

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 53 (1995)
Heft: 268

Artikel: Amateur-Radioastronomie : Sonne-Mond-Korrelations-Interferometer zur Messung der Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum
Autor: Monstein, Ch.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-898722>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Amateur-Radioastronomie

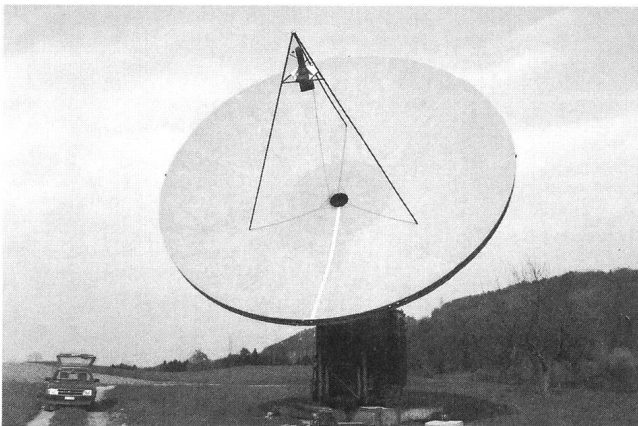
Sonne-Mond-Korrelations-Interferometer zur Messung der Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum

CH. MONSTEIN

Es soll mit Amateurmitteln versucht werden, die direkte Sonnenradiostrahlung mit der vom Mond reflektierten Strahlung zu korrelieren mit dem Ziel, die sog. «one way velocity» des Lichtes bzw. der Radiostrahlung zu messen. Erste Messung ähnlicher Art im optischen Bereich hat Olaf ROEMER 1675/76 durchgeführt bei Beobachtungen der verzögerten Bedeckung des Jupitermondes Ganymed durch den Jupiter-schatten. Damals erhielt er einen nach heutigem Maßstab zu tiefen Wert für c von $2,4 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$. FIZEAU (1819-1896) mit seiner Zahnradmethode und später FOUCAULT 1850 mit seiner Drehspiegelmethode verwendeten Methoden, bei denen die «two way velocity» gemessen wurde. Auch alle Radarmessungen an Sonne, Mond und anderen Planeten oder im Labor messen die Zweiweggeschwindigkeit, d.h. den Mittelwert aus Geschwindigkeit vom Sender zum Reflektor und zurück vom Reflektor zum Empfänger. Heute werden, wenn überhaupt, vorwiegend Messungen an Hohlleitern vorgenommen, wobei stehende Wellen im Mikrowellenbereich analysiert werden. Nachdem im Oktober 1983 eine internationale Kommission den Zahlenwert der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum zu $c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$ festgelegt hat, scheinen Messungen sinnlos. Auch wenn es gemäß ART (Allgemeine Relativitätstheorie) nur *eine* Lichtgeschwindigkeit gibt und diese per Dekret konstant ist, gibt es meines Erachtens plausible Gründe, diese regelmäßig nachzuprüfen. Hier möchte ich eine Methode vorführen, diese Einweggeschwindigkeit mit Amateurmitteln, d.h. mit geringem Aufwand und demzufolge geringer Genauigkeit, zu messen.

1. Abschätzung des Radioflusses vom Mond

In der mir zur Verfügung stehenden Literatur gibt es sehr wenig zuverlässige Angaben zur Intensität der Radiostrahlung vom Mond. Nach KRISTEN ROHLFS [2, Seite 170] beträgt der Radioflux des Mondes bei der Wellenlänge $\lambda = 70 \text{ cm}$ etwa 50 Jansky. Hierbei gilt: 1 Jansky = $1 \text{ Jy} = 10^{-23} \text{ W/m}^2 \text{ Hz}$. Die mir zur Verfügung stehende voll steuerbare Parabolantenne



mit einem Durchmesser von $D = 10 \text{ m}$ bei Ermenswil am Rickenpass [3] hat näherungsweise folgenden theoretischen Gewinn G bei einer Empfangsfrequenz $f = 435 \text{ MHz}$

$$G = 17.7 \text{ dB} + 20 \text{ dB} \cdot (\log(F / \text{GHz}) + \log(D / \text{m})) = 30.37 \text{ dB} = 1089 \quad (1)$$

Diese Formel wurde in den letzten Jahren anhand verschiedener Messungen am Teleskop bei 435 MHz und 1296 MHz bestätigt mit Durchläufen von Cygnus A [8], Cassiopeia A und der Sonne. Der experimentelle Fehler beträgt maximal $\pm 0,5 \text{ dB}$. Die Antenne muß dabei dem beleuchteten Teils des Mondes möglichst exakt nachgeführt werden (Fehler kleiner als 2°).

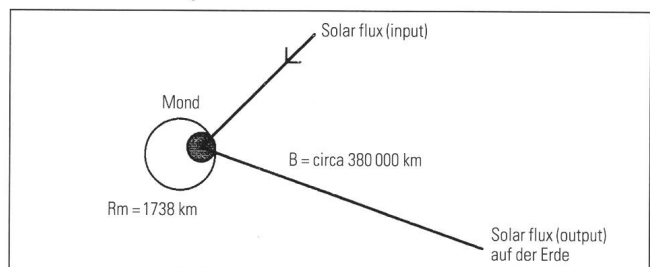
Mit obigen Parametern und der Boltzmann-Konstante k kann die zu erwartende Antennentemperatur $T_{\text{a Mond}}$ ermittelt werden.

$$T_{\text{a Mond}} = \frac{S \cdot Ae}{2 \cdot k}, \text{ wobei } Ae = \frac{G \cdot \lambda^2}{4 \cdot \pi} = \frac{G}{4 \cdot \pi} \cdot \left[\frac{c}{f} \right]^2 \quad (2)$$

$$T_{\text{a Mond}} \geq = \frac{50 \text{ Jy} \cdot 1089}{2 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 4 \cdot \pi} \cdot \left[\frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{435 \text{ MHz}} \right]^2 = 0,75 \text{ Kelvin}$$

Ein zweiter, möglicherweise etwas optimistischer Ansatz besteht darin, den Mond nach MEINKE-GUNDLACH [4, Seite 621] als passives Relais zu betrachten und auszurechnen, wie groß der zu erwartende reflektierte Anteil des Sonnenflusses auf der Erde sein könnte.

Bild 2: Mond als Reflektor:



Die reflektierende Fläche A_r auf dem Mond hängt ab vom Mondradius $R_m = 1738 \text{ km}$ und von der Wellenlänge $= c/f$. Die durchschnittliche Höhe der Kugelkappe (Oberfläche ist gebirgig) darf nach Meinke-Gundlach [4] nicht höher sein als $h = 1/32 \lambda$, damit der Reflektor wirksam ist und die Signal-Phase nicht zu stark verrauscht wird.

$$A_r = 2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot \frac{cf}{32} = 2 \cdot \pi \cdot 1738 \text{ km} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{32 \cdot 435 \text{ MHz}} = 2.35 \cdot 10^5 \text{ m}^2 \quad (3)$$

Damit kann die Zusatzdämpfung Mond-Erde a_m berechnet werden zu



$$a_m = \ln \frac{D \cdot \lambda}{Ar} = \ln \left[\frac{380000 \text{ km} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2,35 \cdot 10^5 \text{ m}^2 \cdot 435 \text{ MHz}} \right] = 1115 \text{ fach} = 7Np = 30,5 \text{ dB} \quad (4)$$

Damit beträgt die zu erwartende Antennentemperatur am Spiegel im «Ricken Süd» bei einem solaren Radioflux $S_s > 33$ ISFU (International solar flux units, 1ISFU = $10^{-22} \text{ W/m}^2 \text{ Hz}$ = 10^4 Jansky) wenigstens

$$Ta' = \frac{S_s \cdot G \cdot \lambda^2}{2 \cdot k \cdot a_m \cdot 4 \cdot \pi} = \frac{33 \text{ ISFU} \cdot 1089}{2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 1115 \cdot 4 \cdot \pi} \left[\frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{435 \text{ MHz}} \right]^2 = 4,4 \text{ Kelvin} \quad (5)$$

Wenn wir nun aber berücksichtigen, daß mindestens die Hälfte des Fluxes verloren geht, indem bei der Reflexion am Mond eine Polarisationsrichtung unterdrückt wird, so reduziert sich diese Antennentemperatur zusätzlich um $p=50\%$

$$Ta = Ta' \cdot (1 - p) = 4,4 \text{ Kelvin} \cdot 0,5 = 2,2 \text{ Kelvin} \quad (6)$$

Die wahrscheinlichste zu erwartende Antennentemperatur des Mondes liegt irgendwo dazwischen, d.h. $0,75 \text{ Kelvin} < T_m < 2,2 \text{ Kelvin}$. Es ist klar, daß sich diese Temperatur stark ändern (verschlechtern) kann, wenn sich der Mondabstand vergrößert oder wenn die beleuchtete Fläche kleiner wird. Abweichungen der als optimal angenommenen Antennenparameter (γ =Verlustfaktor im Hochfrequenzteil, β_s =Streufaktor der Antenne) vom Idealfall reduzieren ebenfalls die zu erwartende Temperatur. Der Vorverstärker in der Parabolantenne muß eine sehr geringe Rauschtemperatur aufweisen, damit das Mondsignal registriert werden kann. Der Vorverstärker soll unmittelbar am Empfangsdipol angeschlossen werden ohne Zwischenelemente wie Richtkoppler oder Relais. Als Vorverstärker eignet sich z.B. der LNA-435 EME von SSB-Elektronik.

2. Abschätzung des direkten Radiofluxes von der Sonne

Die direkte Sonnenstrahlung wird mit einer Mehrelement YAGI-Antenne empfangen, die neben dem Spiegel steht und fix (manuell) auf die Sonne ausgerichtet wird. Als Empfangsgewinn kann mit etwa 13 dB_d gerechnet werden. Die zu erwartende Excess-Antennentemperatur beträgt dann gemäß Gleichung (2) etwa

$$Ta_{\text{Sonne}} \geq \frac{33 \text{ ISFU} \cdot 10^{1,3}}{2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 4 \cdot \pi} \cdot \left[\frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{435 \text{ MHz}} \right]^2 = 90 \text{ Kelvin} \quad (7)$$

Damit beide Signale (Sonne direkt und Mondreflexion) etwa gleich stark werden, muß das Mondsignal etwa 16 dB mehr angehoben oder das Sonnensignal 16 dB weniger verstärkt werden.

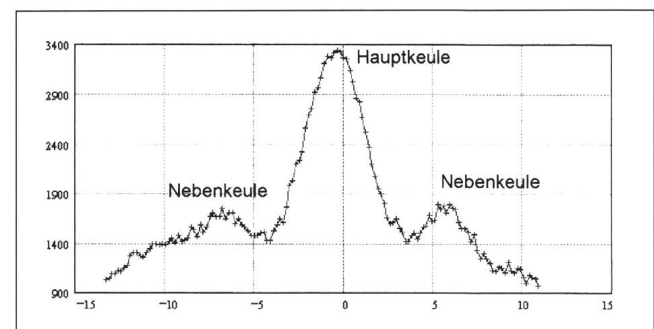
3. Korrelations-Interferometer

Alle Überlegungen und Berechnungen gehen davon aus, daß mit dem Amateur-Radio-Interferometer monochromatische Strahlung zweier Punktquellen empfangen wird. Dies ist in der Realität nicht der Fall, weil die Sonne breitbandig rauscht. Hingegen ist in den Antennenzuleitungen je ein selektiver GaAs-FET-Vorverstärker (Gallium-Arsenid Feld-Effekt-Transistor) mit geringer Bandbreite und geringer Rauschtemperatur vorgesehen um erstens terrestrische Störsignale zu unterdrücken und zweitens ein definiertes Band aus dem Radiospektrum zu verstärken. Somit kann näherungsweise davon ausgegangen werden, daß monochroma-

tische Radiostrahlung empfangen wird mit der Wellenlänge $\gamma = c/f = 300000 \text{ km/sec} / 435 \text{ MHz} = 69 \text{ cm}$. Ich habe mich zuerst für ein Kreuzkorrelationsinterferometer entschieden, weil damit die Antennensignale auf dem direktesten Weg zum Detektor gelangen. Es würden weder Power-Combiner, Hybrids, Relais noch Dicke-Schalter benötigt. Die Empfindlichkeit des Korrelationsinterferometers wäre bedeutend besser als beim «adding» Interferometer oder als beim «phase switched» Interferometer. Nur wenn beide Antennensignale korreliert sind, d.h. wenn das vom Mond reflektierte Signal tatsächlich von der Sonne stammt und nicht rein thermisch ist, ergibt sich ein Ausgangssignal, andernfalls ist der Ausgang null. Für die Auswertungen kann entweder die Fringe Frequenz direkt gemessen, oder durch Autokorrelation (ACF) die Laufzeit bestimmt werden. Die Registrierung des empfangenen Signals muß mit DCF77-Genauigkeit (Atomuhr) erfaßt und gespeichert werden zu verschiedenen noch zu bestimmenden Zeiten innerhalb des Jahres 1994. Sonne und Mond sollten möglichst weit auseinander stehen, damit die Sonne nicht direkt in die Mondantenne einstrahlen kann. Andererseits müssen beide Quellen genügend hoch über dem Horizont stehen, damit die terrestrischen Störungen nicht zu stark das Ergebnis beeinflussen können. Bereits gemessene Queldurchläufe (s. Bild 3) des Parabolspiegels im 70 cm -Band zeigen, daß die Nebenkeulen recht stark in Erscheinung treten. Gerade aus diesem unerwünschten Grund (Einstrahlung der Sonne in die Nebenkeulen des Hauptspiegels) entsteht ungewollt ein «adding»-Interferometer. Aus obigen Gegebenheiten habe ich mich deshalb explizit für das «adding»-Interferometer (Ryle-Typ) entschieden. Dafür sind auch bereits alle Hochfrequenzkomponenten vorhanden (Antennen, Vorverstärker, Power-Combiner, Empfänger, Detektor und Integrator). Die aufzuwendenden Kosten halten sich so in überschaubaren Grenzen. Zudem ist festzuhalten, daß die Berechnungen im Zusammenhang mit dem «adding»-Interferometer «einfacher» sind als mit dem Korrelationsinterferometer, was für Amateure allein schon ein ausreichender Grund ist.

Bild 3 Kalibrationsquelle:

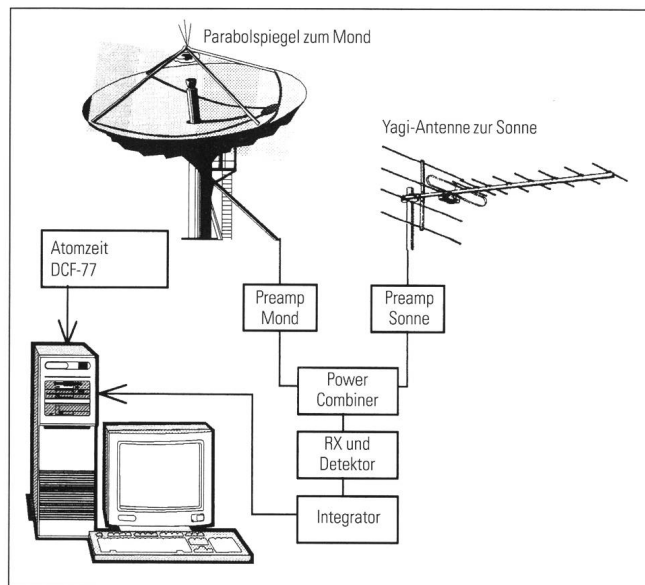
Die Kalibrationsquelle Cassiopeia A vom 12.09.1992 um 15:09 Uhr auf 435 MHz über Kreuzdipol, SSB-Vorverstärker, 16 dB Hochfrequenz-Dämpfung zwischen Konverter und Empfänger. Die Abszisse zeigt Azimut Teleskop – Azimut Quelle, die Ordinate zeigt eine relative Skalierung (Digits vom A/D-Konverter). Die erste Nebenkeule liegt bei etwa $\pm 7^\circ$ neben der Hauptkeule, d.h. Mond und Sonne sollten bei gleichzeitiger Beobachtung mindestens 15° voneinander entfernt sein! Der Azimutfehler des Teleskops ist kleiner als $0,5^\circ$.





Aus einschlägigen Quellen ist bekannt, daß der Fluß bei 960MHz etwa 2440Jy und bei 178MHz etwa 8670 Jy beträgt. Bei einem Spektralindex von 0,77 beträgt der Fluß bei 435MHz folglich etwa 4428 Jy. Dieser Wert ist etwa 88mal größer als der Fluß, den wir vom Mond erwarten können. Wenn wir die Kurve in Bild 3 durch 88 teilen, sehen wir, wie groß ein Monddurchlauf etwa sein könnte. Ein Monddurchlauf würde im Rauschen untergehen. Daher ist die Autokorrelation als «off line filter» zwingend notwendig.

Bild 4: Blockscheema der Empfangsanlage:



4. Mathematischer Apparat

Für die nachfolgenden Analysen und Berechnungen werden die verschiedensten Vektoren und Parameter benötigt. Sie werden im Verlaufe der Entwicklung sukzessive benannt und definiert. Als Basis für alle Berechnungen dienen die geographischen Koordinaten des Standortes Ermenswil (Lütschbach) mit östlicher Länge $\lambda=8,909961^\circ$, nördlicher Breite $\beta=47,250710^\circ$, Höhe über Normalnull $h=560\text{m}$ und aktuelle Zeit (abgeleitet aus DCF77). Daraus werden die geozentrischen und die topozentrischen Koordinaten sowie die Zentrumsdistanzen von Mond und Sonne berechnet. Die Lokalsternzeit wird ebenfalls aus obigen Daten berechnet. Diese Koordinaten, Parameter und Zeiten werden berechnet für jeden beliebigen Zeitpunkt nach den Gleichungen von JEAN MEEUS [1] in TURBO PASCAL mit der Methode VSOP87 (Variations Séculaires des Orbites Planétaires nach P. Bretagnon, Bureau des Longitudes in Paris 1987). In diesen Formeln werden 2430 periodische Terme verwendet, so daß die Genauigkeit für Amateure voll genügt.

Allen Berechnungen zugrundegelegt wird das äquatoriale Koordinatensystem mit folgenden Einheitsvektoren nach VERSCHUUR & KELLERMANN [5]:

\hat{e}_x zeigt nach $\delta = 0^\circ$, $h = 0\text{h}$,

\hat{e}_y zeigt nach $\delta = 0^\circ$, $h = 6\text{h}$,

\hat{e}_z zeigt nach $\delta = 90^\circ$ (Linkshändiges System).

Die Basislinie ist ein Vektor von der Erde zum Mond zeigend. Von dieser Basislinie gibt es verschieden exakte Varianten, die einfachste von VSOP87 verfügbare Variante ist die Distanz Mittelpunkt Erde zum Mittelpunkt des Mondes

(Vektor \mathbf{B}_{zz} mit Betrag L_{zz}). Im Verlaufe der weiteren Analysen muß berücksichtigt werden, daß der Reflexionspunkt am Mond eben nicht im Zentrum, sondern immer an dem der Sonne zugewandten Rand stattfindet. Zudem befindet sich der Beobachter bzw. die Antenne nicht im Zentrum der Erde, sondern auf deren Oberfläche. Damit muß der Vektor \mathbf{B}_{zz} mit mehreren Korrekturen (Zusatzvektoren) versehen werden, damit die wahre Distanz bzw. die wirksame Basislinie $\mathbf{B}_{tz} = \mathbf{B}$ berechnet werden kann. Die Suffixe $_{zz}$ bedeuten geozentrisch bzw. selenozentrisch, d.h. zeigend vom Zentrum der Erde zum Zentrum des Mondes. Die Suffixe $_{tt}$ stehen für topozentrisch, d.h. zeigend vom Antennenstandort auf der Erde (top) zum Reflexionspunkt auf der Mondoberfläche (top). Eine Mischform mit dem Suffix $_{tz}$ zeigt vom Beobachtungspunkt auf der Erde zum Mondmittelpunkt.

4.1. Berechnung der wahren Basislinie

Der Basislinien-Vektor vom Erd- zum Mondzentrum wird berechnet über die geozentrischen Koordinaten des Mondes nach [1].

$$\mathbf{B}_{zz} = L_{zz} \cdot \begin{pmatrix} B_{x_{zz}} \\ B_{y_{zz}} \\ B_{z_{zz}} \end{pmatrix} = L_{zz} \cdot \begin{pmatrix} \cos(D_{\text{geo}}) \cdot \cos(H_{\text{geo}}) \\ \cos(D_{\text{geo}}) \cdot \sin(H_{\text{geo}}) \\ \sin(D_{\text{geo}}) \end{pmatrix} \quad (7)$$

mit den geozentrischen Koordinaten D_{geo} (Deklination), H_{geo} (Stundenwinkel) des Mondes zum Zeitpunkt t . Der Betrag von \mathbf{B}_{zz} heißt L_{zz} und wird wie oben nach [1] berechnet. Der Beobachterstandort außerhalb des Erdmittelpunktes kann ebenfalls mit einem Vektor vom Erdmittelpunkt her zeigend beschrieben werden.

$$\mathbf{Re} = (\mathbf{Re}_0 + h) \cdot \begin{pmatrix} \cos(D_{\text{ant}}) \cdot \cos(H_{\text{ant}}) \\ \cos(D_{\text{ant}}) \cdot \sin(H_{\text{ant}}) \\ \sin(D_{\text{ant}}) \end{pmatrix} = (\mathbf{Re}_0 + h) \cdot \begin{pmatrix} \cos(D_{\text{ant}}) \\ 0 \\ \sin(D_{\text{ant}}) \end{pmatrix} \quad (8)$$

mit $\mathbf{Re}_0 = 6378140\text{m}$, $h = 560\text{m}$ und $D_{\text{ant}} = \text{Deklination des Zenits} = 47,250710^\circ$. Der Stundenwinkel des Standortes (local hour angle lha) ist hier immer null.

Mit (7) und (8) kann nun die Basislinie zwischen Beobachter und Mondzentrum vektoriell berechnet werden. Diese Distanz ist immer kleiner als die Zentrumsdistanz Erde-Mond.

$$\mathbf{B}_{tz} = \mathbf{B}_{zz} - \mathbf{Re} \quad (9)$$

Der Quellenvektor \mathbf{S} (Einheitsvektor) zur Sonne zeigend wird nicht unterschieden bezüglich geozentrisch oder topozentrisch, da die Distanz groß genug ist für die notwendigen Genauigkeiten im Amateurbereich

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} S_x \\ S_y \\ S_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(d_{\text{sol}}) \cdot \cos(h_{\text{sol}}) \\ \cos(d_{\text{sol}}) \cdot \sin(h_{\text{sol}}) \\ \sin(d_{\text{sol}}) \end{pmatrix} \quad (10)$$

Hierbei sind d_{sol} die Deklination und h_{sol} der Stundenwinkel des Sonnenzentrums. Derselbe Einheitsvektor wird auch aus Sicht des Mondes verwendet und berechnet nach [1]. Der Winkel zwischen Sonne und Mond (Spacing) kann mit Hilfe des Skalarprodukts ermittelt werden. Der Winkel darf wegen des relativ großen Öffnungswinkels der Antenne nicht zu klein gewählt werden. Exakterweise muß man auch hier unterscheiden zwischen geozentrischer Elongation Θ_{geo} , topozentrischer Elongation Θ_{top}



und wahrer topozentrischer Elongation Θ_{tt} . Maßgebend für die Fringefrequenz Ff und für die Berechnung der Verzögerungszeiten τ ist die wahre topozentrische Elongation. Bis hierher sind nur die geozentrische und die topozentrische Elongation berechenbar, die wahre topozentrische Elongation Θ_{tt} folgt erst nach der Berechnung des Reflexionspunktes auf dem Mond.

$$\Theta_{geo} = \arccos \frac{\mathbf{B}_{zz} \cdot \mathbf{S}}{|\mathbf{B}_{zz}| \cdot |\mathbf{S}|} \quad (11)$$

und

$$\Theta_{top} = \arccos \frac{\mathbf{B}_{tz} \cdot \mathbf{S}}{|\mathbf{B}_{tz}| \cdot |\mathbf{S}|} \quad (11a)$$

Die Fringe Frequenz kann bereits näherungsweise berechnet werden als partielle Ableitung von $\delta [\cos(\Theta)]$ nach $\delta h/5/$.

$$Ff = \frac{L}{\lambda} \cdot \frac{\partial \cos(\Theta)}{\partial h} = -\frac{L \cdot f}{c} \cos(d) \cdot \cos(D) \cdot \sin(h-H) \quad (12),$$

Für exakte Angaben ist es auch hierbei notwendig, die wahre Basislinie L_{tt} und die wahre topozentrische Elongation Θ_{tt} zu verwenden. Gleichung (12), so wie sie dasteht, gilt nur für Punktquellen und Beobachter im Erdmittelpunkt. Da aber Ff für die weiteren Analysen nicht benötigt wird, verzichte ich gerne auf weitere Entwicklungsschritte. Damit nun der exakte Reflexionspunkt auf dem Mond berechnet werden kann, muß zuerst der Phasenwinkel i bzw. die selenozentrische Elongation i berechnet werden. Dafür gibt es verschiedene Methoden. Ich wähle die Methode, welche am wenigsten Schreiarbeit erfordert und damit am wenigsten fehleranfällig sein sollte. Die selenozentrische Elongation beschreibt, wie ein Beobachter auf dem Mond die Sonne und die Empfangsanlage auf der Erde sieht. Die Hälfte von i beschreibt den Einfallswinkel bzw. den Ausfallswinkel der Radiosignale von der Sonne via Mond zur Erde. Der Phasenwinkel i wird später auch benötigt zur Ermittlung der beleuchteten Fläche des Mondes.

$$i = \arccos \left(\frac{-\mathbf{B}_{tz} \cdot \mathbf{S}}{|\mathbf{B}_{tz}| \cdot |\mathbf{S}|} \right) \quad (13)$$

Der Vektor \mathbf{Rm} vom Mondzentrum zum Reflexionspunkt zeigend kann nun berechnet werden aus den bereits bekannten Vektoren \mathbf{S} , \mathbf{B}_{tz} und \mathbf{Rm}_0 .

$$\mathbf{Rm} = \mathbf{Rm}_0 \cdot \left(\mathbf{S} - \frac{\mathbf{B}_{tz}}{|\mathbf{B}_{tz}|} \right) \quad \text{mit } \mathbf{Rm}_0 = 1738 \text{ km.} \quad (14)$$

Die wahre Basislinie \mathbf{B}_{tt} (true baseline von top der Erde nach top Mond), also vom Beobachtungspunkt zum Reflexionspunkt ist jetzt bestimmt zu

$$\mathbf{B}_{tt} = \mathbf{B} = \mathbf{B}_{tz} - \mathbf{Rm} = \mathbf{B}_{zz} - \mathbf{Re} - \mathbf{Rm} \quad (15)$$

Nun endlich kann die wahre für die Interferometrie relevante Distanz $L_{tt} = L$ bestimmt werden.

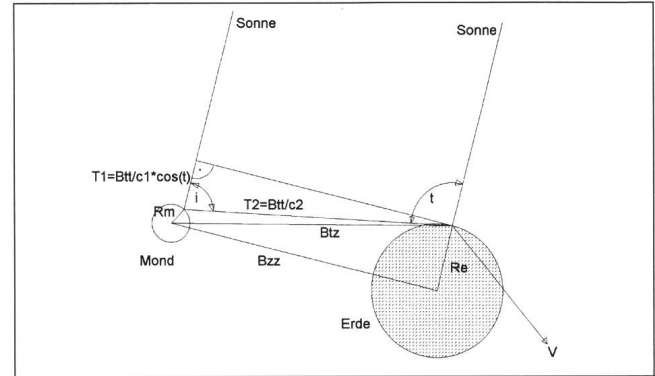
$$L = L_{tt} = |\mathbf{B}_{tt}| \quad (15a)$$

Bild 5: Interferometer-Geometrie

Die Geschwindigkeit $c1$ bezeichnet die Geschwindigkeit des Lichtes von der Sonne in Richtung Mond bzw. von der Sonne zur Erde. Die Geschwindigkeit $c2$ bezeichnet die Geschwindigkeit des Lichtes vom Mond zur Erde. Der Winkel θ ist der Winkel zwischen den beiden

«Antennen» ($\text{spacing}^a \approx \text{topozentrische Elongation}$). Die Geschwindigkeit V bezeichnet die Richtung, in die das gesamte Sonnensystem driftet gegenüber dem als absolut angenommen Raumhintergrund (Galaxis). Für «Einsteinianer», «Relativisten» und alle die glauben, daß c überall und unter allen Bedingungen konstant sei, gilt selbstverständlich:

$$c1 = c2 = c \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (16)$$



Für «Absolutisten» [7], «Ätheriker», «Paraphysiker», und alle die (wie der Autor) glauben, daß c davon abhängt wo und in welche Richtung gemessen wird gilt nun aber:

$$c1 = c + \mathbf{V} \cdot \mathbf{S} \quad (17) \text{ und analog:}$$

$$c2 = c + \mathbf{V} \cdot \frac{\mathbf{B}}{|\mathbf{B}|} \quad (18)$$

Bleiben wir vorläufig bei (16) auf Grund der als gültig angenommenen ART, d.h. für Relativisten gilt für die Laufzeit des Radiosignales die Gleichung (21a). $\tau1$ bezeichnet dabei die Laufzeit in der Gegenkathete des Interferometers, diese ist bei einer topozentrischen Elongation von 90° exakt = 0. $\tau2$ bezeichnet die Laufzeit vom Mond zur Erde. Direkt gemessen kann leider nur die Summe $\tau = \tau1 + \tau2$, also:

$$\tau = \tau1 + \tau2 = \frac{-L \cdot \cos(\Theta)}{c} + \frac{L}{c} = \frac{L}{c} [1 - \cos(\Theta)] \quad (21a)$$

4.2. Interferometer-Funktion

Die induzierte Antennenspannung des Sonnensignals am Eingang des Interferometers ist idealerweise

$$us = \hat{us} \cdot \cos(\omega t) \quad (22)$$

Die induzierte Antennenspannung des via Mond verzögerten Sonnensignals beträgt

$$um = \hat{um} \cdot \cos[\omega(t + \tau)] \quad (23)$$

Nach der Addition von us und um im Power-Combiner (koaxialer Viertelwellentransformator) und nach Detektion und Integration im Empfangszweig bleibt als Rest näherungsweise das Signal $r(t)$ {time average energy} übrig

$$r(t) = \hat{us} \cdot \hat{um} \cdot \cos[\omega \cdot \tau(t)] + \frac{\hat{us}^2 + \hat{um}^2}{2} \quad (24)$$

Und nach Einsetzen der Gleichung (21a) erhalten wir

$$r(t) = \hat{us} \cdot \hat{um} \cdot \cos \left\{ 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left[\frac{-L(t) \cdot \cos[(\Theta)(t)]}{c} + \frac{L(t)}{c} \right] \right\} + \frac{\hat{us}^2 + \hat{um}^2}{2} \quad (27)$$



Diese Gleichung (27) ist nach R. WOHLLEBEN [6] eine der grundlegenden Gleichungen der Interferometrie. Zusammen mit (11) kann (27) noch etwas vereinfacht werden zu

$$r(t) = \hat{u}s \cdot \hat{u}m \cdot \cos \left\{ 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left[\frac{-\mathbf{B}(t) \cdot \mathbf{S}(t)}{c} + \frac{|\mathbf{B}(t)|}{c} \right] \right\} + \frac{\hat{u}s^2 + \hat{u}m^2}{2} \quad (28)$$

Falls $r(t)$ eine zu geringe Amplitude aufweisen sollte, so kann mit einer Differenzierstufe (C-R-Glied bzw. Hochpass) der hohe Gleichanteil abgetrennt und der verbleibende Wechselanteil entsprechend verstärkt werden. In der Praxis hat es sich aber gezeigt, daß es ausreicht, wenn der Gleichanteil rechnerisch eliminiert wird.

4.3. Beleuchtete Fläche

Für Qualität und Intensität des Interferometersignales ist von ausschlaggebender Bedeutung die reflektierende Fläche (3) auf dem Mond. Mit Kenntnis der selenozentrischen Elongation (13) kann die beleuchtete Fläche auf der Mondoberfläche exakt berechnet werden. Der Anteil der beleuchteten bzw. angestrahlten Fläche zur Gesamtfläche beträgt:

$$k = \frac{1 + \cos(i)}{2} \quad (29)$$

Falls $k \ll 1$ ist, dann sind Empfangsversuche aussichtslos. Für meine Beobachtungen gilt als Kriterium $k > 0,5$. Die beleuchtete Fläche Ar' berechnet sich dann wie folgt:

$$Ar' = \frac{4 \cdot \pi \cdot Rm^2}{2} \cdot k = \pi \cdot Rm^2 \cdot [1 + \cos(i)] \quad (30)$$

wobei $Ar' \gg Ar$ aus (3) wegen der Limitierung durch die Wellenlänge λ .

5. Geplante Messungen

Messungen mit dem Sonne-Mond-Erde-Interferometer können nur unter bestimmten begrenzten Bedingungen durchgeführt werden. Diese sind:

- Mond und Sonne müssen gleichzeitig am Himmel stehen (sie müssen aber **nicht** optisch sichtbar sein)
- Mond und Sonne müssen außerhalb des terrestrischen Störpegels liegen, d.h. die Elevation beider muß $> 20^\circ$ sein. Die Sonne darf ausnahmsweise etwas tiefer stehen.
- Die Winkeldistanz (Topozentrische Elongation) zwischen Sonne und Mond muß viel größer sein als der Winkel der ersten Nebenkeule, d.h. $\Theta \gg 15^\circ$. (Idealerweise 90°)
- Mindestens ein Operateur für die Teleskopsteuerung muß verfügbar sein
- Mindestens ein Operateur für die Datenerfassung muß verfügbar sein

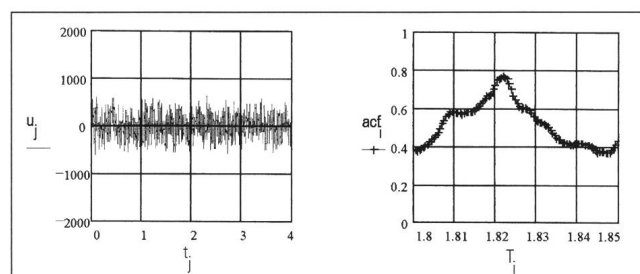
Für das Jahr 1994 gibt es mehrere Tage, wo alle Bedingungen erfüllt sind. Zu gegebenem Zeitpunkt soll der Hauptspiegel nach Winkel- und Fluß-Kalibration an Cassiopeia A und/oder Cygnus A automatisch dem Mond nachgeführt werden. Die separate Yagi-Antenne soll manuell auf die Sonne eingestellt und auch manuell nachgeführt werden. Etwa alle 5 Minuten soll ein Datenstrom mit maximaler Abtastrate vom Interferometer via A/D-Wandler im PC abgespeichert werden, synchronisiert über DCF77. Eine einzelne Messung soll so sein, daß wenigstens das doppelte von τ in einem kontinuierlichen Datenstrom abgespeichert werden kann. Es ist allerdings zu beachten, daß der zur Verfügung stehende Harddisk höchstens noch 3MByte Daten abspeichern kann. Das Problem Speicherplatzbedarf ist bis dato noch nicht gelöst (Kostengründe). Vermutlich muß die Abtastrate drastisch reduziert werden,

damit wenigstens einige Messungen auf einem Harddisk Platz finden. Zur Zeit sind Abtastraten bis 2000 Messungen pro Sekunde realisierbar.

6. Auswertungen/Interpretationen

Die gespeicherten Messdaten sollen untersucht werden in Bezug auf Periodizität mit der (erwarteten) Periode τ . Dafür eignen sich besonders die ACF (Autokorrelation) und/oder die FFT (Fast Fourier Transformation) mittels TURBO C, TURBO-PASCAL und/oder MATH-CAD. Die FFT wird zur Zeit auch benützt um eventuelle terrestrische Störungen zu erkennen und damit die fehlerhafte Messreihe zu eliminieren. Die berechneten Basislinien zu jedem Zeitpunkt der Beobachtungen sollen durch die gemessenen Laufzeiten τ dividiert und so die Vakuumlichtgeschwindigkeit berechnet werden.

Bild 6: Konkretes Beispiel vom 20. Mai 1994 um 17:45:17 Uhr (Sommerzeit):



Das linke Diagramm zeigt die gemessene Rauschspannung am Ausgang des Demodulators/Integrators in Abhängigkeit der Meßzeit $0 \text{ sec} < t(i) < 4 \text{ sec}$. Der Index i läuft dabei von 0 bis 8000. Auf der rechten Seite ist die berechnete und normierte Autokorrelationsfunktion mit einer deutlichen Überhöhung bei der Laufzeit $T = 1,822155 \text{ sec}$. In diesem speziellen Fall kann nun die Lichtgeschwindigkeit berechnet werden. Zum Zeitpunkt 17:17:45 beträgt die berechnete Distanz bzw. Basislinie $L = 367663593.6 \text{ m}$ und die topozentrische Elongation $\Theta = 119.2391^\circ$. Die Vakuumlichtgeschwindigkeit c' beträgt somit:

$$c' = \frac{L}{\tau} [1 - \cos(\Theta)] = 3.003 \cdot 10^8 \text{ m/sec} \quad (31)$$

Dieser berechnete Wert ist etwas größer (Fehler 0,16% oder 507m/sec) als der per Dekret festgelegte Wert von 1983. Für mich als Amateurradioastronom ist dies aber ein durchaus positives Resultat. Wir werden dieses Jahr mit weiteren Messungen versuchen, das Ergebnis statistisch weiter zu untermauern mit dem Endziel, die Geschwindigkeit unseres Sonnensystems gegenüber dem galaktischen Hintergrund zu berechnen. (Geschwindigkeitsvektor \mathbf{V} in Abbildung 5). Am 20. Mai dieses Jahres wurde nicht nur obiges Beispiel, sondern noch 32 weitere Messungen durchgeführt mit folgendem Zwischenergebnis:

Minimum	295863235 m/sec
Mittelwert	299353276 m/sec
Maximum	307229421 m/sec
Streuung σ	1971 km/sec

Die Streuung ist deshalb relativ groß, weil der Reflexionspunkt auf der Mondoberfläche kein ebener Reflektor, sondern undefiniert gebirgig ist. Die Streuung beträgt aus diesem Grund bereits etwa 1500km/sec!



7. Anhang und Literaturverzeichnis

[1] JEAN MEEUS, Astronomische Algorithmen, Verlag Johann Ambrosius Barth Leipzig 1992, ISBN 3-335-00318-7. [Beiliegende Software auf Disketten von Jeffrey Sax (C)].

[2] KRISTEN ROHLFS, Tools of Radio Astronomy, Springer-Verlag Berlin 1986, ISBN 3-540-16188-0.

[3] 10m-Amateur-Radioteleskop, Verantwortlich LÉON KÄLIN, Lütschbachstrasse 10, 8734 Ermenswil, Tel. 055/863443,

Koordinaten Teleskop:

- östliche Länge = 8,909961°,

- nördliche Breite = 47,250710°,

- Höhe über Normalnull h = 560m

- Übername: Radioteleskop «Ricken Süd».

[4] H. MEINKE / F. W. GUNDLACH, Taschenbuch der Hochfrequenztechnik, Springer-Verlag Berlin 1968, ISBN 3-540-04359-4.

[5] GERRIT L. VERSCHUUR / KENNETH I. KELLERMANN, Galactic and Extra-Galactic Radio Astronomy, Springer-Verlag 1974, ISBN 3-540-06504-0.

[6] R. WOHLLEBEN / H. MATTES / TH. KRICHBAUM, Interferometry in Radioastronomy and Radar Techniques, Kluwer Academic Publishers 1991, ISBN 0-7923-0464-0.

[7] S. MARINOV, Spec. Sci. Tech. 3, 57 (1980a), measurement of the oneway energy velocity of light using two toothed wheels.

[7.1] S. MARINOV, Gen. Rel. Grav. 12, 57 (1980b), coupled mirrors experiment to measure the absolute velocity of the closed lab.

[8] C. MONSTEIN, ORION 254, Februar 1993 Seite 37/38. Werkzeuge für den Amateurastronomen.

CHRISTIAN MONSTEIN

Wiesenstrasse 13, CH-8807 Freienbach

Alliance du tourisme et de l'astronomie

L'Observatoire
François-Xavier Bagnoud

F. Zuber

Tignousa sur Saint-Luc, Val d'Anniviers

Les participants à l'Assemblée Générale de la SAS à Brig se souviennent certainement du projet et de la maquette de l'Observatoire François-Xavier Bagnoud, qui leur furent présentés par Monsieur Georges Meynet de l'Observatoire de Genève. Aujourd'hui, moins d'un an après, la construction est en bonne voie et l'inauguration de l'installation est prévue pour les 4, 5 et 6 août 1995. A partir de l'automne, l'observatoire sera ouvert aux astronomes amateurs de Suisse et de l'étranger.

Pour un tourisme de qualité.

Il y a plusieurs années, les autorités du Val d'Anniviers, en véritables précurseurs, décidèrent d'épargner à leur région les séquelles du tourisme de masse et de se tourner vers un tourisme de qualité. Dans cette optique, la station de Saint-Luc s'orienta vers l'astronomie et décida de devenir «La station des étoiles». Tout commença par des soirées astronomiques organisées par quelques enthousiastes. Elles furent bientôt suivies par la construction d'un petit stellarium dans le village et d'un magnifique chemin planétaire de 6,5km sur les hauteurs de Tignousa. L'Observatoire François-Xavier Bagnoud est une nouvelle étape dans la même direction. Il sera ouvert au public et surtout aux écoles pour une initiation à l'astronomie. De plus – et c'est important pour nous – il sera ouvert aux astronomes amateurs. Il leur offrira une gamme unique d'instruments performants avec lesquels ils pourront s'adonner à leur passion dans un site grandiose. De jour ils pourront, au gré des saisons, pratiquer les sports d'hiver, faire des randonnées ou même de l'alpinisme en haute montagne. Le Zinalrothorn, la Bella-Tola et même le Cervin ne sont pas très loin.

Verbindung von Tourismus und Astronomie

Das Observatorium
François-Xavier Bagnoud

Tignousa ob St. Luc, Val d'Anniviers, VS

Die Teilnehmer der Generalversammlung 1994 der SAG in Brig erinnern sich bestimmt an das Projekt und das Modell des Observatoriums François-Xavier Bagnoud, die damals von Herrn Georges Meynet vom Observatorium Genf präsentiert wurden. Heute, weniger als ein Jahr später, ist das Projekt gut fortgeschritten, die Einweihung ist auf den 4., 5. und 6. August 1995 eingeplant. Ab Herbst dieses Jahres wird das Observatorium den Amateurastronomen der Schweiz und des Auslandes offen stehen. Obschon noch nicht alle Details geregelt sind, kann heute weiter über das Projekt berichtet werden.

Streben nach Qualitätstourismus

Bereits seit mehreren Jahren sind die zuständigen Behörden des Eufischtales (Val d'Anniviers) darauf bedacht, ihrer Region die Schattenseiten des Massentourismus zu ersparen und sich aktiv auf einen Qualitätstourismus auszurichten. St. Luc fand Gefallen an der Astronomie und ist daran, ein «Zentrum der Sternenwelt» zu werden. Begonnen hat alles schon vor Jahren mit informellen Beobachtungsabenden, eine logische Konsequenz der ausserordentlich häufigen klaren Nächte der Region. Bald folgten der Bau eines kleinen Stellariums im Dorf, dann der eines 6,5 km langen Planetenweges, eines herrlichen Höhenweges (um die 2200 m.ü.M.) auf dem Plateau von Tignousa. Das neue Observatorium François-Xavier Bagnoud ist ein weiterer Schritt in dieser Richtung. Es steht der Öffentlichkeit und besonders den Schulen zur Einführung in die Astronomie zur Verfügung, bietet aber ganz speziell den Amateurastronomen eine breite Auswahl leistungsfähiger Instrumente, denen sie sich in einer grandiosen Umgebung hingeben können. Tagsüber bieten