

Radioastronomie

Gruppe 1

Udo Beier

Leon Brückner
Sebastian Ziegler

Valentin Olpp

März 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	4
2	Einleitung	5
3	Methoden	6
3.1	Aufbau eines Radioteleskops	6
3.2	Winkelauflösung des SRT	6
3.3	Beobachtung der Sonne mit dem SRT	6
3.4	Beobachtung der 21cm Wasserstofflinie	6
4	Durchführung	8
4.1	npoint- und Cross-Scan der Sonne	8
4.2	Störquellen	8
4.3	21 cm H-Linie	9
5	Ergebnisse	10
5.1	npoint-Scan der Sonne	10
5.2	Cross-Scan der Sonne	10
5.3	Bestimmung der Halbwertsbreite der Antennenkeule	10
5.4	Dopplerverbreiterung durch thermische Bewegung	14
5.5	Bestimmung der Rotationskurve der Milchstraße	14
5.6	Störungsmessung	17
5.6.1	Spektrum des Satelliten Afristar	17
5.6.2	Störung durch ein Mobiltelefon	19
5.7	Radiolichtkurve der Sonne	21
6	Diskussion	22

Abbildungsverzeichnis

1	npoint Scan der Sonne mit Offset des Maximums von 2.6° Azimut und -5.8° Elevation	10
2	Plot der Intensität der Sonne in Abhängigkeit des Azimutwinkels	11
3	Plot der Intensität der Sonne in Abhängigkeit des Elevationswinkels	12
4	Störung durch SRT 1	14
5	Plot der Rotationsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Winkels l	15
6	Plot der Rotationsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Abstandes vom Mittelpunkt der Milchstraße	16
7	npoint Scan des Satelliten Afristar mit Offset des Maximums von 7.4° Azimut und -6.0° Elevation	18
8	Gemessenes Spektrum des Satelliten Afristar	18
9	Kalibrationstemperaturen aufgetragen über der Frequenz	19
10	Messung der Intensität bei unterschiedlicher Distanz eines Mobiltelefons zum Teleskop	20
11	Radiolichtkurve der Sonne und Anzahl der Sonnenflecken	21

Tabellenverzeichnis

1	Werte des Fits für die Parameter aus (16)	13
2	Messtabelle mit den gemessenen Koordinaten (l,b) , den Frequenzen f , die der maximalen Rotverschiebung entsprechen, den Komponenten $v_{\text{LSR},r}$ von v_{LSR} für die jeweilige Blickrichtung, den gemessenen Geschwindigkeiten $v_{\text{max,observed}}$, den Abständen R zum Zentrum und den zugehörigen Rotationsgeschwindigkeiten v_{rot}	17

1 Abstract

Mit dem SRT „Small Radio Telescope“ wurden npoint und Cross-Scans der Sonne durchgeführt. Weiterhin wurde der Einfluss von Störquellen auf die Messungen untersucht, indem das Spektrum des Satelliten Afristar vermessen und der Einfluss eines Mobiltelefons untersucht wurde. Schließlich wurde durch das Messen der Dopplerverschiebung der 21 cm-Wasserstofflinie in der Milchstraße eine Rotationskurve derselben bestimmt.

2 Einleitung

Astronomische Beobachtungen finden nicht nur im optischen Bereich statt, auch im Bereich der Radiowellen, Infrarotstrahlung oder Röntgenstrahlung können Erkenntnisse gewonnen werden. Bis 1930 war die Beobachtung jedoch auf das Spektrum des sichtbaren Lichts beschränkt, bis Karl Guthe Jansky bei der Messung von elektromagnetischer Strahlung bei Gewittern Radiostrahlung aus dem Zentrum der Milchstraße entdeckte.¹ In den folgenden Jahrzehnten wurden viele weitere Entdeckungen, wie z.B. Pulsare oder die 3 K - Hintergrundstrahlung, gemacht. Mithilfe der 21 cm-Wasserstofflinie, die in interstellaren Gaswolken entsteht, kann z.B. auch die Rotationsgeschwindigkeit der Milchstraße gemessen werden. Auch heute ist die Radioastronomie ein wichtiges Teilgebiet der Astronomie, in dem zurzeit große Anstrengungen unternommen werden, um bessere Anlagen zu konstruieren.

¹[Jan]

3 Methoden

3.1 Aufbau eines Radioteleskops

Radioteleskope bestehen aus einer parabolischen Metallschüssel zur Bündelung der Radiowellen auf einen Brennpunkt. In diesem Brennpunkt befindet sich die Antenne des Teleskops.

3.2 Winkelauflösung des SRT

Die Auflösung eines Radioteleskops ist von der Größe des verwendeten Hohlspiegels und der gemessenen Frequenz abhängig.

Es gilt:

$$\alpha = 1.22 \cdot \frac{\lambda}{D} \quad (1)$$

Für das SRT in Bamberg mit $\lambda = 21 \text{ cm}$ und $D = 2.3 \text{ m}$ ergibt sich:

$$\alpha = 1.22 \cdot \frac{21 \text{ cm}}{2.3 \text{ m}} = 1.22 \cdot \frac{0.21 \text{ m}}{2.3 \text{ m}} \approx 0.11 \text{ rad} \quad (2)$$

Dies entspricht einer Winkelauflösung von 6.3° .

Das menschliche Auge hat eine Winkelauflösung von ungefähr einer Bogensekunde (im Bogenmaß: $2.9 \cdot 10^{-4}$). Um mit dem Teleskop eine solche Auflösung zu erreichen, müsste das Teleskop einen Durchmesser von

$$D = 1.22 \cdot \frac{\lambda}{\alpha} = 1.22 \cdot \frac{0.21 \text{ m}}{2.9 \cdot 10^{-4}} \approx 883 \text{ m} \quad (3)$$

haben. Die weitaus bessere Auflösung des menschlichen Auges ist darin begründet, dass Radiowellen eine um mehrere Größenordnungen höhere Wellenlänge haben.

3.3 Beobachtung der Sonne mit dem SRT

Die von der Sonne abgestrahlte Radiostrahlung besteht zum größten Teil aus Synchrotronstrahlung von Elektronen, die vom Magnetfeld der Sonne beschleunigt werden. Es ist also zu erwarten, dass die Intensität der Radiostrahlung homogen verteilt ist. Sonnenflecken weisen besonders hohe Abstrahlung im Radiobereich auf, da diese durch lokale Magnetfeldänderungen erzeugt werden. Die Sonne ist mit einem Winkeldurchmesser von ca. 30 Bogensekunden jedoch zu klein, um Details mit dem SRT (siehe (2)) auflösen zu können.

3.4 Beobachtung der 21cm Wasserstofflinie

Ein Wasserstoffatom besteht aus einem Proton und Elektron, die jeweils noch einen Eigendrehimpuls (Spin) besitzen. Die Spins können parallel oder antiparallel angeordnet sein, wobei dies jeweils einem unterschiedlichen Energiezustand entspricht. Bei einem Wasserstoffatom im Grundzustand kann sich der Spin des Elektrons von parallel (zum

Spin des Protons) zu antiparallel ändern. Der antiparallele Spin entspricht einem niedrigeren Energiezustand, sodass Energie als Photon, welches gerade die Wellenlänge 21 cm besitzt, abgestrahlt wird. Der Energiezustand mit parallelen Spins hat jedoch eine sehr lange Lebensdauer, deswegen kann dieser Übergang nur in Gebieten mit niedrigen Temperaturen ($\sim 100K$) (damit das Atom im Grundzustand ist) und geringen Teilchendichten (sonst würde der Energiezustand durch Stöße und den dadurch erfolgenden Energieübertrag „entvölkert“ werden) stattfinden. Die Sonne ist im Vergleich zu den interstellaren Wasserstoffwolken weitaus heißer und dichter, deswegen ist im Sonnenspektrum keine 21 cm - Linie zu erwarten. Aufgrund von Schwarzkörperstrahlung ist die 21 cm - Linie trotzdem im Sonnenspektrum aufzufinden.

Im folgenden soll die Strahlungsleistung eines Schwarzkörpers bei einer Temperatur von 5800K und bei der der 21cm-Linie entsprechenden Frequenz ausgerechnet werden. Das Wien'sche Strahlungsgesetz liefert für große Wellenlängen falsche Ergebnisse, also wird hier die Rayleigh-Jeans-Näherung verwendet.

Das Rayleigh-Jeans-Gesetz lautet für die gesamte abgestrahlte Leistung pro Fläche ²:

$$I(\nu)d\nu = \frac{2 \cdot k_B \cdot T \cdot \nu^2}{c^2} d\nu. \quad (4)$$

Dies ergibt für $T = 5800K$ und $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00 \cdot 10^8}{0.21m} = 1.43 \cdot 10^9 Hz$ eine abgestrahlte Leistung pro Fläche und Frequenzabschnitt von:

$$I(1.4310^9 Hz) = 3.63 \cdot 10^{-18} \frac{W}{m^2 \cdot Hz \cdot str}. \quad (5)$$

Den Raumwinkel, den die Sonnenscheibe von der Erde aus betrachtet einnimmt, ergibt sich, da die Sonne etwa 0.5° einnimmt zu:

$$\Omega = \frac{0.5^\circ \pi}{2 \cdot 180^\circ} \cdot \pi = 5.98 \cdot 10^{-5} str. \quad (6)$$

Für den Strahlungsstrom auf der Erde ergibt sich damit:

$$S \approx 2.17 \cdot 10^{-22} \frac{W}{m^2 \cdot Hz}. \quad (7)$$

Dies ist eine um mehr als eine Größenordnung geringere Intensität als die gemessene. Errechnet man umgekehrt die „effektive“ Temperatur, also die Temperatur, die ein Schwarzkörper haben müsste, um die gleiche Intensität zu emittieren, so ergäbe sich aufgrund der Linearität von I und T bei konstanter Frequenz:

$$T_{eff} = \frac{I_{gem}}{I} \cdot 5800K = \frac{5 \cdot 10^{-21}}{2.17 \cdot 10^{-22}} \cdot 5800K = 1.34 \cdot 10^5 K, \quad (8)$$

wobei I_{gem} die gemessene Intensität, I die errechnete ist. Die Radiostrahlung dieser Frequenz stammt vorwiegend aus der äußeren Atmosphäre der Sonne. Dort ist das solare Magnetfeld noch sehr stark, sodass sich dort freie Elektronen auf spiralförmigen Bahnen bewegen und somit Synchrotronstrahlung emittieren.

²[Ray]

4 Durchführung

4.1 npoint- und Cross-Scan der Sonne

Aufgrund von Problemen mit der Nachführungseinrichtung des SRT 2 wurde für diesen Teil des Versuchs auf das SRT 1 zurückgegriffen.

Um die aktuelle Position der Sonne zu nutzen, wurden vor dem Start der Steuerungssoftware die aktuellen Sonnenkoordinaten in die Katalogdatei eingetragen. Es wurde ein 5x5 npoint scan, d.h. ein Scan im 5 mal 5 Raster um die im Katalog eingetragene Position durchgeführt. Diese Messung ergab, dass das Intensitätsmaximum um 2.6° Deklination und -5.8° Elevation von der im Katalog eingetragenen Position abwich. Dieser Offset wurde in der Messung des Cross-Scan, ein Linienscan sowohl über die komplette Höhe als auch über die komplette Breite, also ein kreuzförmiger Scan über das Objekt, berücksichtigt, um die Sonne bestmöglich abzufahren. Es wurde eine Kommandodatei verwendet um Offsets in Azimut bzw. Elevation automatisiert anzufahren.

4.2 Störquellen

Störquellen z.B. von elektronischen Geräten oder auch Lebewesen, sind ein großes Problem für die Radioastronomie. Um das Verhältnis von Störquellen zu astronomischen Radioquellen darzustellen, wird in der folgenden Berechnung die Auswirkung der Strahlung eines Mobiltelefons auf dem Mond betrachtet.

Für die Frequenzverteilung der Leistung ergibt sich:

$$P(f) = \frac{2W}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(\frac{-(f - f_0)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right), \quad (9)$$

wobei $f_0 = 900$ MHz und $\sigma = 40$ kHz. Damit ergibt sich für $f = 900$ MHz eine Leistung von $P = \frac{2W}{\sqrt{2\pi} \cdot 40 \text{ kHz}} \approx 0.020 \frac{W}{\text{kHz}}$. Da der Mond von der Erde etwa 375000 km entfernt ist, ergibt sich für den Strahlungsfluss auf der Erde:

$$S = \frac{P(\text{Erde})}{A} = \frac{\frac{2W}{\sqrt{2\pi} \cdot 40 \text{ kHz}}}{4 \cdot r_{\text{Erde-Mond}}^2 \pi} \approx 1.13 \cdot 10^{-20} \frac{W}{\text{kHz m}^2} = 1.13 \cdot 10^3 \text{ Jy}. \quad (10)$$

Für die Intensitäten

$$S_\nu \sim \nu^{-\alpha}. \quad (11)$$

Somit ergibt sich:

$$S_{\nu_1} = S_{\nu_0} \cdot \left(\frac{\nu_1}{\nu_0}\right)^\alpha, \quad (12)$$

und somit:

$$S_{900 \text{ MHz}}(\text{Cas A}) = S_{1400 \text{ MHz}}(\text{Cas A}) \cdot \left(\frac{900}{1400}\right)^{-0.75} \approx 3343 \text{ Jy} \quad (13)$$

und analog:

$$S_{900\text{ MHz}}(\text{Cyg A}) \approx 2136\text{ Jy} \quad (14)$$

und

$$S_{900\text{ MHz}}(\text{Tau A}) \approx 913\text{ Jy}. \quad (15)$$

Diese Werte sind etwa drei Größenordnungen kleiner als der Strahlungsfluss des Handys auf dem Mond.

Um den möglichen Einfluss von Störquellen auf Messungen zu demonstrieren, wurde zunächst der Einfluss des geostationären Rundfunksatelliten „Afristar“ gemessen. Um die genaue Position des Satelliten zu bestimmen, wurde ein npoint Scan durchgeführt, darauf hin wurde das Teleskop mit Frequenzen von 1440 MHz bis 1500 MHz in 5 MHz Schritten auf Afristar gerichtet, um das Spektrum des Satelliten zu ermitteln. Als zweite mögliche Störquelle wurden Mobiltelefone getestet. Dieses Experiment wurde in Zusammenarbeit mit Gruppe 5 durchgeführt. Zwei sendende Mobiltelefone wurden mit einem Abstand von 2 bis 12 Metern möglichst zentral in die Hauptkeule des SRT 1 gehalten. Bei einem Abstand von 5 Metern wurde zudem zum Vergleich nur die Mobiltelefone haltende Person ohne Telefonen vermessen.

4.3 21 cm H-Linie

Über eine Breitbandmessung der 21 cm Wasserstofflinie sollte die Rotation der interstellaren Gaswolken und damit der Galaxie vermessen werden. Um eine Sichtbarkeit der Milchstraße von $0 - 90^\circ$ galaktischer Länge in der Galaktischen Ebene zu erzielen, wurde die Messung von vier bis sieben Uhr am Mittwoch den 12. März 2014 durchgeführt. Auch diese Messung wurde durch eine Kommandodatei automatisiert.

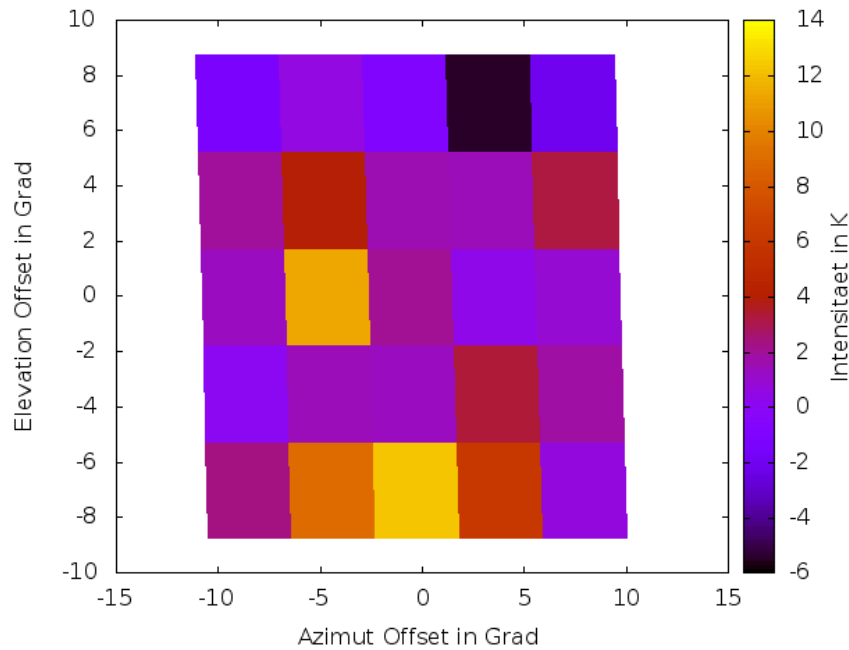


Abbildung 1: npoint Scan der Sonne mit Offset des Maximums von 2.6° Azimut und -5.8° Elevation

5 Ergebnisse

5.1 npoint-Scan der Sonne

Der npoint Scan ergab, dass das Intensitätsmaximum der Sonne einen Offset zur in der Katalogdatei für die Sonne eingetragenen Position aufwies. Abbildung 1 zeigt einen Plot des npoint Scans. Die Auswertung des Cross-Scans zeigte, dass das Maximum des Elevationsscans um $3241,6$ K niedriger ausfiel als das Maximum des Azimutscans. Die Position des Maximums war an der durch den npoint Scan ermittelten Stelle.

5.2 Cross-Scan der Sonne

Die Daten wurden für jede Position durch Mittelwertbildung über die mittleren 48 Kanäle unter Abzug der Kalibrierungstemperatur erstellt. Die jeweils äußeren 8 Kanäle wurden nicht berücksichtigt, da die Intensität wegen der Ausleselektronik stark abfällt.³ Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung dieser Mittelung.

5.3 Bestimmung der Halbwertsbreite der Antennenkeule

Zur Bestimmung der Halbwertsbreite der Antennenkeule wurden die Messdaten mit einer Gauß-Funktion gefittet (siehe Abb. 2 und 3). Für die Funktion

³[Ast]

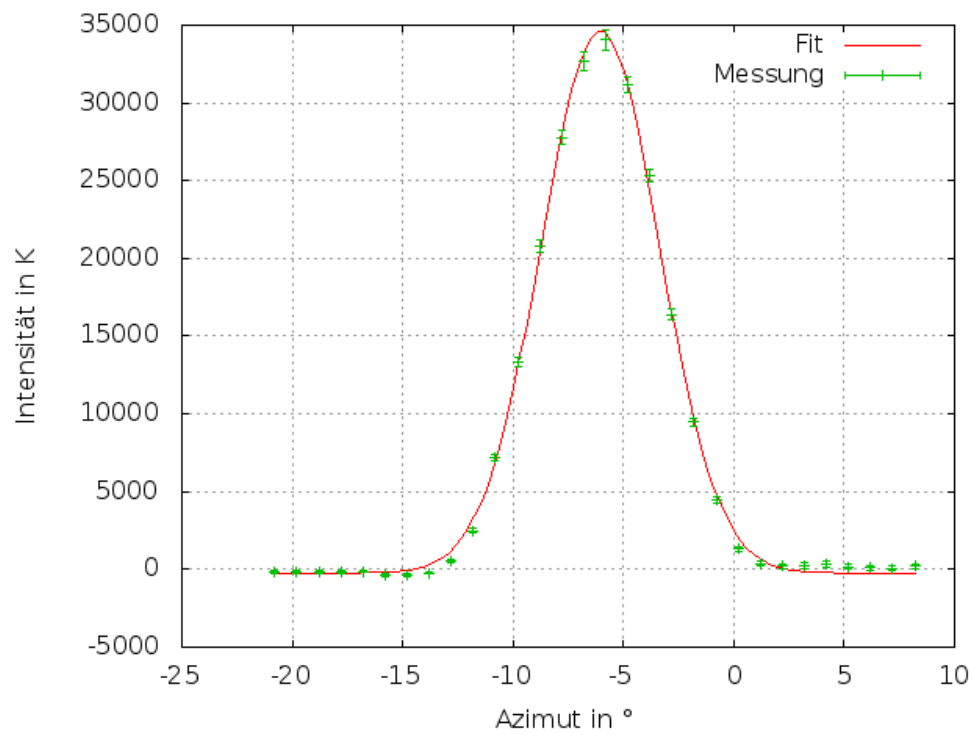


Abbildung 2: Plot der Intensität der Sonne in Abhängigkeit des Azimutwinkels

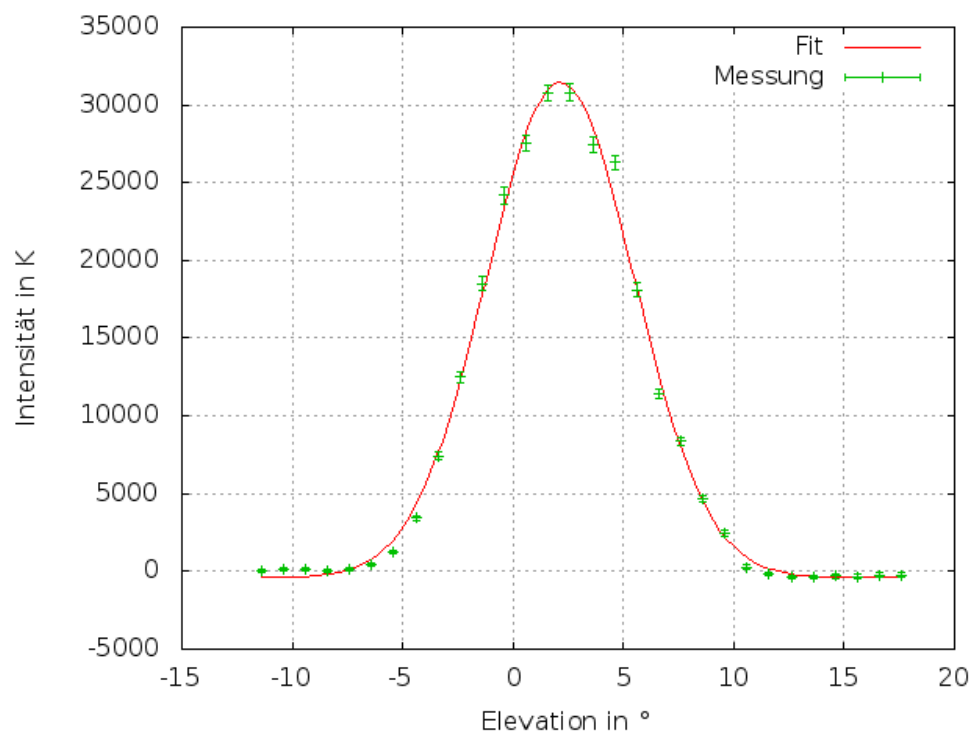


Abbildung 3: Plot der Intensität der Sonne in Abhängigkeit des Elevationswinkels

Parameter	Wert der Azimutmessung	Wert der Elevationsmessung
a	34861 ± 274	31855 ± 393
b	14.32 ± 0.29	22.29 ± 0.72
c	-226.4 ± 117.0	-401.9 ± 207.3
d	-6.045 ± 0.023	2.146 ± 0.045

Tabelle 1: Werte des Fits für die Parameter aus (16)

$$f(x) = a \cdot e^{-\frac{(x-d)^2}{b}} + c \quad (16)$$

ergaben sich dabei Werte, wie in Tabelle 1 zu sehen.

Bei dieser Gauß-Funktion ergibt sich die Halbwertsbreite H folgendermaßen:

$$H = 2\sqrt{2 \ln 2} \cdot \sqrt{\frac{b}{2}} \quad (17)$$

Durch Fehlerfortpflanzung ergibt sich:

$$\delta H = \frac{\sqrt{2 \ln 2}}{2} \sqrt{\frac{2}{b}} \cdot \delta b \quad (18)$$

Aus (18) ergibt sich dann:

$$\begin{aligned} H_{\text{Azimut}} &= 6.300^\circ \text{ und } \delta H_{\text{Azimut}} = 0.062^\circ \\ H_{\text{Elevation}} &= 6.545^\circ \text{ und } \delta H_{\text{Elevation}} = 0.106^\circ \end{aligned}$$

Zusammenfassend ergibt sich also:

$$H_{\text{Azimut}} = 6.30^\circ \pm 0.07^\circ \quad (19)$$

$$H_{\text{Elevation}} = 6.54^\circ \pm 0.11^\circ \quad (20)$$

Bei großen Elevationen führt eine Messung der azimutalen Ausdehnung der Sonne zu einer scheinbaren Verbreiterung, die dadurch hervorgerufen wird, dass das Koordinatensystem im Zenit und im Nadir Pole besitzt. Deshalb muss bei der Bestimmung der Halbwertsbreite H_{Azimut} noch mit dem $\cos(\text{Elevationswinkel})$ multipliziert werden, um eine angepasste Halbwertsbreite zu erhalten. Es ergibt sich dann:

$$H_{\text{Azimut,ang.}} = H_{\text{Azimut}} \cdot \cos(30.5^\circ) = 5.43^\circ \pm 0.06^\circ \quad (21)$$

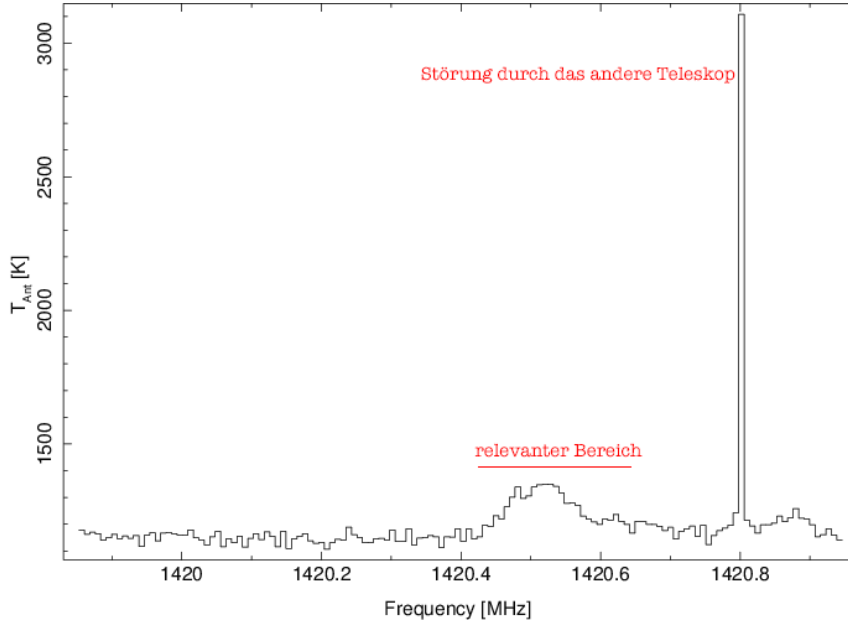


Abbildung 4: Störung durch SRT 1

5.4 Dopplerverbreiterung durch thermische Bewegung

Laut [Ast] ergibt sich die Frequenzänderung durch den Dopplereffekt aus:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \quad (22)$$

Für die thermische Bewegung bei 100 K ergibt sich laut [Ast] eine ungefähre Geschwindigkeit von 1km/s. Damit ergibt sich:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1 \frac{\text{km}}{\text{s}}}{2.998 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{s}}} = 3.34 \cdot 10^{-6} \quad (23)$$

5.5 Bestimmung der Rotationskurve der Milchstraße

Weil das andere Teleskop während der Messung aktiviert war ergab sich ein scharfer Peak bei 1420.8 MHz(s. Abb. 4). Da sich die Störung aber außerhalb des relevanten Bereichs befindet wurde diese Frequenzband bei der Auswertung nicht betrachtet.

In Tabelle 2 ergeben sich laut [Ast] die Werte aus:

$$v_{\text{max,observed}} = \frac{(1420.406\text{MHz} - f)c}{1420.406\text{MHz}} - v_{\text{lsr}} \quad (24)$$

$$R = R_0 \sin l \quad (25)$$

$$v_{\text{rot}} = v_{\text{max,observed}} + \omega_0 R \quad (26)$$

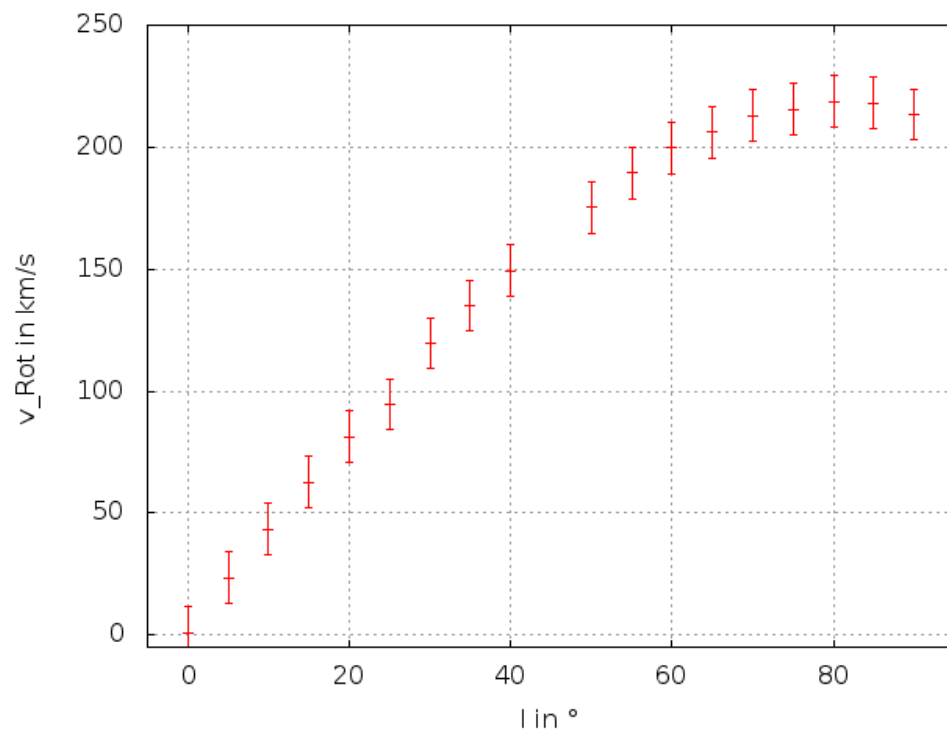


Abbildung 5: Plot der Rotationsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Winkels l

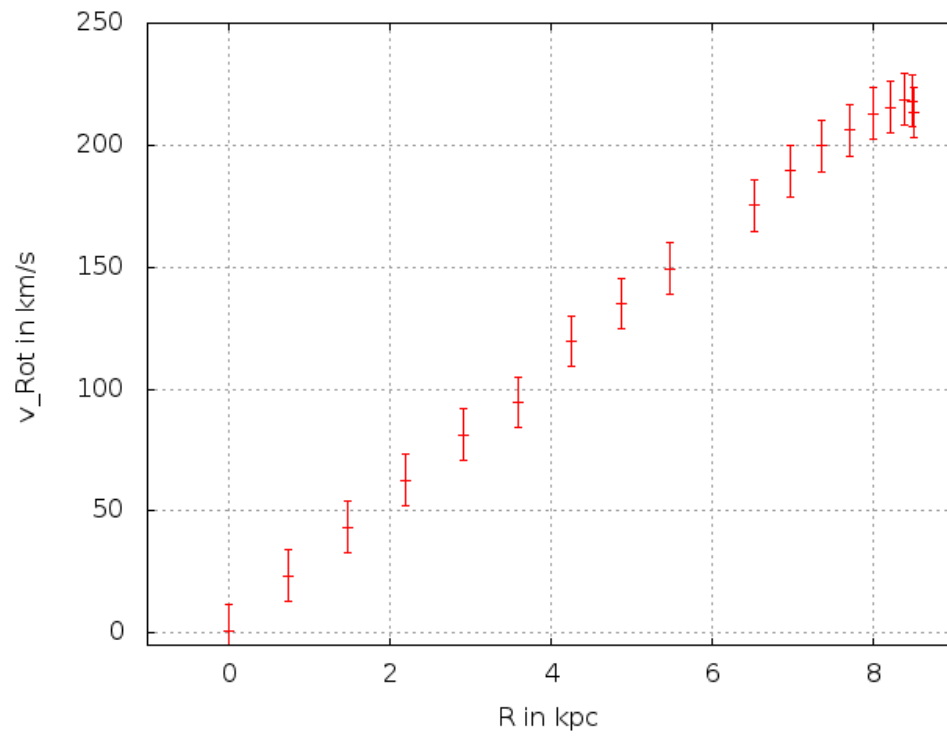


Abbildung 6: Plot der Rotationsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Abstandes vom Mittelpunkt der Milchstraße

l in °	b in °	f in MHz	$v_{\text{LSR},r}$ in km/s	$v_{\text{max,observed}}$ in km/s	R in kpc	v_{rot} in km/s
0	0	1420.59	-39.79	0.955	0.000	0.95
5	0	1420.58	-40.95	4.225	0.741	23.40
10	0	1420.58	-41.83	5.105	1.476	43.31
15	0	1420.58	-42.40	5.675	2.200	62.62
20	0	1420.58	-42.63	5.905	2.907	81.15
25	0	1420.60	-42.56	1.614	3.592	94.59
30	0	1420.56	-42.10	9.597	4.250	119.60
35	0	1420.56	-41.39	8.887	4.875	135.07
40	0	1420.56	-40.30	7.797	5.464	149.21
50	0	1420.55	-37.28	6.887	6.511	175.42
55	0	1420.53	-35.37	9.198	6.963	189.41
60	0	1420.52	-33.16	9.099	7.361	199.62
65	0	1420.52	-30.70	6.639	7.704	206.03
70	0	1420.51	-28.03	6.080	7.987	212.81
75	0	1420.51	-25.03	3.080	8.210	215.58
80	0	1420.50	-21.93	2.090	8.371	218.75
85	0	1420.50	-18.73	-1.110	8.468	218.05
90	0	1420.51	-15.33	-6.620	8.500	213.38

Tabelle 2: Messtabelle mit den gemessenen Koordinaten (l,b), den Frequenzen f, die der maximalen Rotverschiebung entsprechen, den Komponenten $v_{\text{LSR},r}$ von v_{LSR} für die jeweilige Blickrichtung, den gemessenen Geschwindigkeiten $v_{\text{max,observed}}$, den Abständen R zum Zentrum und den zugehörigen Rotationsgeschwindigkeiten v_{rot}

Für δv_{rot} folgt mittels einer Fehlerfortpflanzung:

$$\delta v_{\text{rot}} = \frac{c}{1420.406\text{MHz}} \cdot \delta f = 10.55\text{km/s} \approx 11\text{km/s} \quad (27)$$

Daraus ergeben sich dann die Abbildungen 5 und 6.

5.6 Störungsmessung

5.6.1 Spektrum des Satelliten Afristar

Es wurde zunächst ein npoint Scan durchgeführt um die genaue Position des Satelliten zu bestimmen. Ein Plot des Scans findet sich in Abb. 7. Da die Hauptfrequenz des Satelliten bei 1470 MHz liegt, ist zu erwarten, dass das Maximum des Spektrums sich auch bei dieser Frequenz befindet. Eine Darstellung der Messwerte ist in Abb. 8 zu finden. Dies wird durch die Messung teilweise bestätigt. Die Werte im Bereich von 1475 bis 1500 sind teils stark negativ und scheinen von starken Schwankungen der Kalibrationstemperatur zu stammen (s. Abb. 9). Der Grund für die Schwankung konnte nicht ermittelt werden.

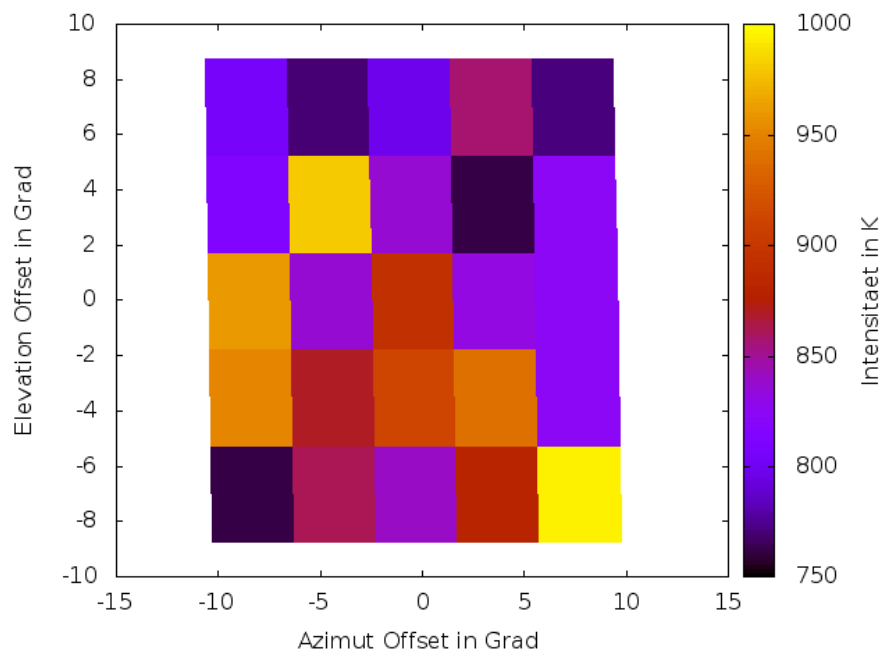


Abbildung 7: npoint Scan des Satelliten Afristar mit Offset des Maximums von 7.4° Azimut und -6.0° Elevation

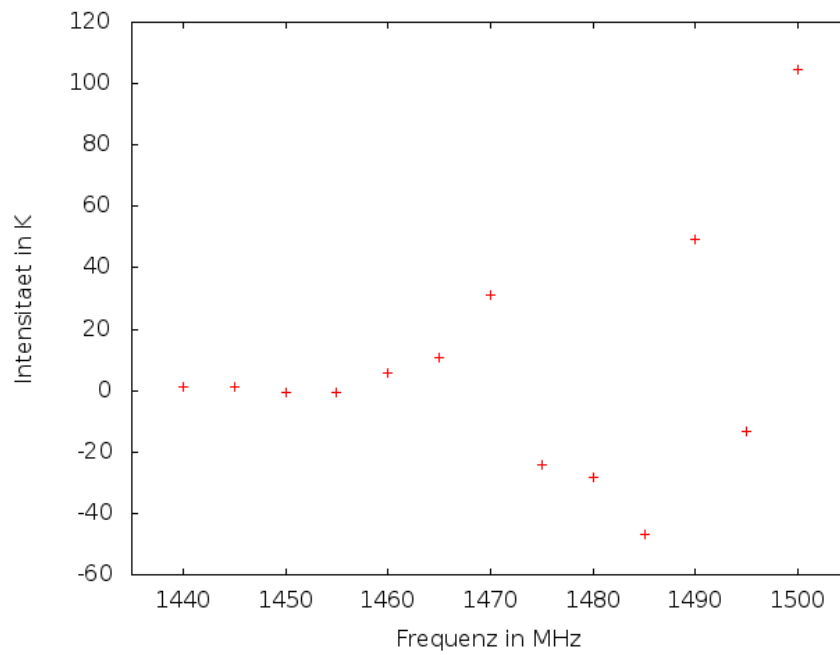


Abbildung 8: Gemessenes Spektrum des Satelliten Afristar

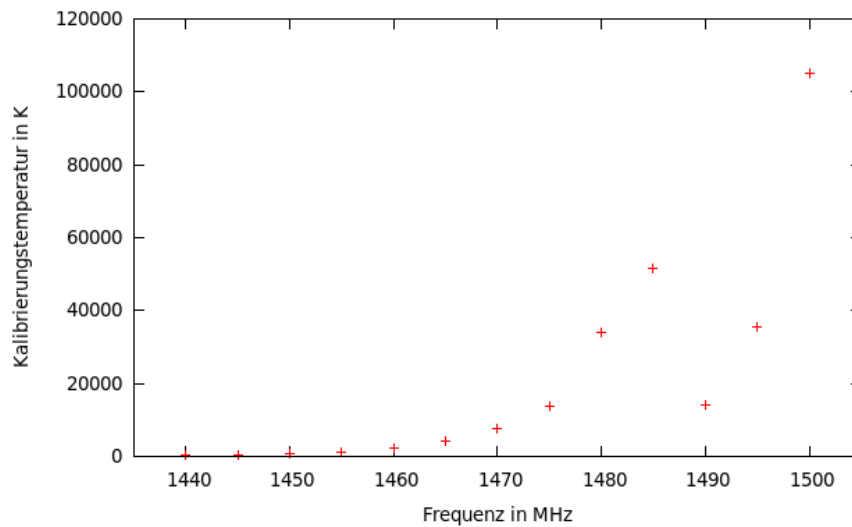


Abbildung 9: Kalibrationstemperaturen aufgetragen über der Frequenz

5.6.2 Störung durch ein Mobiltelefon

In Abb. 10 wurde die Intensität über dem Abstand der Störquelle zum Teleskop aufgetragen. Dabei lässt sich keine vom Abstand zum Teleskop abhängige Störung feststellen. Starke Störungen traten viel mehr unvorhersehbar bei manchen Messungen auf, bei anderen blieb die Gemessene Intensität gering. Die Unabhängigkeit der Intensität vom Abstand der Mobiltelefone ließe sich zum Beispiel durch die Verwendeten Frequenzen des Verwendeten Mobilfunkbetreibers E-Plus erklären. Die verwendeten Mobiltelefone wechseln selbstständig je nach Empfangsqualität zwischen GSM und UMTS. Dabei liegen die von diesem Provider verwendeten Frequenzen bei 880.0 - 915.0 MHz für GSM⁴ oder bei 1935.15 - 1954.95 MHz für UMTS⁵.

⁴[GSM]
⁵[UMTS]

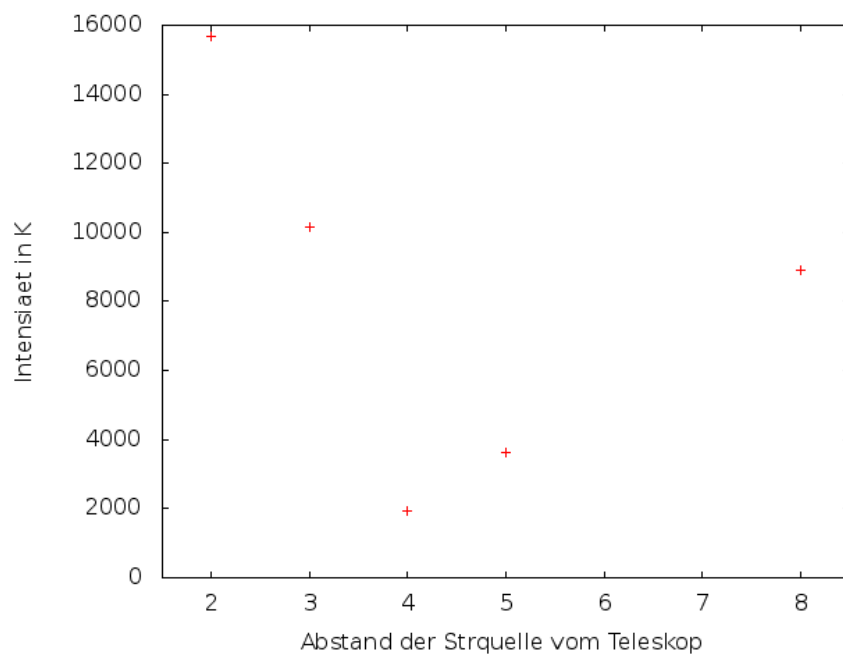


Abbildung 10: Messung der Intensität bei unterschiedlicher Distanz eines Mobiltelefons zum Teleskop

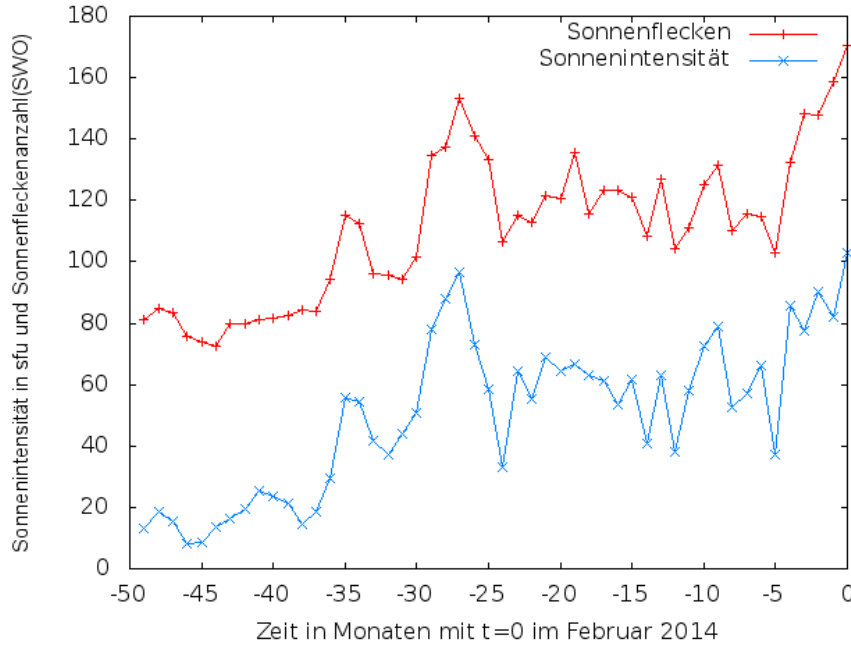


Abbildung 11: Radiolichtkurve der Sonne und Anzahl der Sonnenflecken

5.7 Radiolichtkurve der Sonne

Für die gemessene Flussdichte des Teleskops gilt

$$S(\nu) = \frac{2 k_B T_{Ant}(\nu)}{A_{eff}}. \quad (28)$$

Durch Umstellen nach A_{eff} ergibt sich:

$$A_{eff} = \frac{2 \cdot k_B T_{Ant}(\nu)}{S(\nu)} = \frac{2 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} 35000K}{170.3 \text{ sfu}} \approx 56.7 \text{ m}^2. \quad (29)$$

Da das Teleskop etwa kreisförmig mit einem Radius von 2.3 m ist, ergibt sich eine effektive Fläche von etwa 16.6 m^2 .

Da das Maximum der Strahlung ergibt sich deshalb zu $5.8 \cdot 10^{-20} \frac{W}{Hz m^2}$. Die effektive Fläche liegt also in der gleichen Größenordnung, wie die tatsächliche Fläche. Die Differenz ist durch die erhöhte Sonnenaktivität und die zu hohe Kalibrierungstemperatur zu erklären. Normale Werte lägen bei $T_{Ant} \approx 250 \text{ K}$ und $S(0) = 95 \text{ sfu}$. Damit ergäbe sich ein Wert von 0.73 m^2 . Die effektive Fläche ist somit weitaus kleiner als die tatsächliche Fläche.

Vergleicht man die Radiointensität mit den Sonnenflecken, stellt man fest, dass die Verläufe weitgehend übereinstimmen.

6 Diskussion

Sämtliche Messungen weisen eine durch die begrenzte Auflösungsfähigkeit des Teleskops (etwa 6°) bedingte Ungenauigkeit auf. Somit könnten durch eine verbesserte Auflösung des Teleskops deutlich bessere Ergebnisse bei etwa dem npoint-Scan der Sonne und damit auch genauere Werte für den Ort der Sonne am Himmel bestimmt werden. Weiter wäre es unter Umständen möglich, etwa Phänomene wie Sonnenflecken auch im Radiobereich zu beobachten.

Problematisch ist allerdings, dass aufgrund der hohen Wellenlänge der Radiostrahlen eine sehr viel größere Teleskopfläche notwendig wäre, um deutlich verbesserte Genauigkeit zu erreichen. Dies ist selbstredend mit hohem finanziellen Aufwand verbunden und deswegen schwierig.

Eine weitere Quelle für Fehler war insbesondere beim Scan der Milchstraße die gegenseitige Beeinflussung beider Radioteleskope, welche sich als extremer Peak in den Daten darstellt. Dieser Fehler könnte vermieden werden, wenn die Radioteleskope nicht parallel sondern bloß einzeln betrieben werden würden. Weiter könnte eine Abschirmung der beiden Teleskope gegeneinander die Störung verhindern, was sich allerdings aufgrund Effekte wie Beugung der Radiowellen, deren Wellenlänge bekanntlich im cm- bis m-Bereich liegt, ebenfalls schwierig ist.

Literatur

[Ast] Astronomisches Praktikum. Modul „Einführung in die Astronomie“. Dr. Karl Remeis Sternwarte. Bamberg

[Jan] Jansky, K.G. 1933, nature, 132, 66

[Ray] Wikipedia. Rayleigh-Jeans-Gesetz. <https://de.wikipedia.org/wiki/Rayleigh-Jeans-Gesetz>. (27.2.2014, 15 Uhr)

[SWP] SWPC. <http://www.swpc.noaa.gov/ftplib/weekly/RecentIndices.txt>. 18.3.2014

[GSM] GSM. [http : //de.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications](http://de.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications). 18.3.2014

[UMTS] UMTS. [http : //de.wikipedia.org/wiki/Universal_Mobile_Telecommunications_System](http://de.wikipedia.org/wiki/Universal_Mobile_Telecommunications_System). 18.3.2014