

Hafele & Keating Tests; Haben sie etwas bewiesen?

EIN. G. Kelly PhD *

* HDS Energy Ltd, Celbridge, Co. Kildare, Irland.

Abstrakt. Die ursprünglichen Testergebnisse wurden von Hafele & Keating in ihrem berühmten Artikel von 1972 nicht veröffentlicht. Sie veröffentlichten Zahlen, die sich radikal von den tatsächlichen Testergebnissen unterschieden, die hier zum ersten Mal veröffentlicht werden. Eine Analyse der realen Daten zeigt, dass den Schlussfolgerungen von Hafele & Keating keine Glaubwürdigkeit verliehen werden kann.

Schlüsselwörter: Cäsiumuhren, Relativitätstheorie, Genauigkeit, Driftrate,

1. Einführung

Hafele und Keating (1972) [1] (im Folgenden als H & K bezeichnet) führten Experimente durch, die angeblich die Theorie der besonderen Relativitätstheorie bestätigten. Die vorgelegten Beweise ergaben sich aus den Zeitunterschieden, die von Cäsiumuhren aufgezeichnet wurden, die in Flugzeugen nach Osten und Westen um die Erde transportiert wurden.

Aktuelle Universitäts- und andere Texte zur Physik zitieren die Tests, z. Arfken *et al* (1989) [2], Beiser (1991) [3], Blatt (1992) [4], Cutnell und Johnson (1995) [5], Davies (1995) [6], Giancoli (1998) [7], Halliday *et al* (1997) [8] Ohanian (1989) [9] und Rindler (1991) [10]. Ein Führer in der Natur im Jahr 1972 [11] sagte dies *"Die Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment war am zufriedenstellendsten"*. Im Science Citation Index hat ihre Arbeit über 1000 Referenzen gesammelt.

H & K vermied es, die tatsächlichen Testergebnisse in ihrem Papier anzugeben. Sie gaben Zahlen an, die gegenüber diesen Ergebnissen radikal geändert wurden. Diese veränderten Ergebnisse erweckten den Eindruck, dass sie mit der Theorie übereinstimmten. Die ursprünglichen Testergebnisse werden zum ersten Mal in diesem Artikel wiedergegeben. Diese bestätigen die Theorie nicht. Die von H & K vorgenommenen Korrekturen der Rohdaten erweisen sich als völlig ungerechtfertigt.

Es wird auch gezeigt, dass die verwendeten Uhren nicht stabil genug waren, um etwas zu beweisen. Das Ausmaß der zufälligen Leistungsänderungen während des Lufttransports führte dazu, dass jedes Ergebnis unbrauchbar wurde.

2. Testdetails

H & K transportierte Atomuhren in Flugzeugen um die Erde; Sie wurden zuerst nach Osten und dann nach Westen geschickt. Um die Wirkung der Schwankungen

im Erdmagnetfeld zu minimieren, waren die Uhren dreifach abgeschirmt. Es wurden vier Uhren eingesetzt und der Durchschnitt ihrer Zeit verwendet, um die Auswirkungen von Änderungen der einzelnen Driftmuster im Vergleich zur Standarduhrstation in Washington, D, zu verringern. C .. Die verwendeten Uhren hatten die Seriennummern 120, 361, 408 und 447.

Abbildung 1 ist eine geglättete Skizze der grafischen Testergebnisse, die im Originalpapier von H & K 1972 enthalten waren. Um den mäandrierenden Charakter der Ergebnisse zu würdigen, muss dieses Papier konsultiert werden. Die Gesamttestdauer betrug 26,5 Tage; Der Eastward-Test begann nach zehn Tagen. Der Westward-Test begann neun Tage nach Beginn des Eastward-Tests. Die Umrundungszeiten betrugen 65,4 Stunden nach Osten und 80,3 Stunden nach Westen. Die vertikale Achse in Abbildung 1 zeigt den Zeitunterschied in stündlichen Intervallen zwischen jeder der vier Uhren und der von der Standardstation aufgezeichneten. Der Unterschied zwischen dem Durchschnitt der von den vier Uhren aufgezeichneten Zeiten und dem der Standardstation wurde als Endergebnis verwendet und wird als schwere gepunktete Linie angezeigt. Wie zu sehen sein wird, hat H & K diesen Durchschnitt nicht zitiert, sondern eine radikal veränderte Version.

Die Prognose war, dass die Uhren auf der Reise nach Osten (-40 ns) verlieren und auf der Reise nach Westen (+ 275ns) relativ zur Standardstation gewinnen würden.

3. Uhrstabilität

Die von einzelnen tragbaren Cäsiumuhren aufgezeichneten Zeiten divergieren oder konvergieren, wenn sie gegeneinander oder gegen den genaueren Durchschnitt mehrerer größerer Uhren an einer Standard-Bodenuhrstation gemessen werden. Dies wiederum hat eine Drift im Vergleich zu anderen Standarduhrstationen. H & K verwies auf die Tatsache, dass Cäsiumuhren kleine unvorhersehbare Änderungen der Geschwindigkeit aufwiesen. Diese Ratenänderungen wurden normalerweise für mindestens 2 oder 3 Tage getrennt "gut" Uhren; Einige Uhren hatten mehrere Monate lang keine Geschwindigkeitsänderung im Labor.

Winkler *et al.* (1970) [12] berichteten, dass die Zeitskala in Washington, D C (von H & K als Standard verwendet) durch durchschnittlich 16 ausgewählte große Cäsiumstrahluhren erhalten wurde. Uhren wurden ersetzt, wenn sich ihre Leistung verschlechterte. In einer Stichprobe von 45 solcher Uhren, die an mehreren Stationen verwendet wurden, trat über zwei Jahre ein Fehler pro sechs Uhren auf. Verbesserungen wurden implementiert, als Typfehler identifiziert wurden. Im Januar 1970 hatten sich drei Uhren um +16ns, +18ns und -68ns pro Tag verändert. Zwei weitere wurden wegen schlechter Zeitmessung entfernt, während neun im Monat keine Veränderung gezeigt hatten.

Eines der Ziele der Tests war die Bestimmung des Verhaltens tragbarer Uhren auf Linienflügen rund um den Globus. Die Flüge nach Osten und Westen hatten 13 bzw. 15 Landungen / Starts; Es gab mehrere Flugzeugwechsel.

Zum Beispiel brachte der Westward-Test die Uhren von Washington zum Flughafen Dulles, dann über Los Angeles, Honolulu, Guam, Okinawa, Hongkong, Bangkok, Bombay, Tel Aviv, Athen, Rom, Shannon (ein außerplanmäßiger Tankstopp) Boston und Dulles, dann auf der Straße zurück zum Ausgangspunkt.

Vor 1968 wurde ein Verfahren verabschiedet, bei dem die stabileren Uhren bei der Berechnung der Standardzeit stärker gewichtet wurden. Danach wurde der einfache Durchschnitt der Uhren übernommen. Winkler *et al.* gab die Standardabweichung des Mittelwerts der Baugruppe als 2σ bis 4σ an, wenn alle 3 Stunden über mehrere 5 Tage getestet wurde. In dieser Station waren die Uhren in sechs vibrationsfreien Gewölben untergebracht, mit Kontrolle von Temperatur und Luftfeuchtigkeit, aufwändigen Netzteilen, Vakuumsystemen und Signalquellen sowie einem festen Magnetfeld. Beehler *et al.* (1965) [13] erfassen, dass die Genauigkeit kleinerer tragbarer Uhren um den Faktor zwei schlechter ist als bei großen stationären Uhren; Sie umfassen Variationen im Magnetfeld unter den Einflüssen, die zur Ungenauigkeit von Cäsiumuhren beitragen.

H & K behauptete, sie hätten sich für die vier Uhren entschieden, weil sie vor den Tests mindestens 24 Stunden lang eine konstante Driftrate zeigten. Es wurde gehofft, dass sie während der Tests konstant weitermachen würden.

4. Änderungen der Driftrate (nsec / h)

Die einzelnen von H & K verwendeten tragbaren Uhren sollten relativ zur Bodenuhrstation eine konstante Driftrate aufweisen. Drei der vier Uhren waren in dieser Hinsicht so schlecht, dass sie unbrauchbar wurden.

Der von Hafele erstellte ursprüngliche Testbericht von 1971 wurde von diesem Autor direkt vom United States Naval Observatory (USNO) [14] erhalten. Es ist zu fragen, warum H & K es vermieden hat, die tatsächlichen Testergebnisse in ihrem Papier von 1972 anzugeben. Die in Tabelle 1 angegebenen Driftraten entsprechen denen aus diesem Bericht, der einen Monat nach Abschluss der Tests und vier Monate vor Einreichung der H & K-Papiere zur Veröffentlichung verfasst wurde. Aus diesen Driftraten ist es möglich, die Leistung der vier Uhren im Detail zu analysieren.

Die Driftraten vor und nach einem Test können verglichen werden, um die Änderung während eines Tests zu bestimmen. Der Bericht von Hafele 1971 sagte *"Die meisten Leute (ich eingeschlossen) würden nur ungern zustimmen, dass die Zeit, die eine dieser Uhren gewinnt, auf irgendetwas hinweist."* und *"Der Unterschied zwischen Theorie und Messung ist störend"*. Außerdem sagte er, dass für einen nützlichen Test die Driftrate jeder Uhr über den gesamten Testzeitraum

konstant sein sollte. Diese Vorbehalte werden in der Zeitung H & K 1972 nicht erwähnt. Der relativistische Effekt sollte zu einer inkrementellen schrittweisen Änderung der von jeder Uhr vor und nach einem Flugtest aufgezeichneten Zeiten führen, jedoch die Driftrate nicht beeinflussen.

Tabelle 1. Driftraten der Uhren (ns pro Stunde)

Uhr Nr. 120 361 408 447

Vor dem Eastward-Test -4,50 +2,66 -1,78 - 7,16

Nach dem Eastward Test -8,89 +4,38 +3,22 -8,41

Vor dem Westward-Test -8,88 +6,89 +4,84 -7,17

Nach dem Westward-Test -4,56 +3,97 +2,16 -9,42

Drei der Uhren hielten am Boden zwischen den Tests nach Osten und Westen nicht die gleiche Driftrate. Es kann wenig Vertrauen bestehen, dass dieselben Uhren weitaus besser abschneiden würden, wenn sie auf kommerziellen Flugzeugen auf Passagiersitzen transportiert würden.

Uhr 120 war eine Katastrophe; es hatte eine Veränderung (Tabelle 1) von 4,50 ns pro Stunde zu verlieren 8,89 ns pro Stunde auf der Eastward-Reise; Auf der Westward-Reise änderte sich es von 8,88 zu 4,56 ns pro Stunde.

Eine Untersuchung von Tabelle 1 zeigt, dass mit Ausnahme von Uhr 447 die Driftraten so weit davon entfernt waren, stabil zu sein, dass die Ergebnisse völlig unbrauchbar wurden. Die Änderungen der Driftraten, die während einer Umrundung aufgetreten sind, stammen aus Tabelle 1 und sind in Tabelle 2 gezeigt. Diese Änderungen der Driftrate sollten nahe Null liegen, um Vertrauen in etwaige Schlussfolgerungen zu schaffen. Eine Untersuchung der Driftraten vor und nach den Tests nach Osten und Westen (Tabelle 1) zeigt, dass während der Tests große Unterschiede aufgetreten sind.

Tabelle 2. Änderung der Driftraten während der Tests

Uhr Nr. 120 361 408 447

Eastward Test -4,39 +1,72 +5,00 -1,25

Westward Test +4,31 -2,93 -2,68 -2,25

Die wilden Schwankungen der Driftrate hätten dazu führen müssen, dass der gesamte Test zum Fehler erklärt wurde. Die Autoren hatten erkannt, dass eine konstante Driftrate eine Voraussetzung für einen aussagekräftigen Test war. Der Bericht von 1971 sagt *"Besonders bei 361 nach dem Flug in östlicher Richtung ist*

es ziemlich ungewiss, wie hoch die Rate nach dem Flug ist." , und "Es ist nicht zu erwarten, dass tragbare Cäsiumuhren unter Reisebedingungen so gut funktionieren wie im Labor. Unsere Ergebnisse zeigen, dass bei Fahrten mit Uhren, die im Labor eine erheblich bessere Leistung gezeigt haben, Änderungen von bis zu 120 nsec / Tag auftreten können. "

Eine Änderung der Driftrate während eines Fluges kann das Ergebnis einer allmählichen Veränderung oder einer Reihe plötzlicher Veränderungen sein.

Die Umrundungszeit nach Osten von 65,4 Stunden würde die prognostizierte theoretische Veränderung von -40 ns bei einer Änderung der Driftrate von -0,6 ns pro Stunde akkumulieren. Die Zahlen in Tabelle 2 sollten, wie oben angegeben, alle Null lauten, aber jede Änderung, die nicht um mindestens einen Faktor von mindestens 5 um 0,6 ns pro Stunde kleiner war, würde jedes Ergebnis verschleiern. Dies bedeutet, dass keine Uhr von Wert war, um zu einer Schlussfolgerung über den Eastward-Test zu gelangen. Die Genauigkeit müsste um zwei Größenordnungen besser sein. Beim Westward-Test würde die prognostizierte Änderung von +275 ns in der Reisezeit von 80,3 Stunden bei einer Änderung der Driftrate von +3,4 ns pro Stunde akkumuliert. Die Änderung der Driftrate müsste weniger als 0,7 ns pro Stunde betragen, um von Nutzen zu sein. Auch hier kann kein Ergebnis mit Sicherheit verwendet werden.

Abbildung 2 zeigt eine Skizze der vergrößerten Ansicht von H & K zum Durchschnitt der vier Uhren (wie im H & K-Papier angegeben) für den Zeitraum unmittelbar vor und nach dem Westward-Test. Eine ähnliche Grafik wurde für den Osten gegeben. Gemäß der Theorie waren die Trendlinien, die sie für die Zeiträume vor und nach den Tests zeichneten, parallel, jedoch mit einer inkrementellen schrittweisen Änderung nach unten bzw. nach oben für die Tests nach Osten und Westen. Die Änderung aufgrund des prognostizierten relativistischen Effekts würde natürlich allmählich während eines Fluges auftreten, kann jedoch nur als die resultierende Schrittänderung bestimmt werden, die nach diesem Test auftritt, da während eines Fluges keine Möglichkeit zum Vergleich mit der Bodenstation bestand.

Die Startzeit für die Flüge wurde durch den Abflug eines Verkehrsflugzeugs bestimmt. Hätte der Westward-Test etwa 12 Stunden zuvor begonnen (siehe Abbildung 2), wäre der Trend vor diesem Test sehr unterschiedlich. Unter Verwendung des Durchschnitts der vier Uhren hätte für den gesamten von H & K in Abbildung 2 gezeigten Zeitraum eine Zeitverschiebung von ungefähr Null für den Eastward-Test vernünftigerweise abgeleitet werden können. In der Tat beschrieb der Bericht von 1971 das Ergebnis von Eastward als *"durchweg negativ oder nahe Null"*.

Die Ratenänderungen sind zufällig und können entweder in einer + - oder - Richtung aufgetreten sein. Die Driftrate der Uhr 120 wurde beim Eastward-Test um +4,39 ns / h und beim Westward-Test um -4,31 ns / h geändert. Wir sollten nicht

sagen, dass diese Uhr eine durchschnittliche Driftrateänderung von 0,04 ns / h aufwies. in der Tat war dies die Uhr mit der unregelmäßigsten Leistung. Das ist so, als würde man sagen, dass eine Uhr, die in der ersten Woche zehn Stunden gewonnen und in der zweiten zehn verloren hat, ein perfekter Zeitnehmer ist! Ab Abbildung 1 kann eine Uhr 447 so interpretiert werden, dass sich die Drift von 100 Stunden in den Testzeitraum bis zum Ende des Westward-Tests geringfügig verändert. Wäre diese Uhr mit der beständigsten Leistung ausgewählt worden, wäre das Gesamtergebnis Null gewesen.

Der in Abbildung 2 gezeigte Trend wurde aus dem abgeleitet *durchschnittlich* der vier Uhren. **Die Ergebnisse der einzelnen Uhren wurden nicht bekannt gegeben; Sie werden hier erstmals in den Spalten 2 und 5 von Tabelle 3 veröffentlicht.** Es ist bedeutungslos, den mathematischen Durchschnitt der Spalten 2 oder 5 zu nehmen. Auf der Eastward-Reise gewann die Uhr 408 166 ns, während die Theorie einen Verlust von 40 ns prognostizierte. auf der Westward-Reiseuhr verlor 361 44ns, während die Theorie einen Gewinn von 275ns prognostizierte!

5. Testergebnisse

Tabelle 3.

Ursprüngliche Testergebnisse und H & K-Änderungen (ns)

Nach Osten

Uhr **Test** Erste Sekunde **Test** Erste Sekunde

Nein **Ergebnisse** Veränderung **Ergebnisse** Veränderung

120 **-196** -52 -57 **+413** +240 +277

361 **-54** -110 -74 **-44** +74 +284

408 **+166** +3 -55 **+101** +209 +266

447 **-97** -56 -51 **+26** +116 +266

Durchschnitt --- -54 -59 --- +160 +273

Anmerkungen: (1) Die von H & K abgeleiteten Durchschnittswerte -59ns und +273ns sind mit den von der Theorie vorhergesagten -40ns und +275ns zu vergleichen. (2) Standardabweichungen wurden für den Mittelwert der zweiten Methode als 10 bzw. 7 angegeben; Die 7 sollte 9 gelesen haben.

Die in Tabelle 3 als "Testergebnisse" angezeigten Daten sind die ns-Änderungen, die von jeder Uhr aus dem Ergebnis bei der zu Beginn des Fluges vorhandenen Driftrate angezeigt werden. Zum Beispiel betrug die Driftrate der Uhr 361 vor dem Flug nach Osten +2,66 ns / h im Vergleich zur Standardstation in Washington. Der Flug dauerte 65,42 Stunden, und bei dieser Geschwindigkeit hätte diese Uhr

Washington mit akkumulierten +174ns voraus sein müssen. es war nur +120ns gegangen, was beweist, dass es auf dem Flug 54ns verloren hatte.

Wie in Tabelle 3 gezeigt, gibt es zwei Fälle, in denen sich eine Uhr in der *gegenüber* Richtung zur Theorie; nämlich. 408 im Eastward-Test (zeigt einen Gewinn, in Abbildung 1 oben mit G gekennzeichnet) und 361 im Westward-Test (zeigt einen Verlust, gekennzeichnet mit L). Das sogenannte '-Ergebnis' des Eastward-Tests (-59ns) von H & K war um den Faktor 2,8 geringer als und im Vorzeichen der Zeitverschiebung einer Uhr (408).

Der erste Versuch von H & K, die Ergebnisse näher an die theoretischen Prognosen heranzuführen, bestand darin, den Durchschnitt der Driftraten vor und nach einem Flug zu ermitteln und davon auszugehen, dass dieser Durchschnitt die Driftrate war, die während des gesamten Fluges angewendet wurde. Dies entspricht der Annahme, dass eine einzige plötzliche Änderung der Driftrate in der Mitte aufgetreten ist. Eine solche Annahme hätte eine gewisse Glaubwürdigkeit, wenn die Änderung der Driftrate sehr gering gewesen wäre, z. eine Änderung von +3,34 zu +3,35 ns / h, die das Endergebnis nicht wesentlich beeinflussen würde. Die tatsächlichen Driftraten (Tabelle 1) verdoppelten sich (eine Uhr von -4,5 bis -8,9 ns / h) oder halbierten sich (+ 4,8 bis +2,2 ns / h; -8,9 bis -4,6 ns / h) oder umgekehrt (-1,8 bis +3,2 ns / h). Die mit dieser ersten Methode an den Testergebnissen vorgenommenen Änderungen sind in den Spalten 3 und 6 von Tabelle 3 aufgeführt. Nachdem diese Änderungen vorgenommen wurden und aus der erstellten Abbildung 2, H & K hat diesen Ansatz korrekt abgelehnt, weil er es war *"abhängig von der unwahrscheinlichen Wahrscheinlichkeit, dass während jeder Reise nur eine Tarifänderung auftrat und dass diese Änderung in der Mitte der Reise auftrat"*; Sie fügten hinzu, dass es keine offensichtliche Methode zur Schätzung des experimentellen Fehlers einer solchen Annahme gab. Sie hatten, wie später besprochen wird, tatsächlich sieben Änderungen der Driftrate auf einer Uhr, vier auf einer anderen und zwei auf einer dritten Uhr identifiziert.

Nachdem sie diese Methode abgewiesen hatten, veröffentlichten sie immer noch Grafiken (entsprechend Abbildung 2 oben), basierend auf dieser Methode, die sie als produzierend bezeichneten *"überzeugende qualitative Ergebnisse"*. Es wurde veröffentlicht; veröffentlicht, weil es überzeugend aussah und nicht, weil es ein legitimes Bild der Testergebnisse gab. Für den ahnungslosen Leser sahen diese Grafiken wie ein Beweis für den Erfolg der Tests aus.

H & K verwendete als nächstes eine andere Methode zum Ändern der Testdaten. Während eines Flugtests war es nicht möglich, das Verhalten von Uhren relativ zur Standardstation zu überprüfen. Als ein Test endete, wurde die Messung der Drift relativ zur Standarduhrstation fortgesetzt. Vergleiche, die zwischen den vier Uhren während der Flüge durchgeführt wurden, wurden jedoch von H & K verwendet, um zu entscheiden, ob eine Uhr eine plötzliche Änderung des Musters erfahren hatte. In einem solchen Fall wurde angenommen, dass das Verhalten der anderen drei korrekt war. Das Grundprinzip war das *"Die Wahrscheinlichkeit, dass zwei oder*

mehr Uhren gleichzeitig die Rate um denselben Betrag in dieselbe Richtung ändern, ist äußerst gering.". Es wurden Korrekturen für vierzehn Änderungen vorgenommen: Uhr 120, drei Änderungen nach Osten und eine nach Westen; Uhr 361 drei nach Osten und vier nach Westen; Uhr 408 zwei nach Osten; Uhr 447 eine nach Osten. Diese Korrekturen wurden vorgenommen, nachdem der Bericht von 1971 erstellt worden war. Es mag gerechtfertigt gewesen sein, eine einzelne isolierte plötzliche Änderung an einer Uhr während des gesamten Zeitraums von 26,5 Tagen zu ignorieren, aber Korrekturen für vierzehn solcher Änderungen in sechs Flugtagen und nach Beträgen vorgenommen zu haben, die die prognostizierten Ergebnisse um das bis zu 5,5-fache übersteigen atemberaubend.

Die USNO-Standardstation hatte einige Jahre zuvor die Praxis übernommen, in Abständen die Uhr mit der schlechtesten Leistung zu ersetzen. Auf einer ähnlichen Basis hätten die Ergebnisse von Uhr 120 außer Acht gelassen werden müssen. Diese unberechenbare Uhr hatte dazu beigetragen ***alle zeitlichen Änderungen beim Eastward-Test und 83% beim Westward-Test***, wie im Bericht von 1971 angegeben. Wenn man diese völlig unzuverlässige Uhr außer Acht lässt, wären die Ergebnisse bei den Tests in Eastward und Westward innerhalb von 5 ns bzw. 28 ns von Null gewesen. Dies ist ein Ergebnis, das nicht als Unterschied zwischen den beiden Flugrichtungen interpretiert werden konnte.

Die tatsächlichen Testergebnisse (Cols. 2 & 5 von Tabelle 3) unterscheiden sich stark von den veränderten Zahlen, die mit der zweiten Methode (Cols. 4 & 7). Die Zahlen in Cols. 4 und 7 waren die einzigen, die 1972 veröffentlicht wurden; Diese erwecken den sehr irreführenden Eindruck, dass die Ergebnisse kompatibel waren, als wären sie alle Prognoseschilder und innerhalb eines engen Bandes.

Beispiele dafür, wie unangemessen die Korrekturen von den tatsächlichen Testergebnissen zur geänderten Version waren:

Uhr 408 (nach Osten) 'korrigiert' von +166ns auf -55ns;

Uhr 361 (nach Westen) 'korrigiert' von -44ns auf +284ns.

Die Uhr 447 wurde im Westward-Test von +26ns auf +266ns geändert. das war um den Faktor 10. Das H & K-Papier sagte dies jedoch *Während der Reise nach Westen wurden keine signifikanten Änderungen der Rate für die Uhren 408 und 447 festgestellt.* " Diese unverhohlene Manipulation der Daten war empörend. Die Uhr 447 war die einzelne Uhr, die während der Tests eine ziemlich konstante Driftrate aufwies. In dem Bericht von 1971 heißt es, dass *"Ratenänderungen, die merklich größer sind als die im Labor typischen, traten während mindestens einer der Fahrten für jede Uhr auf, mit Ausnahme von Uhr 447"*. Warum haben sie dann nicht die Ergebnisse dieser einen stabilen Uhr verwendet und die anderen drei aufgegeben?

Beim Eastward-Test wurden Korrekturen des +3,5- und -5,5-fachen des prognostizierten theoretischen -40ns-Ergebnisses auf zwei der Uhren angewendet. Beim Westward-Test, bei dem die Prognose +273ns betrug, wurden Korrekturen des 0,5- bis 1,2-fachen dieses Betrags auf drei der Uhren angewendet.

H & K gab an, dass die Anzahl der gemessenen Werte für eine ordnungsgemäße statistische Analyse zu gering sei. Dennoch ergaben sie eine Standardabweichung der vier Ergebnisse zu beiden Tests, wie in Tabelle 3 angegeben. Dies erweckt den irreführenden Eindruck, dass die Ergebnisse zuverlässig eng gruppiert sind.

War das Ziel dieser Tests, eine Bestätigung der Theorie zu erstellen oder objektive zuverlässige experimentelle Ergebnisse zu liefern?

6. Diskussion

Bodily und Hyatt (1967) [15] gaben an, dass 2,5 ns / h weniger sind als Änderungen der Driftrate und zufällige Fehler bei mobilen Uhren. Die durchschnittliche Änderung für die vier Uhren in diesen Tests (Tabelle 2) betrug 3,07 ns / h. Änderungen unter 200 ns Eastward oder 250ns Westward sind daher überhaupt nicht von Bedeutung.

Der Bericht von 1971 zeigte einen grafischen Beweis dafür, dass ein Ergebnis unter etwa 125 ns für den Eastward-Test nicht verwendet werden konnte. H & K verwendete jedoch die Ergebnisse nach Osten, die alle unter dieser Schwelle lagen. In diesem Bericht heißt es, dass dies der Fall war *"Amüsant, dass die Werte für die Eastward-Reise in hervorragender Übereinstimmung mit der Theorie standen, obwohl erwartet wurde, dass sie keinen eindeutigen Effekt erkennen könnten."* Dies ist jedoch nicht wahr. Die Ergebnisse nach Osten variierten von +166 bis -196 ns; solche wild unterschiedlichen Ergebnisse zu mitteln, ist bedeutungslos.

H & K zeichnete auf, dass frühere Tests, die 1970 gemeldet wurden, Ergebnisse gezeigt hatten, die normalerweise nullzentriert verteilt waren und eine Streuung von etwa 60 ns pro Reisetag aufwiesen. Der Bericht von 1971 befürwortete die künftige Verwendung besserer Uhren und eine Umrundung mit weniger Bodenzeit, was die Standardabweichung der Ergebnisse wahrscheinlich um den Faktor zehn verringern würde.

H & K kam zu dem Schluss, dass es wenig Grundlage für weitere Argumente zu geben schien, ob Uhren nach einer Rundreise die gleiche Zeit anzeigen würden. Die Uhren haben sich während der Umrundungen sicherlich verändert, aber die aufgetretenen Veränderungen waren zufällig und haben keine Bedeutung.

Frühere Versuche, die Änderungen der Driftraten aus den Grafiken im H & K-Papier von 1972 abzuleiten, wurden von diesem Autor unternommen [16] und später von Essen im Jahr 1977 [17] durchgeführt. Beide kamen zu dem Schluss, dass die Veränderungen der Driftraten der Uhren die Ergebnisse unbrauchbar

machten. Diese Versuche hätten vernünftigerweise abgezinst werden können, da die ursprünglichen Rohtestdaten diesen Autoren nicht zur Verfügung standen. Diese Entschuldigung ist jetzt nicht mehr gültig.

7. Schlussfolgerungen

Die H & K-Tests beweisen nichts. Die Genauigkeit der Uhren müsste zwei Größenordnungen besser sein, um Vertrauen in die Ergebnisse zu schaffen. Die tatsächlichen Testergebnisse, die nicht veröffentlicht wurden, wurden von H & K geändert und erwecken den Eindruck, dass sie die Theorie bestätigen. Nur eine Uhr (447) hatte über den gesamten Testzeitraum eine ausfallsichere konstante Leistung. Die Einnahme der Ergebnisse macht für die Tests nach Osten und Westen keinen Unterschied.

Referenzen

- [1] J.C. Hafele und R.E. Keating, Science 177, 166-168 und 168-170 (1972)
- [2] G.B. Arfken, D.F. Griffing, D.C. Kelly & J. Priester, University Physics 2 ed. (San Diego: Harcourt Brace Jovanov), S. 842, 1989
- [3] A. Beiser, Physics 5 ed (Lesen: Addison-Wesley) S. 747 (1991)
- [4] F.J. Blatt, moderne Physik (New York: McGraw Hill) S. 25 (1992)
- [5] J.D. Cutnell und K.W. Johnson, Physik 3 ed. (N. Y. Wiley) S. 909 (1995)
- [6] P.C.W. Davies About Time (London: Viking) S. 57 (1995)
- [7] D.C. Giancoli, Physics 5 ed. (London: Prentice-Hall) S. 755 (1998)
- [8] D. Halliday, R. Resenick und J. Merrill, Grundlagen der Physik (New York: Wiley) S. 960 (1997)
- [9] H.C. Ohanian, Physics 2nd ed. erweitert.(W. W. Norton, N. Y., 1989)
- [10] W. Rindler Eine Einführung in die spezielle Relativitätstheorie 2 ed. (Oxford: Clarendon Press) S. 29 (1991)
- [11] Leader, Nature 238, 2425 (1972)
- [12] G.M.R. Winkler, R.G. Hall und D.B. Percival, Meterologia 6 Nr. 4, 126-134 (1970)
- [13] R.E. Beehler, R.C. Mockler und J.M. Richardson, Meterologia 1 Nr. 3, 114-131 (1965)
- [14] Proc. 3. Abteilung Def. PTTI-Sitzung 261-288 (1971)
- [15] L.N. Bodily und R.C. Hyatt, *Hewlett Packard J.* 19, Nr. 4 12-20 (1967)
- [16] A. G. Kelly, Monographie Nr. 3, Inst. Engrs. Irel. (1996) *

[17] L. Essen, Creation Res. Society Quarterly Vol 14, 46, (1977)

* Postfrei, Institution of Engineers of Ireland, 22 Clyde Rd, Dublin 4, Irland.

Liste der Abbildungskapitane

Abbildung 1, Skizze der Ergebnisse nach H & K.

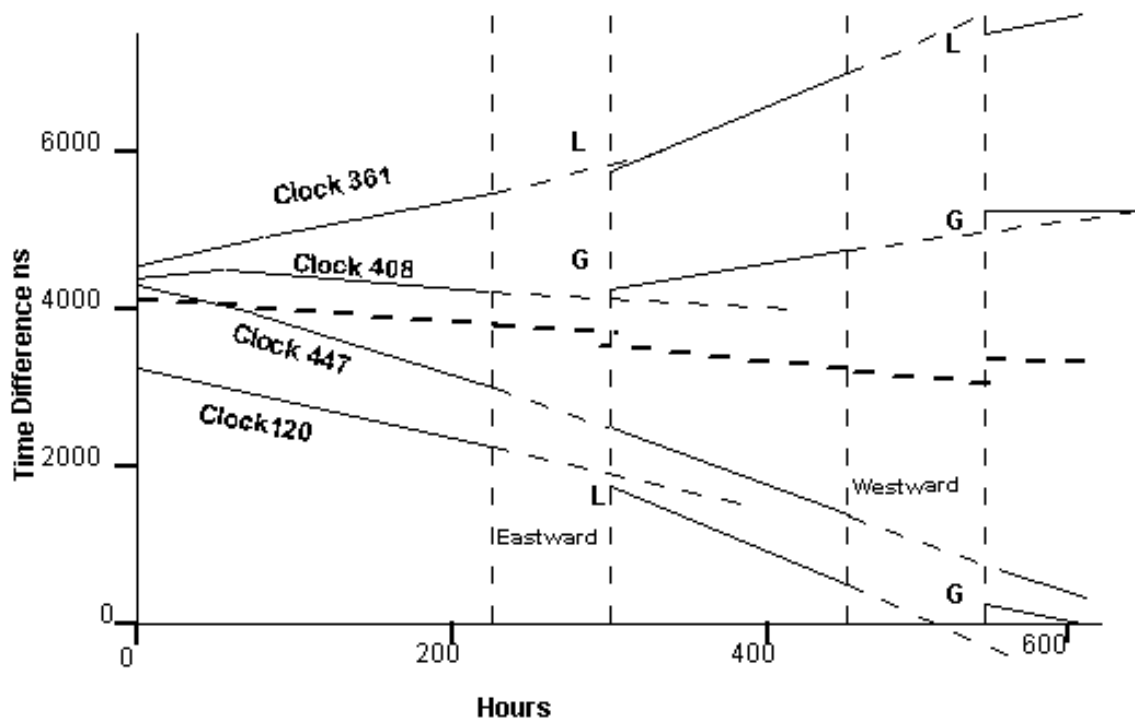
Abbildung 2. Vergrößerte Ansicht

Liste der Tabellen

Tabelle 1. Driftrate der Uhren (ns pro Stunde)

Tabelle 2. Änderung der Driftraten während Tests

Tabelle 3. Ursprüngliche Testergebnisse und H & K-Änderungen (ns)



L = Verlust; G = Gewinn.

Abbildung 1

Skizze der von H & K angegebenen Ergebnisse

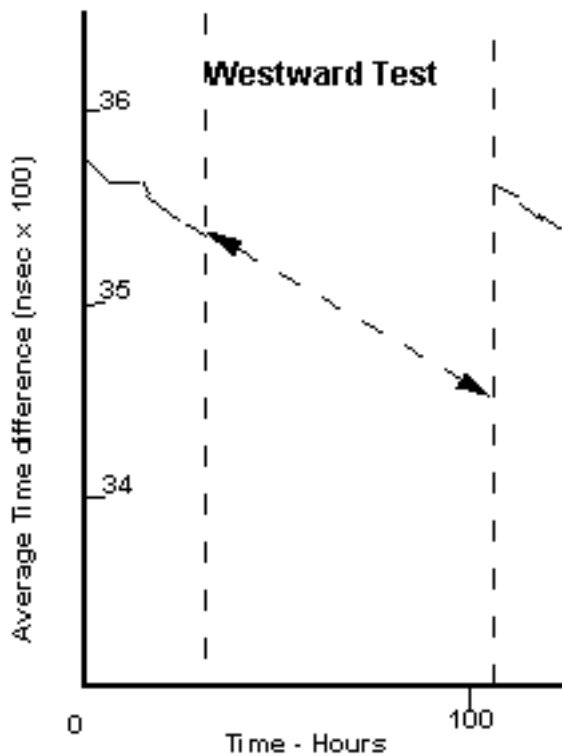


Abbildung 2

Vergrößerte Ansicht

EIN. G. Kelly.

HDS Energy Ltd.,

Celbridge,

Co. Kildare,

IRELAND.

Französische Übersetzung der Zusammenfassung

Lebenslauf: Les résultats de l'essai original n'ont pas été publiés von Hafele et Keating, dans leur célèbre Artikel von 1972. Ces résultats sont maintenant disponibles et sont publiés dans cet article. Auf y montre que des changements radicaux apportés par les auteurs aux données d'essai n'étaient pas justifiés. Une analyse des données confirme que les Schlussfolgerungen d'Hafele et Keating sont fausses. Auf ne peut donner aucune croyance aux déductions fondées sur ces essais.