

Berechnung: Beat Booz

Meteorspur-Berechnung basierend auf Daten mindestens zweier Beobachtungsorte

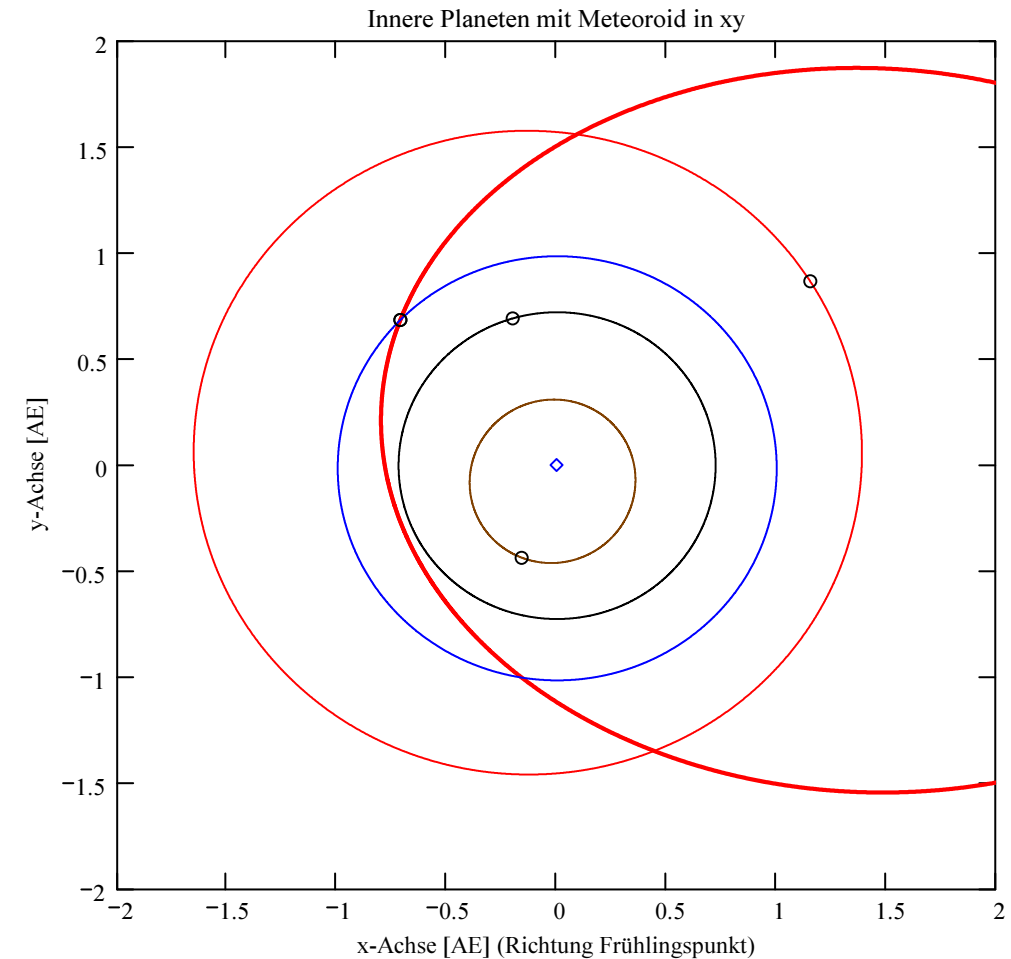
Berechnungsverfahren:

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 =	$\begin{pmatrix} 1 & \text{"VTE"} & \text{"Observatoire géophysique, Val Terbi"} \\ 2 & \text{"SCH"} & \text{"Sternwarte Schafmatt"} \end{pmatrix}$	ORT_KOORD2 =	$\begin{pmatrix} 47.3595 & 7.4987 & 0.572 \\ 47.42025 & 7.950833 & 0.82 \end{pmatrix}$
--------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------	----------------------------------------------------------------------------------------



- Meteoroid
- Merkur
- Venus
- Erde
- Mars
- Positionen
- ◇ Sonne

Mittlerer Beobachtungszeitpunkt:

Tag:	D = 5	Stunden:	H_UT = 0	Anzahl Beobachtungen (Standorte): NB = 2	Epoche der Äquatorkoordinaten: JD _{Epoche} = 2451545 (J2000.0 = Julianisches Datum 2451545,0)
Monat:	M = 2	Minuten:	M_UT = 10		
Jahr:	Y = 2017	Sekunden:	S_UT = 41		
Weltzeit:	UTC = 0.178056 [h dezimal]				

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 =	$\alpha_{Ep} = \begin{pmatrix} 170.991119 \\ 0 \end{pmatrix} \text{deg}$	$\delta_{Ep} = \begin{pmatrix} 14.255313 \\ 0 \end{pmatrix} \text{deg}$	$\alpha_{Ep} = \begin{pmatrix} 173.871719 \\ 0 \end{pmatrix} \text{deg}$	$\delta_{Ep} = \begin{pmatrix} -13.458278 \\ 0 \end{pmatrix} \text{deg}$	Mag = $\begin{pmatrix} -4.9 \\ \text{"k.A."} \end{pmatrix}$	Dur_sec = $\begin{pmatrix} 2.32 \\ 0 \end{pmatrix}$
------	--------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------

Azimut Spuranfang [°]	Azimut Spurende [°]	Höhe Spuranfang [°]	Höhe Spurende [°]
-----------------------	---------------------	---------------------	-------------------

HOR_KOORD =	$\begin{pmatrix} 318.603957 & 329.41702 & 50.517443 & 23.950184 \\ 353.84 & 1.41 & 59.72 & 26.89 \end{pmatrix}$
-------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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	46.9707
5	7.998
6	71.363
7	46.8626
8	7.9262
9	29.4861
10	46.9995
11	8.0172
12	82.6176
13	46.8699
14	7.9311
15	32.3095
16	91.3807
17	70.4302
18	94.5163
19	68.9706
20	43.9417
21	52.7828
22	30.9574
23	33.921
24	46.7855
25	7.8752
26	17.7782
27	24.4947
28	24.4418
29	24.5089
30	24.4454
31	72.4251
32	72.3064
33	72.4567
34	72.3144
35	29.0992
36	18.9404
37	"k. A."

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:

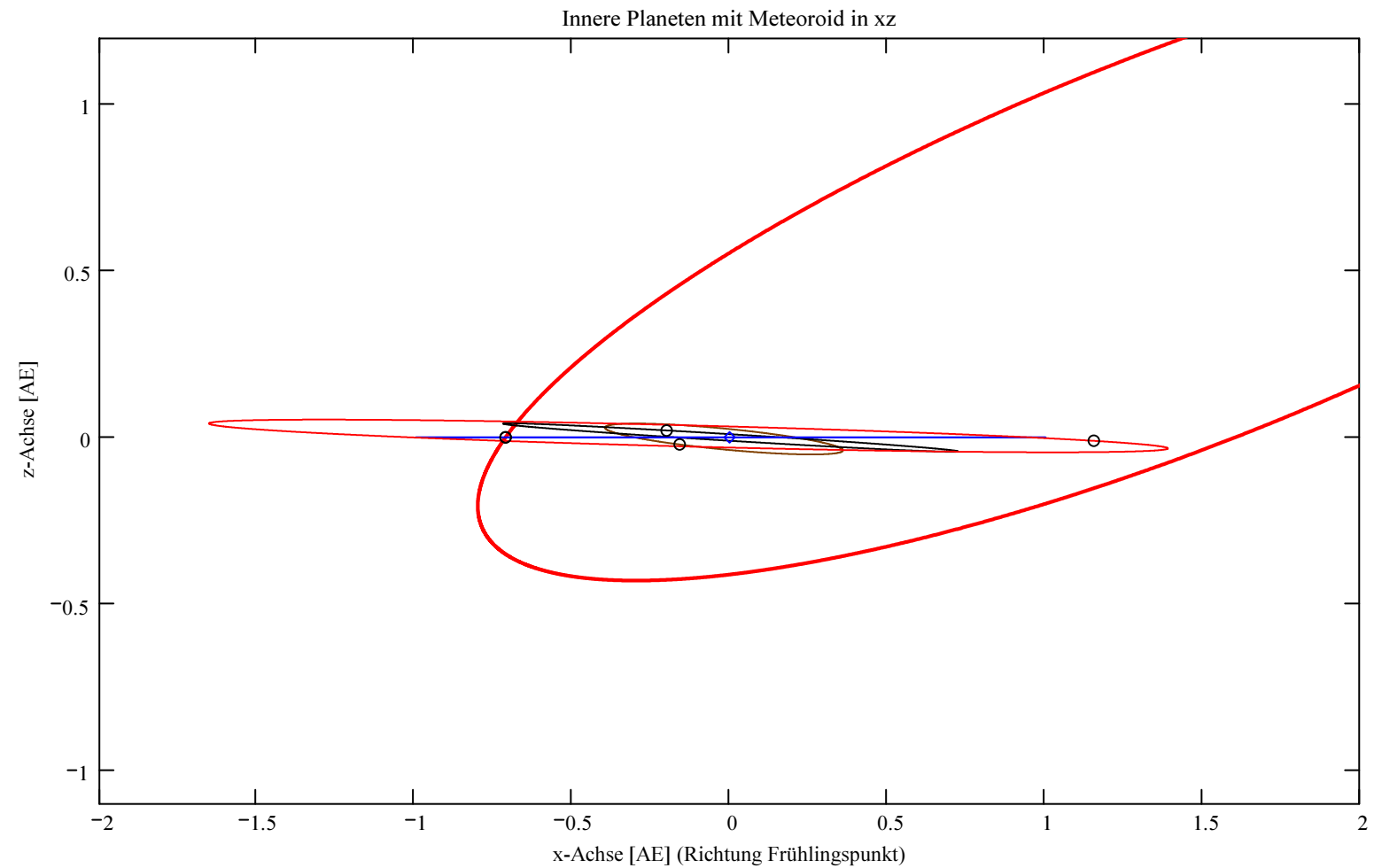
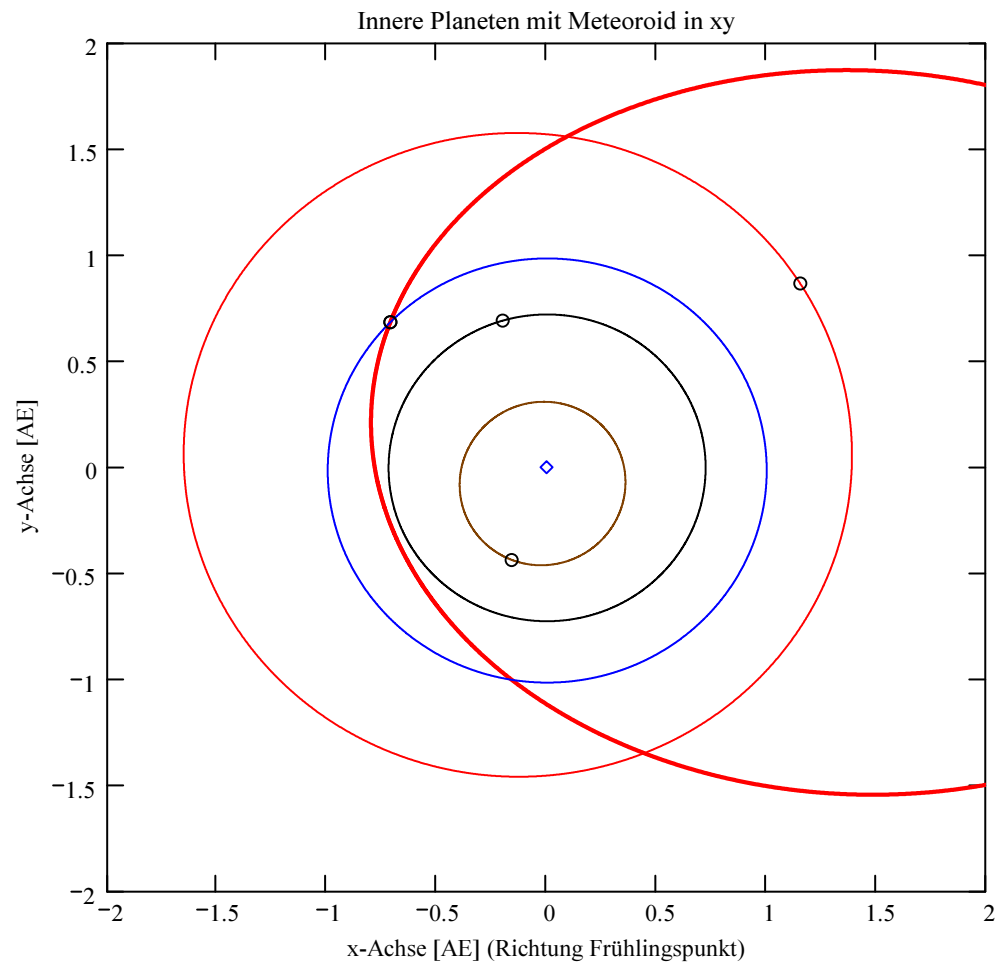
Im Idealfall liegt dieser Winkel nahe 90°. Bei sehr kleinen Winkeln (nahe 0° oder 180°) können sich Beobachtungs-Ungenauigkeiten stärker auswirken!

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

Grosse Halbachse: $a_M = 2.3715$ [AE]
 Exzentrizität: $e_M = 0.6509$
 Perihelabstand: $q_M = 0.8279$ [AE]
 Bahnneigung (Winkel zwischen Ekliptik und Bahnebene): $i_{2000} = 27.0767$ deg
 Länge des aufsteigenden Knotens: $\Omega_{2000} = 316.1454$ deg
 Winkel zwischen Perihels und aufsteigendem Knoten: $\omega_{2000} = 233.6102$ deg
 Perihellänge: $\omega^{\circ}_{2000} = 189.7556$ deg

Wahre Anomalie: $v_{\text{Datum}} = 306.39$ deg
 Umlaufzeit: $T_U = 1333.8877$ [Tage]
 Perihelzeit (UTC): $t_0 = 2456491.62612147$ [Julianisches Datum]
 Datum: Tag = 18 Monat = 7 Jahr = 2013
 Zeit (UTC): Stunden = 3 Minuten = 1 Sekunden = 36.895
 Tage_dez = 18.126121

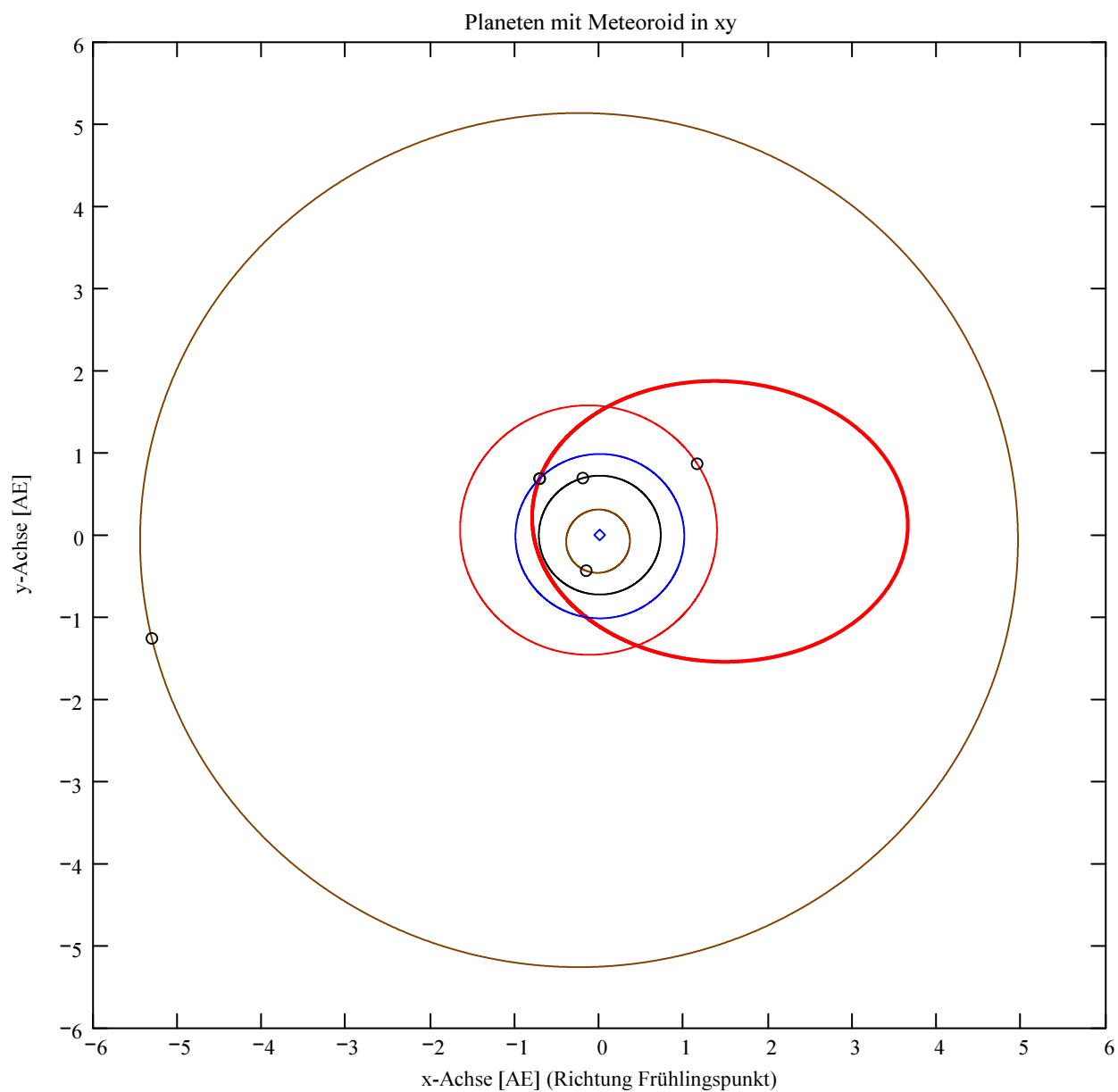
Geschwindigkeit des Meteoroiden:
 Beobachtet: $|v_{M_Beob}| = 23.9$ [km/s]
 Geozentrisch: $|v_{M_geoz}| = 23.862$ [km/s]
 Geozentrisch ursprünglich: $|v_u| = 21.1$ [km/s]
 Heliozentrisch: $|v_{M_hel_ekl_Dat}| = 37.755$ [km/s]
 Radiantposition:
 Scheinbar: $\alpha_{\text{Rad}_s} = 161.3$ deg $\delta_{\text{Rad}_s} = 50.714$ deg Äquatorkoordinaten J2000.0
 Geozentrisch: $\alpha_{\text{Rad}_{w2}} = 161.023$ deg $\delta_{\text{Rad}_{w2}} = 51.204$ deg Äquatorkoordinaten J2000.0
 Heliozentrisch: $\lambda_{\text{Rad}_{heli}} = 69.148$ deg $\beta_{\text{Rad}_{heli}} = 24.395$ deg



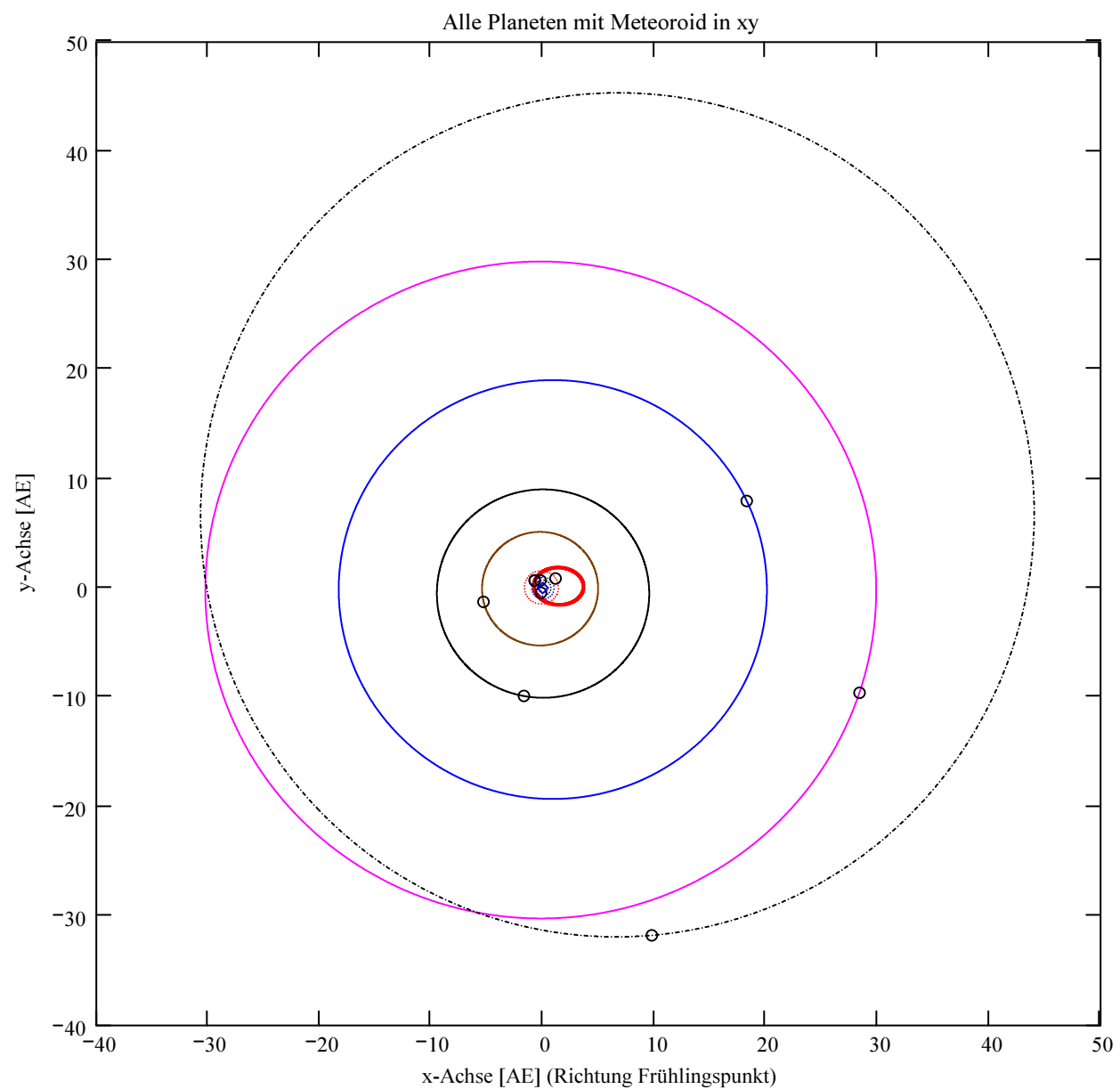
- Meteoroid
- Merkur
- Venus
- Erde
- Mars
- OOO Positionen
- ◇ Sonne

- Meteoroid
- Merkur
- Venus
- Erde
- Mars
- OOO Positionen
- ◇ Sonne

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:

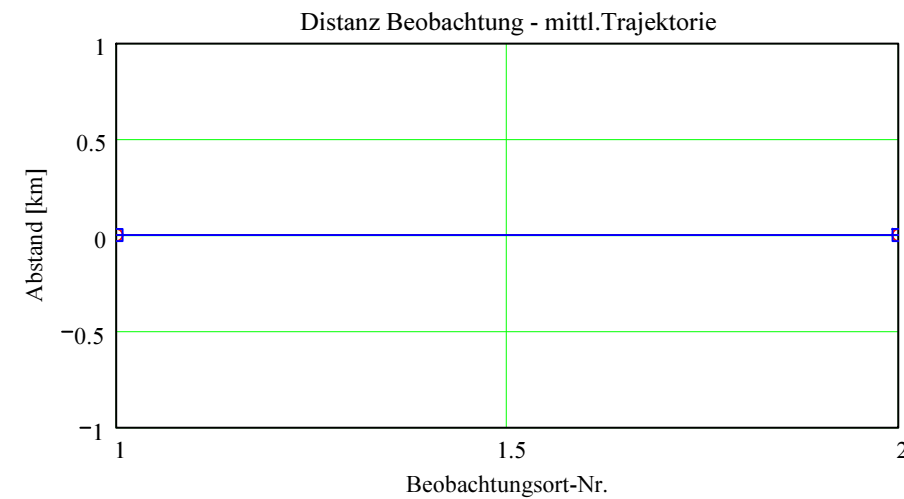
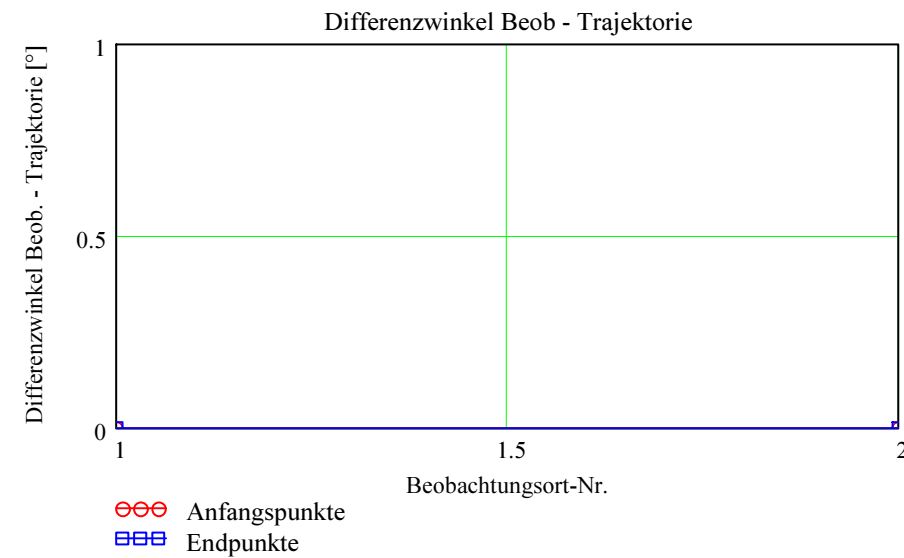
IndPaar = (1.2)

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

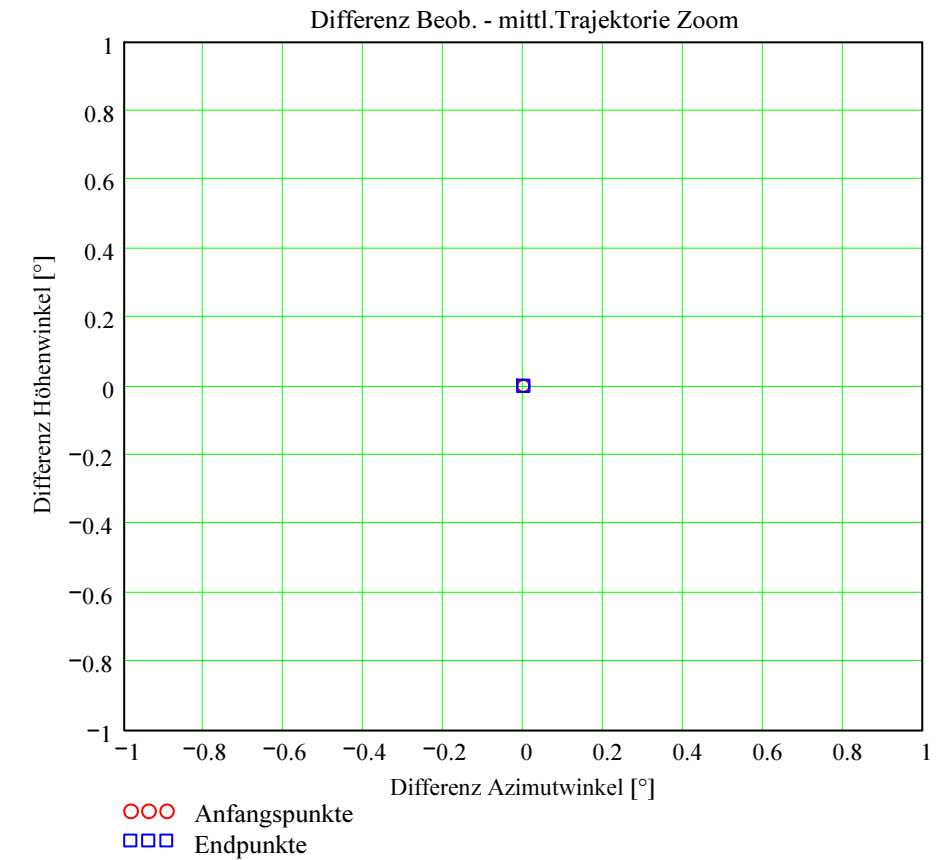
Nr. Stat.-Id. Beobachtungsort

$$\text{ORT_KOORD1} = \begin{pmatrix} 1 & \text{"VTE"} & \text{"Observatoire géophysique, Val Terbi"} \\ 2 & \text{"SCH"} & \text{"Sternwarte Schafmatt"} \end{pmatrix}$$

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

$$\text{ORT_KOORD1} = \begin{pmatrix} 1 & \text{"VTE"} & \text{"Observatoire géophysique, Val Terbi"} \\ 2 & \text{"SCH"} & \text{"Sternwarte Schafmatt"} \end{pmatrix}$$

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 [°]:

$$mTr_1 =$$

	1	2
1	"VTE"	"SCH"
2	46.970685	46.999487
3	7.99803	8.017213
4	71.362972	82.617599
5	24.494735	24.508878
6	72.42511	72.456746
7	46.862552	46.869891
8	7.926216	7.931079
9	29.486065	32.309487
10	24.441847	24.445426
11	72.306372	72.314429

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]:

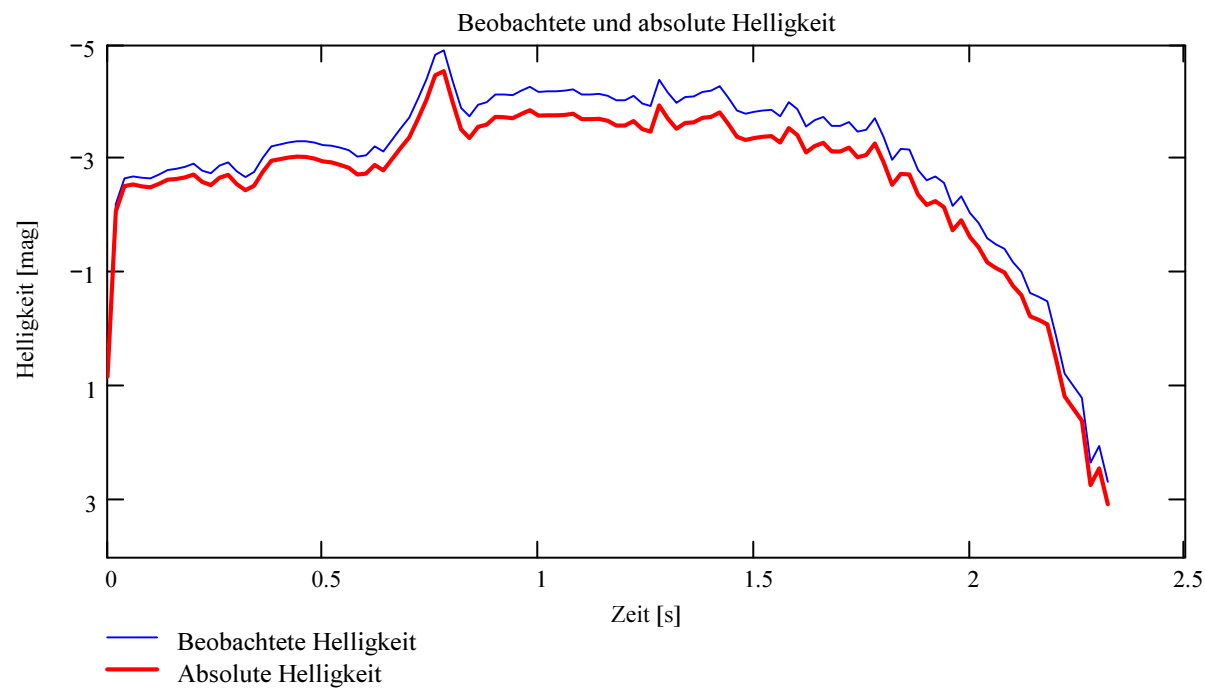
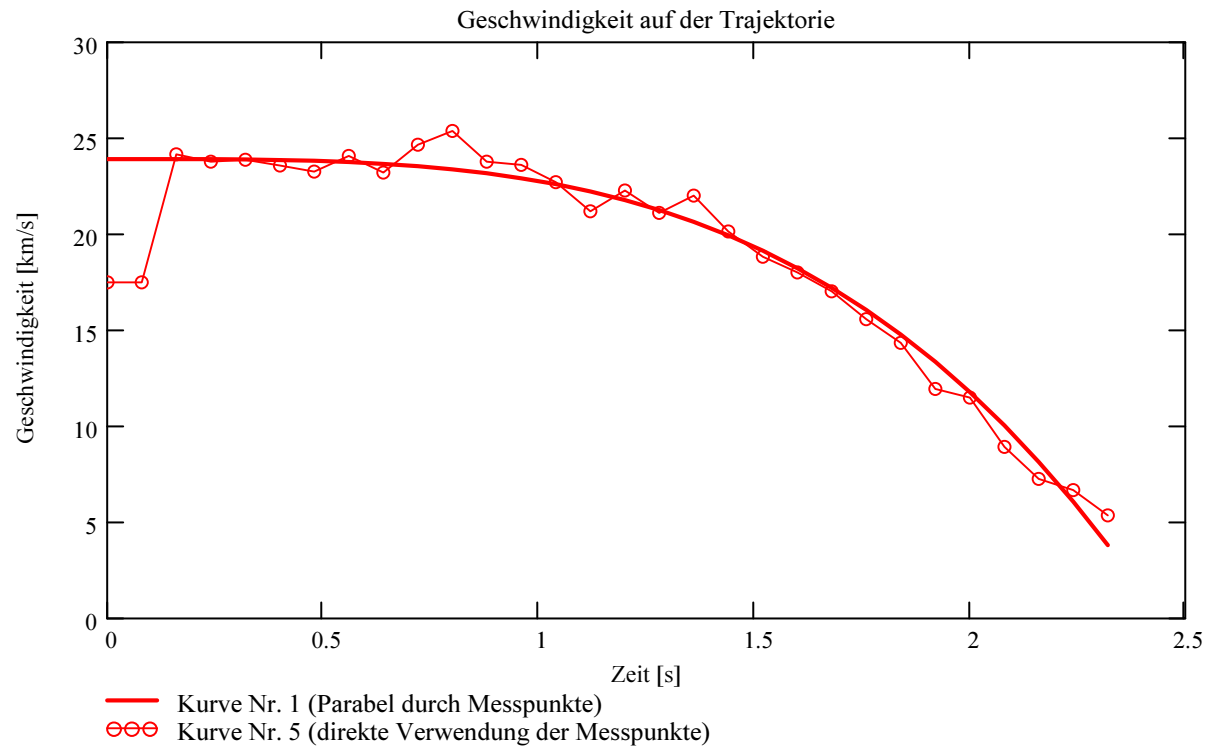
$$bTr_1 =$$

	1	2
1	"VTE"	"SCH"
2	318.603957	353.84
3	50.517443	59.72
4	91.380655	94.516316
5	-0	0
6	0	-0
7	0	0
8	0	0
9	329.41702	1.41
10	23.950184	26.89
11	70.430243	68.970619
12	-0	-0
13	0	0
14	0	0
15	0	0

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

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

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.

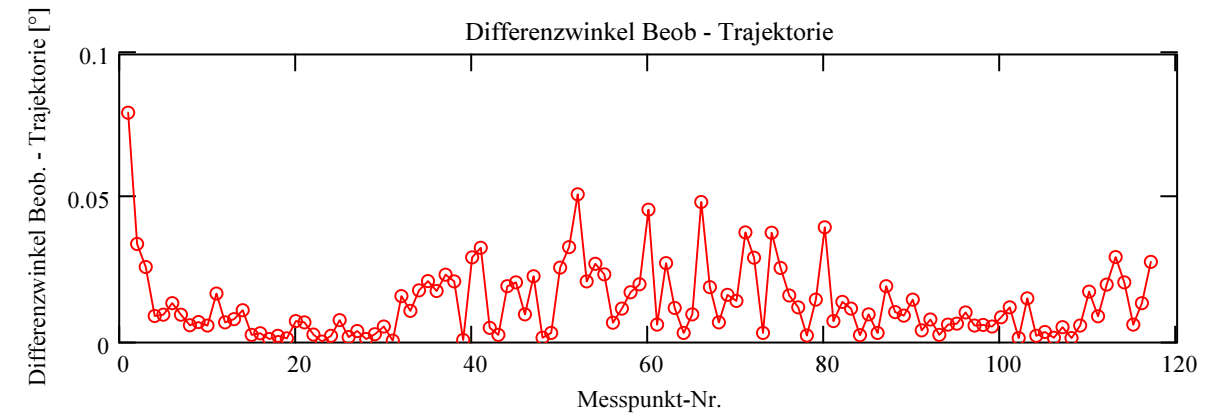
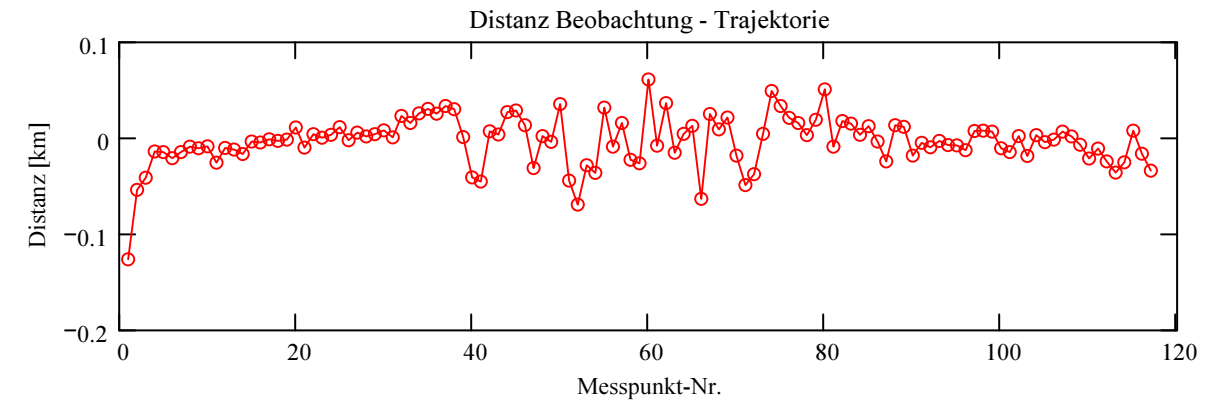


Abschätzung der Meteormasse (basierend auf der Formel von Luigi Jacchia (Smithsonian Astrophysical Laboratory)):

Anfangsmasse: $m_{Meteor} = 0.179$ [kg]

Berechnung: Beat Booz

Abweichung der Beobachtungen bzw Messpunkte von der mittleren Trajektorie:



Trajektorie für Beobachtungsort:

Stat_Id = "VTE"

Anfangspunkt:

$\Phi_{Beob_SP_1} = 46.9699$ deg

$\lambda_{Beob_SP_1} = 7.997507$ deg

$H_{Beob_SP_1} = 71.057$ [km]

$NeigWinkel_{Beob_1} = 72.424248$ deg

$Richtungswinkel_{Beob_1} = 24.49435$ deg

Endpunkt:

$\Phi_{Beob_SP_N_Pkt} = 46.862563$ deg

$\lambda_{Beob_SP_N_Pkt} = 7.926223$ deg

$H_{Beob_SP_N_Pkt} = 29.49$ [km]

$NeigWinkel_{Beob_N_Pkt} = 72.306383$ deg

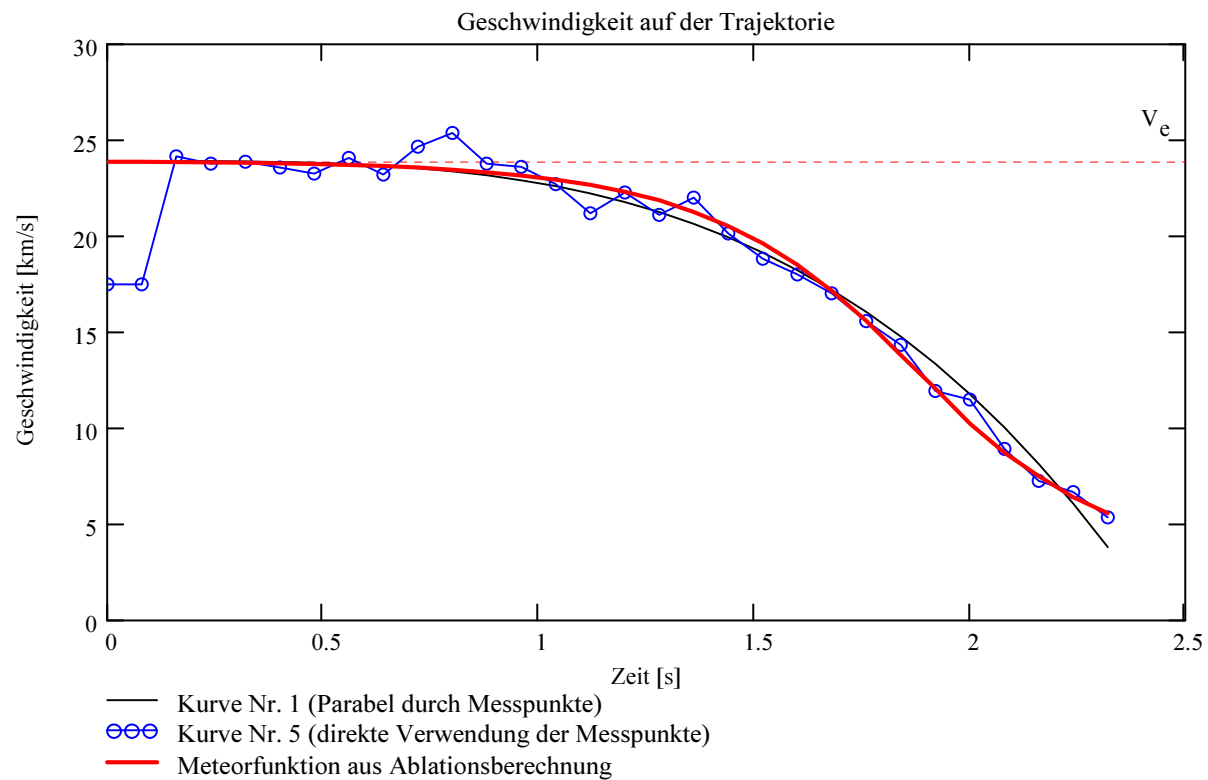
$Richtungswinkel_{Beob_N_Pkt} = 24.441852$ deg

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 = "VTE"

Vergleich der Geschwindigkeit aus Messpunkten und Meteorfunktion aus Ablation:



Neigungswinkel der Trajektorie (bezüglich der Horizontalen!):

$$\gamma = 72.365 \text{ deg}$$

Geschwindigkeit bei Atmosphäreneintritt:

$$V_e = 23.9 \text{ [km/s]}$$

Anfangsgeschwindigkeit:

$$Vf(v_1) = 23.863 \text{ [km/s]}$$

Endgeschwindigkeit:

$$Vf(v_{ne}) = 5.563 \text{ [km/s]}$$

Endbeschleunigung:

$$Vi^\circ(v_{ne}) = -10.582 \text{ [km/s}^2\text{]}$$

Ballistischer Koeffizient:

$$\alpha = 31.642$$

Hinweis: Die Helligkeitswerte haben keinen Einfluss auf die Parameter α und β !

Massenverlust-Parameter:

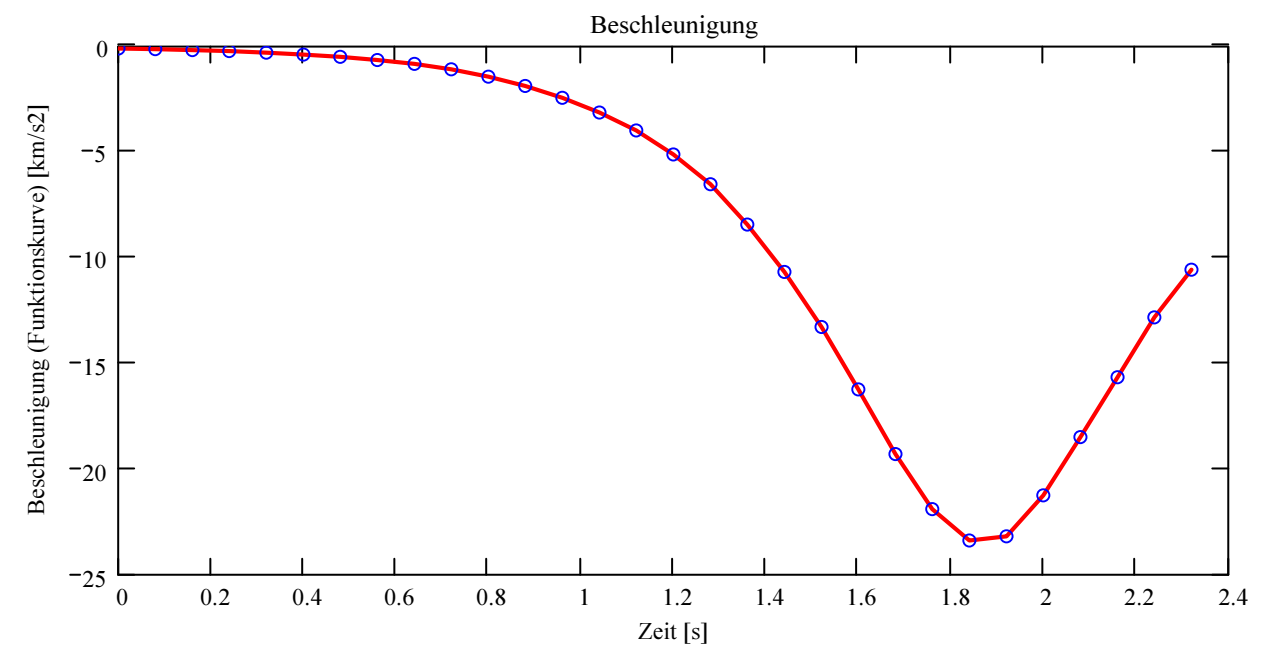
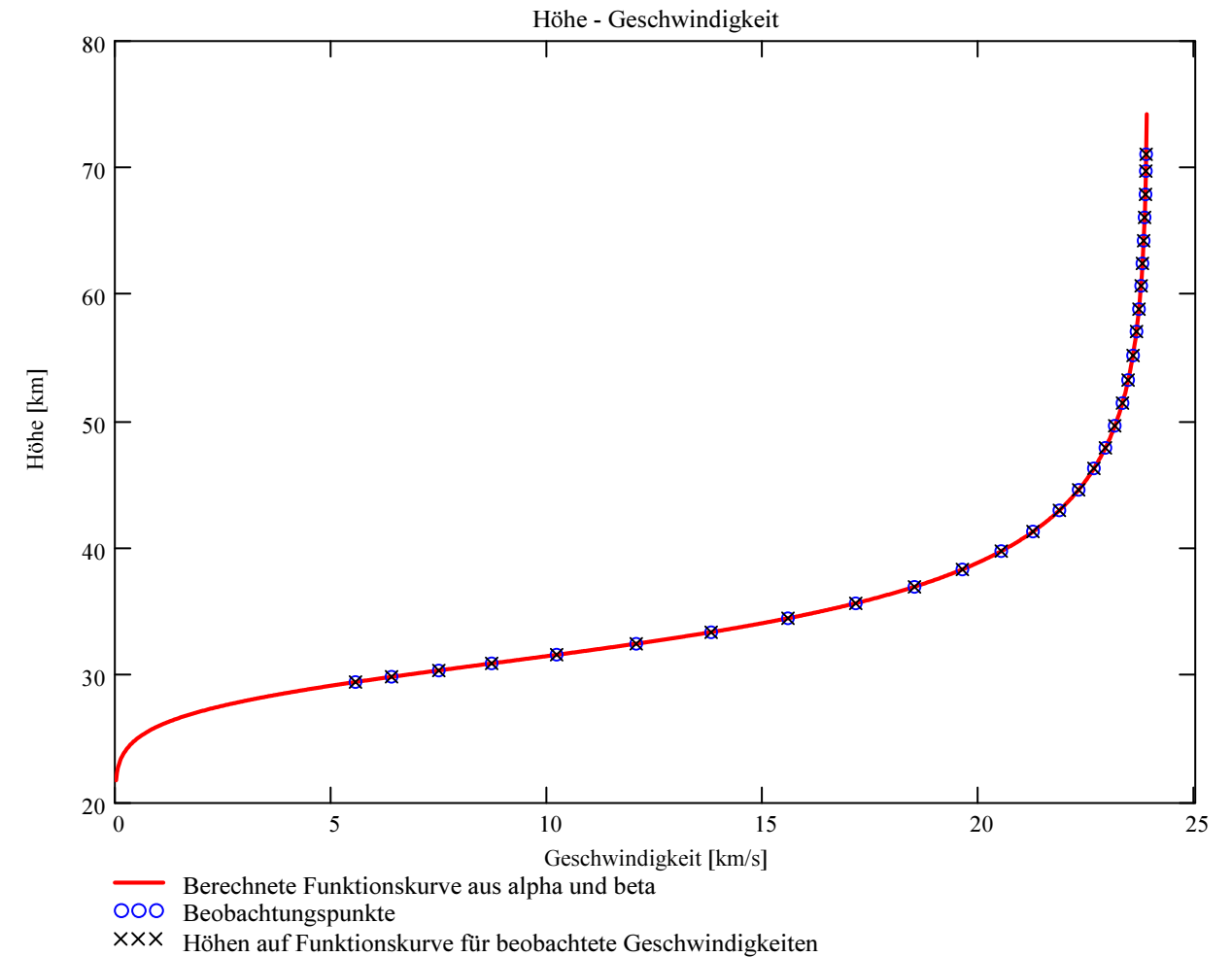
$$\beta = 1.7$$

Dichte des Meteors (bulk density) -> Vorgabewert!

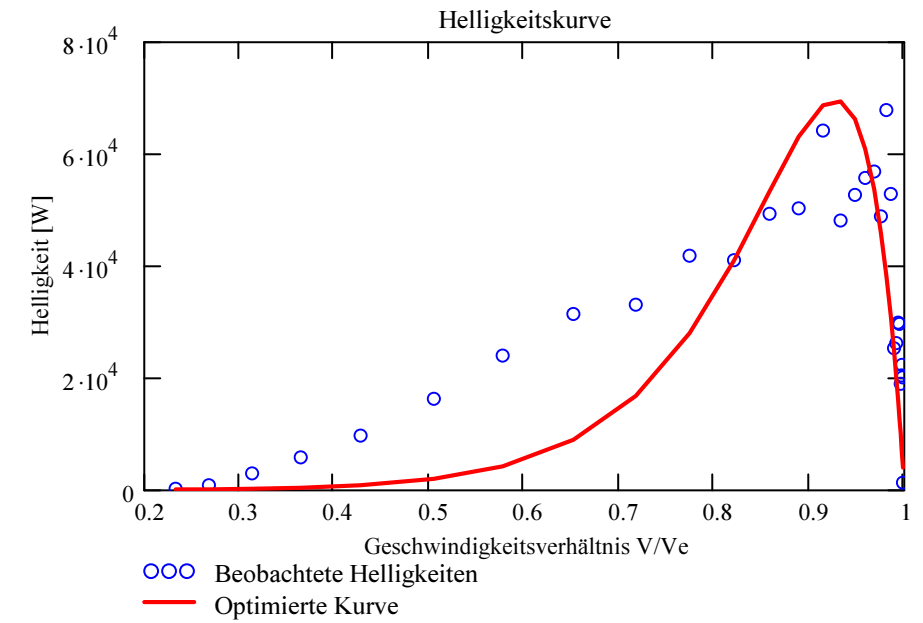
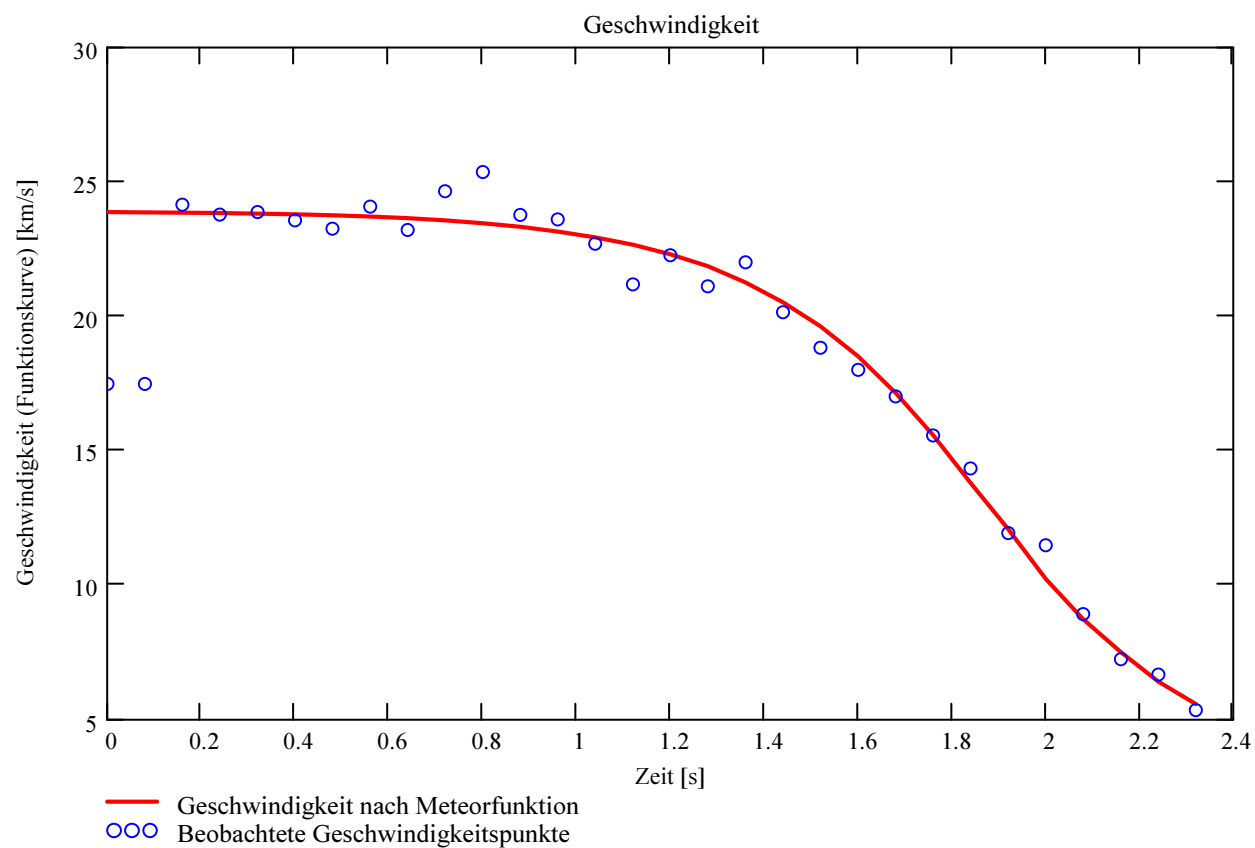
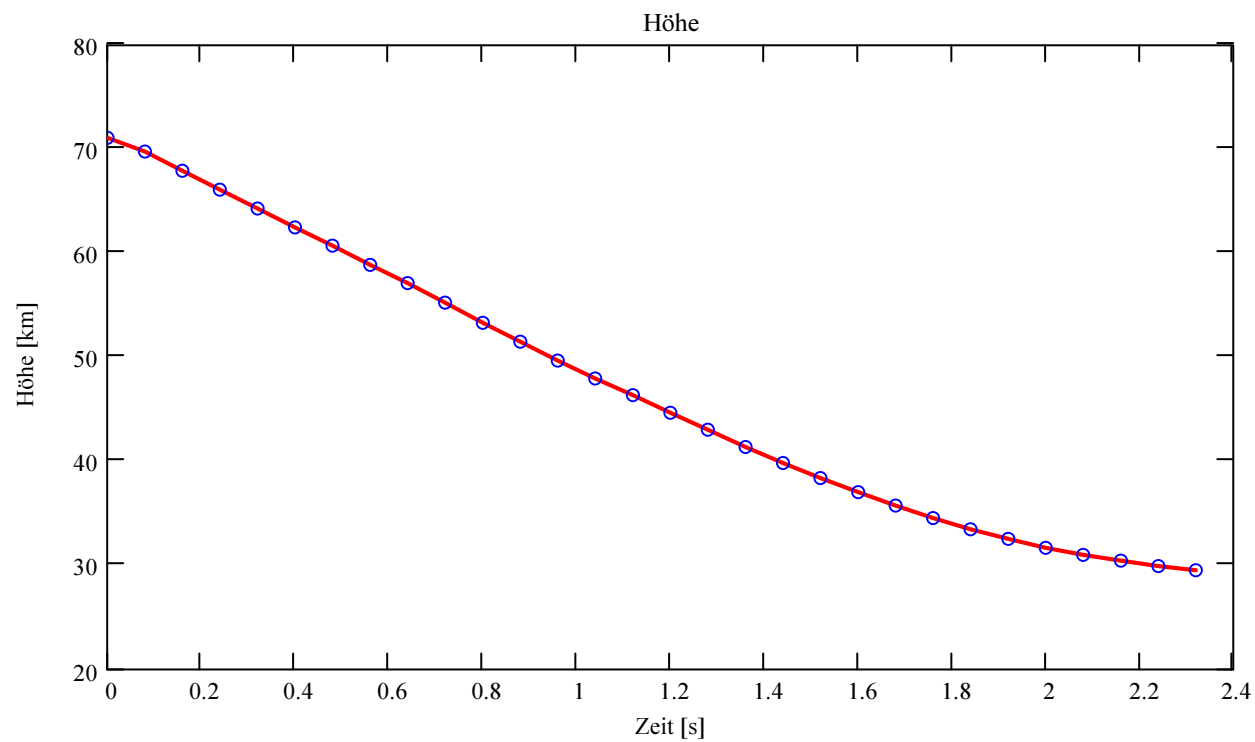
$$\rho_m = 3500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

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

$$\text{Prod}_{G16_{ai}} = 0.000059 \text{ [cm}^6\text{/g}^2\text{]}$$



Berechnung: Beat Booz



Ergebnisse aus Helligkeitskurve:

Rotations-Parameter:

$$\mu = 0.707$$

Ablationskoeffizient:

$$\sigma_{\min} = 0.00595 \quad \text{für } \mu_{\min}=0$$

$$\sigma_{\max} = 0.01786 \quad \text{für } \mu_{\max}=2/3$$

$$\sigma = 0.0203 \quad \text{für: } \mu = 0.707$$

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:

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

$$\tau_{\text{Kugel}_{ai}} = 0.00041$$

Leuchteffizienz-Koeffizient τ (luminous efficiency coefficient):

Anfangsmasse:

$$M_1 = 0.519 \quad [\text{kg}]$$

Endmasse bei $\mu=0$:

$$M_{\text{Kugel}_{\mu_{\min}}(v_{ne})} = 0.104 \quad [\text{kg}]$$

Endmasse bei $\mu=2/3$:

$$M_{\text{Kugel}_{\mu_{\max}}(v_{ne})} = 0.004 \quad [\text{kg}]$$

Endmasse für: $\mu = 0.707$

$$M_{\text{Kugel}_{\mu}(v_{ne})} = 0.002 \quad [\text{kg}]$$

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

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

$$\tau_{\text{Parallelepiped}_{ai}} = 0.000194$$

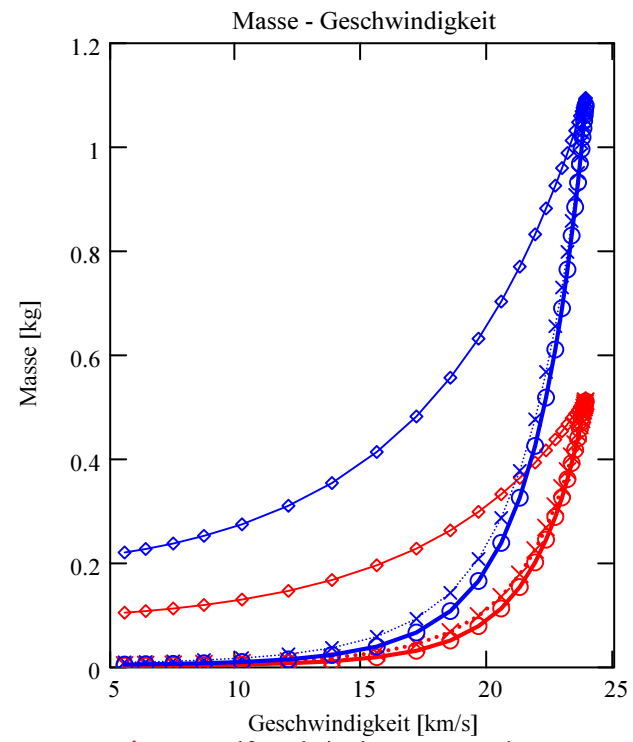
$$M_2 = 1.1 \quad [\text{kg}]$$

$$M_{\text{PE}_{\mu_{\min}}(v_{ne})} = 0.22 \quad [\text{kg}]$$

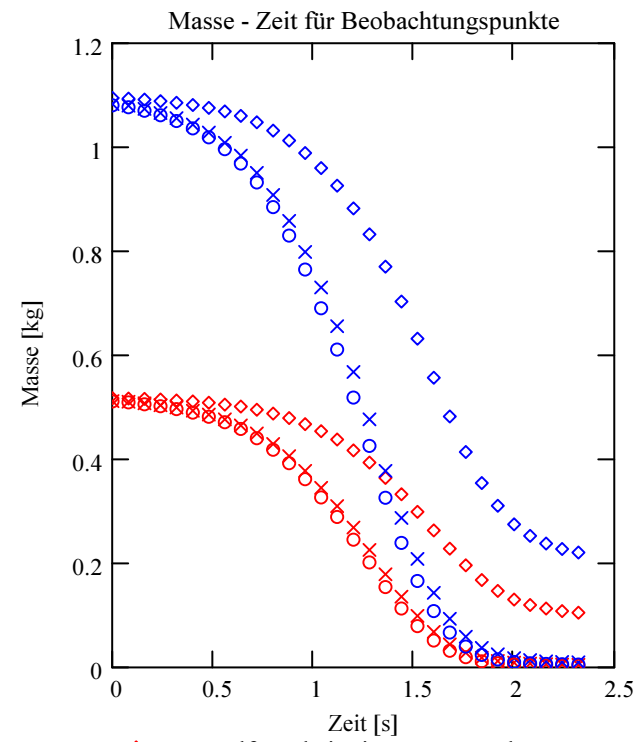
$$M_{\text{PE}_{\mu_{\max}}(v_{ne})} = 0.009 \quad [\text{kg}]$$

$$M_{\text{PE}_{\mu}(v_{ne})} = 0.005 \quad [\text{kg}]$$

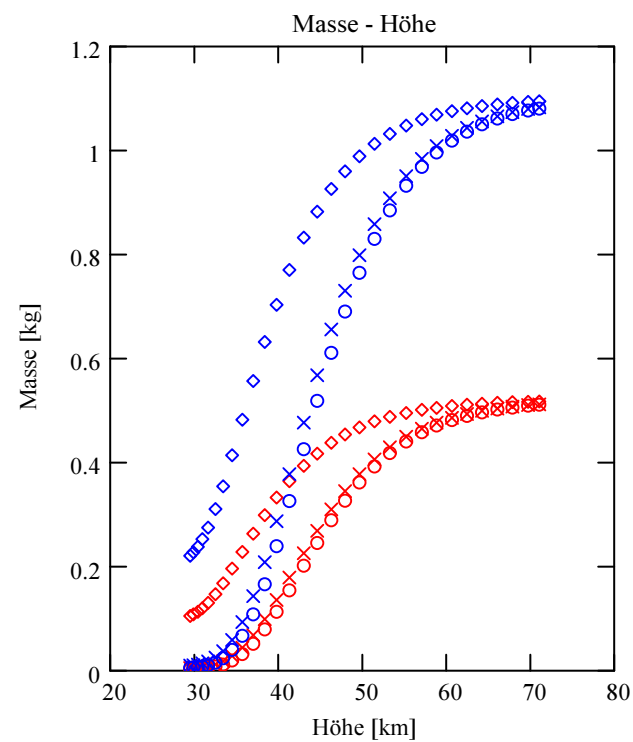
Verlauf der Massenabnahme für Kugelform und Parallelepiped (mit Kantenlängen 2L, 3L, 5L) für $\mu = 0$, $\mu = 2/3$ und für den berechneten Wert μ (μ = Parameter für mögliche Rotation des Meteoroiden):



- ◇ 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

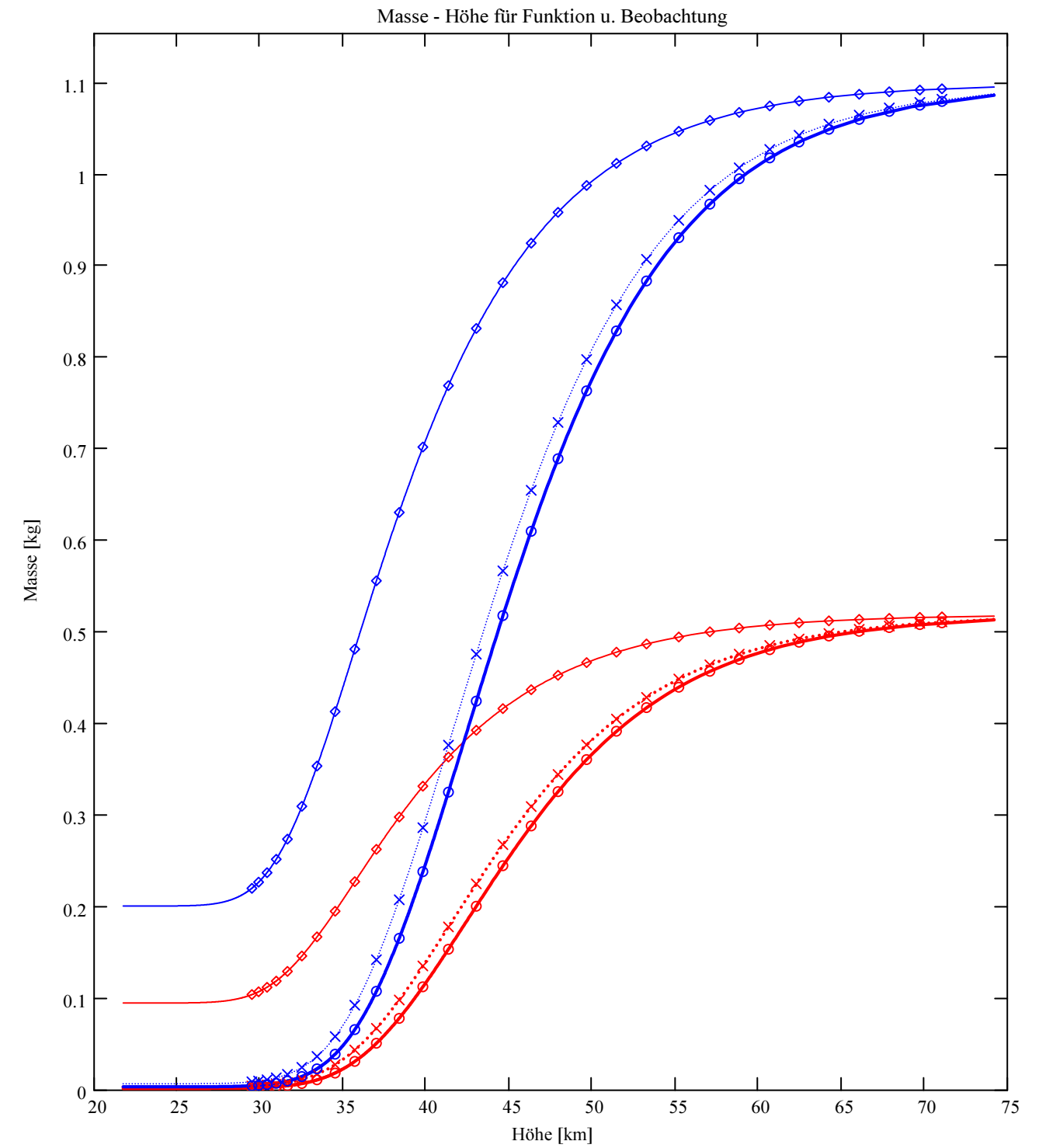


- ◇ Kugelform bei min. Massenverlust
- ××× Kugelform bei max. Massenverlust
- ◇ Parallelepiped-Form bei min. Massenverlust
- ××× Parallelepiped-Form bei max. Massenverlust
- Kugelform für μ
- Parallelepiped-Form für μ



- ◇ 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)