

# Abstand.nb

## Größter bislang gemessener Abstand

*Bearbeitung: 10. 1.2003 - 10. 2.2003    Norbert Südland*

*Letzte Berechnung: 10. 2.2003    Norbert Südland*

### ■ 1.1. Fragestellung

#### ■ 1.1.1. Motivation

Jeremia ließ aufschreiben (Jeremia 31,37):

*37. So spricht der Herr: Wenn man den Himmel oben messen kann  
und den Grund der Erde erforschen,  
so will ich auch verwerfen den ganzen Samen Israels,  
um alles, das sie thun, spricht der Herr.*

Hier werden zwei Sachaussagen, die eigentlich nichts miteinander zu tun haben, gekoppelt, nämlich die Existenz Israels und die Vermessbarkeit des Weltraums.

Dieses Bibelzitat ist der inhaltliche Grund für Diskrepanzen und Streitgespräche zwischen Physik und Theologie. Die Frage nach der größten gemessenen Entfernung spielt für beide Forschergruppen eine Rolle.

#### ■ 1.1.2. Definition Messung

Die Lösung des Problems besteht in der Messung. Diese Frage ist rein physikalisch. Die philosophische Diskussion beginnt da, wo an der Grenze des Messbaren über die Versuchsauswertung gestritten wird.

Eine Messung im Sinne der Bibel geht auf folgenden Grundsatz zurück (5.Mose 19,15):

*15. Es soll kein einzelner Zeuge wider Jemand auftreten  
über irgend einer Missethat oder Sünde,  
es sei welcherlei Sünde es sei, die man thun kann,  
sondern in dem Munde zweier oder dreier Zeugen soll die Sache bestehen.*

Über Naturgesetze kann man nicht demokratisch abstimmen, und trotzdem sind mindestens zwei *Meßzeugen* (Der Begriff hat hier nichts mit der römisch-katholischen Messe zu tun) notwendig, um von *Messung* reden zu können. Dies führt zu folgender Definition:

*Eine gelungene Messung ist dadurch charakterisiert,  
daß ihr Meßfehler eindeutig angegeben werden kann.*

Der Meßfehler wird aus den Angaben mehrerer Meßzeugen ermittelt.

### ■ 1.1.3. Bestimmung des Meßfehlers

Carl Friedrich Gauß (1777-1855) begründete die *Fehlerrechnung* und die *Ausgleichsrechnung*, die aus einem mathematisch überbestimmten Problem einen vertretbaren Kompromiß samt Fehler bestimmt, um formal widersprüchliche *Einzelmessungen* zu *gesicherten Literaturwerten und der zugehörigen Toleranz* zu führen.

Die Kunst der *Fehler-* und *Ausgleichsrechnung* lernt man am besten am konkreten Meßproblem, oft genug im Praktikum oder spätestens im Berufsleben, wenn eine *Probemessung* zu Überraschungen führt.

## ■ 1.2. Entfernungsmessung im Weltraum

### ■ 1.2.1. Wie es nicht geht

Bei der Messung von Entfernungen im Weltraum versagt das Anlegen eines geeigneten Zollstocks.

### ■ 1.2.2. Wie es vielleicht geht

Bereits bei der Landvermessung werden Sichtwinkel auf Peilstäbe bestimmt, aus denen unter Berücksichtigung der Erdkrümmung sinnvolle Kompromisse für die *Kartographie* gefunden werden müssen.

Bei der Abstandsmessung zu einem Himmelskörper wird dessen Winkel-Verschiebung gegen den Fixsternhimmel bestimmt. Dies funktioniert bei den Planeten recht gut und recht genau, wobei die Probemessung schon Probleme bereitet:

☞ Was ist bei der Auswertung zu tun, wenn der Lichtweg nicht geradlinig, sondern gekrümmt ist?

Nach den mir vorliegenden Informationen unterliegt das Licht sogar dem freien Fall, also der Ablenkung durch ein Schwerefeld eines Sterns oder der Erde.

Die Annahme der geradlinigen Lichtausbreitung führte historisch zur Ableitung der Keplerschen Gesetze (als Näherung?) und daraus wiederum zur Ableitung des Newtonschen Gravitationsgesetzes. Am Ende steht der Nachweis des freien Falls von Licht im Schwerefeld der Erde.

Für "exakte" Philosophen ist damit die Durchführbarkeit der Abstandsmessung bereits "unmöglich", sobald der Lichtweg eines Peilstabes bei der Entfernungsmessung vorkommt.

Bei den Planeten ist die Bewegung gegenüber dem Fixsternhimmel so groß und regelmäßig, daß die Keplerschen Gesetze, die eine andere Darstellung der Prolemäischen Zykloiden sind, nicht völlig daneben liegen. Es ist also vor allem nach einer unabhängigen *Probemessung* Ausschau zu halten, die die Ergebnisse wenigstens in der Größenordnung bestätigt.

### ■ 1.2.3. Wie es wirklich geht

#### ■ 1.2.3.1. Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit

Die unabhängige Probemessung ist die Laufzeit des Lichts von der Erde zu einem Planeten und zurück. Erstmals hat 1676 Olaf Römer (vgl. [BS1993], **III Optik**, Abschnitt 2.1.1, Seite 190-191) einen Einfluß der Lichtgeschwindigkeit auf die Planetenbeobachtung festgestellt und bei Annahme der Keplerschen Gesetze eine Lichtgeschwindigkeit von **214000 km/s** ermittelt. 1728 bestätigte Bradley (vgl. [BS1993], **III Optik**, Abschnitt 2.1.2, Seite 191-192) den Einfluß der Lichtgeschwindigkeit in Verbindung mit dem Lauf der Erde um die Sonne auf eine scheinbare Minimal-Bewegung der "Fixsterne" um bis zu **41,2''/Jahr**, woraus zumindest mit heutigen Meßmethoden **298000 km/s** als Lichtgeschwindigkeit bestimmt werden.

Die Versuchsaufbauten zur Ermittlung der Lichtgeschwindigkeit ergaben schließlich 1967 als Bestwert **(299792,5 ± 15) km/s** (vgl. [BS1993], **III Optik**, Abschnitt 2.1.5, Seite 195-197), während 1972 durch Laufzeitmessungen an einem auf dem Mond aufgestellten Spiegel eine Lichtgeschwindigkeit von **(299792458 ± 18) m/s** resultierte (vgl. [BS1993], **III Optik**, Abschnitt 2.1.5, Seite 196) - die Entfernung konnte damit nicht gleichzeitig gemessen werden! Ebenfalls 1972 wurde (durch Barger, Hall und andere) die Lichtgeschwindigkeit im Labor mit **(299792458 ± 1,2) m/s** bestimmt (vgl. [BS1993], **III Optik**, Abschnitt 2.1.5, Seite 196).

#### ■ 1.2.3.2. Kombination zweier Meßverfahren

Über die Kombination von Sichtwinkeln und Lichtlaufzeit an Spiegeln ist die Abstandsmessung mathematisch überbestimmt, da eine Probemessung berücksichtigt wird. Im Rahmen der Ausgleichsrechnung wird dasjenige Ergebnis gefunden, das die bestmögliche Kombination beider Verfahren beinhaltet.

Die größte Entfernung, die auf diese Weise bestimmt wurde, ist die Entfernung zum Planeten Pluto. Sie wurde aufgrund der Keplerschen Gesetze aus Winkelverschiebungen errechnet und über die beiden Voyager-Sonden bei einer Laufzeitdifferenz der Steuersignale von **12 Stunden** Dauer unabhängig bestätigt.

### ■ 1.2.4. Ergebnis

Die größte bislang gemessene Entfernung im Weltraum beträgt **6 Lichtstunden**, was einer Entfernung von

$$\text{Ergebnis} = c t /. \{c \rightarrow 299792458 \frac{\text{"m"}}{\text{"s"}}, t \rightarrow 6 \text{"h"}\} /. \{\text{"h"} \rightarrow 3600 \text{"s"}\}$$

6475517092800m

also **6 Tm** entspricht. Alle größeren Entfernungsangaben sind theoretische Extrapolationen und bedürfen noch einer Probemessung, um bedeutsam zu sein. Die Wahl der Auswertetheorie ist frei, solange keine Meßwerte dagegen stehen.

Es zeigt sich, daß die Lichtstunde als Maß für große Entfernungen recht hilfreich ist. Sie beträgt

$$\text{Lichtstunde} = c t /. \{c \rightarrow 299792458 \frac{\text{"m}}{\text{"s"}}, t \rightarrow 3600 \text{"s"}\}$$

1079252848800m

Dieses Ergebnis läßt sogar eine wörtlich verstandene **7 Tage**-Schöpfung (1.Mose 1) unangetastet, wo am Morgen des vierten Schöpfungstages auch der Planet Pluto sein Licht auf die Erde geworfen hätte, wenn die Sonne nicht dazwischen gewesen wäre - so genau lassen sich die Sternläufe zurückrechnen!

Werden die jeweiligen Grenzen von Theologie und Physik beachtet, so ergänzen sich diese in großartiger Weise (vgl. Psalm 111,2):

*2. Groß sind die Werke des Herrn; wer ihrer achtet, der hat eitel Lust daran.*

## ■ 1.3. Protokoll

Die Version von *Mathematica* lautet:

**{\$Version, \$ReleaseNumber, \$LicenseID}**

{Microsoft Windows 3.0 (October 6, 1996), 0, L4526-3546}

Die Berechnungszeit betrug (in Sekunden):

**TimeUsed[]**

0.39

## Literatur

"Die Bibel, oder die ganze Heilige Schrift Alten und Neuen Testaments nach der deutschen Uebersetzung Dr. Martin Luthers.", Revision durch Dr. J. Ph. Fresenius, (1751); Druck und Verlag von Heinrich Ludwig Brönner, Frankfurt am Main, 40. Auflage, (1841)

[BS1993]

Bergmann L., Schaefer C. *Lehrbuch der Experimentalphysik Band 3 Optik*, de Gruyter Berlin, 9.Auflage, (1993)