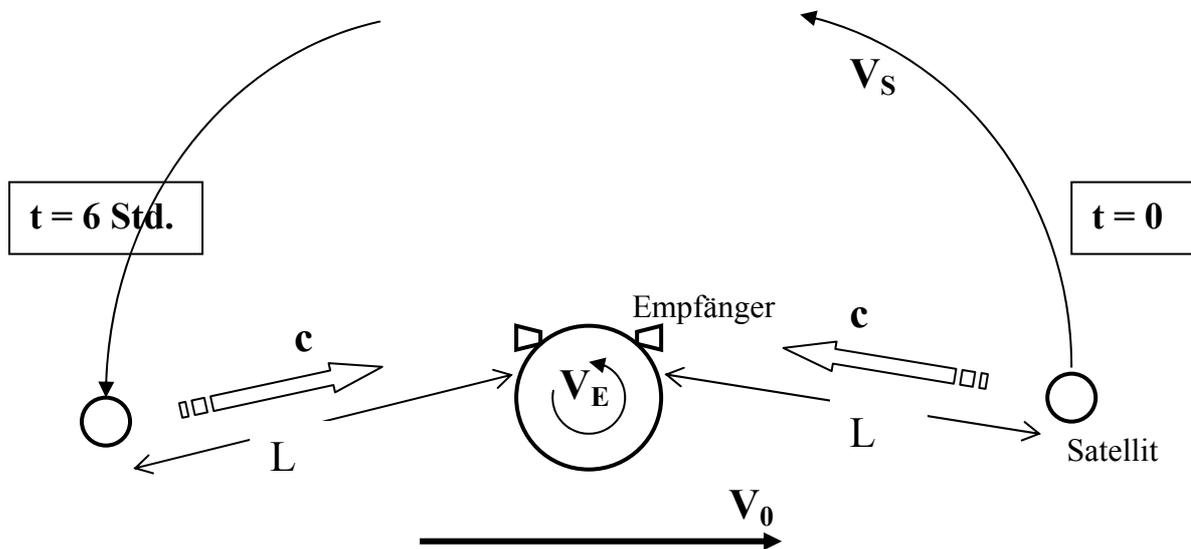


Messung des Ätherwinds mit Hilfe des GPS

W.E. 11. Nov. 07



Ein GPS-Satellit umkreist die Erde in 12 Stunden, d.h. es ist grundsätzlich möglich, von einem irdischen Empfänger aus während 6 Stunden Zeitsignale zu empfangen, die der Satellit abstrahlt. Machen wir die übliche Annahme, dass die Satelliten- und die Empfängeruhren synchronisiert werden können, und nehmen wir weiterhin an, dass es keinen Ätherwind gibt, so beträgt die Laufzeit zwischen Aussendung und Empfang eines Zeitsignals bei $L \approx 20000 \text{ km}$:

$$\tau = \frac{L}{c} \approx 70 \text{ ms}$$

Falls ein Ätherwind V_0 weht, wie in der Figur gezeichnet, so erwartet man, dass zur Zeit $t = 0$ die Laufzeit länger

$$\tau_0 = \frac{L}{c - V_0},$$

und zur Zeit $t = 6 \text{ Std.}$ kürzer ist:

$$\tau_1 = \frac{L}{c + V_0}$$

Die Differenz beträgt:

$$\tau_0 - \tau_1 = \frac{2LV_0}{c^2 - V_0^2} \approx 140 \mu\text{s}$$

wobei $V_0 \approx 300 \text{ km/s}$ angenommen wurde. Ein offset zwischen Empfänger- und Satellitenuhr fällt bei der Differenzbildung heraus. Führt man eine Messung über 6 Stunden hinweg durch, so muss man lediglich verlangen, dass beide Uhren während dieser Zeit nicht mehr als $1 \mu\text{s}$ driften, um die Differenz, und damit den Ätherwind, auf besser als 1 % genau zu messen.

Dies erfordert eine relative Uhrenstabilität von 5×10^{-11} , was für Atomuhren keine große Anforderung darstellt. Der Abstand L wird nicht, wie in der obigen Figur, exakt konstant bleiben. Zum Zeitpunkt der Messung mag er noch gar nicht genau bekannt sein, weil er erst aus verschiedenen Informationen errechnet werden muss (Maurer). Für die Messung ist es aber nicht nötig, diesen Abstand zum Messzeitpunkt zu wissen. Es genügt, nur die Laufzeiten als Funktion von UTC zu registrieren, und später (2 Wochen?), wenn die

Satellitenkoordinaten als Funktion von UTC von den Kontrollstationen veröffentlicht sind, die Auswertung der Messung durchzuführen.

Der Haupteinwand gegen diese Messung ist nach Hatch (Kholmetskii, Feist) der folgende: Atomuhren laufen im System des ruhenden Äthers, in dem die Hintergrundstrahlung isotrop ist, am schnellsten. In jedem anderen System, welches sich mit der Geschwindigkeit V bewegt, ist der Uhrengang verlangsamt, entsprechend der Zeitdilationsformel:

$$dt' = dt \sqrt{1 - V^2/c^2} \approx dt \left(1 - \frac{V^2}{2c^2} \right) \quad (1)$$

Dadurch würde der oben beschriebene Effekt zunichte, bzw. unmessbar gemacht werden. Prüfen wir dieses Argument:

Wenn Hatch Recht hat, entfällt eine der obigen Voraussetzungen, nämlich dass es möglich sei, Satellitenuhren untereinander oder mit Bodenuhren zu synchronisieren. Die Definition der UTC durch die Schwingungsdauer einer Cäsiumuhr kann sich dann nur auf einen bestimmten Ort auf der Erdoberfläche, sagen wir zur Zeit des Siriusaufgangs am 21. März, beziehen. An jedem anderen Ort oder zu jeder anderen Zeit hat die Cäsiumuhr eine andere Geschwindigkeit in Bezug auf das Hintergrundsystem und damit eine andere Frequenz. Es gibt also keine zwei Atomuhren mit gleicher Frequenz, wenn sie an verschiedenen Orten der Erdoberfläche, sogar in gleicher Meereshöhe, aufgestellt werden. Schreiben wir obige Formel in vektorieller Form:

$$dt' = dt \sqrt{1 - |\vec{V}_0 + \vec{V}_E|^2 / c^2} \approx dt \left(1 - \frac{V_0^2 + V_E^2}{2c^2} - \frac{\vec{V}_0 \cdot \vec{V}_E}{c^2} \right) = dt \left(1 - \frac{V_0^2 + V_E^2}{2c^2} - \frac{\vec{V}_0}{c^2} \cdot \frac{d\vec{x}_E}{dt} \right) \quad (2)$$

wobei \vec{V}_0 die Absolutgeschwindigkeit des Erdmittelpunktes im Äther und $\vec{V}_E = d\vec{x}_E/dt$ die Geschwindigkeit eines Punktes auf der Erdoberfläche bezüglich des Mittelpunktes ist. Integration liefert für die „Erdzeit“ als Funktion des Ortes:

$$t_E = t \left(1 - \frac{V_0^2 + V_E^2}{2c^2} \right) - \frac{\vec{V}_0 \cdot \vec{x}_E}{c^2} + t_{E0} \quad (3)$$

Für die Atomuhrzeit auf einem Satelliten hat man analog:

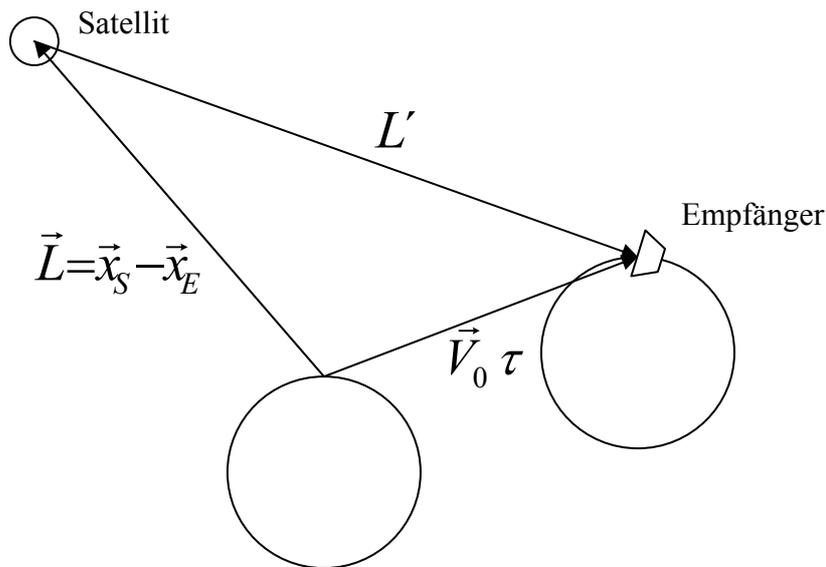
$$t_S = t \left(1 - \frac{V_0^2 + V_S^2}{2c^2} \right) - \frac{\vec{V}_0 \cdot \vec{x}_S}{c^2} + t_{S0} \quad (4)$$

Und durch Differenzbildung erhält man:

$$t_E - t_S = t \left(1 - \frac{V_E^2 - V_S^2}{2c^2} \right) + \frac{\vec{V}_0 \cdot (\vec{x}_S - \vec{x}_E)}{c^2} + t_{E0} - t_{S0} \quad (5)$$

Bei der Messung der Laufzeit von Signalen zwischen Satellit und Empfänger sollten die Uhren synchronisiert sein, d.h. $t_E - t_S = 0$, aber dies ist offenbar nicht möglich, wenn Hatch's Formel zutrifft. Das Problem ist dabei nicht der unbekannte „offset“ $t_{E0} - t_{S0}$ (er kann durch Mehrfachmessung eliminiert werden), sondern die Tatsache, dass die Zeitdifferenz vom Skalarprodukt aus Ätherwind und Ortsvektor zwischen Satellit und Erde abhängt. Auf die gleiche Weise hängt nämlich auch die Laufzeit eines Signals zwischen Satellit und Empfänger, zumindest in erster Ordnung, ab, wie die folgende Überlegung zeigt.

Betrachtet man einen Satelliten und einen Punkt auf der Erdoberfläche zu einem bestimmten Zeitpunkt vom Hintergrundsystem aus, und berücksichtigt, dass die Zeit τ vergeht, bis ein Signal am Empfänger ankommt, so erhält man etwa folgendes Bild:



Offenbar gilt nach dem Cosinussatz:

$$L'^2 = L^2 + V_0^2 \tau^2 - 2\tau \vec{L} \cdot \vec{V}_0 \quad (6)$$

Da andererseits $\tau = L'/c$ gilt, bekommt man nach Auflösung der resultierenden quadratischen Gleichung:

$$\tau = \frac{-\vec{L} \cdot \vec{V}_0 + \sqrt{(\vec{L} \cdot \vec{V}_0)^2 + L^2 (c^2 - V_0^2)}}{c^2 - V_0^2} \quad (7)$$

Hierbei wurde die Erddrehung zwischen Aussendung und Empfang des Signals (Sagnac-Effekt) im Interesse größerer Klarheit nicht berücksichtigt. Entwickelt man nun bis zur ersten Ordnung in V_0/c , so findet man für die Laufzeit:

$$\tau \approx \frac{L}{c} - \frac{\vec{L} \cdot \vec{V}_0}{c^2} = \frac{L}{c} - \frac{\vec{V}_0 \cdot (\vec{x}_S - \vec{x}_E)}{c^2} + O\left(\frac{V_0^2}{c^2}\right) \quad (8)$$

Vergleich mit (5) zeigt, dass der lineare Effekt des Ätherwinds in (8) exakt durch den Effekt der Veränderung des Uhrengangs durch die Bewegung kompensiert wird.

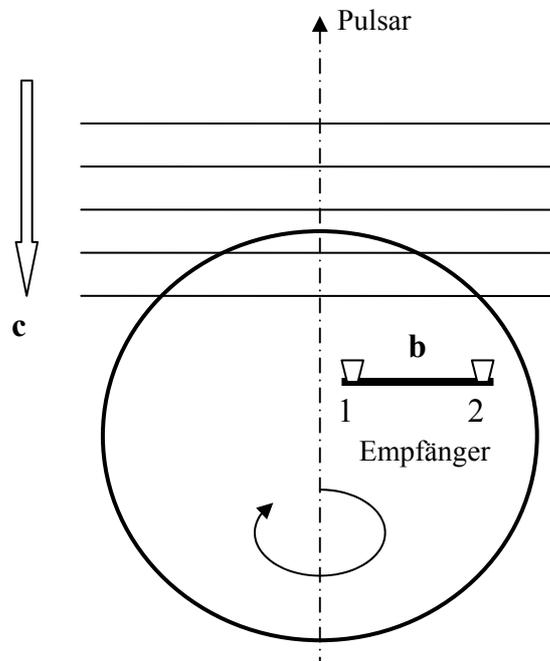
Man kann also so tun, als seien Satelliten- und Erd Uhren exakt synchronisiert, während gleichzeitig die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Signale c ist und vom Ätherwind nicht beeinflusst wird. Beides ist physikalisch vermutlich falsch, lässt sich aber durch Messungen der Laufzeit nicht ohne weiteres erweisen.

In quadratischer Ordnung müsste es sehr wohl möglich sein, den Ätherwind zu messen, denn die Gleichungen (5) und (7) sind durchaus verschieden. Eine einfache Abschätzung ergibt, dass die Laufzeit $L/c \approx 70 \text{ ms}$ statt mit $V/c \approx 10^{-3}$, wie zunächst angenommen, mit $V^2/c^2 \approx 10^{-6}$ korrigiert werden müsste. Dies setzt voraus, dass die Atomuhren über mehrere Stunden auf besser als 70 ns genau gehen. Dies scheint keine unmögliche Forderung zu sein, setzt aber der Präzision einer Ätherwind-Messung mit Hilfe des GPS deutliche Grenzen.

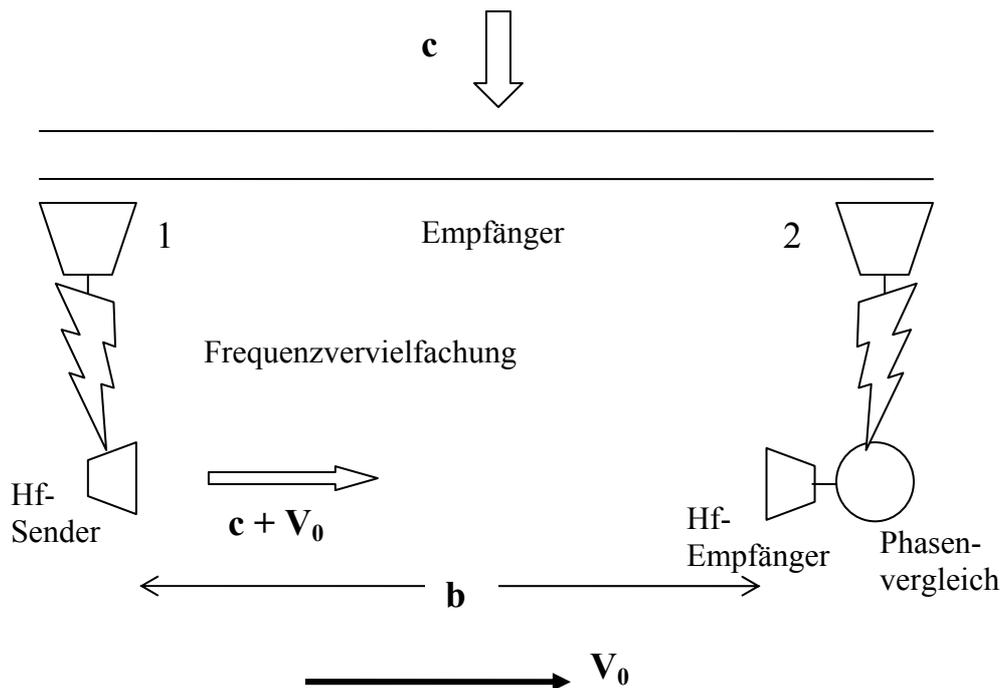
Ronald Hatch diskutiert weiterhin die „Very Long Base Interferometry“ (VLBI) als mögliche Methode, den Ätherwind zu messen. Er kommt zu dem Schluss, dass auch hier eine

Kompensation in erster Ordnung auftritt, so dass dieses Verfahren ebenfalls ausscheidet. Ich bin nicht so sicher, ob er da Recht hat und habe mir dazu folgendes überlegt:

Angenommen ein Pulsar sendet parallele Wellenfronten, die senkrecht auf der Erdachse stehen:



Die Signale werden phasengleich von zwei Empfängern empfangen, die sich im Abstand b auf dem gleichen Breitenkreis befinden. Die Pulsarsignale können dazu verwendet werden, durch modelocking zwei Hochfrequenzsender im 10 GHz Bereich zu synchronisieren, die sich am Ort von Empfänger 1 und 2 befinden:



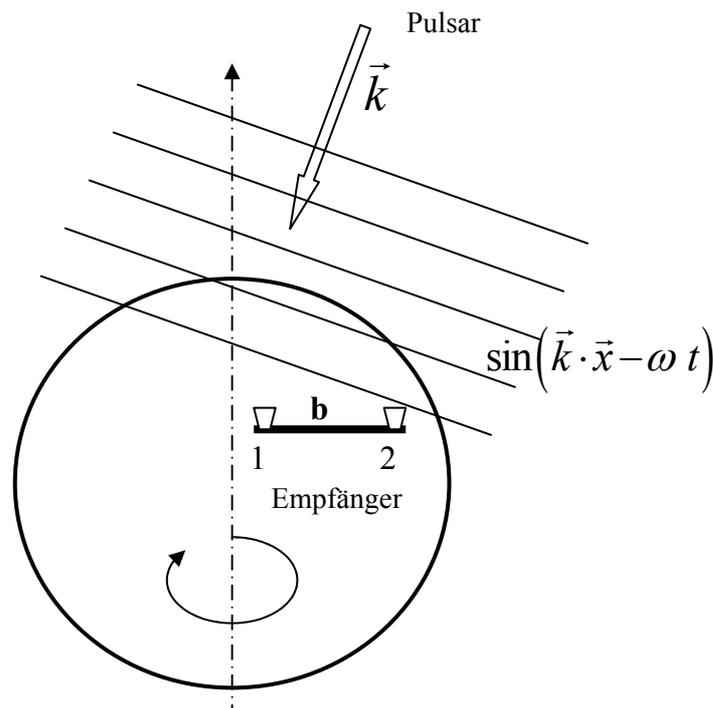
Nachdem das Hochfrequenzsignal die Strecke \mathbf{b} durchlaufen hat, sollte eine Phasenverschiebung auftreten, die linear von der Komponente des Ätherwinds in Richtung \mathbf{b} abhängt, und sich im Lauf eines Tages aufgrund der Erddrehung verändert. Für $b = 10$ m hat man eine Laufzeit von 33 ns, die um 0.3 ns durch den Ätherwind modifiziert wird. Dies entspricht bei 10 GHz im Phasenvergleich etwa 3 „Interferenzstreifen“, wäre also leicht messbar. In der Realität wird man keinen Pulsar finden, der exakt parallel zur Erdachse einstrahlt. Bei endlichem Einstrahlwinkel ergibt sich im Lauf eines Tages eine zusätzliche Phasenverschiebung an Empfänger 1 und 2, die aber exakt vorhersagbar ist und berücksichtigt werden kann.

Das Verfahren entspricht offenbar Hartmut Thims Methode, wobei die zwei Uhren nicht mechanisch, sondern durch einen Pulsar synchronisiert werden. Ein GPS Satellitensender eignet sich dazu weniger, weil er sich zu schnell bewegt und dadurch im Lauf eines Tages den Abstand zu Empfänger 1 und 2 in unterschiedlicher Weise verändert.

Messung des Ätherwinds mit Hilfe eines Pulsars

W.E. 19. Dez. 2007

Ein Pulsar sendet elektromagnetische Signale aus, die als extrem ebene Wellenfronten auf der Erde eintreffen (Pulsarentfernung z.B. 10 Lichtjahre):



Setzt man für den Ortsvektor eines Empfängers:

$$\vec{x} = \vec{x}_0 + \vec{V}_0 t + \vec{x}_E \quad (1)$$

wobei \vec{x}_E der Ortsvektor bezüglich des Erdmittelpunkts \vec{x}_0 ist und \vec{V}_0 dessen Geschwindigkeit im absoluten System, so erhält man für die Phase:

$$\psi = \vec{k} \cdot \vec{x}_0 + \vec{k} \cdot \vec{x}_E + (\vec{k} \cdot \vec{V}_0 - \omega) t \quad (2)$$

Die Phasendifferenz zwischen Empfänger 2 und 1 hängt offenbar nicht von der Geschwindigkeit des Ätherwinds \vec{V}_0 ab:

$$\psi_2 - \psi_1 = \vec{k} \cdot (\vec{x}_2 - \vec{x}_1) = \vec{k} \cdot \vec{b} \quad (3)$$

Sie ändert sich periodisch innerhalb eines Tages in vorhersagbarer Weise, wenn man den Winkel zwischen Wellenvektor und Erdachse kennt. Steht der Wellenvektor senkrecht auf der Basis, so verschwindet die Phasendifferenz zu jeder Zeit. Dieser Fall ist gegeben, wenn der Wellenvektor parallel zur Erdachse liegt und die Basis auf einem Breitengrad angelegt wird. Mit Hilfe der ebenen Wellenfronten eines Pulsars können offenbar zwei Uhren an weit voneinander entfernt liegenden Orten synchronisiert werden, wobei eine täglich variierende Phasendifferenz gemäß (3) besteht, die **nicht** vom Ätherwind abhängt.

Zur Messung des Ätherwinds \vec{V}_0 kann man z.B. am Ort von Empfänger 1 ein Signal aussenden, welches nach einer Zeitverzögerung

$$\tau = \frac{-\vec{b} \cdot \vec{V}_0 + \sqrt{(\vec{b} \cdot \vec{V}_0)^2 + b^2(c^2 - V_0^2)}}{c^2 - V_0^2} \approx \frac{b}{c} - \frac{\vec{b} \cdot \vec{V}_0}{c^2} \quad (4)$$

beim Empfänger 2 eintrifft. Die zugehörige variable Phasenverschiebung beträgt dann:

$$\omega \tau = \frac{\omega \vec{b} \cdot \vec{V}_0}{c^2} \quad (5)$$

Zusammen mit (3) wird der gesamte variable Phasenunterschied am Ort 2:

$$\Delta \psi = \vec{k} \cdot \vec{b} + \frac{\omega \vec{b} \cdot \vec{V}_0}{c^2} \quad (6)$$

Da sich sowohl Wellenvektor als auch Ätherwindrichtung im Lauf eines Tages nicht ändert, während die Basis ihre Richtung aufgrund der Erddrehung im Laufe eines Tages umkehrt, zeigen beide Terme in (6) das gleiche periodische Verhalten, sind aber grundsätzlich unterscheidbar, insbesondere, wenn der erste Term vollständig verschwindet, wie oben dargelegt. Selbst wenn dies nicht der Fall ist, so muss es doch einmal am Tage zutreffen, so dass dann der zweite Term dominiert. Durch geschickte Wahl der Winkel zwischen \vec{V}_0 und \vec{k} ist dieser Zustand erreichbar.

Die Messung des Phasenunterschieds (6) kann ohne Verwendung einer zusätzlichen Uhr erfolgen, indem man die Lissajou'sche Methode anwendet. Gegeben seien die Signale $x = \sin \omega t$, $y = \sin(\omega t + \Delta \psi(t))$. Durch Elimination von ωt erhält man die Lissajou-Figur:

$$x^2 + y^2 - 2xy \cos[\Delta \psi(t)] = \sin^2[\Delta \psi(t)] \quad (7)$$

Aus ihrer Beobachtung im Lauf eines Tages lässt sich gemäß (6) die zeitlich veränderliche Ätherwindkomponente parallel zur Basis ermitteln.

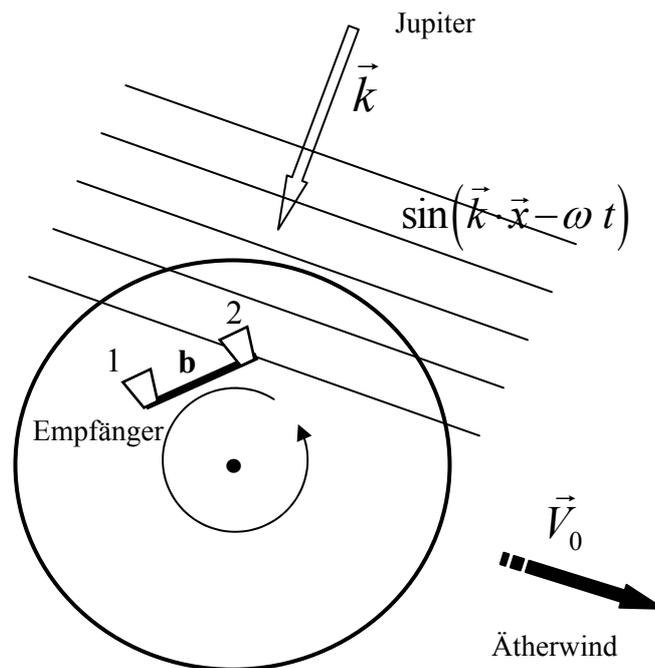
Um einen deutlich messbaren Effekt zu erhalten, empfiehlt es sich, die Pulsarfrequenz von ca. 1 kHz erst zu vervielfachen, so dass sich nach (6) Phasenunterschiede etwa der Größenordnung π und mehr ergeben. Bei einer Basislänge von 5 km und $V_0 = 300$ km/s entspricht diese Forderung einer Frequenz von etwa 30 MHz.

Messung des Ätherwinds mit Hilfe von 20 Megahertz Signalen, die der Jupiter emittiert.

W.E. 27. Juli 2008

In einem exposé vom 19. Dezember 2007 hatte ich vorgeschlagen, die extrem ebenen Wellenfronten von Pulsar-Signalen zu benutzen, um zwei räumlich entfernte Uhren (Sender) zu synchronisieren. Auf diese Weise sollte es gelingen, die Ätherwindgeschwindigkeit, die zwischen den beiden Uhren herrscht, nachzuweisen. Idealerweise hatte ich mir vorgestellt, einen Pulsar zu wählen, der genau in der Verlängerung der Erdachse liegt, weil dann keine zeitlich veränderliche Phasenverschiebung aufgrund der Erddrehung an den Enden einer in Ost-West Richtung orientierten Basis auftritt.

Nun hat Harald Maurer am 14. Feb. 2008 darauf hingewiesen, dass man auch Radiosignale im 14 m Bereich, die der Jupiter emittiert, verwenden könnte, weil die Wellenfronten bei einem Abstand der Quelle von 680 Millionen km hinreichend eben sein müssten. Allerdings liegt Jupiter nicht in der Verlängerung der Erdachse, sondern in einer Richtung senkrecht dazu, nämlich ungefähr auf der Ekliptik. Dies bringt gewisse Komplikationen mit sich, die ich im Folgenden diskutieren möchte. Zunächst zur Veranschaulichung eine Skizze der neuen Situation:



Die ursprünglichen Formeln gelten natürlich immer noch und seien hier kurz wiederholt. Setzt man für den Ortsvektor eines Empfängers:

$$\vec{x} = \vec{x}_0 + \vec{V}_0 t + \vec{x}_E \quad (1)$$

wobei \vec{x}_E der Ortsvektor bezüglich des Erdmittelpunkts \vec{x}_0 ist und \vec{V}_0 dessen Geschwindigkeit im absoluten System, so erhält man für die Phase:

$$\psi = \vec{k} \cdot \vec{x}_0 + \vec{k} \cdot \vec{x}_E + (\vec{k} \cdot \vec{V}_0 - \omega) t \quad (2)$$

Die Phasendifferenz zwischen Empfänger 2 und 1 hängt offenbar nicht von der Geschwindigkeit des Ätherwinds \vec{V}_0 ab:

$$\psi_2 - \psi_1 = \vec{k} \cdot (\vec{x}_2 - \vec{x}_1) = \vec{k} \cdot \vec{b} \quad (3)$$

Sie ändert sich periodisch innerhalb eines Tages und ist ziemlich groß im Vergleich zum Pulsar-Proposal, denn sie entspricht maximal $\omega\tau$, wobei τ die Laufzeit des Lichts zwischen Empfänger 1 und 2 ist. Nur zu dem Moment, wo der Wellenvektor \vec{k} genau senkrecht auf der Basis \vec{b} steht, verschwindet die Phasendifferenz (3).

Zur Messung des Ätherwinds \vec{V}_0 kann man am Ort von Empfänger 1 ein Signal aussenden, welches nach einer Zeitverzögerung

$$\tau = \frac{-\vec{b} \cdot \vec{V}_0 + \sqrt{(\vec{b} \cdot \vec{V}_0)^2 + b^2(c^2 - V_0^2)}}{c^2 - V_0^2} \approx \frac{b}{c} - \frac{\vec{b} \cdot \vec{V}_0}{c^2} \quad (4)$$

beim Empfänger 2 eintrifft. Die zugehörige variable Phasenverschiebung beträgt dann:

$$\omega\tau = \frac{\omega\vec{b} \cdot \vec{V}_0}{c^2} \quad (5)$$

Zusammen mit (3) wird der gesamte variable Phasenunterschied am Ort 2:

$$\Delta\psi = \vec{k} \cdot \vec{b} + \frac{\omega\vec{b} \cdot \vec{V}_0}{c^2} \quad (6)$$

Da $\omega/c = k$ gilt, kann man (6) auch in der Form schreiben:

$$\Delta\psi = \vec{b} \cdot \left(\vec{k} + \frac{k}{c} \vec{V}_0 \right) \quad (7)$$

Für die im Sommer 2008 gültige Konstellation steht der Wellenvektor in etwa senkrecht auf dem Ätherwind, so dass die Phasendifferenz (7) ungefähr diesen zeitlichen Verlauf hat:

$$\Delta\psi(t) \approx bk \left(\sin \Omega t + \frac{V_0}{c} \cos \Omega t \right) \quad (8)$$

wobei Ω die Erdfrequenz ist. Wegen der Kleinheit von V_0/c ist es natürlich schwierig, den 2. Term genau zu messen. Ursprünglich hatte ich geglaubt, man müsse nur $\Delta\psi(t)$ messen und könne dann durch Differenzieren der Phase das Verhältnis von V_0/c bestimmen. Eine genauere Rechnung zeigt aber, dass man auf diese Weise nur V_0^2/c^2 festlegen kann, und das wird natürlich viel zu ungenau. Der angestrebte Vorteil des Verfahrens, eine lineare Abhängigkeit von V_0 auszunutzen, ginge so verloren.

Es wird also nichts anderes übrig bleiben, als den genauen Zeitpunkt $t = 0$, zu dem die Wellenfront parallel zur Basis steht, aus astronomischen Daten zu ermitteln, wobei eine Ungenauigkeit von $\sin(\Omega\Delta t) \sim 10^{-3}$ die Messung bereits zunichte machen würde. Über diesen Zeitpunkt wird im Einzelnen noch zu reden sein. Es wäre mir lieb, bei dieser Diskussion einen gelehrten Astronomen an der Seite zu haben, der uns vor größeren Irrtümern bewahren könnte.

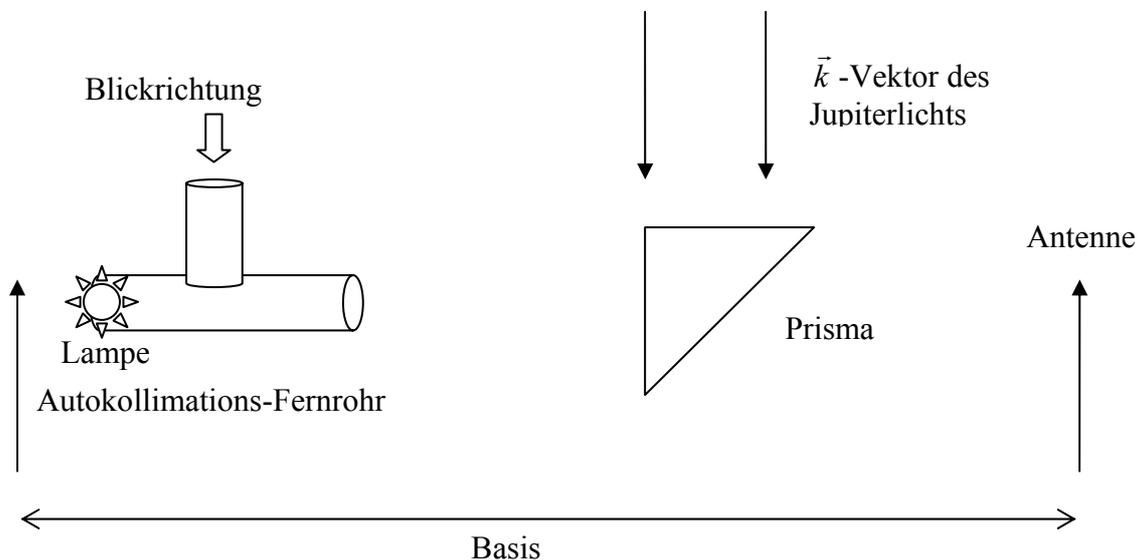
Experimentelle Bestimmung des Zeitpunkts, an dem der Wellenvektor der Jupiter-Signale senkrecht auf der Basis steht.

W.E. 29 Juli 2008

Wie in meiner Notiz vom 27. Juli ausgeführt, sollte man die Phasenmessung durchführen, wenn der Ausdruck (3) gerade Null ist, d.h. wenn der Wellenvektor exakt senkrecht auf der

Basis steht. Man kann diesen Zeitpunkt aus den Ephemeridendaten des Jupiters errechnen, wobei man möglicherweise existierende Software verwenden kann. Als Experimentalphysiker neige ich aber dazu, eine wirkliche Messung dieses Zeitpunkts vorzunehmen. Nachdem man Jupiter „sehen“ kann, kennt man natürlich die Richtung des Wellenvektors: Sie ergibt sich einfach aus einer Verbindungslinie zwischen einem Punkt auf der Basis zum Punkt am Himmel, an dem man Jupiter sieht, und nicht etwa dorthin wo er gerade ist (das Licht braucht ca. eine halbe Stunde). Sicher war das allen Projektteilnehmern klar, nur mir nicht, weil ich mich in allerlei Rechnungen mit und ohne Ätherwind verbissen hatte.

Experimentell sollte man also folgendermaßen vorgehen: Man stellt ein einfaches Fernrohr im richtigen Inklinations-Winkel senkrecht auf der Basis auf. Wenn der Jupiter durchs Fadenkreuz wandert, ist es der richtige Zeitpunkt, an dem man die durch den Ätherwind verursachte Phasenverschiebung messen muss. Zur Ausrichtung des Fernrohrs genügt evt. eine gute Wasserwaage, besser ist es aber, ein Autokollimations-Fernrohr und ein Prisma zu verwenden. Beides liegt sicher in irgendeinem Schrank der Uni Graz herum. Man geht etwa folgendermaßen vor:



Man richtet das Autokollimations-Fernrohr (AK) aus, indem man von einer Antenne zur anderen peilt. Das AK enthält eine Lampe mit deren Hilfe ein Fadenkreuz ins Unendliche projiziert wird. Es wird an der Stirnfläche des Prismas zurück ins Fernrohr reflektiert, so dass man diese Fläche exakt senkrecht zur optischen Achse des AK einjustieren kann. Wenn das Prisma genau unter 45 Grad geschliffen ist, wird Licht (z.B. vom Jupiter), welches senkrecht zur anderen Stirnfläche einfällt, ins Fernrohr gelenkt. Durch Drehen des Prismas kann man den richtigen Inklinations-Winkel (ungefähr 30 Grad) einstellen. Die Wellenfront ist (für 1-2 Sekunden) parallel zur Basis, wenn Jupiter sich im Fadenkreuz befindet. Nun muss man nur noch auf gutes Wetter hoffen, damit Jupiter sich nicht hinter Wolken verbergen kann.

Man kann sich sicher noch andere Möglichkeiten ausdenken, wie man das Fernrohr senkrecht zur Basis justiert. Dem Astronomen fällt gewiss noch etwas dazu ein. Zusätzlich sollte man natürlich den experimentell gefundenen Zeitpunkt noch durch eine Rechnung untermauern, was jedoch zur Absicherung durchaus nachträglich bei der Auswertung erfolgen kann.

Norbert wird bei diesem Verfahren vielleicht ein neues Element entdecken, das bei der Pulsar-Methode nicht gegeben war: Man detektiert in zwei Wellenlängenbereichen die sehr

weit entfernte Quelle, welche ebene Wellenfronten zur Erde schickt. Wird Norbert dadurch optimistischer gestimmt?

Kommentar zu Haralds e-mail vom 31. Juli, die folgende Passage enthält:

„Wie genau muss der Mess-Zeitpunkt gewählt sein?

Die Frage hängt unmittelbar mit der Ausrichtung der Messbasis zusammen. Und die ist gar nicht 100%-ig exakt möglich, weil die topografische Höhenmessung der Antennenorte maximal im *Meterbereich* möglich ist. Also, die Höhe kann um einen Meter auf oder ab schwanken, die Basis daher von vornherein nicht exakt in der Waage, sondern etwas gekippt ein. Stimmt der *Messzeitpunkt* nicht exakt, entspricht das ebenfalls einer gekippten Basis bzw. eben einer gekippten Wellenfront. Aber inwieweit kann so ein Fehler das Ergebnis verfälschen?

Wir erwarten, sollte das Mess-Signal tatsächlich mit $c \pm v$ zwischen A und B laufen, bei einer Messbasis von rund 15 km Länge eine Zeitdifferenz von etwa 59 Nanosekunden, die wir am Oszilloskop darzustellen haben. Der Versuch ist so simpel, dass wir theoretisch nicht einmal an beiden Stationen zugleich messen müssen und auch das Equipment gar nicht zweifach bereit stellen müssten. Das Signal vom Jupter geht über die Antenne zum Jove-Receiver, der gleich 2 Audiosignale heraus schickt. Wir schicken eines davon in das Oszilloskop. Dort schicken wir auch das Signal hinein, das wir per Funk von der anderen Station auf dieselbe Weise empfangen und von dort weitergefunkt wurde. Das war's auch schon - wir betrachten die beiden Delays am Oszilloskop und speichern sie ab.

Wir könnten nun mit demselben Oszilloskop zur anderen Station gehen und den Vorgang dort wiederholen und müssten gar nicht dasselbe Signal verwenden, sondern die Delays eines neuen Signales messen. Wenn wir die Messung gleichzeitig an A und B durchführen (wozu wir eben den zweiten Audioausgang brauchen) so hat das bloß praktische Gründe. Wir messen übrigens keine Geschwindigkeiten, sondern vergleichen lediglich die beiden Delays, die jeweils an A und B auftreten, miteinander. Sind sie gleich, gratulieren wir Einstein, sind sie unterschiedlich, gratulieren wir Lorentz.

Nun ist die zu erwartende Differenz von 59 Nanosekunden ein recht kräftiger Effekt und die Frage stellt sich, wie weit kann die Basis oder der Wellenvektor gekippt sein, um diese Differenz endgültig auszulöschen, also wie stark darf die Gleichzeitigkeit des Empfangs an A und B ungenau werden, um das Resultat endgültig zu verfälschen. Die Antwort lautet: sehr stark! Nehmen wir an, die Basis wäre um einen Meter aus der Waagrechten gekippt, so betrüge der auftretende Fehler in der "Gleichzeitigkeit" nur etwa 6 Nanosekunden, also ein Zehntel des Effektes, den wir messen wollen! Die Messbasis kann daher ruhig etwas gekippt sein, der Zehnfache Effekt aus $c \pm v$ ist nicht so schnell aufgehoben, er schlägt immer noch so stark durch, dass er beim Vergleich der Kurven heraus gerechnet werden kann.

Wie groß ist die Gefahr einer gekippten Wellenfront aufgrund eines ungenauen Messzeitpunkts?

Die Stationen A und B bilden mit dem Jupiter ein sehr langgestrecktes gleichschenkeliges Dreieck, das im Idealfall natürlich völlig symmetrisch zu sein hat. Da aber der Planet so weit entfernt ist, ist die Grundfläche im Vergleich zu der Höhe des Dreiecks geradezu winzig und hebt sich kaum aus der Wellenfront heraus, wenn sich das Dreieck nach links oder rechts bewegt. Je weiter die Signalquelle entfernt ist, umso geringer wird der Einfluss einer evtl. ungenauen Positionierung oder eines ungenauen Mess-Zeitpunktes, was ja auf dasselbe rauskommt. Der Zeitpunkt der Messung kann daher ruhig etwas ungenau sein. Wenn wir rund um diesen Zeitpunkt etwa eine Minute lang übereinstimmend messen und die Ergebnisse vergleichen, so fällt bei Gültigkeit des Postulats das Ergebnis symmetrisch aus, d.h. um den Idealzeitpunkt herum müssten die Verschiebungen identisch werden, liegt aber $c\pm v$ vor ist das Ergebnis asymmetrisch und an derselben Stelle bzw. am gleichen Zeitpunkt wird die Verschiebung am stärksten ausfallen. Es lässt sich daher unterscheiden, ob ein echter $c\pm v$ - Effekt vorliegt, oder ob er aus einer ungenauen Messung stammt, vorausgesetzt, es handelt sich nicht um Delays, die aus den Geräten und Kabeln kommen. Die lassen sich einerseits durch genaue Verarbeitung der Kabel (identische Materialien und identische Längen etc.) und andererseits durch wiederholte Messungen unter Vertauschen der Geräte (Laptop, Jove-Empfänger, Oszilloskop-Vorsatz, Funkgeräte) vermeiden bzw. ermitteln.“

Harald hat Recht, dass eine Verkippung der Basis bezüglich der Erdoberfläche um einen Meter unerheblich ist. Im Übrigen kann man durch Peilung von einer Antenne zur anderen mit Hilfe des Autokollimations-Fernrohres die tatsächliche Lage der Basis sehr gut bestimmen und weiters durch Einführen des Prismas sehr exakt feststellen, wann der Wellenvektor des Jupiterlichts senkrecht auf dieser Basis steht. Harald meint, dass ein Zeitfenster von 1 – 2 Minuten ausreichend sei. Dem kann ich nicht zustimmen, denn nach meinen obigen Rechnungen beträgt das Zeitfenster nur 1 – 2 Sekunden. Ich begründe das folgendermaßen:

Obige Gleichung (7) gibt in allgemeiner Form an, welchen Wert die Phasendifferenz zwischen einem direkten Signal, aufgefangen an einem Ende der Basis, und einem zweiten Signal, das vom anderen Ende der Basis herübergefunkt wurde, besitzt, wobei beide Signale vom selben „Haken“ im 21 Megahertz Signal getriggert wurden. In der speziellen Konstellation Jupiters, die zurzeit vorliegt, ist der zweite Term gerade maximal, wenn der erste verschwindet, wenn also der Wellenvektor senkrecht auf der Basis steht. Allerdings ist der Betrag des 2. Terms nur ein Tausendstel (V_0/c) vom Maximum des ersten Terms. Diesen Sachverhalt habe ich in Gleichung (8) ausgedrückt. Wohlgermerkt ist dieser kleine Wert – in Laufzeit umgerechnet – von ca. 50 Nanosekunden auf dem Hintergrund von 50 Mikrosekunden Laufzeit zwischen den Basis-Enden zu messen, wie aus Gleichung (4) hervorgeht. Harald sagt, das geht.

Betrachtet man nun ein Zeitfenster von ± 60 Sekunden, wie Harald vorschlägt, so variiert der 1. Term in (8) bei einer Erdfrequenz von $1/86400 \text{ s}^{-1}$ um $\pm 4.36 \times 10^{-3}$. Er übertrifft also den 2. Term, der vom Ätherwind abhängt, schon um mehr als das Vierfache. Deshalb plädiere ich für ein Zeitfenster von 1 bis 2 Sekunden, damit der Störeffekt nicht mehr als 10 % des zu messenden Effekts beträgt. Mit der in der Notiz vom 29.7. beschriebenen Methode ist diese Genauigkeit auch erreichbar. Das weiß jeder, der mal durch ein Fernrohr ohne Nachführung geguckt und beobachtet hat, wie schnell die Sterne durchs Gesichtsfeld sausen.

Wir müssen uns über diese Fragen genaue Rechenschaft ablegen, damit die Messungen hinreichend sorgfältig geplant und durchgeführt werden können. Andernfalls stehen wir bei der anschließenden Auswertung vor Ergebnissen, die nicht befriedigend interpretiert werden können und niemand überzeugen würden. Daher mein Appell an alle: Bitte scharf nach- und mitdenken, und allgemeine Fragen, wie Äthermitführung, ja oder nein, vorläufig zurückstellen.

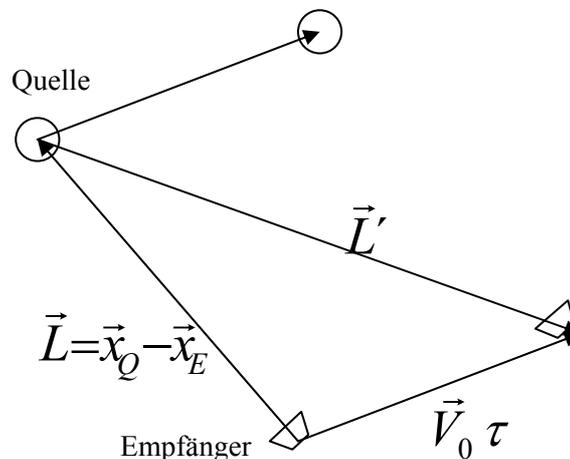
W.E. 31. Juli 2008

Lichtlaufzeiten im Ätherwind

W.E. 30. Juli 08

In meiner Notiz vom 11. November 2007 hatte ich im Prinzip auseinandergesetzt, weshalb es nicht möglich ist, mit einer Quelle (GPS-Satellit) und zwei Empfängern auf der Erde den Ätherwind in erster Ordnung zu messen. Die entsprechenden Überlegungen gehen auf Ronald Hatch zurück und wurden mir von Norbert Feist nahe gebracht.

Betrachten wir zunächst eine Quelle und einen Empfänger, die sich mit der Geschwindigkeit \vec{V}_0 bezüglich des ruhenden Äthers im Abstand L bewegen. Nach einer Zeit τ sind beide um die Strecke $\vec{V}_0 \tau$ versetzt. Ein Lichtsignal, das zur Zeit $t = 0$ abgestrahlt wird, muss den Weg \vec{L}' nehmen, um den versetzten Empfänger nach der Laufzeit $\tau = L'/c$ zu erreichen:



Offenbar gilt nach dem Cosinussatz:

$$L'^2 = L^2 + V_0^2 \tau^2 - 2\tau \vec{L} \cdot \vec{V}_0 \quad (1)$$

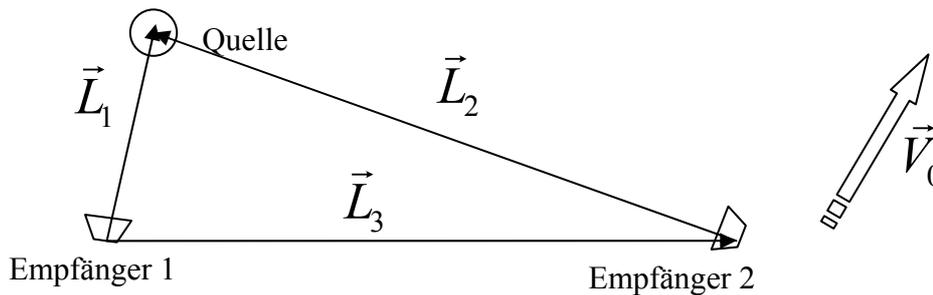
Mit $L' = c\tau$ bekommt man nach Auflösung der resultierenden quadratischen Gleichung:

$$\tau = \frac{-\vec{L} \cdot \vec{V}_0 + \sqrt{(\vec{L} \cdot \vec{V}_0)^2 + L^2 (c^2 - V_0^2)}}{c^2 - V_0^2} \quad (2)$$

Entwickelt man bis zur ersten Ordnung in V_0/c , so findet man für die Laufzeit:

$$\tau \approx \frac{L}{c} - \frac{\vec{L} \cdot \vec{V}_0}{c^2} + O\left(\frac{V_0^2}{c^2}\right) \quad (3)$$

Nun betrachten wir eine Quelle, die Signale gleichzeitig zu zwei Empfängern aussendet, welche dort jedoch aufgrund unterschiedlicher Abstände zu verschiedenen Zeiten ankommen.



Außerdem werde bei Ankunft des Signals bei Empfänger 2 von dort ein Signal in Richtung von Empfänger 1 ausgesandt. Gemäß (3) ergeben sich folgende Laufzeiten in erster Ordnung:

$$\begin{aligned}\tau_1 &= \frac{L_1}{c} - \frac{\vec{L}_1 \cdot \vec{V}_0}{c^2} \\ \tau_2 &= \frac{L_2}{c} - \frac{\vec{L}_2 \cdot \vec{V}_0}{c^2} \\ \tau_3 &= \frac{L_3}{c} - \frac{\vec{L}_3 \cdot \vec{V}_0}{c^2}\end{aligned}\quad (4)$$

Führt man bei Empfänger 1 einen Phasenvergleich des direkten Signals mit jenem durch, welches den Umweg über Empfänger 2 genommen hat, so hat man folgende Differenz zu bilden:

$$\tau_1 - (\tau_2 + \tau_3) = \frac{L_1 - (L_2 + L_3)}{c} - \frac{\vec{V}_0 \cdot (\vec{L}_1 - \vec{L}_2 - \vec{L}_3)}{c^2}\quad (5)$$

Wie aber aus umseitiger Figur ersichtlich, gilt $\vec{L}_1 = \vec{L}_2 + \vec{L}_3$, so dass der zweite Term in (5) verschwindet. Der Ätherwind hat in erster Ordnung keinen Einfluss auf die Laufzeitdifferenz (5).

Denkt man sich Empfänger 2 einfach als Spiegel ausgeführt, der die ankommenden Signale zu Empfänger 1 reflektiert, so stellt die beschriebene Anordnung einen Youngschen Interferenzversuch dar. Das Interferenzbild ist offenbar unabhängig vom Ätherwind, so dass man so tun kann, als wäre die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts nach allen Seiten gleich c , obwohl ein Ätherwind weht. Experimentell kann man diese Annahme – das Postulat der SRT – aus den beschriebenen Gründen nur schwer widerlegen, auch wenn es nicht den physikalischen Tatsachen entspricht.

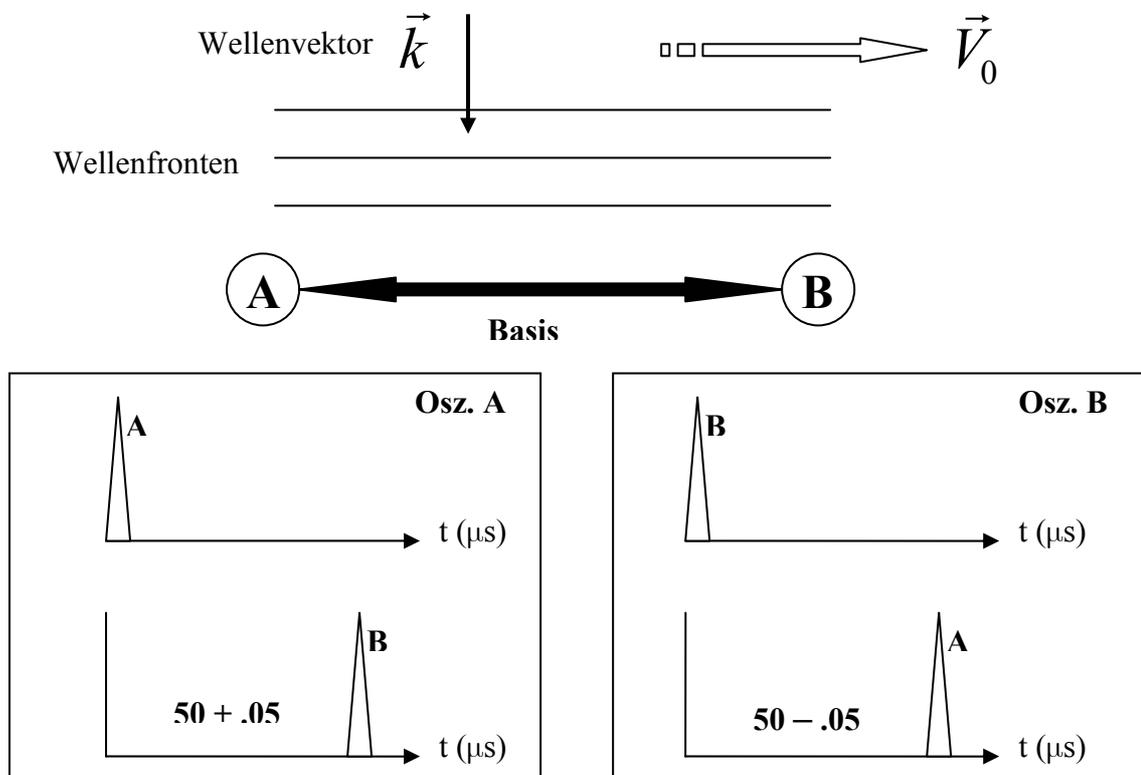
Zur Signalauswertung

W.E. 22. Aug. 08

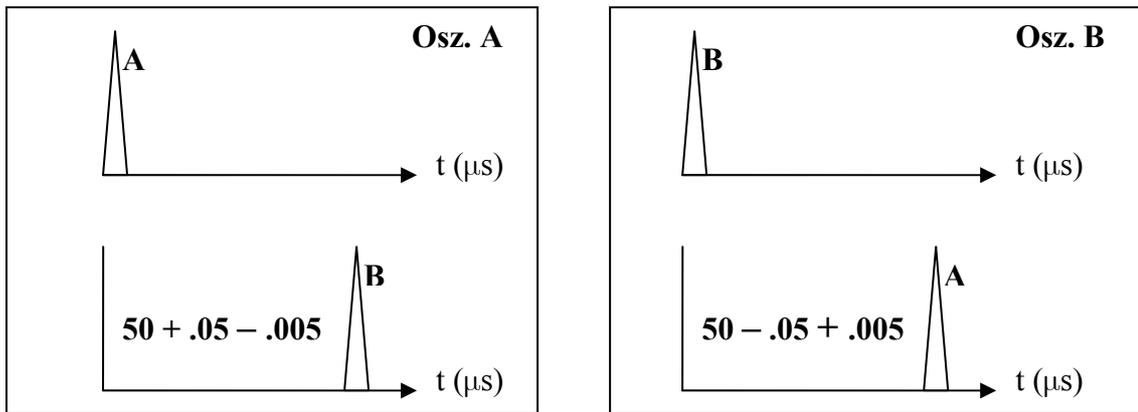
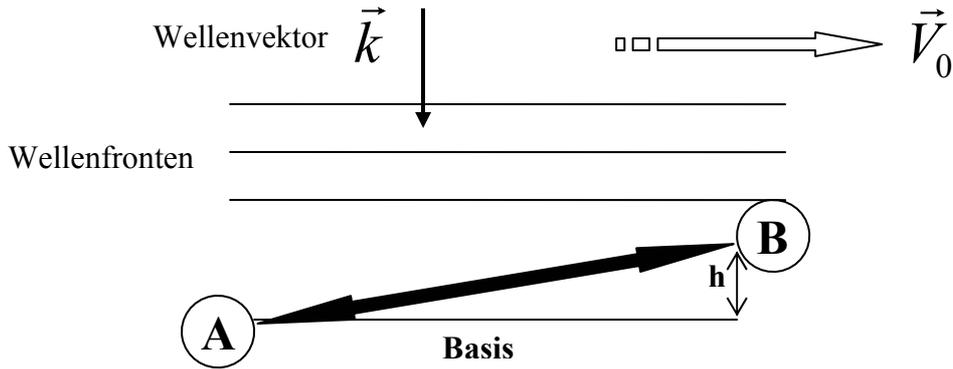
Zu einem bestimmten Zeitpunkt stehe der Wellenvektor \vec{k} senkrecht auf der Basis. Der Oszillograph am Ende A zeichnet in der oberen Spur das direkte Signal A auf, welches hier der Übersichtlichkeit halber mit einem einzigen, identifizierbaren Impuls charakterisiert wird.

Zum gleichen Zeitpunkt wird der am Ende B empfangene, identische Impuls entlang der Basis nach A gesendet und als Signal B in der unteren Spur des Oszillographen aufgezeichnet. Die Verzögerungszeit betrage $50 \mu\text{s} + 50 \text{ ns}$, weil der „Ätherwind“ dem Signal mit der Geschwindigkeit \vec{V}_0 entgegen bläst. (Wem diese Ausdrucksweise nicht behagt, möge sich in das absolute System begeben und die Messanordnung mit der Geschwindigkeit $-\vec{V}_0$ bewegen.)

Am Ende B der Basis herrschen im Oszillographen B analoge Verhältnisse. Dort trifft das direkte Signal B zuerst ein, während A um $50 \mu\text{s} - 50 \text{ ns}$ verzögert ist, weil der „Ätherwind“ von A nach B weht. Durch rechnerische Überlagerung der unteren Spuren sollte es möglich sein, den Einfluss von \vec{V}_0 zu bestimmen, wobei allerdings nur die Komponente parallel zur Basis eingeht.



Es erhebt sich nun die Frage, mit welcher Genauigkeit die Wellenfronten parallel zur Basis liegen müssen, damit die Messung noch aussagekräftig ist. Wir betrachten daher den Fall, bei dem aufgrund der Erdrotation die Basis gegenüber der Wellenfront um die Strecke h verkippt ist. Wenn der Einfluss auf den zu messenden Effekt nicht mehr als 10 % betragen soll, darf h nicht länger als 1.5 m sein, denn das Licht benötigt 5 ns zum Durchlaufen dieser Strecke.



Am Oszillographen A kommt nun das Signal B in der unteren Spur um 5 ns eher an, und am Oszillographen B kommt das Signal A unten um 5 ns später an. Hätten wir $h = 15$ m gewählt, so wäre der Einfluss des Ätherwinds exakt kompensiert worden und wir hätten das Resultat der SRT erhalten: Verzögerungszeit in beiden Richtungen exakt $50 \mu\text{s}$.

Aus dieser Betrachtung erhellt, dass der Zeitpunkt der Messung, bei dem die Wellenfront parallel zur Basis ist, ziemlich genau bestimmt werden muss. Dies ist nach Harald aus den Signalen selbst möglich, dennoch plädiere ich noch immer für eine optische Absicherung, denn an dieser Stelle wird die Messung verständlicherweise am stärksten attackiert werden. Setzt man den Zeitpunkt exakter Parallelität $t = 0$, so erhält man mit einer Erdfrequenz Ω und einer Basislänge b eine Höhe h :

$$h = b\Omega\tau$$

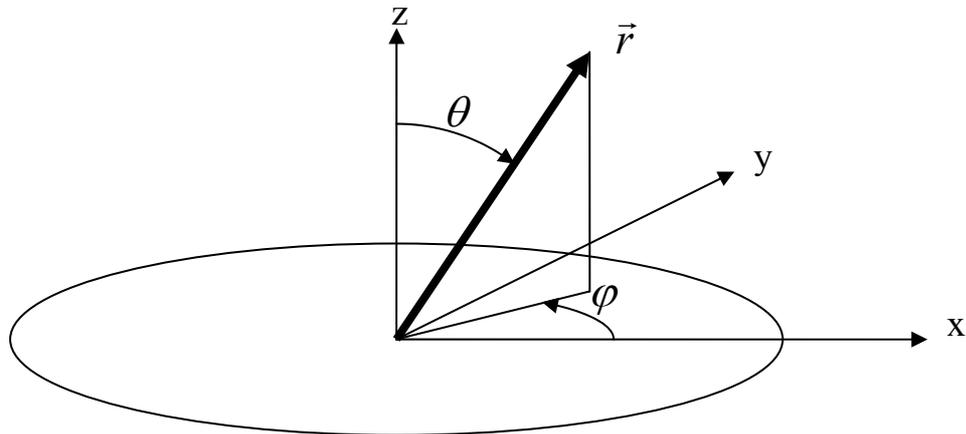
bzw. ein Zeitfenster von

$$\tau = \frac{h}{b\Omega} = \frac{1.5}{15000} \frac{86400}{2\pi} \approx 1.38\text{s}$$

Da dieses Intervall im Sekundenbereich liegt, kann der Messzeitpunkt sehr wohl mit GPS – Zeit und den direkten Signalen an beiden Enden festgelegt werden, wie Harald dargelegt hat. Selbstverständlich wird man über einen viel längeren Zeitraum messen, um den richtigen Zeitpunkt genau einzukreisen.

Lieber Harald,

im Vorgriff auf die Formeln Deines Astronomen-Freundes hier ein wenig Grundsätzliches über Koordinatentransformationen. Wir werden voraussichtlich das auch noch brauchen, denn wir müssen den Geschwindigkeitsvektor transformieren. Am besten geht man immer von kartesischen Koordinaten aus. Legen wir also ein solches System auf die Ekliptik:



Der Ortsvektor \vec{r} mit den kartesischen Koordinaten (x, y, z) drückt sich durch Polarkoordinaten folgendermaßen aus:

$$x = r \sin \theta \cos \varphi, \quad y = r \sin \theta \sin \varphi, \quad z = r \cos \theta \quad (1)$$

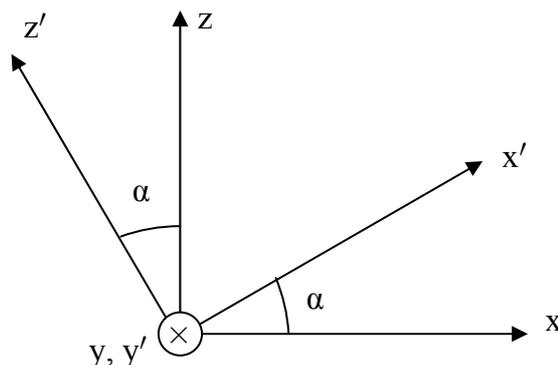
Ein Geschwindigkeitsvektor \vec{v} mit den kartesischen Koordinaten (v_x, v_y, v_z) hat die Polarkoordinaten:

$$\begin{aligned} v_x &= v_r \sin \theta \cos \varphi - v_\varphi \sin \varphi + v_\theta \cos \varphi \cos \theta \\ v_y &= v_r \sin \theta \sin \varphi + v_\varphi \cos \varphi + v_\theta \sin \varphi \cos \theta \\ v_z &= v_r \cos \theta - v_\theta \sin \theta \end{aligned} \quad (2)$$

Die Umkehrtransformation lautet:

$$\begin{aligned} v_r &= v_x \sin \theta \cos \varphi + v_y \sin \theta \sin \varphi + v_z \cos \theta \\ v_\varphi &= -v_x \sin \varphi + v_y \cos \varphi \\ v_\theta &= v_x \cos \theta \cos \varphi + v_y \cos \theta \sin \varphi - v_z \sin \theta \end{aligned} \quad (3)$$

Außerdem müssen wir wissen, wie sich kartesische Koordinaten transformieren, wenn das Koordinatensystem um eine Achse gedreht wird. Auf diese Weise entsteht nämlich aus dem ekliptikalen das galaktische Koordinatensystem, bzw. aus dem Himmelsäquatorsystem das ekliptikale System. Wir drehen etwa um die y -Achse um den Winkel α :



Die Koordinatentransformation lautet:

$$x' = x \cos \alpha + z \sin \alpha, \quad z' = -x \sin \alpha + z \cos \alpha, \quad y' = y \quad (4)$$

Für einen Vektor gilt die analoge Transformation:

$$v_x' = v_x \cos \alpha + v_z \sin \alpha, \quad v_z' = -v_x \sin \alpha + v_z \cos \alpha, \quad v_y' = v_y \quad (5)$$

Die jeweiligen Umkehrtransformationen sind aus diesen Formeln leicht zu ermitteln, z.B.

$$v_x = v_x' \cos \alpha - v_z' \sin \alpha, \quad v_z = v_x' \sin \alpha + v_z' \cos \alpha, \quad v_y = v_y' \quad (6)$$

Damit verfügen wir über das Werkzeug, zwei Geschwindigkeitsvektoren zu addieren:

$\vec{u} = \vec{V} + \vec{v} = \{(V_x + v_x), (V_y + v_y), (V_z + v_z)\}$. Nehmen wir an, im galaktischen System sei \vec{V} in Richtung τ Leonis gegeben, wobei der Betrag des Vektors V_r ist und die Winkel θ' und φ' gegeben seien. Im gestrichenen (galaktischen) System haben wir nach (2) die kartesischen Komponenten:

$$V_x' = V_r \sin \theta' \cos \varphi', \quad V_y' = V_r \sin \theta' \sin \varphi', \quad V_z' = V_r \cos \theta' \quad (7)$$

Nun transformieren wir mit (6) ins ekliptikale System durch Drehung um den Winkel α :

$$V_x = V_r (\sin \theta' \cos \varphi' \cos \alpha - \cos \theta' \sin \alpha), \quad V_y = V_r \sin \theta' \sin \varphi' \quad (8)$$

$$V_z = V_r (\sin \theta' \cos \varphi' \sin \alpha + \cos \theta' \cos \alpha)$$

Die Erde hat in diesem System nur die Geschwindigkeitskomponente v_φ und damit nach (2) die kartesischen Komponenten:

$$v_x = -v_\varphi \sin \varphi, \quad v_y = v_\varphi \cos \varphi, \quad v_z = 0 \quad (9)$$

Der Winkel φ hängt von der Jahreszeit ab, zu der gemessen wird. Addition von (8) und (9) liefert die kartesischen Komponenten der Gesamtgeschwindigkeit im ekliptikalen System:

$$u_x = V_r (\sin \theta' \cos \varphi' \cos \alpha - \cos \theta' \sin \alpha) - v_\varphi \sin \varphi$$

$$u_y = V_r \sin \theta' \sin \varphi' + v_\varphi \cos \varphi \quad (10)$$

$$u_z = V_r (\sin \theta' \cos \varphi' \sin \alpha + \cos \theta' \cos \alpha)$$

Nun muss noch unter Berücksichtigung der Schiefstellung (Winkel β) der Erdachse unter Verwendung von (5) auf das Äquatorsystem der Erde transformiert werden. Wir legen ein kartesisches System (x'', y'', z'') auf den Himmelsäquator und erhalten analog zu (4) die Transformation bezüglich der Ekliptik:

$$x'' = x \cos \beta + z \sin \beta, \quad z'' = -x \sin \beta + z \cos \beta, \quad y'' = y \quad (11)$$

Der Nordpol liegt nun auf der z'' -Achse. Die Geschwindigkeitskomponenten von \vec{u} transformieren sich analog zu (5):

$$u_x'' = u_x \cos \beta + u_z \sin \beta, \quad u_z'' = -u_x \sin \beta + u_z \cos \beta, \quad u_y'' = u_y \quad (12)$$

Diese Transformation bezieht sich auf den Erdmittelpunkt, muss aber nicht für die rotierende Messbasis korrigiert werden, weil die Rotationsgeschwindigkeit kleiner ist als der Fehler von V_r . Da die Basis parallel zur Äquatorebene ausgerichtet ist, kann die u_z'' -Komponente unberücksichtigt bleiben. Der relevante Geschwindigkeitsbetrag in der Basisebene ist:

$$\sqrt{u_x''^2 + u_y''^2} = \sqrt{(u_x \cos \beta + u_z \sin \beta)^2 + u_y^2} \quad (13)$$

Er muss noch auf die Basisrichtung zum Zeitpunkt der Messung projiziert werden.

Schließlich noch ein paar Formeln zur Koordinatentransformation zwischen gekippten Systemen wie z.B. Himmelsäquator gegen Ekliptik. Die Astronomen scheinen diese Formeln aus der sphärischen Geometrie zu beziehen, sie folgen aber leichter einsehbar aus (1) und (4).

Setzt man in (4) sowohl auf der rechten wie auf der linken Seite Polarkoordinaten nach (1) ein, so erhält man:

$$\begin{aligned} r' \sin \theta' \cos \varphi' &= r \sin \theta \cos \varphi \cos \alpha + r \cos \theta \sin \alpha \\ r' \cos \theta' &= -r \sin \theta \cos \varphi \sin \alpha + r \cos \theta \cos \alpha \\ r' \sin \theta' \sin \varphi' &= r \sin \theta \sin \varphi \end{aligned} \quad (14)$$

Daraus ergeben sich die Winkelbeziehungen:

$$\begin{aligned} \cot \varphi' &= \cot \varphi \cos \alpha + \frac{\cos \theta \sin \alpha}{\sin \varphi} \\ \cos \theta' &= -\sin \theta \cos \varphi \sin \alpha + \cos \theta \cos \alpha \end{aligned} \quad (15)$$

da für große Entfernungen $r' = r$ gilt.

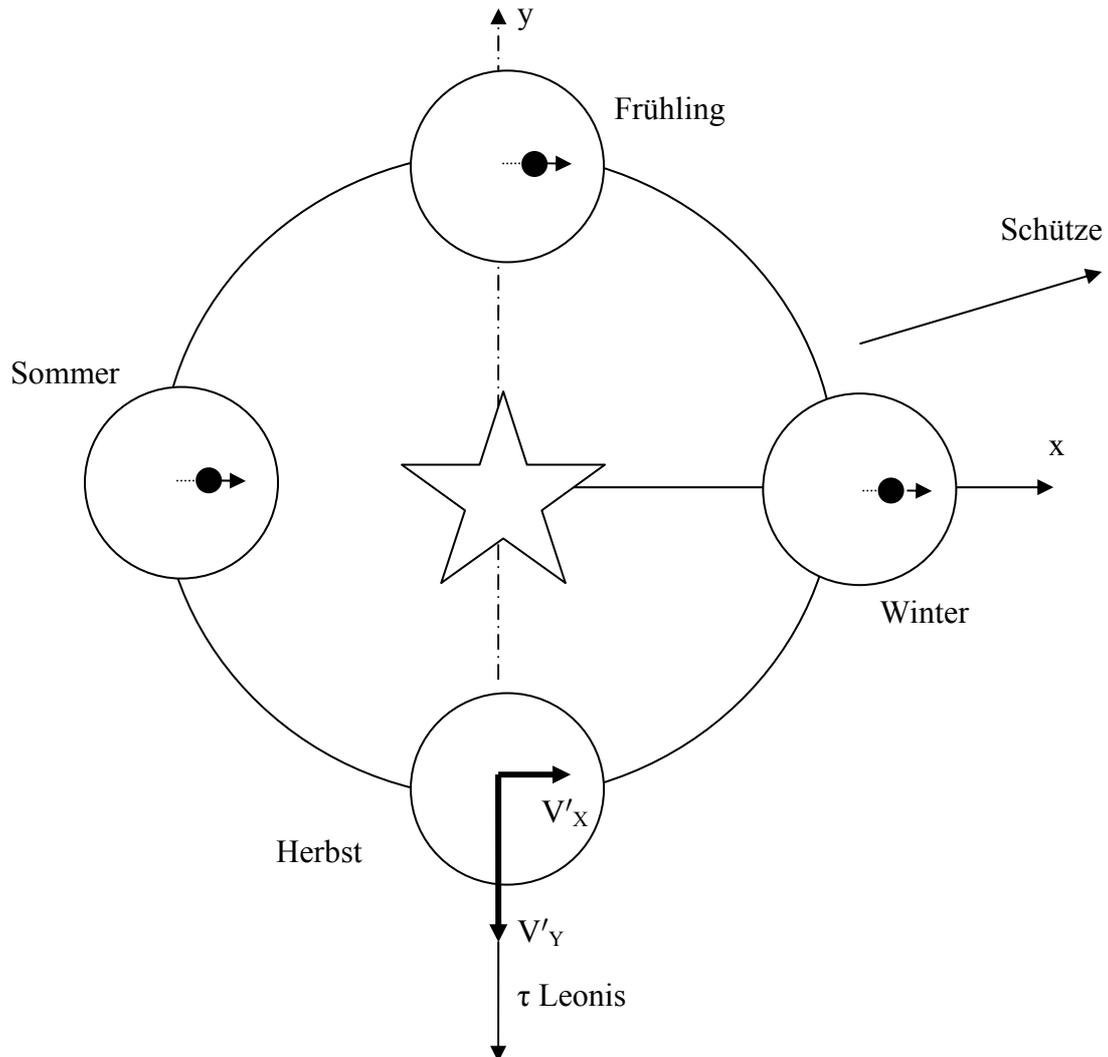
Die Konventionen, wie bei alldem Pole und Drehachsen zu legen sind, muss der Astronom sagen. Die Kippwinkel α und β müsste er ebenfalls wissen. Soviel Astronomie vom Physiker...

7. Okt. 2008

Lieber Harald,

meine Formeln (3, 4) sind natürlich alle richtig, dem Astronomen nur ungewohnt. Er weiß nicht, was er mit v_θ , v_φ anfangen soll, was daran liegt, dass diese Größen bezüglich der Fixsterne meist unmessbar klein sind und Null gesetzt werden. Bei der Bewegung der Erde um die Sonne geht das natürlich nicht. Man braucht offensichtlich v_φ , v_r . Nur v_θ ist echt Null auf einer Keplerbahn. Es genügt auch, die Drehformel nur für eine Achse anzuschreiben, wenn man sich diese geschickt wählt. Evt. kann man eine zweite Drehung draufsetzen, wenn nötig. In unserem Fall ist alles viel einfacher, wie ich gestern nach eingehendem Studium der realen Verhältnisse bemerkt habe.

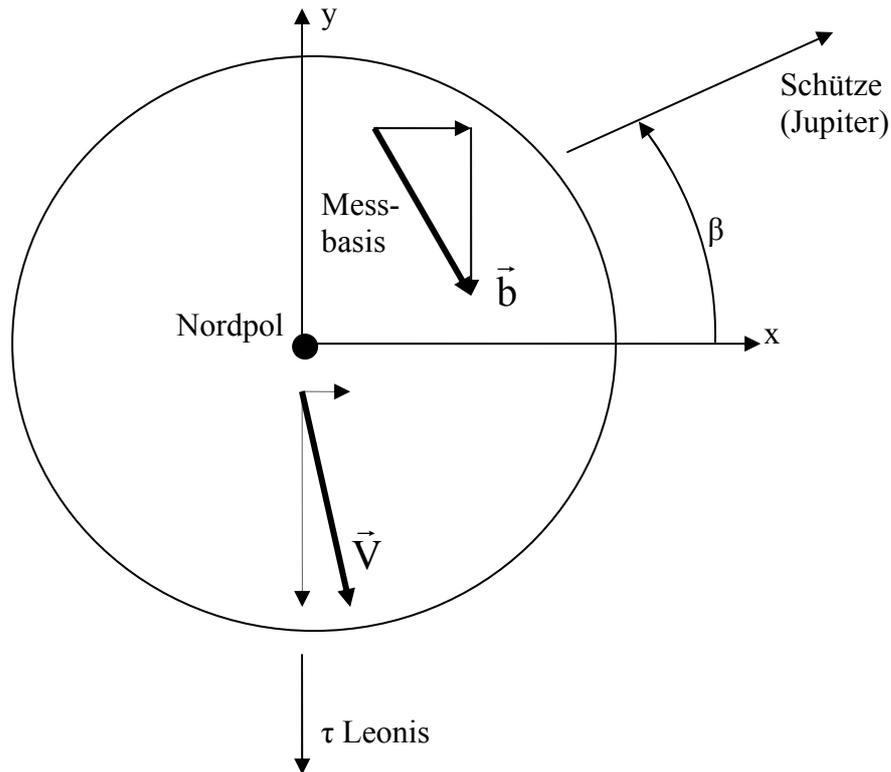
Der Stern τ Leonis, auf den das Sonnensystem zufliegt, liegt nämlich sehr genau auf der Ekliptik, so dass wir uns um das galaktische System überhaupt nicht kümmern müssen. Die Erde liegt ja per Definitionem auf der Ekliptik und hat damit keine Geschwindigkeitskomponente senkrecht dazu. Weiterhin liegt τ Leonis sehr genau auf der Verbindungslinie Frühlings-Herbstpunkt und, wie es der Zufall will, war da auch die Erde, als Du gerade gemessen hast. Die Drehachse, die die Horizontalebene der Erde in die Ekliptik überführt, geht natürlich durch den Frühlingspunkt und die nehmen wir nun als y-Achse in unserem kartesischen System. Das sieht dann etwa so aus:



Ich habe hier die Draufsicht auf die Ekliptik gezeichnet, mit der Erde in vier Positionen mit ihrer angedeuteten verkippten Achse. Im Herbst, als Du gemessen hattest, stand die Tangentialgeschwindigkeit V'_x ziemlich genau senkrecht auf der Geschwindigkeit V'_y des Sonnensystems. Nun drehen wir um die y-Achse um den Kippwinkel der Erdachse $\alpha = 23.5^\circ$ und erhalten mit Gleichung (6)

$$V_x = V'_x \cos \alpha, \quad V_z = V'_x \sin \alpha, \quad V_y = V'_y$$

da V'_z verschwindet. Nun kennen wir die Geschwindigkeitskomponenten im Horizontalsystem der Erde und müssen sie nur noch auf die Messbasis projizieren. Dazu eine Zeichnung mit Blick auf die Erde entlang der Erdachse:



Wir suchen also das Skalarprodukt der Geschwindigkeit mit der Basis:

$$\vec{V} \cdot \vec{b} = V_x b_x + V_y b_y + V_z b_z$$

Da die Basis senkrecht auf der Richtung zum Jupiter steht, haben wir

$$b_x = b \sin \beta, \quad b_y = b \cos \beta, \quad b_z = 0, \quad \beta \approx 20^\circ$$

Setzt man alles zusammen, dann bekommt man für die relevante Geschwindigkeitskomponente:

$$\frac{\vec{V} \cdot \vec{b}}{b} = V'_x \cos \alpha \sin \beta + V'_y \cos \beta$$

In Zahlen etwa:

$$V'_x = 30 \text{ km/s}, \quad V'_y = 368 \text{ km/s}, \quad \cos 23.5^\circ = 0.917, \quad \cos 20^\circ = 0.94, \quad \sin 20^\circ = 0.34$$

ergibt das:

$$\frac{\vec{V} \cdot \vec{b}}{b} = 355 \text{ km/s}$$

Ich hoffe, dass die Formeln jetzt übersichtlich und einsehbar sind. Liebe Grüße: Wolfgang

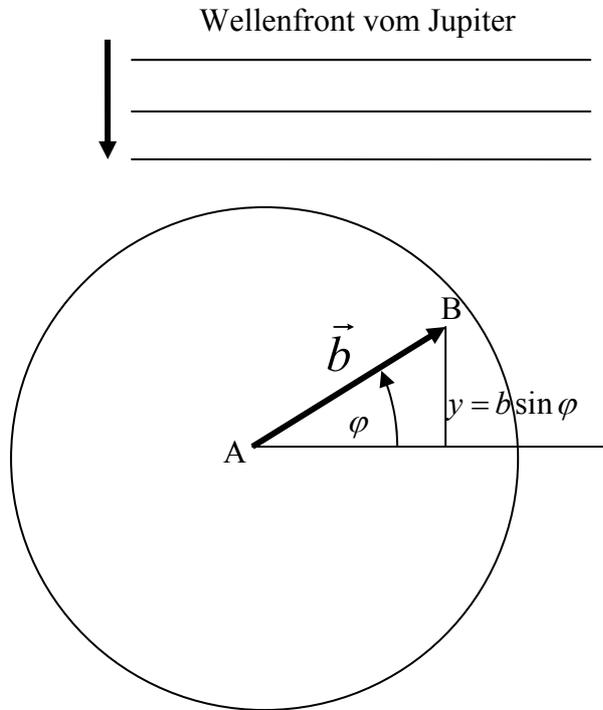
8. Okt. 2008

Lieber Harald,

es war mir schon in Salzburg aufgefallen, dass an Deiner letzten Kurve im Vortrag etwas nicht stimmen konnte. Ich meine den Zeitunterschied zwischen dem Eintreffen der Wellenfront an den Enden der Basis, der durch die Erddrehung im Lauf der Zeit hervorgerufen wird. Nach meiner Erinnerung hattest Du die Verzögerungszeit über ein Zeitintervall von etwa ± 30 s aufgetragen und als Ergebnis eine gekrümmte Kurve erhalten,

von der Du sagtest, dass sie aus den Messdaten der 14000 frames gewonnen sei. Irgendetwas muss da schief gelaufen sein.

Zur Vereinfachung kann man sich die Basis der Länge b auf den Nordpol verlegt denken:



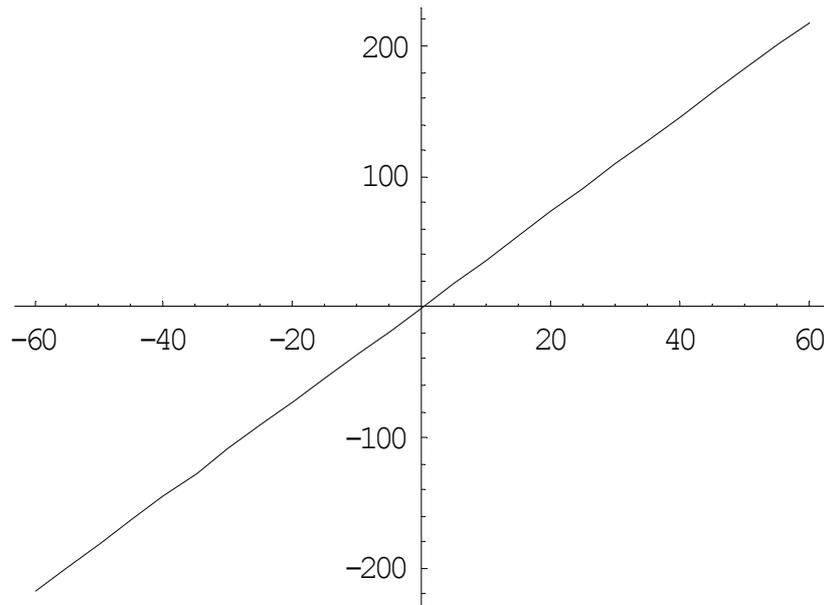
Für den Drehwinkel gilt

$$\varphi = \Omega_E t, \quad \Omega_E = 2\pi/86400 \text{ s}^{-1}$$

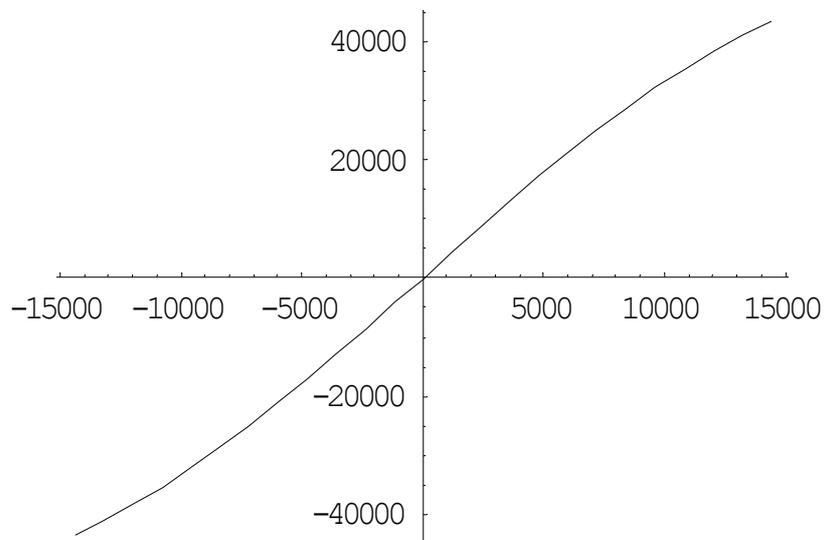
wobei Ω_E die Rotationsfrequenz der Erde ist. Die Verzögerungszeit, zu der eine Wellenfront bei A später ankommt als bei B ist:

$$\tau = \frac{y}{c} = \frac{b}{c} \sin \Omega_E t$$

Bei einer Basis von 15 km Länge erhalte ich über ein Intervall von ± 60 s diese Verzögerungszeit in ns:



Bei 13.8 s erhält man etwa 50 ns, wie wir immer gesagt haben. Eine Krümmung der Kurve ist in diesem Zeitmaßstab überhaupt nicht zu erkennen. Erst nach ca. 4 Std. (14400 s) wird die Krümmung deutlich:



So etwa sah Deine Kurve in Salzburg aus, aber Du hattest doch nicht ± 4 Stunden lang gemessen. Was also ist los mit der Kurve, die Du gezeigt hast? Diese Kurve muss ja in irgendeiner Form ins Papier und sie muss stimmen, denn das ist der einfachste Teil der Übung.

Liebe Grüße von
Deinem Wolfgang

Auszug aus Haralds E-Mail Antwort auf obigen Brief vom 9. Oktober 2007:

Ein Problem, das ich schon auf dem Gaisberg im Auto angedeutet hatte, beschäftigt mich. Bitte schau Dir mal beiliegenden Brief an.

Keine der von mir dargestellten Kurven enthalten gemessene Zeiten, sondern die erste enthält die optisch ablesbaren Differenzen der Peaks in den Bildern und eine Gegenüberstellung mit der Situation, die sich nach der SRT ergeben müsste. Die zweite Kurve stellt ebenfalls die Differenzen der gesendeten Peaks dar (also auch nicht die unterschiedlichen Einfallzeiten der Jupitersignale) - beide Diagramme betreffen also nicht die Einfallzeiten der Wellenfront, sondern die gesendeten und empfangenen Meßsignale. Sie wurden nur mittels Stichproben schnell-schnell zusammengestellt, damit für den Vortrag etwas da ist und wahrscheinlich war ich nicht nur schlampig sondern kann auch nicht richtig mit diesem Excel-Plugin umgehen, welches Diagramme erzeugt.

Diese Diagramme waren auch nicht für die Veröffentlichung gedacht. Das kommt doch alles noch ganz genau!

Keine Sorge, ohne Deine Überprüfung geht ohnehin nichts hinaus!

16. Okt. 2008

Lieber Harald,

Deine leicht veränderte Präsentation finde ich nach wie vor sehr gut und glaube auch, dass man sie aus der Hand geben kann, wenn man ausdrücklich dazu sagt, dass es sich um ein vorläufiges, punktuelles Ergebnis handelt. Allerdings muss man damit rechnen, dass eine Reihe von Fragen provoziert wird, auf die man bereitwillig Auskunft geben muss. Unzureichende oder ausweichende Antworten wären gefährlich, weil sie die Glaubwürdigkeit des punktuellen Ergebnisses herabsetzen könnten.

Andererseits müssen alle zu erwartenden Fragen ohnehin zuerst von uns selbst gestellt und in einer Publikation beantwortet werden. Wir sind also darauf vorbereitet und können uns einer Diskussion z.B. mit Herrn Simlinger, der durchaus technisch-physikalisches Verständnis zu haben scheint, getrost stellen.

Nun fange ich mal an, solche Fragen, die mir bei unbefangener Betrachtung Deiner Präsentation durch den Kopf gehen, und die auch die Herren Simlinger oder Feist (oder Thim) stellen könnten, zu formulieren.

Der Jupiter sendet offenbar bursts, die unregelmäßige Abstände haben. Was ist die mittlere burst-Frequenz? Dies ist wichtig, weil es sein könnte, dass zum Transitzeitpunkt zufällig gerade Schweigen angesagt ist.

Du sprichst von 4 Messtagen mit 2 Oszilloskopen und 14000 frames, die durchgesehen werden müssen. Ein frame dauert 2 μ s. Das ergibt eine pro Oszilloskop real aufgezeichnete Zeit von 3.5 ms. Nachdem Du etwa ± 20 s (??) vor und nach dem Transit gemessen hast, müssen große zeitliche Lücken zwischen den frames liegen. Kann man das dokumentieren?

Damit erhebt sich die Frage nach der Triggerung der Oszilloskopen. Vermutlich geschah sie mit Hilfe der Signale selbst durch Setzen eines Schwellwertes. Das hat den Nachteil, dass man den Anfang des Wellenzugs nicht sehen kann. Allerdings gibt es das „transient recorder“ Verfahren, bei dem ständig mit hoher Zeitauflösung registriert und wieder gelöscht wird. Bei Erreichen eines Schwellwerts stoppt man die Löschung und sieht sich an, was in einem kleinen Zeitintervall vor und nach dem peak aufgezeichnet wurde. So scheint es bei Dir gewesen zu sein, denn der Anfang Deiner direkten Signale ist immer gut sichtbar. Die Schwierigkeit besteht nun darin, dass man 50 μs nach dem peak noch immer mit hoher Zeitauflösung aufnahmefähig sein möchte, wenn das gesendete Signal ankommt. Wie wurde dieses Problem technisch gelöst?

Die Rohinformation, aus der das Ergebnis über die jeweiligen Laufzeiten extrahiert werden soll, liegt in den frames mit den zwei Signalen, nämlich dem direkten und dem gesendeten, wobei 50 μs delay Zeit (exakt?) der gemeinsamen Darstellung halber in die Direktleitung eingebaut wurde. Nachdem sich im Intervall $t = \pm 20 \text{ s}$ das gesendete Signal gegenüber dem direkten um $\tau = \pm 70 \text{ ns}$ wegen der Erddrehung verschiebt, kann man punktweise eine Kurve $\tau(t)$ ausmessen, wobei zu den Zeitpunkten t gerade bursts vom Jupiter registriert wurden. Insgesamt müssen 8 solcher Kurven ermittelbar sein (4 Tage, 2 Oszilloskope). Man sollte eine davon in die Präsentation aufnehmen, um darzutun, dass man etwas Realistisches einsehbar gemessen hat. Das schafft auf jeden Fall Vertrauen. Angabe von Tag, Uhrzeit, Station ist selbstverständlich.

Es ist besonders wichtig, möglichst nahe am Zeitpunkt $t = 0$ (Transit) über frames, d.h. Jupiter-bursts zu verfügen. Das Einzelergebnis, das Du mitteilst, muss aus ganz bestimmten frames gewonnen sein, für die Datum, Uhrzeit, Station vorliegen. Diese Angaben gehören in die Präsentation. Die für dieses Einzelergebnis benötigten frames sollten gezeigt werden, aber das ist, glaube ich, schon der Fall. Nur die Zeitzuordnung zum Transit fehlt.

Die Übermittlung der Signale von Station A zu B kommt zu stiefmütterlich weg, wohl weil der Funker in die Toskana entschwinden war. Es handelt sich aber hier um einen ganz wichtigen Teil, der von der Experimentierkunst Deines Teams zeugt. Zur formgetreuen Übertragung von 20 MHz Signalen benötigt man eine sehr hohe Trägerfrequenz. Es stehen Amateurbänder zwischen 1 und 11 GHz zur Verfügung. Welches Band wurde gewählt? War die Übertragung digital oder analog? Welche Sendeleistung, welche Antennen wurden verwendet? Amplituden- oder Frequenzmodulation? Wurden kommerzielle Sender/Receiver verwendet, deren Datenblätter man genauso einsehen kann wie die der NASA Jove-Receiver? All dies hätte ich ja in Graz schon Deinen Funker gefragt, wenn es möglich gewesen wäre.

Abgesehen von der Mitteilung des Einzelergebnisses könnte man noch die Strategie ausführen, nach der die 14000 frames ausgewertet werden sollen. Wenn ich es richtig verstanden habe, dienen die Messungen an vier Tagen nur zur Absicherung eines Ergebnisses, das man im Prinzip auch an einem einzigen Tag ermitteln könnte. Auf diese Weise lässt sich der Messfehler eingrenzen. Die Messungen vor und nach der Transitzeit dienen vor allem zur Festlegung des richtigen Messzeitpunktes und zur Unterscheidung zwischen Einstein und Lorentz, richtig? Das ist natürlich sehr wichtig, denn man wird uns vorhalten, zum falschen Zeitpunkt gemessen zu haben. Schließlich lässt sich die Zeitdifferenzbildung der gesendeten Signale noch etwas systematisieren, wie ich Dir in Graz ausgeführt habe. Viel bringt es allerdings nicht, weil auf jedem frame nur wenige Schwingungen zu sehen sind. In meiner Ignoranz hatte ich geglaubt, dass der Jupiter kontinuierlich, jedoch stark moduliert emittiert.

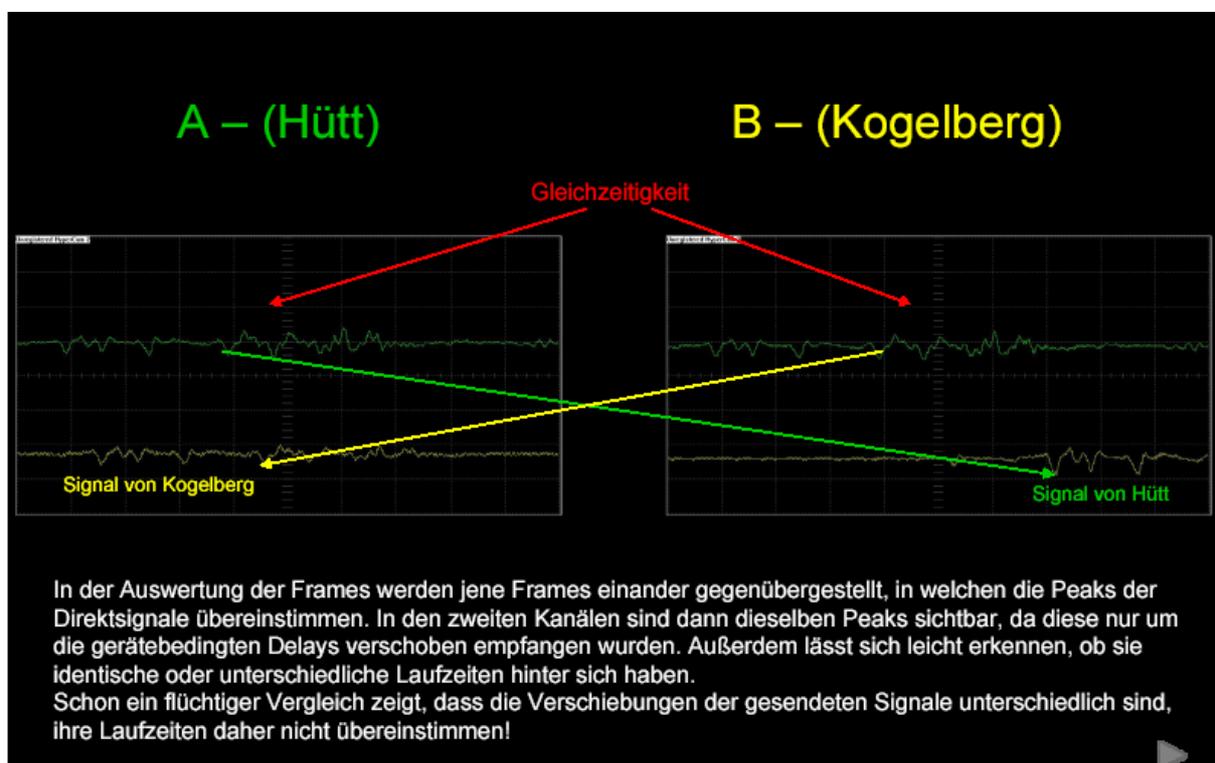
In diesem Fall hätte man die Differenzbildung durch Vergleich sehr vieler Schwingungsperioden wesentlich präziser machen können.

Ein Strategieexposé zur Auswertung könntest Du auch als Anhang an die Präsentation mitverteilen. Das wäre wiederum eine vertrauensbildende Maßnahme. Ich denke schon, dass man Deine Präsentation in ihrer Vorläufigkeit jetzt verbreiten sollte, denn es kommt uns nicht auf den gemessenen Zahlenwert an, der ohnehin bekannt ist. Vielmehr sollte eine gewisse Priorität über die Durchführung des Versuchs reklamiert werden, was nach den vorliegenden Ergebnissen (noch ohne verantwortbare Fehlerbalken!) möglich ist. Falls Du Simlinger von der Sinnhaftigkeit des Experiments (das gar nichts mit Relativitätstheorie, sondern nur mit Sagnac und anisotroper CBR zu tun hat) überzeugen kannst, und er darüber irgendwo positiv schreibt, dann wäre schon viel gewonnen.

Soviel Kommentar für heute. Mit herzlichen Grüßen
Dein Wolfgang

PS siehe nächste Seite

Hier noch eine Ungereimtheit, die mir auffiel. Auf diesem Bild herrscht tatsächlich völlige Gleichzeitigkeit zwischen den Direktsignalen in A und B. Das geht nur, wenn die Oszillographen innerhalb von ca. 20 ns gleichzeitig getriggert wurden und der Triggerzeitpunkt auf besser als 1 s am Transit lag. War das alles der Fall? Und kann man das irgendwie dokumentieren, z.B. durch Einspiegelung der GPS-Zeit in die Oszillogramme?



19. Okt. 2008

Lieber Wolfgang

Die Beantwortung der Fragen wird im Manuskript ohnehin erfolgen, denn Deine Fragen sind sehr wichtig, weil ich selbst gar nicht auf die Idee käme, auf so manche Details einzugehen.

Der Jupiter sendet offenbar bursts, die unregelmäßige Abstände haben. Was ist die mittlere burst-Frequenz? Dies ist wichtig, weil es sein könnte, dass zum Transitzeitpunkt zufällig gerade Schweigen angesagt ist.

Die Frequenz der Cyclotron-Strahlung, so wie wir sie gewählt haben, bewegte sich im Durchschnitt im Bereich um 10 MHz. Das haben wir, um Galactic Noise und Rauschen unsichtbar zu machen, mit einem Schwellenwert und Peakfinder (*Glitch Capture*) auf etwa 5 MHz bis 7 MHz vermindert. Ein Schweigen während des Transitzeitpunktes war damit nahezu ausgeschlossen (die Cyclotronstrahlung ist wesentlich dichter als das komplexe Audiosignal der Bursts, das der Jove Receiver sampelt, um Jupiter „hörbar“ zumachen. Er erzeugt praktisch eine sehr grobe Hüllkurve, in der Bursts reduziert auf 500 bis 2000 Hz wiedergegeben werden. Wir haben daher das Signal vor dem Mixer abgegriffen, um gewissermaßen die Originalfrequenz zu verarbeiten).

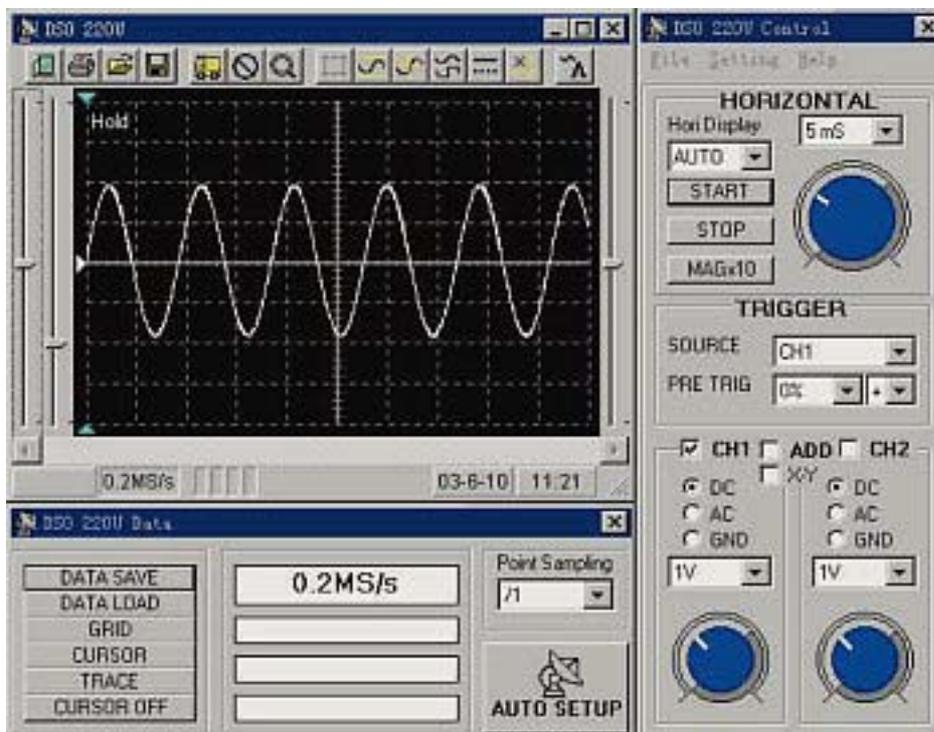
Du sprichst von 4 Messtagen mit 2 Oszilloskopen und 14000 frames, die durchgesehen werden müssen. Ein frame dauert 2 μ s. Das ergibt eine pro Oszilloskop real aufgezeichnete Zeit von 3.5 ms. Nachdem Du etwa ± 20 s (??) vor und nach dem Transit gemessen hast, müssen große zeitliche Lücken zwischen den frames liegen. Kann man das dokumentieren?

Das Digitaloszilloskop stellt selbst beim Signalverlauf tatsächlich nur Momentaufnahmen her, die im Zeittakt der für die Abtastung bedingten Verzögerungen dargestellt werden. Dazwischen liegen immer Zeitlücken. Die Frequenz dieser Frames ist aber so hoch, dass bei der Speicherung der Filmbilder immer Peaks vorhanden sind und sicher erfasst werden (und nicht etwa in die Austastlücke des Monitors „hineinfotografiert“ wird.. Die gibt es praktisch bei dem direkten Speicherverfahren im Computer gar nicht.) Bei einer Speicherfrequenz von 100 Bildern in der Sekunde verändert sich z.B. die Lokalisation der Sendesignale auf dem Schirm oder pro Frame um nur 0,035 ns bis 0,04 ns. Man erhält daher tatsächlich eine recht gute fortlaufende Darstellung des Signalsverlaufs, obwohl die Frames selbst nur eine Frequenz von 100 Hz haben. Der Frame in der Mitte des Zeitfensters ergibt daher auf jeden Fall das Bild eines exakten Ergebnisses hinsichtlich der Gleichzeitigkeit und der Phasenverschiebung, weil die durch Abtastung und Speicherung bedingten Fehler weit unter der Fehlertoleranz des Oszilloskops (das könnten bis zu plus/minus 6 ns sein) liegen. Natürlich werden alle diese Umstände auch im Paper dokumentiert sein.

Damit erhebt sich die Frage nach der Triggerung der Oszilloskopen. Vermutlich geschah sie mit Hilfe der Signale selbst durch Setzen eines Schwellwertes. Das hat den Nachteil, dass man den Anfang des Wellenzugs nicht sehen kann. Allerdings gibt es das „transient recorder“ Verfahren, bei dem ständig mit hoher Zeitaufösung registriert und wieder gelöscht wird. Bei Erreichen eines Schwellwertes stoppt man die Löschung und sieht sich an, was in einem

kleinen Zeitintervall vor und nach dem peak aufgezeichnet wurde. So scheint es bei Dir gewesen zu sein, denn der Anfang Deiner direkten Signale ist immer gut sichtbar. Die Schwierigkeit besteht nun darin, dass man 50 μ s nach dem peak noch immer mit hoher Zeitauflösung aufnahmefähig sein möchte, wenn das gesendete Signal ankommt. Wie wurde dieses Problem technisch gelöst?

Nun, wir haben ja mit Echtzeit-Digital-Speicheroszilloskopen gearbeitet. Einen Transient Recorder braucht man nur bei Analog-Oszis. Digitale DOS verfügen über die Möglichkeit beliebiger Pre-Triggerung. Man kann mit der Pre-Triggerung beliebige Zeitspannen vor den Peaks sichtbar machen oder den beabsichtigten Delay von 50 ns präzisieren. Da uns aber die Vorgeschichte des Signals nicht interessierte, haben wir es an den linken Bildrand geschoben, um Platz für die Sendesignale zu erhalten. Hier eines der Menus des DOS, auf welchem die Pre-Trigger Wahlmöglichkeit zu sehen ist.



Das ist nur ein beliebiger Screenshot und hat nichts mit dem Experiment zu tun. Die Pre-Triggerung kann in % (Add. od. Multipl.) eingestellt werden.

Die Rohinformation, aus der das Ergebnis über die jeweiligen Laufzeiten extrahiert werden soll, liegt in den frames mit den zwei Signalen, nämlich dem direkten und dem gesendeten, wobei 50 μ s delay Zeit (exakt?) der gemeinsamen Darstellung halber in die Direktleitung eingebaut wurde. Nachdem sich im Intervall $t = \pm 20$ s das gesendete Signal gegenüber dem direkten um $\tau = \pm 70$ ns wegen der Erddrehung verschiebt, kann man punktweise eine Kurve $\tau(t)$ ausmessen, wobei zu den Zeitpunkten t gerade bursts vom Jupiter registriert wurden. Insgesamt müssen 8 solcher Kurven ermittelbar sein (4 Tage, 2 Oszilloskope). Man sollte eine davon in die Präsentation aufnehmen, um darzutun, dass man etwas Realistisches einsehbar gemessen hat. Das schafft auf jeden Fall Vertrauen. Angabe von Tag, Uhrzeit, Station ist selbstverständlich.

Wie ich schon oben geschildert habe, zeigen die Frames mit verblüffender Exaktheit die Verschiebungen an, wobei man allerdings davon ausgehen muss, dass die Ablesung selbst gewisse Fehler erzeugt. Natürlich kann man dementsprechende Kurven ausmessen und darstellen., und das wird auch ins Manuskript eingebaut.

Die 50 μ s sind so exakt, weil mit ein und demselben Signal an beiden Oszis in einer Station eingestellt und durch Pre-Trigger abgestimmt wurde (wichtig ist, dass der Delay bei beiden Oszis gleich hoch ist. Selbstverständlich sind alle Begleitdaten anzugeben.)

Es ist besonders wichtig, möglichst nahe am Zeitpunkt $t = 0$ (Transit) über frames, d.h. Jupiter-bursts zu verfügen. Das Einzelergebnis, das Du mitteilst, muss aus ganz bestimmten frames gewonnen sein, für die Datum, Uhrzeit, Station vorliegen. Diese Angaben gehören in die Präsentation. Die für dieses Einzelergebnis benötigten frames sollten gezeigt werden, aber das ist, glaube ich, schon der Fall. Nur die Zeitzuordnung zum Transit fehlt.

Richtig, in der Präsentation werden schon die frames aus den Zeitpunkten des Transits verwendet. Die Zeitzuordnung bzw. alle nötigen Daten wollte ich erst im Paper zufügen.

Die Übermittlung der Signale von Station A zu B kommt zu stiefmütterlich weg, wohl weil der Funker in die Toskana entschwunden war. Es handelt sich aber hier um einen ganz wichtigen Teil, der von der Experimentierkunst Deines Teams zeugt. Zur formgetreuen Übertragung von 20 MHz Signalen benötigt man eine sehr hohe Trägerfrequenz. Es stehen Amateurbänder zwischen 1 und 11 GHz zur Verfügung. Welches Band wurde gewählt? War die Übertragung digital oder analog? Welche Sendeleistung, welche Antennen wurden verwendet? Amplituden- oder Frequenzmodulation? Wurden kommerzielle Sender/Receiver verwendet, deren Datenblätter man genauso einsehen kann wie die der NASA Jove-Receiver? All dies hätte ich ja in Graz schon Deinen Funker gefragt, wenn es möglich gewesen wäre.

Mein Funkspezialist war zwischendurch da und hat sich, ehe ich ihn fragen konnte, wieder für 14 Tage verabschiedet, so werde ich erst in einigen Tagen ganz genaue Daten bekommen. Soviel ich gesehen habe, wurden Geräte der Marke UNIDEN (Multiscanner und Funkgeräte) verwendet und die Übertragung war analog und frequenzmoduliert. Da die Funktätigkeit angemeldet wurde, bin ich mir gar nicht sicher, ob er Amateurbänder gewählt hat. Aber genaueres und die Daten der Geräte erhalte ich in Kürze.

Abgesehen von der Mitteilung des Einzelergebnisses könnte man noch die Strategie ausführen, nach der die 14000 frames ausgewertet werden sollen. Wenn ich es richtig verstanden habe, dienen die Messungen an vier Tagen nur zur Absicherung eines Ergebnisses, das man im Prinzip auch an einem einzigen Tag ermitteln könnte. Auf diese Weise lässt sich der Messfehler eingrenzen.

Ja, das war die Absicht.

Die Messungen vor und nach der Transitzeit dienen vor allem zur Festlegung des richtigen Messzeitpunktes und zur Unterscheidung zwischen Einstein und Lorentz, richtig?

Ja, richtig. Und vor allem war die Aufzeichnung über einen längeren Zeitraum zur Ermittlung des richtigen Zeitpunktes notwendig.

Das ist natürlich sehr wichtig, denn man wird uns vorhalten, zum falschen Zeitpunkt gemessen zu haben.

Das Argument greift eben nicht, weil man eben sieht, dass außer den verschobenen Phasen im Zeitfenster etwa 13 bis 14 Sekunden vor und nach diesem Zeitpunkt die scheinbare $c=const$ Situation eintritt – just jene Situation, die der LET entspricht.

Schließlich lässt sich die Zeitdifferenzbildung der gesendeten Signale noch etwas systematisieren, wie ich Dir in Graz ausgeführt habe. Viel bringt es allerdings nicht, weil auf jedem frame nur wenige Schwingungen zu sehen sind. In meiner Ignoranz hatte ich geglaubt, dass der Jupiter kontinuierlich, jedoch stark moduliert emittiert. In diesem Fall hätte man die Differenzbildung durch Vergleich sehr vieler Schwingungsperioden wesentlich präziser machen können.

Die Einsamkeit der Peaks in den Frames stammt von der extremen Zeitdehnung. Jupiter emittiert sehr wohl kontinuierlich (bis auf jene Zeiten, in welchen wegen seiner Rotation gar nichts kommt). Vor allem emittiert er je nach Tuning sehr unterschiedlich und die Bursts bewegen sich in einem Bereich von ca. 12 Hz bis 10 MHz. In dem Bereich, den wir wählten, gibt es also nur 1 bis 3 Peaks pro frame.

Ein Strategieexposé zur Auswertung könntest Du auch als Anhang an die Präsentation mitverteilen. Das wäre wiederum eine vertrauensbildende Maßnahme. Ich denke schon, dass man Deine Präsentation in ihrer Vorläufigkeit jetzt verbreiten sollte, denn es kommt uns nicht auf den gemessenen Zahlenwert an, der ohnehin bekannt ist. Vielmehr sollte eine gewisse Priorität über die Durchführung des Versuchs reklamiert werden, was nach den vorliegenden Ergebnissen (noch ohne verantwortbare Fehlerbalken!) möglich ist. Falls Du Simlinger von der Sinnhaftigkeit des Experiments (das gar nichts mit Relativitätstheorie, sondern nur mit Sagnac und anisotroper CBR zu tun hat) überzeugen kannst, und er darüber irgendwo positiv schreibt, dann wäre schon viel gewonnen.

Genau in diesem Sinn werde ich vorgehen.

Hier noch eine Ungereimtheit, die mir auffiel. Auf diesem Bild herrscht tatsächlich völlige Gleichzeitigkeit zwischen den Direktsignalen in A und B. Das geht nur, wenn die Oszillographen innerhalb von ca. 20 ns gleichzeitig getriggert wurden und der Triggerzeitpunkt auf besser als 1 s am Transit lag. War das alles der Fall?

Ja, natürlich. Diese völlige Gleichzeitigkeit ist keine besondere Leistung, weil . wie oben geschildert – die Abweichungen von frame zu frame sehr gering sind . (0,035 – 0,04 ns etwa). Es war daher möglich, frames heraus zu suchen, deren Direktsignale so exakt übereinstimmen.

Und kann man das irgendwie dokumentieren, z.B. durch Einspiegelung der GPS-Zeit in die Oszillogramme?

Ja, kann man. Hatte ich auch vor.

Ich werde nun mit der Abfassung des Papers (vorerst nach meinen Vorstellungen und Deinen Anregungen beginnen und Dir abschnittweise den Text zusenden, damit Du ihn prüfen kannst. Ich habe nicht sehr viel Zeit (momentan habe ich ungeheuer viel zu tun und kann nicht am Paper ununterbrochen arbeiten), daher wird es schon noch einige Tage dauern, bis die ersten Früchte vom Baum fallen.

Vorerst werde ich die Präsentation noch ein wenig korrigieren (ganz in Deinem Sinne) und dann an Feist und Simlinger schicken. Natürlich handelt es sich bloß um die Messung des globalen Sagnac Effektes ☺

Ich hoffe, dass es Dir gesundheitlich einigermaßen gut geht und grüße Dich und Erich herzlich

Euer
Harald

(Wegen meiner Leukämie-Erkrankung musste ich mich von November bis Januar 2009 mehreren Chemotherapien unterziehen, so dass die weitere Diskussion der Ergebnisse, sowie die geplante Übersetzung eines Entwurfs von Harald Maurer ins Englische unterblieb.

W.E. 19. Jan. 09)