

*Applaus*

**Vortrag von Herrn Prof. Dr. Soffel**

**Samstag, 03. September 2005 im Kulturzentrum Rathenow**

... nicht etwas über Landesvermessung erzählen, sondern was ganz anderes.

Wir haben ja das Einstein-Jahr 2005 und das auch zu Recht. Das will ich versuchen Ihnen näher zu bringen und auch, was die Einsteinschen Theorien mit der Geodäsie vielleicht zu tun haben können. Anfang des Jahres 1905 schrieb Albert Einstein an den befreundeten Mathematiker Konrad Habicht: Ich verspreche Ihnen vier Arbeiten, von denen ich die erste im Bälde schicken könnte. Sie handeln über die Strahlung und die energetischen Eigenschaften des Lichts und ist sehr revolutionär, wie Sie sehen werden. Die zweite Arbeit ist eine Bestimmung der wahren Atomgröße aus der Diffusion und inneren Reibung der verdünnten flüssigen Lösungen neutraler Stoffe. Die dritte beweist, dass unter Voraussetzung der molekularen Theorie der Wärme in Flüssigkeiten suspendierte Teilchen von der Größenordnung der tausendstel Millimeter bereits eine wahrnehmbare, ungeordnete Bewegung ausführen müssen, so dass die Wärmebewegung erzeugt ist. Die vierte Arbeit ist eine Elektrodynamik bewegter Körper unter Benützung einer Modifikation der Lehre von Raum und Zeit.

Mit diesen vier Arbeiten - die erste von ihm wird ihm 1921 den Nobelpreis bringen; die zweite ist seine Dissertation; die letzte begründet die Relativitätstheorie - hat der zu dieser Zeit sechszwanzigjährige

Einstein wie keiner zuvor und niemand nach ihm die moderne Physik entscheidend und nachhaltig geprägt.

Okay, ich erzähle zunächst ...

*Zwischenbemerkung:* Ja, er war zu dieser Zeit Beamter, nicht? - Ja, im Patentamt kann man sagen ...  
*Gelächter und Applaus*

Okay, ein Haupttopic dieses Vortrages ist diese Arbeit zur Elektrodynamik bewegter Körper, die heute in die moderne Geodäsie auch einfließt, die 1905 entstand, ist also der Grund, dass wir jetzt das Einstein-Jahr feiern.

Ich erzähle zunächst einmal etwas über das zentrale Problem der Zeit, und die Zeit ist ein kompliziertes Ding, die sehr wohl auch theoretischen Hintergrund erfordert, und dieser Hintergrund lange, lange Zeit wurde von Sir Isaac Newton geprägt. Und er schreibt also: Die absolute wahre mathematische Zeit aus sich heraus aufgrund ihrer eigenen Natur verfließt unabhängig zu irgendwelchen Relationen, zu irgendwelchen materiellen Gebilden. Das heißt also, die meisten, nicht nur Physiker, auch Geodäten haben so ein Bild im Kopf: Die ganze Welt ist angefüllt mit Uhren überall, die sozusagen immer die gleiche universelle Newtonsche Zeit anzeigen. Jetzt kann man natürlich fragen: Ist das im Sinne der Natur? Das bringt uns zur Kunst des Uhrenbaus, die da geht von Sonnen-, Wasser- und Sanduhren, über mechanische Uhren zu Quarz- und Atomuhren.

Hier mal ein Diagramm: die Genauigkeit einer Uhr in Sekunden pro Tag auf der Y-Achse gegen das Jahr sozusagen der Einführung. Und wir haben also hier die Erfindung der Räder, Uhren, hier die Seechronometer, die Pendeluhr. Hier diese Linie ist etwas ganz Besonderes: Das ist die Uhr Erde. Die Uhr Erde war ja über die Rotation gegen die Fixsterne mal lange Zeit Maß aller Dinge. Es war eine gute Uhr, und die Sekunde lange Zeit wurde definiert als  $1 : 86.000$  Vierhundertstel Teile der siderischen Tageslänge. Aber nachdem man die Quarzuhren hatte, hat man gemerkt, die Uhr Erde ist keine gute Uhr. Sie eiert, und sie eiert auf der Skala von einigen tausendstel Sekunden pro Tag. Das kommt also noch mal vor. Und natürlich klar, die Quarz- und die Atomuhren sind heute sehr viel genauer.

Die Entwicklung der Atomuhren schildere ich auch ganz kurz, nicht. Die meisten wissen, die Quarzuhren basieren auf dem piezoelektrischen Effekt. Ich quetsche also sozusagen einen solchen Quarz zusammen, dann entsteht eine Spannung. Ich kann ihn in den Kondensator packen, kann ihn zum Schwingen anregen. Und diese gewissen Eigenschwingen des Kristalls dienen dazu, die Uhr zu stabilisieren. Bei der Atomuhr hat man zunächst einmal eine Quarzuhr. Wir haben Atome, die ja aufgrund der Quantenmechanik gewisse interne Energiezustände aufweisen. Und der Übergang zwischen zwei Energiezuständen ist mit einer Frequenz verknüpft. Man hat normalerweise hier einen Mikrowellenresonator, dessen Frequenz durch die Atomuhr realisiert wird. Und wenn man sozusagen haarscharf die Frequenz, die im Atom steckt, trifft, dann ändert sich hier das Atom von rot nach blau, und das kann ich nachweisen. Also diese atomaren Linien stabilisieren diese Uhr und verbessern also in dem Fall die Uhr. Die Uhren haben leider ihre ästhetische Wirkung verloren.

Das ist die erste Cäsium-Uhr, die in Braunschweig entstand. Das ist noch mal eine ältere von Jost Bürgi, die vor ein paar hundert Jahren durchaus noch ästhetischen Charakter hatte.

Wir haben neuere Entwicklungen, die eigentlich ziemlich revolutionär sind. Wir haben inzwischen lasergekühlte Cäsium-Springbrunnenuhren, wo also der Cäsium, die einzelnen Atome hochgeschossen werden, dann im Gravitationsfeld runterfallen, die also längere Zeit im Resonator verweilen können.

Die Frequenz, relative Frequenzunsicherheit liegt heute im Bereich  $2 \times 10^{-15}$ .

Geplante Atomuhren im Orbit, man erwartet Genauigkeiten  $10^{-16}$ ,  $10^{-17}$ . Vergleichen Sie das bitte mit dem Weltall, davon  $3 \times 10^{16}$  Sekunden. Das heißt, so eine Uhr geht vielleicht um eine Sekunde oder so grob falsch, wenn Sie die im Urknall angeschaltet hätten.

### *Gelächter*

Hochgenaue Zeitbestimmung ist nun für viele Verfahren der modernen astronomischen Geodäsie die Grundlage, sonst würden sie gar nicht funktionieren. Das ist schon mal das Erste, also GPS oder ... VLPI und die Satellitenmessung mit Laser, okay, oder die Luna-Laser-Ranging-Messung zum Mond. Darauf will ich aber noch eingehen.

Jetzt kann man sich die Frage stellen: Ist denn diese Newtonsche Vorstellung von der absoluten Zeit im Einklang mit der Natur? Und die Antwort ist nein, und warum ist das so. Das liegt am Zusammenhang Zeitmessung und elektromagnetische Wellen, also auch insbesondere die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen.

Zunächst einmal ist ja die Sekunde definiert über die Dauer von gewissen Perioden in einem solchen atomaren Cäsium-133-Übergang. Also die Sekunde ist schon definiert mit Hilfe von elektromagnetischer Strahlung.

Jetzt kommen wir zu Einsteins spezieller Relativitätstheorie. Und da kommen gewisse Eigenschaften der Ausbreitung elektromagnetischer Signale ins Spiel. Zunächst einmal das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit: Die Lichtgeschwindigkeit ist zunächst einmal unabhängig vom Bewegungszustand der Quelle sowie Frequenz, Intensität und Polarisation. Also erstmal nur die Quelle.

Ich habe hier geschrieben:  $c -$  sei mal  $c +$  irgendein  $k \times v$  der Quelle. Und man hat aber dann schnell rausbekommen, dass dann etwa hier Doppelsternsysteme - wie das hier angedeutet ist - anders aussehen müssten. Also das heißt, Sie haben hier einen Stern im Umlauf um einen Begleiter. Und wenn also die Lichtgeschwindigkeit abhinge von der Geschwindigkeit des lichtemittierenden Sternes, dann könnte sozusagen das Licht, wenn der Stern auf die Erde zukommt, schneller sein als wenn das Objekt sich von der Erde wegbewegt. Dann würden Sie bis zu fünf Bilder gleichzeitig von dem Stern sehen können. Und das hat man also nicht, und deswegen hat man also gute Abschätzungen, zum Beispiel hier das ist ein Röntgen-Doppelsternsystem. Herkules X1 liefert also so eine Abschätzung. Das heißt also, die Lichtgeschwindigkeit ist unabhängig vom Bewegungszustand der Quelle. Das kann man noch verstehen. Das ist also hier mal dargestellt mit dieser Superrakete. Die schießt also hier eine Kugel und hier Licht. Aber die Lichtgeschwindigkeit hängt hier nicht ab von der Geschwindigkeit dieser Rakete. Das kann man

natürlich noch verstehen. Das ist so ähnlich wie Schall. Also, wenn ich mich bewege und rede, trotzdem ist die Schallgeschwindigkeit hier die gleiche, weil sie hängt ab vom Medium, hier im Hörsaal, von Druck und Dichte.

Aber jetzt wird es sehr viel schlimmer. Der Wert der Lichtgeschwindigkeit hängt auch nicht ab von der Geschwindigkeit des Beobachters. Das ist bedauerlicherweise etwas, was ich Ihnen nicht begreiflich machen kann. Es kann kein Mensch verstehen. Man kann nur damit umgehen. Das heißt also Licht kommt an, und ich renne auf das Licht zu und messe trotzdem dieselbe Lichtgeschwindigkeit. Wie gesagt, glauben Sie nicht, das können Sie verstehen. Ich kann das auch nicht.

### *Gelächter*

Man hat das aber vermessen, und das war in der Tat der Ausgangspunkt der Relativitätstheorie. Anfangs dachte man sich ein gewisses Medium, also wie hier sozusagen das Gas im Hörsaal als Medium für die akustischen Wellen, das hieß also Eta. Und die Lichtgeschwindigkeit sollte dann von der Bewegung des Beobachters gegenüber dem Eta abhängen.

Das ist hier dargestellt: Sie haben also hier Licht, was sich durch den Eta bewegt. Hier sind zwei solche Raumschiffe. Und natürlich würde man erwarten, hier dieses Raumschiff, was also sozusagen gegen das Licht läuft, würde eine größere Geschwindigkeit aufweisen.

Man hat festgestellt, dass dem nicht so ist. Und man benutzt dazu Michelson-Interferometer. Geschichtlich kam das so. Das heißt, Sie haben eine monochromatische Lichtquelle. Die geht durch einen Strahlteiler, geht hinten zu den Endspiegeln, wird wieder reflektiert. Und die Lichtstrahlen dieser beiden Arme werden hier zur Interferenz gebracht.

Okay, also wenn Sie jetzt hier so einen Apparat aufbauen, der sich sozusagen mit der Erde durch das Weltall bewegt, dann wäre es nahe liegend, dass, wenn Sie den Apparat drehen, dass sich hier diese Interferenzstreifen - die sind hier unten angedeutet - verändern. Das hatte man erwartet.

Und das berühmte Experiment stammt aus dem Jahre 1887 Michelson und Morley, Cleveland, Ohio.

Also hier ist das zu sehen. Mit ein paar mehr Spiegeln hat man also die Armlänge sozusagen effektiv vergrößert. Die haben das also rumgedreht. Und egal, wie man das drehte, die Streifen haben sich nicht verschoben. Und das heißt also, die Geschwindigkeit gegenüber dem Eta war nicht nachweisbar. Und das heißt in der Tat wirklich, die Lichtgeschwindigkeit hängt auch nicht ab vom Bewegungszustand des Beobachters. Ja, also Fazit: Lichtgeschwindigkeit hängt auch nicht vom Bewegungszustand des Beobachters ab.

Und jetzt will ich mal versuchen, also das ist hier die grundlegende Arbeit von Einstein 1905. Da ist das also ausgeführt. Und für uns, also Geodäten hat das jetzt eine ganz ganz wichtige Konsequenz, die ich Ihnen beweisen will. Das ist so einfach, dass Sie das sogar, denke ich, verfolgen können, selbst um die Uhrzeit, so spät.

Der Gang einer Uhr hängt von ihrer Bewegung ab. Wir nehmen dazu eine ganz einfache Uhr, die besteht aus zwei Spiegeln, hier einer, da einer. Und ein Lichtimpuls oder meinetwegen ein Photon rennt von unten

nach oben. Das wird einfach reflektiert. Und das nehmen wir als Uhr.

Wir sagen okay, das Ticken der Uhr ist sozusagen die Dauer, wenn das Photon einmal hoch und wieder runter läuft. Da kriegen Sie also raus, dieses Ticken hat also hier eine Dauer von ...  $0$  von  $2 : c$ .

Ich denke, das kann man verstehen, hoch und runter. Jetzt kommt es aber.

Jetzt bewegt sich die Uhr. Und das Entscheidende, was dann am Ende rauskommt, hängt davon ab, dass jetzt auch die Lichtgeschwindigkeit wieder  $c$  ist. Das heißt, Sie betrachten jetzt hier mal ein Dreieck, von hier nach da und hier. Und ich denke, den Pythagoras können wir auch nach zwölf Uhr noch anwenden, das denke ich schaffen wir noch. Das heißt also hier, das ist  $l/2$ , diese Strecke ist  $(.../2)^2$ , und jetzt hier das Entscheidende hier steht  $(c \times \Delta t/2)^2$ . Und das können Sie auflösen. Das glauben Sie mir. Es kommt raus, dass die Dauer des Tickens dieser Uhr ist jetzt das  $\Delta t_0$  von vorhin : Wurzel von  $(1 - v^2 : c^2)$ .

Also wenn Sie auf der Uhr sitzen, haben Sie die Dauer  $\Delta t_0$ . Wenn die Uhr sich an Ihnen vorbei bewegt, dann sehen Sie, die Uhr bewegt sich scheinbar langsam. Also das habe ich Ihnen jetzt vorgeführt. Das ist ganz einfach eine Konsequenz, dass die Lichtgeschwindigkeit immer gleich ist, kommt ganz einfach raus.

Man hat es natürlich auch nachgeprüft, also zum Beispiel hier mit Mymäsionen. Die entstehen in der Hochatmosphäre durch die kosmische Strahlung. Die leben, wir sagen im Mittel  $2 \times 10^{-6}$  Sekunden. Das kann man im Labor messen. Aber die haben eine sehr sehr große Geschwindigkeit in der Hochatmosphäre, fast Lichtgeschwindigkeit. Und man kann also messen, die leben also 30 Mal länger. Die leben hier  $60 \times 10^{-6}$  Sekunden. Vom Standpunkt des Beobachters aus, also es ist nachgewiesen. Jetzt noch ein paar Worte zur allgemeinen Relativitätstheorie, der Gravitationstheorie Einsteins, die auch in die moderne Geodäsie sehr wohl mit hineinspielt. Sie erweitert die Newtonsche Gravitationstheorie, so dass sie im Einklang mit dieser speziellen Relativitätstheorie ist. Das ist also der Name für diese Sache mit der Elektro... bewegter Körper. Wenn keine Gravitation ins Spiel kommt, nennt man das spezielle Relativitätstheorie.

Einsteins Theorie beruht natürlich klar auf Newtons Gravitationsgesetz.

Hier sehen Sie den Newton mit dem Apfel. Also hier haben Sie die Kraft, die die sagen wir mal Masse Erde mit "M" auf den Apfel auf "m" ausübt.

Und das Newtonsche Gravitationsgesetz hat also verschiedene Facetten. Also Sie können einmal sagen: Hängt das vielleicht anders vom Abstand ab? Sie können also auch da fragen: Ist vielleicht G eine Funktion des Abstandes? Dann hätten Sie das  $1:r^2$ -Gesetz modifiziert. Oder, was ja auch einige Leute geglaubt haben: Hängt vielleicht G von der Zeit ab, also wird die Gravitation vielleicht schwächer oder stärker? Nicht, also der Dierack hat so zum Beispiel die Entstehung der Gebirge mal versucht so zu erklären, dass die Gravitation immer schwächer wird mit der Zeit.

Es gab in der Tat mal eigentlich hauptsächlich Gravimetermessung. Das waren auch geodätische Messungen. Aber Hinweise auf eine Verletzung des Newtonschen Gravitationsgesetzes, das hieß dann fünfte Kraft. Man hat gesagt: G hängt jetzt leicht von r ab mit einer Stärke Alpha und einer Reichweite Lamna. Auf diese Art und Weise hat man dann also gefragt, ist Alpha vielleicht verschieden von Null. Dann würde das  $1:r^2$ -Gesetz nicht gelten. Und wie gesagt, es waren Gravimetermessungen

hauptsächlich in Minen oder Klippen und an Türmen, die dazu, zu dieser Vermutung führten. Die waren aber meistens verfälscht, weil diese Gravimeter waren teuer. Und die Leute haben es also versäumt, sagen wir mal, in sumpfige Gebiete ihre Gravimeter zu positionieren. So gab es etwas, was man "terrain baies" nannte. Das heißt also, diese Messungen, diese Hinweise waren alle falsch. Wir haben inzwischen bessere Laborexperimente, genauere Analysen dieser Daten, zum Beispiel hier eine Gruppe der Universität Washington, die Öttwösch-Gruppe um den Herrn Adelsberger. Die überprüft das Newtonsche Gravitationsgesetz mit solchen Torsionsgeräten.

Hier unten so eine durchlöchernte Platte, die sich dreht. Und wie dann dieses Torsionssystem hier hin- und her schwingt, sollte vom Newtonschen Kraftgesetz abhängen.

Man hat also heute ausschließlich obere Grenzen für eine mögliche Verletzung des Newtonschen Kraftgesetzes.

Und hier ist es dargestellt: also, das Alpha hier unten sind nur obere Grenzen für eine Verletzung. Also Newton ist okay, was diese Kraft in diesen Dimensionen betrifft. Hier die Reichweite. Hier haben wir diese Laborexperimente. Dann haben wir hier Satellitenmessungen, SLA-Messungen. Hier haben wir LLA-Messungen, also Messungen der astronomischen Geodäsie, die hier beitragen, um das Newtonsche Gravitationsgesetz zu überprüfen.

Hier sehen wir mal das Messprinzip SLA. Man schießt mit Laserpulsen zu ausgewählten Satelliten wie dem Lagius, ein vollständig passiver Satellit mit 426 Retroreflektoren auf der Oberfläche, die also das Licht genau wieder so zurückwerfen, wie es hochgeschickt wurde. Also auf diese Art und Weise kann ich das Newtonsche Kraftgesetz auch überprüfen.

LLA haben Sie gesehen ist hier eine weitere fantastische Möglichkeit. Sie schießen jetzt hier mit Laserlicht auf den Mond. Hier die Station Wettzell, 75 cm Teleskop mit gepulstem Betrieb. Das heißt, Sie schicken Photonenplatten, etwa 5 oder so Zentimeter dick, 75 cm Durchmesser, Richtung Mond. Und das klappt nur, weil Apollo-Astronauten auf dem Mond so genannte Reflektoren hier aufgesetzt haben, oder unbemannte russische Lunakowsalienten.

Wenn Sie jetzt die Photonen vermessen, die wieder zurückkommen, als Funktion der Zeit hier aufgetragen, gemessen minus gerechnet, dann sehen Sie hier ein Wirrwarr von einzelnen Photonen. Und die meisten von denen stammen nicht vom Mond. Die meisten sind Streuphotonen. Und jetzt haben Sie die Aufgabe, aus diesem Wirrwarr ein paar herauszufinden, die vielleicht vom Mond kommen. Das gelingt mit einem so genannten Histogramm. Das heißt, man macht hier Bins. Jetzt ist hier gerechnet minus gemessen auf der X-Achse aufgetragen und in kleine Kästen aufgeteilt. Und dann zählen Sie die Photonen, die da reinfallen, und dann entsteht in aller Regel ein riesiger Peak. Nicht bei Null, dann hätten Sie ideal gemessen und ideal gerechnet, sondern der Peak ist verschoben. Das ist ein so genannter Normalpunkt, und mit diesem Normalpunkt funktioniert LLA.

Was ist LLA: die Messung der Lichtlaufzeit Erde - Mond mit Laserpulsen von etwa 5 cm. In jeder dieser Photonenplatten, die zum Mond sausen, stecken etwa  $10^{19}$  Photonen. Das ist eine relativ große Zahl. Und Sie beleuchten dann eine gewisse Fläche auf dem Mond von vielleicht 20 km<sup>2</sup>. Wenn Sie Glück haben, haben Sie also den Reflektor getroffen. Früher bimmelte dann immer eine Glocke, wenn Sie

getroffen hatten am Mac Donald. Also heute sind sie besser, heute treffen sie immer oder fast immer. Zurückkommt ein Photon pro Puls, also ein Photon pro  $10^{19}$ , und damit erreichen Sie Genauigkeit von 3 cm und das bei einem Abstand von 384.000 km.

Also zum Beispiel haben Sie eine Abstandsvergrößerung durch die Gezeitenreibung von 3,7 plus/minus 0,2 cm pro Jahr. Das heißt, der Mond entfernt sich kontinuierlich von der Erde. Sie können mit LLA auch die zeitliche Veränderung der Gravitationskonstanten messen. Ich war hier beispielsweise persönlich beteiligt.

Das ist jetzt Jürgen Müller, Nachfolger von Herrn Torge inzwischen in Hannover.

Und Sie sehen die Zahlen, die wir damals erzeugt und auch publiziert haben, sind gar nicht so schlecht. Also die Gravitationskonstante kann sich nicht sehr viel ändern, nicht sehr viel mehr als Bruchteile in  $10^{-11}$  pro Jahr.

So, jetzt haben wir noch einen weiteren Grundbaustein der allgemeinen Relativitätstheorie. Das ist das Äquivalenzprinzip, wie es die Physiker verstehen. Das heißt letztlich, dass alle kleinen Körper im Vakuum gleich schnell fallen, abgesehen von Gezeitenkräften.

Also hier ist das angedeutet. Sie haben hier so einen frei fallenden Fahrstuhl und hier so vier Kugeln. Die fallen im Grunde erstmal alle gleich schnell, nicht also Schwerelosigkeit. Aber wenn Sie es genauer messen, Sie kennen ja was ein Gravimeter, Entschuldigun, Gradiometer ist. Das heißt also, der ist immer näher an der Erde. Das heißt, der wird mehr beschleunigt wie der. Das heißt, die beiden entfernen sich voneinander, die fallen zum Erdzentrum, das heißt, die fallen aufeinander zu. Das sind die Gezeitenkräfte. Aber abgesehen davon fallen alle Körper im Vakuum gleich schnell.

Wenn Sie das nicht glauben, dass eine Flaumfeder gleich schnell fällt wie eine Bleikugel, müssen Sie ins Deutsche Museum gehen. Da können Sie sozusagen die Luft aus so einer Röhre rauspumpen.

Funktioniert nicht ganz toll, aber okay.

Gut, das hat man also im Laufe der Zeit wahnsinnig genau getestet, meistens mit Torsionswagen.

Da habe ich noch ein Bild dazu. Das zeigt hier die Differenz in der Beschleunigung beim freien Fall von zwei Materialien, dividiert hier durch die Summe. Das ist das Eta, und das Eta ist also ein Maß hier, wie genau dieses Freifallverhalten wirklich getestet werden kann. Und das hier das Blaue, das sind ja hier mit die besten Messungen auch, bezieht sich auch wieder auf Luna-Laser-Ranging.

Also hier mal, wenn man das im Labor macht mit so einer Quantropoltorsionswaage: In einem Vakuumsystem hängen hier Kupfer- und Barilliummassen, und die schwingen also hin und her. Und die Amplitude wird also hier elektrisch, also optisch abgetroffen. Und dann am Ende wird dieses ganze Gebilde rotiert. Und das heißt, wenn sozusagen Barillium und Kupfer unterschiedlich schnell fallen auf benachbarte Gebirge, dann würde das unterschiedliche Drehmomente liefern. Und wenn ich also dann das Gebilde drehe, wird es ein unterschiedliches Schwingungsmuster geben. Okay, das sind diese Dinge. Jetzt LLA und dieses wahre Äquivalenzprinzip. Man betrachtet dazu Erde und Mond im freien Fall auf die Sonne. Man schreibt dazu: Beschleunigung der Erde ist gravitative Masse durch die träge Masse. Nicht also die gravitative Masse würde rechts in der Kraft stehen bei Newton, die träge Masse würde bei Masse mal Beschleunigung auf der anderen Seite stehen. Und normalerweise streicht man das weg, aber hier

diskutiert man einen möglichen Unterschied zwischen träger und schwerer Masse. Okay, und wenn das also unterschiedlich wäre, hier ich habe jetzt 1+ irgendein Delta Erde oder Delta Mond. Und wenn Delta Erde verschieden wäre von Delta Mond, dann würde das anormale Oszillationen in der Mond-Erde-Distanz mit einer Periode von einem synodischem Monat, also Neumond zu Neumond, von 29 Tagen oder so geben. Und wir haben aber eine 1 cm Grenze für die anormalen Amplituden bei einem synodischen Monat. Und dies liefert im gewissen Sinne hier einen wichtigen Beitrag für die Überprüfung des Äquivalenzprinzips.

Man könnte nämlich denken, Erde und Mond fallen unterschiedlich auf die Sonne wegen unterschiedlichen chemischer Zusammensetzung. Nicht, die Erde hat hauptsächlich Eisennickelkern, ist also schwer. Und der Mond hat wahrscheinlich keinen derartigen Eisennickelkern.

Jetzt kann man dieses Äquivalenzprinzip, was sich nur auf das Freifallverhalten von Probekörpern bezieht, erweitern. Und das ist dann das von Einstein formulierte Äquivalenzprinzip: Bei einem frei fallenden Aufzug gehen alle nicht gravitativen Gesetze so als wäre keine Gravitation da. Also es ist eine Verallgemeinerung.

Und jetzt kommt ein kühner Schritt, den Sie mir glauben müssen. Aus diesem Prinzip folgt - rein theoretisch könnte ich es vorrechnen - ein Lichtstrahl, wenn er sich im Gravitationsfeld von oben nach unten ausbreitet. So wird die Frequenz sozusagen erhöht. Das ist natürlich im Einklang damit, dass Photonen Energie haben, nicht. Und die Energie ist mit der Frequenz gekoppelt:  $E = h \times F$ ,  $F$  ist die Frequenz,  $h$  ist das Plancksche Wirkungsquantum. Wenn Photonen fallen, nicht, gewinnen sie im gewissen Sinne die potenzielle Energie im Gravitationsfeld. Die Frequenz wird erhöht, wenn das Photon nach unten fällt.

Und jetzt kommen wir zurück zu der Zeitmessung. Die Sekunde war ja definiert über elektromagnetische Strahlung, über die Dauer von irgendeiner Strahlung. Jetzt stelle man sich vor, wir haben also hier oben eine Uhr und unten eine Uhr, und sagen wir mal alle Sekunde zeigt die Uhr irgendwas an. Und jetzt will diese Uhr kommunizieren mit der Uhr unten. Dazu muss diese Uhr ein elektromagnetisches Signal runterschicken. Aber die Frequenz wird erhöht. Und jetzt müsste da unten die Frequenz, die da ankommt von oben, stellt fest: Oh mein Gott, meine Uhr geht aber langsamer als was sozusagen das Signal bei mir ankam, sagt. Das heißt, die Uhren in der Tat gehen langsamer. Das ist hier dargestellt.

Das ist also jetzt der zweite Aspekt: Uhren im Gravitationsfeld gehen langsamer.

Also Dali hat das so dargestellt, okay. Also das ist nur der Kontrast zu der Einsteinschen Geschichte. Das ist natürlich nicht nur experimentell überprüft worden. Also hier alte Messungen von Havelland-Kiedinger 1972. Man hat zwei Atomuhren. Die eine bleibt im Labor, die andere packen wir ins Flugzeug und fliegen einmal um den Äquator rum, einmal in ostwärtige Richtung und einmal in westwärtige Richtung. Und dann bringen wir sie wieder ins Labor und vergleichen. Und in der Tat, diese Zahlen konnten experimentell verifiziert werden. Also beim Ostflug haben wir einen gravitativen Beitrag und einen Geschwindigkeitsbeitrag, und beim Westflug entsprechend. Und das ist alles verifiziert worden. Also das sind keine esoterischen Dinge, sondern die spielen mit rein.

Für die Anwendung in der Geodäsie oder der Navigation oder der Raumfahrt spielt das zunächst einmal in die Zeitskalen rein.

Wir haben hier geozentrische Zeitskalen oben. Hier eine Rechenzeit, die heißt geozentrische Koordinatenzeit, terrestrische Zeit, Atomzeit. Und hier auf der Ebene des Baryzentrums, also Massenzentrum des Sonnensystems, haben wir die baryzentrische Koordinatenzeit und vielleicht noch eine andere TDB.

Jetzt haben wir hier mal zwei Uhren die erdgebunden sind, die ruhen also. Okay, eine hier, Rathenow. Andere Uhr Burlow, Colorado. Und da gibt es also hier eine Formel, die Zeit, die eine Uhr anzeigt und die ich ablese, wenn ich draufsitze, die heißt die Eigenzeit. Die wird hier TAU genannt.

Und hier ist das Verhältnis von zwei solchen Eigenzeitintervallen, also zwei Atomuhren auf der Erde. Und hier die Endformel sagt aus, das "h" ist die Höhe über dem Geoid. Das heißt also, der Gang einer Atomuhr, die auf der Erde ruht, hängt von ihrer Geoidhöhe ab.

Und das habe ich also, damit man Zahlen hier mal sieht, habe ich hier mal eingesetzt.

Wir vergleichen mal eine bei der PDB in Braunschweig mit einer Uhr am National Bureau of Standards Burlow Colorado. Und da kommt jedenfalls unten raus: die Frequenz der PDB-Uhr ist  $1 + 2 \times 10^{-13}$  x Frequenz einer Uhr am National Bureau of Standards. Das klingt relativ wenig, ist aber eigentlich doch relativ groß, weil es ja die Rate betrifft. Das heißt, es summiert sich auf. Nach einem Jahr gehen die 5,4 Mikrosekunden auseinander. Und das also natürlich eine große Sache heutzutage, muss also berücksichtigt werden.

Okay, TCG ist eine Rechenzeit. Die terrestrische Zeit soll sich von TCG durch eine konstante Rate unterscheiden. Man ist da aufs Geoid gegangen. Also "TT" sollte wirklich die Zeit sein, die eine Uhr auf dem Geoid anzeigen kann. Und THI sollte gegeben sein durch den Mittelwert von vielen Atomuhren, wobei die abgelesenen Zeiten zunächst aufs Geoid reduziert werden müssen. Also das ist dann THE. Hier nur mal ein kurzes Beispiel. Eigentlich ist das mehr für die Raumfahrt. Wenn ich sozusagen eine Sonde durchs Sonnensystem bewegen will oder auch wenn ich die Ephemeriden des Sonnensystems rechne, nehme ich eine baryzentrische Koordinatenzeit. Und die unterscheidet sich von einer Uhr ... im Baryzentrum. Die zeigt dann meinetwegen TCB. Eine Uhr montiert im Geozentrum zeigt dann TCG an, damit man sich was vorstellen kann. Und der Unterschied hier ist in der Gangrate etwa  $10^{-8}$ .

Und woher kommt das? Das sind natürlich im Wesentlichen die 30 km pro Sekunde von der Erdgeschwindigkeit um die Sonne durch  $c^2$ , nicht. Okay,  $30 : 300.000 (10^{-4})^2$  sind  $10^{-8}$ . Okay, ganz einfach. Diese Theorie ist wirklich ganz einfach je länger man darüber nachdenkt und je mehr man sie mit Cartoons darstellt. Wenn Sie es rechnen wollen, ist es wieder schwieriger.

Anwendung hochgenaue Navigation, das kennen Sie ganz bestimmt sehr viel besser als ich: GPS, 24 Satelliten und 20.000 km Höhe, welche Zeitsignale aussenden.

Und ich habe jetzt hier mal Genauigkeit 30 m, aber differentiell bis zum Millimeter hingeschrieben, aber das kennen Sie besser.

Der Herr Augert hat in der Vorlesung immer die Länge von so einem Tisch gemessen, nicht, mit GPS hier links und rechts, geht also. Und hier geht die Einsteinsche Theorie rein. Wir haben also relativistische

Effekte bei den Uhrengangraten. Das habe ich Ihnen geschildert.

Nicht näher ausführen werde ich die Effekte in der Propagation von Signalen. Aber sage ich anders noch etwas dazu. Und die Bewegung der Satelliten hängt auch davon ab.

Wenn ich jetzt hier eine Referenzzeit wieder nehme - die ist unsere Rechenzeit - dann hängt die Zeit einer GPS-Uhr, wenn ich eine Kepler-Ellipse für die Bahn nehme, so ab. Das heißt, es gibt einen konstanten Term, also einen konstanten Driftterm in der Gangrate zwischen meiner Koordinatenzeit und der Uhr einer GPS-Uhr. Aber die Geschwindigkeit in der elliptischen Bahn hängt ja ab, wo man in der Bahn sich befindet. Das heißt, wenn die Bahn exzentrisch ist, hier  $E$  ist Exzentrizität, dann gibt es noch einen periodischen Term.

Wie gehe ich damit um? Konstanter Term, da gibt es einen genialen Trick: Die Frequenzen der GPS-Uhren wurden vor dem Start um 0,0045 Hertz vom Nominalwert reduziert, um diese konstante Driftrate zu kompensieren. Also die haben das gewusst, die haben das schon gemacht. Der periodische Term muss aber vom Nutzer korrigiert werden. Er kann maximal 30 Nanosekunden oder 10 m betragen. Das wird also öfters auch gemacht, dass der Nutzer hier diesen periodischen Term korrigiert.

So, jetzt kommen wir zu weiteren Aspekten. Der Einstein hat die ganze Theorie der Gravitation revolutioniert. Bei Newton war es ja eine komische Kraft. Der Einstein hat das als Effekt der Raum-Zeit-Krümmung verstanden. Okay, das klingt ganz schrecklich. Die Krümmung in der Zeit kann ich Ihnen auch nicht klar machen. Die verstehe ich eigentlich auch nicht. Umgehen, damit umgehen ist eine andere Sache. Aber man kann sich gewisse Dinge vorstellen.

Also Krümmung im Raum: Stellen Sie sich also vor, hier so eine Gummimatte, die wird eingespannt. Jetzt lege ich also große Massen darauf, die dellen sozusagen hier das Gummituch ein. Und jetzt denken Sie sich auch noch die Reibung weg. Dann denke ich könnten Sie sich vorstellen, wie dieses kleine Kügelchen ohne Reibung aber hier in der Delle von dem großen Körper umläuft. Genau das ist also die Vorstellung. Und diese Möglichkeit beruht auf dem Äquivalenzprinzip. Stellen Sie sich also vor, Sie haben hier eine rote Kugel und eine gelbe. Das sind also zwei Materialien und die würden unterschiedlich schnell fallen. Dann kann das Bild nicht funktionieren. Also das ist der Brückenschlag noch mal zu diesem Freifallverhalten von Körpern zu unserem Äquivalenzprinzip. Diese Möglichkeit, die Gravitation als Konsequenz der Raum-Zeit-Krümmung zu beschreiben, folgt aus diesem Äquivalenzprinzip.

Also hier ist das auch noch mal dargestellt: Der Mond bewegt sich jetzt ohne Kraft im gekrümmten Raum hier um die Erde herum. Und in der Tat eine wichtige Vorhersage der Einsteinschen Theorie ist die anormale Perihelldrehung des Merkurs von 43 Bogensekunden pro Jahrhundert. Also das bedeutet, Perihill ist der Punkt der nächsten Annäherung der Bahn an die Sonne, nicht Perihill. Und dieser Punkt verschiebt sich aufgrund der Störungen durch Venus und Jupiter um einige hundert Bogensekunden pro Jahrhundert.

Aber das war das größte Problem der Himmelsmechanik im 19. Jahrhundert. Es blieb ein unerklärlicher Rest von 43 Bogensekunden pro Jahrhundert. Was bereits in der Mitte vom 19. Jahrhundert von Levarier, der war damals Direktor in Paris, bekannt war er. Und Einstein schrieb die Theorie, rechnete rum, und es kam aus seiner Theorie sofort die anormale Perihelldrehung des Merkurs richtig heraus. Ohne dass man

einen weiteren Körper brauchte. Das hatte man ja auch postuliert, aber man hatte zwischen Merkur und Sonne natürlich keinen weiteren Planet gefunden.

Jetzt wieder der Zusammenhang zur Geodäsie. Sie sehen jetzt hier Lichtstrahlen, die einmal ohne Sonne sozusagen - das ist hier im unteren Teil - zum Auge des Beobachters kommen. Und Sie sehen dann dasselbe Sternenfeld, wenn hier die Sonne steht. Natürlich können Sie so eine Aufnahme nur während einer totalen Sonnenfinsternis machen. Ist ja klar, nicht. Also sonst würde das Sternenfeld überstrahlt. Also wir betrachten jetzt mal hier den Stern mit Anwesenheit der Sonne. Und dann haben wir hier diese gekrümmte Raumzeit. Und der Lichtstrahl muss also jetzt hier durch diesen gekrümmten Raum laufen. Das heißt, Sie sehen den Stern scheinbar nach außen verschoben. Das ist also genau der Effekt der Lichtablenkung des Gravitationsfeldes der Sonne. Am Sonnenrand beträgt er 1,75 Bogensekunden. Das ist an und für sich relativ viel. Und hier sehen wir bei einer totalen Sonnenfinsternis im Jahr 1922 mal wirklich gemessene Ablenkungen von einzelnen Sternen. Also das ist ganz hübsch.

Hier ist die Skala, eine Bogensekunde ist die Skala. Und Sie sehen, die Pfeile sind also auch größer, wenn wir näher an der Sonne sind. Wenn wir weiter weg sind, sind die kleiner.

Was hat das jetzt mit der Geodäsie zu tun? Nun, das ist nicht nur eine Ablenkung des Lichtstrahles im Gravitationsfeld, sondern für einen außenstehenden Beobachter läuft auch der Lichtstrahl langsamer. Und das ist also hier mal gemacht bei Radarmessungen von der Erde zur Venus, wo sich die Sonne dazwischen geschoben hat. Man hat also wirklich Radarmessungen gemacht hin zur Venus und zurück am Hales-Oroschibo-Teleskop, nicht.

Araschibo ist das größte Radioteleskop der Erde, über 300 m groß, ein ganzer Talkessel ausgekleidet als Radioteleskop.

Und wenn der Lichtstrahl an der Sonne vorbeiläuft, dann läuft er für den außenstehenden Beobachter länger. Und das ist hier dargestellt, bis 200 Mykrosekunden ist hier der Weg. Und das spielt in die Geodäsie mit rein. Und das will ich Ihnen jetzt zeigen. Das bringt mich also dann zu dem letzten Teil des Vortrages.

Üblicherweise, auch damit man den Wert einer solchen Lichtablenkung messen kann, wird ein Parameter eingefügt. Der heißt Gamma. Das Gamma ist bei Einstein eins. Wenn also es herauskäme, Gamma wäre nicht eins, dann wäre Einstein falsch. Diese ganzen modernen astronomischen, geodätischen Methoden können übrigens alle sehr sinnvollerweise dazu eingesetzt werden, die Einsteinsche Theorie zu kontrollieren und zu überprüfen. Das ist also auch ein sehr interessanter Aspekt, der auch von Jürgen Müller, wie gesagt Hannover, weiter verfolgt wird.

Das sind jetzt also verschiedene Messungen von dem Lichtablenkungswinkel Gamma. Gamma gleich eins bei Einstein. Die blauen mit den großen Fehlerbalken sind Messungen während totaler Sonnenfinsternis. Sie sehen der Licht, der Balken ist relativ groß.

Also bei der letzten Expedition da wollte man ich glaube ein paar tausend Referenzsterne sehen. Vorher war ein Sandsturm. Dann hatte man nur ein paar Referenzsterne. Hat also nicht funktioniert. Also die Unsicherheiten bei totalen Sonnenfinsternismessungen sind groß.

Hier das sind Messungen zu Raumsonden auch. Das ist diese Laufzeitverzögerung, dass also das Licht

länger braucht, wenn es durch einen Gravitationspunkt laufen muss. Aber hier sehen Sie im Radiobereich die in der Geodäsie üblicherweise eingesetzte Radiointerferometrie mit großer Basis... die VLBI. Und da sage ich noch jetzt eine Menge mehr dazu.

Also hier noch einmal habe ich ein paar Dinge herausgegriffen. Die Messung von diesem Raumkrümmungsparameter geschah mit einer Genauigkeit von 0,1 Prozent durch Messungen zu Raumsonden. Viking-Sonde zum Mars oder Hiparkos kennen Sie alle, den astrometrischen Satelliten. Aber mit etwa 0,02 Prozent durch die VLBI, die ja nun in der Geodäsie routinemäßig eingesetzt wird. Es kann sein, der eine oder andere kennt VLBI nicht.

Man braucht zur Interferometrie mindestens zwei Antennen. Das sind also Antennen, die im Radiobereich operieren. Bei Zentimeter-Wellenlänge S- und X-Band, also im Gigahertz-Bereich. Und die Signale üblicherweise in der Geodäsie kommen von entfernten Gebilden, Quasare. Die Signale werden hier aufgezeichnet zusammen mit Zeitmarken hochgenauer Atomuhren. Also hier kommen die Atomuhren für dieses Prinzip VLBI ins Spiel. Das sind hier so genannte Wasserstoff-Mäser, die im Kurzzeitbereich höchst stabil sind. Und ohne diese Zeitmarken würde das Prinzip hier nicht funktionieren.

Also Sie sehen, die Entwicklung des Uhrenbaus war sehr wichtig auch für die Entwicklung astronomisch-geodätischer Instrumente. Das ist einfach so.

Okay, dann wird also das Signal vom Gigahertz- in Megahertz-Bereich runtergemischt, wird auf Videobänder geschrieben und zu einem so genannten Korrelator zentral gebracht. Die Bänder werden dann übereinander geschoben, und es wird die so genannte Kreuzkorrelationsfunktion gebildet, aus der man dann die Information bekommen kann.

Hier zum Beispiel die 21m-Radioantenne der Fundamentalstation in Wettzell. Hier der lokale Verbund geodätischer Radioantennen in unserer Nachbarschaft, nicht Effelsberg in der Eiffel, Madrid, Medicina, Onsala in Schweden und so weiter. Und die arbeiten alle im Verbund, um für die Geodäsie eigentlich die Basislinien und deren Änderungen zu kriegen. Für die Geodäten wahrscheinlich mehr ein Abfallprodukt. Das sind so genannte Radiobilder. Das ist für die Astronomie natürlich ganz ganz wichtig.

Ich kann, wenn ich mehrere Radioantennen habe, über die Erddrehung sozusagen in der Bildebene eigene Spuren erzeugen und im Rechner dann zu Bildern kombinieren. Also ich kann Bilder der Quasare machen.

Geodätische Nutzung der VLBI: Basislinien auf etwa 7 mm genau, zeitliche Variationen davon und dann die Erdrotationsparameter. Das ist eigentlich jetzt der letzte Teil meines Vortrages. Das heißt, der Hauptteil über die Relativität ist jetzt eigentlich sozusagen vorbei. Aber noch mal zur Erinnerung: Nicht nur die hochgenauen Uhren sind Voraussetzung für die VLBI, sondern auch etwa hier auch die gravitationsbedingte Lichtablenkung.

Ein paar Zahlen: Am Sonnenrand haben Sie 1,75 Bogensekunden. Nun VLBI kommt jetzt in den Bereich, sagen wir mal 10 Mykrobogensekunden. Wenn Sie fast 180 Grad, sagen wir mal, wir gehen mal 90 Grad weg von der Richtung zur Sonne. Dann ist der Lichtablenkungswinkel immer noch ich glaube 4 Millibogensekunden, also immer noch tausendfach größer als was ich messen kann. Das heißt, ich kann mit VLBI die Gravitationslichtablenkung praktisch bei jeder Quelle sehen. Und jede hochgenaue VLBI-

Auswertungsroutine, ob das Kalksolf ist oder etwas anderes, hat diese Effekte drin. Also die Relativitätstheorie ist routinemäßig eingebaut.

All diese Effekte, über die ich heute rede, die sind in der Software drinne. Das heißt, die kann man auch nicht mehr rausnehmen. Wenn ich sie rausnehmen würde, würde ich unphysikalische Ergebnisse für andere Dinge bekommen. Hier die Basislinie zum Beispiel Wetzell nach Westford, Westvirginia als Funktion des Jahres 1983 bis 1995 hier. Sie sehen deutlich den Drift der Kontinentalverschiebung. Das heißt also in dem Fall werden 17 plus/minus 0,3 mm pro Jahr für die Kontinentalverschiebung gemessen. Die VLBI ist eine ganz fantastische Technik, die im gewissen Sinne auch gegenüber GPS Vorteile hat. Sie ist heutzutage mit ihrer wahnsinnigen Messgenauigkeit in der Lage, uns grundlegende Informationen über das System Erde zu geben. Und ich meine, das gehört zur Geodäsie dazu.

Also viele Gruppen diskutieren auch, was eigentlich Geodäsie heute ist oder sein kann. Und die Geodäsie ist also interdisziplinär geworden und hat also nicht nur mit einer starren Erde sondern mit einem dynamischen System Erde etwas zu tun. Das heißt also, heute haben Sie über die VLBI-Messung, etwa auch über GPS-Messung Informationen über das Gesamtsystem Erde, nicht nur über die Gezeitenkräfte hier, sagen wir mal von Sonne, Mond und Planeten, sondern Sie haben, Sie sehen heute die Winde, Sie sehen die Ozeanzirkulationen, Sie sehen den atmosphärischen Druck, Sie sehen das Abschmelzen der Eiskappen, und Sie sehen hier auch Effekte von dem Erdmantel, vom dem inneren und dem äußeren Kern. Also das Gesamtsystem Erde spielt heute eine Rolle. Ich will das am Ende meines Vortrags noch ein bisschen mehr erläutern anhand der Tageslänge.

Ich sagte ganz am Anfang: Die Erde ist keine ideale Uhr mehr, sie schwankt um tausendstel von Sekunden pro Tag. Und das nennt man also die Tages- oder LOD. Das ist neudeutsch: length of day, LOD variations.

Und hier ist die Amplitude in Mikrosekunden dargestellt. Also Sie denken sich, die Länge eines siderischen Tages ist 86.400 Sekunden plus hier irgendwas, was hier dargestellt ist. Und das ist hier aufgedröselt nach Zeitskalen. Das heißt, diese Erdrotation schwankt aufgrund vielerlei Umstände: grün die Ozeane, die machen was; die Atmosphäre hier oder die Gezeiten der festen Erde, nicht.

Denken Sie nicht, in Rathenow stünden Sie so ganz sicher, nicht. Der Mond, wenn der kommt, der zupft Sie hoch und runter vielleicht um 30 cm. Das ist halt so.

Und hier das erzähle ich ganz am Ende noch zu dem ENSO, dem El Niño/Sadon oscillation. Das sind also Dinge, die mich faszinieren, dass man sie aus einem Studium der Erdrotationen herausbekommen kann. Betrachten wir mal die Schwankungen der Erdrotation, also der Tageslänge gemessen mit VLBI. Das ist die rote Linie über eine längere Zeitskala von Jahr 1990 bis 1995, hier die Schwankung in Mikrosekunden. Oben aufgetragen der Drehimpuls, der in der Atmosphäre steckt. Den kann man also von den Wetterzentren bekommen. Der ist im Moment im Internet verfügbar. Das sind also, nicht, Messungen der Luftgeschwindigkeit und des Luftdruckes und der Temperatur in verschiedenen Höhen an vielen Orten der Erde, liefert den atmosphärischen Drehimpuls AAM (atmospheric angular momentum). Sie sehen, das korreliert höchst. Und in der Tat also auf lange Zeiten sieht man in der Erdrotation die Atmosphäre. Es hat sich als günstig erwiesen, gewisse Signale nicht nach Fourier zu transformieren, sondern also nach

solchen Dingen, Sinus und Cosinus – das sind ja viele gewohnt - sondern nach Wellenpaketchen hier, so genannten "wavelets". Und wenn man hier das Signal hat als Funktion der Zeit - Sie sehen also zwei Frequenzen - dann liefert die Furiendarstellung nur hier Information über die zwei, aber keine Zeitinformation.

Wenn Sie eine Wavelet-Darstellung machen, sehen Sie sogar noch, wo von einer Frequenz in die andere übergegangen wird. Das heißt, Sie haben eine Frequenz-Zeit-Information. Die Furiendarstellung liefert ausschließlich eine Frequenzinformation.

Okay, hier oben sehen Sie eine Wavelet-Darstellung der Tageslängenschwankung. Also da passiert einiges. Also in Farbe - das können Sie jetzt sicher nicht lesen - kodiert sind die Schwankungen der Erdrotation, also von hier dieser Farbe bis zu dieser. Okay, 0,1 Millisekunde oder was ist also hier dann rot. Dann sehen Sie hier die Gezeiten zum Beispiel, nicht, der festen Erde bei einem Monat und bei einem halben Monat. Können Sie sehen in dem Bild. Interessant sind zum Beispiel hier die Flecke bei 800 Tagen. Da weiß man, das sind Effekte der strophischen Stratosphäre, also von der Atmosphäre. Und hier unten ist ein entsprechendes Wavelet-Bild des atmosphärischen Drehimpulses dargestellt. Das heißt, Sie sehen, wenn sie Punkte haben, die hier wieder auftauchen, dann kommen die von der Atmosphäre. Okay, also einmal Atmosphäre und dann hier dieser große rote Fleck das ist das El-Nino-Ereignis 83.

Da sage ich ganz am Ende noch etwas dazu.

Atmosphäre, nicht, ist ein komplexes Gebilde. In den Äquatorregionen ist es üblicherweise warm. Da steigt die Luft hoch, sinkt dann in den mittleren Breiten bei 30 Grad plus/minus nach unten. Es bilden sich so genannte Hadley-Zellen aus. Und durch die Erdrotation kommen hier auch die Passatwinde zustande. Hier zum Beispiel zonale Windfelder in vielleicht 8 km Höhe, wo der Jetstream operiert, wo Sie große, sehr sehr große Windgeschwindigkeiten haben. Und in der Tat Hauptbeiträge zum atmosphärischen Windimpuls kommen durch die Jetströme zustande. Also das heißt, in der Erdrotation lerne ich auch etwas über die Jetströme hier. Bei kürzeren Perioden - Sie sehen jetzt hier haben wir keine Jahre, jetzt haben wir hier Tage, Januar 94, der 12., 26. Spielen dagegen Ozeane eine Rolle - das Modell der Ozeane ist hier rot - also längere Zeitskalen, dominiert die Atmosphäre kürzer die Ozeane.

Jetzt ganz am Ende noch was ich sehr faszinierend finde, dass man über solche Studien mit VLBI, wo die Relativitätstheorie eine wirklich wichtige Rolle spielt, ganz besondere Informationen bekommen kann, etwa hier über den El Nino.

Periodisch alle drei bis sieben Jahre tritt El Nino auf. Spanisch "nino" heißt Kind. Das ist aber hier gemeint "Christkind", weil dieses Phänomen üblicherweise um Weihnachten herum auftrat. Mit dem Beginn von El Nino wird das Wasser vor der Küste Perus wärmer, und die Fischnahrung, dieses Krill oder dieses Zeugs, hängt am kalten Wasser, das verschwindet, und die Fische sterben dann aus. Also der Fischfang leidet ganz enorm, wenn hier so ein El-Nino-Phänomen auftritt. El Nino beginnt mit einer Abschwächung der Passatwinde, die sogar in die andere Richtung blasen können. Üblicherweise blasen die El-Nino-Winde sehr sehr heftig. Nach ein bis zwei Jahren bauen sich wieder normale Druckgradienten auf, und die Passatwinde blasen auch wieder normal. Das ist also eine Schwingung, die letztlich gekoppelt ist zwischen Atmosphäre und auch Ozean. Und die heißt also Sadan oscillation. Und mit El Nino verknüpft ist

das der ENSO El Nino Sadan oscillation.

Und ganz am Ende habe ich Ihnen jetzt noch mal diese Bilder mitgebracht. Rot sind also wärmere Meeresschichten. Wollen wir mal gucken. Hier ist also Amerika, hier ungefähr ist die Westküste ...

*Applaus*

Ja, Herr Prof. Soffel schönen Dank für Ihren Vortrag und für die vielleicht doch nicht so sehr populärwissenschaftliche Darstellung. Es sind vielleicht kleine Restprobleme geblieben, die wir nicht verstanden haben.

*Gelächter*

Die Zeit reicht leider nicht, um das noch mal auszudiskutieren, aber Sie haben uns ja gestern Abend versprochen, in einer kleinen Runde, in einer kleinen Runde dürfen Herr Tilly und ich Nachhilfestunde in Dresden bei Ihnen nehmen, was die gesamte Problematik geodätische Astronomie, Einstein angeht. Das ist im Ernst so, Dresden baut ein neues Observatorium, das Geodätische Institut. Und wenn, ich denke wir sollten uns die Zeit nehmen, die, die sich dafür angemeldet haben, Ihrer Einladung folgen, um ein Stück weit die zwei kleinen Probleme, die wir jetzt nicht lösen konnten, in kleinerer Runde zu diskutieren. Schönen Dank, dass Sie gekommen sind.

Angebot steht

Ja, schönen Dank.

*Applaus*

Auf die Gefahr hin, dass Sie schon alles wissen, (*Gelächter*) schenken wir Ihnen ein Buch, genauso wie das ich es Herrn Kloeppele geschenkt habe, wo die Geschichte über die Bestimmung des Meters beschrieben ist populärwissenschaftlich. Vielleicht gibt es Ihnen doch ein Stück weit neues Wissen.

Danke schön, danke.

*Applaus*

So jetzt sind wir fast am Ende. Hm.

Herr Tilly, ich hatte schon Angst, da ich Sie hier oben nicht mehr sah, Sie sind rausgegangen, weil Sie das alles schon wissen.

## *Gelächter*

Aber ich glaube noch einmal: Es ist schon erstaunlich, dass meine ich so ein Stück weit hat man sich mit dem Lebenslauf von Einstein beschäftigt, zu dem Zeitpunkt, wo er die spezielle Relativitätstheorie und drei andere Arbeiten gemacht hat. Dann war er wirklich im Eidgenössischen Amt in der Schweiz, in einem Eich- und Prüfam, glaube ich. Es muss damals nicht so sehr anstrengend gewesen sein (*Gelächter*) die eigentliche Aufgabe. Gut, okay.

Ja, an dieser Stelle vielleicht, bevor wir noch mal die zwei Tage ein Stück weit diskutieren oder an uns vorbeiziehen wollen. Das hatten wir uns ja vorgenommen, Herr Tilly.

Jetzt habe ich leider den Kalender nicht, hier an dieser Stelle Ihnen allen zu sagen, wie das denn nächstes Jahr abläuft. Wir halten natürlich an unserer gemeinsamen Fachtagung fest, zumindest solange, bevor, bis wir noch im Berufsleben stehen, Herr Tilly. Ja. Das ist erstmal so gesichert. Es findet nächstes Jahr in Cottbus statt. So weit sind die Vorbereitungen. Das hat auch einen Anlass. Nicht weil ich dort mein Büro habe (*Gelächter*), sondern weil Cottbus 850 Jahre alt wird. So genau ist es zumindest nach einschlägigen Atomuhren, Prof. Soffel, bestimmt worden. Cottbus wird 850 Jahre alt. (*Gelächter*) Und das zweite Septemberwochenende - wenn Sie sich das vormerken können - das zweite Septemberwochenende im Jahre 2006 soll wieder am Freitag, Sonnabend unsere gemeinsame Fachtagung mit interessanten Themen, denke ich, und mit viel Stoff zum Diskutieren aber auch mit ein Stück Gemütlichkeit in Cottbus wieder realisiert werden. Das soll vielleicht der Ausblick sein dessen, was 2006 stattfindet. Bis dahin haben wir noch ein langes Jahr an Arbeit vor uns mit den Problemen, die uns heute hier, gestern beschäftigt haben.

Ich denke, es war wieder eine schöne und eine interessante fachliche Veranstaltung mit viel Diskussion, wenn auch an der einen oder anderen Stelle, das ist so, wieder das Diskutieren zu kurz gekommen ist, zumindest gestern was die Strukturreform angeht. Ich denke, es sind aber auch Vorträge gehalten worden, die auch Herrn Oswald, der ja relativ festgelegt ist in vielerlei Fragen, mit Diskussionen sicher, aber trotzdem noch mal zum Nachdenken anregen. Das ist mir als Berufsvertreter des Freien Berufes ganz wichtig.

Ich danke da auch vor allem noch mal dem Herrn Schultz, der hier sehr umfänglich die Ängste des Freien Berufes, aber ich glaube, das sind auch die Ängste der Kollegen aus den Kataster- und Vermessungsämtern. Dass das ernst genommen wird, dass diese Veranstaltung nicht nur dazu da ist, um ein Plädoyer zu geben, sondern es soll ja tatsächlich zum Nachdenken anregen. Und insoweit glaube ich, dass dies, oder hoffe ich auch ein Stück weit, für die kommende Arbeit mit auf den Weg mitgenommen werden kann.

Die Podiumsdiskussion, meine ich, auch wenn wir die Lösung nicht parat haben, wurde aber sehr konstruktiv diskutiert, auch aus dem Auditorium. Das finden wir gut. Mit den Ideen oder mit den Vorschlägen und mit den Problemen müssen wir zurechtkommen in den kommenden Jahren, der Freie Beruf. Welche Lösungsmöglichkeiten wir finden werden, kann ich Ihnen heute nicht sagen. Aber das Problembewusstsein ist zumindest geschärft in keiner Frage. Damit gehen wir ein Stück weit mit unserer

heutigen Veranstaltung auch in das nächste Jahr.

Herr Tilly.

Ja, herzlichen Dank Herr Schultz, Herr Prof. Soffel.

Zwei Tage dauert diese Veranstaltung, und wir haben zehn Minuten überzogen für fast 48 Stunden. Ich denke, da liegen wir auch schon in einer relativ guten Fehlerquote.

Ihnen allen herzlichen Dank.

Zur Vorbereitung des nächsten kleinen Geodätentags noch mal auch eine Bitte: Jahr für Jahr treffen wir uns ja zum Jahresanfang mit dem Vorstand des BDVI und legen so in etwa die Grobplanung fest für die Herbstveranstaltung. Uns ist es natürlich wichtig, dass rechtzeitig aus den Kataster- und Vermessungsämtern wie aber auch vom freien Berufsstand Themenblöcke mitgeteilt werden. Nicht unbedingt jetzt die Einzelfrage, sondern Themenblöcke, die wir dann aufgreifen und so als Orientierung und Zeitrahmen dann auf diesem kleinen Geodätentag mit inhaltlichen Beiträgen und Vorträgen füllen wollen.

Mir bleibt nur zum Schluss übrig Dank zu sagen Ihnen, einmal dem BDVI mit all den Kollegen, Herrn Reichert jetzt auch in der Geschäftsstelle, wo ich den Eindruck habe, das ist eben nicht einfach so mit links zu machen. Viele kommen ja hierher und denken, ist ganz gut zwei Tage. Da ist sehr viel Zeit und Vorbereitung notwendig und auch wie eine alte Tradition hier in Rathenow wieder Fuß fasst. Herr Nedeß mit seinem Büro, der also die ganze Ortslogistik hier betreut hat. Es ist hervorragend. Ich bedanke mich für Ihre Zusammenarbeit und sehe sehr optimistisch für, an unsere nächste Veranstaltung im nächsten Jahr in Cottbus. Danke schön.

Ja, Herr Tilly.

*Applaus*

Herr Tilly, lassen Sie mich den Dank weitergeben an den Organisatoren. Einen haben Sie genannt. Das ist der Herr Reichert, der ja jetzt die Geschäftsstelle in Cottbus ausfüllt für den BDVI, keine Volltimestelle, aber wenigsten am Tag die halbe Zeit, als solches eine maßgebliche Unterstützung für die berufspolitische Arbeit, aber vor allen Dingen auch den Mitorganisatoren, die viele Stunden dabei mitgewirkt haben, damit diese Veranstaltung den Rahmen und den Eindruck, dass wir diesen Eindruck mitnehmen konnten, dass die Organisation so reibungslos verlaufen ist. Das ist einmal das Büro von Uwe Nedeß. Und das ist zum anderen auch das Katasteramt. Denn das sollte hier auch noch mal gesagt werden, die auch gestern, aber auch in der Vorbereitung hier im Havelland diese Veranstaltung sehr uneigennützig und problemlos mit Personal auch unterstützt haben. Dafür noch mal schönen Dank.

Jetzt ist das da, ja.

Uwe, ich bitte Dich vorzukommen und einen Vertreter vom Katasteramt Havelland. Wer ist da da? Ist noch jemand da? (*Gelächter*) Ist noch jemand da?

Schönen Dank, Uwe und Deinem Kollektiv, Deinen Kolleginnen und Kollegen.

*Applaus*

Okay, schönen Dank.

*Applaus*

Gut, gut. Herr Tilly und Herr Oswald, wir haben auch für Sie etwas zum Lernen.

Danke. Danke.

... zum Lesen genauso wie wir es dem Herrn Professor gegeben haben. Herr Oswald, vielleicht ...

Der Walter Schwenk, der ist schon draußen?

Die sind noch da.

Oh, Herr Walter Schwenk.

Ja, es ist wie zu einer Geburtstagsfeier hier, ne.

Schönen Dank, dass Sie gekommen sind als Berliner ÖbVI nach Brandenburg. Ich hoffe es hat Ihnen gefallen. Uns hat jedenfalls Ihre Diskussion ein Stück weit bereichert. Danke schön und alles Gute.

Ja, danke.

Okay, Prof. Witte, wo ist er? Ist er noch da? Oh, auch wenn Sie neoliberale Gedanken haben (*Gelächter*), die und nicht so gefallen (*Applaus*).

Aber das hat ja die Diskussion, das war ja auch unserer Ziel, jemanden zu haben. Sonst hätten wir ja alle in derselben Tonart, in derselben intellektuellen Herangehensweise diskutiert. Ich danke Ihnen, dass Sie zur Verfügung gestanden haben. Ihnen alles Gute.

Danke schön.

Okay. Viel Glück.

*Applaus*

Gut, ja. Dann bleibt mir nur noch die Beendigung unserer Tagung Ihnen anzusagen. Es ist nur noch jetzt Mittagessen hier im Foyer möglich. Und ab 13.00 Uhr, wer das noch nicht gesehen hat, hier in Rathenow das Optikumuseum, ab 13.00 Uhr wird geöffnet. So wie gestern gesagt worden ist, dass diejenigen, die noch keinen Durchblick haben, es womöglich mit dem Rathenow-Museum und mit dem Brillen- und mit dem Optikumuseum dann vielleicht auch erfahren mögen.

Okay, danke für Ihr Kommen. Und damit möchte ich die Tagung beenden.

*Applaus*