

## Streufeldbestimmung am Beispiel des Geislingen-Meteors

Was ist nötig um aus der reinen Beobachtung eines Meteors seinen voraussichtlichen Aufschlagsort zu bestimmen?

Beobachtet man ein Objekt am Himmel, so kann man nur die Richtung bestimmen, nicht aber die Entfernung. Um die reale Position im Raum zu berechnen, benötigt man die Beobachtungsdaten von (mindestens) zwei verschiedenen Standorten. Das gesuchte Objekt liegt dann im Schnittpunkt der beiden Sichtlinien.

Damit hat man aber zunächst nur die momentane *Position* eines Objektes ermittelt, nicht die Richtung in die es sich bewegt. Für die Bestimmung einer *Flugrichtung* (z.B. Meteor) benötigt man mindestens zwei Bahnpunkte (also eine Spur am Himmel) um den Flugvektor errechnen zu können.

Als Eingangsdaten für diese „Kreuzpeilung“ benötigt man die Himmelskoordinaten (Azimut und Höhe) der beobachteten Ereignisse. Diese erhält man durch Vergleich mit den Koordinaten der auf der Aufnahme abgebildeten bekannten Sterne.

Hat man den Flugvektor aus der sichtbaren Spur bestimmt, so kann man die weitere Flugbahn während des Dunkelfluges durch Iteration der Newton'schen Bewegungsgleichung simulieren.

Zunächst benötigen wir also zwei passable Aufnahmen.

Im Fall des Geislingen Meteors sind diese vorhanden:



Standort Fornach (AUT), Foto Hermann Koberger (Ausschnitt)



Standort Gais (CH), Foto Marc Vornhusen  
(Die schwarze Linie in der Spur ist selbstverständlich nachträglich eingezeichnet)

Nun müssen auf den Aufnahmen die sichtbaren Sterne identifiziert werden. Dann kann man die Himmelskoordinaten der Meteorspur durch Vergleich mit den Sternenpositionen bestimmen.

### Identifizierung der Sterne

Auf dem Gais-Bild sieht es auf den ersten Blick so aus, als wären dort Sterne vorhanden. Dies ist leider nicht der Fall. Die Punkte sind Pixelfehler der Kamera.

Keine Sterne? Was nun? Kein unlösbares Problem, wenn man eine fest ausgerichtete Kamera hat. Denn tatsächlich kann man dann die nötige Information auch aus Bildern gewinnen, die zu einem anderen Zeitpunkt (Nachts) gemacht wurden, obwohl der Meteor dort überhaupt noch nicht oder nicht mehr zu sehen ist. (Wie dies vonstatten geht, darüber gleich mehr)

Auf einer Nachtaufnahme (s.u.) hat man nun zwar Sterne, aber leider auch immer noch die gleichen Pixelfehler. Wie unterscheidet man beides voneinander?

Hat man nur *ein* Bild zu Verfügung, wird das schwer. Hat man aber zwei Bilder, die in einem kurzen Abstand aufgenommen wurden, kann man beide vergleichen. Die Pixelfehler sind ja bei beiden Aufnahmen an der gleichen Stelle, die Sterne hingegen haben sich ein Stück weiter bewegt.



Eine einfache und trickreiche Methode ist es, die Windows-Bildanzeige als „Blink-Komparator“ zu verwenden, indem man mit den Pfeiltasten zwischen beiden Bildern hin und her wechselt. Man kann so sehr gut sehen, welche Punkte sich dabei verändern und welche nicht.

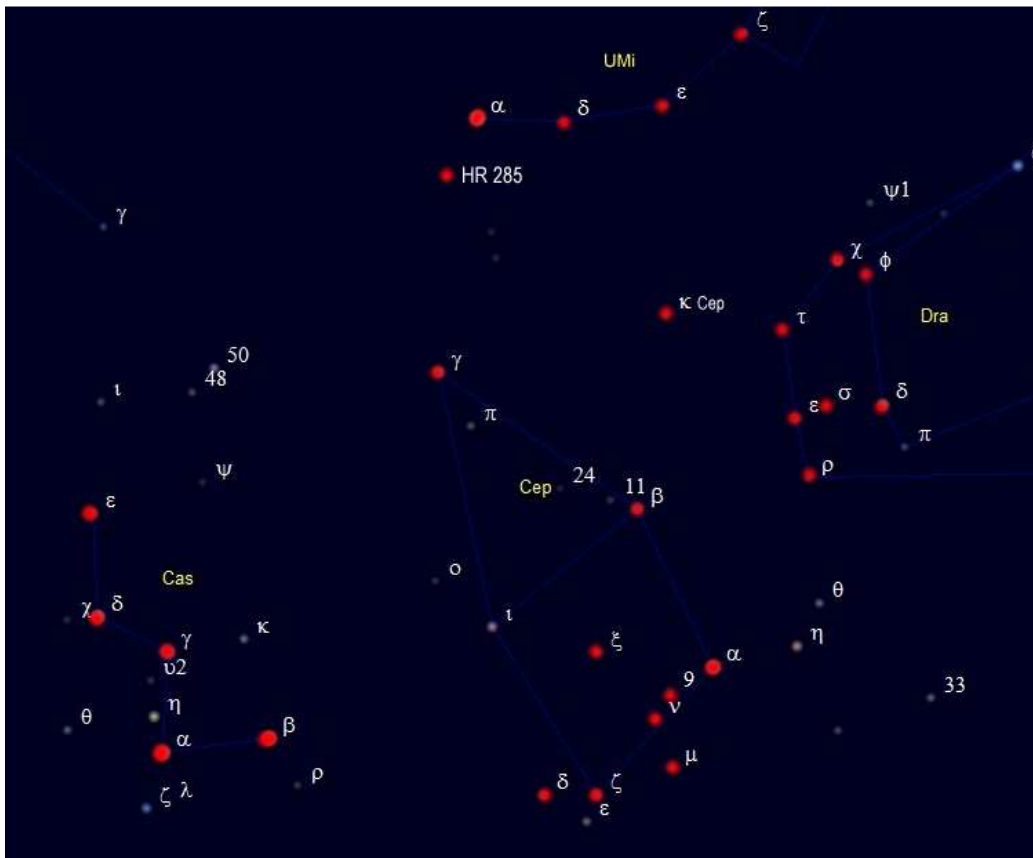
Eine etwas professionellere Methode ist es, die beiden Aufnahme mit einem Bildbearbeitungsprogramm voneinander zu „subtrahieren“:



Hier ist nun alles verschwunden, was auf beiden Aufnahmen gleich ist. Der Hintergrund und die Pixelfehler. Übrig geblieben sind nur die Sterne. Ein geübtes Auge erkennt nun sofort Kassiopeia, Kepheus, Perseus und den Fuhrmann.

Nun kommt es darauf an, genügend Sterne auf den Fotos zu identifizieren. Man kann dazu natürlich einen gedruckten Katalog verwenden, aber komfortabler ist ein Online-Katalog oder ein astronomisches Programm.

Auf diesem Screenshot-Ausschnitt des Astronomie-Programms „SkyChart“ wurden alle Sterne, zu denen eine Entsprechung auf den Aufnahmen gefunden wurde, rot markiert. Somit hat man auch gleich die entsprechende Sternbezeichnung.



Bevor man sich die Mühe macht, die Koordinaten aller identifizierten Sterne per Hand rauszusuchen, sollte man nachforschen, ob dies nicht einfacher geht. In den meisten Programmen kann man sich eine Objektliste des Himmelsausschnittes mit den Koordinaten anzeigen lassen und diese abspeichern.

Information						
Objektliste: Es sind 228 Objekte in diesem Feld						
Katalog	RA	DEC	Typ	Bezeichnung	Hell.	
Star	22h11m12.88s	+58°15'32.5"	*	Zet Cep	mV: 3.39	H
Star	22h31m44.11s	+50°20'33.7"	*	Alp Lac	mV: 3.76	H
Star	22h29m33.65s	+58°28'31.7"	*	Del Cep	mV: 4.07	H
Star	22h15m25.39s	+57°06'07.4"	*	Eps Cep	mV: 4.18	H
Star	22h23m58.82s	+52°17'15.8"	*	Bet Lac	mV: 4.42	H
Star	23h54m56.06s	+57°33'57.2"	*	Rho Cas	mV: 4.51	H
Star	22h37m48.93s	+51°36'20.6"	*	9 Lac	mV: 4.64	H
Star	23h04m40.34s	+50°06'57.9"	*	3 And	mV: 4.64	H
Star	23h07m04.00s	+59°29'02.2"	*	1 Cas	mV: 4.84	H
Star	23h47m35.64s	+58°43'06.8"	*	Tau Cas	mV: 4.88	H
Star	23h59m34.19s	+55°49'17.0"	*	Sig Cas	mV: 4.88	H

Nun muss man jeder Sternkoordinate die entsprechende Pixelkoordinate des Bildes zuordnen. Das alles klingt nach viel Arbeit und das ist es auch, aber es lohnt sich. Zudem muss diese Prozedur für eine fest ausgerichtete Observationskamera nur ein einziges Mal nach der Installation durchgeführt werden, wie weiter unten noch näher erläutert wird.

## Bestimmen der Plattenkonstanten

Bei einer fotografischen Aufnahme wird der dreidimensionale Himmel ja auf einen zweidimensionalen Film stereographisch abgebildet und zudem noch durch die Linse mehr oder weniger verzerrt. Die realen Himmelskoordinaten werden auf (in der Regel unbekannte Weise) in Bildkoordinaten transformiert. Diese Transformation ist natürlich für jede Kamera unterschiedlich und abhängig von Linsenverzerrungen, Standort und Ausrichtung.

Unter Plattenkonstanten versteht man nun, vereinfacht ausgedrückt, die Parameter nach denen sich diese feste Beziehung von Bildpunkten zu realen Positionen am Himmel berechnen lässt. Kennt man diese, so kann man von einem beliebigen Bildpunkt auf die reale Position zurückrechnen. Die Plattenkonstanten lassen sich ermitteln, indem man Sternkoordinaten an die Bildpunkte einer Referenzaufnahme anfügt, auf der diese Sterne identifiziert sind.

Man kann die Bildpunkte wahlweise mit Himmelpunkten im äquatorialen oder horizontalen Koordinatensystem verknüpfen. Die Verwendung von äquatorialen Koordinaten macht jedoch nur für eine nachgeführte Kamera Sinn, da die resultierende Zuordnung bei einer fest ausgerichteten Kamera zeitabhängig wäre und man dann die Plattenkonstanten für jedes Bild neu bestimmen müsste. Wenn man eine Aufnahme hernimmt, die zu einer anderen Zeit gemacht wurde, dann haben dieselben Sterne ja andere Positionen auf dem Foto und somit andere Plattenkonstanten. Für fest ausgerichtete Kameras ist also nur das Horizontalsystem sinnvoll.

Man muss dann die Bestimmung der Plattenkonstanten nur ein einziges Mal ausführen und hat danach für diese Kamera und ihre Ausrichtung eine feste, konstante Zuordnung von Bildpunkten zu Himmelpunkten bestimmt.

Die Kameraausrichtung muss allerdings für alle Bilder exakt die gleiche sein. Schon bei leichten Verschiebungen zwischen den Aufnahmen muss ein neuer Fit durchgeführt werden.

Die äquatorialen Koordinaten der identifizierten Sterne müssen nun also zunächst in horizontale transformiert werden. Dazu ist es unbedingt nötig die genaue Zeit der Aufnahme zu kennen. Dann ermittelt man durch Vergleich mit den Pixeldaten die Plattenkonstanten.

Hat man diese einmal ermittelt, so kann man zu jedem Bildpunkt (x, y) der Aufnahme seine realen Himmelskoordinaten (az, alt) errechnen:

```
# Fitorder=2          x          y          az (S)          alt
#                   o ' "          o ' "
...
FornachAnfang       +234.0 +365.0   97 00 37   10 57 43
FornachEnde         +320.0 +463.0  102 52 56    4 49 14
#
# 78 Fitobjects                               MeanDev=  2.4'
```

Hier wurden Anfang und Ende der sichtbaren Bahn gewählt.

Wie man an der Standardabweichung rechts unten sieht (MeanDev = 2.4'), liefert der Fit für Fornach ein gutes Ergebnis.

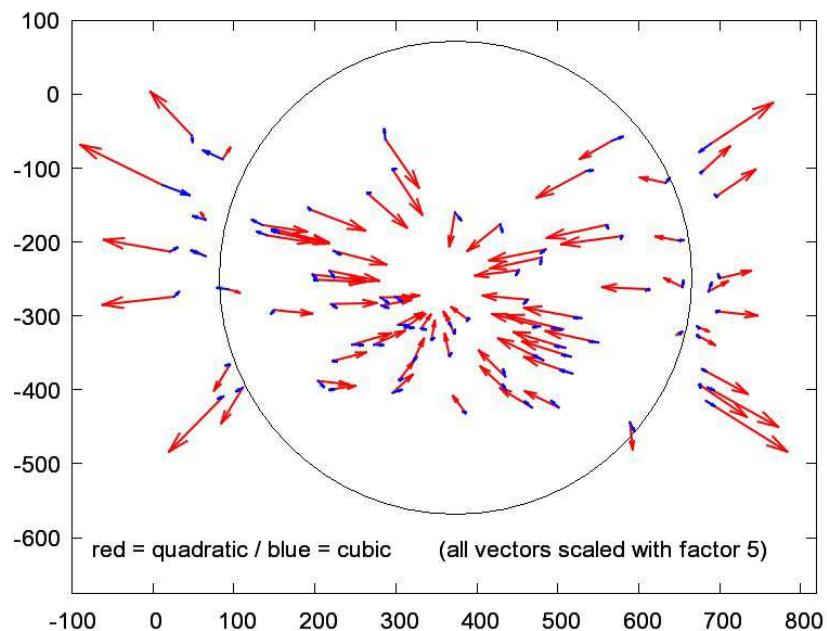
Für die Kamera am Standort Gais ist das, mit den gleichen Einstellungen leider nicht der Fall:

```
# 85 Fitobjects                               MeanDev= 73.4'
```

Trotz 85 Referenzsternen nur ein vergleichsweise mäßiges Ergebnis.

Dies liegt am starken Weitwinkelobjektiv der Kamera. Für diese reicht selbst ein quadratischer Fit nicht mehr aus, da sie dafür zu stark verzerrt. Man muss hier also in höherer Ordnung arbeiten. Theoretisch ist da zwar nach oben keine Grenze gesetzt, praktisch aber sehr wohl, da die Anzahl der benötigten Sterne mit der Anzahl der Fitparameter wächst. Grundsätzlich sollte man die Ordnung aber nur so hoch wählen, wie nötig. Die Anzahl der Datenpunkte sollte sinnvollerweise mindestens doppelt so hoch sein, wie die Anzahl der Fitparameter. Die Resultate wären ansonsten nicht mehr aussagekräftig. Man sollte sich allerdings auch davor hüten zu viele lichtschwächere Sterne mit in den Fit zu packen. Dann gibt es nämlich u.U. falsche Zuordnungen, weil ein auf dem Foto gar nicht sichtbarer Stern als bester Kandidat gefunden wird, statt des korrekten helleren, aber etwas weiter entfernten.

Wenn man die Abweichungen zweidimensional graphisch darstellt, sieht man sehr gut, dass hier ein Fit 2. Ordnung (rot) nicht mehr ausreichte und die 3. Ordnung (blau) nötig war.



Für diesen sind dann die Abweichungen aber sehr akzeptabel:

```
# 85 Fitobjects                               MeanDev= 6.0'
```

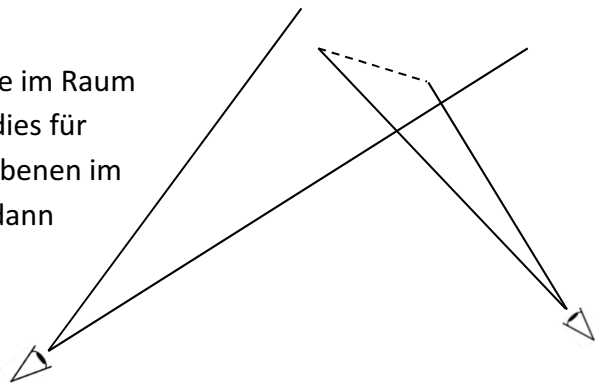
## Triangulation

Hat man nun die exakten Himmelskoordinaten von mindestens zwei Beobachtungspunkten aus bestimmt, so kann man daran gehen daraus die realen Raumkoordinaten zu berechnen. Mit einer normalen Kreuzpeilung (Schnittpunkt zweier Sichtlinien) kann man allerdings nur die momentane *Position* eines Objektes bestimmen, nicht die Richtung in die es sich bewegt.

Für die Bestimmung einer *Flugrichtung* (z.B. Meteor) benötigt man mindestens zwei Bahnpunkte. Man steht also vor dem Problem, zu mindestens zwei Punkten in der Lichtspur des ersten Beobachtungsortes die jeweiligen Gegenstücke in der Spur des anderen Ortes eindeutig identifizieren zu müssen. Hat man klar definierte Punkte der Bahn (z.B. Fragmentationen), die man von beiden Orten aus beobachten konnte, so kann man für diese Bahnpunkte Triangulationen durchführen und dann daraus einen Bahnvektor bestimmen. Oft wird dies aber nicht möglich sein. Das Ende oder der Anfang der sichtbaren Spur sind z.B. als eindeutige Punkte sehr unzuverlässig, da die Helligkeit (und damit die Sichtbarkeit) an beiden Beobachtungsorten durchaus deutlich unterschiedlich sein kann.

Man kann allerdings die Flugrichtung auch durch eine alternative Triangulationsmethode bestimmen, mit jeweils zwei *beliebigen* Punkten auf der sichtbaren Spur, ohne dass diese miteinander korreliert sein müssen.

Zwei Punkte auf der Spur legen nämlich die Ebene im Raum fest, in der sich die Flugbahn befinden muss. Da dies für beide Beobachtungsorte gilt, hat man nun zwei Ebenen im Raum, die sich in einer Linie schneiden. Diese ist dann zwangsläufig ein Teilstück der Flugbahn.



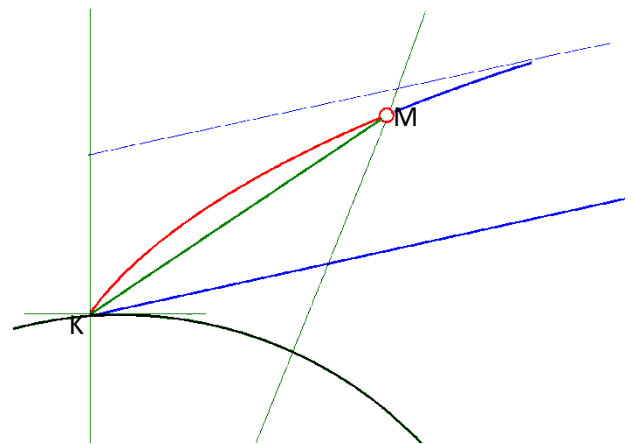
Beachten muss man hier allerdings noch die Art der Eingabedaten:

Bei Daten aus einer echten visuellen Beobachtung wurde durch die Lichtbrechung in der Atmosphäre (Refraktion) die Sichtlinie angehoben. (*Scheinbare Höhe*)

Sind die Daten jedoch (wie hier) Resultate aus Plattenkonstanten-Ausgleichsrechnung, so wurde die Refraktion implizit mitberücksichtigt. Der Fit beinhaltet also *jegliche* Verzerrung der Koordinaten, unabhängig von was sie herrühren. Das Programm transformiert die Bildkoordinaten auf reale Koordinaten, wie sie sich ohne Atmosphäre ergeben würden. (*Wahre Höhe*).

Leider kommt bei einem nahen Objekt (Meteor) aber ein anderes Problem hinzu:

Das Licht eines nahen Objektes (M) wird durch Refraktion in der Atmosphäre abgelenkt und läuft somit entlang der roten Linie in die Kamera (K). Der Plattenkonstantenfit orientiert sich nun aber an unendlich weit entfernten Sternen. Somit wird bei der Umkehrung von Punkt K aus fälschlicherweise über Punkt M hinaus in die Unendlichkeit zurückgerechnet. Man erhält somit den Höhenwinkel der blauen Geraden. Die reale Verbindungslinie zum Objekt ist aber die Grüne.



(Vielen Dank an Rob Lenssen, der mich darauf gestoßen hat.)

Der Effekt ist hier natürlich überzeichnet dargestellt, aber durchaus messbar und wurde über ein iteratives Raytraceverfahren herausgerechnet.

Mit den, aus den Aufnahmen gewonnenen Daten für Anfang und Ende der Spur erhält man folgendes:

```
Intersection of Viewlines from Gais with Viewplane from Fornach:  
Trajectory Point 1 h=80.1341 km lon=8.966409 lat=48.273604  
Trajectory Point 2 h=29.9789 km lon=9.713454 lat=48.553424  
Distance between these points: 81.224 km  
azimuth of flight vector: 240.8428  
inclin. of flight vector: 37.9411
```

```
Intersection of Viewlines from Fornach with Viewplane from Gais:  
Trajectory Point 1 h=72.3034 km lon=9.081126 lat=48.317089  
Trajectory Point 2 h=31.0449 km lon=9.697268 lat=48.547444  
Distance between these points: 66.872 km  
azimuth of flight vector: 240.8307  
inclin. of flight vector: 37.9533
```

Aus den 2 x 2 Sichtlinien wurden vier Bahnpunkte berechnet (Trajectory Point 1-4) und deren Lage im Raum ausgegeben.

Aus jeweils zwei Bahnpunkten (eines Blickwinkels) wurde dann ein Richtungsvektor ermittelt. Hier weichen beide Vektoren kaum voneinander ab, was die Güte der Messwerte zeigt. Sollten die Richtungsvektoren der zwei Rechnungen deutlich unterschiedlich sein, so sind die Eingabedaten unzureichend oder sogar falsch und müssen überprüft werden.

Man sieht, dass Bahnende und -anfang für beide Beobachtungsorte nicht identisch sind. Dies ist auch nicht verwunderlich, da die Helligkeit (und damit die Sichtbarkeit) an beiden Beobachtungsorten durchaus sehr unterschiedlich sein kann. Das Ende oder der Anfang der sichtbaren Spur sind als eindeutige Punkte unzuverlässig, was bei dieser Art der



Triangulation aber keine Rolle spielt, da hier die Punkte nicht miteinander korreliert sein müssen.

Dem ganzen Verfahren liegt natürlich die Vereinfachung zu Grunde, dass die Flugbahn im betrachteten Teilbereich nicht, oder nur leicht gekrümmt verläuft. Man darf die beiden Spurpunkte also nicht zu weit voneinander entfernt wählen, da sie sonst nicht mehr auf einem einigermaßen geraden Teilstück der Bahn liegen. Allerdings sollten sie auch nicht zu nahe beieinander liegen, sonst wird die Bestimmung des Richtungsvektors zu ungenau. Man sollte also ein ausreichend langes Bahnstück auswählen, welches sich aber noch im annähernd linearen Bereich befindet. Deshalb wurde zur Sicherheit eine erneute Berechnung durchgeführt, mit näher zusammenliegenden Punkten weiter am Bahnende, um den Startvektor für den Dunkelflug zu ermitteln. Dieser war dann für beide Sichtebenen nahezu identisch und ergab:

```
azimuth of flight vector: 240.948  
inclin. of flight vector: 38.196
```

am Ende der sichtbaren Bahn in einer Höhe von knapp 30 km

## Dunkelflugsimulation

Hat man den Flugvektor aus der sichtbaren Spur bestimmt, so kann man die weitere Flugbahn während des Dunkelfluges numerisch simulieren.

Man iteriert die Newton'schen Bewegungsgleichung in kleinen Zeitintervallen, indem man an jedem Punkt alle Kräfte bestimmt, die auf das Objekt wirken und daraus dann sukzessive Beschleunigung, Geschwindigkeit und Ort des nächsten Zeitpunktes bestimmt.

Das Schwierige dabei ist die korrekte Berechnung der Kräfte, die auf das Objekt wirken. Leider bereitet auch hier wieder die Atmosphäre Probleme. War es bei den optischen Bestimmungen die Lichtbrechung, so ist es hier der Luftwiderstand.

Luftdichte,  $c_w$ -Wert und Wind sind hier kritische Parameter.

**Luftdichte:** Der Verlauf der Luftdichte lässt sich recht gut über die barometrische Höhenformel aus der Bodentemperatur ermitteln

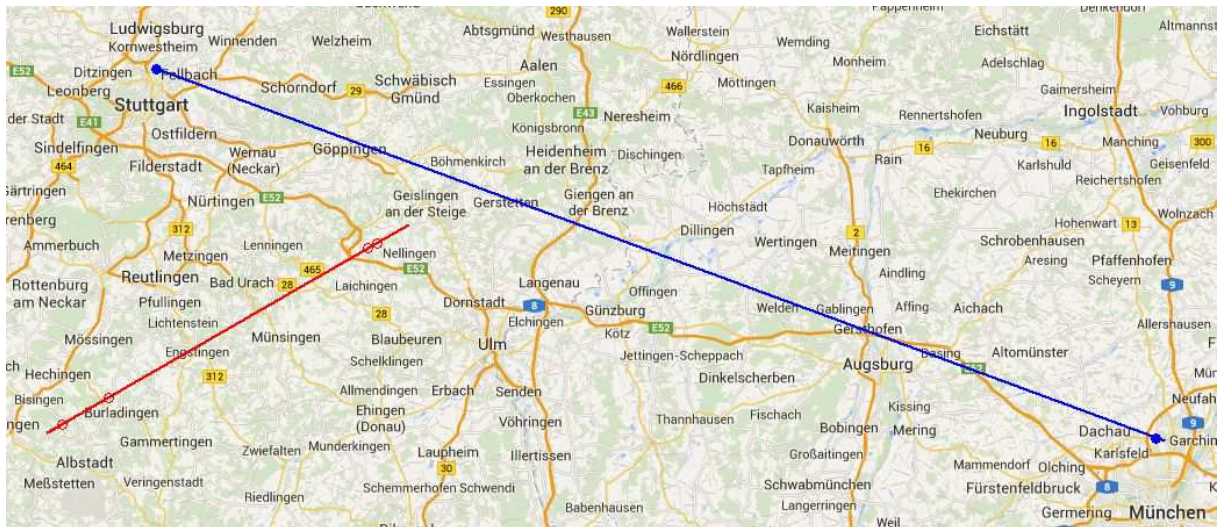
**$c_w$ -Wert:** Oft wird für Meteoroiden ein konstanter  $c_w$ -Wert von 0.7 angesetzt. Bei Geschwindigkeiten nahe und über der Schallgeschwindigkeit ist die Annahme nicht mehr gerechtfertigt. In der Nähe der Schallgeschwindigkeit steigt der  $c_w$ -Wert stark an und sinkt bei sehr hohen Machzahlen auf etwa den doppelten Unterschall-Wert. Dies wurde durch einen Verlauf berücksichtigt, der aus experimentellen Daten gewonnen wurde.

**Wind:** Optimal ist ein höhenabhängiges Windprofil aus Wetterdaten. Man kann sich solche Daten leicht aus den öffentlich zugänglichen Quellen besorgen. Eine gute Möglichkeit ist das

„Department of Atmospheric Science“ der Universität von Wyoming, wo Wetterdaten aus aller Welt gesammelt werden.

Die Wetterstationen führen die höhenabhängigen Messungen im Allgemeinen im Abstand von zwölf Stunden durch. Liegt das Ereignis (wie hier) zeitlich dazwischen, sollte man zwischen zwei Datensätzen zeitlich interpolieren. Zusätzlich wurde in diesem Fall auch noch zwischen den Stationen Stuttgart und München räumlich interpoliert.

Die Karte zeigt neben der Interpolationslinie zwischen den Wetterstationen (blau) auch die Projektion der, aus der Triangulation gewonnenen sichtbaren Flugbahn (rot):



Geschwindigkeit und Dichte der Flugkörper sind leider Größen, über die man nur ungefähre Annahmen machen kann. Überraschenderweise (und glücklicherweise) kann man beides innerhalb eines doch recht breiten Fensters variieren ohne dass sich die Flugstrecken drastisch ändern. Hier hilft die Luft ausnahmsweise mal. Eine höhere Geschwindigkeit ergibt z.B. auch einen höheren Luftwiderstand, der die Geschwindigkeit dann stärker aufzehrt.

Typische Geschwindigkeiten am Ende der sichtbaren Phase von solch tief in die Atmosphäre eindringenden Meteoren liegen bei in der Regel bei 3-4 km/s. Für die Startwerte der Dunkelflugphasensimulation wurde daher dieser Geschwindigkeitsbereich gewählt.

Zu Masse und Dichte gibt der Verlauf der Bahn (Helligkeit, Fragmentation, Endhöhe) oft wichtige Hinweise. Da mir persönlich hier echte Erfahrungswerte fehlen, halte ich mich diesbezüglich an einen Fachmann:

*„Abhängig von der Höhe der erzeugenden Fragmentierung ergeben sich damit aus der Endhöhe von 29,4 km obere Grenzen für die Masse von möglichen Meteoriten. Für die höhere Fragmentierung liegt diese bei etwa 50 g. (...) Die Zusammenschau von Endhöhe, Helligkeit und Fragmentierungsverhalten spricht qualitativ für ein eher fragiles, leicht abzutragendes Material“* Karl Wimmer, „Die Feuerkugel vom 8. Januar 2011“

Für die Dichte wurde deshalb ein, für diese Meteoritenart typischer Wert vom  $3300 \text{ kg/m}^3$  gewählt. Die Massenverteilung wurde auf den Bereich von 5 g bis 50 g beschränkt.

Hier nochmal zusammengefasst die Eingangsparameter der Simulation des Dunkelfluges:

Startposition: lon =  $9.71344^\circ$ , lat =  $48.55333^\circ$ , alt = 29977 m

Startvektor: Azimut:  $240.936^\circ$ , Neigung:  $38.209^\circ$

Dichte:  $3300 \text{ kg/m}^3$

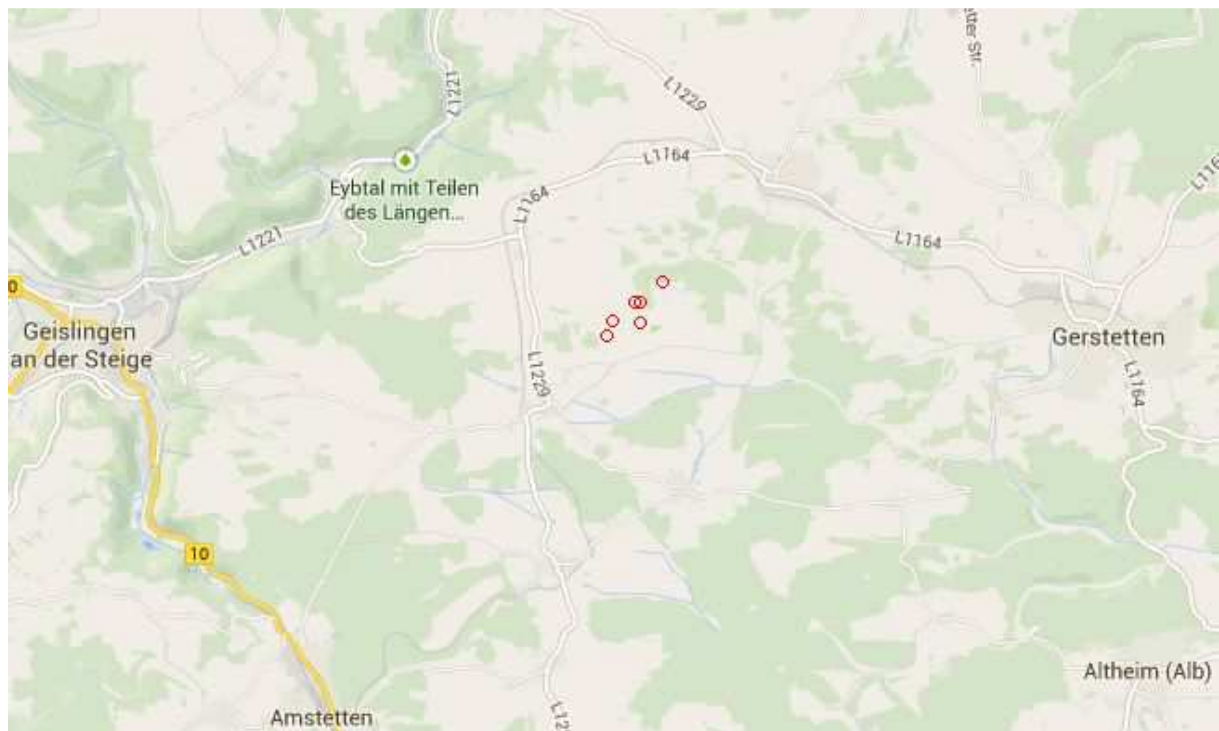
Atmosphärische Daten s.o.

Startgeschwindigkeiten: 3000 m/s; 4000 m/s

Massen: 5g; 20g; 50g

Für diese Werte ergibt sich folgendes Simulationsergebnis.

Die linken drei Punkte gehören zu  $v = 3 \text{ km/s}$ , die rechten zu  $4 \text{ km/s}$



Leider wurde am berechneten Ort nichts gefunden.

Heißt das, die ganze Vorgehensweise taugt nichts?

Höchstwahrscheinlich heißt es in diesem Fall nur, dass nichts den Boden erreicht hat und wenn doch, dann nur in so kleinen Mengen, dass ein Fund unwahrscheinlich ist.

Trotzdem lohnt ein Blick auf die möglichen Fehlerquellen:

Da ist zunächst mal die Koordinatenbestimmung anhand der Fotos. Diese steht und fällt natürlich mit der Güte der Fotos und wie gut diese ausgewertet werden können. Hier steht aber mit dem Weg über die Plattenkonstanten ein effektives Hilfsmittel zu Verfügung. Bei nur zwei Bildern ist eine Fehlerabschätzung trotzdem schwierig. Dazu bräuchte man entweder ein drittes Bild oder zumindest einen markanten Punkt der Bahn, der auf beiden Fotos vorhanden ist und der als Vergleichsmöglichkeit dienen kann.

Bei den Algorithmen nach denen die Triangulation dann durchgeführt wird, gibt es keine Fehlergrenzen im Wortsinne. Hier sind die Ergebnisse so exakt wie die Eingangsdaten.

Hat man das gut erledigt, ist das schon mal die halbe Miete, denn dann hat man die Flugrichtung ab einem bestimmten Ort. Wäre nun nicht die "störende" Atmosphäre, dann wäre jetzt nur noch die Kenntnis der Geschwindigkeit vonnöten, denn der reibungsfreie Fall ist vom Rest unabhängig, auch von der Masse.

Starken Einfluss haben ab da Luftdichte und Wind. Glücklicherweise hat man hier ziemlich genaue Wetterdaten, die man bezüglich Höhe und Zeit interpolieren kann. Da sind die Fehler gut abschätzbar und halten sich m.E. auch in Grenzen.

Die Größe der Fragmente hat ähnlich starken Einfluss wie Dichte und Wind. Aber das ist kein prinzipielles Problem. Denn schließlich hat jeder Fall größenabhängige Streufelder und es kann ja sowieso nur darum gehen diese einigermaßen einzugrenzen.

Anfangsgeschwindigkeit und Dichte der Flugkörper sind leider Größen, bei denen man nur ungefähre Annahmen machen kann. Allerdings haben diese Parameter überraschenderweise einen geringeren Einfluss, als man zunächst vermuten würde.

Solange man also nicht den Eindruck erweckt, man könne auf diese Weise eine punktgenau Landung vorhersagen, ist solch eine Simulation m.E. ein gutes Mittel um das Suchgebiet einzugrenzen.

Auch wenn in diesem Fall nichts gefunden wurde, so hat der Geislingen-Meteor die Entwicklung meiner Werkzeugsammlung überhaupt erst angestoßen. Weitere Fälle werden nun zeigen müssen, ob diese in Zukunft bei der Eingrenzung der Streufeldlage hilfreich sein kann.

Mein Dank gilt Mark Vornhusen und Hermann Koberger für die frühe Veröffentlichung der Aufnahmen und Karl Wimmer für die Bereitstellung seiner Auswertungen. Vor allem aber auch den aktiven Mitgliedern des Meteoriten-Mineralien-Gold Forums für die bereitwillige Versorgung mit Daten und Ideen und für die regen, inspirierenden Diskurse im Geislingen-Thread, allen voran (aber nicht ausschließlich) Mark, Beat, Rob und Herbert.

Achim Raphael, Nov. 2014