

# Die Richtungsabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit gemäß des Michelson-Morley-Versuchs

Dr.-Ing. Arvi Kruusing

Zuerst veröffentlicht am 1. Mai 2014; letztes mal geändert am 6. Februar 2015

Die Richtungsabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit wird bestimmt auf Basis der Daten des Michelson-Morley-Versuchs aus dem Jahr 1887. Dem Maximum der Lichtgeschwindigkeit entspricht die kosmische Richtung  $\alpha = 61,5^\circ$ ,  $\delta = -74,5^\circ$ ; die größte Abweichung von der Mittelgeschwindigkeit beträgt  $\approx 5,6$  km/s am Mittag und  $\approx 7,4$  km/s am Abend.

After reducing systematic and random errors in data of Michelson and Morley 1887 experiment, clear light velocity anisotropy becomes evident. To the directions of largest deviations on light velocity from mean value, a cosmic direction of  $\alpha = 61.5^\circ$ ,  $\delta = -74.5^\circ$  can be attached. The largest light velocity deviation is determined as  $\approx 5,6$  km/s at noon and  $\approx 7,4$  km/s at evening.

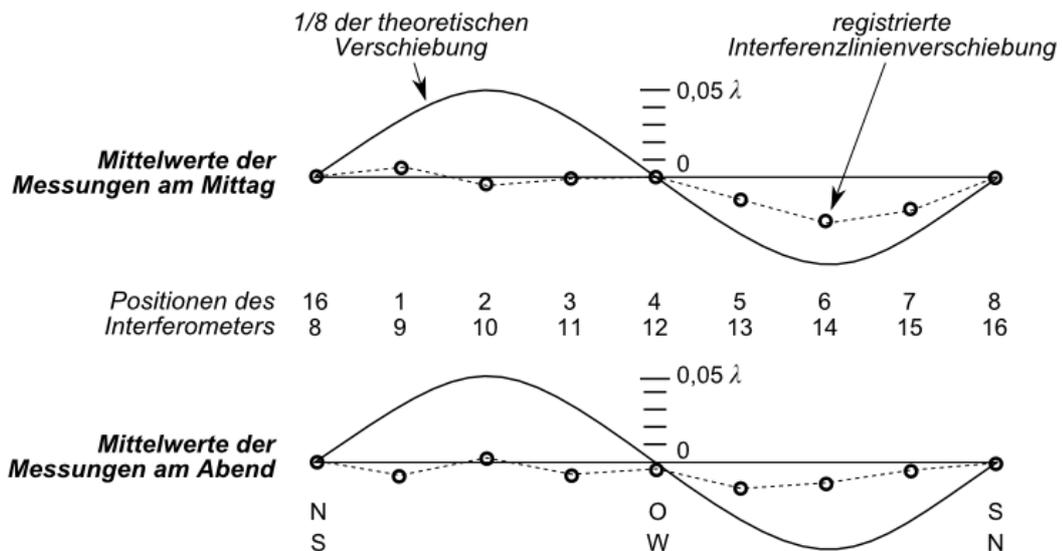
## 1. Einleitung

Im Jahre 1887 führten Michelson und Morley in Cleveland einen Interferometerversuch (MM-Versuch) durch [1], um die Hypothese von der Richtungsabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit zu überprüfen. Man erwartete, dass sich die Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Richtungen bis zu 30 km/s von der Durchschnittsgeschwindigkeit unterscheiden kann – wobei 30 km/s die Umlaufgeschwindigkeit der Erde um die Sonne beträgt.

Der Interferometer wurde im Zeitraum vom 8–12. Juli 1887  $6 \times 6$  mal umgedreht –  $3 \times 6$  mal am Mittag und  $3 \times 6$  mal am Abend. Nach jeder  $1/16$ -Drehung wurde die Linienverschiebung registriert (in Einheiten der Skala von einer Mikrometerschraube, welche das Fadenkreuz verschiebt). Von den registrierten Verschiebungen wurden die Mittelwerte errechnet, separat für die Mittags- und Abends-Serien, lineare Drift entfernt und die resistierende Wechselkomponente invertiert. Abb. 1 zeigt das Resultat im Vergleich mit dem theoretischen Verschiebungsverlauf.

Weil die so verarbeiteten und präsentierten Resultate in klarem Widerspruch mit der Annahme von der Addition von der Orbitalgeschwindigkeit der Erde mit der Lichtgeschwindigkeit waren, nahm man an, dass die Lichtgeschwindigkeit eine Konstante sei, welche nicht von der Richtung und relativen Geschwindigkeit des Strahlers oder Empfängers abhängt.

Doch haben spätere Analysen von Daten des MM-Versuches gezeigt, dass diese doch eine Richtungsabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit involvieren [2–4], jedoch ein viel kleinere als die erwartete von 30 km/s.



**Abbildung 1.** Ergebnis des Michelson-Morley-Versuchs von 1887, umgezeichnet von [1]. Die Messergebnisse sind viel kleiner als theoretisch vorhergesagt; die Richtungsabhängigkeit ist fraglich.

Nach Michelson und Morley haben noch andere Forscher die Richtungsabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit untersucht und entdeckt, dass die größten Abweichungen von der Mittelgeschwindigkeit nicht in Richtung der Tangente der Umlaufbahn der Erde liegen, sondern in eine bestimmte kosmische Richtung [5, 6].

Das Ziel dieses Arbeitens ist aufzuklären, welcher kosmischen Richtung man die Resultate des MM-Versuches zuordnen kann.

## 2. Analyse

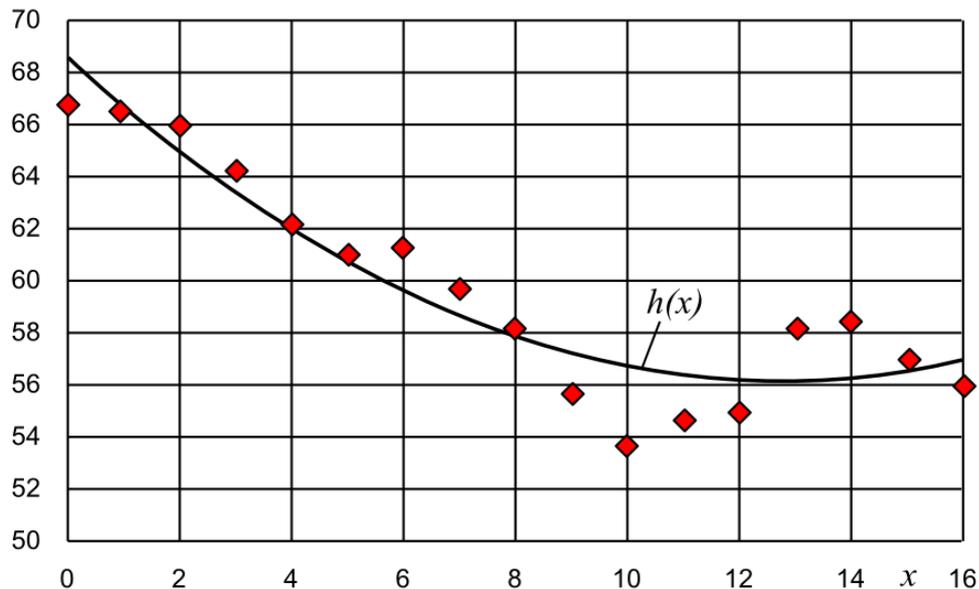
Eine nähere Betrachtung von Daten des MM-Versuches (tabuliert in [1]) zeigt, dass die Annahme von einer linearen Drift der Linierverschiebungen mindestens bei einigen Serien eine schlechte Voraussetzung ist. Deshalb nutzen wir hier eine quadratische Approximation.

Wenn man die Abhängigkeiten der Ablesungen von der Mikrometerschraube von der Position (dem Winkel) mit quadratischen Polynomen approximiert [7], erhält man für die sechs Serien des MM-Versuchs folgende Ausdrücke:

8. Juli, mittags	$h(x) = 46,0796 - 2,3106x + 0,0187x^2,$
9. Juli, mittags	$h(x) = 56,7845 + 0,5508x + 0,0318x^2,$
11. Juli, mittags	$h(x) = 24,8856 - 1,1053x + 0,0011x^2,$
8. Juli, abends	$h(x) = 62,4290 + 1,3095x - 0,0420x^2,$
9. Juli, abends	$h(x) = 26,1800 + 0,8286x + 0,0208x^2,$
12. Juli, abends	$h(x) = 68,5438 - 1,9444x + 0,0764x^2,$

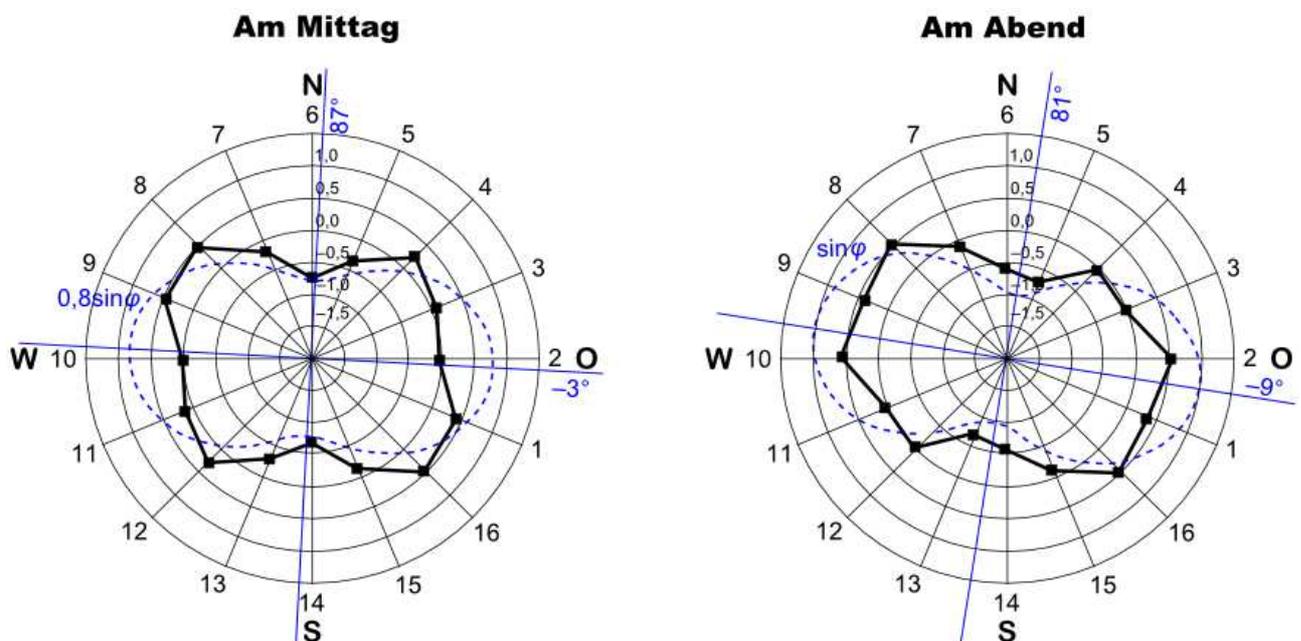
wobei  $x$  für den Winkel in Einheiten des MM-Versuchs, den Positionseinheiten, steht;  $x = 1$  entspricht einer 1/16-Drehung.

Ein Beispiel solcher Approximation ist in Abb. 2 angegeben.

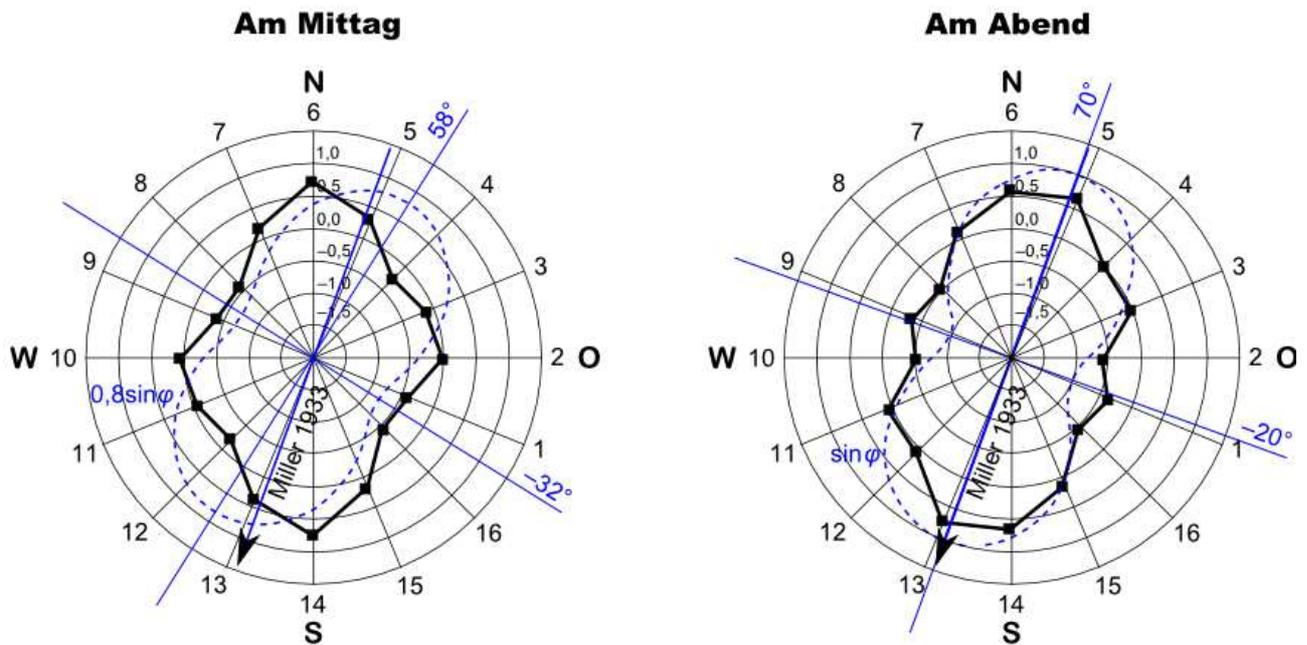


**Abbildung 2.** Approximation von Daten des MM-Versuches, der Abend des 12. Juli, mit quadratischem Polynom  $h(x)$ .

Wenn man die Differenzen zwischen originellen tabulierten Ablesungen und Polynomen  $h(x)$  errechnet; die Mittelwerte von diesen Differenzen separat über Messungen am Mittag und am Abend und über Halbdrehungen errechnet und die erhaltenen Werte invertiert, dann erhält man das folgende Resultat, welches in Abb. 3 in Polarkoordinaten präsentiert wird. Abb. 4 zeigt dieselben Werte nicht invertiert; weil, wie unten gezeigt, die invertierte Daten widersprüchliche oder mit anderen Messungen schlecht übereinstimmende Resultate angeben.



**Abbildung 3.** Die Richtungsabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit gemäß des Michelson-Morley-Versuchs. Radiale Skala: Ablesungen von der Mikrometerschraube des Interferometers; der Wert 1,0 entspricht eine Änderung der Lichtgeschwindigkeit von 6,7 km/s. Gemäß Abb. 1 ist die Position 2 entweder nach Osten oder nach Westen ausgerichtet (Richtung der maximalen Lichtgeschwindigkeit nach der Annahme von Michelson und Morley). Die Strichlinien sind die theoretischen Richtungscharakteristika (Sinus).



**Abbildung 4.** Die Richtungsabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit gemäß des Michelson-Morley-Versuch, wenn die Messdaten nicht invertiert sind. Die Pfeile zeigen die Richtungen der Projektionen des kosmischen Anisotropievektors, errechnet nach den Daten von Miller 1933 [5].

Es ist nicht bekannt, warum Michelson und Morley die Daten invertiert präsentierten; wir wissen auch nicht, ob der Interferometer vor jede Messserie neu justiert wurde. Hicks [2] wies schon im Jahre 1902 darauf hin, dass die Richtung der Linienverschiebung nicht nur von Lichtgeschwindigkeit abhängt, sondern auch von der Abstimmung der Spiegel. Meistens ist es notwendig, vor Messungen die Neigung eines Spiegels zu ändern, bis die Interferenzlinien in der gewünschten Breite sichtbar werden. Ohne spezielle Untersuchung kann man nicht feststellen, ob die Lichtgeschwindigkeit zu- oder abnimmt. Es ist auch möglich dass das Interferometer bei jede Serie sich verschieden verhält.

Prinzipiell kann für bearbeitete Messdaten ein von den folgenden Varianten gültig sein:

Variante	Mittelwerte der Messungen am Mittag	Mittelwerte der Messungen am Abend
1	richtig ist nicht invertiert	richtig ist nicht invertiert
2	richtig ist invertiert	richtig ist nicht invertiert
3	richtig ist nicht invertiert	richtig ist invertiert
4	richtig ist invertiert	richtig ist invertiert

Die Forscher, welche die Variationen der Lichtgeschwindigkeit während des Jahres gemessen haben [5, 6], haben entdeckt, dass der auf der Erde gemessene Anisotropievektor ungefähr proportional zu einer Vektorsumme  $\mathbf{V} + \mathbf{V}_o$  ist, wobei  $\mathbf{V}$  ein Vektor gewisser kosmischen Geschwindigkeit ist, äquivalent zur Bewegung des Sonnensystems in eine gewisse Richtung, und  $\mathbf{V}_o$  der Vektor der Orbitalgeschwindigkeit der Erde ist.

Verschiedene Forscher haben für  $V \approx 200...400$  km/s mit äquatorialen Koordinaten  $\alpha \approx 60^\circ...80^\circ$  ( $-100^\circ...-120^\circ$ );  $\delta \approx \pm(20^\circ...80^\circ)$  gemessen [6].

Um zu entscheiden, welche der vier Varianten oben (invertiert/nicht invertiert) am wahrscheinlichsten ist, errechnen wir die Koordinaten des Vektors  $\mathbf{V}$  für alle Varianten.

Weil die approximierenden Sinusfunktionen für invertierte und nicht invertierte Daten nicht orthogonal sind, benutzen wir für die Rechnungen die Werte:  $(87^\circ + 58^\circ)/2 = 72,5^\circ$  für den nicht

invertierten Fall am Mittag und von  $-17,5^\circ$  für den invertierten Fall am Mittag;  $(81^\circ + 70^\circ)/2 = 75,5^\circ$  für den nicht invertierten Fall am Abend und von  $-14,5^\circ$  für den invertierten Fall am Abend. Für das Modul  $V$  wird  $V = 365$  km/s angenommen und als Umlaufgeschwindigkeit der Erde 30 km/s. Die Resultate sind in Tabelle 1 angegeben.

**Tabelle 1.** Die errechneten Richtungen des kosmischen Anisotropievektors und dessen Projektionen auf Ebene des Interferometers um 12:00 und 18:00 Uhr Sonnenzeit. Die Module sind in km/s angeführt.  $V_{12}$  steht für die Geschwindigkeitsabweichung am Mittag und  $V_{18}$  für die Abweichung am Abend.

Daten des MM-Versuches:		Richtung der max. Lichtgeschwindigkeit $\varphi$		Parameter des kosmischen Anisotropievektors			Projektion des kosmischen Anisotropievektors auf Ebene des Interferometers		
		12:00	18:00	$\alpha$	$\delta$	$V$	$V_{12}$	$V_{18}$	$V_{18}/V_{12}$
uninvertiert	uninvertiert	$72,5^\circ$	$75,5^\circ$	$61,5^\circ$	$-74,5^\circ$	365	313	208	0,66
invertiert	uninvertiert	$-17,5^\circ$	$75,5^\circ$	$-178^\circ$	$-12^\circ$	365	337	278	0,82
uninvertiert	invertiert	$72,5^\circ$	$-14,5^\circ$	$92,5^\circ$	$-169^\circ$	365	198	375	1,89
invertiert	invertiert	$-17,5^\circ$	$-14,5^\circ$	$\approx 115^\circ$	$\approx -142^\circ$	365	$\approx 77$	$\approx 324$	$\approx 4,2$

Gemäß der Tabelle 1 ist die Variante nicht invertiert/nicht invertiert am wahrscheinlichsten, weil in diesem Fall die Koordinaten  $\alpha = 61,5^\circ$ ;  $\delta = -74,5^\circ$  sehr nahe bei den Resultaten von Miller 1933 liegen, siehe Tabelle 2; die anderen Varianten geben nicht von anderen Forschern beobachtete Richtungen an, und die letzte Variante hat zu großes  $V_{18}/V_{12}$ -Verhältnis.

**Tabelle 2.** Die Richtungsabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit gemäß des Michelson-Morley-Versuchs, Vergleich der Messungen von Miller und Múnera.  $V$  ist Modul, und  $\alpha$ ,  $\delta$  die äquatoriale Koordinaten des kosmischen Anisotropievektors;  $V_{xy}$  ist Modul der Projektion der Vektorsumme ( $\mathbf{V} + \mathbf{V}_o$ ) auf Horizontalebene;  $\varphi$  ist der Winkel zwischen der genannten Projektion und der Ost-Richtung. 12:00 und 18:00 Uhr sind gemäß der Sonnenzeit angeführt.

Miller und Múnera wurden für den Vergleich gewählt, weil sie meist umfangreiche Messungen während des Jahres durchführten.

Werk	$V$ km/s	$\alpha$	$\delta$	12:00		18:00	
				$V_{xy}$	$\varphi$	$V_{xy}$	$\varphi$
Miller 1933 [5, S. 234]	208	$73,5^\circ$	$-70,5^\circ$	186	$-110^\circ$	114	$-112^\circ$
Múnera 2009 [6]	365	$81^\circ$	$79^\circ$	243	$103^\circ$	308	$99^\circ$
MM-Versuch, unsere Analyse	100 %	$61,5^\circ$	$-74,5^\circ$	86 %	$-107,5^\circ$ bzw. $72,5^\circ$	57 %	$-104,5^\circ$ bzw. $75,5^\circ$

Die gefundene größte Abweichung der Lichtgeschwindigkeit vom Mittelwert,  $\approx 6,5$  km/s durchschnittlich, ist in guter Übereinstimmung mit den Resultaten anderer Forscher, doch passt schlecht ins Galajew-Diagramm, Abb. 5.

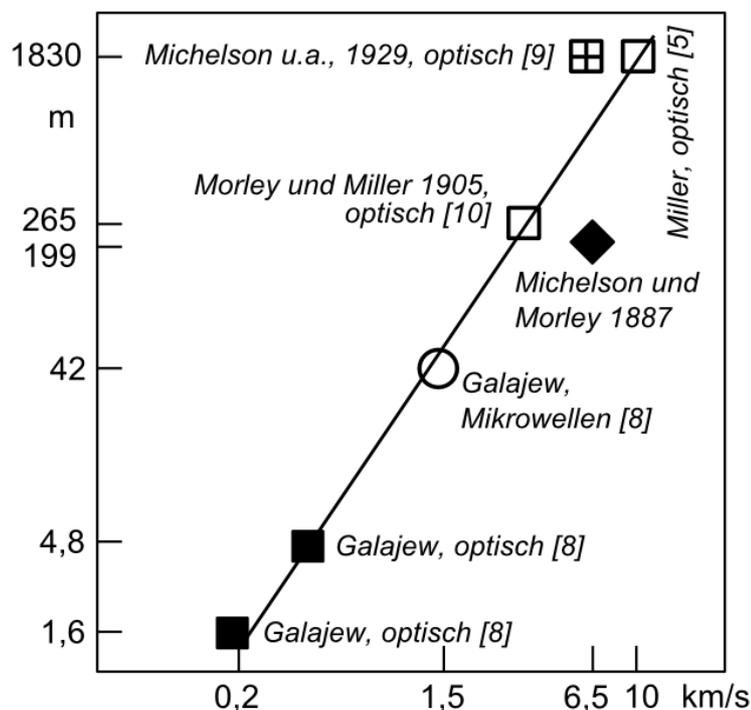


Abbildung 5. Die Abhängigkeit der Abweichung der Lichtgeschwindigkeit von der Höhe nach Galajew [8], ergänzt mit MM-Versuch.

## Referenzen

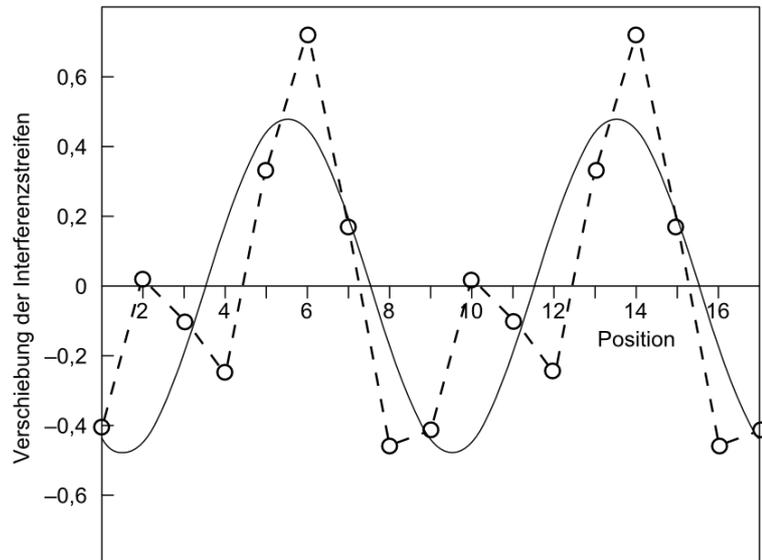
1. A. A. Michelson, E.W. Morley, On the relative motion of the Earth and the Luminiferous Ether. American Journal of Science. vol. 34, no. 203, November 1887, p. 333-345.
2. W. M Hicks, On the Michelson-Morley experiment relating to the drift of the aether. Philos. Mag., Series 6, vol. 3, 1902, p. 9–42 and 256.
3. Комментарий составителя к примечанию С. И. Вавилова. Im Buch: Эфирный ветер. Сб. статей. 2-е издание.// Под ред. В. А. Ацюковского. М.: Энергоатомиздат, 2011. 419 с. ISBN 978-5-283-03319-8. S. 59.
4. R. T. Cahill, Absolute motion and gravitational effects. Apeiron, vol. 11, no. 1, January 2004, p. 53–111.
5. C. D. Miller, The Ether-drift experiment and the determination of the absolute motion of the Earth. Reviews of Modern Physics, vol. 5, July 1933, p. 203–242.
6. H. A. Múnera u.a., Observation of a non-conventional influence of earth's motion on the velocity of photons, and calculation of the velocity of our galaxy. Progress in Electromagnetics Research Symposium PIERS-2009, Peking, 23–27 March 2009.
7. J. Dreczer (Hgb.), Mathematik-Handbuch für Technik und Naturwissenschaft. VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1975, S. 1184.
8. Ю. М. Галаев. Результаты повторения эксперимента Д. К. Миллера в диапазонах радио- и оптических волн. Im Buch: Эфирный ветер. Сб. статей. 2-е издание. // Под ред. В. А. Ацюковского. М.: Энергоатомиздат, 2011. 419 с. ISBN 978-5-283-03319-8. S. 331–357.
9. A.A. Michelson, F.G. Pease, F. Pearson, Repetition of the Michelson-Morley experiment. Journal of the Optical Society of America, 1929, vol.18, no. 3. p.181–182.
10. D.C. Miller, Significance of the ether-drift experiments of 1925 at Mount Wilson. Address of the president of the American Physical Society, read at Kansas City, December 29, 1925.

# Harmonische Analyse

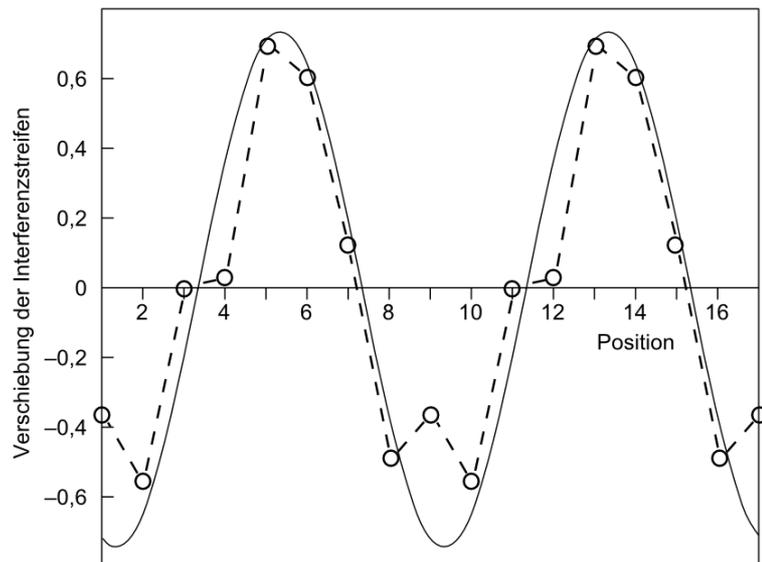
1. Februar 2015

Approximation mit Sinusfunktion (erstes Glied der Fourierreihe)

Mittagsversuche:



Abendsversuche:



Zeit der Versuche	Richtung des Anisotropie-maximums (an Ebene des Interferometers)	Größe Abweichung der Lichtgeschwindigkeit	Kosmische Richtung der Anisotropie	
			$V = 208 \text{ km/s}$	$V = 365 \text{ km/s}$
Mittags	$79,49^\circ$	$6,59 \text{ km/s}$	$\alpha = 98,3^\circ$	$\alpha = 84,2^\circ$
Abends	$74,66^\circ$	$8,16 \text{ km/s}$	$\delta = -75,6^\circ$	$\delta = -76,6^\circ$