

Anmerkungen zum Versuch „Parakonisches Pendel – Allais-Effekt“

A. Heck, E. Zentgraf, T. Senkel, T. Junker, L. Lemons
Göde Wissenschaftsstiftung - IGF, Am Heerbach 5, 63857 Waldaschaff

Einführung

Von 2005 bis 2007 wurde am Institut für Gravitationsforschung IGF ein Experiment zum Allais-Effekt durchgeführt, der 1954 zum ersten Mal von Wirtschafts-Nobelpreisträger Maurice Allais et al. beobachtet wurde. M. Allais benutzte ein Pendel, das in zwei Richtungen verschieden stark angeregt werden und dessen Hauptschwingungsebene sich frei drehen konnte. Die Drehbewegung eines solchen Pendels kann vorausgesagt werden und ist recht gering. M. Allais gab nun an, dass diese Drehung besonders bei Sonnenfinsternissen stärker als angenommen wird, woraus er auf das Vorhandensein einer Störung in der Raum-Zeit, mithin also in Trägheit und Schwerkraft, schloss. Aufgrund der Untersuchungen am IGF kann jedoch gefolgert werden, dass die Drehung eines Allais'schen Pendels nicht mit Gestirnskonstellationen, sondern vielmehr mit Störungen in der Umgebung des Versuchsaufbaus korreliert. Die von M. Allais zur Beschreibung seines Effekts empirisch gewonnene Gleichung kann mit dieser Annahme auch theoretisch abgeleitet werden.

Der Allais-Effekt

Der Allais-Effekt [1] zeigt sich nach M. Allais [2] besonders gut an sogenannten Parakonischen Pendeln.

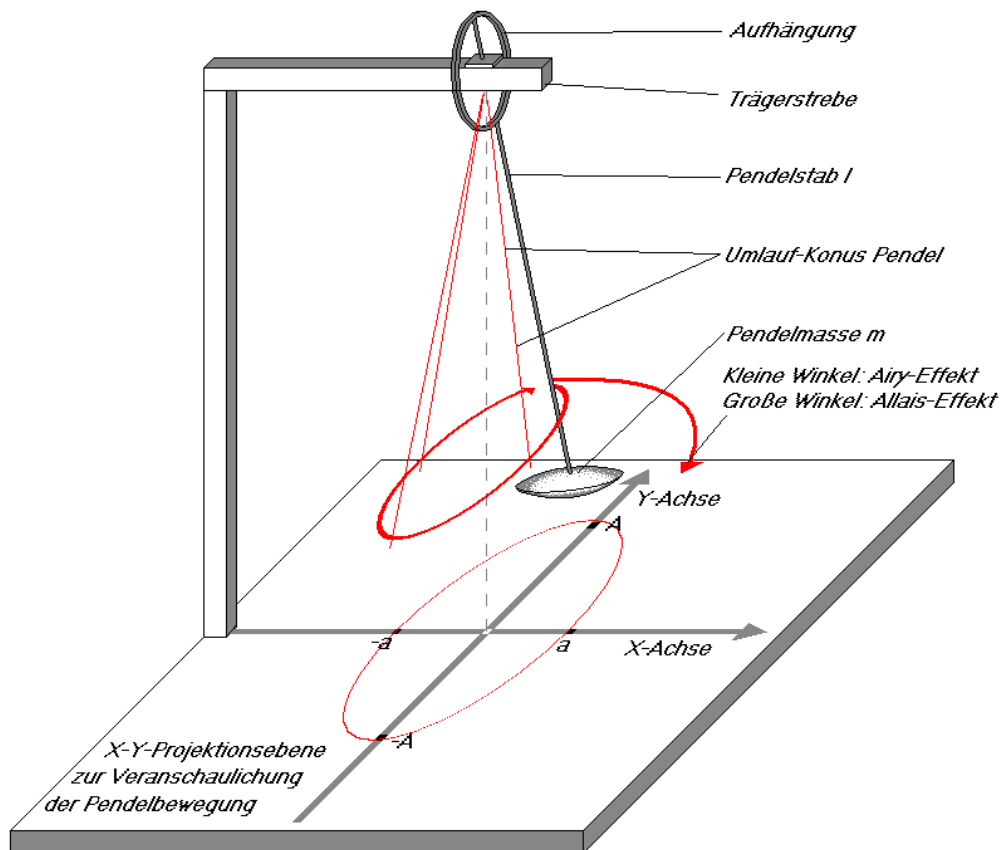


Fig.1) Prinzip-Skizze zur Erläuterung des Parakonischen Pendels, des Airy- und des Allais-Effekts. Die Breite der Pendelkörper-Bahnellipse ist zur Veranschaulichung übertrieben groß dargestellt

Ein Parakonisches Pendel besteht aus einem schweren Pendelkörper der Masse m – wegen seiner Größe wird dieser Körper zur Reduzierung des Luftwiderstands in alle Richtungen in neuerer Zeit gern als waagrecht montierte Linse ausgeführt, aber auch vertikale Linsen

können verwendet werden – an einem starren, kurzen und im Vergleich zum Pendelkörper relativ leichten Pendelstab der Länge l .

Das Pendel kann sich um die Z-Achse – definiert als Vertikale durch den Ruhepunkt des Pendelkörpers – drehen, während es über der X-Y-Ebene – X und Y rechtwinklig zu Z, mit Y in Richtung Nord, X in Richtung Ost – schwingt. Der Winkel φ , den eine beliebig liegende Gerade durch den Ursprung in der Ebene mit der Y-Achse einschließt, ist der – nautische – Azimut.

Obwohl das Parakonische Pendel kein Mathematisches Pendel ist, folgt seine Periode T bzw. (Kreis-)Frequenz p , wie von M. Allais [2, S.55R] angegeben, ziemlich genau der Formel:

$$p = \frac{360^\circ}{T} = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Die freie Drehbarkeit um Z wird an Parakonischen Pendeln üblicherweise durch einen Ring am oberen Ende des Pendelstabes realisiert, durch den eine Trägerstrebe geht. Ein Stahldorn an der oberen Innenseite des Ringes ruht direkt oder über eine harte Kugel auf einer Unterlage aus ähnlich hartem Material.

Wegen des auf einer recht kleinen Fläche der Unterlage lastenden Gewichts des Pendels muss diese allerdings eingedrückt werden. Sowohl bei Verwendung eines Dorns als auch einer Kugel wird die Form der Druckstelle dem Negativ einer Kugel-Kalotte entsprechen.

Wenn die Unterlage entweder überhaupt oder kurzzeitig, etwa durch Erschütterungen der Trägerstrebe, von der Horizontalen abweicht, liegen Dorn oder Kugel effektiv in einer negativen Ellipsoid-Kalotte, deren Form natürlich ggf. veränderlich wie die sie erzeugenden Erschütterungen sein kann.

Die Form der Delle hat durch die über den starren Pendelstab direkte Kopplung von Pendel- und Dorn- bzw. Kugelbewegung Einfluss auf die Rückstellkraft F und damit die (Kreis-)Frequenz $p = F/ml$ des gesamten Pendels: Hat die Delle Kugel-Kalotten-Form, so sind die Rückstellkräfte und (Kreis-)Frequenzen in alle Richtungen gleich bzw. isotrop.

Andernfalls werden Kräfte und Frequenzen für verschiedene Richtungen auch verschieden, also anisotrop, sein.

Wird ein frei um Z drehbares Pendel in Y-Richtung um die Strecke A ausgelenkt, so lässt sich in der Realität eine relativ dazu um einen Winkel κ in der X-Y-Ebene verdrehte kleine Störauslenkung um die Strecke $a \ll A$ nicht vermeiden. Gleichzeitig werden natürlich in der Aufhängung Dorn oder Kugel um die – entsprechend kleineren – Strecken D und $d \ll D$ in entgegengesetzte Richtungen zu A und a in der Delle der Unterlage ausgelenkt.

Ist die Aufhängung des Pendels isotrop, so setzt sich die den Auslenkungen folgende Schwingung aus zwei Teilschwingungen zusammen, die beide die Frequenz p haben. Projiziert auf die X-Y-Ebene führt der Pendelkörper dann eine Bewegung in Form einer langgestreckten Ellipse mit großer Halbachse A und kleiner Halbachse a aus. Die Lage dieser Ellipse in der X-Y-Ebene wird vom Winkel κ – der Phase – der Auslenkungen zueinander bestimmt. Ist $\kappa = \pm 90^\circ$, so liegt die Ellipse symmetrisch zu X und Y – dieser Fall ist in Fig.1) dargestellt – andernfalls schräg zu diesen.

Der Pendelstab umschreibt (Griech. para) bei dieser Bewegung einen Kegel (Griech. konos) mit nahezu elliptischer Basis, was dem Pendel seinen Namen gibt.

Die Winkelgeschwindigkeit des Pendelkörpers in der X-Y-Ebene wurde 1851 von G.B. Airy angegeben zu [8][9, S.127]:

$$\omega_0 = \pm p \frac{1}{1 + a^2/16l^2} \approx \pm p \left(1 - \frac{a^2}{16l^2} + \frac{a^4}{256l^4} - \dots \right) \approx \pm p(1 - a^2/16l^2)$$

Die Drehung kann natürlich sowohl im mathematisch positiven wie negativen Sinn verlaufen.

G.B. Airy fand ebenso heraus, dass sich die Bahnellipse des Pendelkörpers je nach Größenunterschied zwischen A und a mehr oder minder langsam um die Z-Achse drehen muss. Definiert man den Drehwinkel φ_{Airy} dieser durch den sog. Airy-Effekt verursachten Bewegung über den Winkel der Großen Halbachse A der Bahnellipse relativ zur Y-Achse, so beträgt die Winkelgeschwindigkeit dieser Drehung [8][9, S.127]:

$$\omega_{Airy} = \frac{d\varphi_{Airy}}{dt} = \omega_0 \frac{3}{8} \frac{A}{l} \frac{a}{l} \approx \pm p(1 - a^2/16l^2) \frac{3}{8} \frac{A}{l} \frac{a}{l}$$

Sie verläuft immer im gleichen Sinn wie die Bahnbewegung des Pendelkörpers selbst.

Aber ω_{Airy} ist gering: ein Pendel mit $l=1$ m, $A=0.08$ m und $a \leq 0.001$ m benötigt mindestens 66663 s oder 18 h 31 min. für eine volle Umdrehung der großen Bahnellipsen-Halbachse A um die Z-Achse.

Bei einem frei um Z drehbar aufgehängten Pendel führt zusätzlich noch der vom Breitengrad L des Standortes abhängige Coriolis-Effekt zu Drehungen von A , ähnlich wie beim – allerdings ganz anders gebauten – Foucault-Pendel. Die Drehung der großen Bahnellipsen-Halbachse A um φ_{Cor} hat bei $\omega_{Erde} = 4.167 \cdot 10^{-30} / s$ also die Winkelgeschwindigkeit:

$$\omega_{Cor} = \frac{d\varphi_{Cor}}{dt} = -\omega_{Erde} \sin[L]$$

Diese Drehung erfolgt immer im mathematisch negativen Sinn.

In Mitteleuropa – bei $L \approx 50^\circ$ – dauert eine volle Drehung von A eines Pendels durch den Coriolis-Effekt also 112787 s oder 31 h 20 min.

Die aus dem Airy- und Coriolis-Effekt folgende Drehbewegung der großen Bahnellipsen-Halbachse A um den (Azimut-)Winkel φ relativ zur Y-Achse hat also die Winkelgeschwindigkeit:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \omega_{Cor} + \omega_{Airy} = -\omega_{Erde} \sin[L] + \frac{3}{8} \frac{A}{l} \frac{a}{l} \omega_0$$

M. Allais nimmt nun offenbar an, dass der Airy-Effekt durch die Anisotropie der Aufhängung eines Pendels verursacht wird. Jedenfalls versuchte er, beinahe isotrope Parakonische Pendel zu schaffen, indem er die Unterlageplatten in deren Aufhängungen aus sehr hartem Material (Achat, Mohs-Härte 7 von 10) machte, um so die Dellenbildung einzuschränken und damit anscheinend den Airy-Effekt zu reduzieren. Da der Effekt seiner Meinung nach bei derartigen Pendeln tatsächlich kaum noch messbar war, sollten seine verbesserten, fast isotropen Pendel für die Drehung der großen Bahnellipsen-Halbachse A genährt nur noch die Winkelgeschwindigkeit des Coriolis-Effekts messen können:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \approx \omega_{Cor} \approx -\omega_{Erde} \sin[L]$$

Wie verschiedene Versuchsreihen – teils wochenlange Beobachtungsreihen, die aus sehr vielen 12-Minuten-Intervallen bestanden – in den Jahren 1954 bis 1960 zeigten, wurden zu verschiedenen Zeiten und insbesondere, wenn Sonnenfinsternisse stattfanden, aber doch teils viel höhere Winkelgeschwindigkeiten gemessen, als M. Allais nach der entsprechenden Gleichung für seine fast isotropen Pendel erwarten konnte. Dies ist der sogenannte Allais-Effekt.

Als Fazit seiner Experimente gab M. Allais die folgende empirische Formel für die Winkelgeschwindigkeit der Drehung der großen Bahnellipsen-Halbachse A bei Parakonischen Pendeln an [2, S.31R]:

$$\omega = \omega_{Cor} + \omega_{Allais} = -\omega_{Erde} \sin[L] \pm k \sin[2(\chi - \varphi)]$$

Der letzte Term auf der rechten Seite, also:

$$\omega_{Allais} = \frac{d\varphi_{Allais}}{dt} = \pm k \sin[2(\chi - \varphi)]$$

wird in folgenden Allais-Effekt-Term genannt. Leider definiert M. Allais den Parameter k nicht näher. Die Größe χ im Argument des Sinus gibt nach M. Allais den Azimut des nach ihm benannten Effekts auf der Erdoberfläche an.

M. Allais interpretierte seinen Effekt als einen nicht durch anisotrope Pendelaufhängungen, sondern durch anisotrope irdische, lunare und solare Gravitationsfelder bzw. Raumkrümmungen hervorgerufenen, modifizierten Airy-Effekt .

Es sei aber darauf hingewiesen, dass M. Allais in seiner Theorie nicht darauf eingeht, dass der Airy-Effekt – und folglich dann auch sein eigener, darauf aufbauender Allais-Effekt – in seiner Sicht nur auf einer konstanten Störung in der Aufhängung, allgemein betrachtet zumindest aber nur auf einer Störung beim Start eines Pendels beruht und dann konstant bleibt.

M. Allais beschreibt damit aber Beobachtungen an Winkelgeschwindigkeiten, die sich über Zeiträume von 12 Minuten erstrecken und während derer sich eben diese Geschwindigkeiten ändern. Dies ist ein Widerspruch.

Eine Änderung des Raumes respektive der Gravitation bei bestimmten Konstellationen von Himmelskörpern – wie dies etwa eine Drucktheorie der Schwerkraft fordern würde – in einem relativ einfach nachzuvollziehenden Versuch macht die Experimente von M. Allais natürlich in jedem Fall hochinteressant.

Dementsprechend wurden am IGF zwischen 2005 und 2007 Messungen mit einem Parakonischen Pendel zur Überprüfung der Resultate von M. Allais vorgenommen [3][4][5].

Das Experiment zum Allais-Effekt am IGF

Die am IGF benutzte Variante des Parakonischen Pendels hatte eine Länge von $l = 0.9$ m. Die Pendel-Periode wurde zu $T = 1.8587$ s (1.9 s berechnet) und die Pendel-(Kreis-)Frequenz zu $p = 193.6838^\circ/s$ (189.5°/s berechnet) bestimmt.

Die Auslenkung in Y-Richtung betrug immer $A = 0.08$ m . Da für einige Minuten nach dem Start der Coriolis-Effekt immer gut sichtbar war und damit sicher größer als der Airy-Effekt war, kann auf die Startauslenkung a zurückgeschlossen werden Diese kann demnach immer nur $a \leq 0.0005$ m gewesen sein. Der Phasen-Winkel κ war beim Start immer sehr nahe bei $\kappa \approx \pm 90^\circ$, denn bei den ersten Schwingungen des Pendels war A stets annähernd parallel zur Y-Achse [3].

Um ein um die Z-Achse frei bewegliches Pendel zu bekommen, wurde eine beinahe isotrope Aufhängung, wie von M. Allais beschrieben, verwendet. Trotz hoher Materialhärte der Unterlage (Gehärteter Stahl, Mohs-Härte 8 von 10) waren eingeprägte Dellen von $0.25 \mu\text{m}$ Tiefe sowie Längen und Breiten im Bereich von $10 \mu\text{m}$ unvermeidbar, wie Elektronenmikroskopische Aufnahmen zeigten [4].

Bedingt durch die Aufhängung des Pendels per Ring konnte der Drehwinkel der großen Bahnellipsen-Halbachse φ nur über maximal 57 min. kontinuierlich aufgenommen werden. Die Drehung der großen Bahnellipsen-Halbachse A des Pendels wurde durch die Aufhängung per Ring und Trägerstrebe mechanisch auf $\varphi_{Max} = \pm 30^\circ$ begrenzt. Erreichte der Innenrand des Ringes die Trägerstrebe, so wurde die Pendelbewegung gestoppt, das Pendel automatisch in seine Startlage ausgelenkt und dann wieder gestartet. Das nahm jeweils etwa 3 min. in Anspruch. Um Fehler im Bereich von φ_{Max} auszuschließen, wurden nur Messzyklen mit 27 min. Länge betrachtet.

Die Ermittlung des Drehwinkels φ der großen Bahnellipsen-Halbachse erfolgte mit zwei Laser-Entfernungsmessern an der unteren Spitze des Pendelstabes. Außerdem wurde der Drehwinkel am oberen Ende des Ringes nach dem Prinzip einer Spiegelwaage direkt gemessen. Die beiden so ermittelten Werte stimmten gut überein. Der größte Fehler betrug $\Delta\varphi = 0.00333^\circ$ [3].

Nach dem Start drehte sich die große Bahnellipsen-Halbachse A immer zuerst für sehr genau 3.9 min im mathematisch negativen Sinn. Im Rahmen der Messgenauigkeit ließ sich hier gut die Drehung durch den Coriolis-Effekt beobachten.

Die Winkelgeschwindigkeit des Effekts am Standort des IGF bei 50° nördlicher Breite beträgt $\omega_{Cor} = -\omega_{Erde} \sin[L] = -0.0032^\circ / s$.

Wie bereits erwähnt, konnte die Winkelgeschwindigkeit aufgrund des Airy-Effekts demnach höchstens konstant $\omega_{Airy} \leq 0.0032^\circ / s$ betragen.

Zu Ende der ersten 3.9 min. zeigte sich dann in ω der von M. Allais beschriebene Effekt mit ω_{Allais} . Nach dieser Zeit dominierte ω_{Allais} die Winkelgeschwindigkeit ω völlig. Fig.2) zeigt den prinzipiellen Verlauf einer φ, t -Messung am Parakonischen Pendel des IGF.

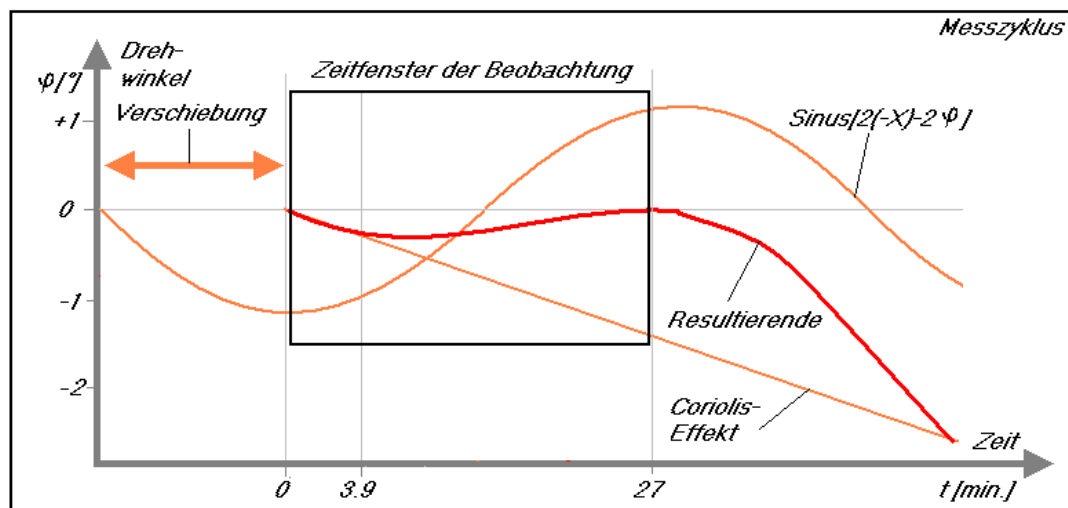


Fig.2) Prinzipieller Verlauf einer Messung von φ gegen die Zeit t am Parakonischen Pendel des IGF

Die Resultate aus Messungen mit dem beschriebenen Parakonischen Pendel des IGF, auf die sich dieser Artikel bezieht, sind zwischen Februar 2005 und Februar 2007 – während fast zweier Jahre – erfasst worden.

In diesen Zeitraum fielen – von Deutschland aus sichtbar – eine totale Sonnenfinsternis am 29.3.2007, eine ringförmige Sonnenfinsternis am 3.10.2005, eine partielle Mondfinsternis am 7.9.2006 sowie eine Mond-Halbschatten-Finsternis am 14.3.2006. Hierbei standen immer Sonne, Erde und Mond in – nahezu – einer Linie.

Da der Versuchsaufbau automatisiert war, konnte innerhalb der 2 Jahre kontinuierlich gemessen werden, denn ein schwächerer Allais-Effekt soll ja auch bei einfachen Sonne-Erde-, Sonne-Mond- und Erde-Mond-Konstellationen auftreten. Zudem wurde Jupiter mitbetrachtet, da bei einem Experiment von M. Allais 1954 Sonne, Erde und Mond nicht alleine, sondern auch mit Jupiter in einer Linie standen [3].

Zum Zeitpunkt der Sonnen- und Mondfinsternisse traten allerdings keine besonders großen, signifikanten Änderungen $\Delta\varphi$ bzw. $\Delta\omega$ pro Zeit t im Vergleich zu Referenz-Messungen 1-2 Tage zuvor oder danach auf. Der Befund von M. Allais konnte bei keiner der 4 Finsternisse bestätigt werden [3][4].

Andere Konstellationen, wie sie innerhalb von 2 Jahren kontinuierlicher Messungen auftraten, lieferten zwar ein differenzierteres Bild für auffällige Änderungen $\Delta\varphi$ bzw. $\Delta\omega$ pro Zeit t , aber kein anderes Endresultat. In einem Beispiel-Zeitraum von etwa 50 Tagen traten Zusammenhänge abrupter $\Delta\varphi$ bzw. $\Delta\omega$ pro Zeit t mit dem Zenitdurchgang verschiedener Himmelskörper mit folgenden Häufigkeiten auf:

Himmelskörper	Zenitpassagen	Korrelation mit $\Delta\varphi$ -t		Unkorreliert mit $\Delta\varphi$ -t	
Sonne	50	20	40.00 %	30	60.00 %
Mond	48	17	35.42 %	31	64.58 %
Jupiter	50	22	44.00 %	28	56.00 %
Jupiter-Mond	1	8	42.11 %	11	57.89 %
Sonne-Mond	1	6	42.86 %	8	57.14 %

Nur 40.88 % der Ereignisse starker $\Delta\varphi$ bzw. $\Delta\omega$ pro Zeit t hatte etwas mit irgendwelchen astronomischen Konstellationen zu tun. Der Großteil der $\Delta\varphi$ bzw. $\Delta\omega$ pro Zeit t – 59.12 % – zeigte bei den Messungen am IGF keine wie auch immer geartete Verbindung zu astronomischen Konstellationen. Auch hier konnte der Befund von M. Allais also nicht bestätigt werden [3].

Ohne eine korrelierende Beeinflussung durch Gestirne ist es natürlich unwahrscheinlich, dass zwei baugleiche Parakonische Pendel an verschiedenen Orten exakt das gleiche Verhalten zeigen. Die von M. Allais selbst vorgenommenen gleichzeitigen Experimente in St. Germain en Laye und Bougival im Jahr 1958 zeigten denn auch kein positives Ergebnis.

Die Sonnenfinsternis am 3.10.2005 wurde mit einem baugleichen System aus Pendel und Aufhängung sowohl am IGF als auch in Braga begleitet und die Messergebnisse von $\Delta\varphi$ bzw. $\Delta\omega$ pro Zeit t zeigten keinerlei signifikante Übereinstimmungen, was das negative Ergebnis von M. Allais aus dem Jahr 1958 bestätigt [4].

Tatsächlich lassen sich die am IGF-Pendel registrierten wirklich auffälligen $\Delta\varphi$ bzw. $\Delta\omega$ pro Zeit t besser durch Erschütterungen der Erde und des IGF-Gebäudes erklären [5].

Die am IGF ständig aufgezeichneten Gebäude-Schwingungen stimmen in den Zeitpunkten ihres Auftretens und ihrer Dauer mit signifikanten Richtungswechseln oder aber stetigem Verhalten der $\Delta\varphi$ bzw. $\Delta\omega$ pro Zeit t überein, wenn auch nicht immer in der Signalstärke. Letzteres ist aber mit der Beschaffenheit des Bodens und des Gebäudes erklärbar [5].

Selbst größere Erdbeben – die zum Glück weiter fort stattfanden – wurden entsprechend Laufzeit-verschoben, mit kleinen, aber deutlichen Ausschlägen in $\Delta\varphi$ bzw. $\Delta\omega$ pro Zeit t des Parakonischen Pendels erfasst. Beispiel dafür sind das Beben in Griechenland zu Ende Juni 2007 und das Beben in der Japanischen See Mitte Juli 2007 [3].

Ein Ereignis zeigte sowohl perfekte zeitliche als auch größenordnungsmäßige Übereinstimmung mit einem Geschehen in rund zehn Kilometer Entfernung zum IGF: Die Explosion eines Blindgängers aus dem 2. Weltkrieg am 23.10.2006 auf der nahebei verlaufenden A3, die einen Menschen umbrachte [6].

All diese Fakten widerlegen die Ergebnisse von M. Allais. Es ist zu vermuten, dass M. Allais ebenso Stöße und Schwingungen in der Umgebung seines Aufbaus gemessen hat und sich durch die zufällige, vielleicht 40-prozentige Übereinstimmung mit Konstellationen von Sonne, Erde und Mond bei der Interpretation seiner Ergebnisse täuschen ließ.

Theoretische Erklärung des Allais-Effekts

Alles spricht dafür, dass M. Allais wie das IGF nur Effekte der klassischen Pendelbewegung beobachtet hat. Demnach muss die von M. Allais empirisch ermittelte Formel [2, S.31R]:

$$\omega = -\omega_{cor} \sin[L] \pm k \sin[2(\chi - \varphi)]$$

aus der klassischen Mechanik ableitbar sein.

Durch den kurzen, starren Stab des Parakonischen Pendels sind die Teilschwingungen des Pendelkörpers direkt mit den Bewegungen von Dorn oder Kugel in der Delle der Unterlage in der Pendelaufhängung verbunden. Die Auslenkungen des Pendelkörpers A und $a \ll A$ mit Phasen-Winkel κ , der erfahrungsgemäß meist sehr nahe an $\kappa \approx \pm 90^\circ$ ist, haben ihre Entsprechung wie schon zuvor beschrieben in Auslenkungen von Dorn oder Kugel um D und $d \ll D$ mit $\kappa \approx \pm 90^\circ$ in ihrer Delle. Bei leichten Störungen, die die Unterlage aus der Horizontalen bringen, erscheint auch eine kreisförmige Delle für Dorn oder Kugel elliptisch. In diesem Fall wirken leicht unterschiedliche Rückstellkräfte auf die Teilschwingungen, jede hat also eine eigene (Kreis-) Frequenz p_A und p_a bzw. p_D und p_d [10].

Existieren mit gewisser Regelmäßigkeit auftretende äußere Störungen in Y-Richtung, die man als eine einzige periodische Störung mit der (Kreis-)Frequenz P darstellen kann, so gilt [7]:

$$p_d = p$$

$$p_D = p_d + P = p + P$$

Die Bewegungsgleichungen der Teilschwingungen von Dorn oder Kugel in ihrer Delle sind dann -für ein $\kappa \approx \pm 90^\circ$ - mit D in Y- und d in X-Richtung:

$$d(t) = d \cos[pt]$$

$$D(t) = D \cos[pt + Pt]$$

Der Radius r der elliptischen Bewegung von Dorn oder Kugel in der Delle der Unterlage ist:

$$r^2 = d^2 + D^2$$

Die Ableitung von r^2 nach der Zeit t liefert:

$$\frac{dr^2}{dt} = 2d(t) \frac{dd(t)}{dt} + 2D(t) \frac{dD(t)}{dt}$$

Einsetzen für $d(t)$ und $D(t)$ ergibt:

$$\frac{dr^2}{dt} = 2p(d^2 \sin[2pt] + D^2 \sin[2(pt + Pt)])$$

Da d nach Voraussetzung viel kleiner als D ist, lässt sich diese Gleichung vereinfachen zu:

$$\frac{dr^2}{dt} \approx 2p(D^2 \sin[2(pt + Pt)])$$

Da r^2 dann ungefähr gleich D^2 ist, gilt:

$$\frac{dD^2}{dt} \approx 2p(D^2 \sin[2(pt + Pt)])$$

Die Winkelgeschwindigkeit der Drehbewegung der großen Halbachse D ergibt sich nach Division mit D^2 . Die Drehung kann im mathematisch positiven oder negativen Sinn erfolgen:

$$\omega_{Liss} = \frac{d\varphi_{Liss}}{dt} \approx \pm 2p \sin[2(pt + Pt)]$$

Dies ist nichts anderes als die Beschreibung des Lissajous-Effekts [10]: Dorn oder Kugel beschreiben in einer kreisförmigen Delle der Unterlageplatte eine elliptische Bewegung, der auch der Pendelkörper am anderen Ende des Pendelstabes mit entsprechend größeren Ausschlägen folgen muss.

Gibt es grob periodische äußere Störungen mit Frequenz P , die die Unterlageplatte aus der Horizontalen bringen und damit eine effektiv elliptische Delle schaffen, so schließt sich die elliptische Bewegung von Dorn oder Kugel in ihrer Delle respektive des Pendelkörpers über

der X-Y-Ebene nicht mehr notwendig. Je nach Größe von P wird aus der elliptischen Bahn 0 ein α , ein ∞ oder eine noch komplizierte Bahn, eben eine Lissajous-Figur.

P hängt nun stark von Störungen in der Umgebung eines Parakonischen Pendels, insbesondere von Erderschütterungen, ab. Diese werden bei den Experimenten zum Allais-Effekt immer klein gehalten, können aber je nach Lage in Gebäuden und sogar Gebäudeumgebungen – etwa durch Bewegung vieler Menschen zur gleichen Zeit – um Recht große Werte auf- und abschwelen. Dementsprechend wird das Pendel auch innerhalb einer Beobachtung einmal eine schnellere Lissajous-Drehung zeigen und einmal eine langsamere.

Nimmt man als Ausdruck für $Pt \approx 90^\circ + \chi$ mit nicht konstantem, zeitabhängigem χ an, bezeichnet $k = 2p$ und beachtet, dass $\varphi = pt$, so ist die Gleichung für den Lissajous-Effekt:

$$\omega_{Liss} = \pm 2p \sin[2(pt + Pt)] = \pm k \sin[2(\chi - \varphi)]$$

exakt gleich der zuvor angegebenen für den Allais-Effekt:

$$\omega_{Allais} = \pm k \sin[2(\chi - \varphi)]$$

Hinzunehmen des Coriolis-Effekts führt in beiden Fällen auf:

$$\omega = \omega_{Cor} + \omega_{Liss} = \omega_{Cor} + \omega_{Allais} = -\omega_{Erde} \sin[L] \pm k \sin[2(\chi - \varphi)]$$

Diese Gleichungen betreffen sowohl isotrope als auch anisotrope Pendel.

Der ursprünglich von M. Allais ins Spiel gebrachte Airy-Effekt taucht in den Gleichungen gar nicht mehr auf. Sicher war er bei allen Versuchen vorhanden, aber so klein, dass er gegenüber Coriolis- und Lissajous-Effekt praktisch nicht sichtbar war.

Im Gegensatz zum Lissajous-Effekt bot der Airy-Effekt auch nie einen Ansatz zur Erklärung des Allais-Effekts, denn er bleibt nach dem Starten des Pendels zeitlich konstant. Der Lissajous-Effekt hingegen ist über P variabel, wie es die Messresultate auch fordern.

Einen Zusammenhang mit Isotropie oder Anisotropie von Pendel oder Aufhängung, wie M. Allais annahm, hat der Airy-Effekt ebenfalls nicht:

$$\omega_{Airy} \approx \pm p(1 - a^2/16l^2) \frac{3}{8} \frac{A}{l} \frac{a}{l}$$

Er ist nur von den Auslenkungen A und a eines Pendels abhängig, die gar nichts mit irgendwelchen Störungen in der Pendelaufhängung zu tun haben. Der Lissajous-Effekt aber entsteht gerade wegen zeitlich variabler Anisotropien in einer Pendelaufhängung.

Der Allais-Effekt ist demnach nichts anderes als die Beobachtung von Lissajous-Figuren, die durch die störanfällige Bewegung von Dorn oder Kugel in der speziellen Aufhängung Parakonischer Pendel auftreten und wegen des starren Pendelstabs auf die Bewegung des Pendelkörpers übertragen werden (Das erklärt auch, warum ein Foucault-Pendel keinen Allais-Effekt zeigt: Die Verbindung zwischen Aufhängung und Pendelkörper ist nicht starr.).

Die Störungen, die zu Allais- respektive Lissajous-Effekt führen, sind allgegenwärtig, aber meistens schwach: Ein vorbeigehender Mensch, ein weit entferntes Erdbeben usw. [5]. Während der Zeit von Sonnenfinsternissen ist aber immer mehr Bewegung als sonst: Meist wollen viele Menschen die seltenen Schauspiele der verfolgen. Entsprechend stark reagiert ein Parakonisches Pendel.

Das erklärt die Messungen des IGF am Parakonischen Pendel vollständig.

Diskussion

Der nach M. Allais benannte Effekt an Parakonischen Pendeln hat nichts mit irgendeiner bislang unbekanntem Änderung von Gravitationsfeldern der Gestirne bei bestimmten astronomischen Konstellationen zu tun. Aufgrund der experimentellen wie theoretischen Untersuchungen am IGF kann festgestellt werden, dass der Allais-Effekt dem bekannten Lissajous-Effekt aufgrund alltäglicher Störungen in der Umgebung eines Pendels entspricht.

Danksagung

Das IGF möchte an dieser Stelle Herrn S. Petry einen besonderen Dank für seine wertvollen und entscheidenden Hinweise bei der Auffindung der allgemeinen Erklärung für den Allais-Effekt ausdrücken.

Quellen

- [1] Corliss, W.R. *The Sun and Solar System debris*
The Sourcebook Project, 1986
- [2] Allais, M. *The Allais Effect and my experiments with the Par. Pen. 1954-60*
Memoir for NASA, 1999
- [3] Zentgraf, E *Persönliche Mitteilungen*
IGF, 2007
- [4] Junker, T. *Messergebnisse des Par. Pen. zur Sonnenfinsternis vom 3.10.05*
IGF-Memorandum, 2005
- [5] Junker, T. *Persönliche Mitteilungen*
IGF, 2007
- [6] Anonym *Die vermeidbare Tragödie*
Süddeutsche Zeitung, Ausgabe 13. Oktober, 2007
- [7] Gerthsen, Ch.;
Vogel, H. *Physik*
Springer Verlag, 1993
- [8] Airy, G.B. *Lecture on the Pendulum-Experiments at Harton Pit*
<http://home.t01.itscom.net/allais/whiteprior/airy/airypendulum.pdf>
- [9] Airy, G.B. *On the Vibration of a Free Pendulum in an Oval (...)*
<http://home.t01.itscom.net/allais/whiteprior/airy/airyprecession.pdf>
- [10] Petry, S. *Persönliche Mitteilungen*
Private Kommunikation, 2009