



Er kommt!

Wie kein anderer Meteorstrom hat der Strom der Leoniden zur Erforschung der Meteore und ihrer Herkunft beigetragen. Das gilt nicht nur für den großen Leonidenschauer von 1833, nach dem über die kosmische Herkunft der Meteore kaum noch gezweifelt werden konnte, ja sogar die Verbindung zu Kometen bereits vermutet wurde. Es gilt auch für die Wiederkehr der Leoniden im vergangenen Jahr, nach der die theoretischen Überlegungen und Berechnungen zur Entwicklung eines solchen Meteorstroms ebenfalls in neue Richtungen weisen.

Die jährliche Wiederkehr von Meteorströmen ist den Astronomen mindestens schon einige hundert Jahre bekannt, doch wird der kosmische Ursprung von Meteoriten erst durch Chladni im Jahre 1794 diskutiert, und die extraterrestrische Ursache für die Leuchterscheinungen der Meteore wurde den Menschen noch viel später, mit dem Erscheinen des außerordentlichen Leonidenstroms im Jahre 1833 bewußt. Denison Olmsted, Professor für Mathematik und Naturwissenschaften am Yale College, bemerkte, daß viele Augenzeugen über den deutlichen Radianteneffekt berichteten und daß sich jener Radiant von allen Beobachtungsorten aus an der gleichen Stelle des Himmels zu befinden schien. Er begann die Höhe des Phänomens abzuleiten, Geschwindigkeiten zu berechnen und schloß bald jegliche irdische Herkunft aus. Er erkannte den perspektivischen Effekt des Radianten und folgerte, daß sich die Teilchen auf parallelen Bahnen um die Sonne bewegen müßten. In den Folgejahren fand man die Regelmäßigkeit aller großen Meteorströme, und man begann ab etwa der Mitte des vorigen Jahrhunderts mit der systematischen Beobachtung von Meteoriten. Der Beweis für die Verbindung der Leoniden mit dem periodischen Kometen 55P/Tempel-Tuttle wurde von Giovanni Schiaparelli im Jahre 1867 erbracht, nur wenige Monate nach dem Periheldurchgang des Kometen.

Versucht man, die Leonidenschauer vergangener Epochen im heutigen Maß für die Aktivität eines Meteorstroms auszudrücken [1], so findet man für die amerikanischen Morgenstunden des 13. November 1833 etwa 60000 Leoniden pro Stunde, die sich auf eine visuelle Grenzhelligkeit von +6,5m und Zenitstand des Radianten beziehen (siehe unten). Die folgende Wiederkehr der Leoniden im Jahre 1866 fiel mit etwa 8000 Leoniden pro Stunde auch noch recht beeindruckend aus; das Interesse des außerordentlich aktiven Meteorbeobachters und Amateurastronomen William Denning wurde durch dieses Ereignis geweckt. Es folgten weniger spektakuläre Periheldurchgänge, Raten von 250 im obigen Sinne lassen sich für das Jahr 1901 finden, für die nächste Wiederkehr findet man höchste Raten von etwa 200 im Jahre 1932. Kurz nach



Ein Leonid schlägt Sirius um Größenklassen. Peter Novotny gelang am 17.11.98 um 2:00 Uhr MEZ auf dem Gornergrat dieses eindrucksvolle Fotodokument. Belichtungszeit 10 Min, Film: Pro Gold 400, Objektiv: 50mm/f2

Vollmond müssen in jenem Jahr die Beobachtungsbedingungen erbärmlich gewesen sein. So kommt es, daß ein Bericht von 240 Meteoriten pro Stunde schnell auf eine Standardrate von 500-1000 extrapoliert wurde und die Leoniden von 1932 oft als Schauer angegeben werden. Der Originalbericht zeigt aber, daß die 240 Meteore pro Stunde die Summe von sechs Beobachtern ist, untereinander vergleichbare Zahlen der Stromaktivität beziehen sich aber immer auf einen Beobachter und wir erhalten rund 200 Meteore pro Stunde nach Extrapolation auf mondlose Bedingungen. Leider sollten solche aus der Euphorie geborenen Fehler auch 1998 wieder für Verwirrung sorgen. Die Leoniden schienen damals ausgedient zu haben, und niemand wollte so recht eine optimistische Prognose für die Wiederkehr 1998 geben; man findet Ankündigungen um 100 Leoniden pro Stunde. Im vorangegangenen Jahr sahen einige regelmäßig beobachtende Amateure Raten um 50 Leoniden pro Stunde, deren Besonderheit der große Anteil heller Meteore war, verglichen mit den Maxima anderer Meteorströme. Den großen Meteorsturm von 1966 beobachteten Augenzeugen in Nordamerika, die Schätzungen über die Raten liegen um 100000 Meteoriten pro Stunde. Der prominenteste Bericht über das Schauspiel stammt von Denis Milon [2], der am Observatorium auf Kitt Peak, zusammen mit einigen Kollegen, Maximalraten von 40 Meteoriten pro Sekunde schätzte.

Die Erwartungen an ein Schauspiel im vergangenen Jahr waren hoch, obwohl bis zum Schluß nicht klar war, ob die höchste Akti-

vität 1998 oder 1999 beobachtet werden würde. Die Ungeduld der Öffentlichkeit und der Druck, für 1998 noch die restlichen Mittel für Beobachtungsprojekte eintreiben zu müssen, ließ schnell das vergangene Jahr als das Hauptwiederkehrsjahr der Leoniden erscheinen. Die Pressewirksamkeit der Leoniden war enorm: Fast alle Tageszeitungen thematisierten den Strom mindestens einmal, einige sogar auf der Titelseite, nicht zuletzt wegen der Befürchtungen, Satelliten könnten von Staubteilchen getroffen werden.

Die Leoniden im Jahre 1998

Visuelle Meteorbeobachtungen sind am einfachsten durchzuführen. Sie sind deswegen nicht minder wertvoll; durch diese Einfachheit lassen sich außerordentlich viele Beobachtungen von allen Kontinenten der Erde zusammentragen. Die Beobachtungen werden von der International Meteor Organization gesammelt. In der dort geführten Datenbank finden sich bereits 55000 Leoniden aus dem vergangenen Jahr. Spezialausrüstungen wie bildverstärkte Videokameras und Radargeräte sind nur an wenigen Punkten der Erde verfügbar und können nur einige Stunden der Aktivität überdecken, die Photographie ist zu lichtschwach, um Leoniden schwächer als 0^m festzuhalten. Die visuellen Beobachtungen bieten uns die Chance, ein geschlossenes Aktivitätsprofil für einen Meteorstrom abzuleiten. Wir können dann die tatsächlichen Teilchenhäufigkeiten für einen Querschnitt durch den Meteorstrom berechnen. Wir wollen uns hier im wesentlichen auf die Auswertung der Leoniden von 1998 in [3] beziehen.

Als Maß für die beobachtbare Aktivität eines Meteorstroms wird die Stündliche Zenitrate (Zenithal Hourly Rate - ZHR) verwendet. Sie gibt an, wieviele Meteore pro Stunde ein Beobachter unter einem Himmel mit einer Grenzhelligkeit von $+6^m$ sehen würde, wenn der Radiant des Meteorstroms im Zenit stünde. Die ZHR wird in folgender Weise aus der Anzahl von Strommeteoren n berechnet: $ZHR = n r^{(6.5-lm)} F / (T_{eff} \sin h_R)$. Die Korrektur für die Grenzhelligkeit lm erfolgt gemäß einer in nahezu allen Fällen sehr gut erfüllten Exponentialverteilung der Meteore über die Helligkeiten; die 'Steilheit' dieser Verteilung wird durch den Populationsindex r festgelegt. Ein hoher Wert für r bedeutet ein schnelles Anwachsen der Meteorzahlen bei kleineren Helligkeiten. Der Faktor F korrigiert eventuelle Abschattungen des Beobachtungsfeldes (Wolken, Gebäude), T_{eff} ist die Beobachtungs-

zeit abzüglich aller Pausen und möglicher Eintragungszeiten von Meteoren, und h_R ist die Höhe des Radianten über dem Horizont. Der Populationsindex r spiegelt die Massenverteilung der Meteoroiden im Strom wider, er ist keineswegs eine Konstante, sondern verändert sich im Laufe der Aktivitätsperiode des Meteorstroms. Um also ein vernünftiges Profil der ZHR zu erhalten, muß man zuerst den Verlauf des r -Wertes aus den Helligkeitsverteilungen der Meteore ermitteln. Typische r -Werte während Meteorstrommaxima liegen um 2.0. Vor allem in den Morgenstunden der (europäischen) Nacht vom 16. zum 17.11. 98 wurden außerordentlich viele helle Leoniden gesichtet, Feuerkugeln von Vollmondhelligkeit finden sich in etlichen Berichten. Dieses seltene Verhältnis von hellen zu schwachen Meteoren drückt sich in einem niedrigen Populationsindex aus. Das r -Profil für die

Tage um das Leonidenmaximum ist in Abb. 1 gezeigt.

Als reproduzierbares Maß für die Position der Erde auf ihrer Bahn wird die Sonnenlänge verwendet. Wir werden uns im folgenden immer auf Sonnenlängen beziehen; die zugehörigen (nur für 1998 gültigen) Maximumszeiten in UT sind in den Abbildungen mit angegeben. Wir haben es mit zwei unterschiedlichen Teilstücken der Leonidenaktivität zu tun: Das erste zeichnete sich durch die vielen hellen Meteore aus und wurde von Beobachtern in Westasien und Europa zwischen 1h und 2h UT am 17. November im Maximum beobachtet. Als zweites Teilstück wird uns der Bereich um den Zeitpunkt interessieren, der mit der Passage der Erde am Knoten der Kometenbahn bei $\lambda=235,26^\circ$ zusammenfällt. Schon Abb. 1 zeigt uns für diese beiden Komponenten ein gegensätzliches Verhalten: die sogenannte Feuerkugelkomponente mit ihrem extrem niedrigen Populationsindex und den Zeitraum um die Knotenpassage mit deutlich erhöhten Werten.

Abb. 2 zeigt das Aktivitätsprofil, gewonnen aus den Leonidenzahlen und dem vorher berechneten r -Profil in Abb. 1. Die maximalen ZHR der Feuerkugelkomponente liegen bei etwa 340. Eine zweite, sehr kurze Spitze finden wir nahe der Knotenpassage, von den Beobachtern durch ihre Enttäuschung über das Ausbleiben des großen Leonidensturms kaum bemerkt, trotzdem aber durch ihre sorgfältigen Aufzeichnungen in der Auswertung nachweisbar. Das Peak erreichte eine maximale ZHR von etwa 180. Die Dauer dieser Spitze von weniger als einer Stunde stimmt gut mit dem überein, was man für die Aktivität von einem sehr jungen Teilstück des Stroms erwarten würde. Die Erde durchquerte an jener Stelle direkt den vom Kometen bei einem erst zwei oder drei Umläufen zurückliegenden Periheldurchgang 'ausgestreuten' Staubstreifen (comet trail - nicht zu verwechseln mit dem Kometenschweif, der von viel kleineren Teilchen gebildet wird).

Modellrechnungen

Welche Ursache hat nun das etliche Stunden vorher liegende Maximum? Der niedrige Populationsindex deutet auf eine alte Komponente des Stroms hin; der Strahlungsdruck der Sonne hat über lange Zeiträume von vielen Umläufen Wirkung gezeigt und vor allem die kleinsten Teilchen aus dem Meteorstrom herausdriften lassen. Für das Alter, das uns die Massenverteilung anzeigt, ist die Breite des Maximums aber verhältnismäßig gering: Die volle Halbwertsbreite beträgt 17 Stunden, während typische alte Ströme wie die vom Kometen 1P/Halley erzeugten η -Aquadriden hohe ZHR über ein bis zwei Tage liefern. Und wenn schon recht scharf, warum fällt dann das Leonidenmaximum nicht im geringsten mit dem Kometenknoten zusammen? Die Antwort auf diese Fragen könnten in einer bahnmechanischen Erscheinung liegen, die in den vergangenen Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen hat. Gravitative Störungen von Körpern des Sonnensystems untereinander bestimmen die Stabilität der

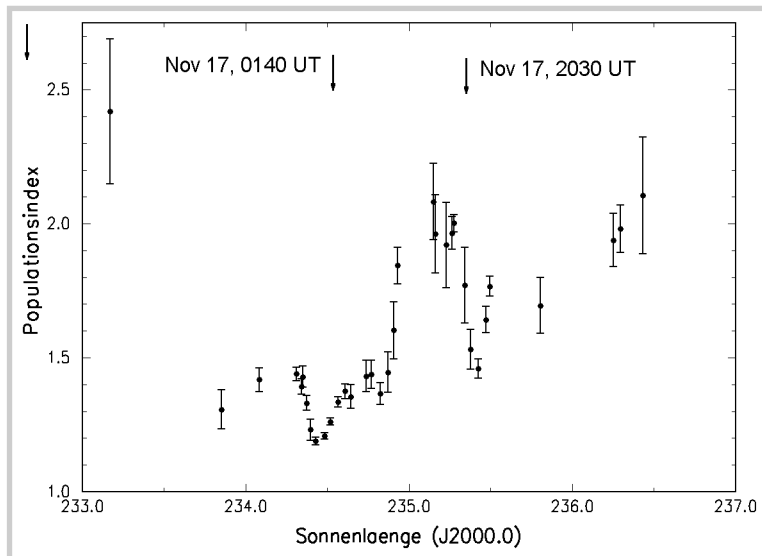


Abbildung 1: Profil des Populationsindex der Leoniden 1998. Das Maximum heller Meteore drückt sich in einem sehr niedrigen Wert aus. Um den Zeitpunkt der Knotenpassage liegen die Werte deutlich höher. Die Grafik ist der globalen Auswertung in [3] entnommen.

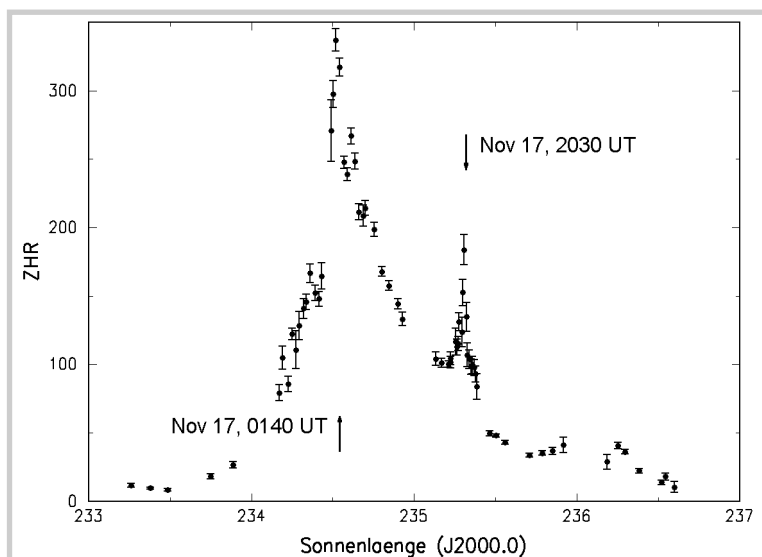


Abbildung 2: Profil der stündlichen Zenitrate (ZHR) der Leoniden 1998. Die Grafik ist der globalen Auswertung in [3] entnommen und basiert auf ca. 47000 Leoniden.

Bahnen. Körper, deren Bahnen sich nahe kommen, können trotzdem 'friedlich' miteinander umgehen, wenn ihre Umlaufzeiten ein Verhältnis kleiner ganzer Zahlen bilden. Wenn einer der Körper an dem kritischen Punkt großer Nähe zur anderen Bahn steht, ist der andere Körper immer an definierten, entfernten Punkten zu finden. Ein solches Verhalten nennt man Resonanz, deren prominentestes Beispiel von Neptun und Pluto gestellt wird, die sich in einem Periodenverhältnis von 2:3 bewegen.

Größter Störenfried für den Leonidenstrom ist der Jupiter, seine Umlaufzeit von 11,86 Jahren muß mit den Leonidenumlaufzeiten verglichen werden. Beim Ausstoß von Teilchen aus dem Kometen nahe seinem Periheldurchgang erhalten die Meteoroiden eine zusätzliche Geschwindigkeitskomponente, die sich in leicht vergrößerten und leicht verkleinerten großen Bahnhalbachsen niederschlagen. Da der Teilchenausstoß im Perihel von der *senkrecht* zur Bewegungsrichtung stehenden Sonne ausgelöst wird, kommen sowohl effektive Beschleunigungen als auf Verlangsamungen bezüglich der Kometenbewegung zustande. In dieser recht breiten Palette von Umlaufzeiten, die die Teilchen nun haben, gibt es auch Resonanzperioden mit Jupiter, von denen die wichtigste im Verhältnis 14:5 mit der Jupiterumlaufzeit stehen, in dem sich auch der Komet bewegt. Tatsächlich haben Teilchensimulationen [4] gezeigt, daß es auf Bahnen nahe der Kometenbahn Abschnitte gibt, die von der 14:5-Resonanz mit Jupiter nutznießen. Sie kommen der Jupiterbahn immer dann nahe, wenn der Riesenplanet sich gerade an anderer Stelle seiner Bahn befindet. Für die 'Feuerkugelnacht' der Leoniden im Jahre 1998 müssen noch mehr Bedingungen erfüllt sein: Die Knoten der Teilchenbahnen müssen in der Entfernung Erde-Sonne liegen, die Knotenlänge muß mit der Sonnenlänge des beobachteten Maximums zusammenfallen und der vom Jupiter unbeeinflusste Abschnitt des Stroms (resonant arc) muß die Erdbahn genau am 17. November 1998 überlagern. Bei jedem Periheldurchgang wird ein solcher Teilchensektor in den Strom injiziert, doch nur der vom Periheldurchgang von 1333, so die Simulationen, erfüllt alle Bedingungen. Damit hätte man eine Teilchenquelle gefunden, die mit 20 Umläufen alt genug ist, um den niedrigen Populationsindex zu erklären, gleichzeitig aber wegen des Auswahleffekts bestimmter Bahnhalbachsen und der geringen Planetenstörungen aufgrund der Resonanz eine nur langsam in Breite 'zerlaufende' Aktivitätskomponente liefert.

Leonidensturm 1999?

Die erfolgreichen Versuche, die Evolution des Meteoroidenstroms zu simulieren, lassen uns nach den Vorhersagen für das laufende Jahr fragen. Es stellt sich zunächst heraus, daß der Abschnitt resonanter Leonidenteilchen sich von der Erdbahn bereits entfernt haben wird, so daß mit keiner Wiederkehr einer Feuerkugelnacht zu rechnen ist. Trotz der etwas dürftigen Belohnung in vergangenen Jahr, wird auch in diesem Jahr die Vorhersage auf Zeiten

nahe der Passage des Kometenknotens fallen. Die umfangreichen Simulationen in [5] deuten an, daß die Erde denselben Teilchenstreifen von Tempel-Tuttle berühren wird wie im Jahre 1966, als man einen überwältigenden Sternschnuppensturm von vielleicht 100000 Meteoroiden oder mehr beobachtete. Der Abstand zum Zentrum dieses Streifens wird aber 1999 deutlich größer sein, und man kann davon ausgehen, daß die Aktivität bei einigen hundert Meteoroiden pro Stunde, höchstens bei 1000 pro Stunde liegen wird. Bei diesen Anzahlen wird sicher die eine oder andere Feuerkugel dabei sein, doch der weitaus größte Anteil wird von den schwächeren Meteoroiden geliefert werden; ein aufmerksamer visueller Beobachter wird am häufigsten Meteore um die Helligkeit +3^m wahrnehmen.

Als Zeitpunkt höchster Aktivität liefern die Simulationen den 18. November, 2h08m UT, also einen Moment, der leicht nach der Knotenpassage um 1^h35^m UT liegt. Die Unsicherheit liegt bei wenigstens einer Stunde. Abb. 3 zeigt eine Art Beobachtbarkeitsfunktion für drei verschiedene Maximumszeitpunkte: für den vorhergesagten Zeitpunkt 2h08m UT, für anderthalb Stunden früher und für anderthalb Stunden später. Um diese Funktion zu erhalten, wurde der Sinus der Radiantenhöhe zum Referenzzeitpunkt mit der bis zum Erreichen von 12° Sonnendepression verbleibenden Zeit multipliziert. Die dargestellten Isolinien legen damit etwa den Ort fest, an dem das Maximum (für drei verschiedene Annahmen) optimal in das Beobachtungsfenster zwischen Aufsteigen des Radianten und Morgendämmerung fällt. (Daß das Maximum dieser Funktion in die Polarregionen fällt, liegt an der extrem langen Nacht und dem zirkumpolaren Radianten.) Weiterhin ist die Höhe des Radianten zum Referenzzeitpunkt in Abbildung 3 eingetragen.

Europäische Längengrade liegen also optimal für die Beobachtung höchster Leonidenaktivität, genau wie unerwarteterweise in letzten Jahr. Leider sind die Wetterverhältnisse für ganz Europa in dieser Zeit sehr beobachtungsfeindlich, selbst der im Sommer so verlässliche Mittelmeerraum kann kaum mit Bewölkungswahrscheinlichkeiten unter 50% aufwarten. Gute Wetteraussichten finden sich in Vorderasien, in Nordafrika, sofern man sich in einigem Abstand zur Küste befindet, und in den Höhenlagen der Kanarischen Inseln. Neben dem Wetter sollten die geometrischen Bedingungen berücksichtigt werden. Je weiter man sich nach Süden begibt, desto später erscheint der Radiant am Horizont, desto früher beginnt außerdem die Morgendämmerung. Das Beobachtungsfenster für das kurze Maximum engt sich nach Süden hin ein. Alle Beobachter sind aufgerufen, zum Gesamtbild der Leoniden 1999 mit Beobachtungen aller Art beizutragen. Visuelle Beobachtungen gehen an den Koordinator des AKM, Jürgen Rendtel, Seestr. 6, 14476 Marquardt; jrendtel@aip.de.

Wir wünschen allen Beobachtern viel Glück für einen Leonidenschauer!

Rainer Arlt, 14109 Berlin, Friedensstr. 5

Literatur

- [1] P. Brown, *The Leonid Meteor Shower: Historical Visual Observations. Icarus* 138 (1999), 287-308
- [2] D. Milon, *Observing the 1966 Leonids. J. Brit. Astr. Ass.* 77 (1967), 89-93
- [3] R. Arlt, *Bulletin 13 of the International Leonid Watch: The 1998 Leonid Meteor Shower. WGN, Journal of the IMO*, 26 (1998), 239-248
- [4] D.J. Asher, M.E. Bailey, V.V. Emel'yanenko, *Resonant meteoroids from Comet Tempel-Tuttle in 1333: the cause of the unexpected Leonid outburst in 1998. MNRAS* 304 (1999), L53-L56
- [5] P. Brown, *Promotionsarbeit, Univ. of Western Ontario*, 1999.



Abbildung 3: Sichtbarkeitsbedingungen der Leoniden 1999 für den aus Modellen vorhergesagten Zeitpunkt 2^h08^m UT am 18. November [4], für 1.5 Stunden früher und für 1.5 Stunden später. Die hellen Isolinien geben die Radiantenhöhe zu diesen Zeitpunkten an. Die dunklen Isolinien sind eine Funktion, die aus dem Produkt der vom entsprechenden Zeitpunkt verbleibenden Stunden bis zum Beginn der nautischen Dämmerung und dem Sinus der Radiantenhöhe gewonnen wurde.