

Direkte Messung der Erdrotation

07.12.2009 – 15.01.2010

PPG 5

Michele Collodo, Andreas Glossner,
Karl-Christoph Gödel, Bastian Hacker,
Maria Obst, Alexander Wagner, David Winnekens
Tutor: Xiaoyue Jin

http://pp.physik.uni-erlangen.de/groups/ws0910/ppg5/ppg5_start.html

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Grundprinzip - Trägheitsmoment	3
3	Bau des Drehstabs	5
4	Berechnung der Trägheitsmomente	7
5	Messungen	9
5.1	Cassymessungen	9
5.2	Videomessungen	12
6	Fehlerquellen und Verbesserungsvorschläge	14
7	Fazit	16

In diesem Projekt wurde versucht, die Drehgeschwindigkeit der Erde im Labor zu messen. Hierzu wurde eine massive, drehbar gelagerte Stange verwendet, die ihr Trägheitsmoment um die vertikale Achse durch Einklappen um den Faktor 5000 ändern kann und damit die vorhandene Drehbewegung verstärkt und messbar macht. Im Gegensatz zum Foucaultschen Pendel ist hiermit eine instantane Messung möglich. Allerdings hatten wir mit starken Schwingungs- und Reibungseffekten zu kämpfen, so dass unsere Werte am Ende immer noch um einen Faktor zwei daneben lagen.

1 Einleitung

Die Länge eines Tages, also die Zeit, die die Erde benötigt, um sich um die eigene Rotationsachse zu drehen, ist die älteste zeitliche Maßeinheit, von welcher ausgehend unser modernes Zeitsystem abgeleitet wurde. Auch wenn heute die Sekunde nicht mehr über die Erddrehung definiert ist, so ist die präzise Kenntnis der Rotationsdauer der Erde in vielen Bereichen, allen voran der Astronomie, von großer Bedeutung. Bezogen auf den kosmischen Hintergrund beträgt diese 86 164.1 Sekunden (mittlerer siderischer Tag).

Die wohl älteste Methode zur Bestimmung dieser Rotationsgeschwindigkeit ist die Beobachtung des Sonnenstandes. Bei dieser Messung muss aber zwingend berücksichtigt werden, dass sich die Erde nicht nur um sich selbst, sondern auch um die Sonne dreht, eine Erdumdrehung also geringfügig länger dauert, als die Zeitspanne zwischen zwei Kulminationen der Sonne. Umgehen kann man diesen Effekt, wenn man direkt einen Fixstern beobachtet, heutzutage werden hierfür extragalaktische Radioquellen herangezogen. Eine ebenfalls gebräuchliche Vorgehensweise ist die Positionsbestimmung geeigneter Satelliten.

Eine weitere Möglichkeit der Messung der Winkelgeschwindigkeit der Erde kann über die rotationsbedingten Scheinkräfte, also der Zentrifugal- und der Corioliskraft, erfolgen. Besonders anschaulich ist hierbei das Foucaultsche Pendel, möglich ist aber auch die Messung des Gewichtsunterschiedes eines Körpers an verschiedenen Breitengraden der Erde, der es unter Berücksichtigung der lokalen Fallbeschleunigungen erlaubt, auf die Zentrifugalkraft zu schließen.

Wir haben uns, besonders wegen der Durchführbarkeit in einem kleinen und abgedunkelten Labor, für eine unkonventionelle Messmethode entschieden. Hierzu machen wir uns den Drehimpulserhalt sowie die Variation des Trägheitsmoments unserer Messvorrichtung zunutze.

2 Grundprinzip - Trägheitsmoment

Unter Ausnutzung der Drehimpulserhaltung wurde mit dem in den Abbildungen 1 und 2 skizzierten Aufbau versucht die Erdrotationsdauer zu bestimmen. Ein drehbar gelagerter, massiver Messingstab wurde dabei frei an einem Faden im Labor aufgehängt. Der aufgeklappte Stab dreht sich nach einer gewissen Zeit (einigen Stunden) mit der Erde mit, da dann Torsionseffekte durch den Faden, etc. keine Rolle mehr spielen. Lässt man den Stab in seine Ausgangslage zurückklappen, so muss der Drehimpuls erhalten bleiben. Misst man nun die Rotationsdauer des Systems, kann man daraus die Erdrotationsdauer ermitteln: Befindet man sich an einem Ort mit Breitengrad α , so gilt aufgrund der Drehimpulserhaltung (hierbei

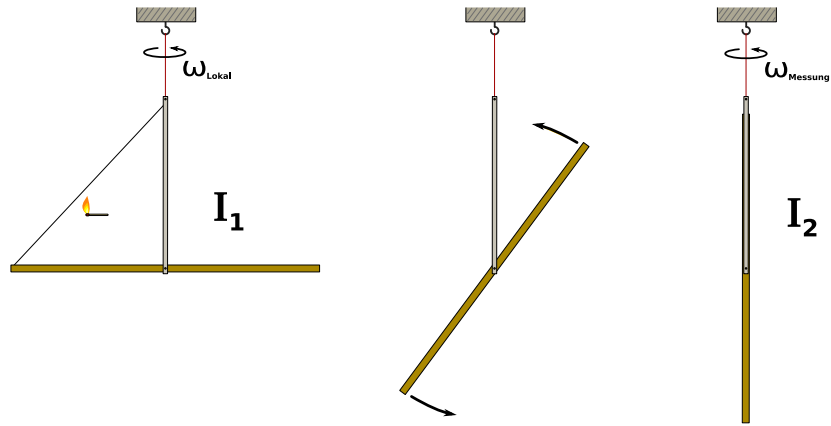


Abbildung 1: Schema des Bewegungsablaufs

bezeichnet I_{parallel} das Trägheitsmoment des Systems im hochgeklappten Zustand und $I_{\text{senkrecht}}$ das Trägheitsmoment im ausgelenkten Zustand):

$$L_1 = L_2 \quad (1)$$

$$\omega_{\text{Erde}} \sin \alpha \cdot I_1 = \omega_{\text{dreh}} \cdot I_2 \quad (2)$$

$$= (\omega_{\text{mess}} + \omega_{\text{Erde}} \sin \alpha) \cdot I_2 \quad (3)$$

Damit ergibt sich schließlich die Erdrotationsdauer:

$$\omega_{\text{Erde}} = \frac{1}{\sin \alpha} \frac{\omega_{\text{mess}}}{I_1/I_2 - 1} \quad (4)$$

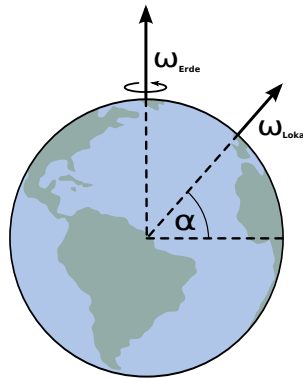


Abbildung 2: Position auf der Erde

3 Bau des Drehstabs

Der im Experiment verwendete Drehstab wurde in mehreren Schritten weiter verbessert. Das Gerüst jeder der Versionen war die Gabel, in der die drehbar gelagerte Stange aufgehängt wurde. Zwei dünnwandige Aluminiumzylinder der Länge 91,8 cm mit einem Durchmesser von 1 cm und einer Wandstärke von 1,2 mm sowie einer Masse von jeweils $66,5 \pm 0,14$ g dienten als Stabilisator für den drehbaren Stab. Die beiden Gabelstangen wurden von zwei Achsen parallel gehalten: Die Untere diente gleichzeitig als Drehachse für den Drehstab, an der Oberen wurde die Anordnung an einer Halterung an der Decke des Raumes aufgehängt. Hierfür wurde Nylonfaden der Stärke 0,7 mm verwendet, um einerseits eine möglichst dünne unverdrillte Aufhängung zu gewährleisten, welche die Rotation nicht beeinflusst und andererseits das Gewicht des Drehstabes zuverlässig zu halten. Zudem waren an der oberen Achse dünne Balsaholzstreifen angebracht, die bei der Drehung des Stabes durch die Lichtschranken liefen. Ein Anglerwirbel zwischen Nylonfaden und Stab erwies sich als nicht sinnvoll, da er aufgrund der Reibung durch das große Gewicht des Stabes nicht drehte sondern blockierte.

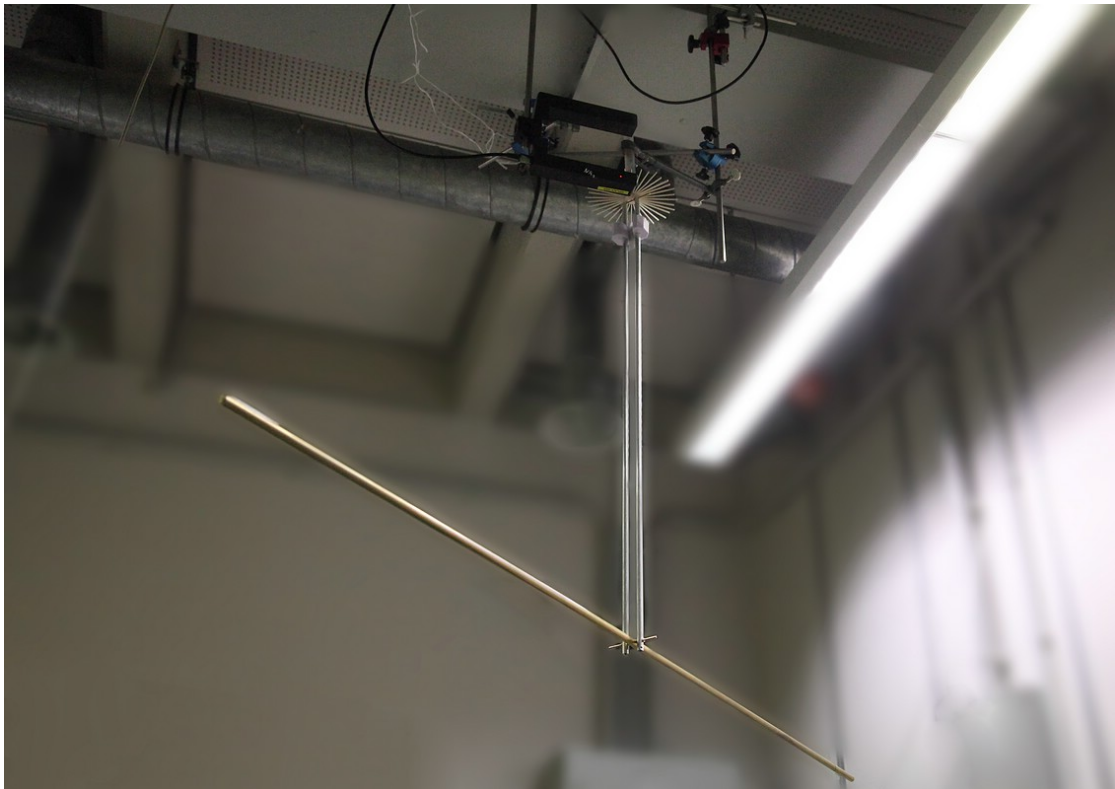


Abbildung 3: Der ausgelenkte Stab

In der Gabel wurde zunächst ein Drehstab aus massivem Stahl aufgehängt. Dieser hatte eine Länge von 1,70 m, einen Radius von $6,0 \pm 0,05$ mm sowie ein Gewicht von $1,5 \pm 0,0003$ kg. Die waagrechte Rotationsachse des Stabes lag dabei nicht genau in dessen Schwerpunkt, so dass der Stab von selbst in die vertikale Lage umschwenkt. Mithilfe von Nähgarn wurde das schwerere Ende des Stabes hochgebunden und dieser somit in eine waagrechte Position gebracht. So wurde sicher gestellt, dass er sich nach Durchbrennen des Fadens senkrecht ausrichtet.

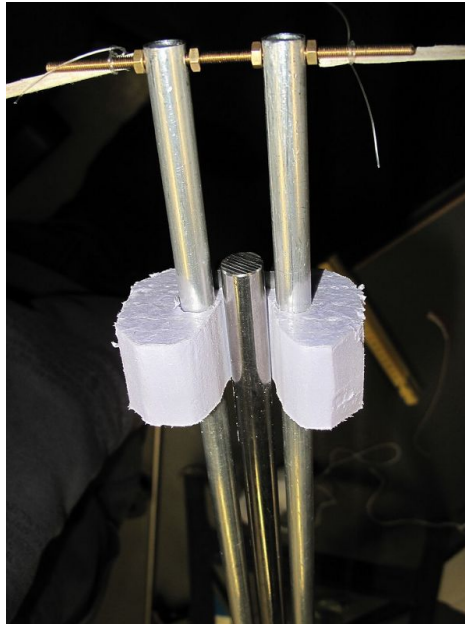


Abbildung 4: die Bremse für den Stab beim Einklappen

Um zu verhindern, dass der Stab über die Senkrechte hinausschwingt, wurde eine Bremse aus Styropor am oberen Ende der Gabel angebracht (Abb. 4). Für ein sicheres Einrasten in die Senkrechte sorgte ein in die Bremse eingeschobener Magnet der Masse $24,0 \pm 0,3$ g. Um den Stab genügend zu beschleunigen, sodass er schnell und fest einrastet, wurde ein Federmechanismus aus Draht und Gummi an der Drehachse angebracht (Abb. 5).

Nach den ersten Versuchen mit diesem Aufbau zeigte sich, dass beim Hochklappen des Stabes der Nylonfaden der Aufhängung stark zu schwingen begann. Um den Einfluss dieser Schwingung auf die zu messende Rotation möglichst gering zu halten und um zu vermeiden, dass die Balsaholzstäbe nicht mehr durch die Lichtschranken laufen, wurde der Nylonfaden später durch ein Plexiglasröhrchen geführt, welches am Gerüst der Lichtschranken befestigt war. Jedoch war auch dieser Aufbau fehleranfällig, da die Reibung zwischen Faden und Rohr die Rotation beeinträchtigte.

Nach einigen fehlgeschlagenen Versuchen stellten wir fest, dass der eingebaute Halterungsmagnet, sowie die leicht magnetisierte Eisenstange selbst als Kompass im Erdmagnetfeld fungierten und somit die empfindliche Messung erheblich störten. Einerseits konnte damit der Faden auch nach längerer Wartezeit keine drehmomentfreie Lage einnehmen, andererseits störte das magnetische Drehmoment den Stab während der Messung. Um sämtliche Einflüsse von Magnetfeldern auszuschalten, wurde nicht nur der ferromagnetische Eisenstab durch einen ansonsten baugleichen Messingstab der Masse 1,5 kg ersetzt, sondern auch der Magnet in der Bremse gegen einen Klettverschluss ausgetauscht, dessen Gegenstück am oberen Drehstabende befestigt wurde. Zuletzt wurden noch die zwei Bal-saholzstäbchen, die die Lichtschranke auslösen sollten, mit einen Kranz aus 36 Stäbchen im Abstand von jeweils 10° ausgewechselt, um mehr Messpunkte zu erhalten.

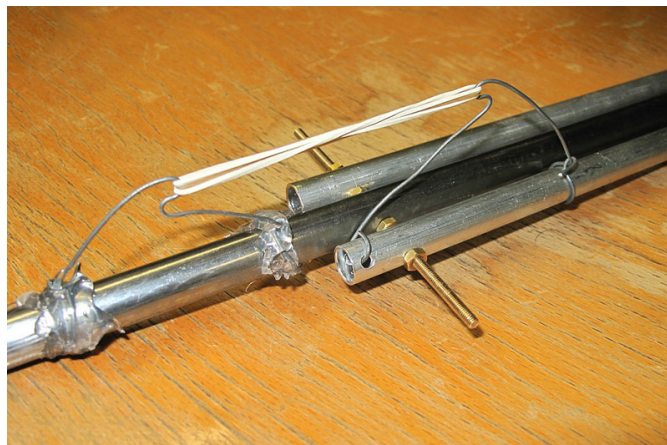


Abbildung 5: Gummizug zum Einklappen des Stabes

4 Berechnung der Trägheitsmomente

Zunächst wurde die Rotationsdauer des Aufbaus nach dem Hochklappen des Messingstabes (d.h. im „parallelen Zustand“) rechnerisch bestimmt.

Der erste Schritt dabei war die Berechnung der Trägheitsmomente. Dazu wurden die folgenden geometrischen Näherungen vorgenommen:

Annäherung in Rechnung	Objekt im Aufbau
Vollzylinder	Messingstange (Mittelstange)
Hohlzylinder	Aluminiumstangen (Befestigung)
dünnere, langer Stab	kleine Gewindestangen (Befestigung)
Quader	Magnet (1. Aufbau; später stattdessen Klettverschluss)

Es gilt also:

$$I_{\text{Vollzylinder-parallel}} = \frac{1}{2} \cdot (R_{\text{Vollzylinder}})^2 \cdot M_{\text{Vollzylinder}} \quad (5)$$

$$I_{\text{Vollzylinder-senkrecht}} = \frac{1}{12} \cdot (L_{\text{Vollzylinder}})^2 \cdot M_{\text{Vollzylinder}} + (a_{\text{Vollzylinder}})^2 \cdot M_{\text{Vollzylinder}} \quad (6)$$

$$I_{\text{Hohlzylinder}} = M_{\text{Hohlzylinder}} \cdot \left(\frac{1}{2} (R_{\text{innen}}^2 + R_{\text{außen}}^2) + a_{\text{Hohlzylinder}}^2 \right) \quad (7)$$

$$I_{\text{dünnere, langer Stab}} = \frac{1}{12} \cdot M_{\text{dünnere, langer Stab}} \cdot L^2 \quad (8)$$

Hierbei beschreibt $a_{\text{Vollzylinder}} = 0,8 \text{ cm}$ den Abstand des Aufhängepunktes des Messingstabes von seinem Schwerpunkt und $a_{\text{Hohlzylinder}} = 1,4 \text{ cm}$ die Entfernung der zwei Hohlzylinder von der Drehachse.

Daraus ergibt sich mit den obigen Werten bei der Messung mit Klettverschluss und Messingstab (der Klettverschluss wurde bei den Rechnungen vernachlässigt):

In senkrechter Position:

$$I_1 = I_{\text{Vollzylinder-senkrecht}} + 2 \cdot I_{\text{Hohlzylinder}} + 2 \cdot I_{\text{dünnere, langer Stab}} = 3,61 \cdot 10^{-1} \text{ kg m}^2 \quad (9)$$

In paralleler Position (nach dem Zuklappen):

$$I_2 = I_{\text{Vollzylinder-parallel}} + 2 \cdot I_{\text{Hohlzylinder}} + 2 \cdot I_{\text{dünnere, langer Stab}} = (2,70 + 2 \cdot 1,23 + 2 \cdot 0,84) \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2 = 6,8 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2 \quad (10)$$

Daraus ergibt sich zusammen mit Gleichung 4 die zu erwartende Periodendauer einer Drehung nach dem Hochklappen als

$$T_{\text{mess}} = \frac{T_{\text{Erde}} / \sin \alpha}{(I_1 / I_2 - 1)} = 21,5 \text{ s.} \quad (11)$$

Der tatsächlich gemessene Wert war jeweils beträchtlich kürzer – die vermuteten Gründe hierfür sind weiter unten angegeben.

Der Umrechnungsfaktor für die späteren Messungen ergibt sich zu:

$$\begin{aligned}
 \frac{\omega_{\text{Erde}}}{\omega_{\text{mess}}} &= \frac{1}{\sin \alpha (I_1/I_2 - 1)} \\
 &= \frac{1}{\sin(49,6^\circ) \cdot (0,36/(6,8 \cdot 10^{-5}) - 1)} \\
 &= 2,48 \cdot 10^{-4}
 \end{aligned} \tag{12}$$

5 Messungen

Zur Bestimmung der Erdrotation mussten wir die Rotationsgeschwindigkeit des Stabes direkt nach dem Einklappen so genau wie möglich messen.

5.1 Cassymessungen

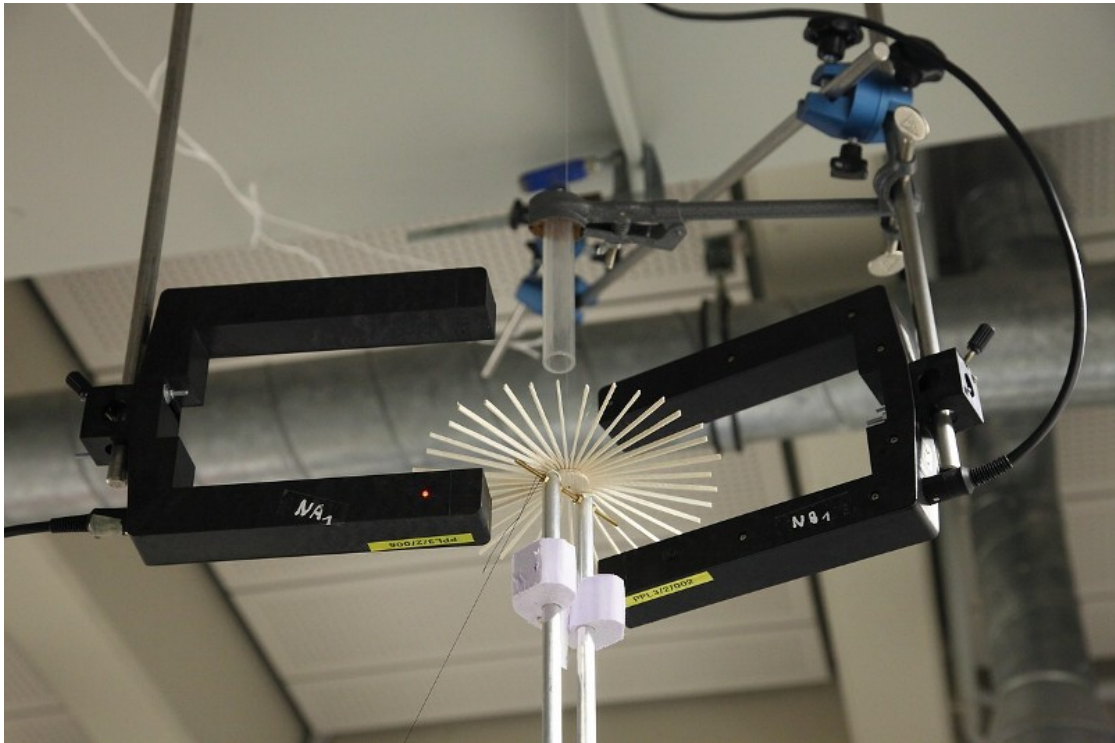


Abbildung 6: Das Speichenrad beim Durchgang durch die Lichtschranke

Zur Aufzeichnung der Drehung des Stabes kam zunächst das CASSY Lab System zum Einsatz. Auf Höhe der Spitze des Stabes wurde eine Lichtschranke durch

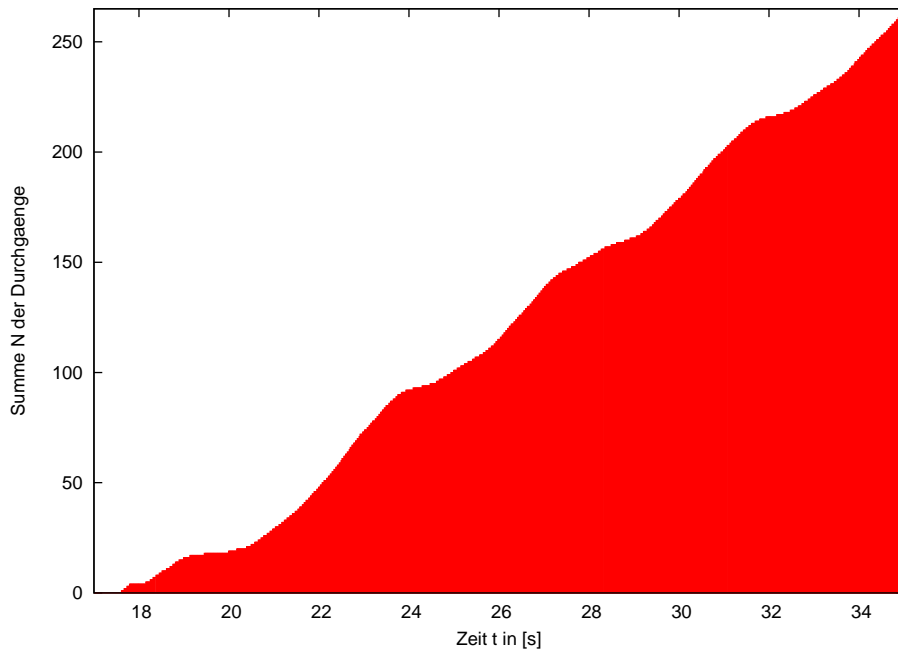


Abbildung 7: Summe der Durchgänge durch die Lichtschranke

Stativstangen an der Deckenkonstruktion verschraubt, welche die Durchgänge des Stabes zählte. Die Auslösung der Lichtschranke sollte durch einen leichten Querstab aus Balsaholz erfolgen. Es stellte sich jedoch heraus, dass dabei nur unzureichende Genauigkeiten bei der Ermittlung der Drehgeschwindigkeit erzielt werden konnten, da die Lichtschranke bei dieser Methode nur zweimal pro ganzer Umdrehung ausgelöst wird. Deshalb wurde an der Spitze des Stabes ein „Speichenrad“ installiert. Die einzelnen Speichen hatten dabei einen Abstand von jeweils 10° . Pro Umdrehung wurde die Schranke also 36 Mal ausgelöst. Die Länge der einzelnen Speichen wurde so kurz wie möglich gehalten, um das Trägheitsmoment des Stabes nicht unnötig zu beeinflussen.

Die hier ausgewertete Messung wurde am 29.01.2010 durchgeführt. Der Stab hing bis zum Durchbrennen des Fadens ungefähr 24 Stunden in ausgelenkter Position. Zu diesem Zeitpunkt wurde bereits der Messingstab verwendet, daher war die Konstruktion auch nicht in Nord-Süd-Richtung orientiert, wie dies bei früheren Versuchen der Fall war. Das CASSY Lab nahm die Durchgänge mit einem Messintervall von 20 ms auf. Der folgende Plot (siehe Abb. 7) zeigt zunächst die aufsummierte Anzahl der Durchgänge durch die Lichtschranke seit dem Durchbrennen des Fadens. Bei der Beobachtung der Drehbewegung waren regelmäßige Änderungen

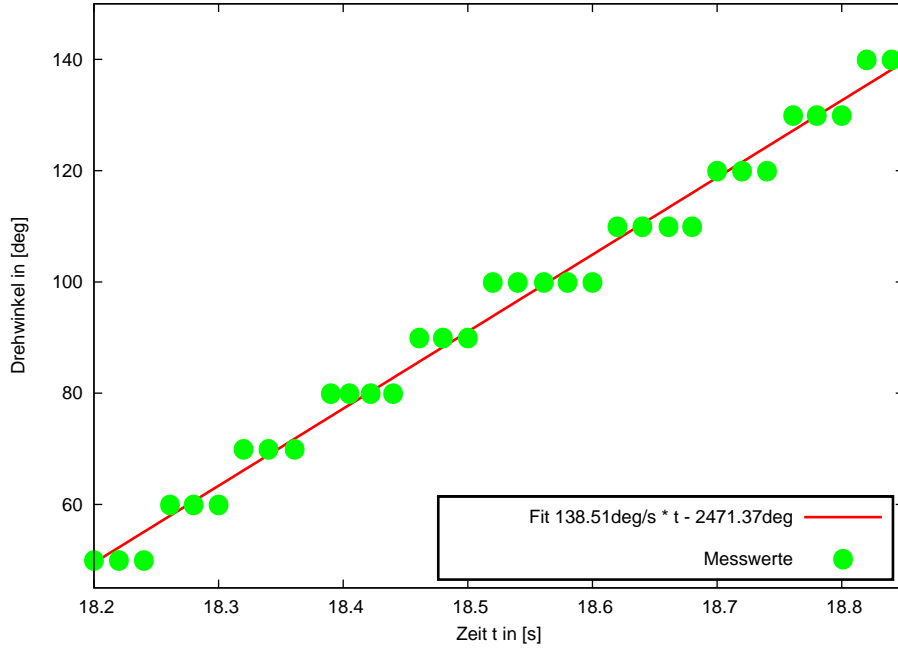


Abbildung 8: Geradenfit zur Ermittlung der Winkelgeschwindigkeit

der Drehrichtung zu beobachten. Die Lichtschranke konnte zwar nicht zwischen Vor- und Rückwärtsdrehung unterscheiden, jedoch zeigen die Punkte des Graphen mit horizontaler Tangente diesen Wechsel, da sich die Drehbewegung hierbei zunächst verlangsamte und anschließend nach einem kurzen Stopp wieder in die andere Richtung beschleunigte.

Für die Auswertung konnte somit nur der Bereich vor dem ersten Richtungswechsel verwendet werden, um die Einflüsse von außen gering zu halten. Nach dem Umrechnen der Zahl der Durchgänge in Drehwinkel (1 Durchgang $\hat{=}$ 10° Drehung) wurde an das „Zeit-Drehwinkel“ Diagramm (siehe Abb. 8) ein Geradenfit durchgeführt. Daraus ergibt sich für die Winkelgeschwindigkeit:

$$\omega_{\text{Cassymessung}} = 139 \pm 3 \frac{\text{deg}}{\text{s}} \quad (13)$$

Eine Umdrehung des hochgeklappten Stabes dauert somit

$$T_{\text{parallel-Messung}} = \frac{360^\circ}{139 \frac{\text{deg}}{\text{s}}} = 2,59 \text{ s} , \quad (14)$$

was knapp acht Mal so schnell wie der theoretische Wert ist (siehe Gleichung 11).

Folglich ergibt sich auch für die resultierende Geschwindigkeit der Erddrehung mit der oben hergeleiteten Formel 4 ein stark von der Realität abweichender Wert:

$$\omega_{\text{Erde, Messung}} = 2,48 \cdot 10^{-4} \cdot 139 \frac{\text{deg}}{\text{s}} = 3,4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{deg}}{\text{s}} \quad (15)$$

Ein Tag würde somit nach unserer Messung mit dem CASSY Lab nur 2,9 h statt 24 h dauern. Auf die möglichen Fehler, die zu dieser Abweichung führen, wird in einem späteren Abschnitt eingegangen.

5.2 Videomessungen

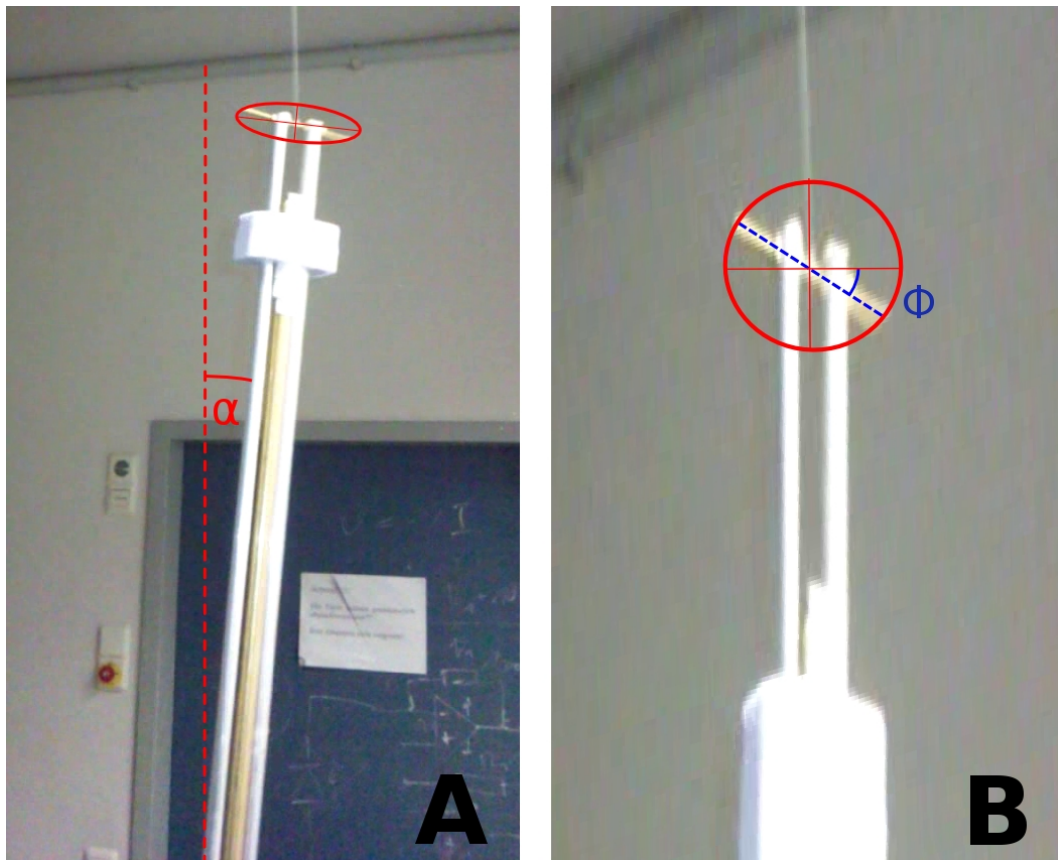


Abbildung 9: Bearbeitung der Videoeinzelnbilder

Da die Schwingung der Vorrichtung die Cassymessung fast unbrauchbar machte, wurden weitere Wege gesucht, die bisherigen Versuche dennoch auswertbar zu machen. Als Grundlage sollten hier Videoaufnahmen dienen, die es ermöglichten, die Drehung unmittelbar nach dem Einklappen des Stabes zu beschreiben, bevor die störende Schwingung den Effekt zu stark überlagert. Die zur Verfügung stehenden

Mitschnitte wurden ursprünglich nur zu Dokumentationszwecken aufgezeichnet. Dies hatte den Nachteil, dass die Videodateien vor der Auswertung noch stark bearbeitet werden mussten, um Messdaten ablesen zu können. Das Hauptproblem lag in der verzerrten Perspektive des Videos, das von schräg unten aufgenommen wurde (siehe Abb. 9). Zur Auswertung wurde mit Hilfe der freien Bildbearbeitungssoftware GIMP wie folgt vorgegangen:

Zuerst wurde das Video in seine Einzelbilder zerlegt. Anhand dieser Bilder, im Speziellen der sich drehenden oberen Verbindungsquerstange, wurde durch Fitzen einer Ellipse die perspektivische Verzerrung ermittelt. Für das Halbachsenverhältnis dieser Ellipse ergab sich folgender Wert:

$$\frac{a_{\text{groß}}}{a_{\text{klein}}} = 3,21 \quad (16)$$

Nun wurden die Einzelbilder senkrecht ausgerichtet, also um den Winkel α gedreht (siehe Abbildung 9 - A) und schließlich um den ermittelten Faktor 3,21 gestreckt (siehe Abbildung 9 - B).

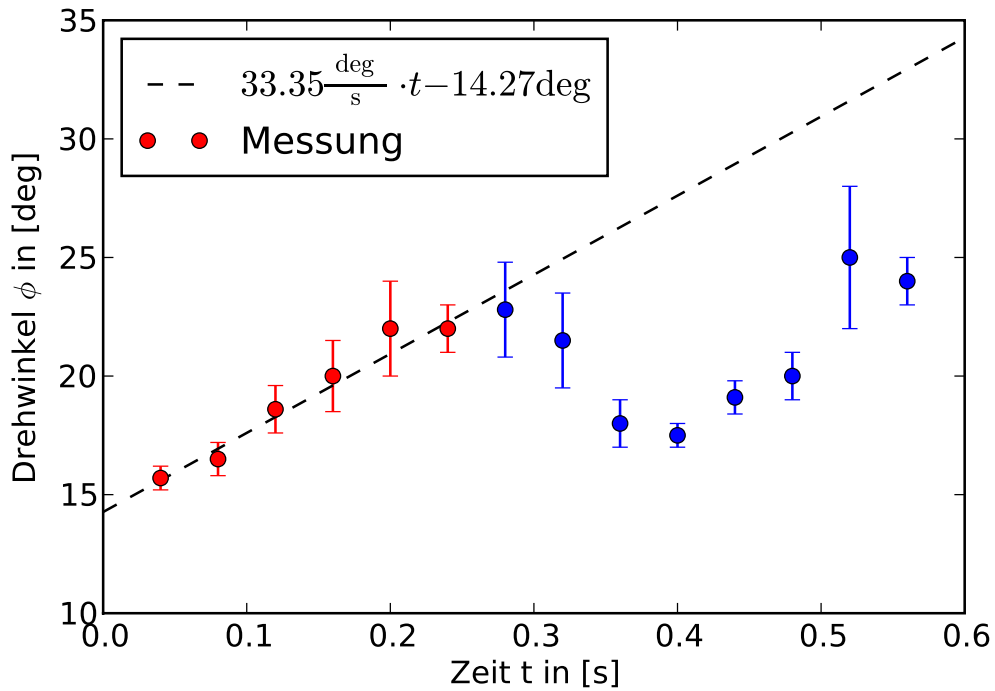


Abbildung 10: Messergebnisse der Video-Messung

Aus diesen Bilddaten konnten nun der Drehwinkel ϕ abgelesen werden. Der Fehler dieser Messung lag vor allem in der unterschiedlichen Qualität der Einzelbilder

und wurde durch mehrmaliges Messen pro Bild ermittelt. Da die schon anfänglich erwähnte Schwankung leider sehr schnell nach dem Einklappvorgang ins Gewicht fiel, konnten nur wenige Messpunkte zur Ermittlung der Winkelgeschwindigkeit herangezogen werden. Der zeitliche Abstand der Videoeinzelbilder wurde durch Filmen einer Stoppuhr zu $\Delta t = 0,04 \text{ s}$ bestimmt. Durch einen Geradenfit der ersten sechs Messpunkte wurde die Winkelgeschwindigkeit ermittelt. Es gilt:

$$\omega_{\text{Messung}} = 33,35 \frac{\text{deg}}{\text{s}} = 0,582 \text{ s}^{-1} \quad (17)$$

Damit ergibt sich mit den bekannten Werten für die Trägheitsmomente folgende Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation:

$$\omega_{\text{Erde, Messung}} = 2,48 \cdot 10^{-4} \cdot 33,35 \frac{\text{deg}}{\text{s}} = 8,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{deg}}{\text{s}} \quad (18)$$

Die hieraus resultierende Dauer eines Tages weicht mit 12,1 h immer noch um einen Faktor von 2 vom wahren Wert ab.

6 Fehlerquellen und Verbesserungsvorschläge

Eine anfängliche, selbstverschuldete Fehlerquelle war die schon erwähnte Wahl eines Eisenstabes und die Verwendung eines Magnets als Haltemechanismus. Das Erdmagnetfeld richtete den Stab wie eine Kompassnadel aus, sodass der erwünschte Effekt nicht messbar war. Durch die Verwendung eines Messingstabs löste sich zwar dieses Problem, allerdings brauchten wir auch einen neuen Einschnappmechanismus. Wir entschlossen uns dazu einen Klettverschluss zu verwenden, was auch einigermaßen gut funktionierte. Jedoch hat dieser immer ein wenig Spiel, weshalb der Stab nicht exakt parallel zur Aufhängeachse arretierte und das reale Trägheitsmoment vom theoretisch berechneten I_2 abwich. Eine Angabe des hierbei verursachten Fehlers ist jedoch nicht wirklich möglich, da die Bestimmung des von den idealen 0° abweichenden Winkels zwischen dem Stab und der Drehachse im Moment des Einschnappens und der ersten Drehungen nicht möglich war.

Des Weiteren verursachte auch die Torsion des Fadens Fehler. Einerseits brauchten wir einen Faden, der fest genug ist um den Aufbau zu tragen, andererseits war es natürlich erforderlich, dass er bei der Verdrillung kaum Widerstand leistet und die Drehung nicht sofort bremst. Durch die Wahl des Nylonfadens konnten wir diesen, nicht ohne Weiteres zu quantisierenden Fehler lediglich möglichst minimieren.

Weitere Verbesserungsideen, die uns noch einfielen, aber aufgrund des Zeitmangels nicht mehr durchgeführt werden konnten, sind unter anderem eine neue Halterung des Systems zu konzeptionieren, welche es ermöglicht die Kamera für die

Videoanalyse direkt über dem Gestell zu positionieren und somit die Fehler der auftretenden perspektivisch bedingten Winkel zu beseitigen.

Für den generellen Aufbau gibt es noch Spielraum bei dem Einfangmechanismus des Stabes. Neben dem durch den Klettverschluss bedingten Abweich-Winkel des Stabes von der Drehachse, ist es auch sehr wichtig, dass er während des Einklappens nicht in Schwungrichtung zur Seite abdriftet. Anfangs resultierte dies darin, dass der Stab an der Drehachse vorbei schwang, sich wieder fast horizontal ausrichtete und derart weiter oszillierte. Durch die passend gewählte Form der Styroporbremse (siehe Abbildung 6) konnte dies verhindert werden. Dass er genau in der Drehachse auf den Klettverschluss stößt, konnte jedoch nicht erzwungen werden.

Das größte Potential ein besseres Ergebnis zu ermöglichen hat jedoch ein neuer Aufbau, bei dem nicht ein Stab anfangs horizontal ausgerichtet ist und anschließend nach oben schwingt, sondern bei welchem zwei, jeweils an einem Ende freischwingend mit dem Gehäuse verbundene Stäbe derart waagrecht gehalten werden, dass sie in der Ruheposition dann nach unten schwingen können und sich gegenseitig in der Ruhelage bremsen (siehe Abbildung 11).

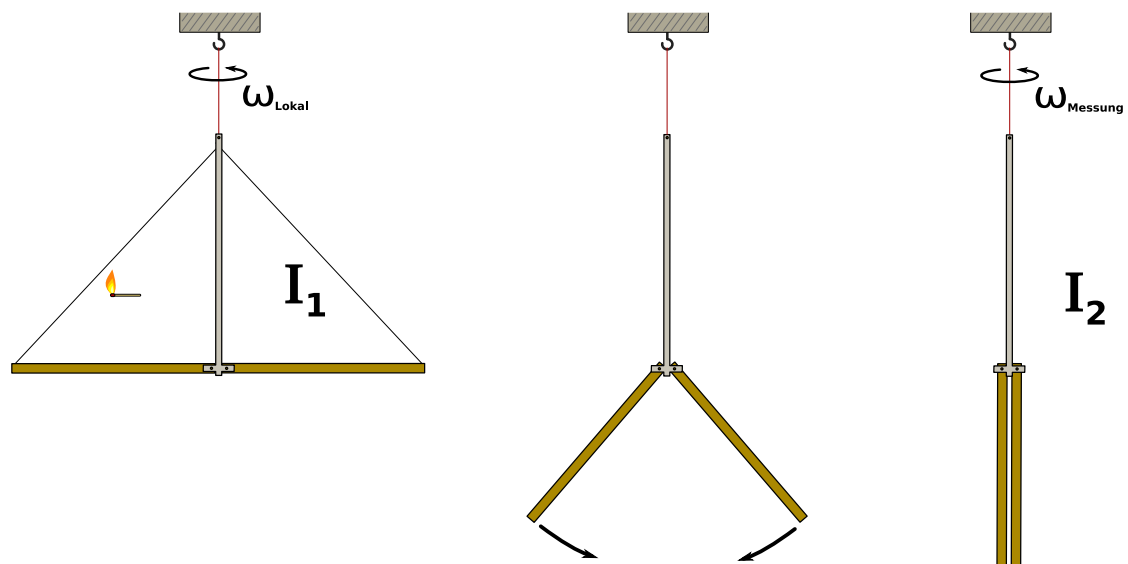


Abbildung 11: Alternativer Aufbau

7 Fazit

Dieser Versuch ist ein schönes Beispiel wie es in der Physik Mittel und Wege gibt auch extrem kleine Größen durch ein Experiment zu messen. Voraussetzung ist aber, neben einem theoretisch richtigen Konzept, die strikte Elimination zahlreicher störender Faktoren. Der aufgeführte Versuchsaufbau ist zweifelsohne in der Lage die gesuchte Drehbewegung sichtbar zu machen, denn einerseits liegt der theoretische Effekt deutlich im messbaren Bereich, andererseits haben wir die Grenzen der Dimensionierung noch nicht komplett ausgeschöpft.

Unser Problem war allerdings, dass es gleich mehrere signifikante Störgrößen gab und es uns nicht gelungen ist alle innerhalb der zwei Wochen zu identifizieren und zu beheben. Das Problem mit dem Magneten hätte uns natürlich früher auffallen können. Einer präzisen, zentralen Aufhängung und der Spielfreiheit unserer Drehgelenke waren allerdings gewisse Grenzen gesetzt. Bei einigen der in Abschnitt 6 aufgeführten Versuchsänderungen wären diese Ungenauigkeiten vielleicht weniger kritisch gewesen und wir hätten einen guten Wert erhalten.

Bei einer Abweichung um den Faktor zwei vom theoretischen Wert sind die Fehler nun so groß, dass von einem sicheren Nachweis der Erddrehung natürlich nicht mehr die Rede sein kann. Wäre es allerdings Galileo Galilei als Begründer der modernen Experimentalphysik gelungen unseren Aufbau ein wenig präziser durchzuführen, so hätte er den unumstößlichen Beweis in Händen gehabt: Und sie dreht sich doch!