

Die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit über das Fernsehen

Engelbert Stütz

1 Die Idee des Projekts

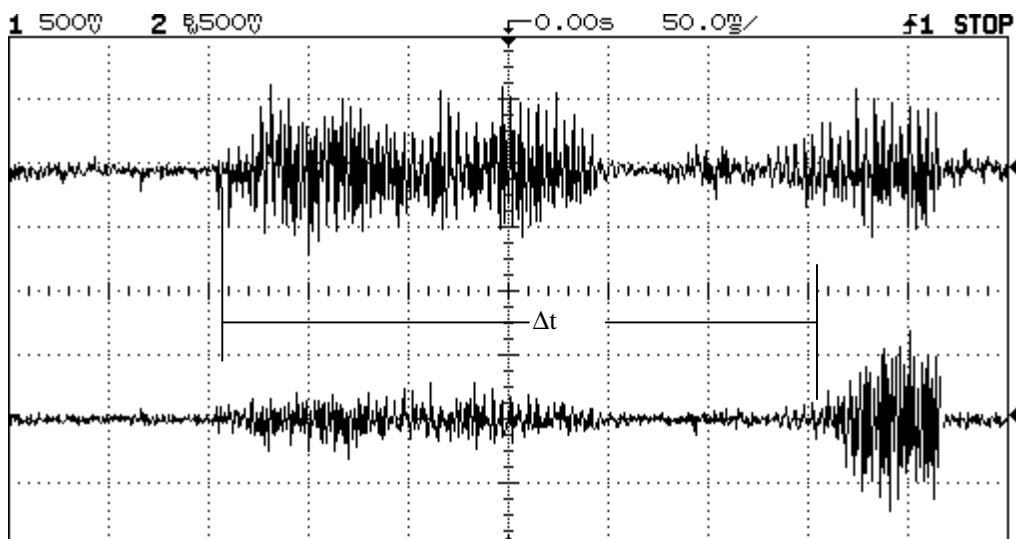
Die Anregung zu diesem Projekt kam von einem Artikel aus Plus Lucis 3/94. Dort wird von einer interessanten Möglichkeit berichtet, die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen zu bestimmen. Wenn man eine Live-Sendung, in unserem Fall die Nachrichtensendung ZiB2, auf ORF2 und 3sat nebeneinander betrachtet, kann man beobachten, daß die Sendung auf 3sat etwa um ein Drittel einer Sekunde später erscheint. Das ist auf den "Umweg" der Nachrichtenübertragung über einen geostationären Satelliten zurückzuführen. Da man den Wegunterschied berechnen und den Zeitunterschied messen kann, ist es möglich, die Lichtgeschwindigkeit daraus zu errechnen.

2.1 Die Messung der Zeitversetzung

Um die Zeitversetzung zu messen, überlegten wir uns geeignete Möglichkeiten, verlässliche Daten zu erhalten. Wir wählten zwei Varianten: eine Videoaufnahme und eine Tonaufzeichnung. Wir stellten zwei Fernsehgeräte nebeneinander auf, eines auf 3sat, das andere auf ORF2 eingestellt.

Mit einer Videocamera filmten wir die beiden Fernseher. Wir wählten, wie vorhin erwähnt, eine Sendung, die "simultan" ausgestrahlt wird, nämlich Zeit im Bild 2.

Bei der Tonaufzeichnung stellten wir eine spezielle Stereoaufnahme her. Am linken Kanal nahmen wir den Ton von ORF2 auf, am rechten Kanal den Ton von 3sat.



2 Die Messungen

Wir führten durch:

1. Die Messung der Zeitversetzung Δt zwischen den Nachrichtensendungen auf ORF2 und 3sat und
2. die Bestimmung des Wegunterschiedes $s_2 - s_1$ der Signale (s_2 ... Signalweg über den Satelliten; s_1 ... Signalweg für die terrestrische Ausstrahlung).

Aus 1. und 2. erhält man durch eine einfache Rechnung die Lichtgeschwindigkeit c :

$$c = (s_2 - s_1) / \Delta t = \Delta s / \Delta t$$

2.1.1 Auswertung der Videoaufnahme

Die Videoaufnahme hat den Vorteil, daß sie sehr anschaulich die zeitliche Versetzung der Nachrichtensendung auf ORF2 und 3sat zeigt. Eine genaue Zeitmessung ist jedoch schwierig.

2.1.1.1 Stoppuhr

Mit der Stoppuhr lassen sich keine genauen Werte erzielen, weil die Reaktionszeit in der Größenordnung des zu messenden Zeitintervalls liegt.

2.1.1.2 Einzelbildfortschaltung

Die Aufnahme konnte mit einem Videorecorder mit Einzelbildfortschaltung (Jog-Shuttle) wesentlich besser ausgewertet werden. Wir zählten 8 ± 1 Einzelbilder als Zeitversetzung. Das ergibt bei 25 Bildern pro Sekunde ca. 1/3 Sekunde Laufzeitunterschied.

2.1.2 Auswertung des Tonbandes

2.1.2.1 Speicheroszilloskop oder diBox mit Physikcomputer

Wir werteten das Tonband zuerst mit Hilfe eines Zweikanal-Speicheroszilloskopes aus. Diese Methode erwies sich als wesentlich genauer. Bei der Tonbandaufnahme ist der Meßfehler in der Größenordnung einer Hundertstelsekunde. Es erwies sich als ganz wichtig, das Aufnahme- bzw. Abspielgerät bezüglich der Bandgeschwindigkeit zu vergleichen oder für Aufnahme und Wiedergabe dasselbe Gerät zu verwenden.

Wir schlossen die Audioausgänge des Kassettenrecorders an die zwei Kanäle des Oszilloskops. Wir suchten eine passende Stelle, wo die Versetzung deutlich zu erkennen ist. Unser Ergebnis: $\Delta t = 0,28 \pm 0,02$ s

2.1.2.1 Soundkarte eines PC

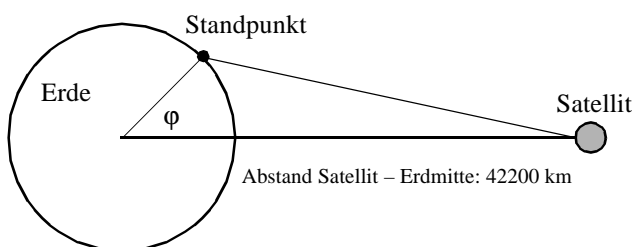
Die Auswertung mit Hilfe einer Soundkarte und der geeigneten Software stellte sich als sehr bequem und einfach heraus. Der erste Schritt war die Erstellung einer WAV-Datei aus der Tonbandaufnahme. Es genügt ein Ausschnitt von wenigen Sekunden. Mit Hilfe des Sharewareprogramms COOL.exe war dann die Messung der Zeitversetzung eine Sache von wenigen Minuten. Die Messungen mit dem Speicheroszilloskop und der Soundkarte stimmen gut überein.

2.2 Die Bestimmung der Signalwege

Die Länge der Strecke zwischen dem ORF-Zentrum in Wien und dem Fernseher zu Hause konnte mit Hilfe von technischen Informationen des ORF und über Landkarten ermittelt werden.

Der Weg von 3sat war etwas schwieriger zu ermitteln. Die Übertragung beginnt terrestrisch (über Kabel) in Wien und verläuft nach Salzburg (250 km), von dort über den Gaisberg-sender nach München (125 km), dann weiter über eine ZDF-interne Leitung nach Mainz (330 km), von wo das Programm zum Satelliten abgestrahlt wird (38600 km). Der Satellit sendet das Signal schließlich zu den Empfängern (38600 km). Der Streckenunterschied Δs ist ziemlich genau 78000 km.

Skizze: (nicht maßstabgetreu!)



φ ... geographische Breite

3 Die Berechnung der Lichtgeschwindigkeit

Hier wird einfach die Definitionsgleichung der Geschwindigkeit benutzt:

$$c = \Delta s / \Delta t$$

c ist die Lichtgeschwindigkeit, Δs entspricht dem Unterschied der Signalwege und Δt der Zeitversetzung.

Der Unterschied der Signalwege entspricht ziemlich genau 78000 km (davon ca. 580 km über Kabel).

$$c = 78000 \text{ km} / 0,28 \text{ s} \approx 280000 \text{ km/s}$$

4 Fehlerabschätzung

Die Fehler können eine Reihe von Ursachen haben:

- Ableseungenauigkeit auf dem Speicheroszilloskopschirm
- Gleichlaufschwankungen des Tonbandes
- Rauschsignale, die den Beginn der Tonsignale "verschmieren"
- Zeitverzögerung in Kabeln und durch eine unbekannte Zahl von Verstärkern und Umsetzern
- Ungenauigkeit in der Bestimmung des Satellitenabstandes (Näherungsverfahren bei der Berücksichtigung der geographischen Breite des Beobachtungsortes und der Position des Satelliten)
- Näherung bei der Bestimmung der Länge der Kabelwege (Luftlinie), etc.

Wir waren ob dieser langen Liste von Fehlerquellen zufrieden, daß unser Meßwert weniger als 10% von 300000 km/s abweicht.

5 Urheberrechte – Danksagung

Alle Urheberrechte, die das verwendete Bild- und Tonmaterial betreffen, liegen beim ORF. Wir danken dem ORF für die Zusage, das Material für Unterrichtszwecke einsetzen zu dürfen.

6 Bereitstellung des Projektmaterials für Schulen

- 1 Videokassette (Videoaufnahmen für dieses Projekt)
- 1 Audiokassette (Tonaufzeichnungen für dieses Projekt)
- 1 3,25" HD-Diskette (WAV-Datei, Sharewareversion von "COOL", Speicheroszilloskopaufnahmen)

Die Speicheroszilloskopaufnahmen auf der Diskette sind im pcx-Format. Mit Hilfe von Winword können Ausdrucke des Oszilloskopbildes und somit Vorlagen für Overheadfolien erstellt werden.

Die Videokassette, die Audiokassette und die HD-Diskette können als "Paket" vom Autor gegen einen Kostensatz von insgesamt S 250,- abgegeben werden. Bei Versand kommen S 39,- Versandkosten dazu.

Folgende Schüler haben bei diesem Projekt mitgearbeitet:
Roland Barth, Peter Fierlinger, Alexander Heist,
Michael Lindner, Robert Perfler

Literatur

Wolfram Becher-Brobeder, Jürgen Kirstein, Rudolf Rass:
c-Messung mit dem "Tagesschau-Echo", PLUS LUCIS 3/94