

Meteoroid von Tscheljabinsk: Bahnberechnung im Unterricht

In Bezug auf „Aktuelles am Himmel: Das Sonnensystem / Meteore: Mai-Aquariden“ in der Zeitschrift »Sterne und Weltraum« 5/2015. (Die Mai-Aquariden (19. 4 - 18. 5., Maximum am 5. 5.) sind ein Meteorstrom mit einer stündlichen Rate von bis zu 60.)

Gerrit Fischer

Im Februar 2013 durchquerte ein ca. 12 m großer Asteroid die Atmosphäre und zerbrach über der russischen Millionenstadt Tscheljabinsk in mehrere Fragmente. Die Großstadt entging dabei nur knapp einer Katastrophe, und Videoaufnahmen des Feuerballs sind bis heute ein Renner auf Videoportalen wie YouTube.

In diesem WIS-Beitrag soll es darum gehen, die Flugbahn des Meteoroiden mit einfachsten Mitteln im NwT- oder Astronomie-Unterricht zu rekonstruieren. Dazu wird der im Licht des Meteors erzeugte Schattenwurf von Straßenlaternen in einem Video ausgewertet. Mit Hilfe von trigonometrischen Funktionen werden drei Sichtlinien bestimmt. Das in diesem Beitrag verwendete Video stammt von einer Überwachungskamera am Platz der Revolution in Tscheljabinsk und ist in der unteren Abbildung zu sehen. Durch Messen und Schätzen der Entfernungen im Video mit Hilfe von ‚Google Earth‘ und ‚Google StreetView‘ ist es anschließend möglich, mit einfachsten trigonometrischen Beziehungen drei Sichtlinien zum Meteoroiden zu bestimmen.

Die so erhaltenen Sichtlinien werden in ‚Google Earth‘ übertragen und mit Hilfe weiterer Informationen (Endpunkt der Bahn und Geschwindigkeit des Meteoroiden) erhält man eine erste Abschätzung der Flugbahn. Durch Messen in ‚Google Earth‘ können die charakterisierenden Parameter (d.h. Azimut und Höhenwinkel der Bahn) bestimmt werden.

Abschließend besteht noch die Möglichkeit, die von den Schülern ermittelten Werte mit denen der wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu vergleichen und mögliche Abweichungen zu diskutieren.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Kleinkörper	Flugbahn von Meteoroiden
Fächerverknüpfungen	Astro-Geo, Astro-Ma, Astro-Informatik	Trigonometrie, Auswerten von Videodateien, Umgang mit Software
Lehre allgemein	Kompetenzen	Wissenschaftliches Arbeiten mit modernen Medien

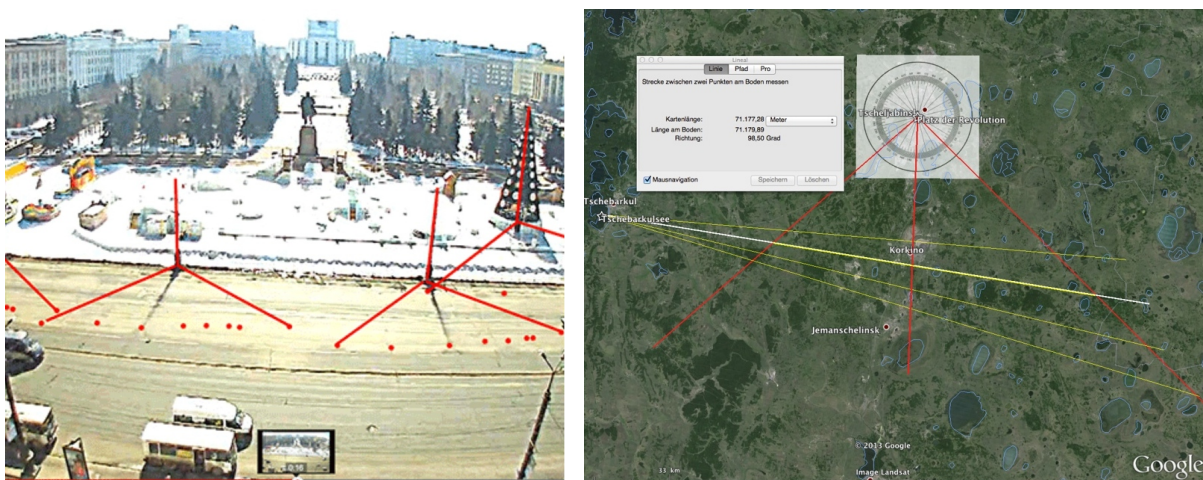


Abbildung 1: Zur Berechnung der Flugbahn. Links: Ausschnitt aus Videoaufnahme des Meteors mit eingezeichnetem Schattenverlauf von Straßenlaternen. Rechts: Durch Abschätzen der Längen im Video und mit trigonometrischen Funktionen erhält man drei Sichtlinien. Folgende Linien sind zu sehen: Eingezeichnete Sichtlinien in Google Earth (rot), geschätzte Flugbahnen (gelb), Endergebnis für die Flugbahn (weiß). (Quellen: links: Dimitry Pashnin, YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=bXifSi2K278>, rechts: Google Inc. & eigenen Arbeit).

Abschätzen der Längen aus dem Video

Das Video, welches hier verwendet werden soll, zeigt den Meteor nicht direkt, sondern den von ihm geworfenen Schatten, der aber trotzdem genügend Rückschlüsse auf die Position des Meteors gibt. Der Aufnahmeort ist, wie bereits erwähnt, der Platz der Revolution im Zentrum von Tscheljabinsk. Die Straße im Vordergrund liegt bis auf 2° Abweichung genau in Ost-West Richtung.

Um Informationen über die Längen im Video zu erhalten, benutzen wir die Abstandsfunktion in ‚Google Earth‘ und messen wichtige Werte direkt (siehe Abb. 2). Für den Abstand zwischen den Straßenlaternen ergeben sich so ungefähr 27 m für die schwarze und rote Linie und 32 m für die pinkfarbene Linie. Als Distanz zwischen der Linie der Straßenlaternen und dem Rand der vierten Fahrspur ergeben sich ungefähr 19 m (blaue Linie).

Um die Höhe der Straßenlaterne zu schätzen, nutzen wir ein ‚StreetView‘-Bild. Bei Annahme von 3 m für die Höhe des Busses ergibt sich so eine ungefähre Höhe von 12 m für die Straßenlaternen.

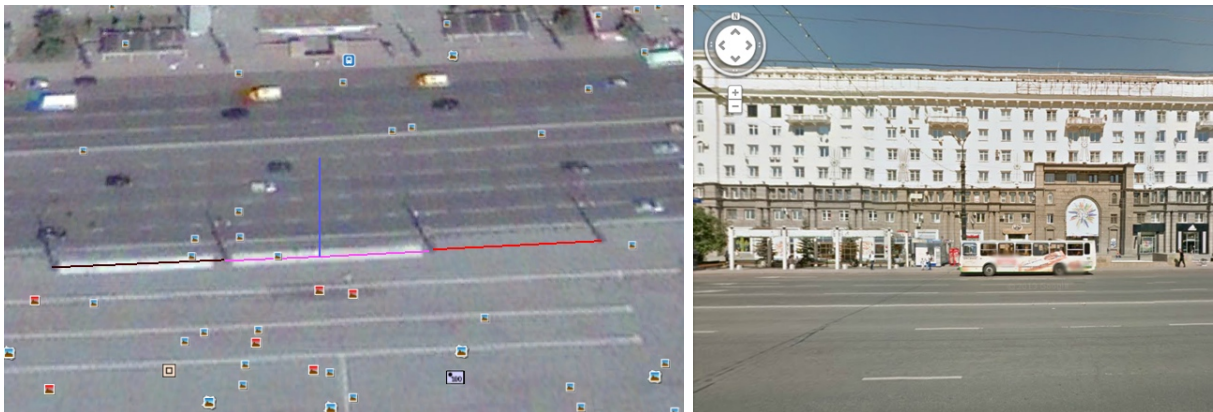


Abbildung 2: Schätzen der Längen. Links: Eingezeichnete Längen in ein Google Earth (Quelle: Google Inc.) Rechts: Schätzen der Straßenlaternenhöhe mit einem Streetview Bild. (Quelle: Google Inc.)

Nach Übertrag der maximalen Schatten, der Längen und noch einigen Abschätzungen ergibt sich beispielsweise das folgende Bild (Abb. 3).

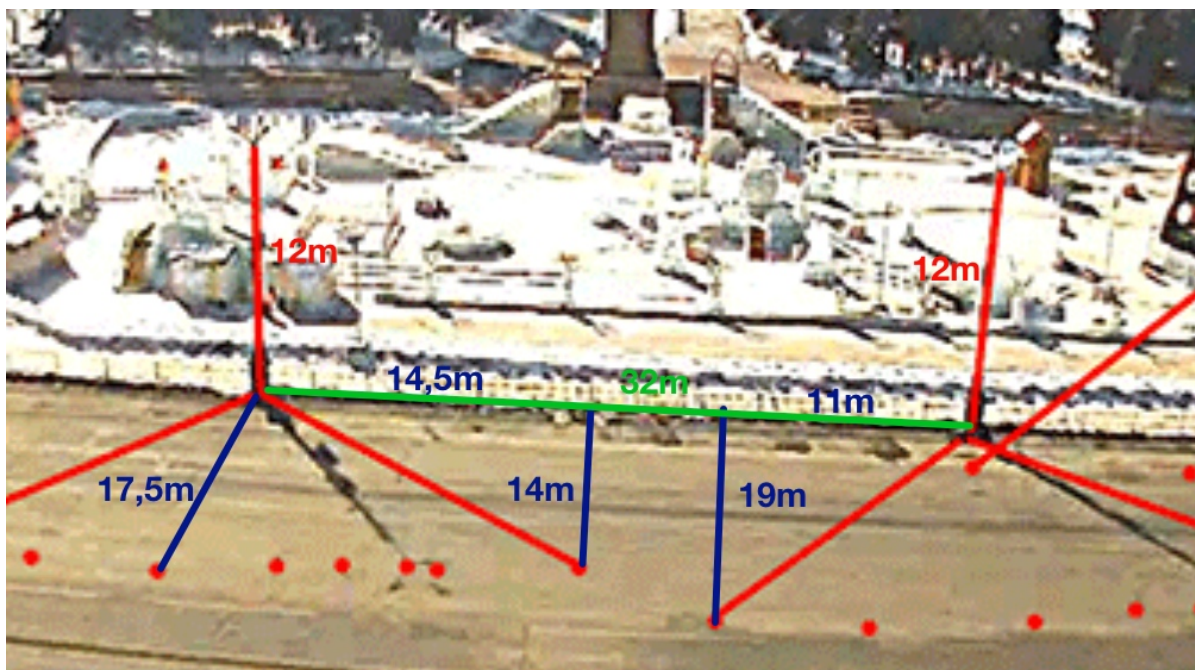


Abbildung 3: Die bisher gemachten Abschätzungen werden in das Videobild übertragen. Fehlende Längen werden geschätzt.

Bestimmung der Sichtlinien

Aufgabe ist jetzt die 3 Sichtlinien zu den 3 Ereignissen

- Erscheinen der Schatten
- Verschwinden der Schatten
- Schatten orthogonal zur Straße

zu berechnen. Dafür brauchen wir jeweils Höhenwinkel und Azimut. Der Höhenwinkel ergibt sich jeweils aus der Tangensbeziehung zwischen Laternenhöhe und Schattenlänge. Der Azimut ist mit der Information, dass der Park bis auf 2° Abweichung in Richtung Süden liegt, leicht berechnet.

Beispielrechnung für 1. Sichtlinien: (Werte aus Abbildung 3)

$$\text{Azimut: } \tan^{-1} \frac{14}{14,5} = 44^\circ \Rightarrow 90^\circ - 44^\circ = 46^\circ$$

(-2°, da Park nicht genau in Richtung Süden liegt)

$$\text{Höhenwinkel: } \tan^{-1} \frac{12}{\sqrt{14,5^2 + 14^2}} = 31^\circ$$

Für die 3 Ereignisse ergeben sich mit den Werten aus Abbildung 3 die folgenden Informationen.

Messpunkt	Azimut (S=0°)	Höhenwinkel	Timeline des Videos
1	44°	31°	9:20:28,7
2	358°	34°	9:20:32,2
3	318°	29°	9:20:33,4

Tabelle 1: Azimut und Höhenwinkel der 3 Sichtlinien mit Zeitstempel im Video.

Einzeichnen der Sichtlinien in Google Earth

Die drei Sichtlinien können jetzt in einem ersten Schritt als auf den Boden projizierte Geraden in Google Earth eingezeichnet werden, welche die ebenfalls auf den Boden projizierte Bahn des Meteors schneiden müssen. Natürlich reicht dies noch nicht für eine eindeutige Bestimmung der Bahn, da noch unendlich viele Möglichkeiten in Frage kommen. Mit wenigen weiteren Informationen kann das Bild aber vervollständigt werden. Die erste Information ist der Endpunkt der Meteorbahn, der nach den ersten Einschätzungen im Tschebarkulsee lag. Damit kennen wir den Ort, an dem unsere Bahn enden muss. Ein zweiter wichtiger Hinweis ist die erste Einschätzung der Geschwindigkeit. Für diese Berechnung wird ein Mittelwert von ca. 17 km/s angenommen, der einer aktuellen Veröffentlichung entnommen wurde.

Diese Geschwindigkeit können wir jetzt benutzen um die Strecke zu berechnen, welche der Meteor zwischen dem ersten und dritten Datenpunkt zurückgelegt haben muss. Aus der Zeitdifferenz von 4,7 s und der Geschwindigkeit von 17 km/s ergibt sich so eine Strecke von ca. 80 km, die zwischen dem ersten und dem dritten Schnittpunkt liegen muss. Zudem muss die Verlängerung dieser 80 km Strecke ihren Endpunkt im Tschebarkulsee haben. Durch Hinzufügen einiger Strecken in Google Earth, die alle ihren Endpunkt im Tschebarkulsee haben findet man durch probieren schnell die Strecke, bei der diese Bedingungen erfüllt sind.

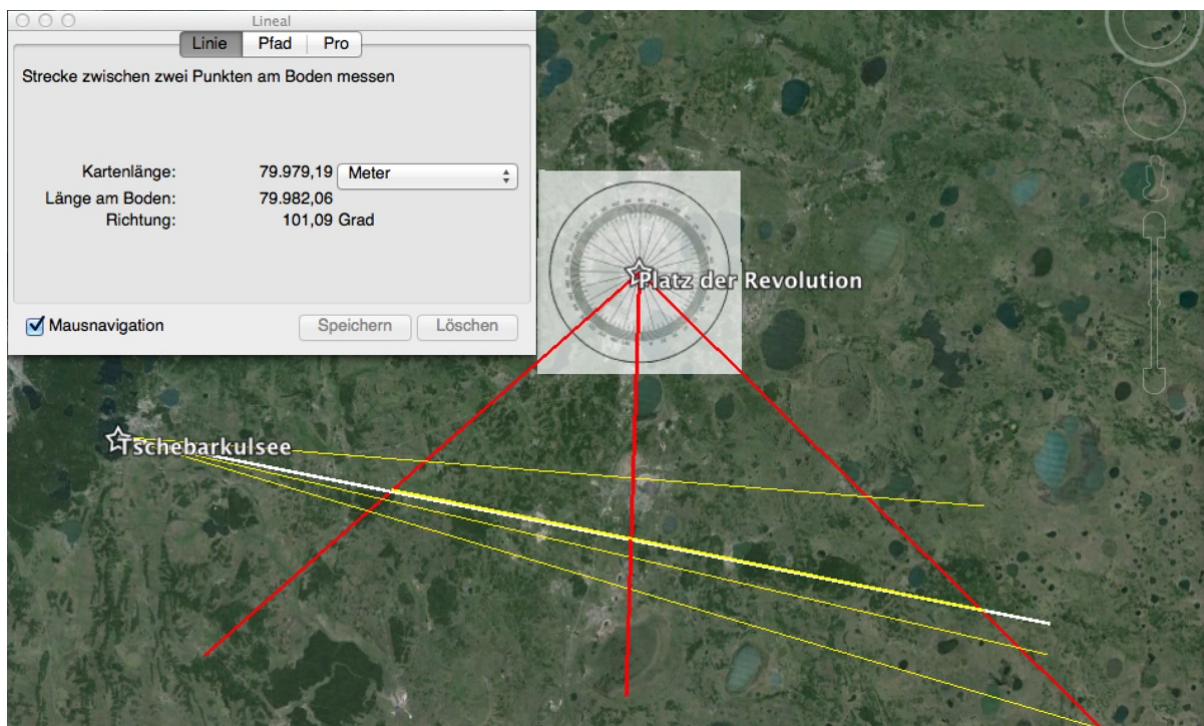


Abbildung 4: Mit Hilfe eines eingefügten Winkelmessers werden die drei Sichtlinien in Google Earth hinzugefügt (rot). Die weiße Linie entspricht ungefähr der 80 km Strecke. Der Azimut dieser Linie beträgt ca. 101°. (Quelle: Google Inc.)

Bestimmung von Azimut und Höhenwinkel des Meteors

Abschließend kann man den Höhenwinkel und den Azimut der Meteorbahn in dem Programm berechnen. Für den Azimut erhält man wie in Abb. 4 zu sehen 101° . Um den Höhenwinkel zu erhalten, misst man die Strecke vom Platz der Revolution zu den jeweiligen Schnittpunkten mit der Meteorbahn. Mit dieser Länge und dem vorher berechneten Höhenwinkel der Sichtlinie erhält man die Höhe des Meteors jeweils an den drei Schnittpunkten. Zusammen mit dem Abstand der Schnittpunkte zum See erhält man drei Höhenwinkel.

Beispielrechnung zur Bestimmung des Höhenwinkels für die erste Sichtlinie.

$$\text{Höhe: } \tan 31^\circ \cdot 63 \text{ km} = 38 \text{ km}$$

$$\text{Höhenwinkel: } \tan^{-1} \frac{38}{117} = 18^\circ$$

Der finale Höhenwinkel ergibt sich dann aus dem Mittelwert. Ein Beispiel für Messwerte ist in der folgenden Tabelle zu sehen.

Schnittpunkt	Höhe	Entfernung See	Entfernung Platz	Höhenwinkel
1	38 km	117 km	63 km	18°
2	23,6 km	69 km	35 km	$18,9^\circ$
3	24 km	37 km	43 km	33°

Tabelle 2: Berechnung des Höhenwinkels des Meteors

Aus diesen Werten erhält man einen Mittelwert von ca. 23° für den Höhenwinkel. Nimmt man nur die ersten beiden Werte, erhält man einen Wert von $18,2^\circ$ was gut mit den ganzen Berechnungen der Astronomen übereinstimmt. (Werte aus verschiedenen Veröffentlichungen liegen bei 17° - 19° für den Höhenwinkel und 98° - 102° für den Azimut).

Insgesamt kann man sagen, dass man hier mit recht einfachen und vor allem für Schüler gut nachvollziehbaren Methoden ein brauchbares Ergebnis erhält.

Anhang:

- Vorschlag für Arbeitsblätter für die Schüler
- Videodatei
- Ausgewählte Bilder