

Al-Khadhaf

Erster beobachteter Meteoritenfall vom 8. März 2022 in Oman

Referent: Beat Booz



Zu meiner Person:

Name: Beat Booz

Wohnort: Frick, AG

Ausbildung: Dipl. Maschinen-Ing. FH (im Ruhestand)

Hobbies: Astronomie, Meteore, Meteorite, Feuerkugelberechnung,
Sport (Tennis, Inline-Skaten) u.a.



Mitglied „Meteoritical Society“

Mitglied „I.M.C.A.“ (International Meteorite Collectors
Association)



Quantifying the flux of small meteorites

(Projektunterstützung durch den Schweizerischen Nationalfonds)

Beda Hofmann, Urs Eggenberger, Edwin Gnos
01.09.2021 – 31.08.2025

Projektverantwortliche:

Beda Hofmann, Naturhistorisches Museum
Urs Eggenberger, Institut für Geologie Universität Bern
Edwin Gnos, Muséum d'Histoire Naturelle

Mitarbeitende:

Anna Zappatini

Projektpartner/innen:

Philip A. Bland, Department of Applied Geology Curtin University of Technology

Beat Booz, Fachgruppe Meteorastronomie

Jérôme Gattacceca, Laboratoire de Géosciences de l'Environnement Université Aix-Marseille III

Ingo Leya, Physikalisches Institut Universität Bern

Matthias Meier, Naturmuseum St. Gallen

Marc Schumann, Physikalisches Institut Albert-Ludwigs-Universität

Brigitte Senut, Department of origins and evolution Muséum national d'Histoire naturelle

Sönke Szidat, Departement für Chemie, Biochemie und Pharmazie Universität Bern

Karl Wimmer, RiesKraterMuseum Nördlingen

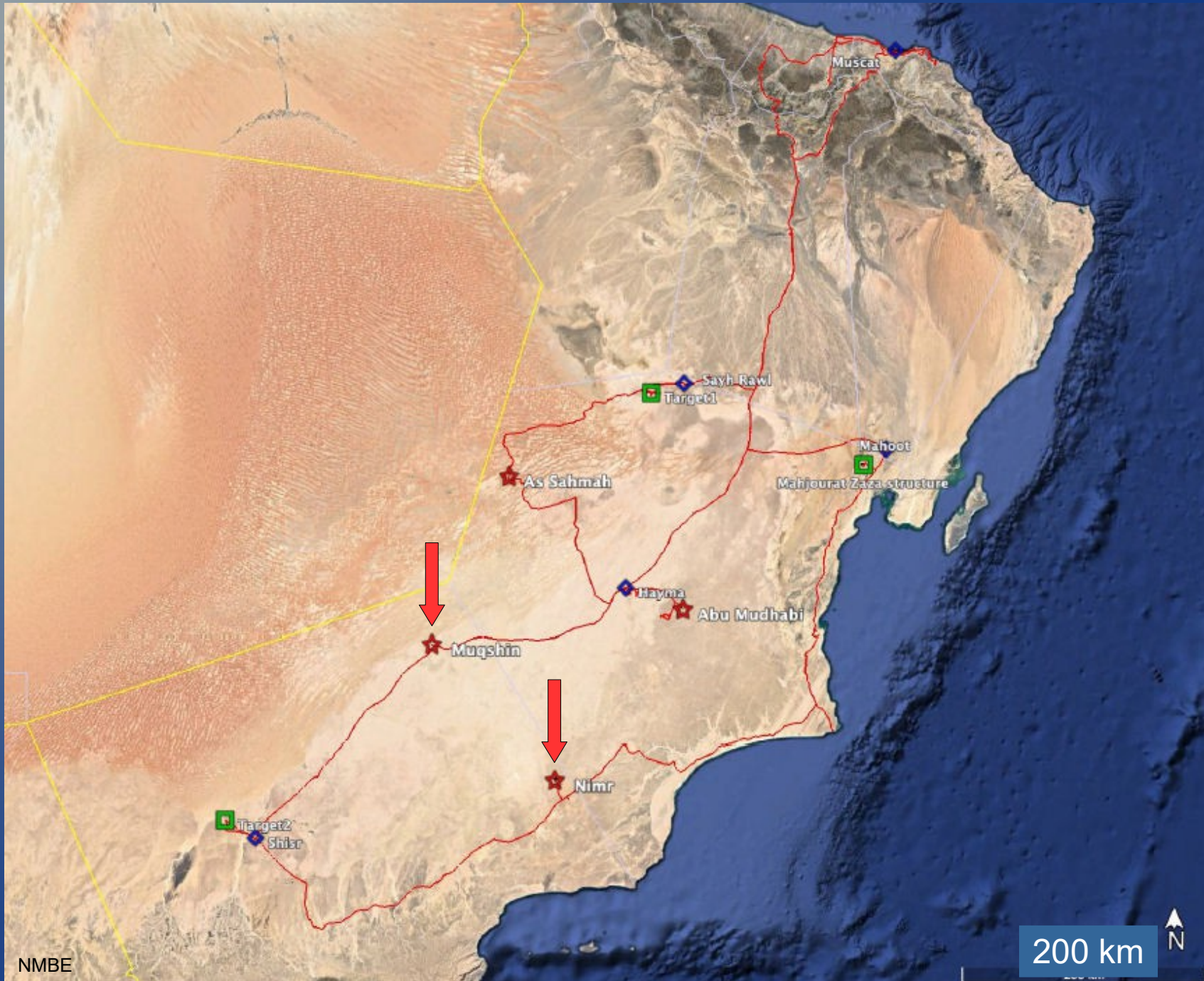
AllSky-Kameras



Kamera-Wartung

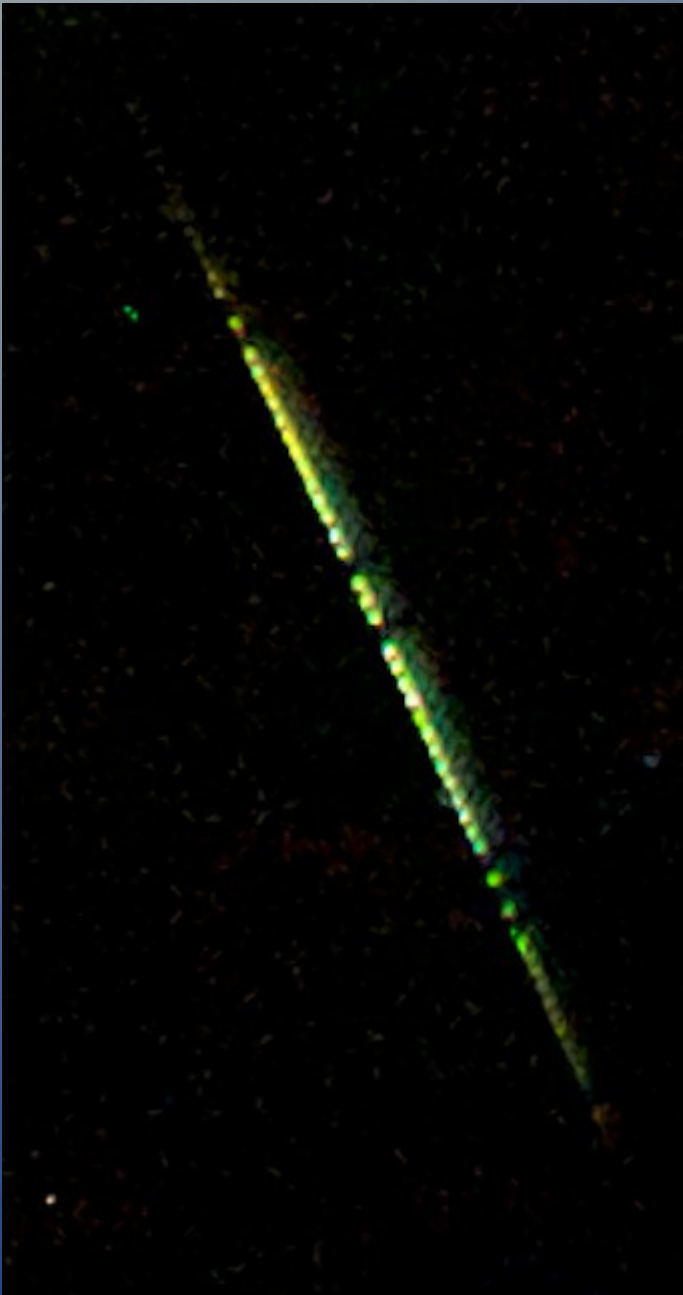


Kamera-Standorte

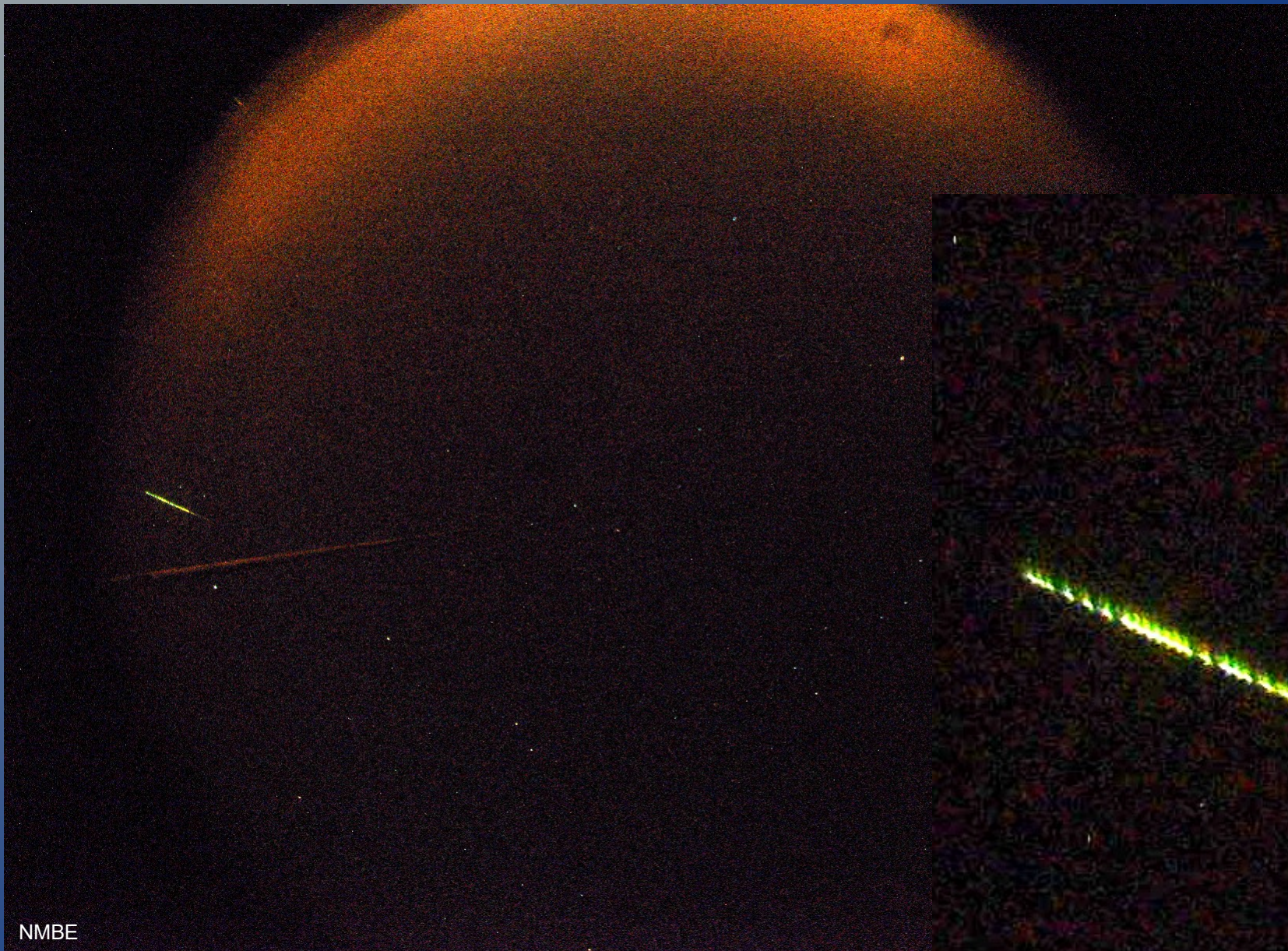


Meteorspur von Station Nimr

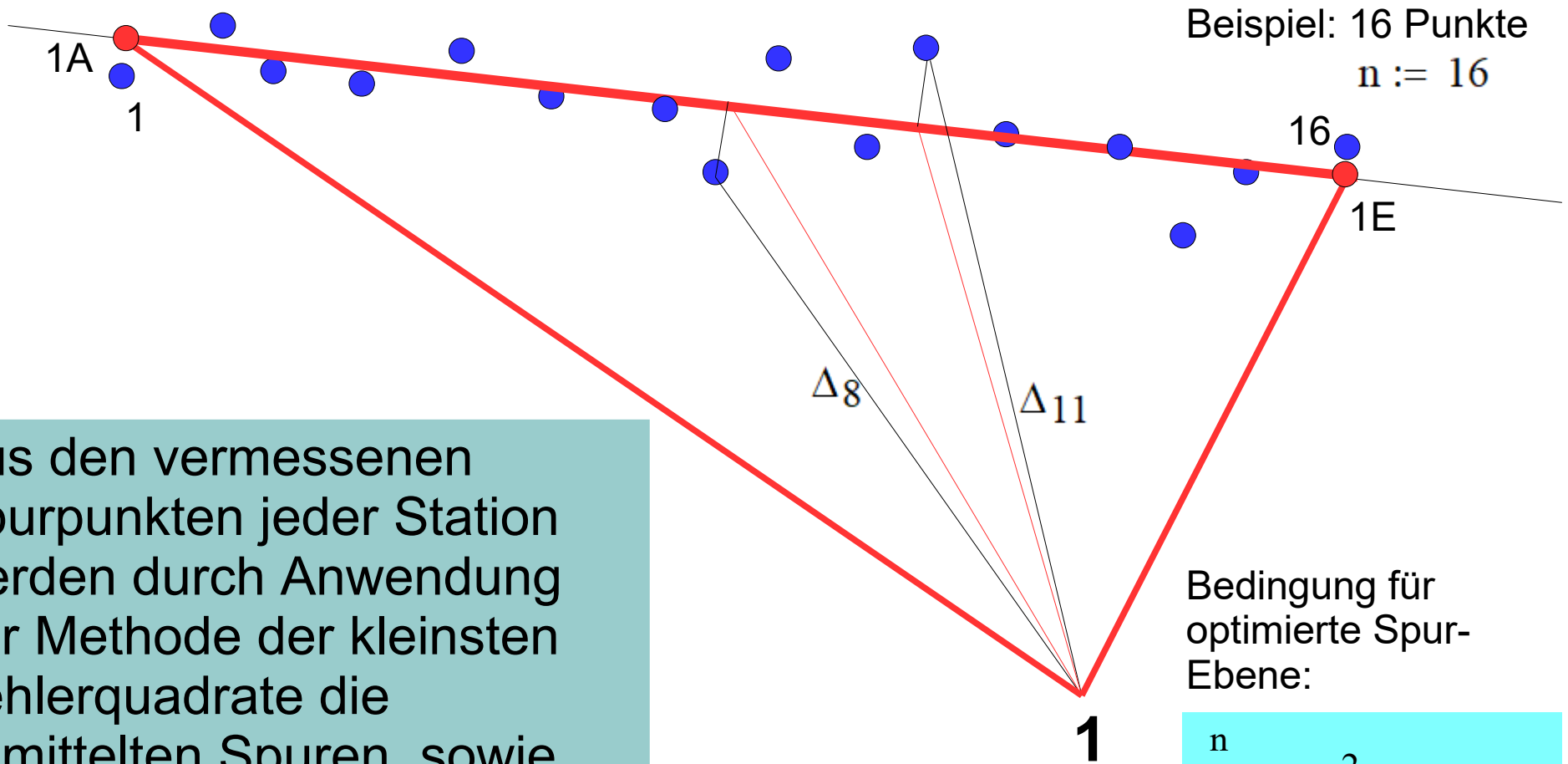
Aufzeichnung der Spuren mittels All-Sky-Kameras mit kodierter Zeitinformation (de Bruijn Sequenzen). Zeitinkrement zwischen zwei Bildern 0.05 s.



Meteorspur von Station Maqshan Tower



Bestimmung der mittleren Spur



Beispiel: 16 Punkte
 $n := 16$

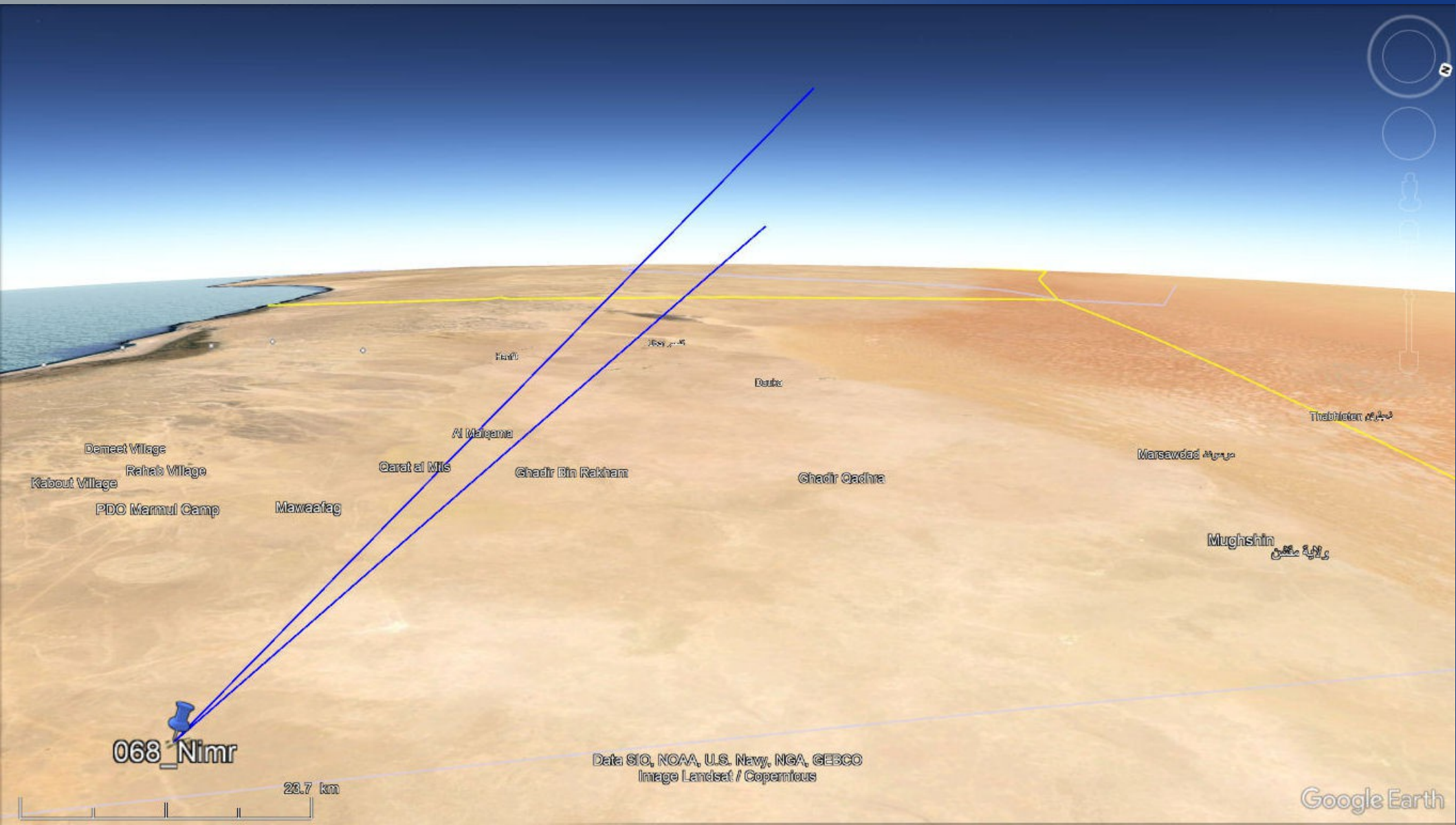
Aus den vermessenen Spurpunkten jeder Station werden durch Anwendung der Methode der kleinsten Fehlerquadrate die gemittelten Spuren, sowie deren Anfangs- und Endpunkte ermittelt.

Bedingung für optimierte Spur-Ebene:

$$\sum_{i=1}^n (\Delta_i)^2 = \text{Minimum}$$

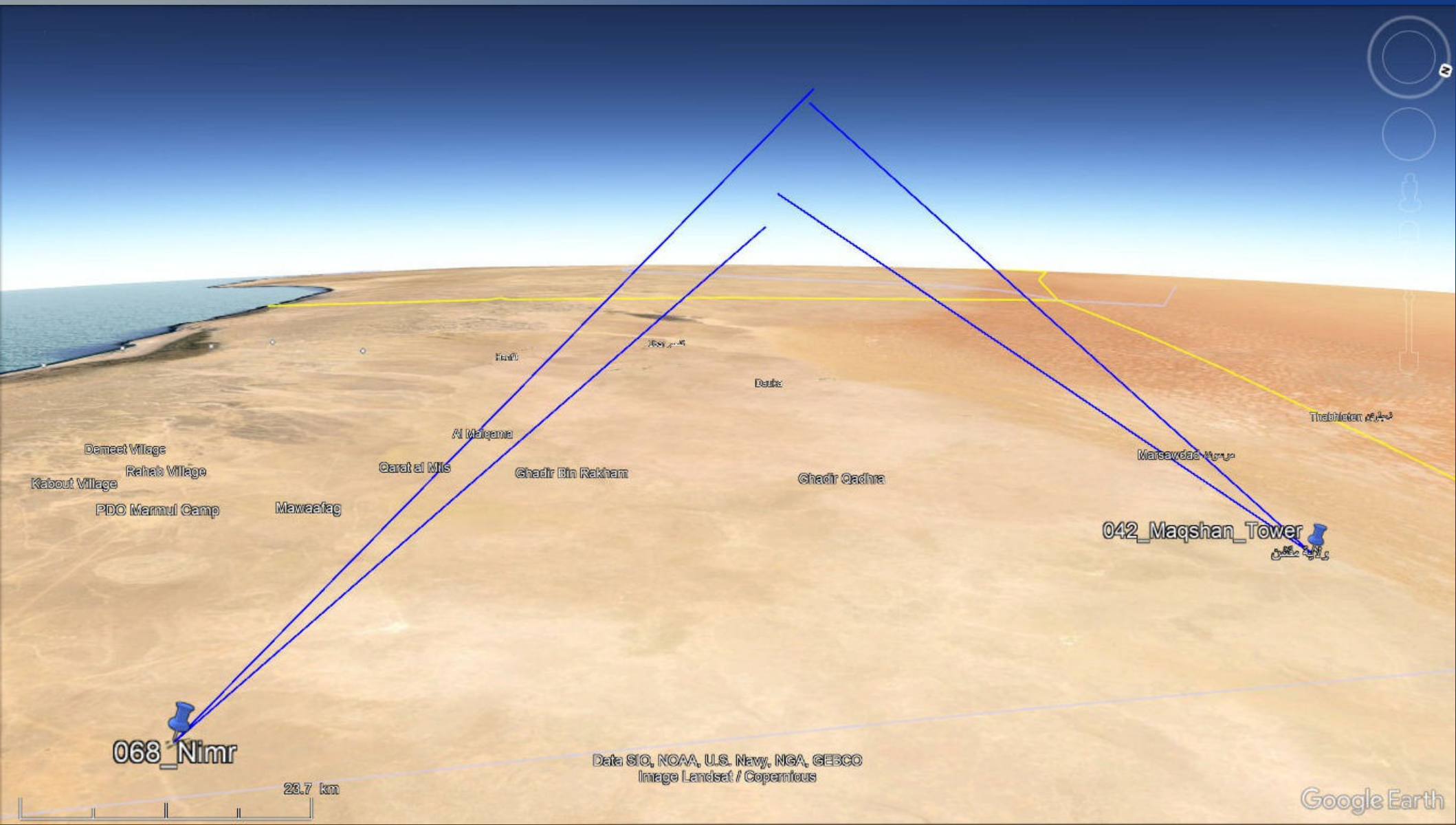
Mittlere Spur aus den vermessenen Spurpunkten

Bestimmung der Trajektorie



Beobachtungsebene 1

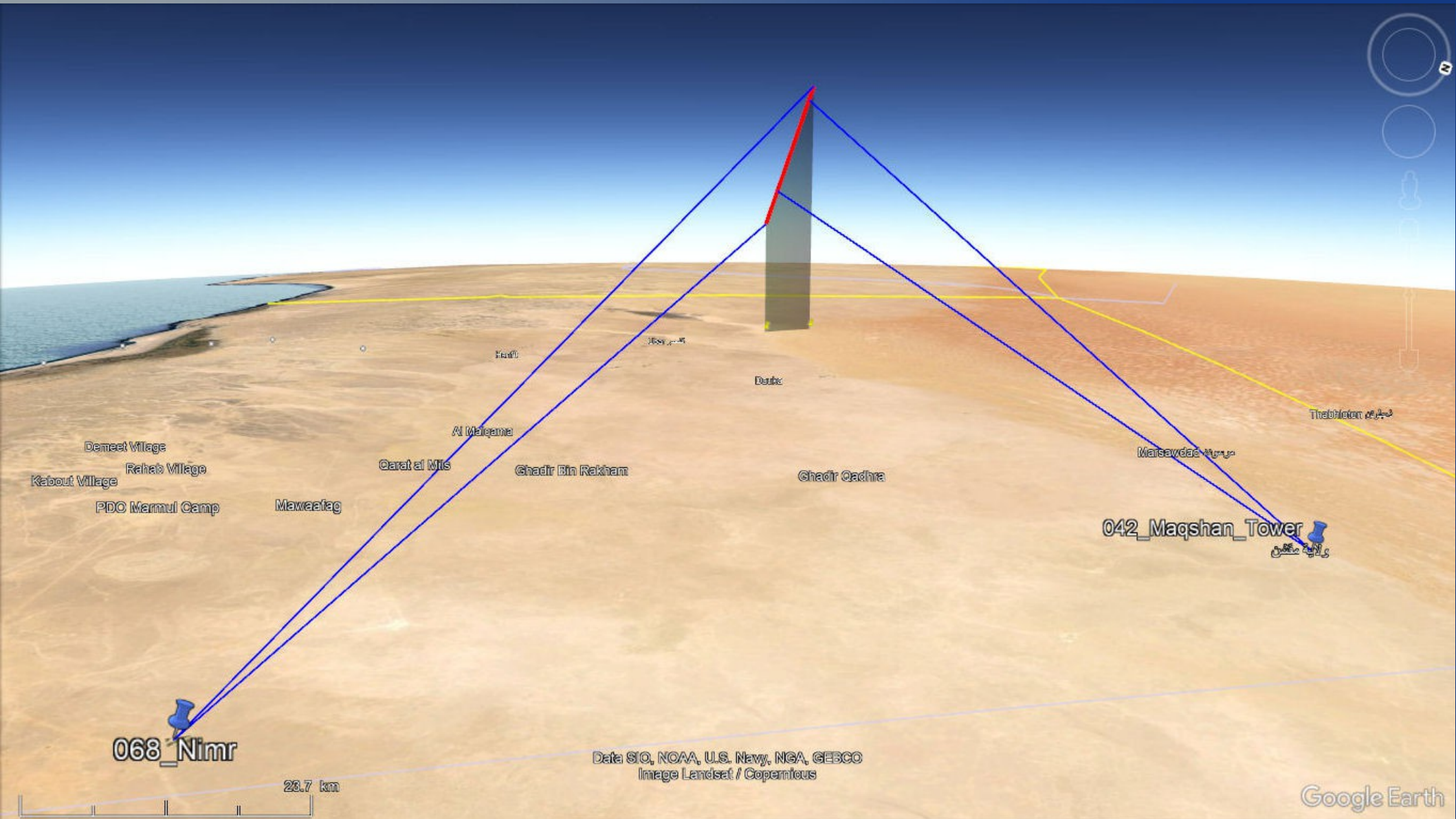
Bestimmung der Trajektorie



Beobachtungsebene 1

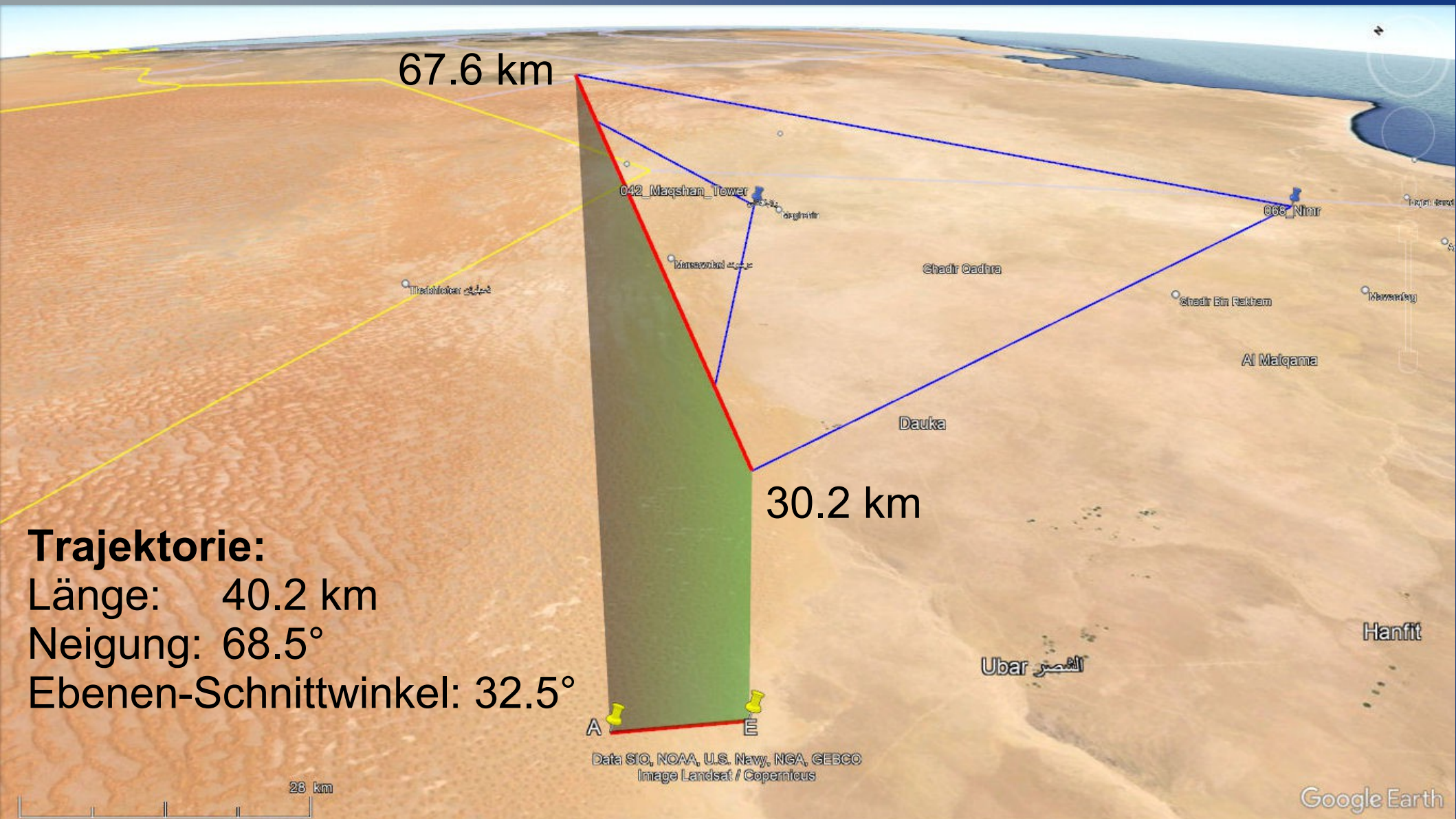
Beobachtungsebene 2

Bestimmung der Trajektorie



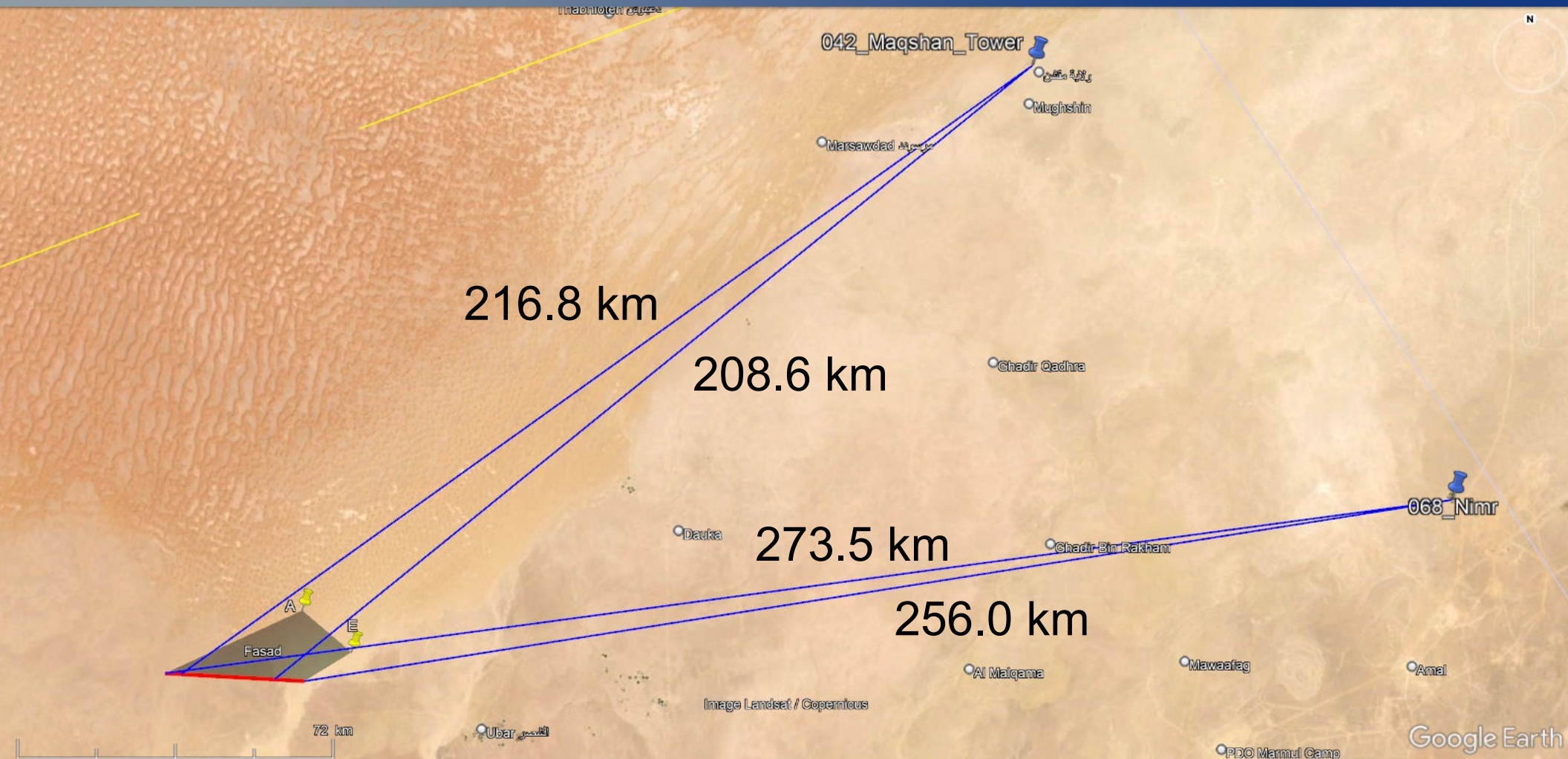
Die Schnittlinie der beiden Beobachtungsebenen ist die gesuchte Feuerkugel-Trajektorie.

Bestimmung der Trajektorie



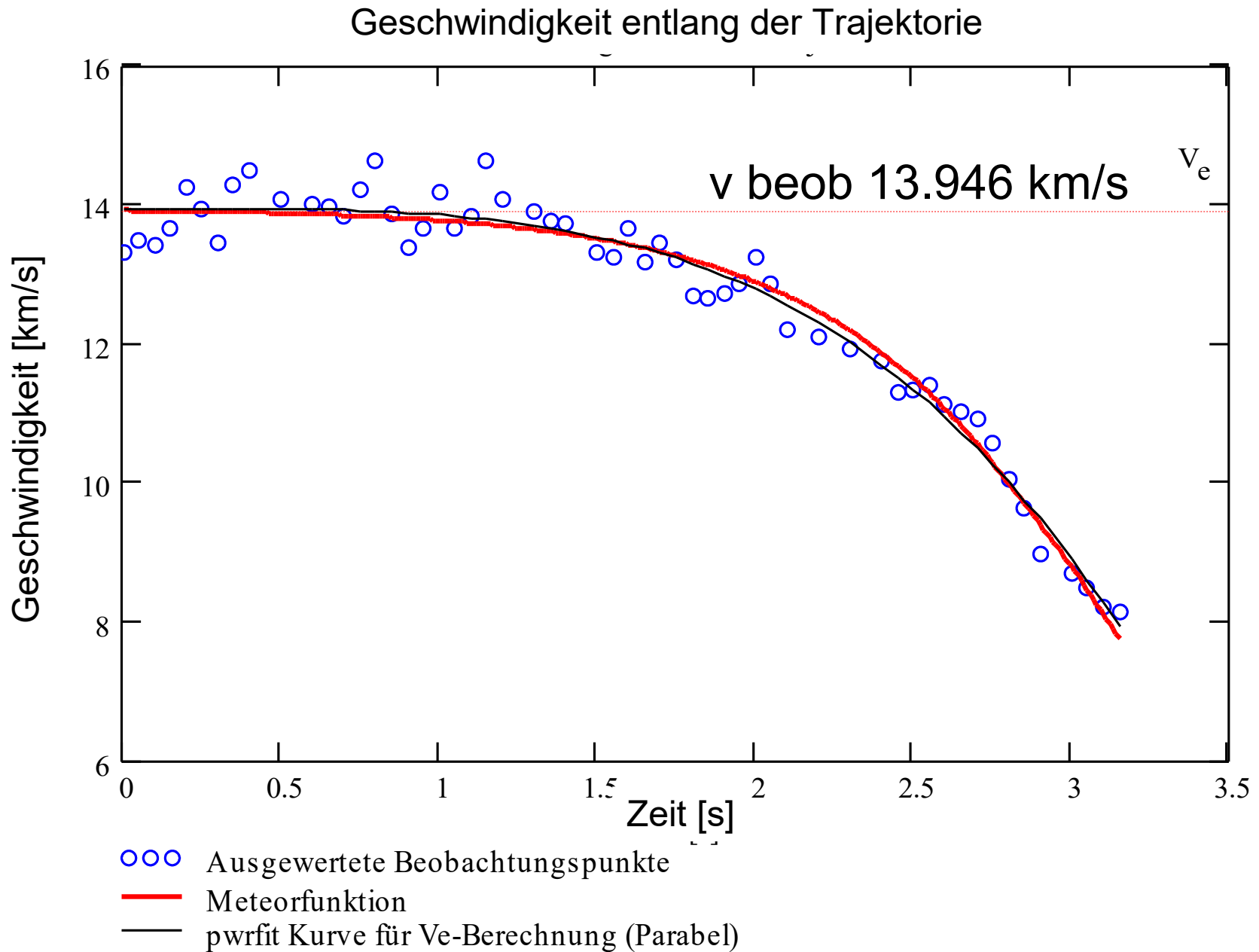
Anderer Blickwinkel mit zusätzlich auf Boden projizierter Trajektorie.

Bestimmung der Trajektorie



Ansicht von oben (etwas verzerrt). Relativ grosse Distanzen zwischen Stationen und Trajektorie.

Geschwindigkeit



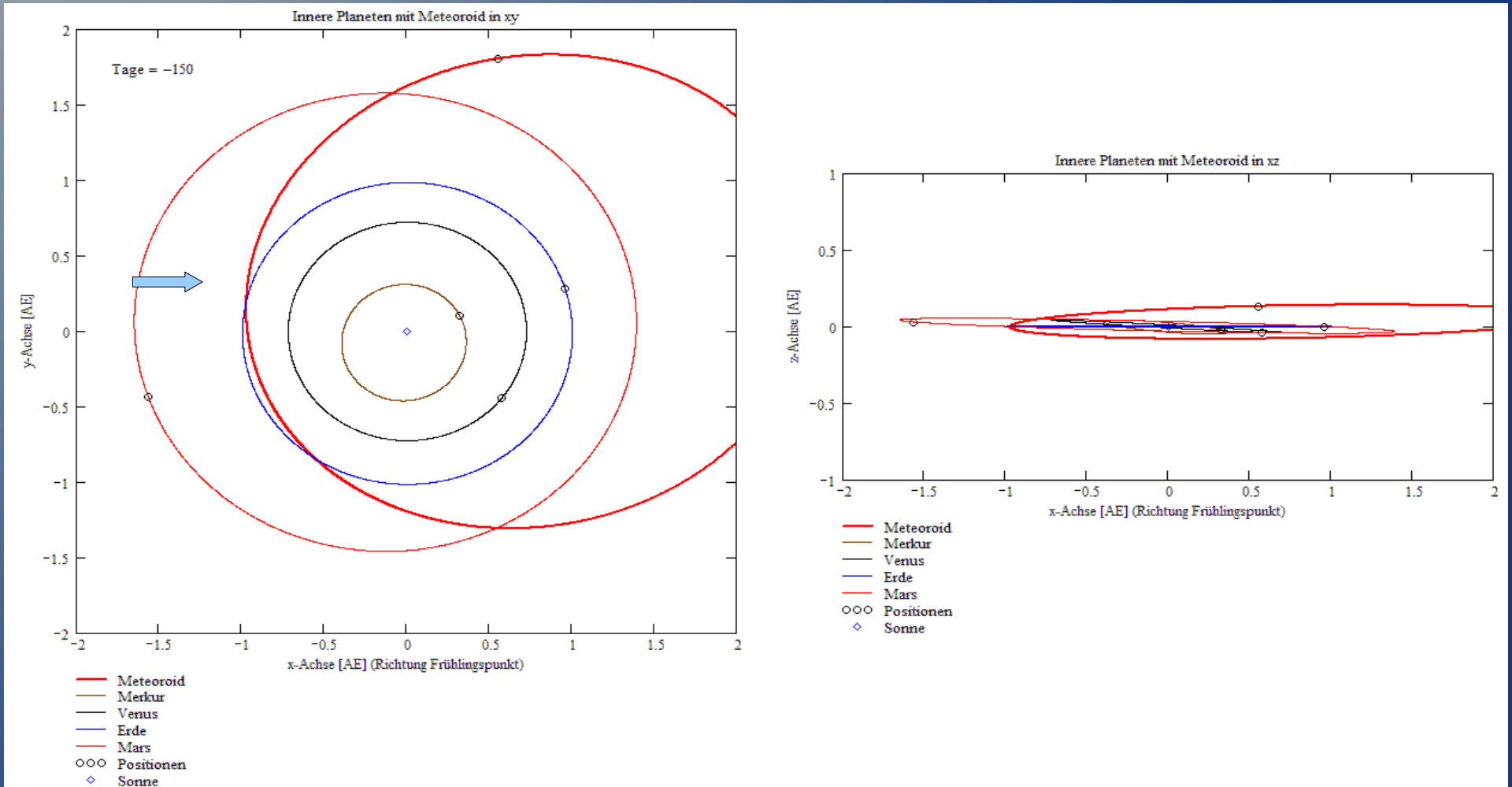
Geschwindigkeit für Umlaufbahn-Berechnung

Erforderliche Korrekturen an der beobachteten Geschwindigkeit, um die ursprüngliche heliozentrische Geschwindigkeit im Zusammenstosspunkt mit der Erde zu berechnen:

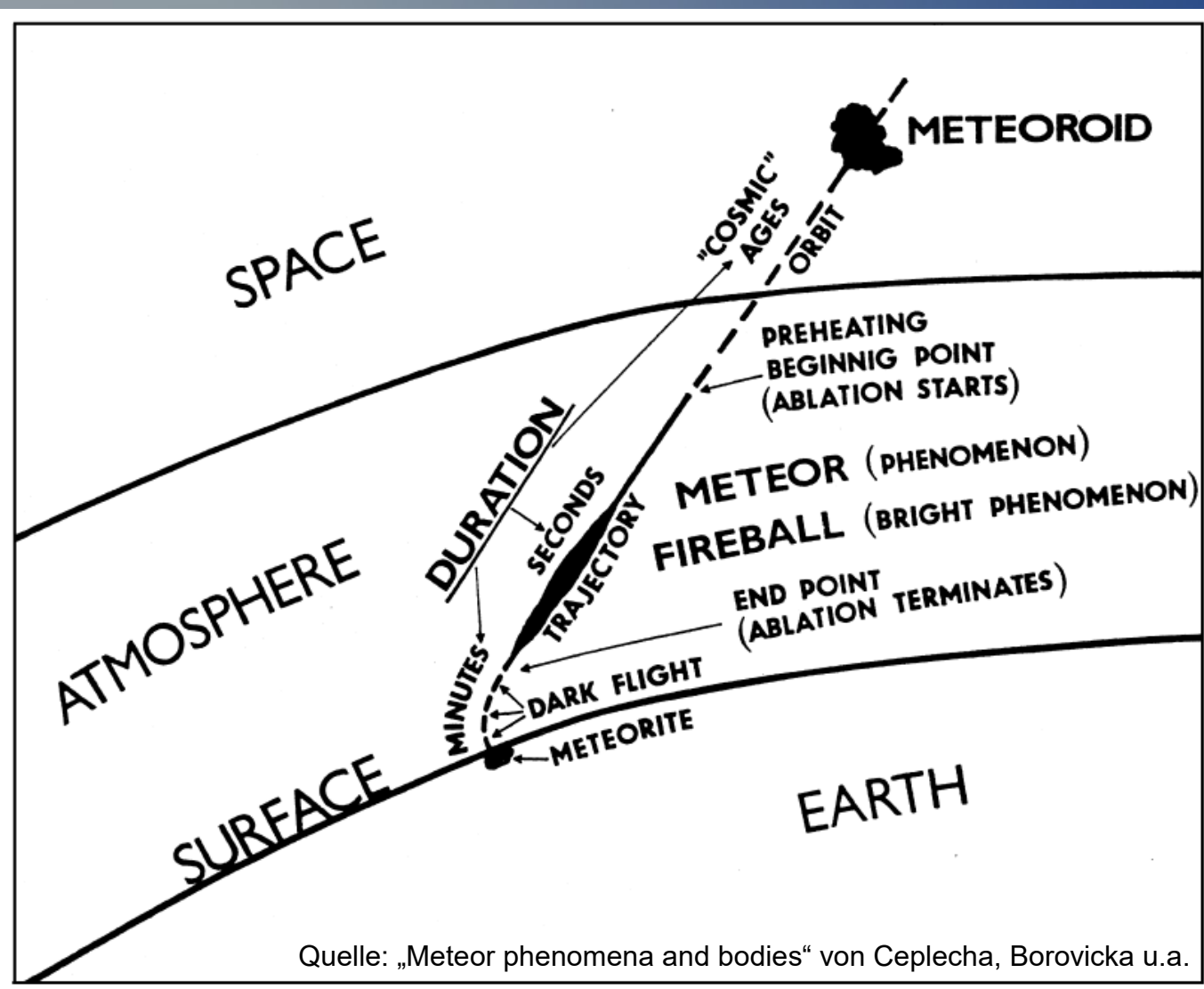
1. Geschwindigkeit der Erde auf ihrer Umlaufbahn (ca. 30 km/s)
2. Erdrotations-Geschwindigkeit
3. Geschwindigkeitsänderung (Betrag und Richtung!) durch die Erdgravitation (Zenithattraktion)

Ergebnis: v beobachtet = 13.946 km/s
 v heliozentrisch = 35.757 km/s

Ursprünglicher Orbit



Szenarien eines Meteoritenfalls



Aufheizphase:

Eintritt in die obersten Luftschichten mit $v = 14 \text{ km/s}$.

Ablation:

Ionisierung der Luft → Temperaturen bis einige Tausend °C → Abschmelzung an Oberfläche.

Zunehmender Druck → Fragmentationen.

Massenverlust > 90 % in wenigen Sekunden.

Geschwindigkeitsabnahme bis die Ablation endet → Beginn des **Dunkelfluges**.

Meteoritenfall nach einigen Minuten.

Ablation

Veröffentlichte Papers hierzu gibt es viele, z.B. „**Meteoroids Interaction with the Earth Atmosphere**“ von Leonid I. Turchak und Maria I. Gritsevich, 2014.

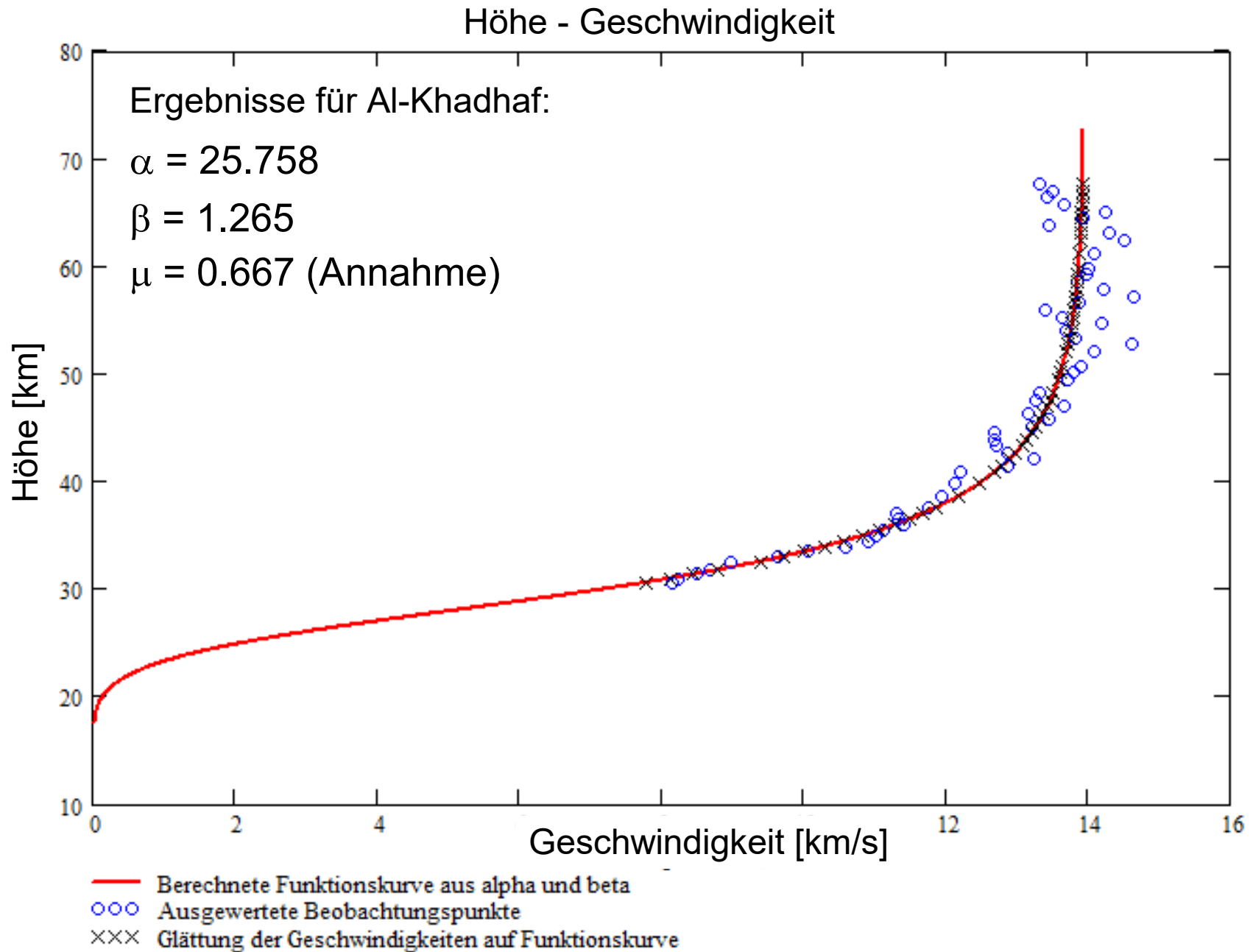
Im Geschwindigkeitsprofil sind wichtige Informationen enthalten, welche analog dieser Papers ausgewertet werden können.

Die vorliegenden Beobachtungsdaten (Geschwindigkeitsprofil) werden mit mathematischen Funktionsansätzen in möglichst gute Übereinstimmung gebracht und drei unbekanntes Grössen bestimmt. Diese definieren die spezifisch zu einem Meteor gehörenden Funktionskurven und haben Aussagekraft ob es zu einem Meteoritenfall gekommen sein kann.

Bedeutung der Parameter:

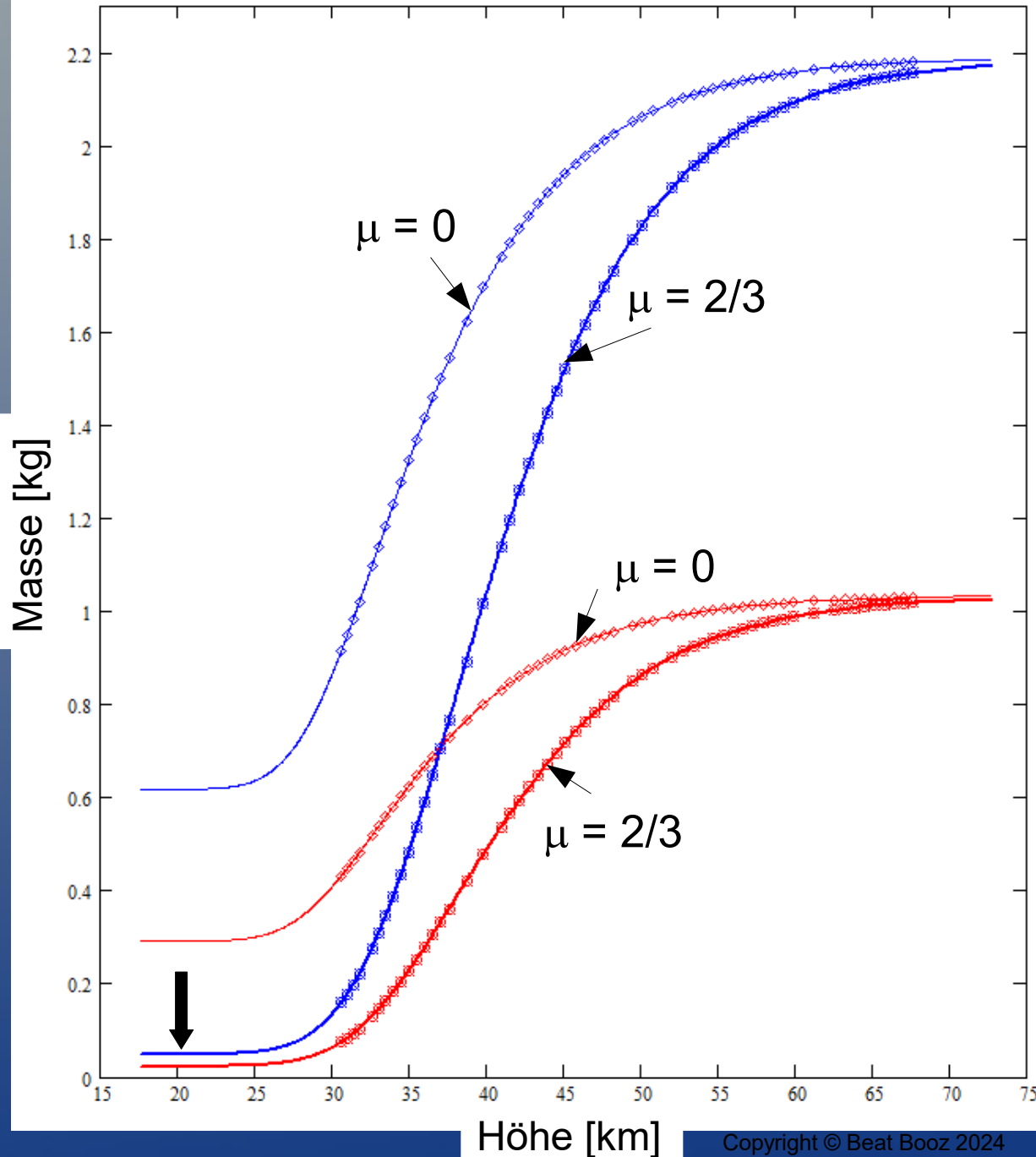
- α Ballistischer Koeffizient: charakterisiert die Effizienz der Luftbremsung
- β Massenverlust-Parameter
- μ Einfluss der Rotation des Meteors → Kann nur aus Helligkeitskurve ermittelt werden (beträgt meistens um 2/3)

Ablation



Ablation

Masse - Höhe für Funktion u. Beobachtung



Anfangsmasse
Parallelepiped-Form: 2.19 kg

Anfangsmasse
Kugel-Form: 1.03 kg

Restmasse
Parallelepiped-Form: 49 g
Kugel-Form: 23 g

Dunkelflug

Die Geschwindigkeit hat einen Wert erreicht, bei der die Ablation stoppt (2 bis 8 km/s). Der Massenverlust und das Leuchten sind vorbei. Der Meteor wird unter der zunehmend dichteren Atmosphäre und den Windeinflüssen weiter abgebremst und fällt im freien Fall als Meteorit zu Boden.

Startwerte:

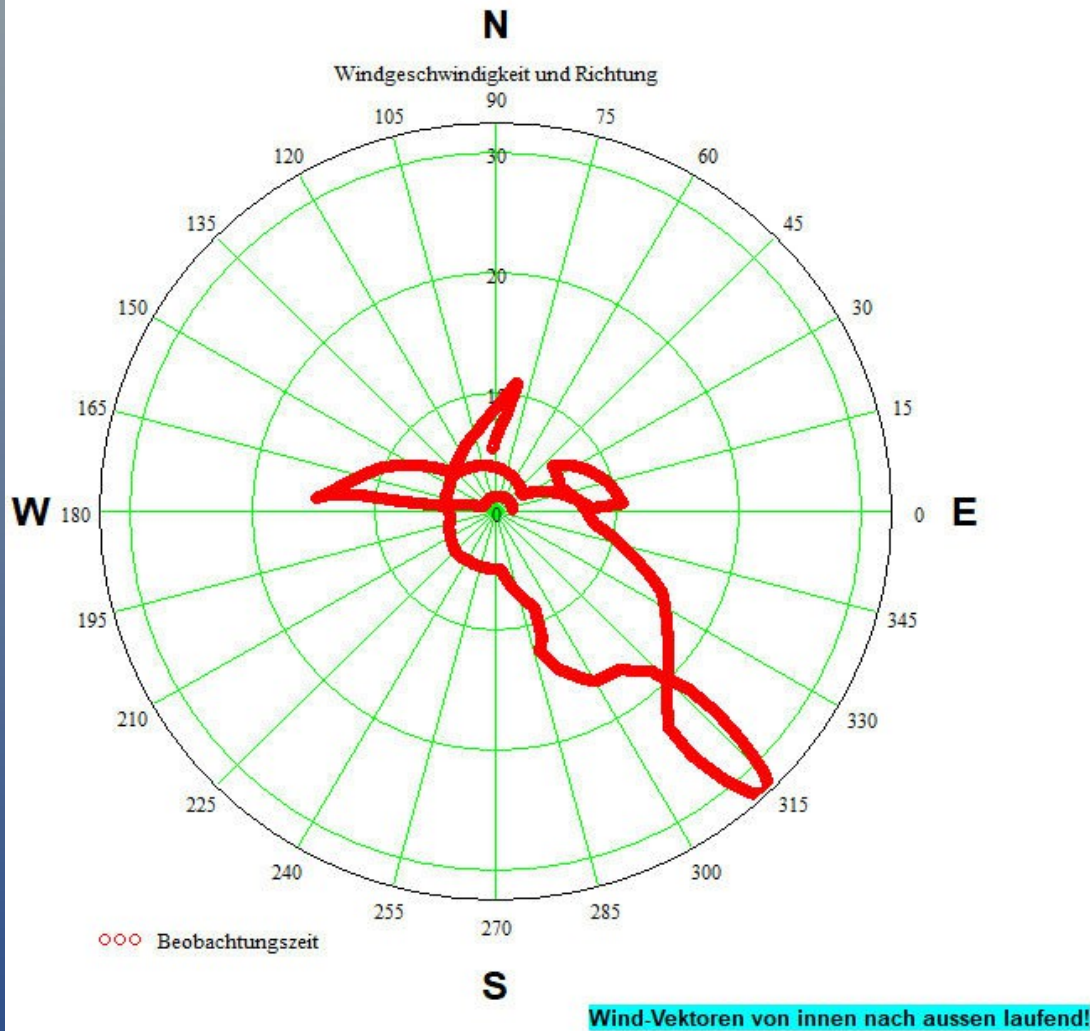
Endpunkt der Trajektorie: Geografische Länge, Breite und Höhe
Neigungs- und Richtungswinkel
Geschwindigkeit (und Bremsbeschleunigung)

Meteor: Dichte (ca. **3500 kg/m³** → für Chondrite)
Masse (3 kg; 1 kg; 500 g; **100 g; 20 g; 5 g**)
Form (Kugel, Würfel, **Mittelwert**, nach Ceplecha)

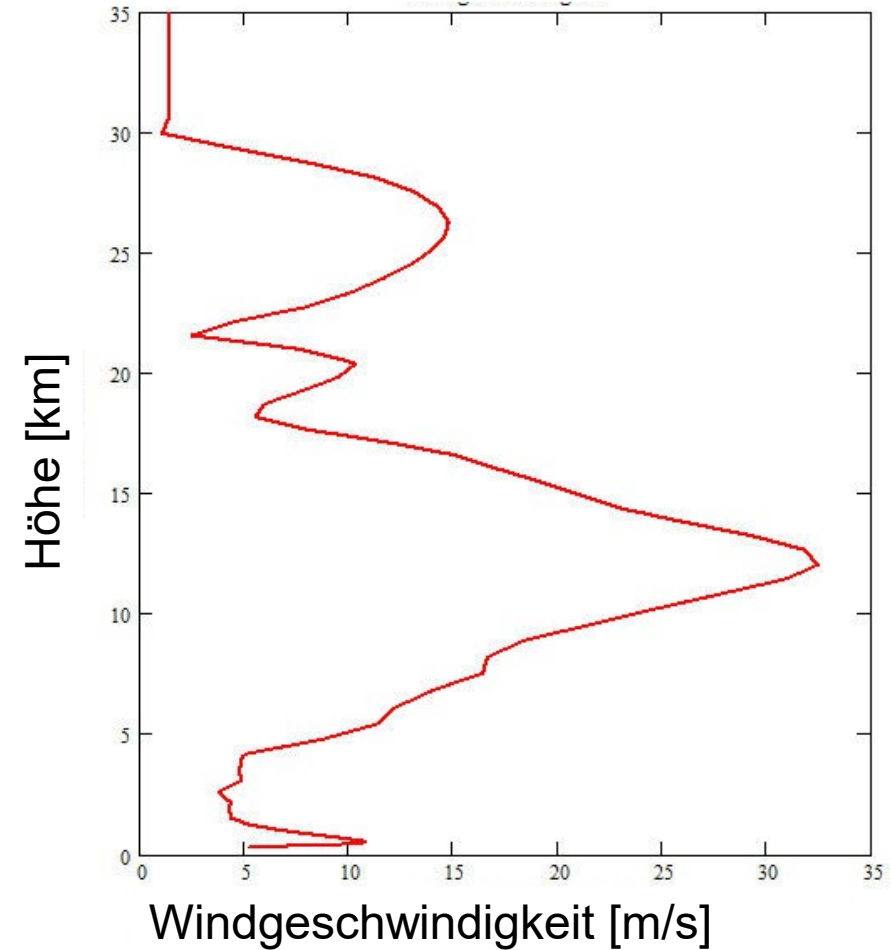
Wetterdaten: Für den Fallort (geografische Koordinaten)

Wetterdaten für Dunkelflugsimulation

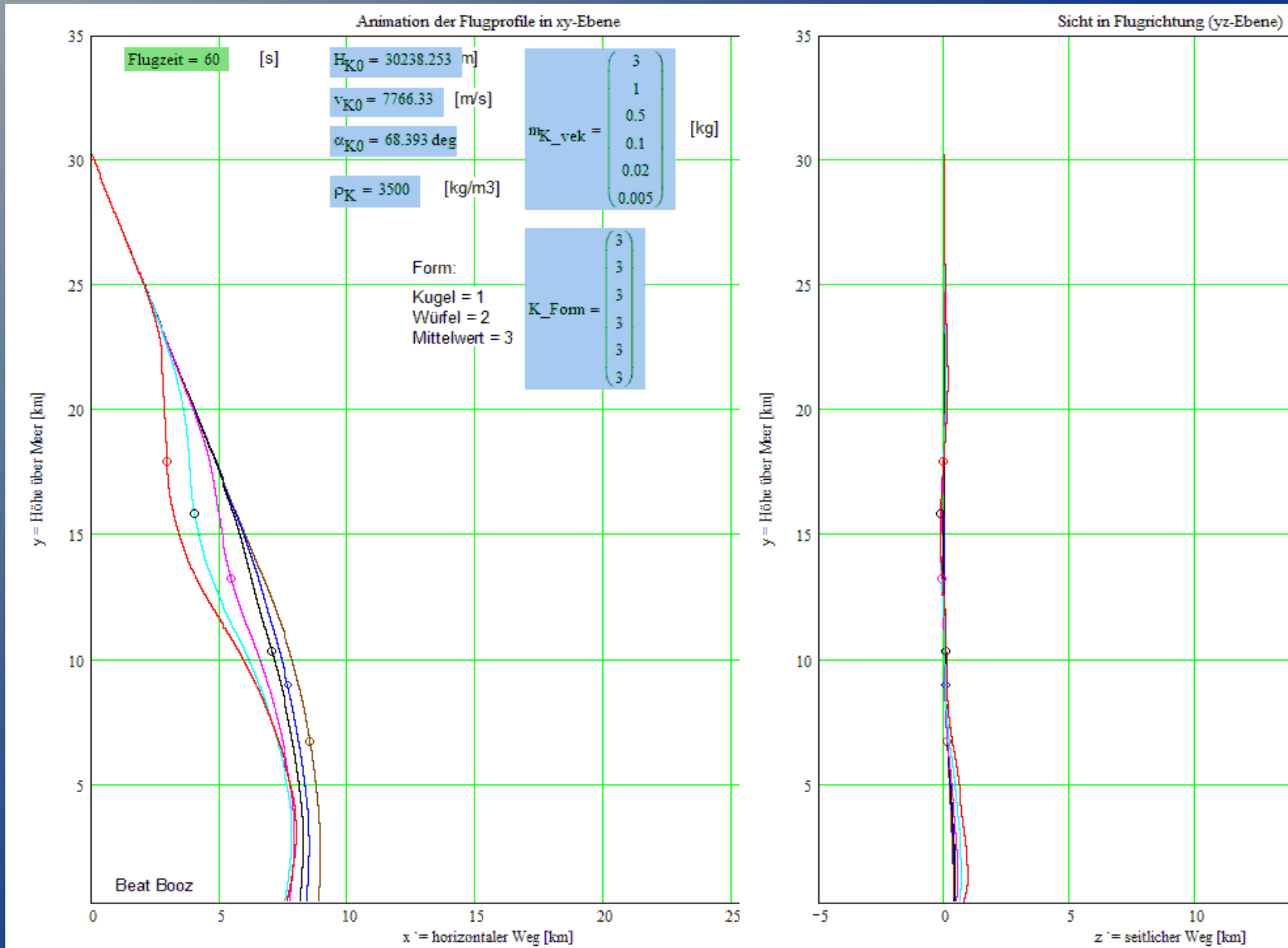
Windgeschwindigkeit und Richtung



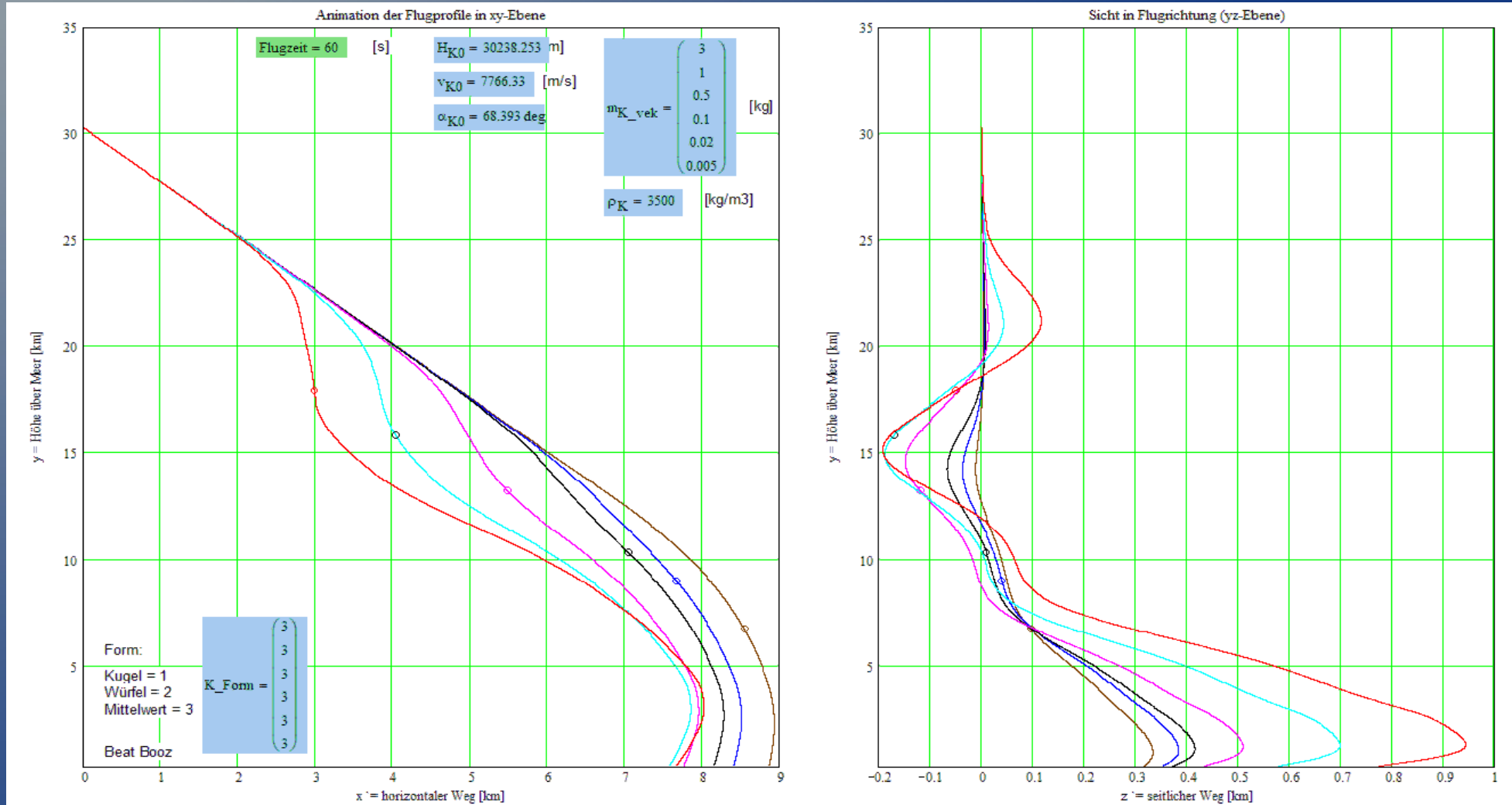
Windgeschwindigkeit



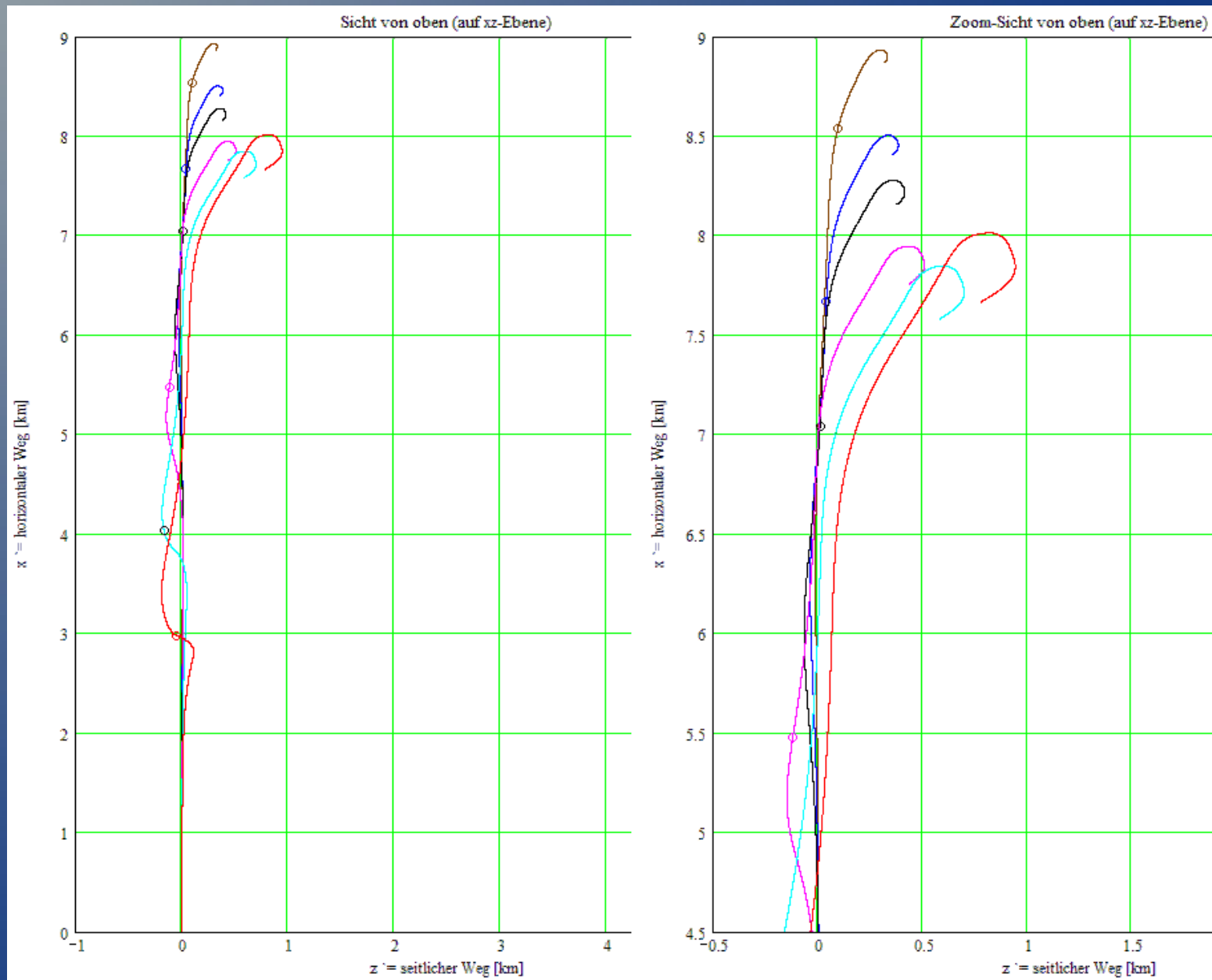
Dunkelflug-Modell (Ansicht seitlich und von hinten)



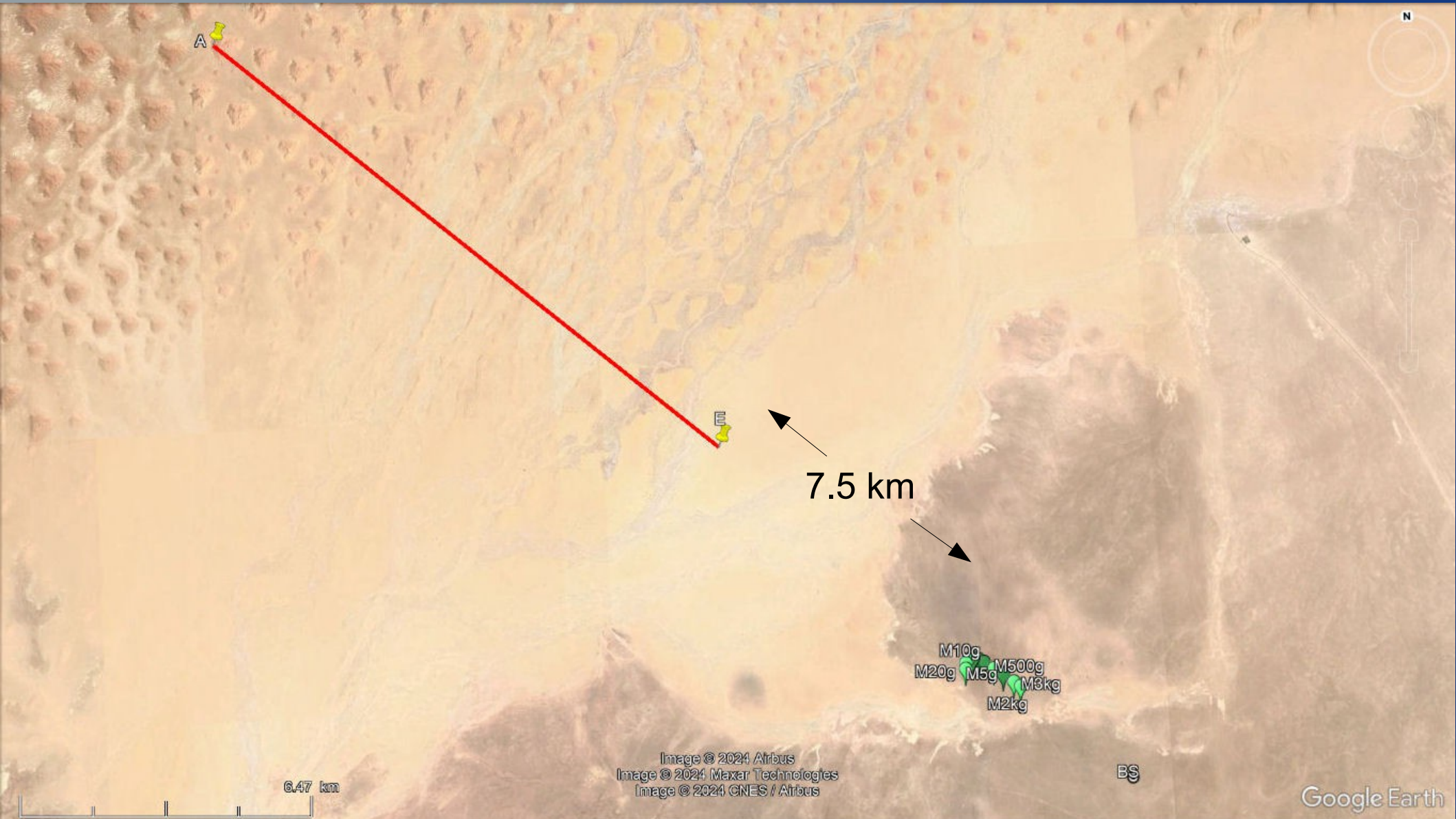
Dunkelflug-Modell (Ansicht seitlich und von hinten)



Dunkelflug-Modell (Ansicht von oben)



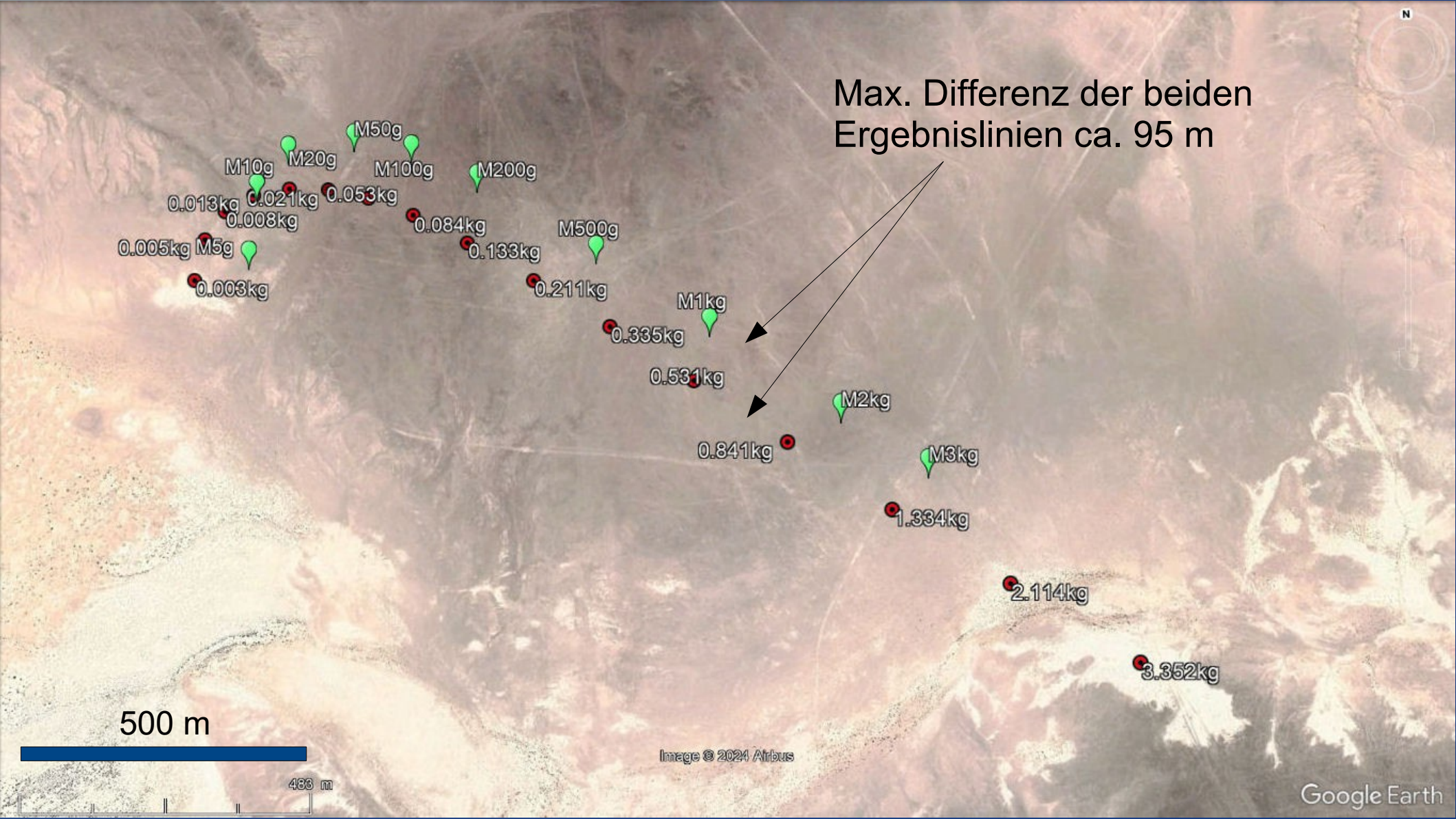
Ergebnisse der Dunkelflug-Modellierung



Ergebnisse der Dunkelflug-Modellierung



Ergebnisse der Dunkelflug-Modellierung



Meteoritensuche

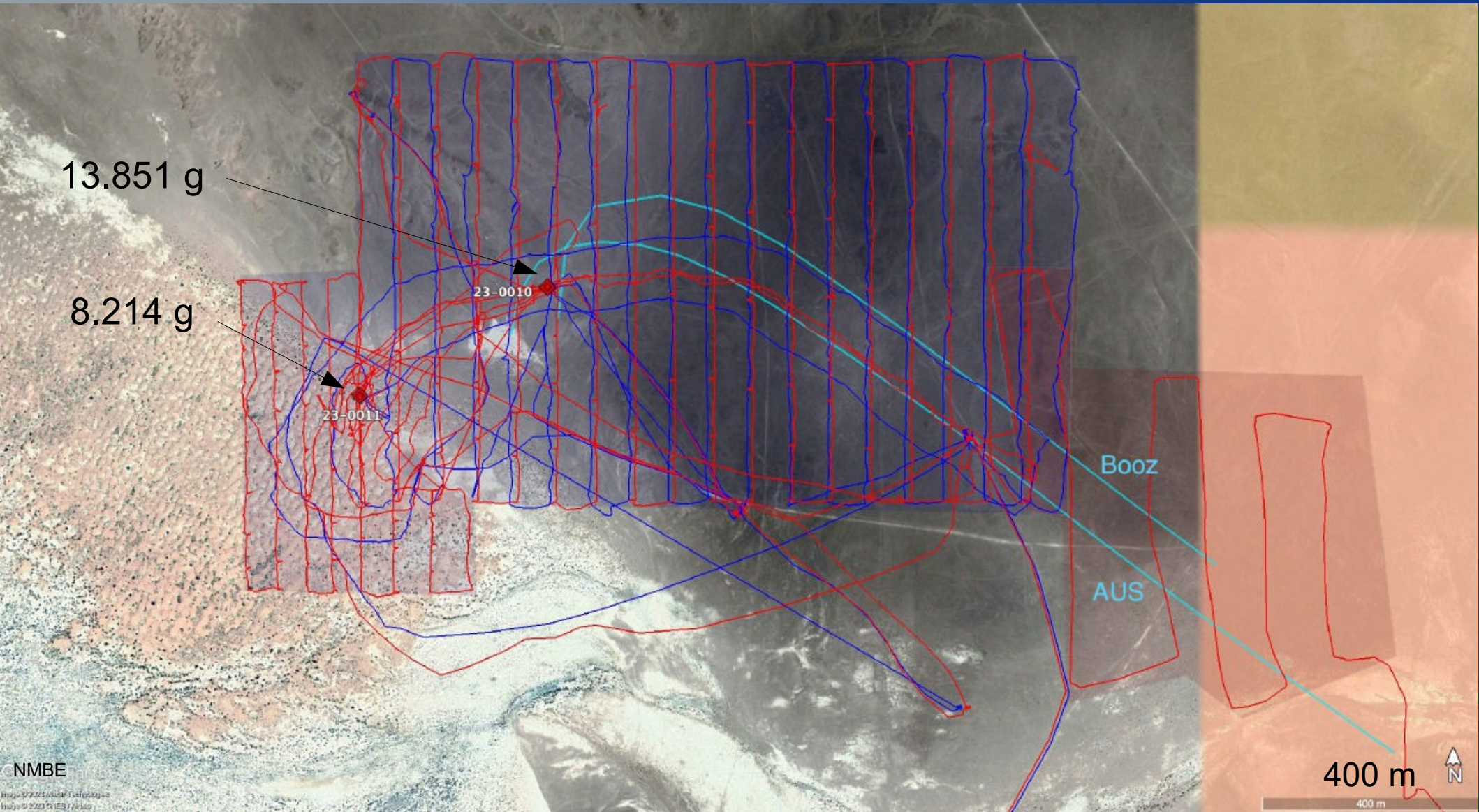


NMBE



NMBE

Meteoritensuche



Meteoritenfunde am 07.02.2023 (11 Monate nach dem Fall):
13.851g und 8.214 g

Meteoritensuche



Fund 13.851 g



Terrestrisches Alter

Terrestrisches Alter:

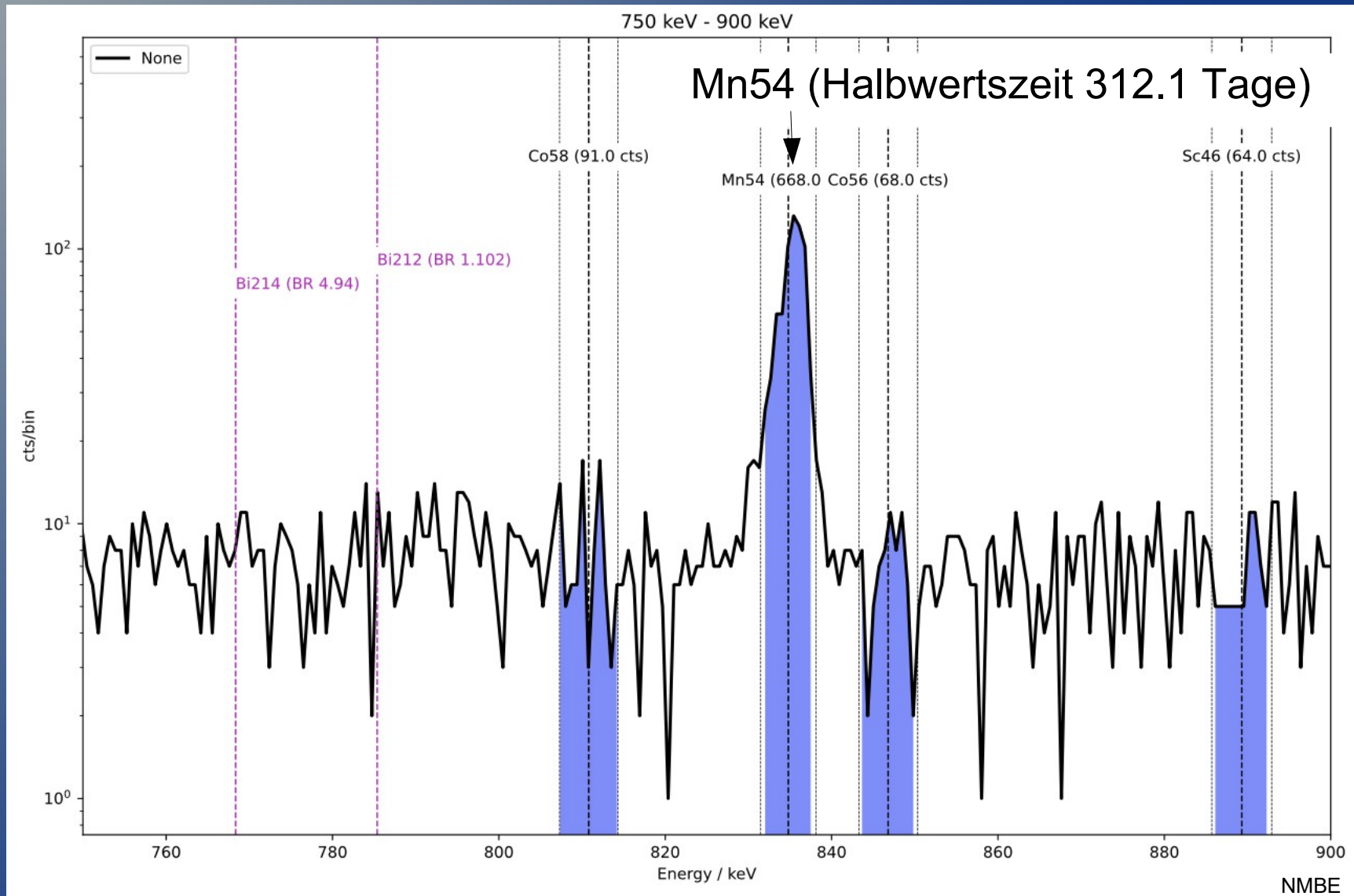
Die Zeit, die der Meteorit nach seinem Fall auf der Erde verbracht hat. Dieser Altersnachweis wird benötigt, um den Meteoritenfund dem Falldatum zuzuordnen.

Die Erdatmosphäre schirmt den gefallen Meteoriten von der kosmischen Strahlung ab.

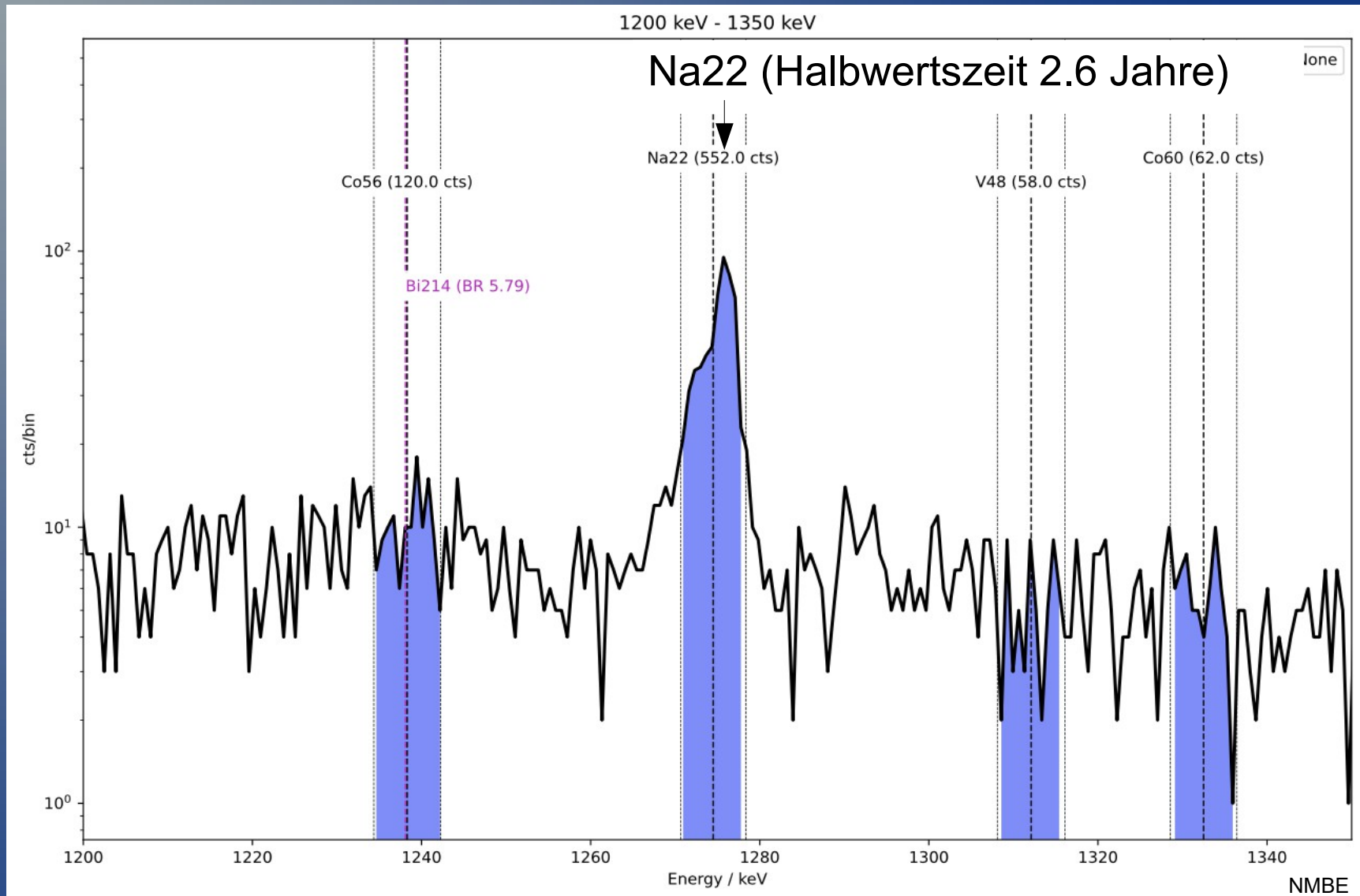
Beide gefundenen Meteorite wurden im Gammaskpektrometer GeMSE im Vue-des-Alpes-Tunnel auf die **Radionuklide Mn54 und Na22** analysiert. Ein vorläufiges terrestrisches Alter der Meteoriten wurde anhand von veröffentlichten Meteoriten-Anfangsaktivitäten berechnet, die in Zeiten ähnlicher Sonnenaktivität gefallen sind (Braunschweig, Creston, Kamargaon, Soltmany, Torino, Mahbas Arraid, Katol, Mreïra). Die Ergebnisse zeigten eine gute Übereinstimmung mit dem Falldatum.

→ Offizielle Veröffentlichung als Meteoritenfall „Al-Khadhaf“ im „Meteoritical Bulletin“.

Messung der kurzlebigen Radionuklide

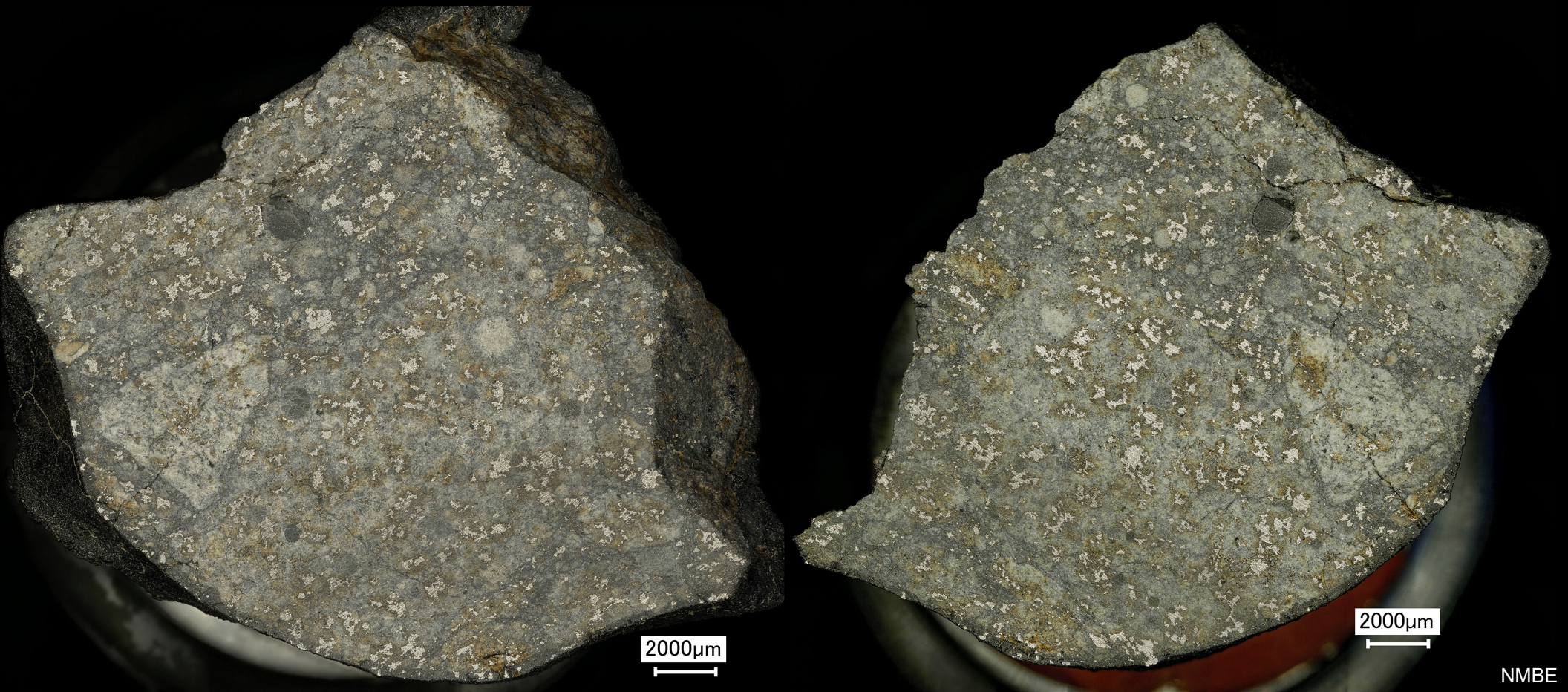


Messung der kurzlebigen Radionuklide



Meteorit Al-Khadhaf 13.851 g

Klassifizierung als gewöhnlicher Chondrit H5-6 (Brekzie), S2, W1



NMBE

Eine detaillierte Beschreibung findet man Online im „Meteoritical Bulletin“

Zusammenfassung und Anmerkungen

- „Al-Khadhaf“ → erster beobachteter Meteoritenfall im Oman
- Rekord → kleinste gefundene Einzelsteine unter den rund vierzig Meteoriten, welche basierend auf Kamera-Registrierungen geborgen wurden
- Wüsten → ideal für Meteor-Kamera-Netzwerke
- Kameras → ermöglichen Orbitberechnung in Relation zum Meteoritentyp
- Oman → kleine Meteoritenfunde mittels Kamerabeobachtung möglich
 - Häufigkeit kleiner Meteoritenfälle auf die Erde genauer quantifizierbar (sind wahrscheinlich die Häufigsten und deshalb für die Berechnung des Gesamtflusses von Meteoriten auf die Erde von Bedeutung)

SAG – Fachgruppe Meteorastronomie (FMA)

Auch in der Schweiz gibt es ein Kamera-Netzwerk mit welchem Meteore und Feuerkugeln aufgezeichnet und ausgewertet werden. Daraus resultieren wissenschaftlich wertvolle Daten über Meteorströme und mutmassliche Fallgebiete von Meteoriten. An der Mitarbeit interessierte Leute sind gerne willkommen!!

Link zur Homepage: <http://www.meteorastronomie.ch/index.html>



The screenshot displays the website for the Fachgruppe Meteorastronomie (FMA). The header features the FMA logo and the group's name. A left-hand navigation menu includes links for HOME / NEWS, FACHGRUPPE, STATIONEN DER FMA, WAS SIND METEORE?, ERGEBNISSE, AGENDA, UNTERLAGEN, LINKS, BILDER, KONTAKT, and MITGLIEDERBEREICH. The main content area is titled 'FMA - FEUERKUGEL BEOBACHTUNGSDATEN' and reports on a 'NEUJAHRS-METEOR' observed on 04.01.2024 at 19:48:03. It lists 'ALLGEMEINE DATEN' such as 'Meteorstrom: spo - sporadic meteor' and 'Datum/Zeit: 04.01.2024, 19:48:03'. Below this, a 'KARTEN' section shows six satellite-style maps of Switzerland, each with a red line indicating the meteor's path across the country.

SAG–Fachgruppe Meteorastronomie (FMA)

Aufzeichnung von der Station LOC (Locarno) von Stefano Sposetti.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !