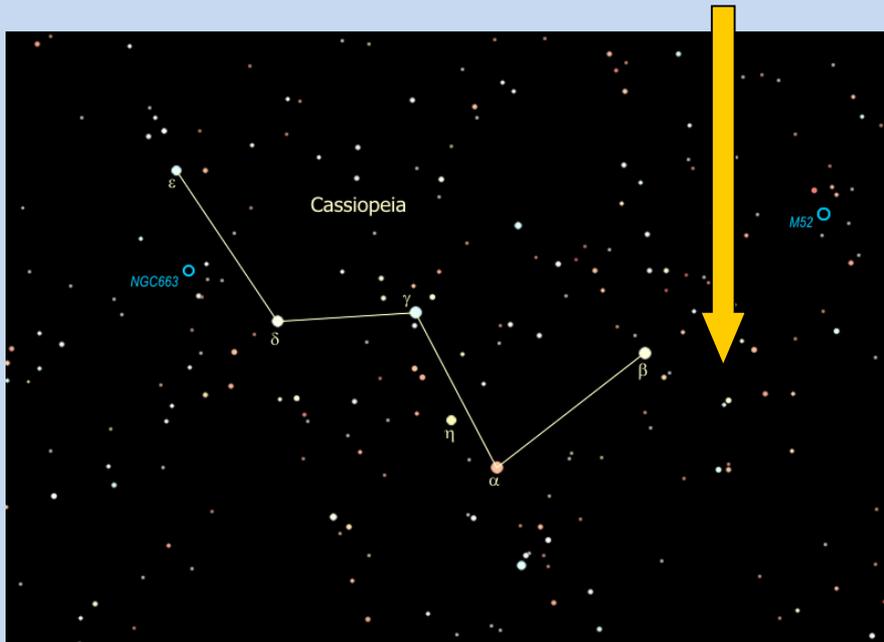
Bis 1941 gelang ihm die vollständige Durchmusterung unserer Milchstrasse.

Mit einigen Ergänzungen publizierte er 1943 seine Forschungsergebnisse.

# Geschichtliches zur Radioastronomie - die wenig bekannte Wissenschaft

Er entdeckte die starken Radioquellen  
Cygnus X-1 (Röntgen-Doppelstern) im  
Sternbild Schwan

und Cassiopeia A (Supernovaüberrest)  
im Sternbild Cassiopeia (Himmels-W)



# Definition und Aufteilung der elektromagnetischen Wellen.

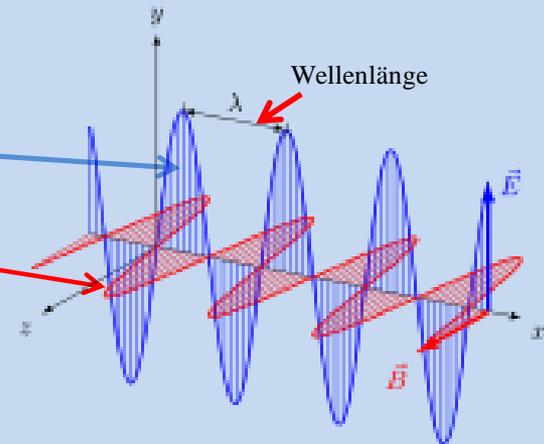
## Elektromagnetischen Wellen: Was ist das?

Elektrische Schwingungen (auch Wellen genannt) entstehen durch einen physikalischen Effekt. Sie haben ein elektrisches und ein magnetisches Feld, man nennt sie deshalb elektromagnetische Wellen.

Sie sind durch ihre Wellenlänge  $\lambda$  bzw. Frequenz  $f$  „gekennzeichnet“.

$$\lambda = c / f$$

$$f = c / \lambda \quad c = \text{Lichtgeschwindigkeit}$$



Elektromagnetische Wellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus  
(ca. 300 000 Km/sec)

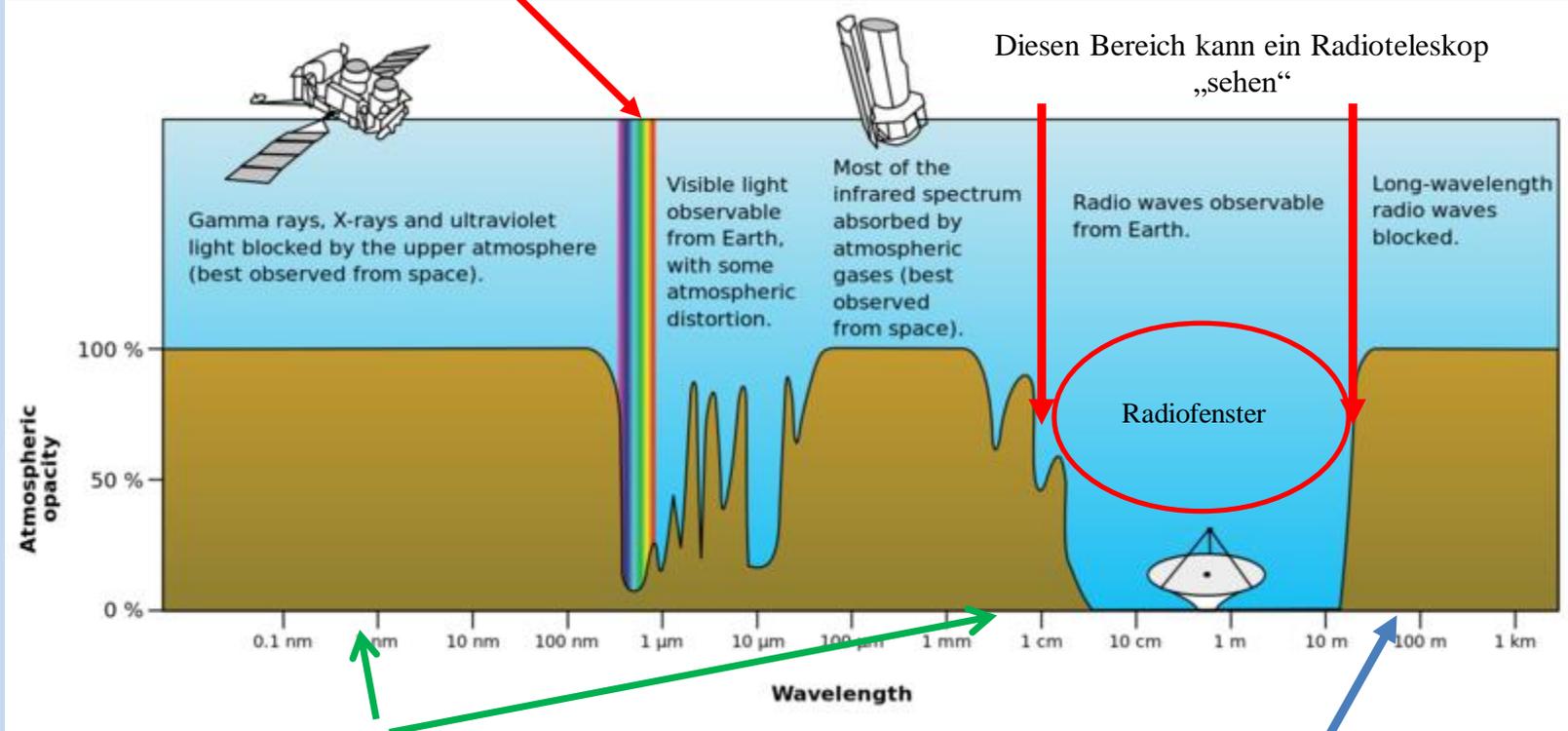
Sie brauchen zur Ausbreitung kein Medium, wie z.B. Schallwellen, die Luft oder Wasser brauchen, um sich ausbreiten zu können.

Elektromagnetische Wellen sind deshalb eine der hauptsächlichen Quellen unseres Wissens über das Universum.

# Aufteilung der elektromagnetischen Wellen.

Mit unseren Augen sehen wir nur diesen Bereich.

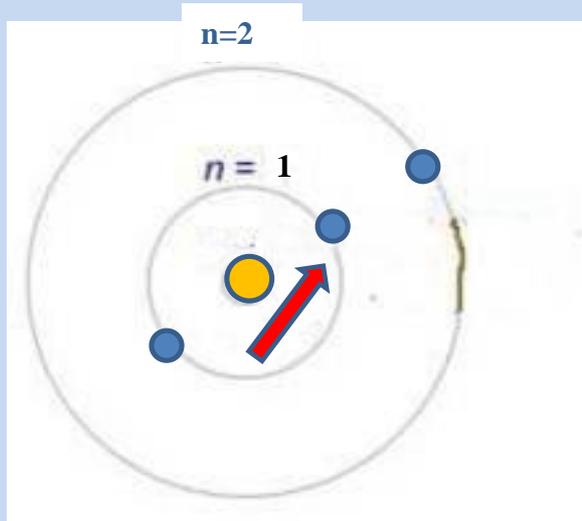
Nur sichtbare Lichtwellen und Wellen mit Wellenlängen von ca. 20 m – 1 cm (0,5mm) kommen auf der Erdoberfläche an.



Wellen mit Wellenlängen  $< 1$  cm werden durch die Moleküle in der Erdatmosphäre, z.B. Stickstoff, Sauerstoff, Wasser, & Kohlendioxid absorbiert.

Wellen mit Wellenlängen  $> 20$  m werden von der Ionosphäre = elektrisch leitfähige Atmosphärenschicht in mehreren hundert km Höhe reflektiert bzw. absorbiert.

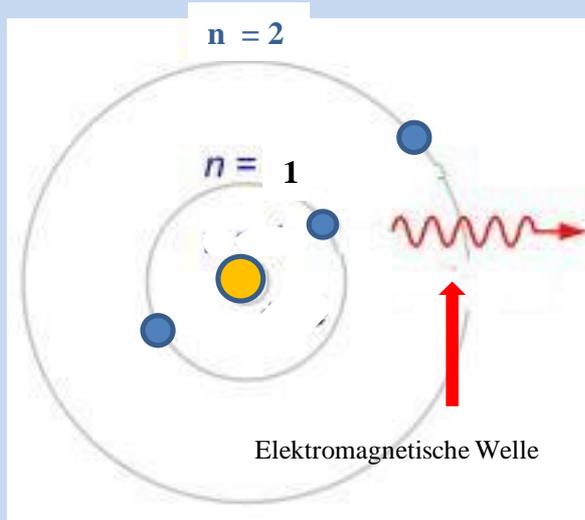
## Wie elektromagnetische Wellen (einfach gesagt Strahlung oder Radiowellen) entstehen



Dargestellt ist ein Helium-Atom mit zwei Elektronenschalen und zwei Elektronen (blau) auf der inneren Schale (Ring  $n=1$ )

Der rote Pfeil symbolisiert die Einwirkung einer von außen kommenden Energie (Strahlung oder Materie). Diese verschiebt ein *Elektron* auf die Elektronenschale  $n=2$

Die Energie die zum Verschieben notwendig war steckt nun in dem verschobenen Elektron.

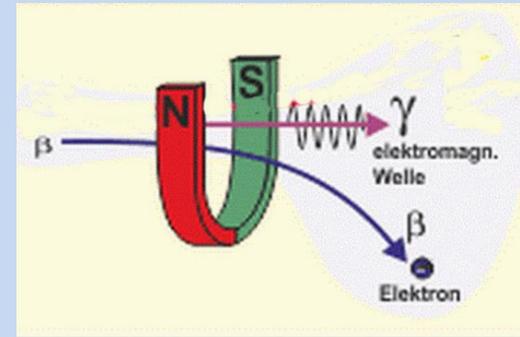


... beim Zurückspringen dieses Elektrons von der Bahn  $n=2$  auf die Bahn  $n=1$  (= energieärmerer Zustand) wird die Energie, durch die das Elektron auf die höhere Bahn ( $n=2$ ) verschoben wurde, wieder freigegeben ...

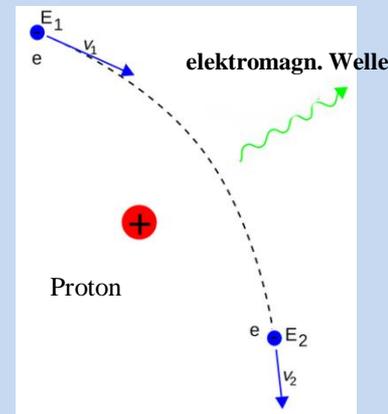
Energie geht bekanntlich nicht verloren. Hier wird die Bewegungsenergie nur in eine andere Form der Energie umgewandelt, nämlich in eine elektromagnetische Welle.

# Wie elektromagnetische Wellen (einfach gesagt Strahlung oder Radiowellen) entstehen

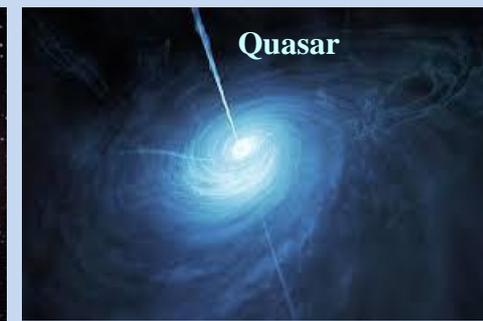
Eine elektromagnetische Welle entsteht auch, wenn sich ein elektrisch geladenes Teilchen (zum Beispiel ein Elektron) durch ein Magnetfeld bewegt und dabei abgelenkt wird.



Eine elektromagnetische Welle wird aber auch erzeugt, wenn ein geladenes Teilchen beim Vorbeiflug an einem anderen geladenen Teilchen in seiner Flugbahn abgelenkt wird oder sich dabei seine Flugeschwindigkeit ändert.



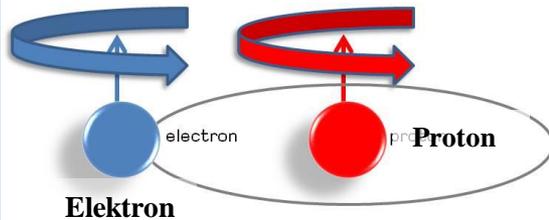
Quasare und Supernovae und schwarze Löcher erzeugen ebenfalls elektromagnetische Wellen, sie gehören zu den stärksten Radioquellen am Himmel.



# Wie elektromagnetische Wellen (einfach gesagt Strahlung oder Radiowellen) entstehen

## Wasserstoffatom

Elektron und Proton mit Spin in gleicher Drehrichtung = energiereicher Zustand



Wasserstoff Emissions“welle“

Wellenlänge 21-cm,  
Frequenz 1420 MHz

Energieärmerer Zustand

Spin in entgegengesetzter Drehrichtung

Image: SKA Organisation

Eine interessante Art der Entstehung von Radiowellen ergibt sich durch eine spontane Spinänderung, (Eigenumdrehungsänderung) die bei dem Elektron des (freien) Wasserstoffatoms auftreten kann.

Ändert sich der Spin beim Elektron so, dass dann der Protonen-Spin und der Elektronen-Spin gegengerichtet sind, so wird Energie frei.

Bei diesem Übergang zwischen zwei (Quanten)-Zuständen wird eine Strahlung mit der Frequenz von 1420,405 MHz ausgesendet (Wellenlänge 21 cm).

Alle elektrisch geladenen Teilchen senden Strahlung aus wenn sie gebremst oder beschleunigt werden oder wenn sie ihre Flugrichtung ändern.

Diese Strahlung wird als **Synchrotronstrahlung** bezeichnet.

# Radioastronomie

noch etwas Physik und die 21 cm Strahlung am PC Display.

Die interstellare Materie (ISM, InterStellarMatter) besteht zu 99 % aus Gas und Staub.

Der Wasserstoff hat daran einen Anteil von rund 90 %. Er ist das häufigste Element im Weltraum.

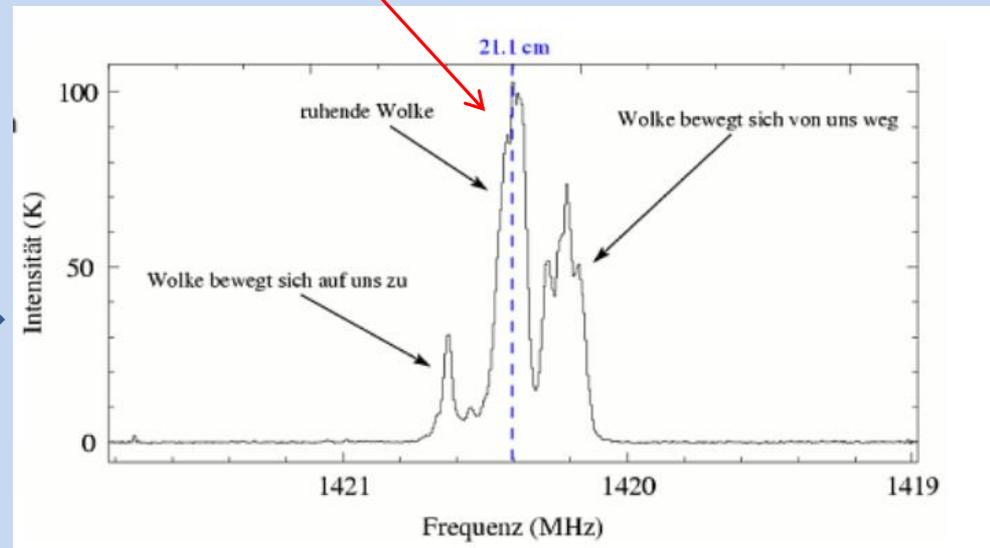
**Die Messung der Wasserstoffstrahlung ist deshalb am besten geeignet die Geheimnisse des Universums zu erkunden.**

Diese von einer „Wasserstoffwolke“ abgestrahlten Radiowellen empfängt man mit einem Radioteleskop.

Mit Hilfe eines Computers kann man sie entsprechend verarbeiten und auf einem PC- Display darstellen



Die „Buckel“ im Kurvenbild sind dem Dopplereffekt geschuldet.



## Radioastronomie - Empfangstechnik

Astronomische Objekte senden also für uns sichtbare Wellen (= Licht )  
und auch *unsichtbare*, elektromagnetische Wellen  
(umgangssprachlich = Radiowellen) aus.

Aufgrund der großen Entfernung astronomischer Objekte  
kommen deren Radiowellen nur sehr schwach auf der Erde an.

In der Radioastronomie empfängt man diese schwachen  
Radiowellen mit großen Antennen.

Dies können zum Beispiel Yagi-, Rahmen-, Helix- oder  
Parabolantennen sein

# Was ist eigentlich eine Parabolantenne?

In dem Wort Parabolantenne steckt der Begriff Parabel.

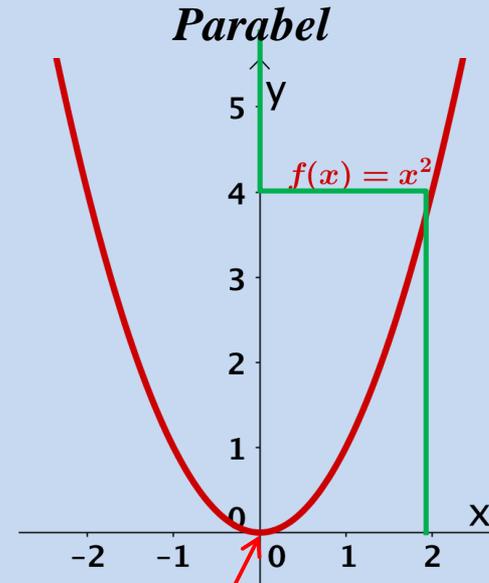
Eine Parabel ist eine geometrische **Figur** in Form einer symmetrischen, **offenen Kurve**.



Parabeln findet man oft im Alltag.

Wasserstrahlen formen Parabeln, wie z.B. beim Gartengießen

oder bei Brunnen.



Die **Normalparabel** ist der Funktionsgraph der Funktion

$$f(x) = x^2$$

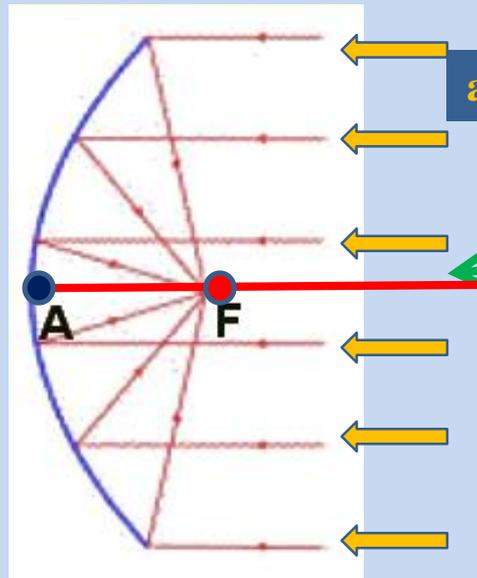
Die Parabel hat folgende Eigenschaften:

- **Scheitelpunkt** bei  $(0 | 0)$
- nach oben geöffnet
- achsensymmetrisch zur  $y$ -Achse.

# Die „Schüssel“ (= Parabolantenne) - das auffälligste Teil eines jeden Radioteleskopes

Die Funktionsweise der **Parabolantenne** beruht auf den geometrischen Eigenschaften der *Parabel*.

*Parabolantenne*



**achsenparallele Strahlen**

Die **Halbgerade**, die im Scheitelpunkt **A** beginnend durch den Brennpunkt **F** verläuft, wird die **Achse** der Parabel genannt.

*Achsenparallel einfallende Radiowellen*, die auf eine Antenne mit parabelförmigen Querschnitt treffen, werden von der **Parabelfläche** so reflektiert, dass sie alle gleichzeitig im Brennpunkt (Punkt F) der Antenne zusammentreffen.

Es entstanden riesige Empfangsanlagen um die schwach einfallenden Strahlen zu „sammeln“



Effelsberg in der Eifel

Bewegliches Radioteleskop mit 100m Ø

Das momentan größte, nicht bewegliche Radioteleskop der Welt steht seit 2016 in China.

Es heißt „FAST“: "Five hundred meter-Aperture-Spherical-Telescope"

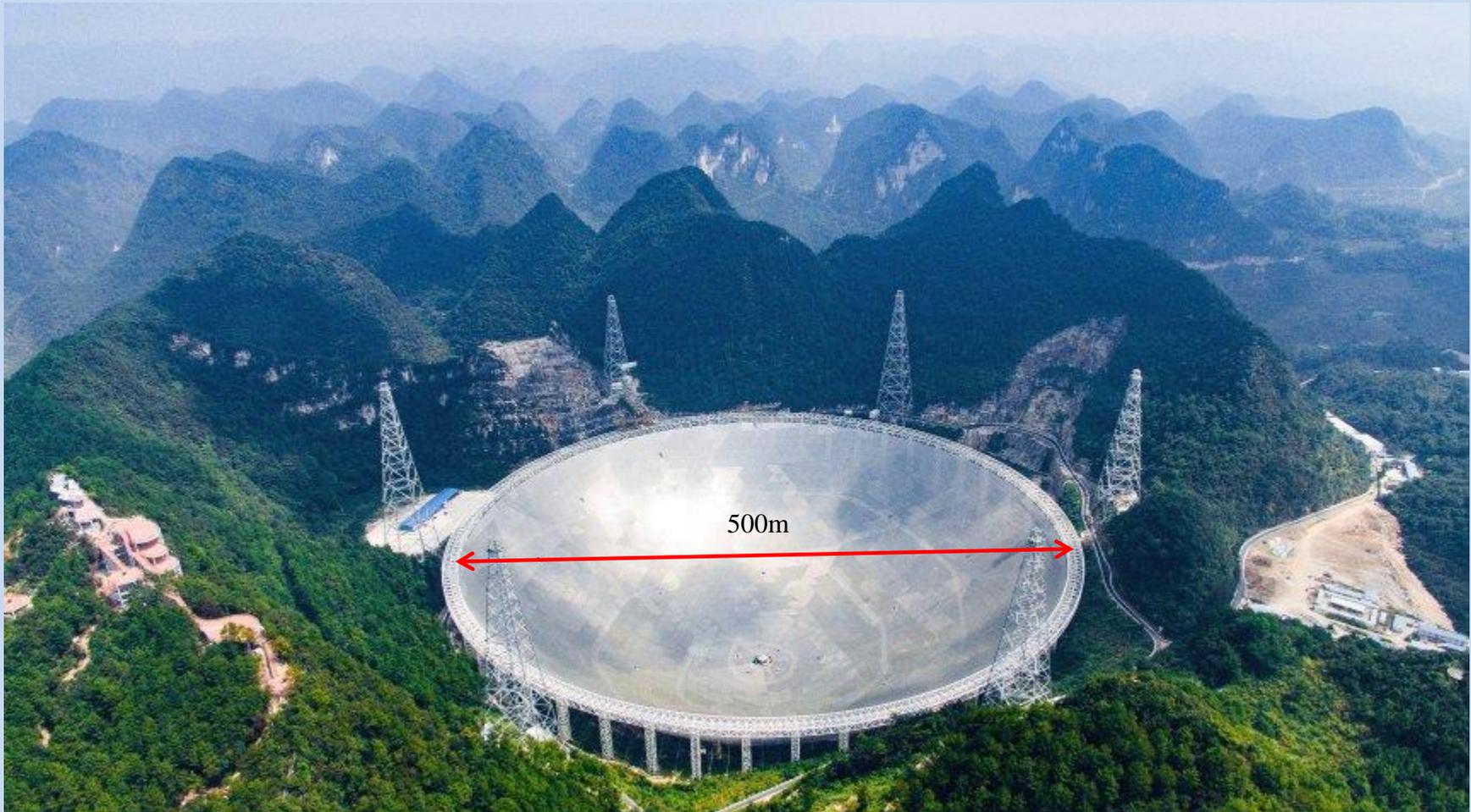


Bild: Liu Xu/AP

*Mit zwei Radioteleskopen wird in Deutschland in der Eifel radioastronomische Forschung betrieben.*



Bild: G. Pethhofer

*Der Astropeiler auf dem Stockert  
(Bad Münstereifel)*

*Er wurde 1955 als erste Radioteleskop in Deutschland zusammen mit den Amerikanern gebaut. Sie benutzten es um Spionage zu betreiben und die Deutschen durften damit Radioastronomie machen.*

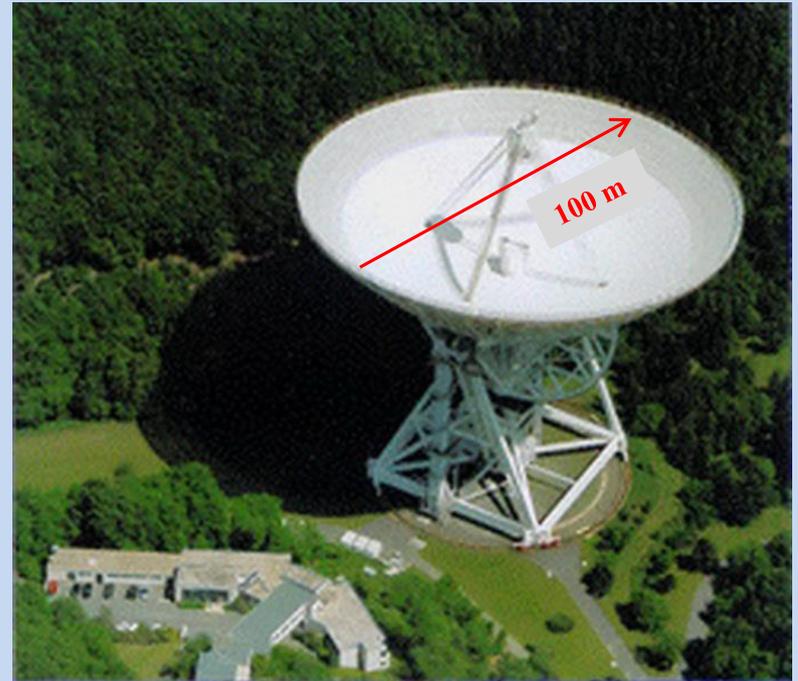
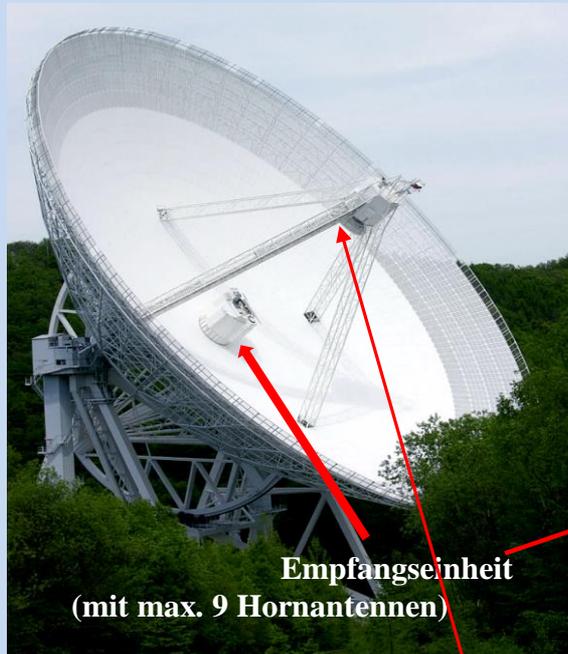


Bild: MPIfR Bonn

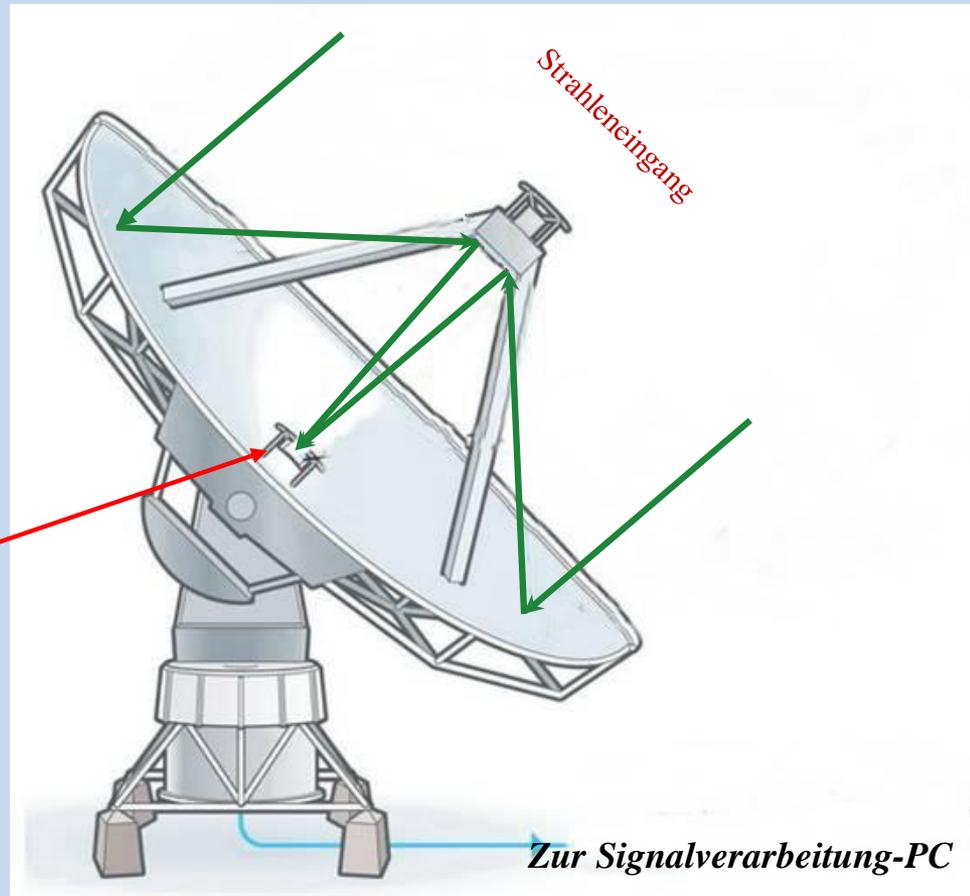
*Das Radioteleskop Effelsberg  
Es ist das größte bewegliche Radioteleskop in Europa.*

# Strahlenverlauf bei großen Radioteleskopen

## Der Sekundärspiegel - ein Teil der Empfangseinheit



**Radioteleskop mit  
Sekundärspiegel (Gregory-Spiegel)  
6 m Ø**



**Strahlengang bei einem großen  
Radioteleskop**

Erfassung  
der Position  
von astron-  
omischen  
Objekten

**Elevation**

Verstellung  
in der  
Senkrechten



Erfassung der Position  
von astronomischen  
Objekten

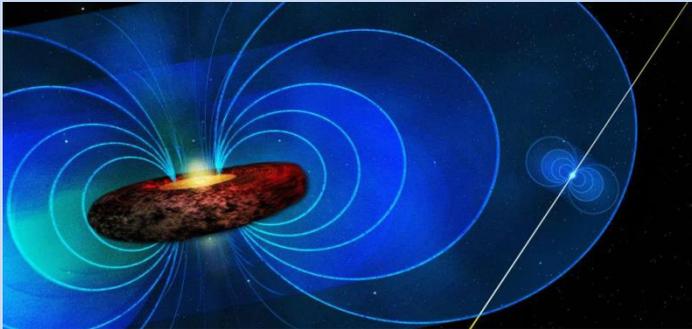
# Azimut

Verstellung  
in der  
Waagrechten



# Wie man die unsichtbaren Radiowellen sichtbar macht

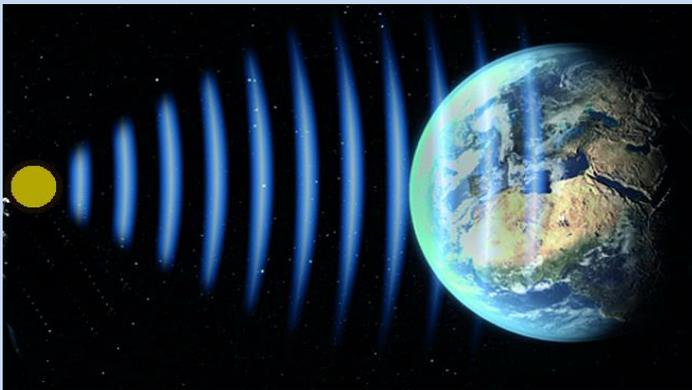
Diese aus dem Weltraum empfangene Radiowellen werden nun mit einem Computer verarbeitet.



Bilder: Welt.de

Sie werden dabei mit einer Spektrumanalyserschaltung in einzelne Spektrallinien, zerlegt.

*Jede dieser Spektrallinien hat eine bestimmte Frequenz und ist einer Substanz zugeordnet*

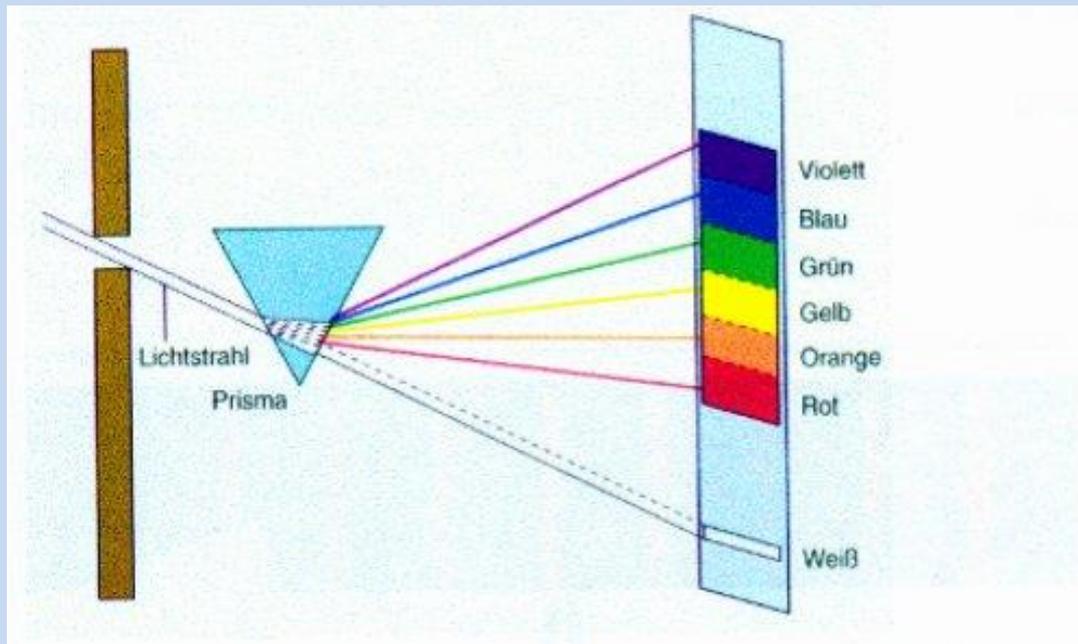


Bilder: Helmholtz.de

Wellenlänge	Frequenz in GHz	Substanz
18-21cm	1,3-1,7	Wasserstoff (H)
18-21cm	1,3-1,7	Hydroxyl (OH)
5cm	5,75-6,75	Methanol (CH <sub>4</sub> O)
1,3cm	21,7-24,4	Wasser (H <sub>2</sub> O)
1,3cm	21,7-24,4	Ammoniak (NH <sub>3</sub> )

## Eine einfache Erklärung zum Spektrumanalyser

- **Unsere Augen empfangen elektromagnetische Wellen. Wir bezeichnen diese als Licht.**
- **Wir wissen, dass das Sonnenlicht aus einzelnen Farben besteht.**
- **Warum können wir diese einzelnen Farben nicht sehen?**
- **Unser Auge nimmt beim Sehen eine additive Farbmischung der einzelnen Farben vor (Beispiel: Farbfernseher, 0,3 R, 0,59 G, 0,11 B = Weiß). Das betrachtete Objekt erscheint dann in der entsprechende Mischfarbe.**



**Will man diese einzelnen Farben sehen, so braucht man einen Spektrumanalyser.**

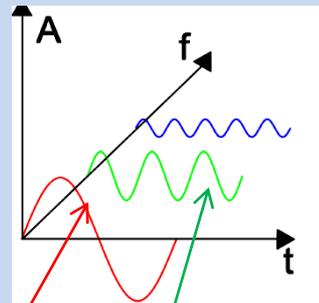
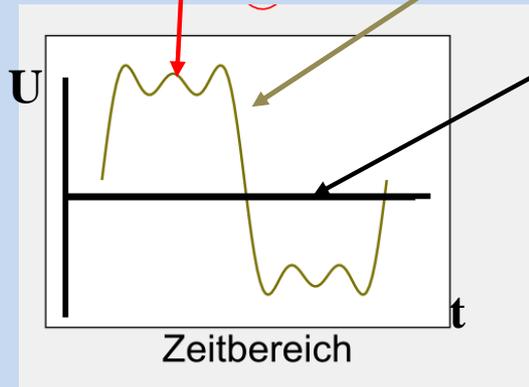
Ein einfacher Spektrumanalyser ist das aus der Schule bekannte Prisma.

Mit ihm zerlegt man das Licht in seine einzelnen Spektrallinien.

# Darstellung der empfangenen Radiowellen – Spektrumanalyzer

## Darstellung eines Zeitsignals.

Sie erfolgt üblicherweise in der Kurvenform. Dabei sieht man die **Amplitude** (Höhe), die **Signalform** und den **Zeitverlauf** des Signales.

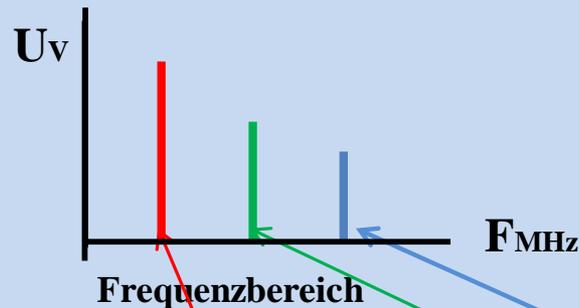


In der Zeitbereichs-Darstellung (U-t Diagramm) wird das Signal als eine Überlagerung von **Grundwelle** und **Oberwellen** dargestellt.

# Darstellung der empfangenen Radiowellen – Spektrumanalyzer

Wenn man aber sehen will welche Frequenzen wie stark in einem Signal vorhanden sind, braucht man einen Spektrumanalyzer.

## Darstellung eines Spektrum-Signals

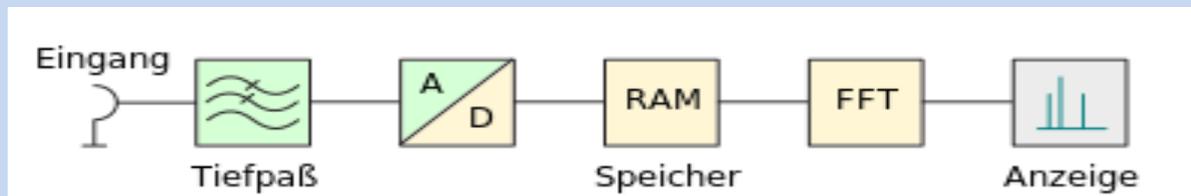


Im Frequenzbereich (U-F Diagramm) wird das Signal aufgelöst und mittels eines Spektrumanalyzers nach seinen **spektralen (Frequenz-)Anteilen** dargestellt.

In der Radioastronomie wird meist ein FFT-Spektrumanalyzer verwendet.

### FFT-Spektrumanalyzer

Mit Hilfe der **Fast Fourier-Transformation** wird direkt das Frequenzspektrum berechnet.



Blockschaltbild FFT -Spektrumanalyzer

# Um die mit der Radioastronomie empfangenen Wellen wissenschaftlich auswerten zu können brauchen wir technische „Helferlein“

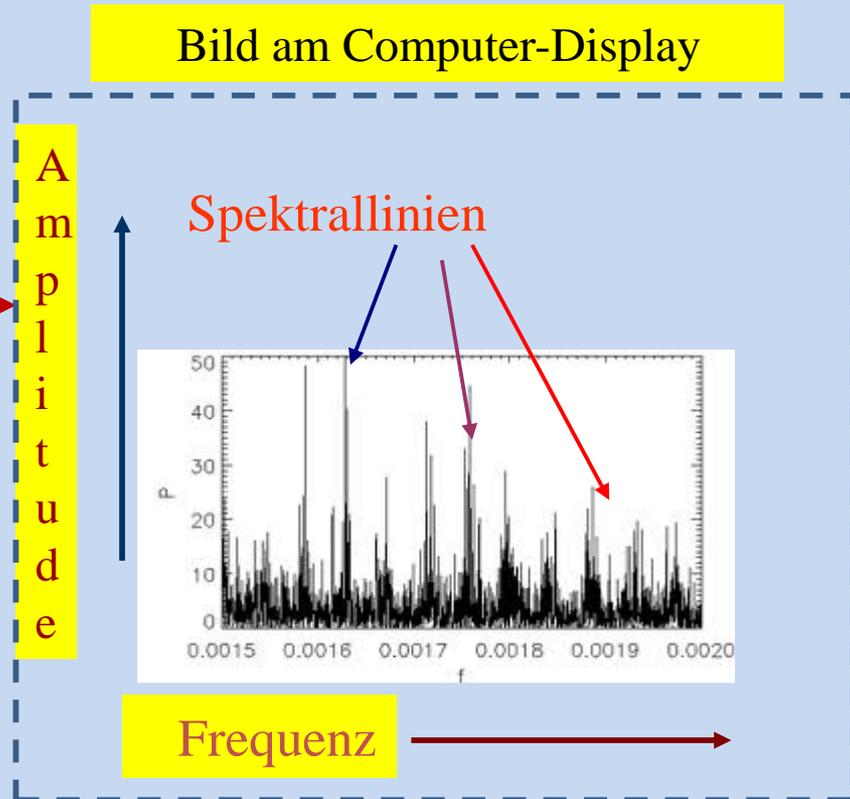
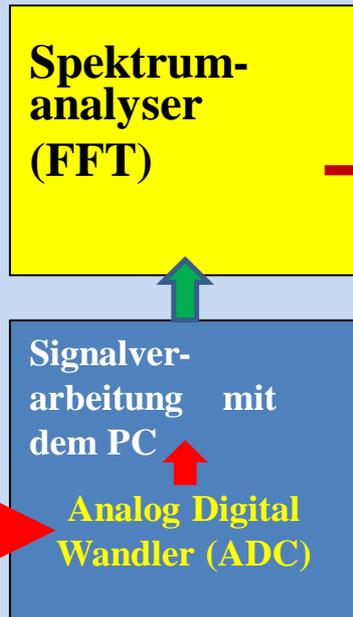
Große Antennen, entsprechende Empfangssysteme, Computer und Spektrumanalyser unterstützen uns dabei....

.....und so funktioniert es

## Empfang



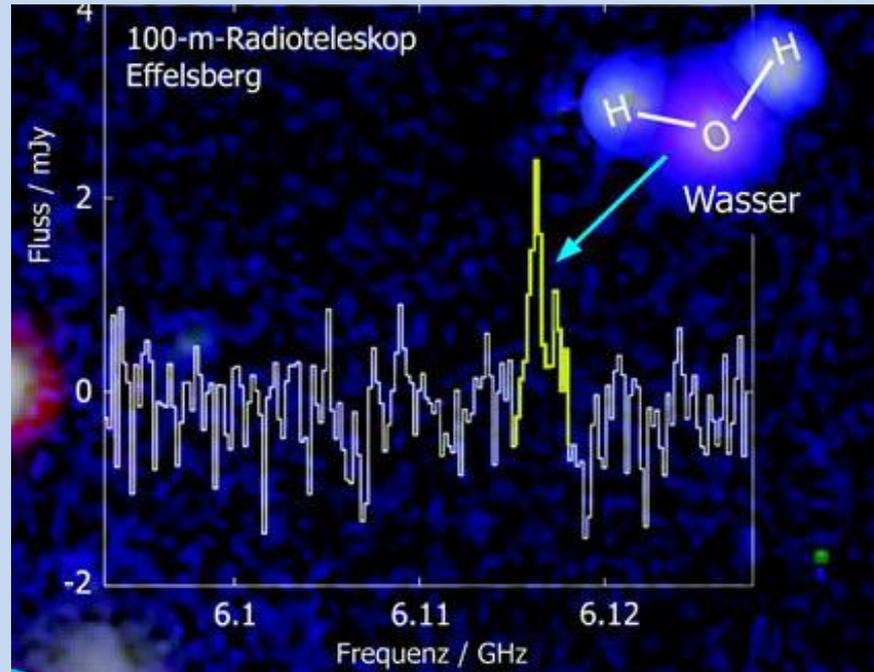
Bild: G.Petthofer



# Auswertung radioastronomischer Messungen

## Ergebnis-Beispiele

### Entdeckung von Wasser im frühen Universum



**2009 entdeckte man mit dem 100-m- Radioteleskop in Effelsberg Wasservorkommen (Maser) im Quasar MG J0414+0534.**

**Der Nachweis dieser Entdeckung wurde durch Messungen mit dem Very-Large-Array Teleskop in New Mexico bestätigt.**

Aufgrund der Expansion des gesamten Weltalls bewegt sich auch der Quasar MG J0414+0534 vom Beobachter weg. Dabei wird sein Licht in den roten Bereich des Spektrums verschoben. Und diese Rotverschiebung ist gerade so groß, dass sich die Frequenz der Strahlung des Wassermoleküls von ursprünglich 22 auf 6 Gigahertz verringert.

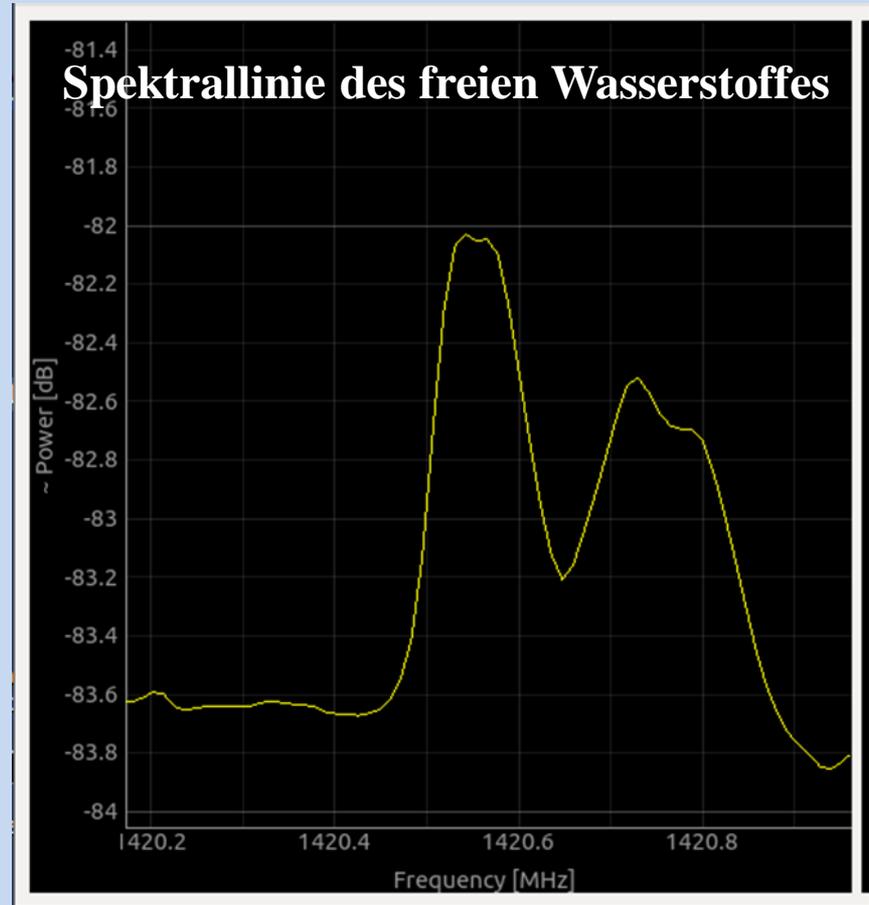
# Auswertung radioastronomischer Messungen

## Ergebnis-Beispiele

### Nachweis von freiem Wasserstoff im Schleiernebel (Sternbild Schwan (Cygnus))



↑  
Leistung



Frequenz →

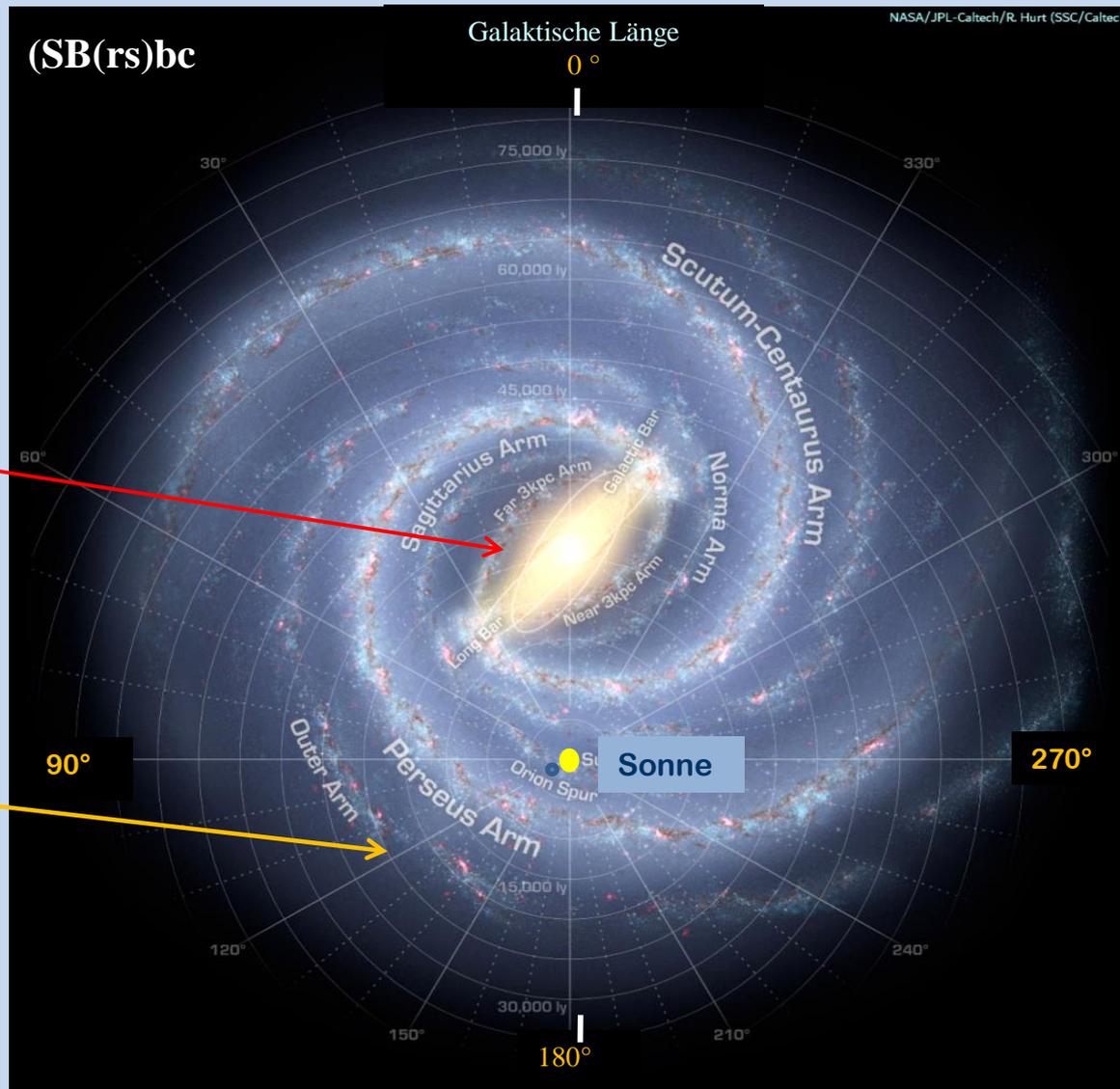
# Auswertung von Messwerten-- Wasserstoffstrahlung aus unserer Galaxie

Unsere Milchstraße  
ist eine  
Balkenspiralgalaxie.

Das bedeutet: Sie ist  
eine Spiralgalaxie mit  
einem mehr oder  
weniger **geraden Band**  
(**Balken**) von **hellen**  
**Sternen im Zentrum.**

Dieses „Band“ wird  
von Spiralarmen  
umschlossen.

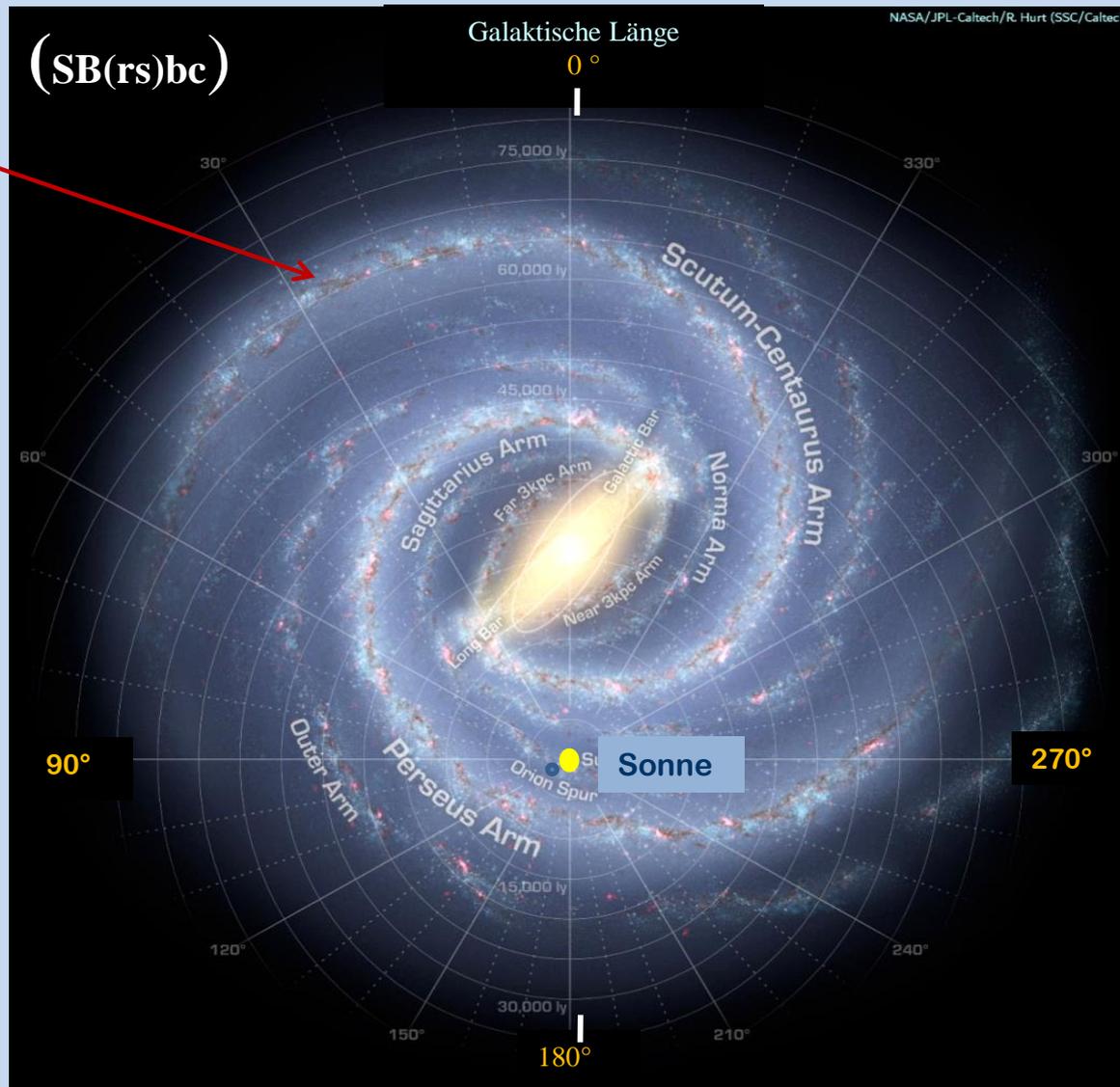
Die Galaxie dreht sich  
im Uhrzeigersinn.



# Auswertung von Messwerten-- Wasserstoffstrahlung aus unserer Galaxie

Die roten Stellen zeigen die Orte der Wasserstoffstrahlung in den Spiralarmen an.

Durch die Messung der Wasserstoffstrahlung ist es gelungen die Struktur unserer Galaxie zu entschlüsseln.





## *...immer noch neugierig??*

*Die Sternwarte Nürnberg hat seit April 2019 auch eine radioastronomische Empfangsstation...*



Bild: G. Perthofer

*...mit zwei Parabolantennen.*

*(eine mit 1,5 m und eine mit 3 m Durchmesser)*

*Info's unter:*

*<https://www.nag-ev.de/radioastronomie.php>*

*Auf der Sternwarte werden immer wieder öffentliche Führungen zur Radioastronomie angeboten.*

*Das Arno-Penzias-Radioteleskop*



*...es tnx agn de DL3NBI*

*we will meet in space, soon!*

