

Berechnung: Beat Booz

Meteorspur-Berechnung basierend auf Daten mindestens zweier Beobachtungsorte

Berechnungsverfahren:

Die Meteorspur wird berechnet für alle gemeinsamen Schnittlinien der Ebenen der Beobachtungsorte, welche durch die Punkte Ort-Spuranfang-Spurende gelegt werden. Diese Methode verwendet die Punkte Spuranfang und Spurende nur um die Lage dieser Ebenen im Raum zu definieren. Sie ist deshalb auch dann gut geeignet, wenn die Anfangs- bzw. Endpunkte der von den Orten 1 und 2 beobachteten Spurbahnen nicht die gleichen sind.

Beobachtungsdaten: Geografische Koordinaten der Beobachtungsorte:

	Φ nördlich positiv, südlich negativ	λ östlich von Greenwich positiv, westlich von Greenwich negativ		Höhe über Meer
Beobachtungsorte:			Geogr. Breite Φ [° dez.]	Geogr. Länge λ [° dez.]
	Nr. Stat.-Id.	Stationsname		[km]

ORT_KOORD1 = $\begin{pmatrix} 1 & \text{"FAL"} & \text{"Sternwarte Mirasteilas Falera"} \\ 2 & \text{"BOS"} & \text{"Privatsternwarte Bos-cha"} \end{pmatrix}$

ORT_KOORD2 = $\begin{pmatrix} 46.804261 & 9.224167 & 1.288 \\ 46.777367 & 10.169708 & 1.666 \end{pmatrix}$

Mittlerer Beobachtungszeitpunkt:

Tag: **D = 6** Stunden: **H_UT = 1**
 Monat: **M = 12** Minuten: **M_UT = 47**
 Jahr: **Y = 2016** Sekunden: **S_UT = 19**
 Weltzeit: **UTC = 1.788611** [h dezimal]

Anzahl Beobachtungen (Standorte): NB = 2
 Anzahl echter Kombinationsmöglichkeiten aller Beobachtungsorte zur Verrechnung jeweils zweier Orte miteinander: NK = 1

Epoche der Äquatorkoordinaten:
 JD_{Epoche} = 2451545
 (J2000.0 = Julianisches Datum 2451545,0)

Umgerechnete bzw. vorgegebene Horizont-Koordinaten:

Richtungen zu den Anfangs- und Endpunkten der Bahnspur (Zählweise der Azimutwinkel von Süden (0°) über Westen (90°) usw):

Beobachtete Rektaszensionen, Deklinationen, Helligkeit und Leuchtdauer der Spurpunkte für die Beobachtungsorte:

Orte:	Rektaszension der Spuranfänge für Orte:	Deklinationen der Spuranfänge für Orte:	Rektaszension der Spurenden für Orte:	Deklinationen der Spurenden für Orte:	Helligkeit [Mag]:	Leuchtdauer [s]:
-------	---	---	---------------------------------------	---------------------------------------	-------------------	------------------

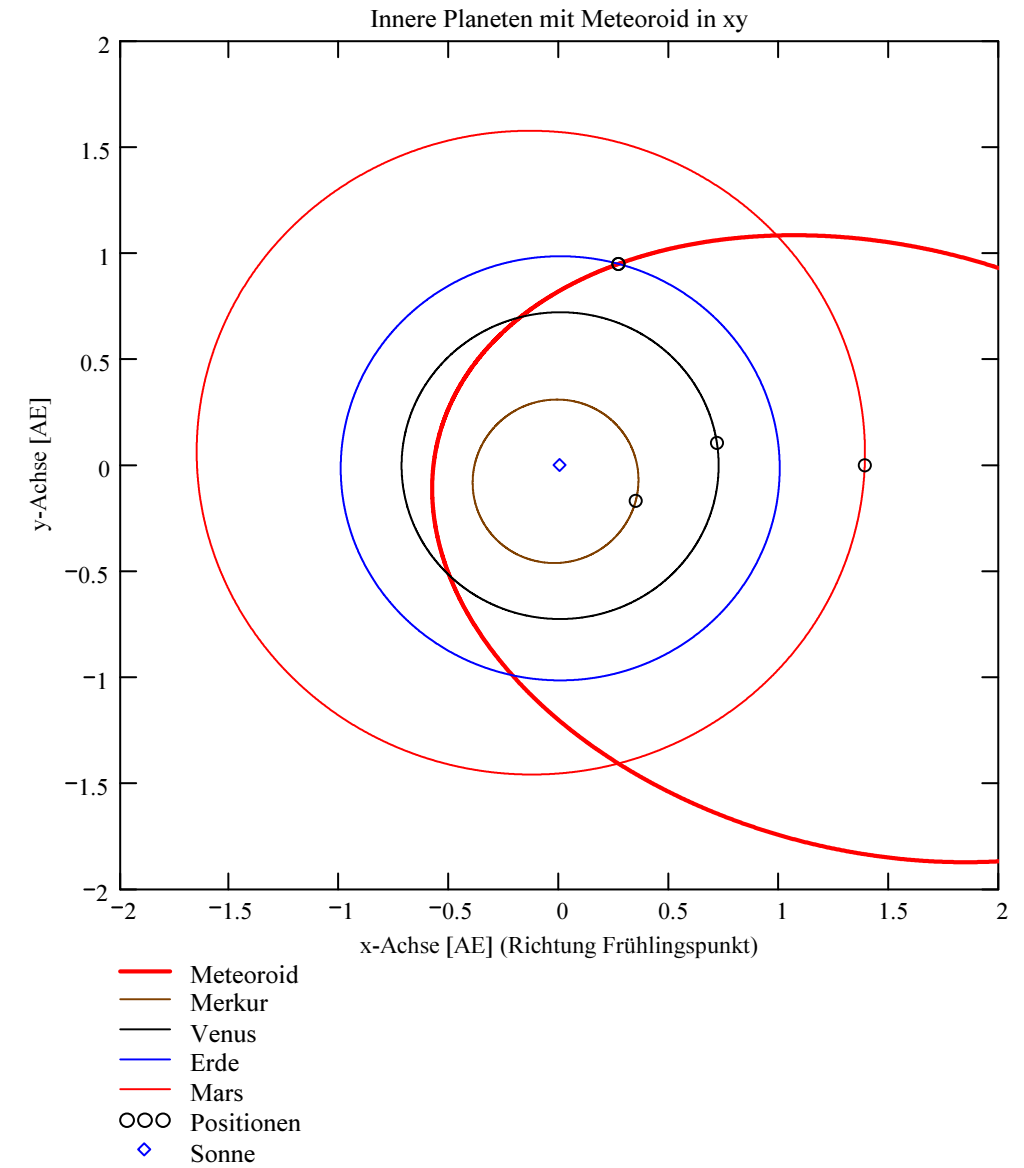
iL =

1
2

$\alpha_{Ep} = \begin{pmatrix} 136.460993 \\ 105.560885 \end{pmatrix} \text{ deg}$ $\delta_{Ep} = \begin{pmatrix} 2.498084 \\ 3.813225 \end{pmatrix} \text{ deg}$ $\alpha_{Eep} = \begin{pmatrix} 166.113403 \\ 134.26848 \end{pmatrix} \text{ deg}$ $\delta_{Eep} = \begin{pmatrix} -10.388288 \\ -16.052748 \end{pmatrix} \text{ deg}$ Mag = $\begin{pmatrix} -3.2 \\ -3.2 \end{pmatrix}$ Dur_sec = $\begin{pmatrix} 3.62 \\ 3.84 \end{pmatrix}$

Azimut Spur- anfang [°]	Azimut Spur- ende [°]	Höhe Spur- anfang [°]	Höhe Spur- ende [°]
-------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	---------------------------

HOR_KOORD = $\begin{pmatrix} 325.798217 & 303.633078 & 40.462245 & 14.687961 \\ 9.466751 & 336.602607 & 46.640583 & 24.009199 \end{pmatrix}$



Hinweis: Falls einzelne Koordinaten nicht in Äquator-, sondern in Horizont-Koordinaten vorgegeben sind erscheint auf der ganzen Zeile 0.

Hinweis: Falls keine Zeitangabe für die Leuchtdauer vorhanden ist, so erscheint 0 als Zahlenwert!

Ergebnistabelle für alle durchgeführten Berechnungen:

Durchgeführte Berechnungen (alle möglichen Kombinationen mit jeweils 2 Beobachtungsstandorten):

Legende:

- 1 Beobachtungsort 1 Nr.:
- 2 Beobachtungsort 2 Nr.:
- 3 Bodenhöhe für Schnittpkt. mit Spurverlängerung [km]:
- 4 Geog. Breite Spuranfang Ort 1 [°]:
- 5 Geog. Länge Spuranfang Ort 1 [°]:
- 6 Höhe ü. M. Spuranfang Ort 1 [km]:
- 7 Geog. Breite Spurende Ort 1 [°]:
- 8 Geog. Länge Spurende Ort 1 [°]:
- 9 Höhe ü. M. Spurende Ort 1 [km]:
- 10 Geog. Breite Spuranfang Ort 2 [°]:
- 11 Geog. Länge Spuranfang Ort 2 [°]:
- 12 Höhe ü. M. Spuranfang Ort 2 [km]:
- 13 Geog. Breite Spurende Ort 2 [°]:
- 14 Geog. Länge Spurende Ort 2 [°]:
- 15 Höhe ü. M. Spurende Ort 2 [km]:
- 16 Distanz Ort 1 zu Spuranfang [km]:
- 17 Distanz Ort 1 zu Spurende [km]:
- 18 Distanz Ort 2 zu Spuranfang [km]:
- 19 Distanz Ort 2 zu Spurende [km]:
- 20 Spurlänge Ort 1 [km]:
- 21 Spurlänge Ort 2 [km]:
- 22 Ort 1 Spur-Endpkt.-Boden [km]:
- 23 Ort 2 Spur-Endpkt.-Boden [km]:
- 24 Geog. Breite Bodenpunkt [°]:
- 25 Geog. Länge Bodenpunkt [°]:
- 26 Winkel zw. Zenit und Spurverlängerung im Bodenpunkt [°]:
- 27 Richtungswinkel Ort 1 zu Spuranfang [°]:
- 28 Richtungswinkel Ort 1 zu Spurende [°]:
- 29 Richtungswinkel Ort 2 zu Spuranfang [°]:
- 30 Richtungswinkel Ort 2 zu Spurende [°]:
- 31 Neigungswinkel Ort 1 Spuranfang [°]:
- 32 Neigungswinkel Ort 1 Spurende [°]:
- 33 Neigungswinkel Ort 2 Spuranfang [°]:
- 34 Neigungswinkel Ort 2 Spurende [°]:
- 35 Winkel zw. Beobachtungsebenen [°]:
- 36 Mittlere Relativ-Geschwindigkeit zur Erde in der Spur von Ort 1 [km/s]
- 37 Mittlere Relativ-Geschwindigkeit zur Erde in der Spur von Ort 2 [km/s]

OUT2₁ =

	1
1	1
2	2
3	0
4	46.0117
5	9.9975
6	94.4211
7	46.1983
8	10.5223
9	34.14
10	46.0071
11	9.9847
12	95.9111
13	46.2007
14	10.5293
15	33.3472
16	142.1145
17	125.0654
18	128.7863
19	76.9146
20	75.8977
21	78.7695
22	43.1738
23	42.1728
24	46.3049
25	10.8269
26	37.8634
27	242.512
28	242.8915
29	242.5028
30	242.8966
31	52.7816
32	52.3727
33	52.7916
34	52.3672
35	19.182
36	20.9662
37	20.5129

Hinweise:

Richtungswinkel der Flugrichtung des Meteors (Zählweise S (=0°) über W (=90°) nach N (=180°) und E (=270°)). Gleichbedeutend mit dem Winkel zur Herkunftsrichtung des Meteors (Zählweise analog wie Windrichtungen über N (=0°) über E nach S und W)

Winkel zwischen den Beobachtungsebenen:

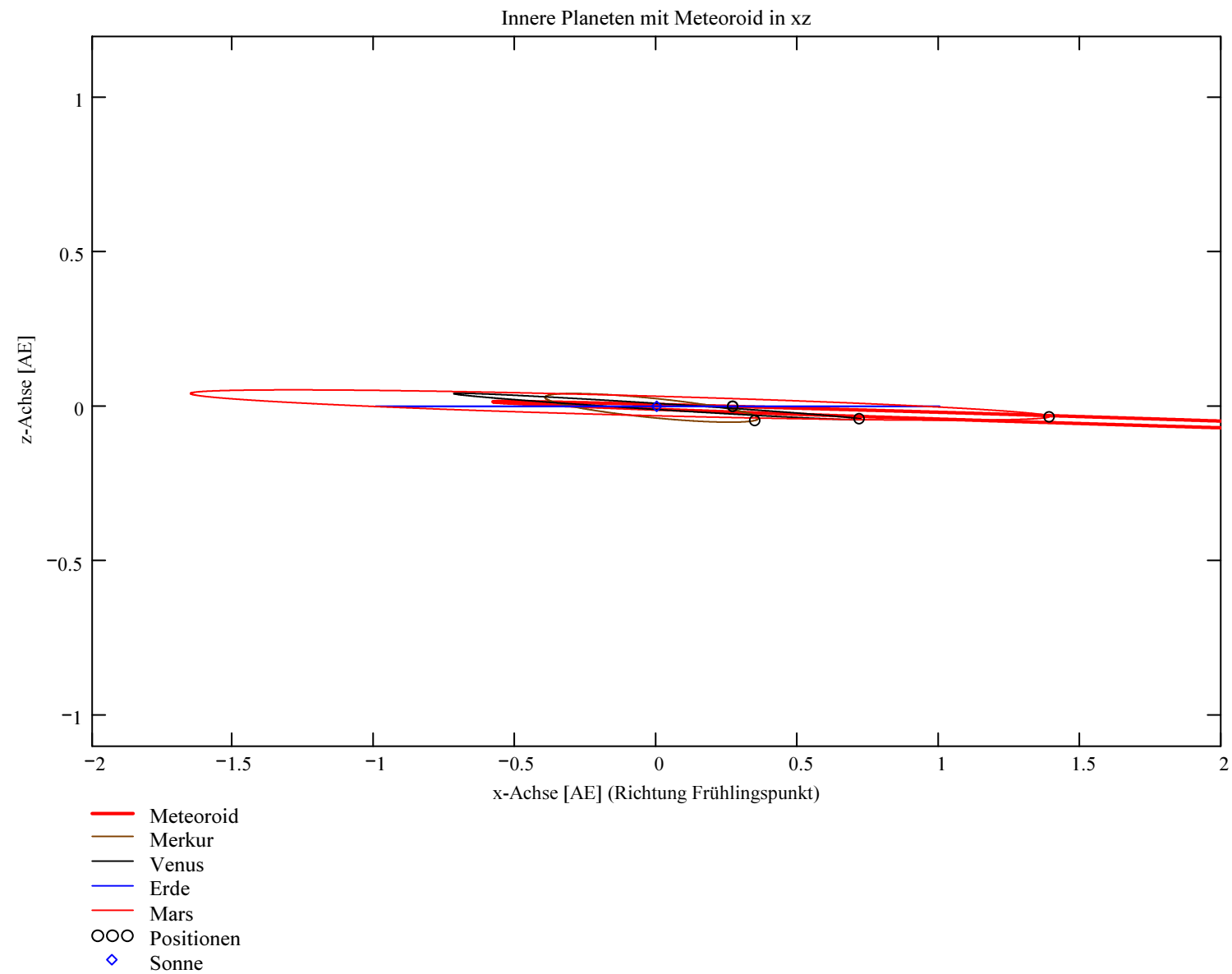
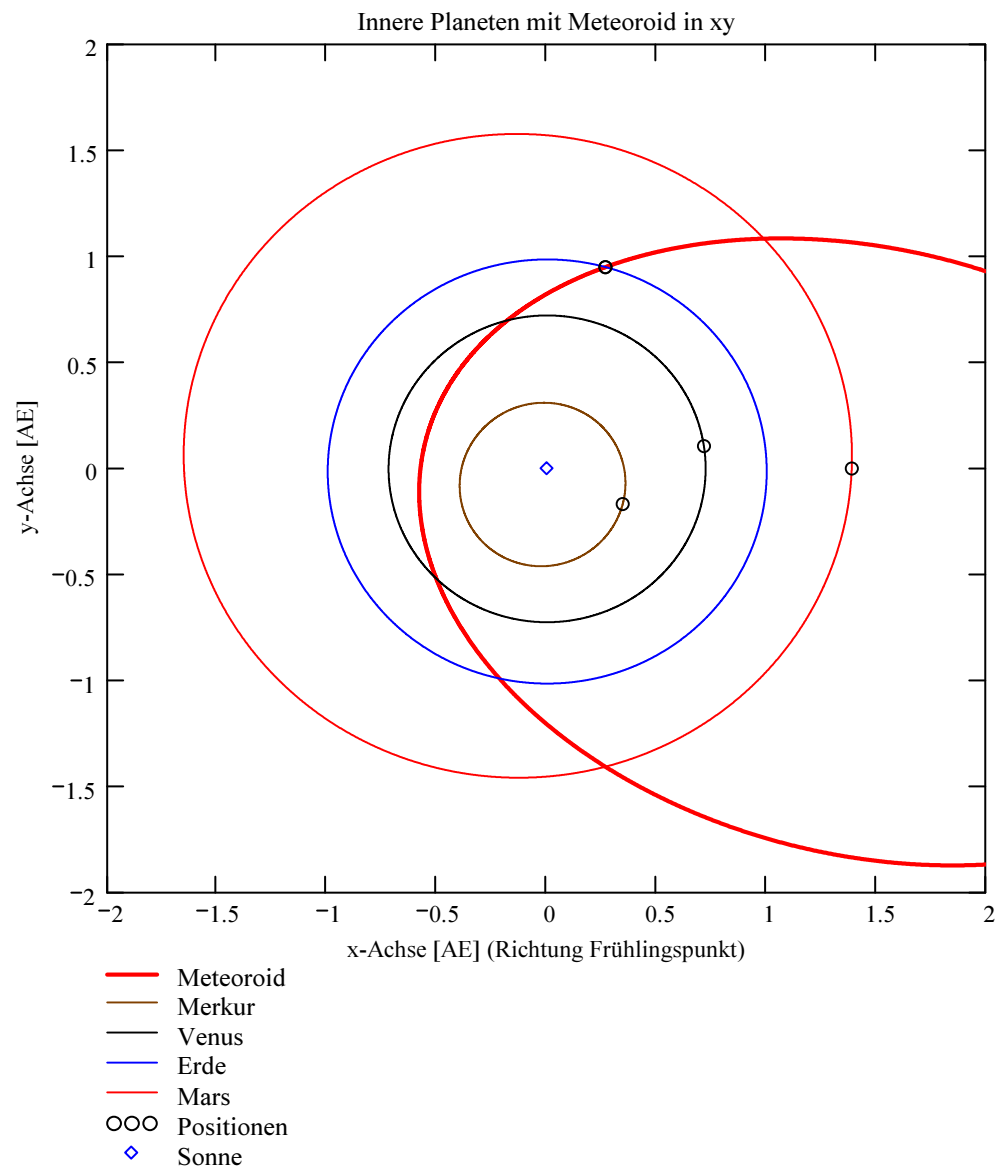
Im Idealfall liegt dieser Winkel nahe 90°. Bei sehr kleinen Winkeln (nahe 0° oder 180°) können sich Beobachtungs-Ungenauigkeiten stärker auswirken!

Bahnelemente, Bahnort und Perihelzeit für den Meteoroiden bezüglich des heliozentrischen, ekliptikalen Koordinatensystems J2000.0:

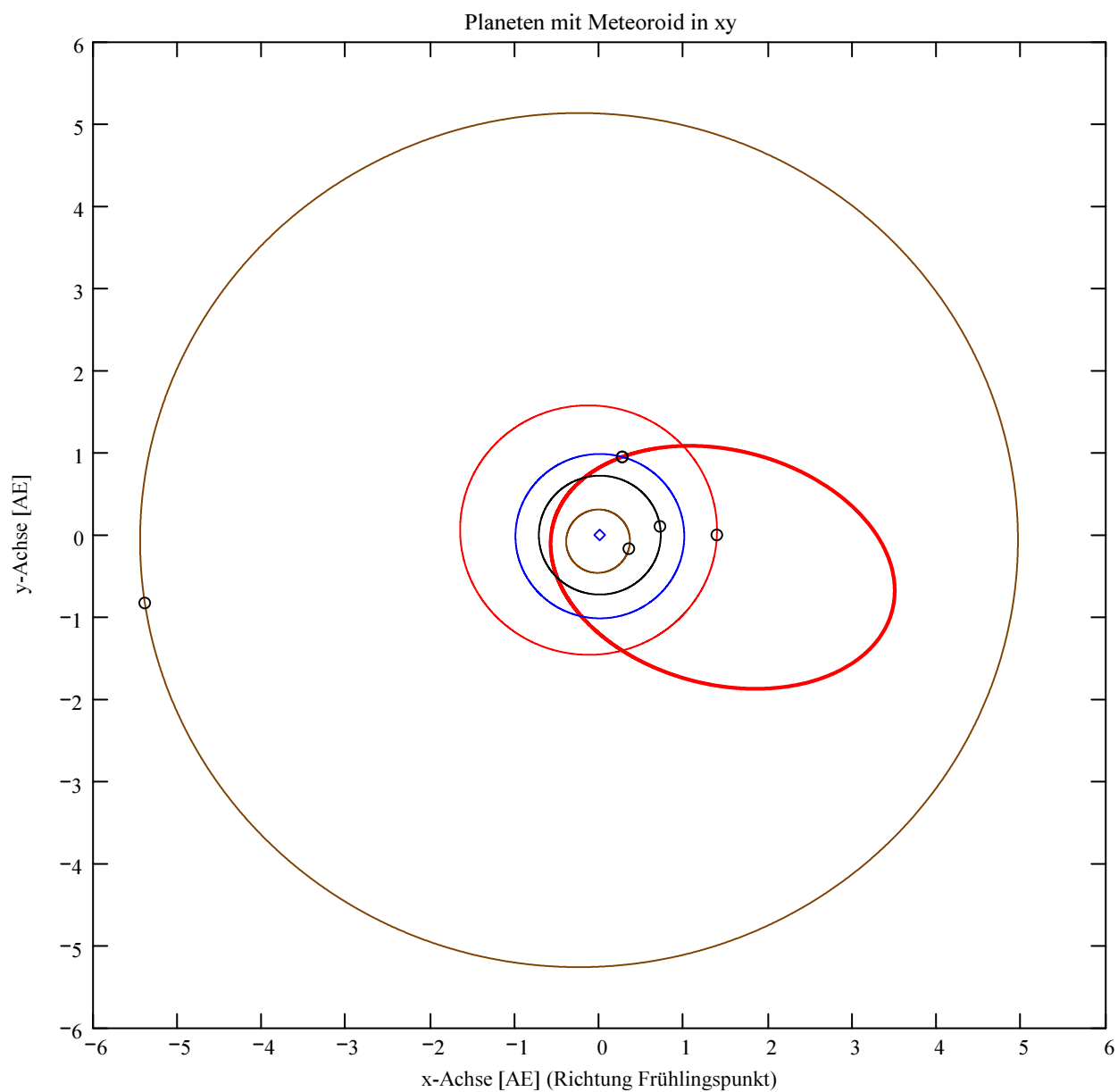
Grosse Halbachse: $a_M = 2.0776$ [AE]
 Exzentrizität: $e_M = 0.728$
 Perihelabstand: $q_M = 0.5652$ [AE]
 Bahnneigung (Winkel zwischen Ekliptik und Bahnebene): $i_{2000} = 1.6329$ deg
 Länge des aufsteigenden Knotens: $\Omega_{2000} = 74.1796$ deg
 Winkel zwischen Perihels und aufsteigendem Knoten: $\omega_{2000} = 90.6561$ deg
 Perihellänge: $\varpi_{2000} = 164.8357$ deg

Wahre Anomalie: $v_{\text{Datum}} = 269.3059$ deg
 Umlaufzeit: $T_U = 1093.845$ [Tage]
 Perihelzeit (UTC): $t_0 = 2456680.04309382$ [Julianisches Datum]
 Datum: Tag = 22, Monat = 1, Jahr = 2014
 Zeit (UTC): Stunden = 13, Minuten = 2, Sekunden = 3.306
 Tage_dez = 22.543094

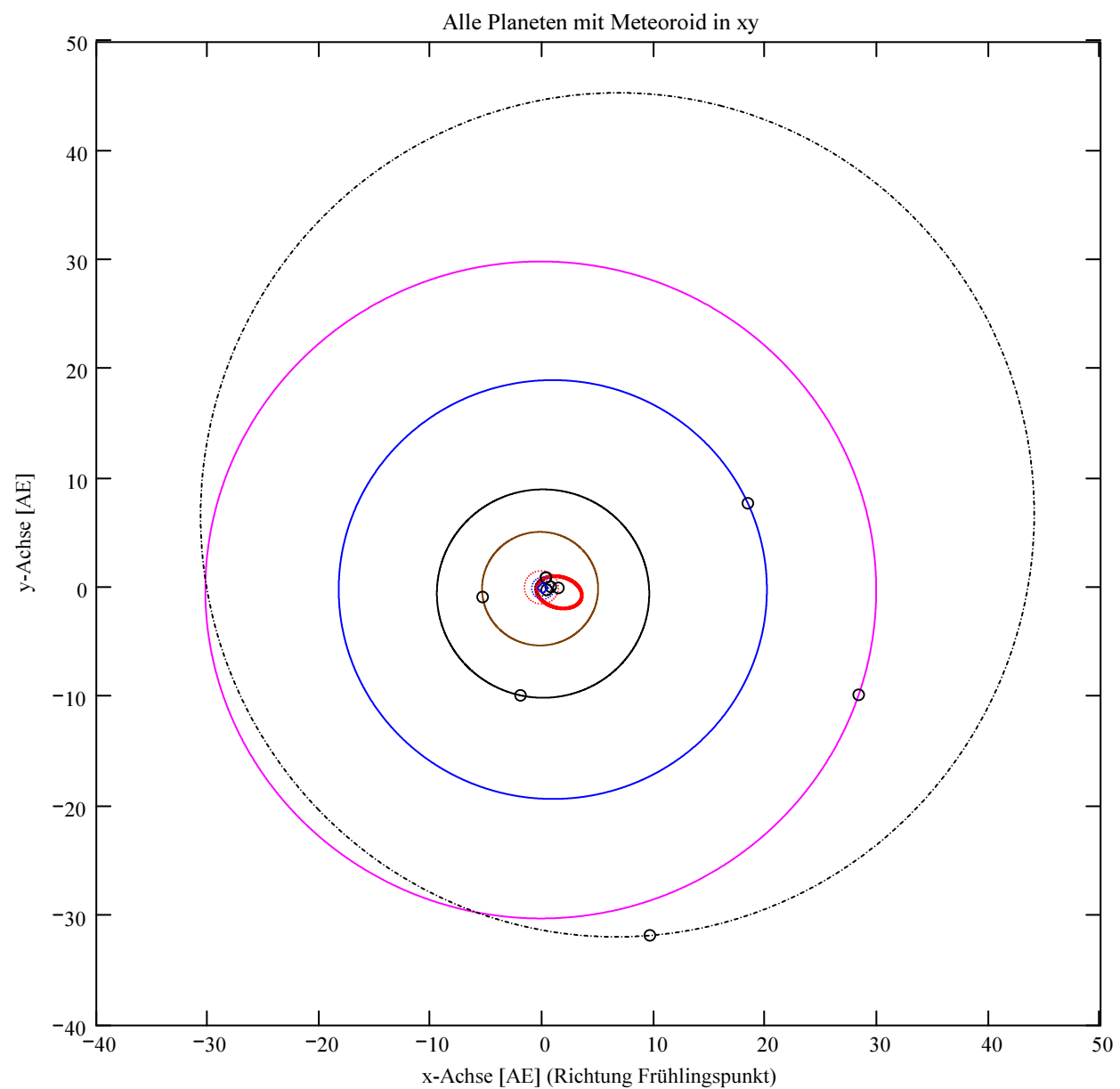
Geschwindigkeit des Meteoroiden:
 Beobachtet: $|v_{M_Beob}| = 24.219$ [km/s]
 Geozentrisch: $|v_u| = 21.708$ [km/s]
 Heliozentrisch: $|v_{M_hel_ekl_Dat}| = 37.063$ [km/s]
 Radiantposition:
 Scheinbar: $\alpha_{Rad_s} = 76.416$ deg, $\delta_{Rad_s} = 21.7$ deg Äquatorkoordinaten J2000.0
 Geozentrisch: $\alpha_{Rad_w2} = 74.104$ deg, $\delta_{Rad_w2} = 19.949$ deg Äquatorkoordinaten J2000.0
 Heliozentrisch: $\lambda_{Rad_heli} = 20.446$ deg, $\beta_{Rad_heli} = -1.317$ deg



Berechnung: Beat Booz



- Meteoroid
- Merkur
- Venus
- Erde
- Mars
- Jupiter
- Saturn
- Uranus
- Neptun
- Pluto
- OOO Positionen
- ◇ Sonne



- Meteoroid
- Merkur
- Venus
- Erde
- Mars
- Jupiter
- Saturn
- Uranus
- Neptun
- Pluto
- OOO Positionen
- ◇ Sonne

Ergebnisse für die mittlere Trajektorie und die auf sie reduzierten Beobachtungspunkte

Unter "Gew" sind die Trajektorienkombinationen, welche für die Berechnung der mittleren Trajektorie verwendet wurden, ersichtlich.

Definition der Beobachtungen, welche für die Berechnung der mittleren Trajektorie berücksichtigt werden:
 (0 = wird nicht berücksichtigt
 1 = wird berücksichtigt).
 Für die Gewichtung werden die Ebenen-Schnittwinkel mit ausgewertet.

Vorhandene Indexpaarungen:
 (Zahl vor Dezimalpunkt = Orte 1
 Zahl nach Dezimalpunkt = Orte 2)

Auswahl für die Berechnung der mittleren Trajektorie:

IndPaar = (1.2)

$$\text{Gew} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

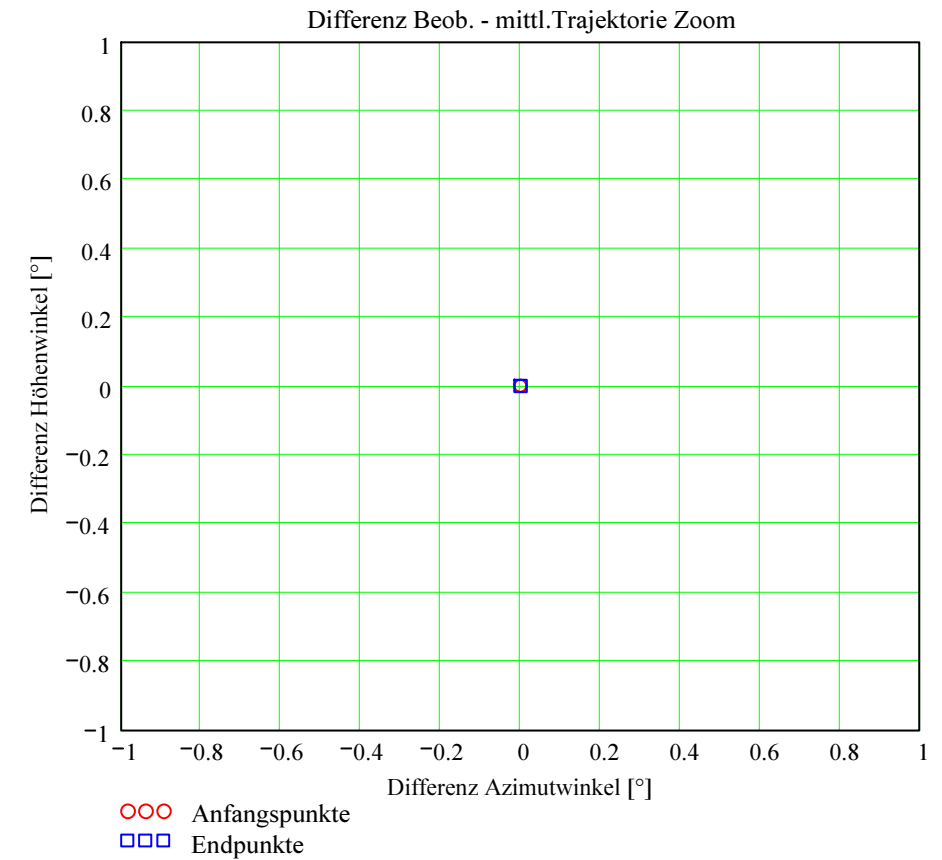
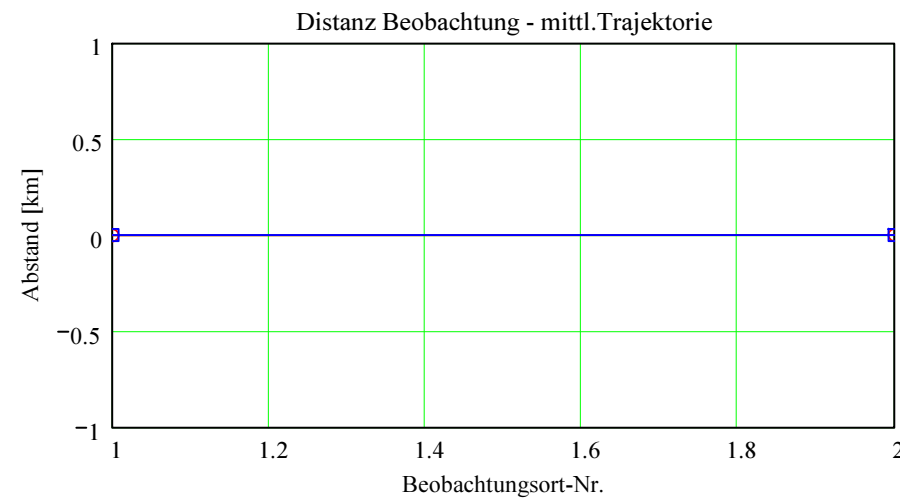
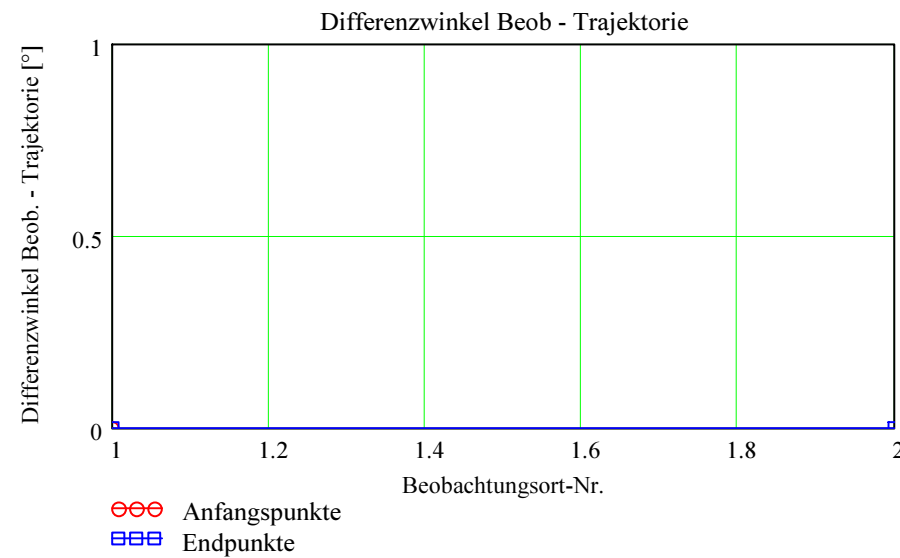
Nr. Stat.-Id. Beobachtungsort

$$\text{ORT_KOORD1} = \begin{pmatrix} 1 & \text{"FAL"} & \text{"Sternwarte Mirasteilas Falera"} \\ 2 & \text{"BOS"} & \text{"Privatsternwarte Bos-cha"} \end{pmatrix}$$

Berechnung: Beat Booz



Abweichung der vermessenen Richtungen zu den Anfangs- und Endpunkten von der berechneten mittleren Trajektorie.



Ergebnisse für die mittlere Trajektorie und die auf sie reduzierten Beobachtungspunkte

Nr. Stat.-Id. Beobachtungsort

$$\text{ORT_KOORD1} = \begin{pmatrix} 1 & \text{"FAL"} & \text{"Sternwarte Mirasteilas Falera"} \\ 2 & \text{"BOS"} & \text{"Privatsternwarte Bos-cha"} \end{pmatrix}$$

Mittlere Trajektorie:

Legende:

- 1 Beobachtungsort:
- 2 Geografische Breite Spuranfang [°]:
- 3 Geografische Länge Spuranfang [°]:
- 4 Höhe ü. M. Spuranfang [km]:
- 5 Richtungswinkel zum Spuranfang [°]:
- 6 Neigungswinkel zum Spuranfang [°]:
- 7 Geografische Breite Spurende [°]:
- 8 Geografische Länge Spurende [°]:
- 9 Höhe ü. M. Spurende [km]:
- 10 Richtungswinkel zum Spurende [°]:
- 11 Neigungswinkel zum Spurende [°]:

	1	2
1	"FAL"	"BOS"
2	46.011656	46.00707
3	9.997496	9.984728
4	94.421088	95.911098
5	242.511972	242.502752
6	52.781582	52.791565
7	46.198257	46.200725
8	10.522304	10.529315
9	34.140013	33.347197
10	242.891542	242.896621
11	52.372657	52.367213

mTr₁ =

Punkte auf mittlerer Trajektorie:

Legende:

- 1 Beobachtungsort:
- 2 Azimutwinkel Spuranfang [°]:
- 3 Höhenwinkel Spuranfang [°]:
- 4 Distanz Beobachtungsort - Spuranfang [km]:
- 5 Differenz Beobachtungsort - Spuranfang in Azimut [°]:
- 6 Differenz Beobachtungsort - Spuranfang in Höhe [°]:
- 7 Differenzwinkel Beobachtungsort - Spuranfang [°]:
- 8 Kleinster Abstand Beob. Spuranfang [km]:
- 9 Azimutwinkel Spurende [°]:
- 10 Höhenwinkel Spurende [°]:
- 11 Distanz Beobachtungsort - Spurende [km]:
- 12 Differenz Beobachtungsort - Spurende in Azimut [°]:
- 13 Differenz Beobachtungsort - Spurende in Höhe [°]:
- 14 Differenzwinkel Beobachtungsort - Spurende [°]:
- 15 Kleinster Abstand Beob. Spurende [km]:

	1	2
1	"FAL"	"BOS"
2	325.798217	9.466751
3	40.462245	46.640583
4	142.114451	128.78629
5	-0	0
6	0	0
7	0	0.000001i
8	-0	0
9	303.633078	336.602607
10	14.687961	24.009199
11	125.065431	76.914576
12	0	0
13	-0	0
14	0	0
15	0	0

bTr₁ =

Ergebnisse aus den auf die mittlere Trajektorie projizierten Messpunkten der xml-Datei

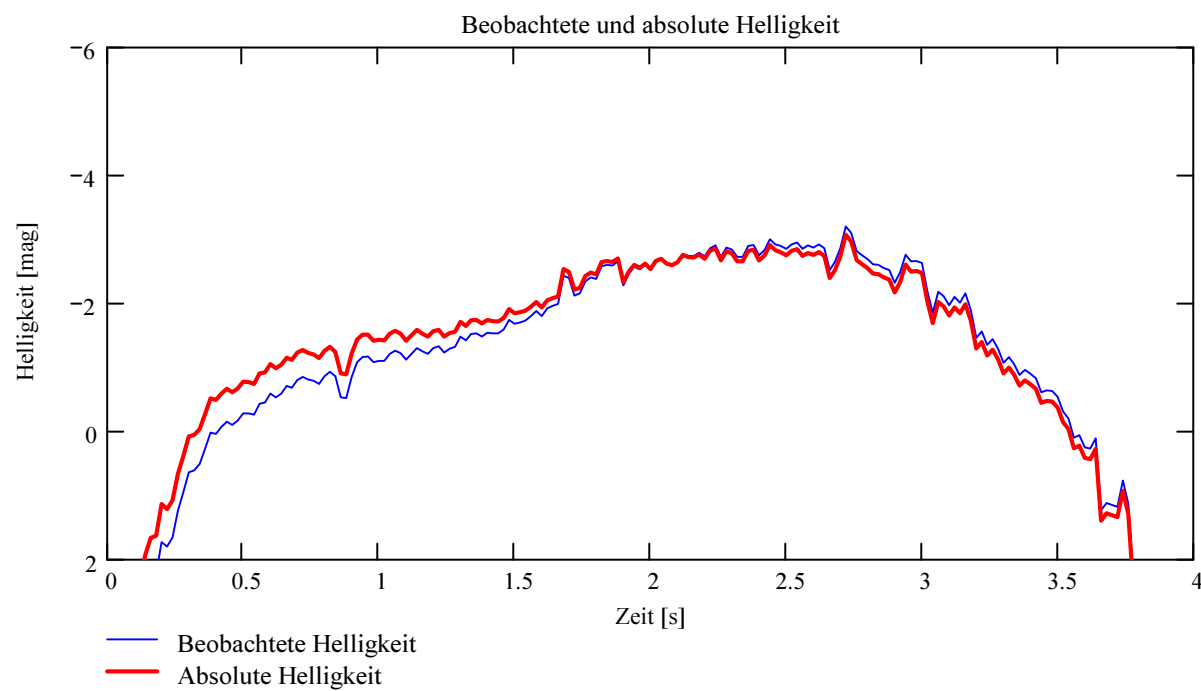
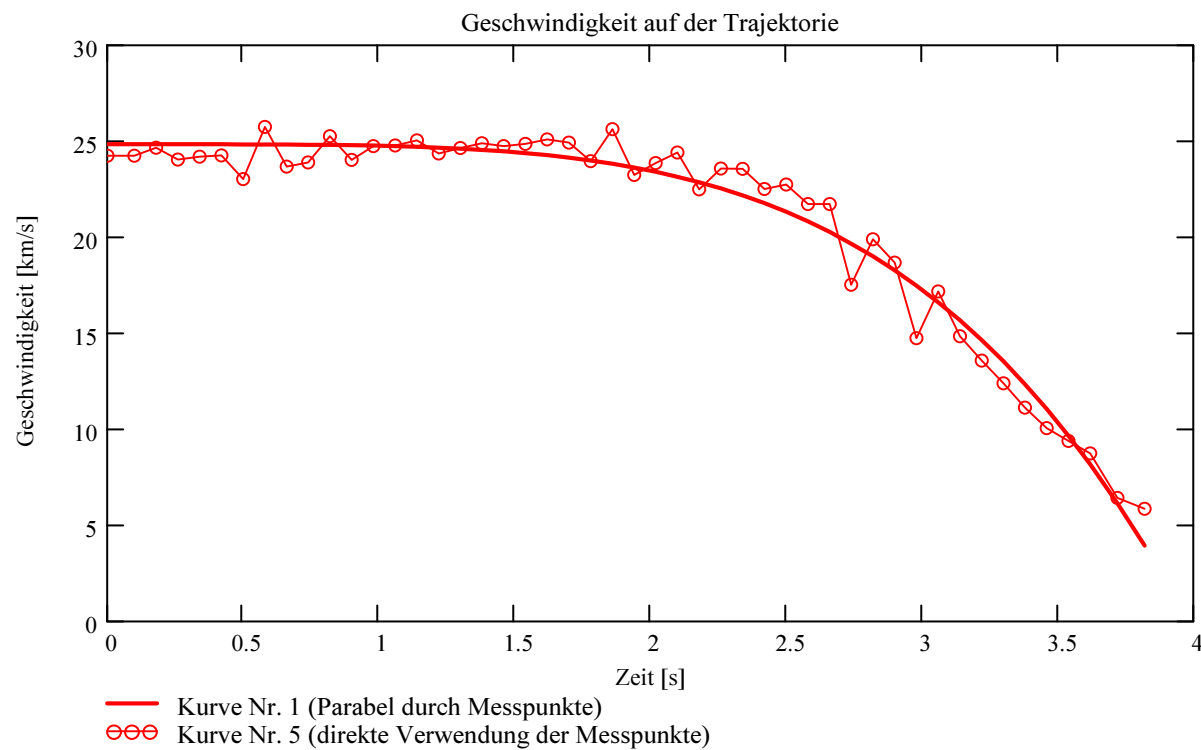
Ausgewerteter Beobachtungsort (xml-Datei): Stat_Id = "BOS"

Minimale Zeitdifferenz zwischen den verwendeten Messpunkten:

$\Delta T_{MP} = 0.08$ [s]

Dieser Wert wird für jedes Meteorereignis auf eine geringe Welligkeit des Geschwindigkeitsverlaufes optimiert.

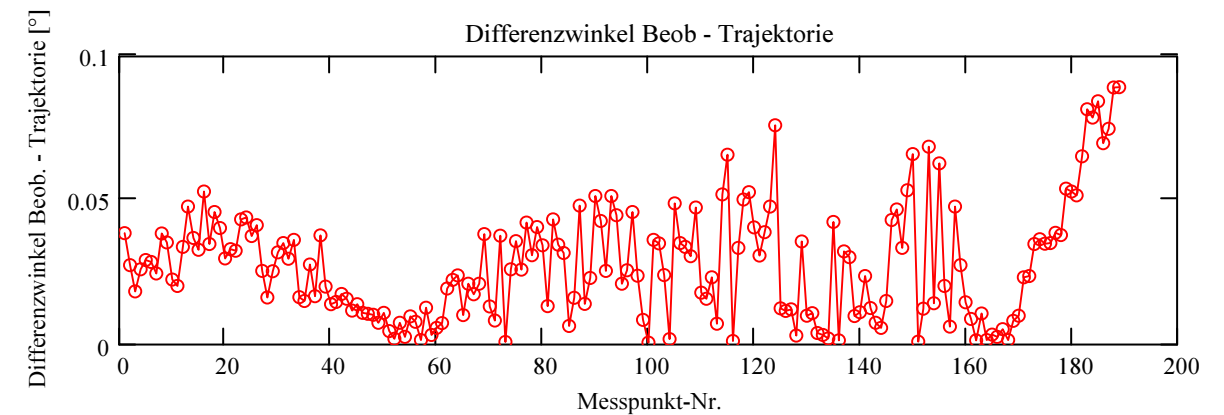
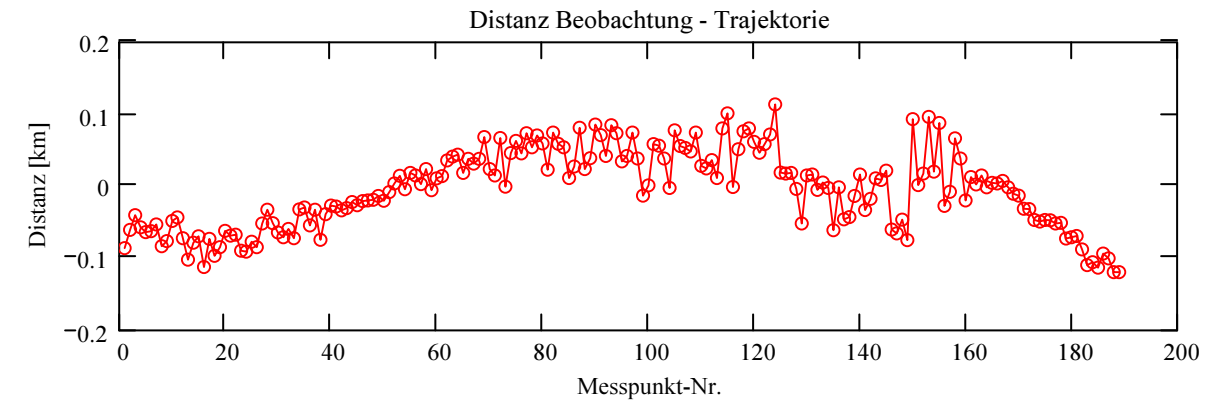
Berechnung: Beat Booz



Abschätzung der Meteormasse (basierend auf der Formel von Luigi Jacchia (Smithsonian Astrophysical Laboratory)):

Anfangsmasse: $m_{Meteor} = 0.028$ [kg]

Abweichung der Beobachtungen bzw Messpunkte von der mittleren Trajektorie:



Trajektorie für Beobachtungsort:

Stat_Id = "BOS"

Anfangspunkt:

$\Phi_{Beob_SP_1} = 46.007074$ deg

$\lambda_{Beob_SP_1} = 9.984738$ deg

$H_{Beob_SP_1} = 95.91$ [km]

$NeigWinkel_{Beob_1} = 52.791557$ deg

$Richtungswinkel_{Beob_1} = 242.502759$ deg

Endpunkt:

$\Phi_{Beob_SP_N_pkt} = 46.200726$ deg

$\lambda_{Beob_SP_N_pkt} = 10.529319$ deg

$H_{Beob_SP_N_pkt} = 33.347$ [km]

$NeigWinkel_{Beob_N_pkt} = 52.36721$ deg

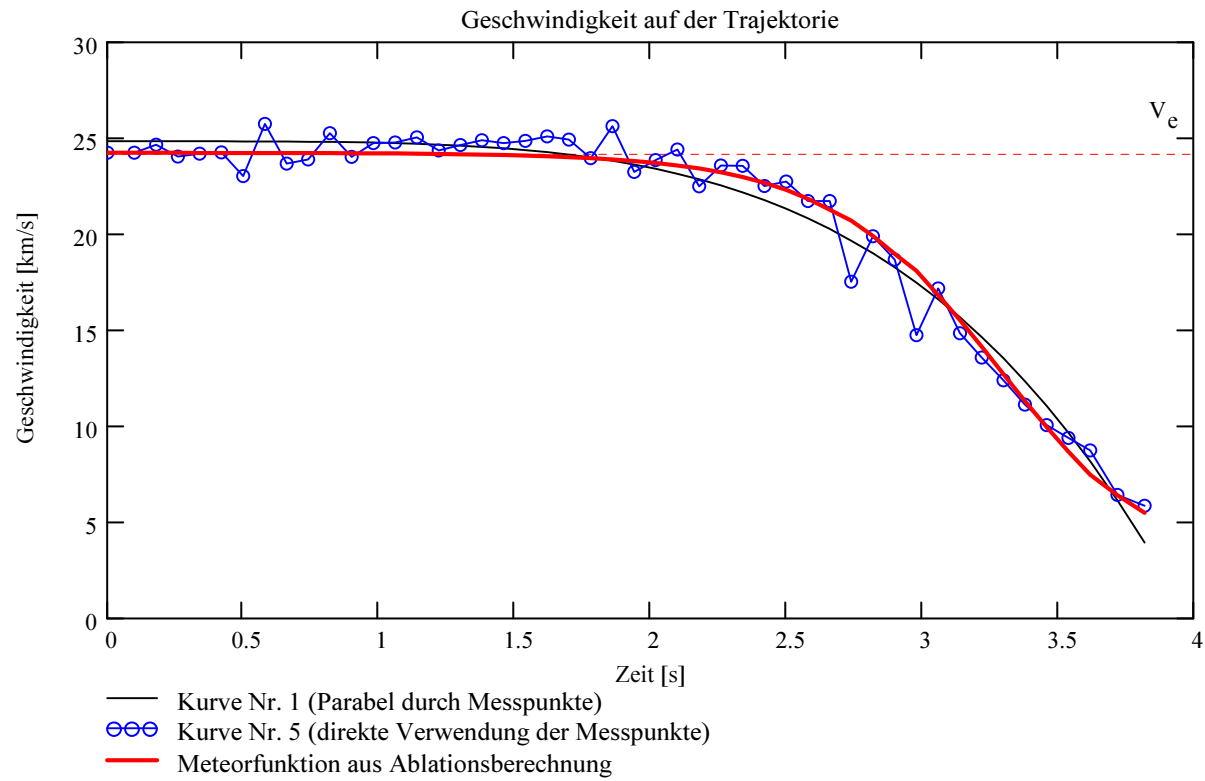
$Richtungswinkel_{Beob_N_pkt} = 242.896624$ deg

Ergebnisse aus Aerodynamik und Helligkeit (Ablationsphase)

Nach der Methode "HAL Constraining the luminous efficiency of meteors" von Maria Gritsevich und Detlef Koschny.

Ausgewerteter Beobachtungsort (xml-Datei): Stat_Id = "BOS"

Vergleich der Geschwindigkeit aus Messpunkten und Meteorfunktion aus Ablation:



Neigungswinkel der Trajektorie (bezüglich der Horizontalen!):

$$\gamma = 52.586 \text{ deg}$$

Endgeschwindigkeit:

$$V_f(v_{ne}) = 5.477 \text{ [km/s]}$$

Endbeschleunigung:

$$V_i^\circ(v_{ne}) = -8.372 \text{ [km/s}^2\text{]}$$

Ballistischer Koeffizient:

$$\alpha = 58.437$$

Hinweis: Die Helligkeitswerte werden zur Berechnung der Parameter α und β nicht benötigt!!

Massenverlust-Parameter:

$$\beta = 1.606$$

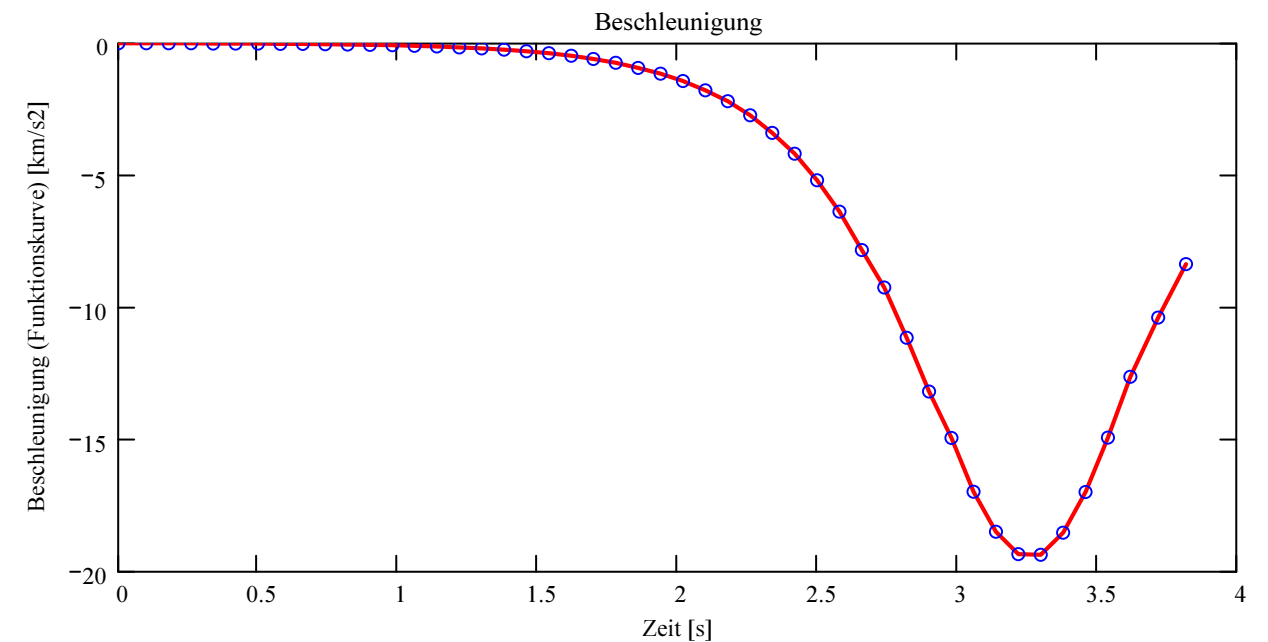
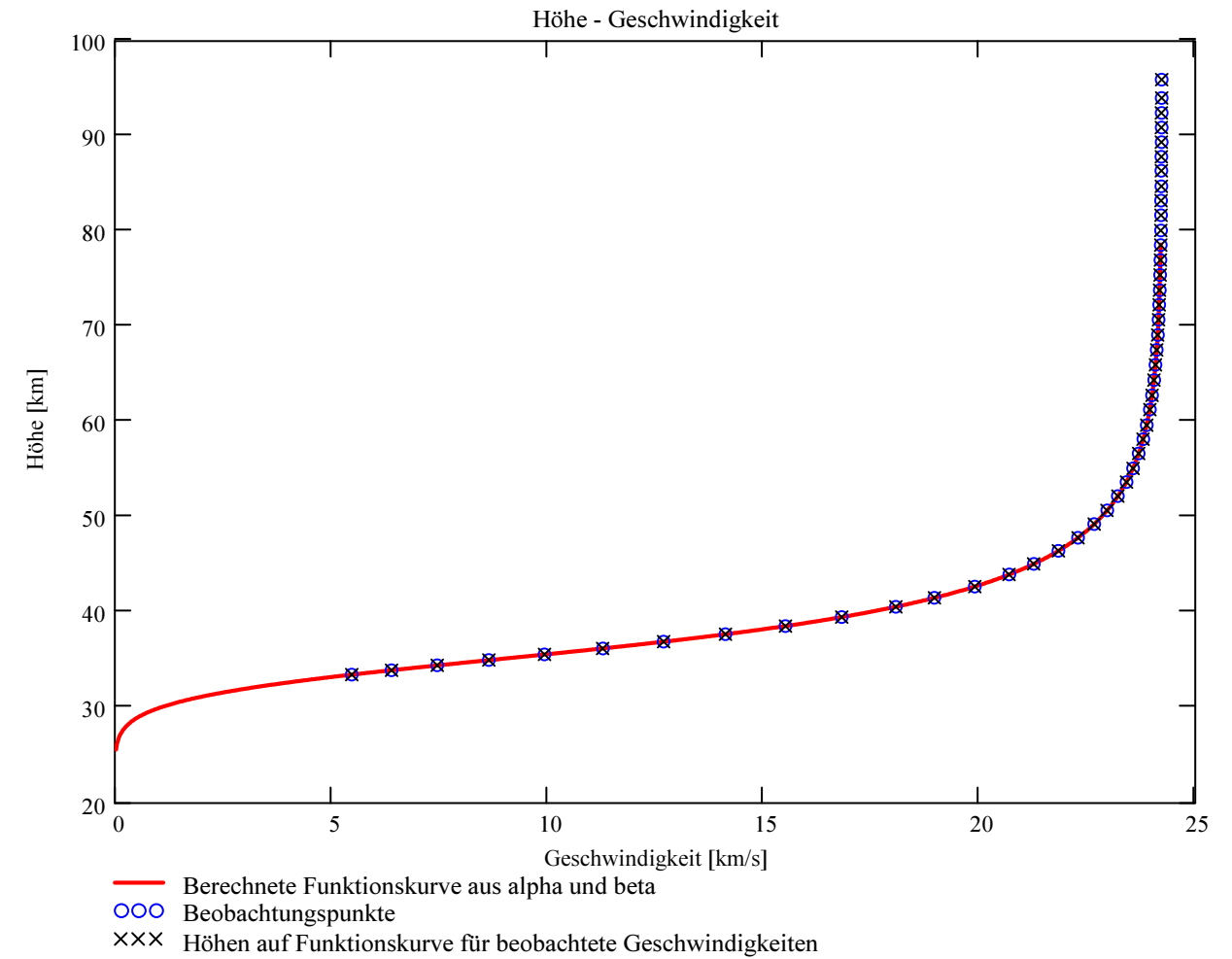
Dichte des Meteors (bulk: density) -> Vorgabewert!

$$\rho_m = 3500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

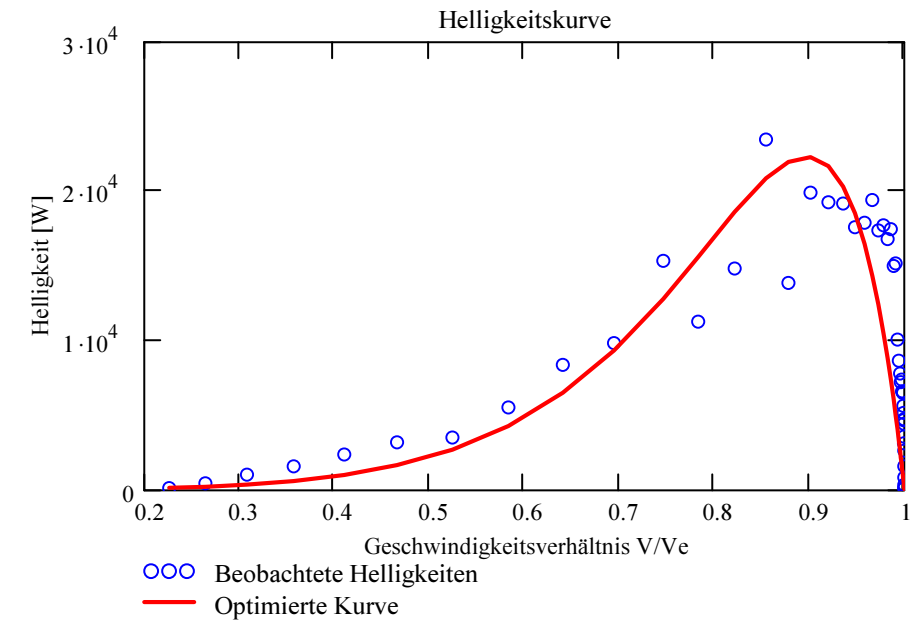
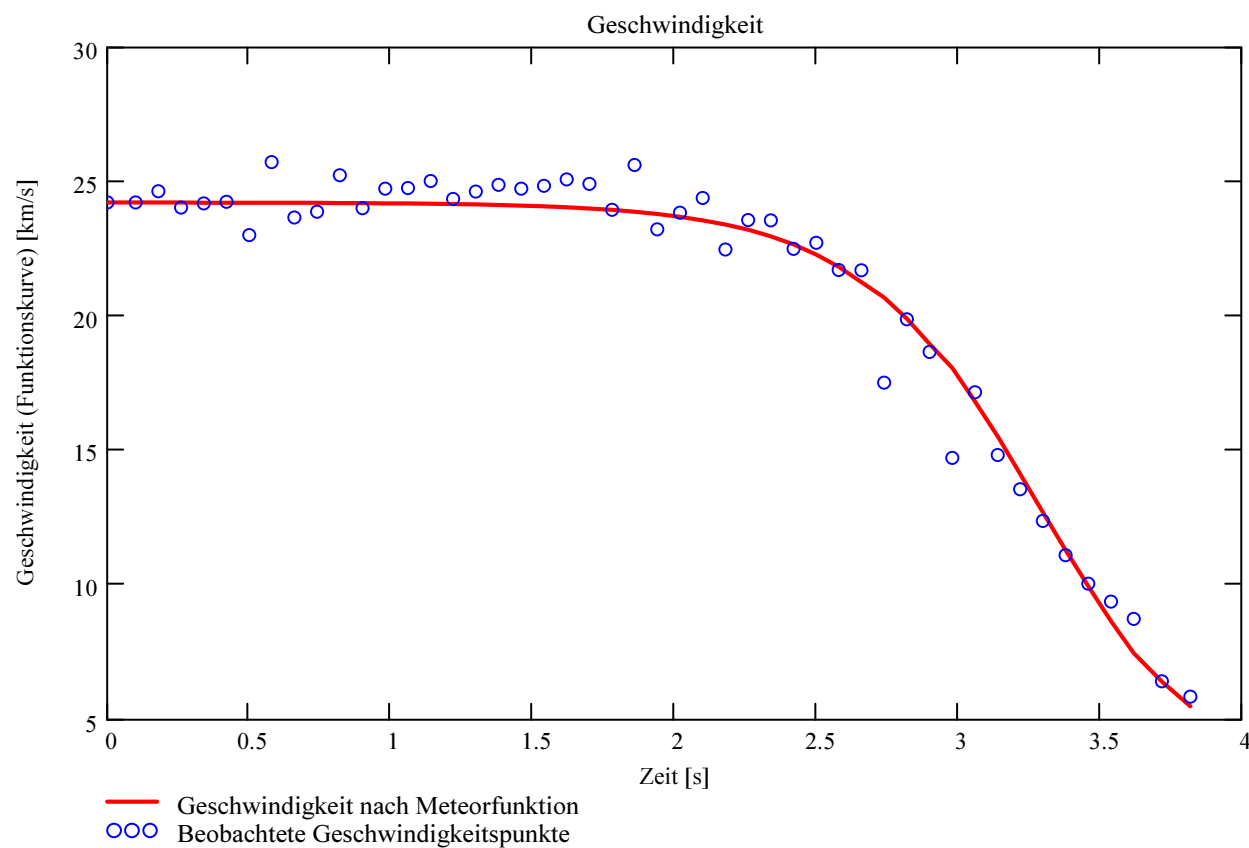
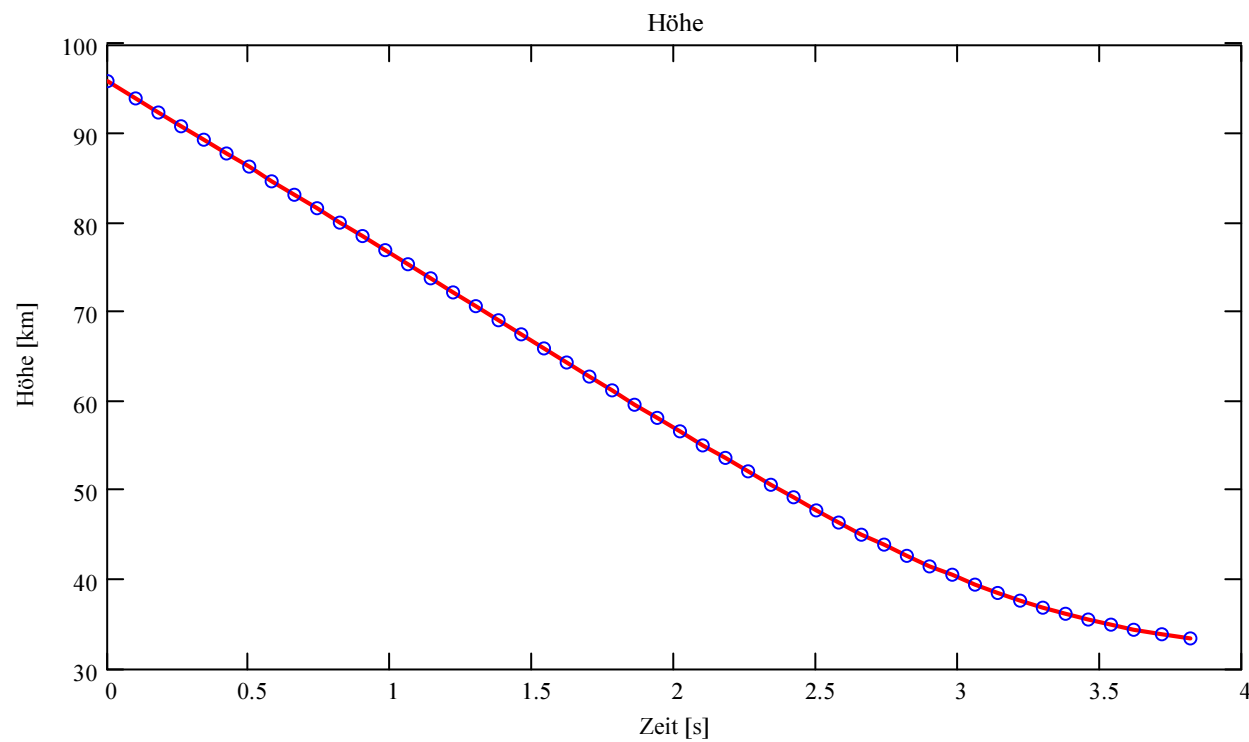
$$\text{Prod}_{G16_{ai}} = \frac{\tau \cdot (c_d \cdot A_e)^3}{\rho_m^2}$$

$$\text{Prod}_{G16_{ai}} =$$

$$0.000081 \text{ [cm}^6\text{/g}^2\text{]}$$



Berechnung: Beat Booz



Ergebnisse aus Helligkeitskurve:

Rotations-Parameter:

$$\mu = 0.567$$

Ablationskoeffizient:

$$\sigma_{\min} = 0.00548 \quad \text{für } \mu_{\min}=0$$

$$\sigma_{\max} = 0.01643 \quad \text{für } \mu_{\max}=2/3$$

$$\sigma = 0.0126 \quad \text{für: } \mu = 0.567$$

Annahme für zwei Produkte aus c_d (Widerstandskoeffizient) und A_e (Vor-atmosphärischer Form-Faktor=shape coefficient), welche für die Berechnung des Massenverlaufes verwendet werden (siehe Theorie):

Für Kugelform:

$$\text{Prod}_{cd_Ae_Kugel} = 1.21$$

$$\tau_{Kugel_ai} =$$

$$0.000562$$

Leuchteffizienz-Koeffizient τ (luminous efficiency coefficient):

Anfangsmasse:

$$M_1 = 0.142 \quad [\text{kg}]$$

Endmasse bei $\mu=0$:

$$M_{Kugel_mu_{\min}}(v_{ne}) = 0.031 \quad [\text{kg}]$$

Endmasse bei $\mu=2/3$:

$$M_{Kugel_mu_{\max}}(v_{ne}) = 0.001 \quad [\text{kg}]$$

Endmasse für: $\mu = 0.567$

$$M_{Kugel_mu}(v_{ne}) = 0.004 \quad [\text{kg}]$$

Für Parallelepiped (mit Kantenlängen 2L, 3L, 5L):

$$\text{Prod}_{cd_Ae_Parallelepiped} = 1.554$$

$$\tau_{Parallelepiped_ai} =$$

$$0.000265$$

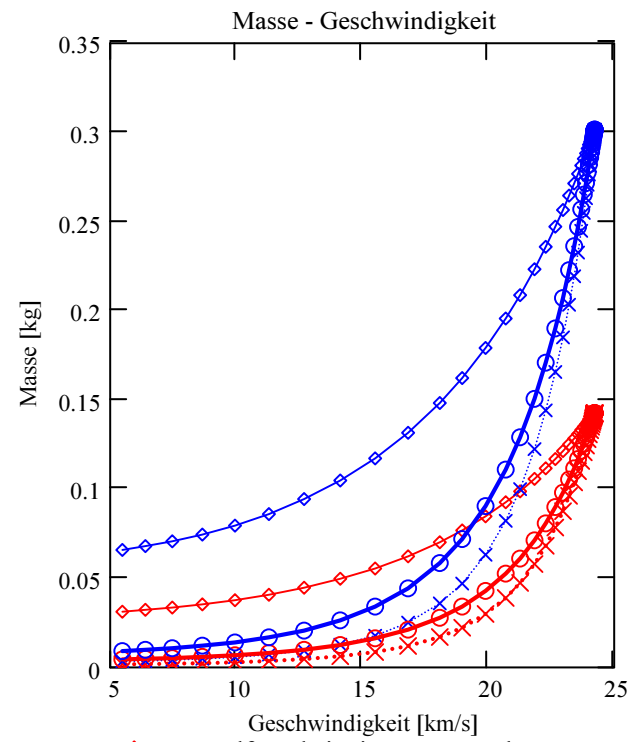
$$M_2 = 0.302 \quad [\text{kg}]$$

$$M_{PE_mu_{\min}}(v_{ne}) = 0.066 \quad [\text{kg}]$$

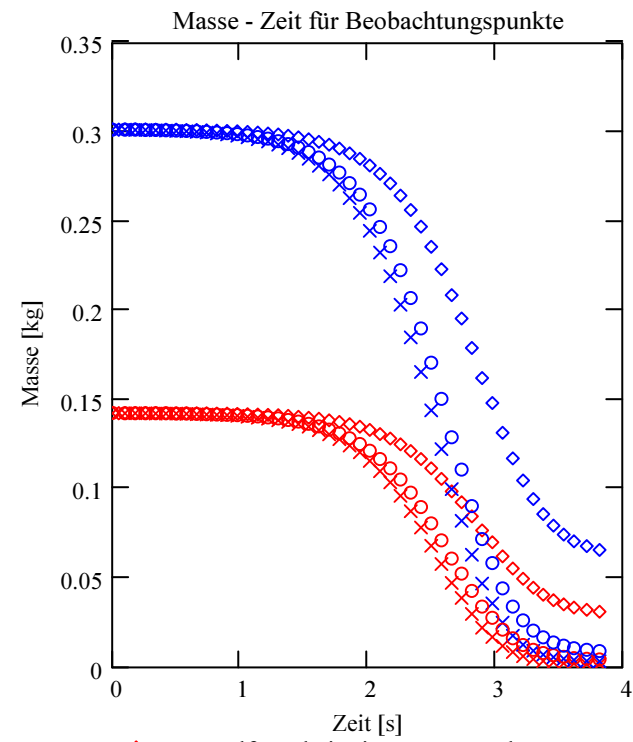
$$M_{PE_mu_{\max}}(v_{ne}) = 0.003 \quad [\text{kg}]$$

$$M_{PE_mu}(v_{ne}) = 0.009 \quad [\text{kg}]$$

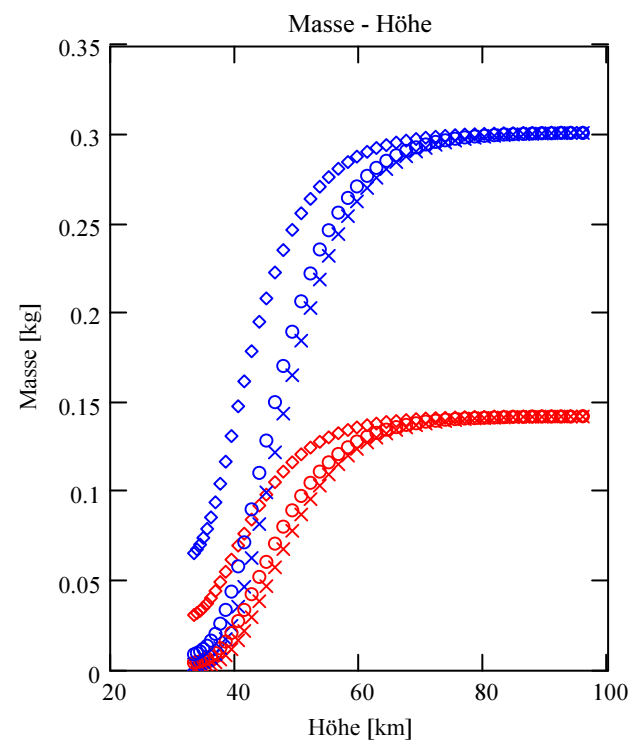
Verlauf der Massenabnahme für Kugelform und Parallelepiped (mit Kantenlängen 2L, 3L, 5L) für $\mu = 0$, $\mu = 2/3$ und für den berechneten Wert μ (μ = Parameter für mögliche Rotation des Meteoroiden):



- ◇ Kugelform bei min. Massenverlust
- ××× Kugelform bei max. Massenverlust
- ◇ Parallelepiped-Form bei min. Massenverlust
- ××× Parallelepiped-Form bei max. Massenverlust
- Kugelform für μ
- Parallelepiped-Form für μ

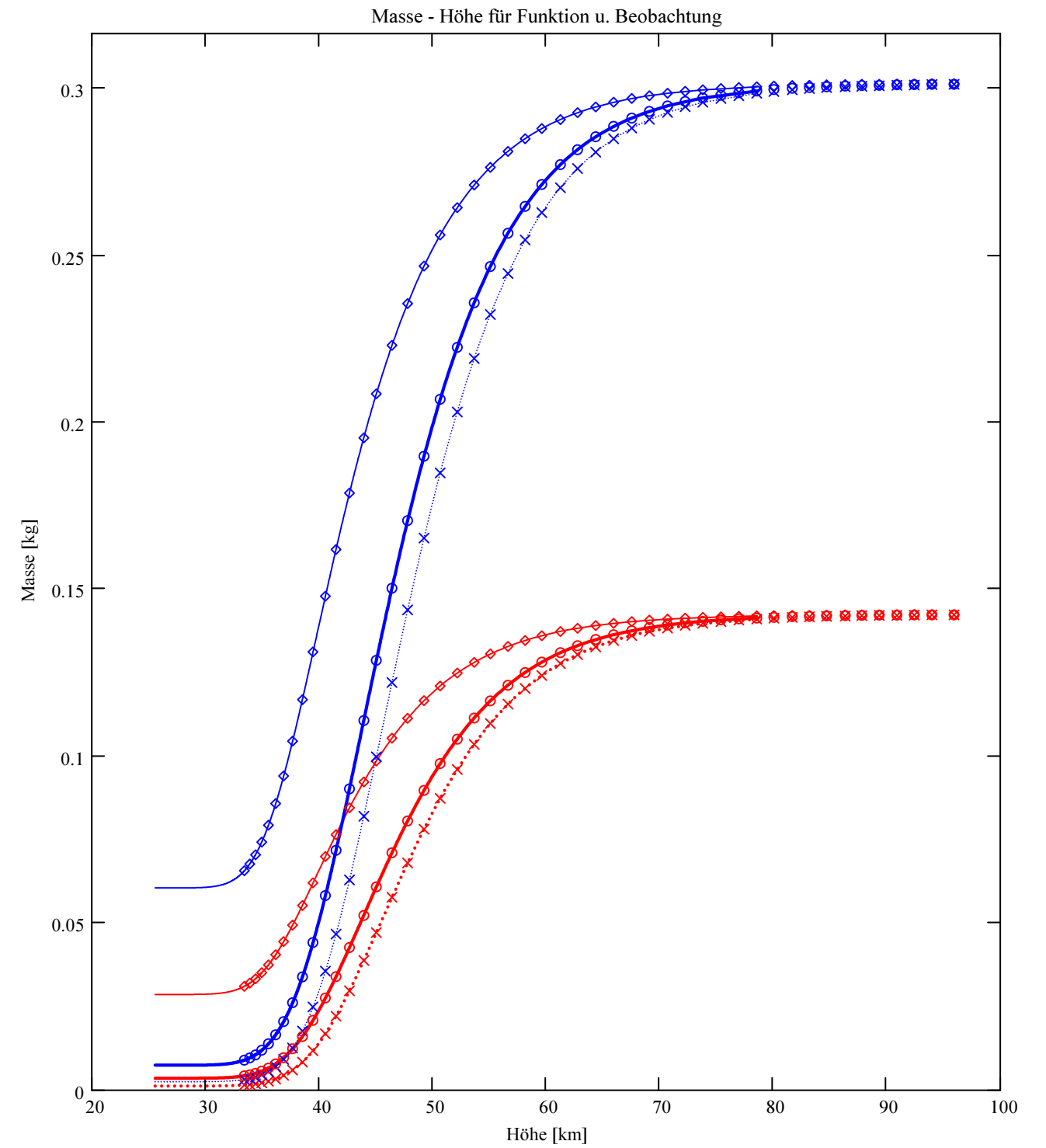


- ◇ Kugelform bei min. Massenverlust
- ××× Kugelform bei max. Massenverlust
- ◇ Parallelepiped-Form bei min. Massenverlust
- ××× Parallelepiped-Form bei max. Massenverlust
- Kugelform für μ
- Parallelepiped-Form für μ



- ◇ Kugelform bei min. Massenverlust
- ××× Kugelform bei max. Massenverlust
- ◇ Parallelepiped-Form bei min. Massenverlust
- ××× Parallelepiped-Form bei max. Massenverlust
- Kugelform für μ
- Parallelepiped-Form für μ

Verlauf der Massenabnahme, basierend auf der berechneten, optimierten Funktionskurve, sowie für die Beobachtungspunkte.



- Kugelform bei min. Massenverlust (Funktionswerte)
- ⋯ Kugelform bei max. Massenverlust (Funktionswerte)
- Parallelepiped-Form bei min. Massenverlust (Funktionswerte)
- ⋯ Parallelepiped-Form bei max. Massenverlust (Funktionswerte)
- Kugelform für μ (Funktionswerte)
- Parallelepiped-Form für μ (Funktionswerte)
- ◇ Kugelform bei min. Massenverlust (Beobachtungswerte)
- ××× Kugelform bei max. Massenverlust (Beobachtungswerte)
- ◇ Parallelepiped-Form bei min. Massenverlust (Beobachtungswerte)
- ××× Parallelepiped-Form bei max. Massenverlust (Beobachtungswerte)
- Kugelform für μ (Beobachtungswerte)
- Parallelepiped-Form für μ (Beobachtungswerte)