**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft
**Band:** 46 (1988)
**Heft:** 229

**Artikel:** Bahnbestimmung simultan photographierter Meteorite
**Autor:** Heinlein, Dieter
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-899125

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 30.10.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Bahnbestimmung simultan photographierter Meteorite

DIETER HEINLEIN

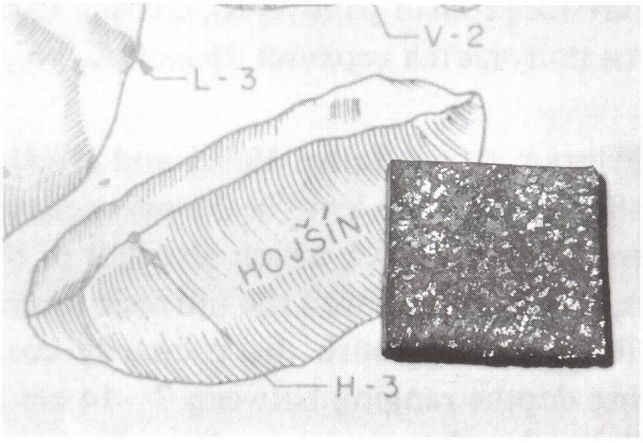
In der Geschichte der Meteoritenforschung ist es bisher erst in drei Fällen gelungen, von (mindestens) zwei Stationen aus die atmosphärische Leuchtspur eines Meteoroiden zu photographieren, und anschließend die zugehörigen Restmassen (Meteorite) aufzufinden.
Diese, aus astronomischer Sicht besonders interessanten, Meteoritenfälle sind in Tabelle 1 aufgeführt,

| Tab. 1 | PRIBRAM /8/ CSSR, Europa | LOST CITY /18/ Oklahoma, USA | INNISFREE /15/ Alberta, Canada |
|---|---|---|---|
| Julian. Datum | 2436666.313 | 2440590.593 | 2443180.596 |
| Bürgerl. Datum | 1959, April 7 | 1970, Jan 4 | 1977, Feb 6 |
| Weltzeit (UT) | $19^h\ 30^m\ 21^s$ | $02^h\ 14^m\ 17^s$ | $02^h\ 17^m\ 38^s$ |

Durch die Auswertung der Meteoraufnahmen konnten nicht nur die Aufschlagspunkte auf der Erdoberfläche vorausberechnet, sondern auch präzise Rückschlüsse auf die heliozentrischen Bahnen gezogen werden, welche die kosmischen Kleinkörper vor ihrer Kollision mit der Erde beschrieben haben.

Im folgenden werden die Umstände dieser Meteoritenfälle erläutert, die Reduktion des Beobachtungsmaterials exemplarisch dargestellt und die verbesserten Ergebnisse der Bahnbestimmungen umfassend dokumentiert. In den Literaturquellen nicht vorliegende Daten sind auf Grund eigener Berechnungen ergänzt. (§)
Soweit wie möglich sollen Zusammenhänge zwischen den geo- und astro-physikalischen Parametern aufgezeigt und veranschaulicht werden.

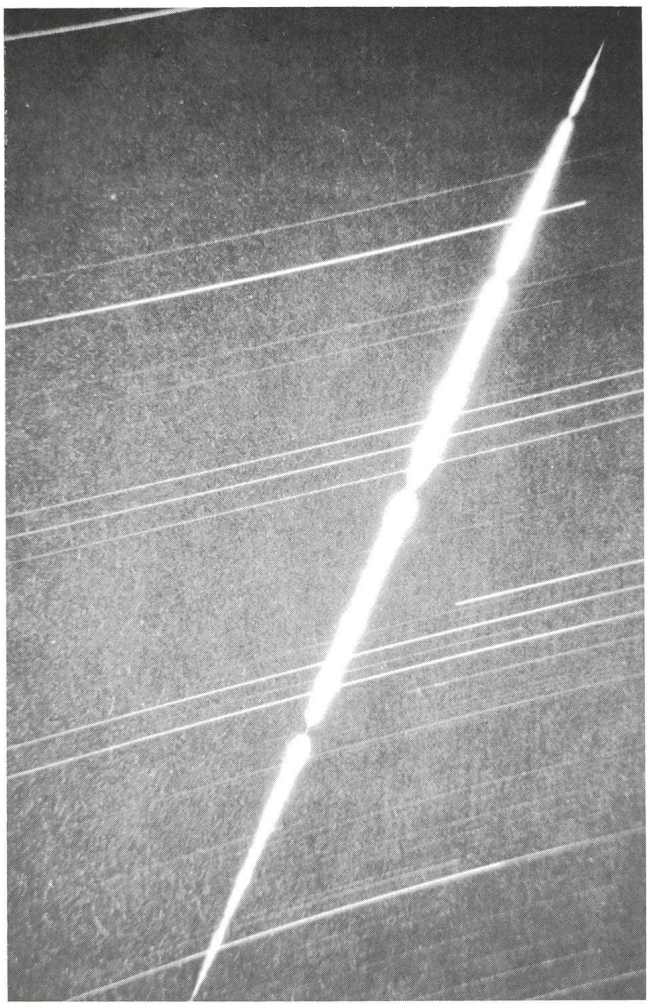
**PRIBRAM:**
Bereits 8 Jahre lang (mit 2500 Stunden Belichtungszeit) lief das Meteorbeobachtungsprogramm in der CSSR, bevor 1959 die photographische Dokumentation des spektakulären Meteoritenfalles von Pribram glückte.Damals operierten in den zwei Observatorien Ondrejov und Prcice (s. Tab. 2) insgesamt 20 feststehende und 12 nachgeführte Kameras. Der Zeitpunkt des Meteordurchgangs war somit präzise (± 1s) bestimmbar. Rotierende Shutterblenden unterbrachen die Aufnahmen 48 mal pro Sekunde und ermöglichten exakte Messung der Meteoroidgeschwindigkeit. /5/
Am 7. April 1959 erhellte zwischen $20^h\ 30^m\ 20^s$ und $27^s$ Ortszeit (Central European Time) /2/ ein brillanter Feuerball von -19. absoluter Helligkeit den Himmel über der CSSR. Vom Erscheinen des Meteors bis zu einer Höhe von 22.2 km sind (größtenteils simultane) Aufnahmen vorhanden (s. Tab. 3). Das Ende der Leuchtspur fehlt auf den photographischen Platten; der Verlöschpunkt konnte aber durch fast 900 Augenzeugenberichte gut rekonstruiert werden. Zwischen 44.0 und 23.3 km Höhe zersplitterte der Bolide in 17 Fragmente. /5/
Noch ehe zuverlässige Bahnberechnungen vorlagen /8/, wurde am 9. April von einem Feldarbeiter ein 4.25 kg schwerer Steinmeteorit /34/ gefunden. 12 km östlich der Stadt Pribram war der Körper mit einer Aufprallgeschwindigkeit von 78 m/s in ein Roggenfeld eingeschlagen. Drei weitere, kleine Chondrite konnten bis Ende August von Laien aufgesammelt werden. /55/ (s. Tab. 4)




*3.7 g Teilscheibe (18×15×7mm) des Meteoriten PRIMBRAM aus dem 428 g - Fragment, welches bei Hojsin gefunden wurde. [Sammlung des Verfassers]*

Erhebliche Schwierigkeiten bereitete anfangs die richtige Zuordnung der 4 Fundstücke zu den 17 Bahnspuren auf den Photoplatten/3,4/, und bis heute wurde die mutmaßliche Hauptmasse des Meteoritenfalls von ca. 100 kg noch nicht aufgefunden! /34/
Die vorläufigen Bahndaten /8/ wurden inzwischen mehrfach verbessert /5,9/ und liegen nun in endgültiger Form vor /6/.
Nach diesem Anfangserfolg mit Kleinfeldkameras nahm 1964 in der CSSR das All-Sky Network mit 17 Stationen /10, 26/ den Betrieb auf, und 1968 schloß sich auch Deutschland an, so daß das European Network mit 45 Meteor-Ortungskameras nun ein Gebiet von 500000 km² umfaßt /6/.

**LOST CITY:**
Ab 1964 arbeitete im Mittelwesten der USA ein automatisiertes Himmelsüberwachungsnetz, bestehend aus 16 Stationen mit jeweils vier Kameras und einem speziellen Shuttersystem. Ein Kodierungsmechanismus steuerte den Shutter (Frequenz: 20Hz) durch Auslassen von Unterbrechungen in wechselnden Intervallen so, daß auf dem Film durch die Meteorleuchtspur selbst die genaue Durchgangszeit (± 10s) festgehalten wurde /24/.
Der Höhepunkt für dieses Prairie Network ereignete sich am 3. Januar 1970, als im nordöstlichen Oklahoma um $20^h 14^m$ Ortszeit (Central Standard Time) eine Feuerkugel von Voll-



*Leuchtspur des LOST CITY Meteoroiden, photographiert von der Station Hominy. [Smithsonian Observatory]*

mondhelligkeit von 4 Stationen aus photographiert wurde (s. Tab. 2 und 3). Der Meteor bewegte sich in Richtung ESE und war bis Nebraska zu sehen /23/.

Kurz vor dem Verlöschpunkt zerfiel der Meteoroid in mehrere (5) Fragmente, die 90 Sekunden danach auf die Erdoberfläche aufschlugen. Aus einem Gebiet von 300 km$^2$ wurden gesicherte Schallwahrnehmungen registriert /27/.

Unmittelbar nach dem Fall konnten die Photos ausgewertet und der Aufschlagspunkt bestimmt werden. Bereits am 9. Januar wurde die Hauptmasse, nur 600 m von der berechneten Stelle entfernt, gefunden. Ein 9.83 kg schwerer Steinmeteorit lag auf schneebedeckter Straße nahe dem Ort Lost City, Cherokee County, Oklahoma /23/.

Innerhalb von vier Monaten förderte die systematische Suche drei weitere Chondritenfragmente zu Tage /11/. (s. Tab. 4)

**INNISFREE:**

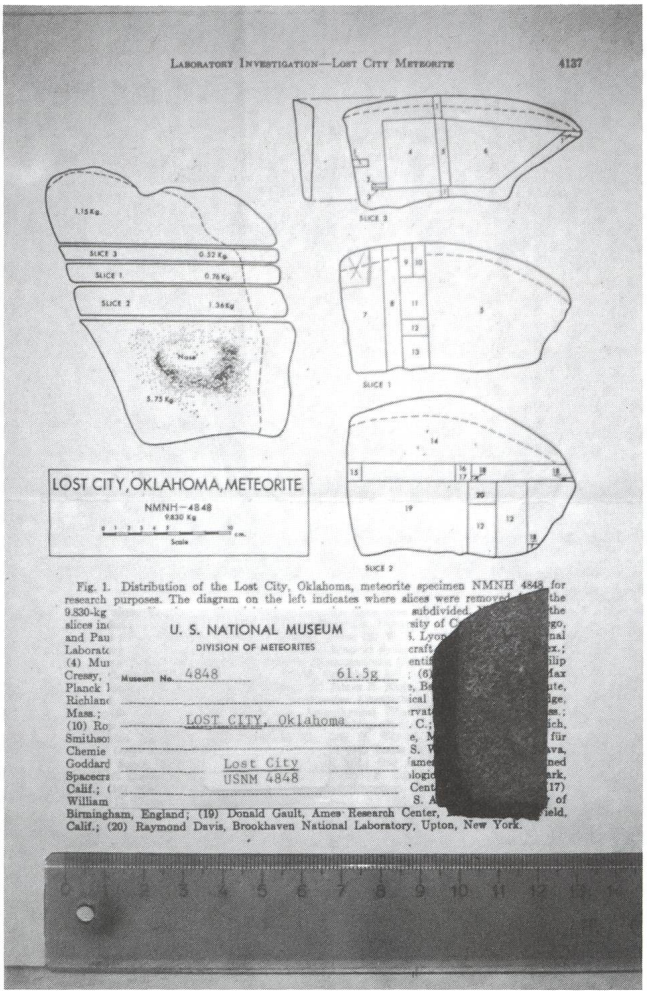
Im südlichen Teil Kanadas unterhält das Meteorite Observation and Recovery Project seit 1971 bis heute 12 Stützpunkte, an denen je 5 feststehende Kameras installiert sind. Zur Geschwindigkeitsmessung dienen rotierende Shutter mit 3 Sektoren unterschiedlicher Opazität und der Frequenz 4Hz. Durch Photomultiplier, welche nur auf rasch bewegte, starke Lichtquellen reagieren, werden Digitaluhren angehalten und die exakte Zeit des Aufleuchtens eines Meteors wird auf dem Film markiert /15/.

Über der kanadischen Provinz Alberta erstrahlte am 5. Februar 1977 um $19^h17^m38^s$ Ortszeit (Mountain Standard Time) ein Feuerball, der zuerst von der Besatzung eines Linienflugzeugs gesichtet und gemeldet wurde. Weitere Berichte gingen von über 100 Augenzeugen ein, welche dieses seltene Himmelsereignis verfolgt hatten.

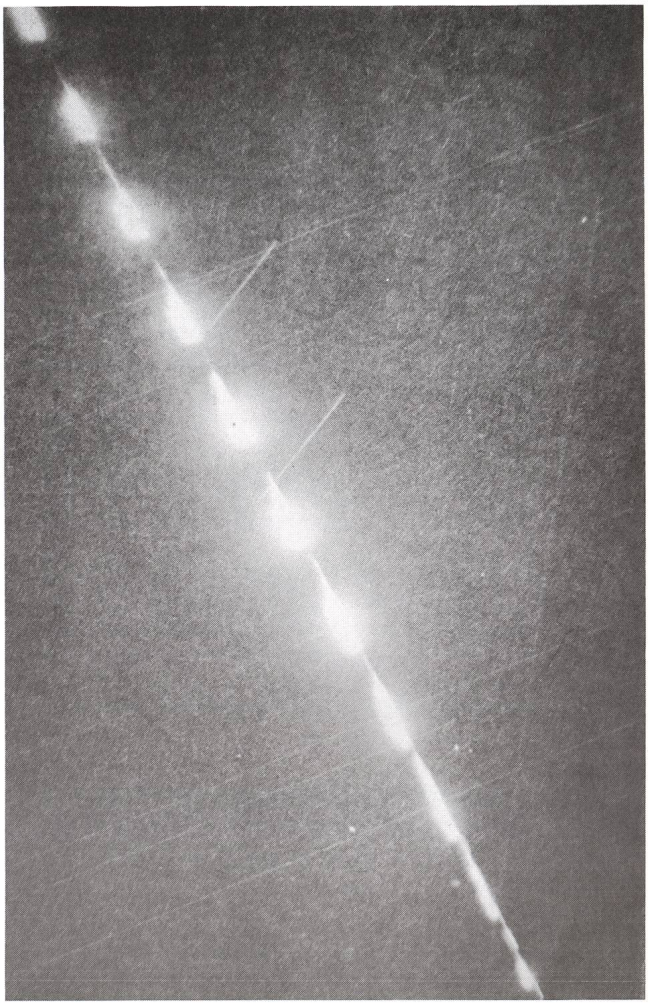
Die umgehende Entwicklung des Filmmaterials lieferte befriedigende Aufnahmen dieses Meteors von 2 automatischen Beobachtungsstationen (s. Tab. 2), und eine Bahnbestimmung wurde durchgeführt /15/.

Zwischen 25 und 30 km Höhe war der Körper in 6 Teile zerborsten /16/. Auf Grund der steilen Flugbahn (s. Tab. 3) und der Tatsache, daß Rückenwind herrschte /15/, gingen die Meteorite in einer recht kleinen Streuellipse (1.0 . 0.4 km$^2$) nieder /16/.

Zur gezielten Suche wurden Schneemobile eingesetzt, und am 17. Februar konnte 500 m von der vorausberechneten Stelle das schwerste Fragment gefunden werden /15,16/. Nach 4s Leucht- und 130s Dunkelflug war der Steinmeteorit von 2.07 kg mit einer Impaktgeschwindigkeit von 70 m/s auf feste




*61.5 g schweres Probestück des LOST CITY Chondriten; seine ursprüngliche Lage innerhalb der Hauptmasse von 9830 g ist markiert.*
*[Sammlung des Verfassers]*



*Aufnahme des INNISFREE Meteors, Photographiert von der Station Vegreville aus. [MORP Network]*

Schneedecke, 13 km NE des Ortes Innisfree /12/ aufgeschlagen. /15/ Bis Mitte Mai wurden 8 weitere Individuals dieses Chondriten entdeckt und untersucht /16/. (s. Tab. 4)

**Auswertung der Meteor - Aufnahmen:**
Die schrittweise Reduktion des Beobachtungsmaterials zur Ermittlung der Meteoroidbahn wird in wesentlichen Punkten beschrieben und veranschaulicht. Für den engagierten Amateurastronomen, der etwas mit der Himmelsmechanik vertraut ist, sollte der Rechenweg durchaus nachvollziehbar sein. In Tabelle 5 sind die Resultate für die 3 Simultan-Meteore zusammengestellt; die Bedeutung der Symbole wird im Text erläutert.

Für jede der beiden Stationen k = 1,2 stellt sich die beobachtete, atmosphärische Bahn des Meteors vor dem Sternhintergrund als Teil eines Großkreises dar, der im Äquatorialsystem (Rektaszension $\alpha$, Deklination $\delta$) durch die Gleichung

$$\sin(\eta_K - \alpha) = \cot \psi_k \cdot \tan \delta$$

beschrieben wird. Aus den 4 Parametern $\eta_k$, $\cot \psi_k$ läßt sich, als Schnittpunkt der beiden Großkreise, die Position ($\alpha_R$, $\delta_R$) des scheinbaren Radianten ermitteln /5/.

Für PRIBRAM z.B. sind diese Werte in einer Höhe von h = 58.2 km:

Station 1 (Ondrejov): $\eta_1 = 107°25'15''$ $\cot \psi_1 = -2.6240$
Station 2 (Prcice): $\eta_2 = 25°21'54''$ $\cot \psi_2 = -0.72322$

Der hieraus resultierende, scheinbare Radiant liegt bei:

$\alpha_R = 189°31'19''$ $\delta_R = 20°40'52''$ /5/

Die beiden Großkreise schließen einen Winkel von $Q_{12} = 54°$ ein. /9/
In eine handelsübliche (polständig azimutale, winkeltreue) Sternkarte übertragen, würden die auf Abb. 1 dargestellten Trajektorien als gekrümmte Linien erscheinen. Man kann jedoch die Meteorbahnen als Geraden einzeichnen, wenn man eine Sternkarte mit gnomonischer Projektion verwendet, wie dies auf Abb. 2 verdeutlicht wird.

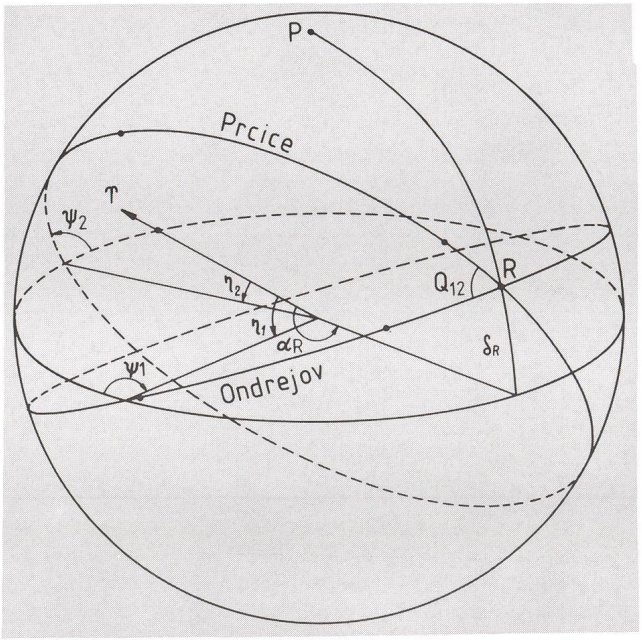



*Abb. 1:*
*Position des scheinbaren Radianten R im Äquatorialsystem und die von Ondrejov bzw. Prcice aus photographierte atmosphärische Bahnspur des PRIBRAM Meteors.*

Dazu wurden für die Sterne heller als $3.5^m$ /17/ Rektaszension und Deklination (bzgl. des Datums der Beobachtung) auf ein kartesisches Koordinatensystem (x,y) umgerechnet, und zwar durch folgende Projektion mit dem Zentrum $\alpha_o = 135°$, $\delta_o = 0°$ und dem Maßstabsfaktor c /22/:

$$x = c \cdot \tan(135° - \alpha)$$
$$y = (x^2 + c^2)^{1/2} \cdot \tan \delta$$

Die in verschiedenen Höhen ermittelten Messwerte für den scheinbaren Radianten ($\alpha_R$, $\delta_R$) und die Meteoroidgeschwindigkeit v müssen zunächst von atmosphärischen Einflüssen befreit werden. Berücksichtigung der Refraktion /25/ und der Abbremsung $\dot{v}$ infolge der Luftreibung, gemäß $m \cdot \dot{v} = -\Gamma \cdot A \cdot \vartheta_e \cdot v^2$ ($\vartheta_e$: Luftdichte, $\Gamma$: Reibungskoeffizient, m: Masse und A: Querschnittsfläche des Körpers) /26/ liefert die präatmosphärischen Daten $\alpha_\infty$, $\delta_\infty$, $v_\infty$.

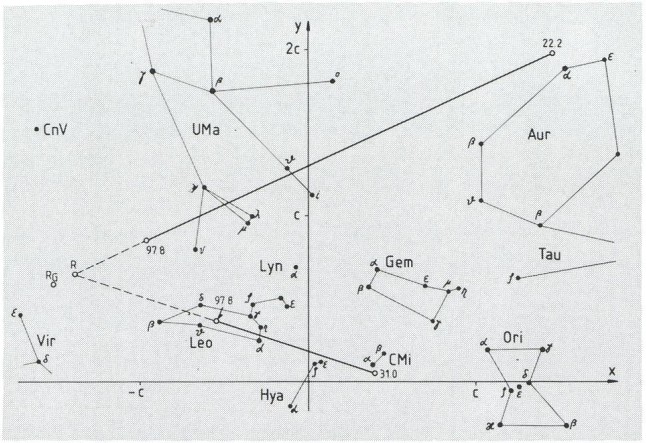



*Abb. 2: Sternkarte gnomonischer Projektion mit Trajektorien des Meteors PRIBRAM von Ondrejov (blau, von 97.8 bis 31.0 km Höhe) und von Prcice (grün, von 97.8 bis 22.2 km Höhe) aus gesehen.*

Für den Durchgangszeitpunkt (s. Tab. 1) bestimme man aus der Lage des Meteors über dem Erdellipsoid die geographische Breite $\varphi$ und die Sternzeit $\theta$ des Submeteorpunktes, sowie die Höhe h über dem Geoid (Erdradius $R_\varphi$).
$v_\infty$ ist die Geschwindigkeit, welche der mit der täglichen Erdrotation (T = 86164.091 s) mitbewegte Beobachter feststellt. Die um diese Drehbewegung korrigierte Meteoroidgeschwindigkeit hat den Wert

$$v_g = (v^2_\infty + u^2 - 2 \cdot v\infty \cdot u \cdot \cos\chi)^{1/2}$$

dabei ist die Erdrotationsgeschwindigkeit $u = \frac{2\pi \cdot R_o}{T} \cdot \cos\varphi$

und $\cos\chi = \cos\delta_\infty \cdot \sin(\alpha_\infty - \theta)$ (s. Abb. 3) /19/

Auf Grund der schrägen Einfallsrichtung von $v_g$ muß nun auch die Position des Radianten geändert werden. Die von dieser (täglichen) Aberration befreiten Koordinaten sind nach /19/ :

$$\alpha_g = \alpha_\infty \frac{u}{v_g} \frac{\cos(\theta - \alpha_\infty)}{\cos\delta_\infty}$$

$$\delta_g = \delta_\infty \frac{u}{v_g} \cdot \sin\delta_\infty \cdot \sin(\theta - \alpha_\infty)$$

Im Schwerefeld der Erde ($G \cdot M_e$ : Gravitationskonstante · Erdmasse) erfährt der Körper eine Beschleunigung (er erreicht in der Höhe h die Geschwindigkeit $v_g$) und seine Bahn wird zur Hyperbel gekrümmt. Die geozentrische Geschwindigkeit $v_G$, die der Meteoroid besaß, bevor er in den Anziehungsbereich der Erde kam, erhält man aus dem Energiesatz zu

$$V_G = \left(V_g^2 - \frac{2 \cdot G \cdot Me}{R_\varphi + h}\right)^{1/2}$$

Dies führt zu einer ganz erheblichen Verschiebung der Radiantposition und bewirkt, daß für den Beobachter der scheinbare Radiant immer näher am Zenit liegt, als der tatsächliche. /19/ (s.Abb.4)
Um diesen Effekt der sog. Zenitattraktion zu berechnen, transformiert man für den Submeteorpunkt die äquatorialen Koordinaten des scheinbaren Radianten $\alpha_g$, $\delta_g$ vermöge

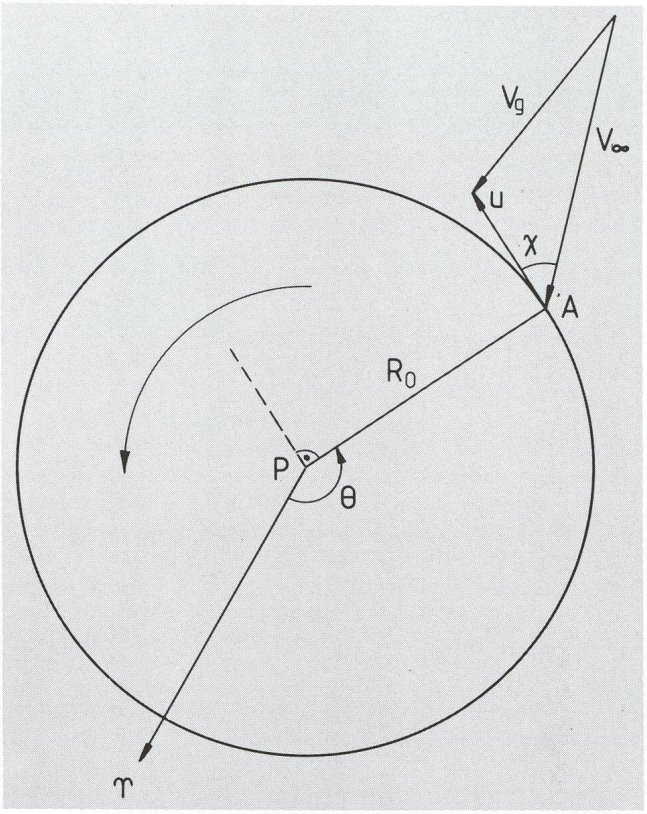



*Abb. 3:*
*Aufsicht vom Nordpol P auf die Äquatorebene der rotierenden Erde. PA ist der Meridian des Submeteorpunktes und Θ dessen Sternzeit (ab Frühlingspunkt ♈). Die Geschwindigkeiten sind nicht maßstäblich dargestellt; $v_\infty$ und $v_g$ liegen nicht in der Zeichenebene!*

$$\begin{pmatrix} \sin z \cdot \cos A \\ \sin z \cdot \sin A \\ \cos z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin\varphi & 0 & -\cos\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \cos\varphi & 0 & \sin\varphi \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos\delta \cdot \cos(\theta - \alpha) \\ \cos\delta \cdot \sin(\theta - \alpha) \\ \sin\delta \end{pmatrix}$$

ins Horizontalsystem und erhält: Zenitabstand $z_g$ und Azimut $A_g$. /30/ Nach Anwendung von Schiaparelli's Formel der Zenitattraktion

$$\tan\frac{\triangle z}{2} = \frac{v_g - v_G}{v_g + v_G} \cdot \tan\frac{z_g}{2} \quad /19/$$

ergibt sich aus $z_G = z_g + \triangle z$ und $A_G = A_g$ durch Rücktransformation ins Äquatorialsystem der Ort des wahren, geozentrischen Radianten $\alpha_G$, $\delta_G$.
Diese Koordinaten beziehen sich noch auf die Lage des Frühlingspunktes zur Beobachtungszeit (app) und werden schließlich durch Anbringen der Präzessionsänderungen $\triangle\alpha$ und $\triangle\delta$ auf das Äquinoktium B1950 normiert. /30/ (s. Tab. 5)

Um den orbit des Meteoroiden um die Sonne zu bestimmen, ist seine geozentrische Geschwindigkeit noch vektoriell zur Bahngeschwindigkeit der Erde zu addieren. Dazu begibt man sich am besten ins Ekliptikalsystem, indem man die Koordinaten $\alpha_G$ und $\delta_G$ mittels Drehung um die mittlere Schiefe der Ekliptik $\epsilon$ = 23°26'44".86' (B 1950) in ekliptikale Länge $\lambda_G$ und Breite $\beta_G$ umrechnet: /30/

*Tabelle 2*

Geographische Breite $\varphi$ und Länge $\lambda$ sowie Höhe über dem Meerespiegel der Beobachtungsstationen, von denen aus Meteore photographiert wurden:

| PRIBRAM /5/ | LOST CITY /24,27/ | INNISFREE /15/ |
|---|---|---|
| Ondrejov, CSSR<br>$\varphi$ = 49° 54′ 36″.07 N<br>$\lambda$ = 14° 46′ 57″.16 E<br>$\vartheta$ = 0.530 km | Hominy, Oklahoma<br>$\varphi$ = 36° 28′ 18″.99 N<br>$\lambda$ = 96° 22′ 57″.82 W | Vegreville, Alberta<br>$\varphi$ = 53° 32′ 03″ N<br>$\lambda$ = 112° 06′ 45″ W<br>$\vartheta$ = 0.640 km |
| Prcice, CSSR<br>$\varphi$ = 49° 34′ 49″.85 N<br>$\lambda$ = 14° 32′ 49″.20 E<br>$\vartheta$ = 0.423 km | Woodward, Oklahoma<br>$\varphi$ = 36° 26′ 12″.53 N<br>$\lambda$ = 99° 31′ 02″.50 W | Louisiana, Alberta<br>$\varphi$ = 52° 07′ 42″ N<br>$\lambda$ = 113° 11′ 48″ W<br>$\vartheta$ = 0.929 km |
| | Pleasanton, Kansas<br>$\varphi$ = 38° 07′ 32″.37 N<br>$\lambda$ = 94° 44′ 35″.00 W | |
| | Garden City, Kansas<br>$\varphi$ = 37° 59′ 34″.07 N<br>$\lambda$ = 100° 48′ 42″.33 W | |

*Tabelle 3*

Atmophärische Bahndaten der Meteore

| | PRIBRAM | | LOST CITY | | INNISFREE | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $M_{pan}$ | $-19.2^m$ | /6/ | $-11.6^m$ | /28/ | $-12.1^m$ | /16/ |
| $E_{total}$ (erg) | $98.0\ 10^{15}$ | /5/ | $2.14\ 10^{15}$ | /§/ | $1.69\ 10^{15}$ | /16/ |
| $t_E - t_B$ (s) | 6.8 | /5/ | 9.0 | /27/ | 4.1 | /15/ |
| $v_B$ (km/s) | 20.874 | /5/ | 14.2 | /27/ | 14.52 | /16/ |
| $h_B$ (km) | 97.8 | /9/ | 85.9 | /29/ | 62.4 | /15/ |
| $h_M$ (km) | 46 | /6/ | 31.7 | /28/ | 36 | /16/ |
| $h_E$ (km) | 13.3 | /9/ | 19.5 | /28/ | 19.8 | /16/ |
| $v_E$ (km/s) | 7.0 | /31/ | 3.5 | /23/ | 2.66 | /16/ |
| $\phi_B$ (app) | 43.25° | /32/ | 38.3° | /29/ | 67.8° | /16/ |
| l (km) | 123.3 | /§/ | 107.1 | /§/ | 46.0 | /§/ |

$M_{pan}$: Maximalwert der absoluten (bezogen auf Standardentfernung 100 km), panchromatischen Helligkeit des Meteors

$E_{total}$: gesamte abgestrahlte Leuchtenergie

$t_E - t_B$: Leuchtdauer in Sekunden

$h_B$, $h_M$, $h_E$: Höhe des Meteors über dem Meeresspiegel am Beginn (B), bei maximaler Helligkeit (M) und am Ende (E) der Leuchtbahn

$v_B$, $v_E$: Geschwindigkeiten am Punkt B bzw am Punkt E

$\phi_B$: Beobachteter Neigungswinkel gegen den Horizont des Submeteorpunktes am Beginn der Leuchtspur

l: atmosphärische Bahnlänge (leuchtender Teil):

$$l = \frac{\vartheta_B - \vartheta_E}{\sin\phi_B}$$

*Tabelle 4*

Daten der aufgefundenen Meteorite

| | PRIBRAM | | LOST CITY | | UNNISFREE | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\vartheta m$ (g/cm³) | 3.69 | /11/ | 3.73 | /11/ | 3.7 | /7/ |
| m (kg) | 5.555 | /13/ | 17.322 | /16/ | 4.576 | /16/ |
| $m_i$ (g) | 4250<br>772<br>428<br>105 | /34/ | 9830<br>272<br>6580<br>640 | /11/ | 20.70<br>33 330<br>120 22<br>345 387<br>894 375 | /16/ |
| $\varphi A$<br>$\lambda A$ | 49°40′19″.7 ′N<br>14°10′51″.2 E | /5/ | 36°00′08″ N<br>95°05′58″ W | /27/ | 53°24′50″.3 N<br>111°20′10″.7 W | /16/ |
| Typ (Fa) | H 5 (17.9) | /11/ | H 5 (17.6) | /11/ | LL 5 (27.1) | /33/ |

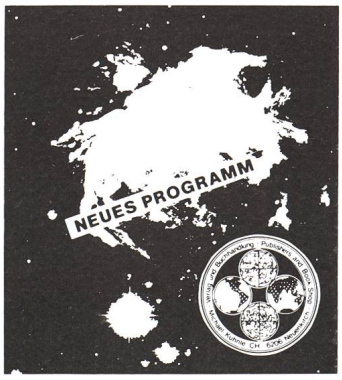
$\vartheta_m$, m: Dichte und Gesamtmasse der gefundenen Meteorite

$m_i$: Einzelmassen in der Reihenfolge des Fundes

$\varphi_A$, $\lambda$: geographische Koordinaten des Aufschlagspunktes der jeweiligen Hauptmasse

Typ: Mineralogische Stoffklasse (H: Olivin-Bronzit Chondrit, LL: Amphoterit) und petrologischer Grad (5)

Fa: molekularer Prozentsatz des Fayalites in der Olivin- Zusammensetzung




Astro-Bilderdienst
Astro Picture-Centre
Service de Astrophotographies
Patronat:
Schweiz. Astronomische Gesellschaft

Auf Wunsch stellen wir Ihnen die jeweils neuesten Preislisten zu.

Verlag und Buchhandlung
Michael Kuhnle.
Surseestrasse 18, Postfach 181
CH - 6206 Neuenkirch
Switzerland
Tel. 041 98 24 59

*Tabelle 5*

Positionen der scheinbaren / wahren Radianten und die Geschwindigkeiten der Meteoroide

| | PRIBRAM | | LOST CITY | | INNISFREE | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\alpha_\infty$ (app) | 189.615° | /5/ | 331.2° | /§/ | 21.46° | /14/ |
| $\delta_\infty$ (app) | 20.649° | | 44.9° | | 66.32° | |
| $v_\infty$ (km/s) | 20.886 | /6/ | 14.20 | /28/ | 14.54 | /14/ |
| $\chi_G$ (B1950) | 191.732° | /6/ | 315.0° | /28/ | 6.66° | /15/ |
| $\delta_G$ (B1950) | 17.736° | | 39.1° | | 66.21° | |
| $v_G$ (km/s) | 17.434 | /6/ | 9.25 | /§/ | 9.43 | /14/ |
| $\lambda_H$ (B1950) | 131.636° | /§/ | 7.32° | /§/ | 46.10° | /14/ |
| $\beta_H$ (B1950) | 9.554° | | 11.92° | | 12.27° | |
| $v_H$ (km/s) | 37.451 | /6/ | 35.64 | /§/ | 36.40 | /14/ |
| $E_G$ | 101.839° | /6/ | 118.5° | /§/ | 124.67° | /§/ |
| $E_H$ | 152.896° | /§/ | 166.8° | | 167.70° | |

*Tabelle 6*

Heliozentrische Bahnelemente der Meteoroide

| | PRIBRAM | | LOST CITY | | INNISFREE | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| T | 1959, May 18.003 | | 1969, Dec 19.521 | | 1977, Feb 4.434 | |
| a (AE) | 2.4008 | /6/ | 1.659 | /27/ | 1.872 | /15/ |
| e | 0.6712 | | 0.417 | | 0.4732 | |
| $\omega$ (B1950) | 241.749° | | 161.00° | | 177.97° | |
| $\Omega$ (B1950) | 17.110° | /6/ | 283.04° | /21/ | 316.80° | /15/ |
| i (B1950) | 10.481° | | 11.98° | | 12.27° | |
| q (AE) | 0.7894 | /6/ | 0.967 | /27/ | 0.986 | /15/ |
| Q (AE) | 4.012 | | 2.35 | | 2.758 | |
| $\pi_m$ (B1950) | 258.860° | /§/ | 84.04° | /§/ | 134.77° | /§/ |
| P (d) | 1358.7 | | 780.5 | | 935.5 | |

T: Zeitpunkt des Periheldurchganges

a, q, Q: Grosse Halbachse, Perihel- und Apheldistanz in astronomischen Einheiten (1AE = 149.59787 $10^6$ km). /30/

e: Bahnexzentrizität

P: Umlaufszeit in Tagen $P = \frac{2\pi \cdot a^{1.5}}{\sqrt{GM_\odot}}$ mit der GAUSS-schen Gravitationskonstanten $\sqrt{G.M_\odot} = 0.01720209895$ $AE^{1.5}$/d. /1/

$\omega$: Winkelabstand des Perihels vom aufsteigenden Knoten

$\Omega$: ekliptikale Länge des aufsteigenden Knotens

$\pi_m$: Länge des Perihels $\pi_m = \omega + \Omega$

i: Bahnneigung gegen die Ekliptik

Alle Winkelangaben beziehen sich auf das Äquinoktium B 1950, also auf mittlere Ekliptik, Äquator und Frühlingspunkt des Besseljahresanfangs von 1950.

$$\begin{pmatrix} \cos\lambda \cdot \cos\beta \\ \sin\lambda \cdot \cos\beta \\ \sin\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\epsilon & \sin\epsilon \\ 0 & -\sin\epsilon & \cos\epsilon \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos\alpha \cdot \cos\delta \\ \sin\alpha \cdot \cos\delta \\ \sin\delta \end{pmatrix}$$

**Die Vektordarstellung von $v_G$ lautet in diesem Koordinatensystem, in dem die x-Achse zum Frühlingspunkt $\gamma$ zeigt:**

$$\underline{v}_G = -v_G \begin{pmatrix} \cos\lambda_G \cdot \cos\beta_G \\ \sin\lambda_G \cdot \cos\beta_G \\ \sin\beta_G \end{pmatrix}$$

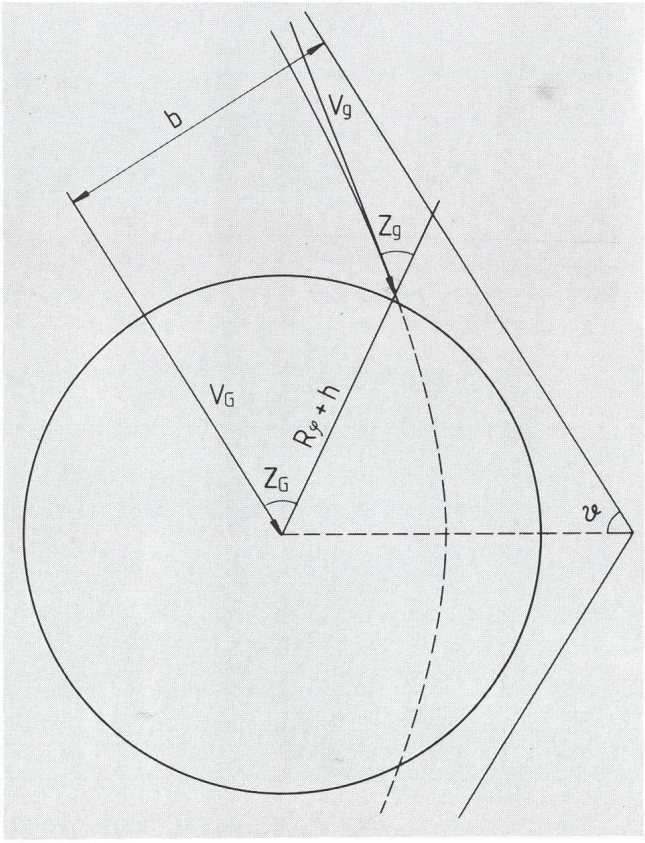



*Abb. 4:*
*Hyperbolische Meteoroidbahn im Gravitationsfeld der Erde (Stoßabstand b, Öffnungswinkel ϑ).*

Findet die Kollision im absteigenden Bahnknoten ☋ statt, so ist die Revolutionsgeschwindigkeit $v_e$ der Erde zum Zeitpunkt des Impakts gegeben durch:

$$\underline{v}_e = \left[\frac{G\cdot(M_\odot + M_e)}{a_o(1-e_o^2)}\right]^{1/2} \begin{pmatrix} -e_o\cdot\sin\pi_o + \sin\lambda_\odot \\ e_o\cdot\cos\pi_o - \cos\lambda_\odot \\ 0 \end{pmatrix}$$

wobei die Erdbahnelemente ($a_o$ = 1 AE, Exzentrizität $e_o$) Perihellänge ($\pi_o$) und die ekliptikale Länge der Sonne $\lambda_\odot$ (alle Winkel bezogen auf das Äquinoktium B1950) zur Durchgangszeit $\tau$ einzusetzen sind /§/. Die heliozentrische Meteoroidgeschwindigkeit $v_H$ und die ekliptikale Position des heliozentrischen Radianten $\lambda_H$ und $\beta_H$ ergeben sich elementar aus:

$$\underline{v}_G + \underline{v}_e = \underline{v}_H = -v_H \cdot \begin{pmatrix} \cos\lambda_H\cdot\cos\beta_H \\ \sin\lambda_H\cdot\cos\beta_H \\ \sin\beta_H \end{pmatrix}$$

Die Resultate für die 3 Meteoritenfälle sind aus Tab. 5 und Abb. 5 ersichtlich.

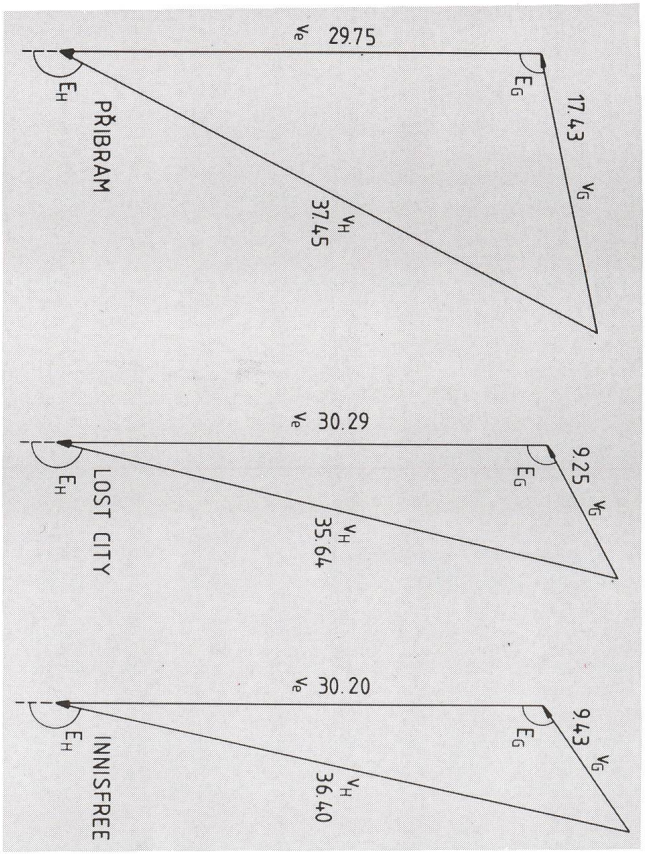



*Abb. 5: Zusammenhang von Erdbahngeschwindigkeit $v_e$ mit den geo- und helio-zentrischen Meteoroidgeschwindigkeiten ($v_G$, $v_H$; Beträge in km/s) und den Radianten- Elongationen ($E_G$, $E_H$) vom der Erdbewegung*

Da man nun sowohl Ort, als auch Geschwindigkeit des Kleinkörpers kennt, ist die Kalkulation seiner Umlaufbahn um die Sonne möglich. Für den Fall des Impakts im absteigenden Knoten ($\beta_H > 0$) lauten die Bestimmungsgleichungen für die grundlegenden 6 Bahnelemente T, a, e, $\omega$, $\Omega$ und i (Erläuterung der Symbole s. Tab. 6): /19,30,§/

| | |
|---|---|
| $\Omega$ | $\Omega = \lambda_\odot$ |
| i | $\tan i = \dfrac{\tan\beta_H}{\sin(\lambda_H - \Omega)}$ |
| a | $\dfrac{1}{a} = \dfrac{2}{r} - \dfrac{v_H^2}{GM_\odot}$ mit $r = \dfrac{a_o\cdot(1-e_o^2)}{1 - e_o\cdot\cos(\pi_o - \lambda_\odot)}$ |
| e | $(1-e^2)^{1/2} = \dfrac{r\cdot v_H}{(GM_\odot\cdot a)^{1/2}}\cdot\dfrac{\sin\beta_H}{\sin i}$ |
| $\omega$ | $\cos\omega = \dfrac{1}{e}\cdot\left[1 - \dfrac{a(1-e^2)}{r}\right]$ |
| T | $\tau - T = \left(\dfrac{a^3}{GM_\odot}\right)^{1/2}\cdot(E - e\cdot\sin E)$ mit $\tan\dfrac{E}{2} = \left(\dfrac{1-e}{1+e}\right)^{1/2}\cdot\cot\dfrac{\omega}{2}$ |

Die hieraus resultierenden Bahnparameter der drei Meteoroiden- Ellipsen um die Sonne sind in Tab. 6 zusammengefaßt und auf den Abb. 6 - 8 veranschaulicht.

Form und Lage der Umlaufbahnen erhärten die Theorie, daß diese gewohnlichen Chondrite dem Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter entstammen. Für LOST CITY z.B. zeigt eine Rückrechnung der Bahnelemente bis 500000 Jahre vor dem Impakt, daß der Meteoroidenorbit erstaunlich stabil war. Durch langperiodische Einflüsse der großen Planeten wurden nämlich in der Vergangenheit enge Begegnungen mit der Erde, und somit gravierende Bahnstörungen, verhindert. /21/

Abschließend seien noch all jene gewürdigt, die durch freundliche Überlassung von Literaturquellen, sowie durch persönliche Mitteilung aktueller Ergebnisse diesen Beitrag ermöglicht und gefördert haben. Den Herren Dr. Z. Ceplecha (Ondrejov), R.S. Clarke (Washington), I. Halliday (Ottawa), R.E. McCrosky (Cambridge) und G. Polnitzky (Wien) gebührt an dieser Stelle besonderer Dank.

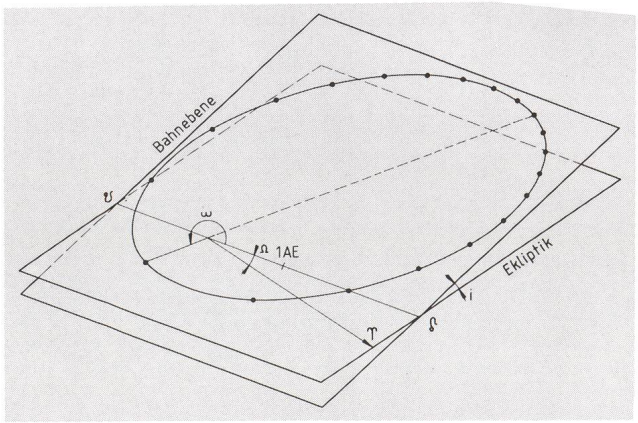
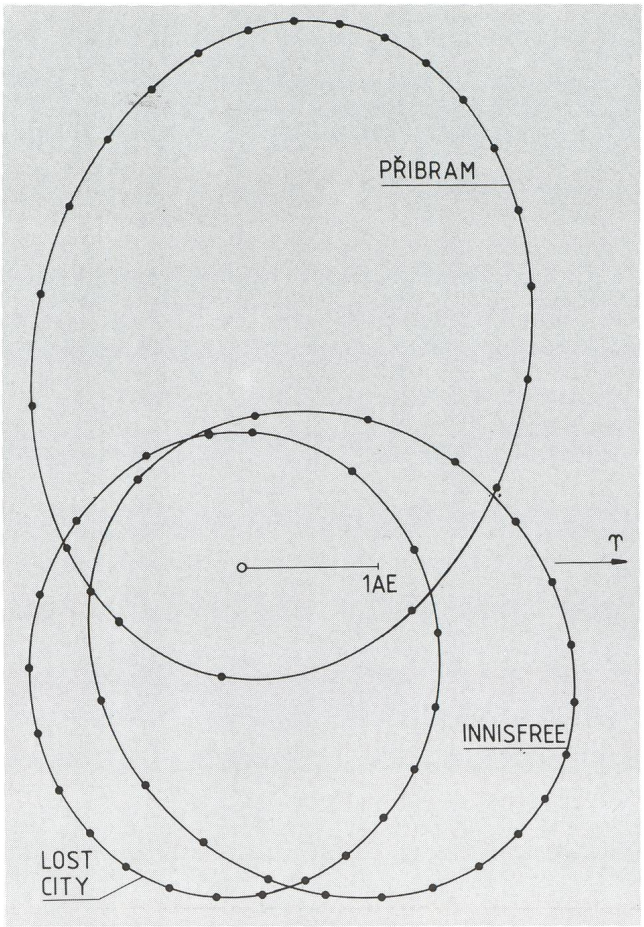



*Abb. 6: Orbit des Meteoroiden PRIBRAM in seiner Bahnebene (grün), die um die Knotenlinie ☊☋ gegen die Ekliptik (blau) geneigt ist.*



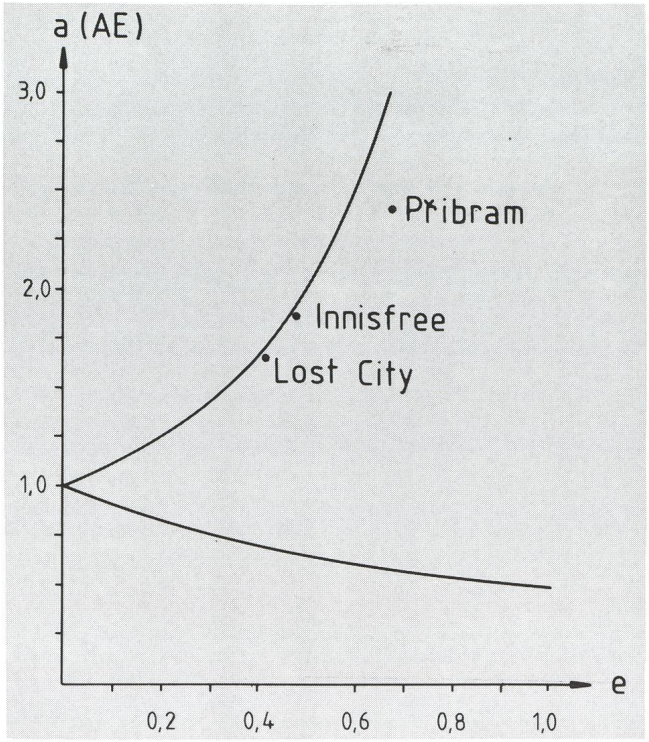




*Abb. 7 oben:*
*Lage der Bahnparameter in Kresak's a-e-Diagramm. Das Gebiet $a \cdot (1-e) < 1 < a \cdot (1+e)$ enthält alle orbits, welche die Erdbahn kreuzen. /2,20/*

*Abb. 8: Elliptische Umlaufbahnen der Meteoroide um die Sonne, aus den Bahnebenen auf die Ekliptik projiziert, in ihrer Lage relativ zum Frühlingspunkt ♈. Die Kollisionen mit der Erde sind durch Kreuze gekennzeichnet; die Punkte markieren die Orte der Kleinkörper in gleichen Abständen von 1/20 Umlaufszeit.*

*Quellenverzeichnis:*


1 U. Bucerius, M. Schneider, 1966. HIMMELSMECHANIK I. Bibl. Inst. HTB 143/143a, Mannheim.

2 V.F. Buchwald, 1975. HANDBOOK OF IRON METEORITES, Vol. I. University of California Press, 5-32.

3 Z. Ceplecha, 1960. EXPERIMENTAL DATA ON THE FINAL MASS OF THE BODY LANDED ON EARTH AFTER PENETRATING THE ATMOSPHERE AT COSMIC VELOCITY. Bull. Astron. Inst. Czech. 11,9-13

4 Z. Ceplecha, 1960. NOTE ON THE MASS-DETERMINATION OF THE PRIBRAM METEORITES. Bull. Astron. Inst. Czech. 11,164

5 Z. Ceplecha, 1961. MULTIPLE FALL PRIBRAM METEORITES PHOTOGRAPHED, 1. DOUBLE-STATION PHOTOGRAPHS OF THE FIREBALL AND THEIR RELATIONS TO THE FOUND METEORITES. Bull. Astron. Inst. Czech. 12,21-47

6 Z. Ceplecha, 1977. FIREBALLS PHOTOGRAPHED IN CENTRAL EUROPE. Bull. Astron. Instr. Czech. 28,328-340

7 Z. Ceplecha, 1980. OBSERVATIONAL AND THEORETICAL ASDPECTS OF FIREBALLS. In: I. Halliday, B. A. McIntosh (eds). Solid Particles in the Solar System. Reidel, Dordrecht, Holland, 171-183

8 Z. Ceplecha, J. Rajchl, L. Sehnal, 1959. NEW CZECHOSLOVAK METEORITE «LUHY». Bull. Astron. Inst. Czech. 10,147-148

9 Z. Ceplecha, M. Jezkova, M. Novak, J. Rajchl, L. Sehnal, J.G. Davies 1964. ONDREJOV DOUBLE—STATION METEORS DURING THE IGY AND IGC. Bull. Astron. Inst. Czech. 15,144-155

10 Z. Ceplecha, J. Rajchl, 1965. PROGRAMME OF FIREBALL PHOTOGRAPHY IN CZECHOSLOVAKIA. Bull. Astron. Inst. Czech. 16,15-22

11 R.S. Clarke, E. Jarosewich, J. Nelen, 1971 THE LOST CITY, OKLAHOMA, METEORITE: AN INTRODUCTION TO ITS LABORATORY INVESTIGATION AND COMPARISONS WITH PRIBRAM AND UCERA. J. Geophys. Res. 76,4135-4143

12 A.L. GRAHAM, 1978. FALL OF THE INNISFREE, CANADA, STONY METEORITE. The Meteoritical Bulletin Bo. 55, Meteoritics 13,338

13 A.L. GRAHAM, A.W.R. BEVAN, R. HUTCHISON, 1985. CATALOGUE OF METEORITES, 4. ed. British Museum (Natural History), London, 175, 218,292

14 I. HALLIDAY, 1986, May 13. Private Communication

15 I. HALLIDAY, A.T. BLACKWELL, A.A. GRIFFIN, 1978. THE INNISFREE METEORITE AND THE CANADIAN CAMERA NETWORK. J. Roy. Astron. Soc. Can. 72,15-39

16 I. HALLIDAY, A.A. GRIFFIN, A.T. BLACKWELL, 1981. THE INNISFREE METEORITE FALL: A PHOTOGRAPHIC ANALYSIS OF FRAGMENTATION, DYNAMICS AND LUMINOSITY. Meteoritics 16,153-170

17 D. HOFFLEIT, 1965. CATALOGUE OF BRIGHT STARS. 3.ed., Yale Univ. Press, New Haven, Conn.

18 R. HUTCHISON, A.W.R. BEVAN, J.M.HALL, 1977. APPENDIX TO THE CATALOGUE OF METEORITES. British Museum (Natural History), London, 140

19 L.A. KATASEV, 1964. PHOTOGRAPHIC METHODS IN METEOR ASTRONOMY. Monson, Jerusalem. (Translated from Russian by IPST)

20 L. KRESAK, 1968. THE RELATION BETWEEN ORBITS AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF METEORS. In: L. KRESAK, P.M. MILLMAN (eds). Physics and Dynamics of Meteors. Reidel, Dordrecht, Holland, 217-235

21 B.E. LOWREY, 1971. ORBITAL EVOLUTION OF LOST CITY METEORITE. J. GEOPHYS. Res. 76,4084-4089

22 R.A. MACKENZIE, 1985. B.M.S. METEOR OBSERVER'S HANDBOOK, VOL. I: NAKED EYE WORK. 6 ed., British Meteor Society, Dover, England

23 R.E. Mc CROSKY, 1970. THE LOST CITY METEORITE FALL. Sky and Telescope 39,154-158

24 R.E. Mc CROSKY, H. BOESCHENSTEIN, 1965. THE PRAIRIE METEORITE NETWORK. Smiths. Astrophys. Obs. Spec. Rep. 173, Cambridge, Mass., 23pp

25 R.E. Mc CROSKY, A. POSEN, 1968. PRAIRIE NETWORK METEOR DATA. Smiths. Astrophys. Obs. Spec. Rep. 273, Cambridge, Mass., 90pp

26 R.E. Mc CROSKY, Z. CEPLECHA, 1969. PHOTOGRAPHICS NETWORKS FOR FIREBALLS. In: P.M. MILLMAN (ed). Meteorite Research. Reidel, Dordrecht, Holland, 600-612

27 R.E. Mc CROSKY, A. POSEN, G. SCHWARTZ, C.Y. SHAO, 1971. LOST CITY METEORITE - ITS RECOVERY AND A COMPARISON WITH OTHER FIREBALLS J. GEOPHYS. Res. 76,4090-4108

28 R.E. Mc CROSKY, C.Y. SHAO, A. POSEN, 1976. PRAIRIE NETWORK FIREBALL DATA, I. SUMMARY AND ORBITS. Prepint 665, Center for Astrophysics, Cambridge, Mass., 15pp

29 R.E. Mc CROSKY, C.Y. SHAO, A. Posen, 1977. PRAIRIE NETWORK FIREBALL DATA, II. TRAJECTORIES AND LIGHT CURVES. Preprint 721, Center for Astrophysics, Cambridge, Mass., 61pp

30 O. MONTENBRUCK, 1984. GRUNDLAGEN DER EPHEMERIDENRECHNUNG. Sterne und Weltraum Tb 10, München

31 D.O. REVELLE, 1980. A PREDICTIVE MACROSCOPIC INTEGRAL RADIATION EFFICIENCY MODEL. J. GEOPHYS. Res. 85,1803-1808

32 D.O. REVELLE, R.S. RAJAN, 1979. ON THE LUMINOUS EFFICIENCY OF METEORITIC FIREBALLS. J. GEOPHYS. Res. 84,6255-6262

33 D.G.W. SMITH, 1980. THE MINERAL CHEMISTRY OF THE INNISFREE METEORITE. The Canadian Mineralogist 18,433-442

34 K. TUCEK, 1961. MULTIPLE FALL OF PRIBRAM METEORITES PHOTOGRAPHED, 2. MORPHOLOGICAL AND MINERALOGICAL COMPOSITION OF THE METEORITIC STONES OF PRIBRAM. Bull. Astron. inst. Czech. 12,196-207



*Adresse des Verfassers:*
DIETER HEINLEIN, Puschendorfer Str. 1, D-8501 Veitsbronn



**Ferien-Sternwarte Calina**
**Osservatorio Calina**
**CH-6914 CARONA**

| **Programm** | | **1989** |
|---|---|---|
| 3. - 8. April | **Sonnenuhren**<br>ihre Berechnung und Konstruktion, Einführungskurs<br>Leitung: Erwin Greuter, Herisau | |
| 10. - 15. April | **Elementarer Einführungskurs**<br>in die Astronomie, mit praktischen Übungen an den Instrumenten Sternwarte<br>Leitung: Dr. M. Howald-Haller, Basel | |
| 27. - 28. Mai | **Kolloquium**<br>Thema: Filme für die Astrophotographie, Theorie und Praxis | |
| 10. - 15. luglio<br>a partire<br>dalle 19.30 | **Corso principianti (in lingua italiana)**<br>Introduzione teorica e pratica all'astronomia<br>Docente: Fumagalli Francesco, Varese | |
| 2. - 7. Oktober | **Elementarer Einführungskurs**<br>in die Astronomie, mit praktischen Übungen an den Instrumenten der Sternwarte<br>Leitung: Dr. M. Howald-Haller, Basel | |
| 9. - 14. Oktober | **Einführungskurs**<br>Computer und Astronomie<br>Leitung: Hans Bodmer, Greifensee | |

| | |
|---|---|
| Besitzer/Proprietario: | Gemeinde Carona/Comune di Carona |
| Anmeldungen/Informazioni: | Ferienstemwarte/Osservatorio Calina<br>c.p. 8, CH-6914 Carona<br>Tel. 091 68 83 46 oder 091 68 52 22<br>Hausverwalterin: Brigitte Nicoli |
| Technischer Berater: | Erwin Greuter, Postfach 41,<br>CH-9100 Herisau 1 |
| Unterkunft: | Im zur Sternwarte gehörenen Ferienhaus stehen Ein- und Mehrbettzimmer mit Küchenanteil oder eigener Küche zur Verfügung. Zimmerpreise auf Anfrage. |