

Der Sturz des Phaéthon

(c) Günter Bischoff, veröffentlicht in EFODON-SYNESES Nr. 5/2003

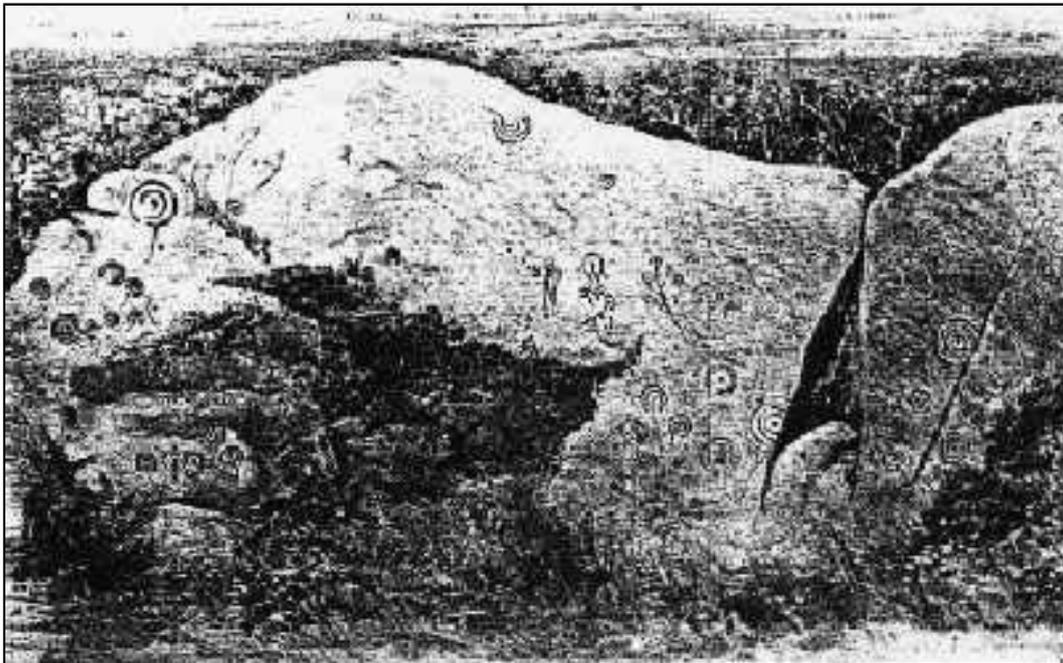
Erst seit wenigen Jahren ist sich die Menschheit einer besonderen Gefahr aus dem Weltall bewusst geworden. Nach Meinung vieler Wissenschaftler können Asteroiden und Kometen von Zeit zu Zeit die Erde treffen und das irdische Leben auf das Äußerste gefährden. Das bekannteste Ereignis fand vor 65 Millionen Jahren statt, als ein etwa zehn Kilometer großer Steinmeteorit in Mittelamerika einschlug. Infolge der weltweiten Klimaverschlechterung starben neben den Sauriern auch die meisten anderen Tierarten aus. Zum Glück fallen derart große Trümmerstücke des Sonnensystems nur im Abstand von mehreren Millionen Jahren. Häufiger dagegen haben kleinere Himmelskörper beim Einschlag auf der Erdoberfläche lokale Katastrophen ausgelöst, die in der Erinnerung der Menschen haften geblieben sind, obwohl jene schon Jahrtausende zurückliegen.

Ein ungewöhnlicher, von der Wissenschaft bislang nur wenig beachteter Meteoritenfall ereignete sich aller Wahrscheinlichkeit nach vor reichlich 3200 Jahren. Wenn die vorliegenden Deutungen richtig sind, dann war es das folgenschwerste Impaktereignis der jüngeren Menschheitsgeschichte, nämlich der Einschlag eines hundert bis zweihundert Meter großen Asteroiden vor der Küste Helgolands. Möglicherweise wären die Astronomen und Geologen bis heute nicht auf das Naturereignis aufmerksam geworden, wenn nicht eine alte Legende zu Nachforschungen angeregt hätte.

Die Legende von Phaéthon

Mehrere antike Dichter und Historiker erwähnen diese griechische Sage und berichten über Einzelheiten, darunter neben Hesiod, Solon und Aischylos auch Euripides, Aristoteles und Plutarch. Die umfangreichste Quelle darüber findet man aber in den „Metamorphosen“ [1] des römischen Dichters Ovid (41 v.Chr. bis 17 n.Chr.), der sein Wissen aus älteren, zum Teil verloren gegangenen Schriften schöpfte. In aller Kürze dargestellt, berichten Ovids Verse über folgendes [2].

Phaéthon, der auch den Beinamen „der Strahlende“ und „der Lodernde“ trägt, bittet seinen Vater Helios, einen Tag lang die Sonnenrosse führen zu dürfen. Trotz der ernststen Bedenken und Warnungen des Vaters bleibt Phaéthon bei seinem Verlangen. Ihm aber muss Helios eine Bitte erfüllen, weil er das als Beweis seiner Vaterschaft beim Styx geschworen hatte. Als die Sonnenrosse fühlen, dass ein Unerfahrener die Zügel hält, brechen sie aus der Bahn und stürmen der Erde zu. Furchtbare Brände zerstören Wälder und Städte, wegen der entsetzlichen Hitze trocknen Flüsse und Quellen aus. Ehemals fruchtbare Gebiete werden zur Wüste, schreckliche Erdbeben erschüttern die Welt, überall birst der Grund, Berge entbrennen in feuriger Glut, Asche und qualmender Rauch verhüllen die Erde in schwarzes Dunkel. Dreimal weicht das Meer zurück, um mit vernichtenden Fluten wiederzukehren. Schließlich erbarmt sich Zeus der bedrohten Erde und schleudert Phaéthon mit einem Blitzstrahl vom Wagen. Phaéthon stürzt in die Mündung des Eridanos, an dessen Ufern ihn seine Schwestern, die Heliaden, mit blutigen Tränen beweinen, die zu Bernstein werden. Aus Trauer um den Tod ihres Bruders werden die Heliaden in Pappeln verwandelt.



„Routing Linn Inscribed Rock“ (Georg Tate, *Ancient British Sculptured Rocks of Northumberland and the Eastern Borders*, 1865). Wurde hier die Erscheinung des Phaéthon dargestellt?

Die bildende Kunst hat Phaéthons Sturz gern für Sarkophagreliefs und Gemmenbilder verwendet, weil der Mythos die Vergänglichkeit des Lebens in poetischen Bildern darstellt. Auch Maler wie Tintoretto oder G. Moreau nahmen sich des Themas an.

Wie bei jeder Legende erhebt sich nun die Frage, ob sich vielleicht ein von Menschen erlebtes reales Geschehen dahinter verbirgt. Ovid selbst war bei Phaéthon von einer Naturerscheinung ausgegangen, die „allenfalls vergleichbar“ wäre mit einem Meteor oder einer Sternschnuppe. Der Körper müsse auf jeden Fall den Erdboden an einem bestimmbar Ort berührt haben.

Als erster in der Neuzeit stieß J. W. v. Goethe auf dieses Problem, der bekanntlich auch viel beachtete naturwissenschaftliche Studien trieb. Er vermutete ebenfalls ein tatsächliches Ereignis, nämlich das Herabstürzen eines meteoritischen Körpers auf die Erdoberfläche [3]. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts waren die geologischen Erkenntnisse bereits deutlich fortgeschritten, und so konnte F. X. Kugler erste Beweise für den Absturz eines Himmelskörpers finden [4]. Er widersprach damit Deutungen des bekannten Philologen Willamowitz-Möllendorf, der Phaéthon lediglich für den Morgenstern Venus hielt. Phaéthons Sturz wurde von Kugler erstmals mit der Deukalionischen Flut in Zusammenhang gebracht, die Griechenlands Küsten im 13. Jh. v.Chr. überschwemmte.

Im Jahre 1965 fasste der nordfriesische Pastor und Archäologe J. Spanuth alle mit dem Phaéthon in Verbindung stehenden Erscheinungen zusammen und stellte sie den archäologischen Befunden und schriftlichen Überlieferungen vieler Hochkulturen aus der Bronzezeit gegenüber [5]. Er sammelte auch als erster umfangreiche Beweise, dass Phaéthon den Untergang von Atlantis ausgelöst haben könnte. Lange Zeit rätselte er aber selbst über die Art der Himmelserscheinung: war es nun ein herabstürzender Riesenmeteorit oder der Unheil bringende Schweif eines Kometen, in den die Erde geraten war?

Im Jahr 1979 meldete sich ein anerkannter Geologe zu Wort. Prof. W. v. Engelhardt aus Tübingen sprach sich nachhaltig für den Einschlag eines Großmeteoriten aus. Nach Ovid soll er in die Mündung des Bernsteinflusses Eridanos gestürzt sein, und so beschrieb v.

Engelhardt das Schreckensszenario beim Einsturz eines derartigen Körpers in das Meer mit allen Folgeerscheinungen: riesige Dampf Wolken bis in große Höhen, katastrophale Wolkenbrüche und Flutwellen, die weitaus höher sind als die von einem Erdbeben ausgelösten Tsunamis [3]. Nach v. Engelhardt und einigen antiken Autoren müsse es sich bei dem legendären Fluss Eridanos um den ins Mittelmeer führenden Po handeln. Doch in der nördlichen Adria gibt es keine Einsenkung, die auf einen Meteoriteneinschlag schließen lässt.

Der Bernsteinfluss Eridanos

Für die Enträtselung der Phaéthon-Legende ist die Lokalisierung dieses aus der griechischen Mythologie bekannten Flusses von großer Wichtigkeit. Bei der Identifizierung des Eridanos' sind in der Wissenschaft erstaunlicherweise nur fünf Möglichkeiten ernsthaft erörtert worden. Das sind einmal die zwei Mittelmeerzuflüsse Rhône und Po, zum anderen die Nordseeflüsse Rhein, Elbe und Eider. Die Rhône oder den Po anzunehmen, war nicht völlig abwegig, denn hier endeten wichtige Bernsteinstraßen der Bronzezeit, und schließlich fand die Deukalionische Flut an einer Mittelmeerküste statt. Dennoch widerspricht dies dem wichtigen Hinweis antiker Autoren, dass der Eridanos in das „Kronos-Meer“ (d.h. die Nordsee) oder in den „hyperboreischen Ozean“ floss. Bei ihren Diskussionen hatten es sich die Forscher jedoch unnötig schwer gemacht. Die drei Flüsse Rhodanus, Padus und Rhenus werden nämlich in den „Metamorphosen“ [M II, 258] unter eigenem Namen aufgeführt, und diese entsprechen zweifelsfrei der heutigen Rhône, dem Po und dem Rhein. Als Eridanos kommen also von vornherein nur die Elbe oder die Eider in Betracht.

Spanuths eingehende Untersuchungen sprechen mit einiger Sicherheit für die nur knapp zweihundert Kilometer lange Eider [5, S. 168 ff.]. An ihren Ufern wird heute noch – im Gegensatz zur Elbe – Bernstein angespült. Und sie strömt, übereinstimmend mit dem Namen, westwärts in die Nordsee. „Eridanos“ bedeutet nämlich „Strom vom Morgen“ oder „Strom von Osten“. Zu einem berechenbaren Fluss ist die Eider erst durch die Deichbauten der letzten fünfhundert Jahre geworden. Vorher füllte sie das ganze bis zu zwanzig Kilometer breite Eidertal aus und war wirklich ein mächtiger Strom. Während der Flut konnte damals das Meerwasser bis Hollingstedt aufsteigen und einen breiten Meerbusen bilden. In der Bronzezeit war die Eider der größte und bedeutendste Fluss der gesamten kimbrischen Halbinsel, der sich im Laufe der Jahrhunderte zur wichtigen Verkehrsader für die Menschen der Nordischen Bronzekultur entwickelt hatte. Unmittelbar vor der damaligen Mündung, östlich von Helgoland, lag die Hauptbernsteininsel „Basileia“, die das wirtschaftliche und kultische Zentrum dieser Kultur war. Noch im 13. Jh. v.Chr. gab es einen kurzen, direkten Seeweg von Alt-Helgoland in die Ostsee. Die Eider war über ihren nördlichen Nebenfluss Treene, weiter über die Rheider Au bis zur Schlei hin fast durchgehend schiffbar. Die kleine Lücke zwischen beiden Flüssen dürfte durch Kanalbauten geschlossen worden sein [8].

Sollte trotz Spanuths überzeugender Argumentation dennoch die größere Elbe der antike Bernsteinfluss gewesen sein, wie beispielsweise der Verkehrsgeograph R. Hennig vermutete, so lag auch deren Mündungsgebiet in der Bronzezeit in unmittelbarer Nähe der Felseninsel.

Der Asteroid Phaéthon fiel also der antiken Sage nach in die bronzezeitliche Eider- oder Elbmündung südlich von Helgoland. Tatsächlich gibt es einige geologische Besonderheiten, die nur durch das Einwirken eines plötzlichen, schockartigen Ereignisses erklärbar sind. Einmal ist es ein etwa zehn Meter hoher untermeerischer Steilabbruch dreihundert Meter vor der Westküste, der einem allmählichen Absinken des Felsmassivs

völlig widerspricht. Aus dem Abstand zur heutigen Brandungsküste kann auf einen Zeitpunkt vor rund 3000 Jahren geschlossen werden [5, S. 155]. Auf ein anderes Phänomen machte 1977 der Kieler Geologe H. Steinert aufmerksam. Etwa fünfunddreißig Kilometer nördlich von Helgoland wurden bei seismischen Messungen ganz unerwartet mehrere „Aufschuppungen“ im ansonsten flachen Nordseegrund festgestellt. Alle fünfhundert bis tausend Meter Entfernung voneinander wurde bis zu zehnmal aus einer Tiefe von hundert Metern heraus der Meeresboden schräg gestellt, und das deutet auf einen sehr hohen Druck aus südöstlicher Richtung hin.

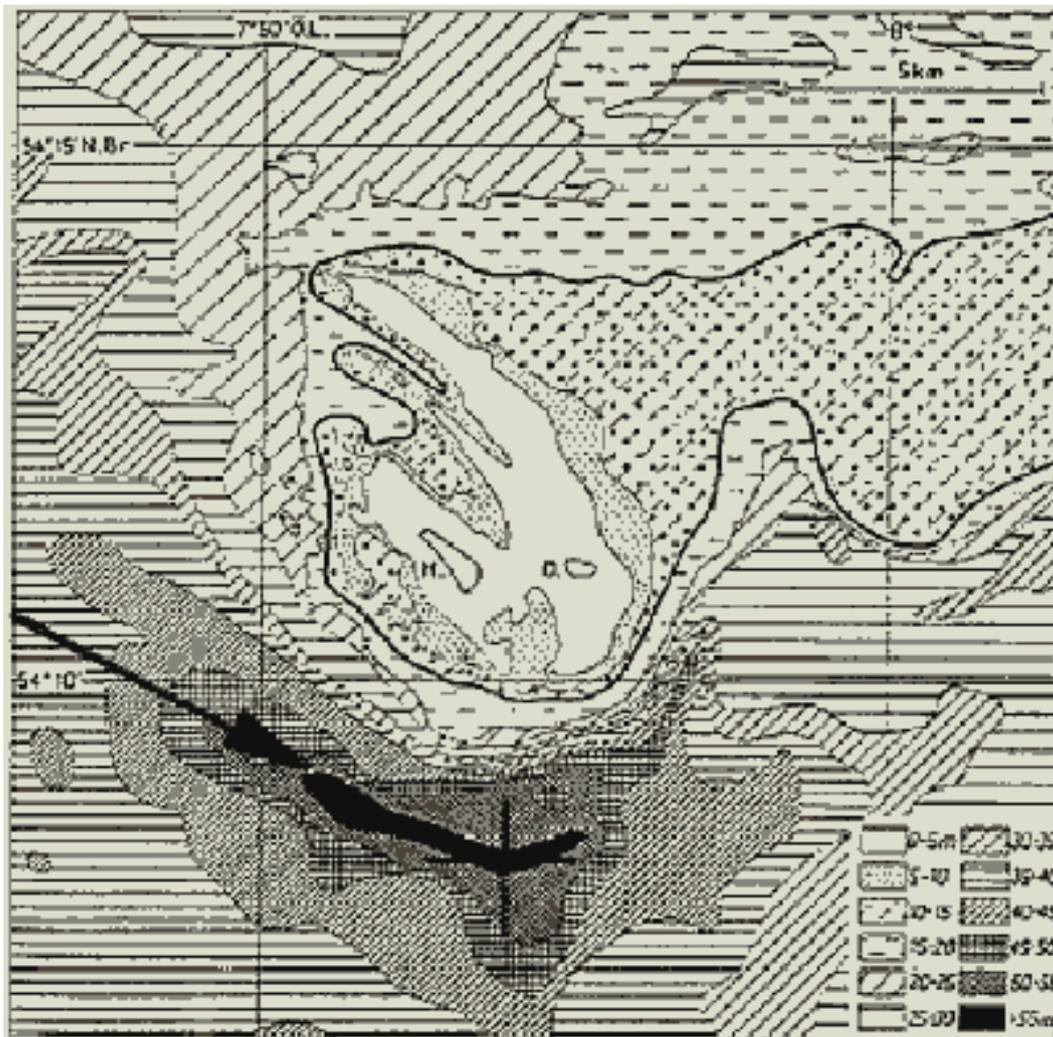


Abb.1: Morphologie des Helgoländer Seegrundes (15-m-Tiefenlinie besonders hervorgehoben). Mit Helgoland (H.), der Düne (D.) und dem Helgoländer Loch (dunkel) [12]. Vermutliche Absturzrichtung (à) und Aufschlagstelle (+) des Phaëthon

Tektonisch einmalig in der Deutschen Bucht ist weiterhin das sogenannte „Helgoländer Loch“, nur reichlich drei Kilometer vom Südhafen der Insel entfernt gelegen. Eine längliche, schiefe Einsenkung liegt mit einer Gesamttiefe von 57 Metern reichlich zwanzig Meter tiefer als der übrige Meeresboden der Umgebung. Sie könnte durch den flachen Einsturz eines größeren Asteroiden an dieser Stelle entstanden sein. Eine geologische Untersuchung unter dem Gesichtspunkt eines Impakts steht leider noch aus.

Trotz Auffüllung mit Sedimenten in den letzten 3000 Jahren hat das Helgoländer Loch noch eine Ausdehnung von etwa vier mal fünfzehn Kilometern. Aus der ungefähren Ost-West-Lage der lang gestreckten Einsenkung und ihrer tiefsten Stelle im östlichen Bereich kann auf eine Einsturzrichtung des Objekts aus West-Nordwest geschlossen werden.

Dass hier tatsächlich ein kosmischer Körper niederging, belegt auch das sogenannte

„Wunderbuch“, das wohl irrtümlich dem griechischen Philosophen Aristoteles zugeschrieben wurde: „Die elektrischen Eilande (d.h. Bernsteininseln) sind durch den Fluss Eridanos angespült worden. In der Nähe des Stromes ist auch ein See mit warmen Wasser, das einen üblen Dunst ausströmt. Kein Tier trinkt aus ihm, kein Vogel fliegt über diesen See, oder er fällt hinein und stirbt. Dieser See hat einen Umfang von 200 Stadien (37 km). In diesen See, so sagen die Eingeborenen, sei Phaéthon gestürzt“ [5, S. 168].

Apokalypse auf der Nordhalbkugel

Auf eine außergewöhnliche Naturkatastrophe an der Nordseeküste am Ende der Bronzezeit machten schon 1844 der dänische Forscher E. Forchhammer und 1910 der deutsche Geologe D. Wildvang aufmerksam, ohne den Zusammenhang mit einem Asteroidenabsturz zu ahnen. Sie rekonstruierten eine mindestens zwanzig Meter hohe Flutwelle, die demnach dreimal höher als bei den schlimmsten Sturmfluten war. Mehrere Brandungswälle an den Küsten wurden aufgerichtet, und eine Geröllschicht von hundert dänischen Quadratmeilen (über 5000 km²) bedeckte das Landesinnere. Neben der etwa zwanzig Kilometer großen Hauptbernsteininsel Alt-Helgoland wurden auch viele andere Inseln und Marschen vor der heutigen Westküste Schleswig-Holsteins zerstört.

Aber nicht nur die deutsche und dänische Nordseeküste wurden schwer verwüstet und für lange Zeit unbewohnbar gemacht. In mehreren Gebieten Europas kam es zu gleichzeitigen großflächigen Waldbränden, wie z.B. im damals unbewohnten Hochschwarzwald, in Holland, Norddeutschland und Skandinavien. Blitzschläge und durch Menschenhand gelegte Feuer waren bisher nur unzureichende Erklärungen dafür. Phaéthons Hitze während des Absturzes entzündete statt dessen die Moore und Wälder. Ein durchgängiger Brandhorizont in den Mooren der Norddeutschen Tiefebene bestätigt eine umfassende Katastrophe in der ausgehenden Bronzezeit [5, S. 192 f.]. Es muss dabei ein orkanartiger Sturm getobt haben, denn unzählige der als standhaft geltenden Eichen wurden entwurzelt. Archäologen fanden Überreste dieser Bäume in Schleswig-Holstein und im Emsland [27].

Die völlige Verwüstung weiter Landstriche zwang die Menschen an der Nord- und Ostseeküste, in südlichere Länder auszuwandern. Sie rissen dabei andere Völkerschaften mit und gelangten bis nach Griechenland, Kleinasien und Ägypten, wo 1191 v.Chr. eine gewaltige Entscheidungsschlacht im Nildelta stattfand, die mit der Niederlage der so genannten „Nord- und Seevölker“ endete. Griechenlands bronzezeitliche Bevölkerung wurde nach der Katastrophe so stark dezimiert, dass nach der Blüte der Mykenischen Kultur das „Dunkle Zeitalter“ folgte.

Eine weitere Folge des Asteroidenabsturzes waren die ausgelösten weltweiten Erdbeben. Vermutlich verursachten diese wiederum zahlreiche Vulkanausbrüche, wobei der Ätna erstmals nach längerer Pause wieder ausgebrochen sein soll. Am Verhängnisvollsten war jedoch die Explosion des Vulkans Santorin auf der kleinen Ägäis-Insel Thera [9]. Die sich von dort ausbreitende riesige Flutwelle, die als Deukalionische Flut in die Geschichte einging, zerstörte viele Siedlungen auf den nahe gelegenen Inseln und an Griechenlands Küsten.

Offenbar stehen noch weitere Naturkatastrophen dieser Zeit in anderen Erdteilen mit dem Phaéthon-Absturz in Zusammenhang. Tempelanlagen aus Stein wurden durch verheerende Feuersbrünste in Ägypten und Syrien zerstört, die durch kriegerische Einwirkungen nicht erklärbar sind. Zeitgenössische Urkunden berichten in diesen beiden Ländern vom Kometen „Sekhmet“ oder „Typhon“ und vom Stern „Anat“, der „die Völker mordete“ [6,10]. Durch Phaéthons Hitze soll Äthiopiens Volk seine schwarze Farbe erhalten haben; auch Indien lag „unterm Brand des Gestirns“ [M. I, 778]. Möglicherweise berichten ebenso die Maya-Schrift Popol-Vuh und andere mexikanische Überlieferungen von den Verheerungen

dieses ungewöhnlichen Himmelskörpers.

Gerade die alten ägyptischen Texte, vor allem aus der Regierungszeit Ramses III., ermöglichen nun eine genauere Datierung der frühgeschichtlichen Katastrophe. Diese berichten, übereinstimmend mit den „Metamorphosen“ bei Ovid, dass „Libyen zur Wüste ward“ und der Nil austrocknete. Während es aus der Zeit vor dem Tode des Pharaos Merenptah im Jahre 1222 v.Chr. keinerlei diesbezügliche Überlieferungen gibt, lag zu Beginn der Regierungszeit Ramses III. im Jahre 1220 v.Chr. „Ägypten in vollkommener Verwüstung“ [6, S. 232].

Phaéthon stürzte demnach etwa um das Jahr 1220 v.Chr. ab, und zwar an einem Frühlingstag kurz vor Neumond. Die Jahreszeit lässt sich heute noch genau ermitteln, weil die Griechen alljährlich in der Mitte des ersten Frühlingsmonats das Anthesterin-Fest feierten. Dabei wurde auch der Flut des Deukalion gedacht und in Delphi dem Apollon Opfer gebracht, weil er die Vorfahren der Delpher bei dieser ungeheuren Überschwemmung vor der Flut errettet hatte [5, S. 140]. Das erste Auftauchen des Himmelskörpers muss nach dem letzten Viertel unseres Erdtrabanten erfolgt sein, denn im Morgengrauen „schienen die Hörner des bleichenden Mondes zu schwinden“ [M. II, 112-117].

Ein kreisender Stern

Alle diese in Europa, Nordafrika und anderen Erdteilen beobachteten Phänomene lassen sich aber nicht allein mit dem Aufprall eines Asteroiden bei Helgoland erklären. Eine bestechende Hypothese, die viele Einzelheiten erhellt, stellte im Jahre 1982 der ehemalige Flugzeugbau-Ingenieur W. Stender auf [10]. Ihn brachte eine Textpassage aus der Zeit des ägyptischen Pharaos Sethos II., die den Kometen Sekhmet als einen kreisenden Stern bezeichnete, auf eine kühne Idee. Phaéthon konnte nach Ansicht Stenders nur ein kleiner Planetoid [11] gewesen sein, der der Erde so nahe kam, dass ihn die Atmosphäre abbremste und ihn in eine Umlaufbahn zwang. Unseren Planeten muss dieser Himmelskörper mehrmals umkreist haben, bis ihn die Luftreibung endgültig zum Absturz brachte.

Die Fachastronomen hatten dieses Szenario bis dahin nicht einmal theoretisch erwogen und stehen auch heute noch diesen Ansichten sehr skeptisch gegenüber. Der Einfang eines Asteroiden durch die Erde ist nämlich himmelsmechanisch äußerst unwahrscheinlich und Berechnungen zufolge über zweihundertmal seltener als ein direkter Treffer. Aber gerade diese ungewöhnliche Deutung lässt sich mit Ovids Beschreibung sehr gut in Einklang bringen [M. II, 202-207]:

- „...brechen die Renner (d.h. die Sonnenrosse) aus, durchlaufen, da nichts sie hindert,
Fremde Bezirke im Luftreich; dahin, wo ihr Drang sie getrieben,
Rasen sie ohne Gesetz, auf Sterne, die hoch in den Äther
Haften, stürmen sie, reißen sie den Wagen fort von der Straße,
Streben bald zur Höh, bald jagen sie abwärts auf steilem
Pfad und geraten so in den Raum, der benachbart der Erde. ...“

Als Zeitgenosse künstlicher Erdsatelliten kann man ohne Schwierigkeiten diese bildreichen Erklärungen verstehen: Der nahe der Erdoberfläche durch die Lufthülle abgebremste Himmelskörper gelangt in eine extrem exzentrische Ellipsenbahn, die ihn wieder in eine Entfernung von einigen zehn- bis hunderttausend Kilometern Höhe bringt. Beim nächsten Durchlaufen des Perigäums, des erdnächsten Punktes, wird er ein weiteres Mal abgebremst und erreicht eine Ellipsenbahn, die ihn in eine geringere Erdferne (Apogäum)

als beim ersten Umlauf führt. Nach mehreren Umkreisungen wird die Geschwindigkeit im Perigäum unter die Mindestgeschwindigkeit von 7,9 km/s abgebremst, so dass er keine ganze Umrundung mehr vollenden kann und abstürzt.

Nun lässt sich zwanglos erklären, warum Phaéthon über Griechenland, Ägypten, Syrien, Indien und anderen Ländern gesichtet worden sein soll. Bei seinen mehrtägigen Umkreisungen wird er auf seiner elliptischen Bahn viele bewohnte Gebiete überflogen haben. Mancher Beobachter kann ihn dabei sogar mehrmals und aus verschiedenen Richtungen wahrgenommen haben. So konnte leicht der Eindruck einer „Irrfahrt“ entstehen. Die Bahnneigung des Asteroiden lässt sich annähernd aus dem Flugbahnwinkel beim Absturz herleiten. Da die Längsachse des Helgoländer Loches mit der Nordrichtung etwa einen Winkel von 60° bis 69° bildet, reichte die Flugbahn bis in eine geographische Breite von 57° bis 59°. Das Perigäum muss unweit des nördlichsten Bahnpunktes gelegen haben. Eine 3200 Jahre alte Beschreibung einer Satellitenbahn verbirgt sich hinter dem Rat des Sonnengottes Helios, den er seinem Sohn mit auf dem Weg gibt [M. II, 129-133]:

- „Wähle auch nicht den Weg über alle fünf Kreise hinweg, sie Schräg überschneidend verläuft in weitem Bogen die Straße, Hält sich mit dreier Zonen Gebieten begnügt und vermeidet So den südlichen Pol und den Bären im stürmischen Norden. Dies Deine Bahn. Du wirst die Radspur deutlich erkennen.“

Die Erscheinung muss äußerst verwirrend und bedrohlich auf die damaligen Menschen gewirkt haben: über Gebieten um 58° nördlicher Breite jagte ein riesiger glühender, „Feuer speiender Felsbrocken“ mit 25- bis 30-facher Schallgeschwindigkeit hinweg, und seine Flugbahn war nur etwa doppelt so hoch wie die eines Düsenjets. Blitze umzuckten den Körper infolge der Ionisierung der Lufthülle. Nach einer Weile folgten dann der Überschallknall, ein ohrenbetäubender Lärm und ein gewaltiger Sturm [10]. In den Gebieten von 50° bis 57° bewegte sich Phaéthon bereits in der Hochatmosphäre. Hier werden die beunruhigten Menschen eine „Flammen ausstreuende“, große Sternschnuppe und danach ein fernes Donnernrollen wahrgenommen haben. Völlig anders dagegen bewegte sich Phaéthon über Gebieten der Südhalbkugel: am Nachthimmel konnten die Bewohner einen kleinen Stern „von blutiger Röte“ langsam dahinziehen sehen, ohne die wahre Natur des ungewöhnlichen Himmelskörpers zu ahnen. In anderen Regionen wiederum soll er „nahe der Sonne“ gesichtet worden sein.

Feuer vom Himmel

Beim Durchfliegen der dichten Luftschichten begann Phaéthon infolge der Reibungshitze bei jedem Umlauf erneut zu glühen und schließlich zu brennen [10]. Seine Oberfläche wurde dabei so beansprucht, dass sich unterschiedlich große Teile vom Steinmeteoriten ablösten und wegen der nun viel größeren Luftreibung schon bei einer der ersten Umrundungen abstürzten. So ist der Einschlag von einzelnen Trümmerstücken im nördlichen Bahnabschnitt durchaus wahrscheinlich. Von estnischen Wissenschaftlern wurde bereits der etwa 110 Meter große kreisrunde Krater des Kaali-Sees auf der Insel Ösel (Saaremaa) mit der Phaéthon-Sage in Verbindung gebracht [13]. Außerdem soll von diesem Himmelskörper über Mittelestland ein blendender Blitz ausgegangen sein. Wegen des vermuteten Zusammenhangs wurde vom Autor allen weiteren Berechnungen eine Bahnneigung von 58,5°, der geographischen Breite dieses Gebietes, zugrunde gelegt.



Diese Darstellung könnte den „Feuerregen“ des Phaéthon darstellen; Ort und Zeit stimmen überein: Johannes-Apokalypse stammt aus dem Ende der Bronzezeit, Ort der Handlung: Naher Osten = Überflugszone des Phaéthon (A. u. E. Tollmann: „Und die Sintflut gab es doch“, 1995)

Ein wahrer Schauer von Kleinstmeteoriten muss als Sternschnuppen nach dem Aufprall des Hauptkörpers die Überlebenden beeindruckt haben. Die altgermanischen Überlieferungen über Ragnarök, den „Weltuntergang“, der sich sicherlich ebenfalls auf Phaéthons Sturz und den Untergang vieler Nordsee-Inseln am Ende der Bronzezeit bezieht, schildern das außergewöhnliche Ereignis in den Edden [5, 14]:

- „Die Sonne verlischt, das Land sinkt ins Meer;
vom Himmel fallen die heiteren Sterne.
Lohe umtost den Lebensnährer (die Weltesche);
hohe Hitze steigt himmeln.“

In dieser Überlieferung wird der Asteroid poetisch als „Surt mit dem Flammenschwert“ bezeichnet, der von den „Muspilli-Söhnen“ verfolgt wurde. Aber auch die weiter südlich gelegenen Länder wurden von dem Unheil bringenden Himmelskörper nicht verschont, obwohl er dort schon weit außerhalb der Atmosphäre die Erde umkreiste. Zum eigentlichen Verhängnis wurde den Menschen eine klebrige,

brennbare Substanz an der Oberfläche des Asteroiden. Über die Beschaffenheit des „blutroten“ Stoffes gibt es bisher nur Vermutungen [15]. Er haftete an brennenden Gesteinsbrocken, die sich infolge der Reibungshitze vom Hauptkörper ablösten und entlang der Flugbahn auf der Erdoberfläche niederfielen. Auf diese Weise wurden außer den gemäßigten Breiten auch bewohnte Gebiete wie Äthiopien auf 10° nördlicher Breite in Mitleidenschaft gezogen.

Das große Leid der damaligen Bevölkerung lassen Berichte von Plinius und anderen antiken Autoren erahnen: Sie bezeichnen den „Kometen“ Typhon als „feurige Erscheinung“ und als „ungeheure Kugel aus Feuer“, die Feuerströme und schreckliche Plagen über die Erde brachte. Auch Hesiod erwähnt, dass die Flammen, die das „Ungeheuer Typhoeus“ auf die Erde sandte, „überall den Boden und auch die Meere sieden ließen... Weit brannte die riesige Erde von dem unendlichen Dampf und (sie) schmolz wie glänzendes Zinn schmilzt...“. [5]

Als Kuriosum wird in den alten Berichten hervorgehoben, dass dieser „Blutregen“ und „Feuerregen“ sogar auf Gewässern weiter brannte. Als „brennend“ werden namentlich einige griechische und kleinasiatische Flüsse, der Hister (Donau-Unterlauf), Tanais (Don), Euphrat und Ganges erwähnt [M. II, 242 ff.]. Der klebrige Stoff entwickelte eine derartige Hitze, dass „Tempel und Städte vergingen“ und sogar Steinbauwerke ganz in Asche verwandelt wurden.

v_{rel} [km/s]	Untergrenze E.korr. [km]	Obergrenze E.korr. [km]	Max. Anz. Umläufe	Max. Ges.- uml.zeit [d]	Mittl. Anz. Umläufe	Mittl. Ges.- uml.zeit [h]
13	-	-	0	-	0	-
12	1,0*	1,60	1	14,7	1	(59)
10	1,0*	3,99	1	14,7	1	(11)
8	1,0*	7,10	2	14,8	1	(6)
6	1,5	11,3	2	14,9	1	5,2
5	2,3	14,0	3	15,0	1	5,8
4	3,1	17,3	4	15,4	2	8,2
3	4,0	21,3	7	16,2	2	10,3
2	4,5	26,4	12	18,2	3	15,6
1	4,9	32,6	24	25,3	4	25,5

Tabelle 1: Einfangkorridor (E.korr.), Anzahl Umläufe und Gesamtumlaufzeiten in Abhängigkeit von der Annäherungsgeschwindigkeit an die Erde (die mittlere Anzahl Umläufe und die mittlere Gesamtumlaufzeit gelten für die Mitte des Einfangkorridors; Objektdurchmesser 0,5 km; * Begrenzung durch die Erdoberfläche)

Ausgrabungen aus dieser Zeit in der syrischen Stadt Assur belegen beispielsweise eine Gluthitze, die hunderte von gebrannten Ziegelschichten zum Glühen und Schmelzen brachte. Der ganze Bauern eines ehemaligen Turms sowie das Mauerwerk aus Lehmziegeln wurden durchgehend geröstet und verglast. Auch die Ausgräber von Hattusha, der Hauptstadt des Hethiterreiches, standen vor einem ähnlichen Rätsel. Hier und in anderen kleinasiatischen Städten gibt es Zeugen von verheerenden Feuersbrünsten, die unmöglich von Menschenhand ausgelöst worden sein können. Des weiteren wurden in Makedonien, Ungarn und Deutschland am Ende des 13. Jh. v.Chr. befestigte Anlagen durch Feuer zerstört [6]. Dazu zählen mächtige bronzezeitliche „Schlackenwälle“ wie beispielsweise dem auf dem Eisenberg bei Plauen im Vogtland, bei dem die Steine durch eine enorme Hitze zum Schmelzen und Verschlacken gebracht worden sind [12].

Nicht in jedem Falle ist der Zusammenhang mit dem „Feuerregen“ dieses Asteroiden schon

gesichert. Aber insgesamt bestätigen diese Hinweise auf außergewöhnlich heftige Brände in der Frühgeschichte ein weiteres Mal die alte Legende: „... Phaëthon aber sieht da nun entzündet an allen Enden den Erdkreis...“ [M. II, 227].

Ein Satellit für wenige Tage

Der Einfang eines die Sonne umkreisenden Himmelskörpers durch die Erde ist ein extrem seltenes Ereignis, das nur unter sehr speziellen Bedingungen zu erwarten ist. Welche Umstände zum Eintritt in eine Satellitenbahn führen, darauf soll nun etwas näher eingegangen werden.

Wenn ein kosmischer Körper in die Atmosphäre eindringt, dann hängt sein weiteres Schicksal im Wesentlichen von vier Parametern ab: seinem Durchmesser, der Dichte, der Annäherungsgeschwindigkeit und der Perigäumshöhe. Ist der Asteroid zu schnell oder zu hoch, während der größten Annäherung, dann bekommt die Erde nur einen „Streifschuss“, so wie es am 10. August 1972 vor den Augen tausender Nordamerikaner geschah [16]. Fliegt er dagegen zu langsam oder zu niedrig, dann verglüht er in den dichten Luftschichten oder trifft sofort die Erdoberfläche. Wenn er sich allerdings nach dem erstmaligen Verlassen der Hochatmosphäre langsamer als die Fluchtgeschwindigkeit von 11,2 km/s bewegt, aber noch schneller als die Minimumkreisbahn-Geschwindigkeit v_K von 7,9 km/s ist, dann vollendet er mindestens eine weitere Umrundung außerhalb der Lufthülle.

Ohne Luftreibung würde ein Asteroid im Perigäum bis auf eine Geschwindigkeit v_P beschleunigt werden und anschließend das Schwerefeld wieder verlassen.

$$v_P = \sqrt{v_F^2 + v_{rel}^2}$$

($v_F = 11,19$ km/s; Fluchtgeschwindigkeit nahe der Erdoberfläche; v_{rel} = Geschwindigkeit relativ zur Erde vor der Annäherung).

Beim ersten Durchfliegen der Lufthülle muss er also mindestens bis auf eine Geschwindigkeit v_E von 11,12 km/s abgebremst werden, um eine stabile, von Gravitationsstörungen unbeeinflusste Ellipsenbahn einschlagen zu können [29]. Wie eine Computersimulation zeigte, nimmt die Geschwindigkeit auch bei jedem weiteren Durchgang durch die Atmosphäre um einen fast gleichbleibenden Betrag $v_D > v_P - v_E$ ab. Die annähernde Konstanz beruht darauf, dass einerseits der Luftwiderstand wegen der ständig fallenden Geschwindigkeit geringer wird, andererseits aber die exzentrischen Ellipsen immer kreisähnlicher werden und der Körper einen längeren Weg durch die Lufthülle zurücklegen muss. Durch diese Gesetzmäßigkeit ergibt sich eine gute Möglichkeit, unabhängig von der Objektgröße die theoretisch mögliche Maximalanzahl an Umrundungen U_{max} vor dem Absturz errechnen zu können:

$$U_{max} = [(v_E - v_K) / (v_P - v_E)] + 1$$

([...] = ganzzahliger Teil)

Erst bei einer relativ kleinen Annäherungsgeschwindigkeit unter 9 km/s kann der zeitweilige Satellit mehrere Male die Erde umkreisen. Mehr als zehn Umrundungen kommen jedoch nur unter Voraussetzungen zustande, die sehr selten erfüllt sind (Tab. 1).

Auch die größtmögliche Gesamtumlaufzeit kann ausreichend gut abgeschätzt werden. Unabhängig von den konkreten Einfangbedingungen ist die Umlaufzeit des ersten Orbits stets größer als die Umlaufzeiten aller weiteren Umrundungen zusammengenommen. Der

ersten Bahnellipse sind allerdings Grenzen gesetzt, denn bei mehr als 500.000 Kilometern Entfernung sind ungünstige gravitative Störungen durch die Sonne zu erwarten [17]. Da ein vollständiger Umlauf bei dieser lang gestreckten Ellipse etwa zwei Wochen dauert, kann jedes eingefangene Objekt somit die Erde höchstens einen Monat umkreisen (Tab. 1). Das ist eine wichtige Aussage für Klimaforscher und Archäologen, denn für Phaéthon wurden bereits Umlaufzeiten von mehreren Jahren vermutet [12, S. 274]. Seinem Absturz gingen nämlich ungünstige klimatische Veränderungen voraus. So viel Unheil der Asteroid auch anrichtete, für die Trockenperiode ab etwa 1250 v.Chr. und eine erste Auswanderungswelle der Nord- und Seevölker müssen andere Gründe gefunden werden.



Griechische Mythologie: Phaethon, der Sohn des Sonnengottes Helios, beherrschte die Lenkung des Sonnenwagens nur mangelhaft und hätte beinahe den Untergang der Welt und des Universums verursacht (Jens Grzonkowski: „Bernstein“, 2000)

Als Astronauten vor drei Jahrzehnten zur Erde zurück kehrten, durfte die APOLLO-Kapsel einen nur elf Kilometer breiten Wiedereintrittskorridor nicht verfehlen. Auch für das Einfangen eines Asteroiden kann ein günstiger Bereich festgelegt werden. Trifft der Himmelskörper bei seiner größten Erdannäherung auf die Untergrenze des Einfangkorridors, kann er gerade noch eine volle Umrundung ausführen. Bei einer Perigäumshöhe an der Obergrenze hingegen kommen die meisten stabilen Umkreisungen zustande. Wie die Berechnungen ergaben, hat der Einfangkorridor selbst unter günstigen Bedingungen nur eine Breite von knapp dreißig Kilometern. Er ist um so schmaler, je höher die ursprüngliche Annäherungsgeschwindigkeit des Objektes an die Erde war. Bei größeren Himmelskörpern bildet die Erdoberfläche selbst die natürliche Untergrenze des Korridors (Tab.1). Zu große oder zu schnelle kosmische Vagabunden - und darunter zählen vor allem die Kometen -, können prinzipiell nicht eingefangen werden. Ein zweiter Phaéthon wird – statistisch gesehen - in den nächsten tausend Jahren den schmalen Einfangkorridor ganz sicher nicht treffen.

Allen Berechnungen des Verfassers lag eine Objektdichte von 3 g/cm^3 zu Grunde, der mittleren Dichte der bekannten Asteroiden unseres Sonnensystems. Die für den Luftwiderstand maßgebliche effektive Geschwindigkeit wurde um 245 m/s vermindert, da Phaéthons Perigäum auf etwa $58,5^\circ$ nördlicher Breite lag, und er die Erde in

Rotationsrichtung umrundete. Als weiterer wichtiger Parameter ist der Luftwiderstandsbeiwert c_w von Bedeutung, aber leider nicht exakt bestimmbar. Für einen kosmischen Körper mit rauer Oberfläche, der sich mit mehrfacher Schallgeschwindigkeit bewegt, liegt der Wert ungefähr zwischen 1,1 nahe der Erdoberfläche und 3,0 an der äußeren Grenze der Hochatmosphäre in hundert Kilometern Höhe [19].

Die Flugbahn

Obwohl keinerlei Einzelheiten über Phaéthons Größe, seine Geschwindigkeit und Flughöhe bekannt sind, lässt sich der 3200 Jahre alte Meteoritenfall doch mit einer gewissen Sicherheit rekonstruieren. Auch diesmal hilft die von Ovid aufgezeichnete Legende mit vielen astronomisch deutbaren Einzelheiten weiter.

Den vorangegangenen Berechnungen zufolge kann ein eingefangenes Objekt zwischen wenigen Stunden und vier Wochen die Erde umkreisen. In den „Metamorphosen“ lässt sich nun ein Hinweis finden, der die mögliche Gesamtumlaufzeit bei Phaéthon wesentlich einschränkt [M. II, 270-271]:

- „... Dreimal wagte Neptun, aus der Flut die Arme zu recken,
Grimmen Gesichts, und dreimal ertrug er die feurige Luft nicht. ...“

Für einen ortsgebundenen irdischen Beobachter, der demnach dreimal Ebbe und Flut erlebte, währte das Phänomen also nur höchstens zwei Tage. Insgesamt betrachtet umrundete Phaéthon sicherlich länger die Erde, aber wahrscheinlich nicht mehr als vier Tage.

Die tatsächliche Gesamtumlaufzeit bis zum Absturz und die genaue Anzahl der Erdumrundungen können nicht direkt berechnet werden, weil die Annäherungsgeschwindigkeit und die Perigäumshöhe zunächst noch unbekannt sind. Diese beiden Parameter beeinflussen maßgeblich das Umlaufverhalten und die vom Überflug betroffenen Gebiete. Aber es lassen sich Teilabschnitte der realen Flugbahn vor 3200 Jahren rekonstruieren und schließlich zu einem Gesamtbild zusammenfügen. Die alte Legende erwähnt nämlich geographische Gebiete, die sich unmittelbar unter der „feurigen Kugel“ befunden haben müssen. Beispielsweise trockneten die Nilquellen aus [M. II, 254 f.] und Phaéthon überflog unter großer Hitzeeinwirkung „sein äthiopisches Land“ [M. I, 778]. Wichtig als Fixpunkte sind weiterhin diejenigen Flüsse, auf deren Oberfläche der „Blutregen“ brannte. Diese können nur in der Abbrandphase auf dem südostwärts gerichteten Bahnabschnitt, der dem Perigäum unmittelbar folgte, überflogen worden sein. So heben sich deutlich vier Regionen heraus, die während unterschiedlicher Umläufe passiert worden sein müssen: Sudan/Äthiopien; Griechenland/Kleinasien; Irak (Euphrat bei Bagdad) und Indien (Ganges).

Erdumrundung	Geschwind. im Perigäum [km/s]	Zeitdauer d. Erdumr. [Stunden]	Höhe im Apogäum [km]	Perigäum über Gebiet [58,5° n.Br.]	Überflogene Gebiete (Auswahl)
1	11,17	49,21	124 240	Atlantik sdl. Island 19,2° w.L.	Schottland, NO-Deutschland, Moldawien, Schwarzes Meer, Irak (Euphrat b. Bagdad)
2	10,68	10,64	36 550	Atlantik sö. Grönland 38,6° w.L.	Nordirland, Nordfrankreich, Schweiz, Westgriechenland, Ägypten, Sudan, Äthiopien
3	10,20	5,17	17 730	Kamtschatka 161,7° ö.L.	Pazifischer Ozean
4	9,70	3,22	9 440	Westibirien 84° ö.L.	Baikalsee, Nordjapan
5	9,18	2,24	4 650	sdl. Onegassee 35,7° ö.L.	Ural, O-Kasachstan, Mittel-China
6	8,62	1,64	1 400	Nordsee westl. Norw., 2° ö.L.	Südschweden, Lettland, Westrußland, Indien (Ganges)
7	7,87	(0,07)	(30 bis 0)	Atlantik südl. Island, 22° w.L.	Schottland; Absturz südl. Helgoland
Insges.		72,19			

Tabelle 2 : Flugbahnparameter des Phaéthon

Durch systematische Variation der beiden Parameter Annäherungsgeschwindigkeit und Perigäumshöhe lassen sich nun alle denkbaren Flugbahnabwicklungen errechnen. Unter der Voraussetzung von weniger als hundert Stunden Gesamtumlaufzeit konnte nur bei einer Relativgeschwindigkeit von 2,24 km/s eine gute Übereinstimmung mit dem überlieferten Flugbahnmuster erzielt werden. Phaéthon umrundete dabei in ziemlich genau drei Tagen die Erde sechsmal. Er näherte sich der Oberfläche in jedem Perigäum bis auf 30,6 Kilometer (Tab. 2). Dieser minimale Abstand zur Erdoberfläche ergibt sich, wenn eine vom Autor geschätzte Phaéthongröße von hundertfünfzig Metern zugrunde gelegt wird. Auch bei Berechnungen mit anderen Durchmessern ließ sich stets eine entsprechende Perigäumshöhe mit fast identischem Flugbahnverlauf ermitteln (s. Tab 3).

Nun gewinnt auch eine Zeitungsmeldung über einen großen Stern an Bedeutung, „dessen Flammen die Sonne verzehrten“ und der zwischen 1300 und 1200 v.Chr. über China gesichtet wurde [22]. Die Beobachtung könnte sich durchaus auf Phaéthon beziehen, der den Berechnungen zufolge während des fünften Umlaufs Zentralasien überquerte und nach dem Austritt aus der Atmosphäre noch glühte.

Eine Präzisierung der Flugbahn könnte eines Tages durch die Auffindung kleiner Krater gelingen, die von Phaéthon-Fragmenten geschlagen wurden. Auf unserem Kontinent sind vor allem in Schottland, Südschweden und in den baltischen Ländern solche Sekundärkrater zu erwarten. Ein erster Kandidat hierfür ist möglicherweise der Liliensees bei Baldone, dreißig Kilometer südöstlich von Riga, bei dem W. Stender ebenfalls eine Entstehung durch einen Meteoriteneinschlag vermutete. Der von estnischen Wissenschaftlern 1978 in diesem Zusammenhang erwähnte Krater des Kaali-Sees scheidet allerdings aus, weil sowohl die Einsturzrichtung aus dem Osten als auch der ermittelte Zeitpunkt um 800 bis 400 v.Chr. dem entgegen sprechen [26].

Phaéthons mittlerer Durchmesser wurde nicht willkürlich auf hundertfünfzig Meter geschätzt [21]. Durch eine Entdeckung der Planetoidenforscher D. Davis und C. Chapman vor zwei Jahrzehnten kann der maximale Durchmesser eingegrenzt werden. Es stellte sich heraus, dass über zweihundert Meter große Objekte fast ausnahmslos lockere „Schutthaufen“ darstellen. Die ursprünglich größeren kompakten Urkörper zwischen Mars- und Jupiterbahn zertrümmerten sich nämlich in den zurückliegenden fünf Milliarden Jahren gegenseitig. Die Gesteinsbrocken vereinigten sich später erneut zu unregelmäßig

geformten, teilweise hohlen Asteroiden mit geringer mittlerer Dichte [18]. Ein solcher Himmelskörper hätte ganz sicher nicht der enormen Belastung eines mehrmaligen Durchfliegens der dichteren Atmosphäreschichten standgehalten.

Durchmesser		100 m	150 m	200 m
Perigäumshöhe	[km]	33,88	30,63	28,32
Verzögerung im l. Perigäum	[g]	0,70	0,70	0,70
Verzögerung vor Einschlag	[g]	6,32	5,39	4,66
Einschlaggeschwindigkeit	[km/s]	4,46	5,02	5,37
Einschlagwinkel	[°]	4,6	3,9	3,5
Gesamtaufenthaltsdauer in der Lufthülle (unter 100 km)	[Minuten]	43,7	44,5	45,0
max. scheinb. Durchm. im Perigäum	[°]	10,2	16,8	24,3
geschätzte Masse	[Mio. t]	1,6	5,3	12,6

Tabelle 3: Simulationsergebnisse des Absturzes in Abhängigkeit von der Phaéthon-Größe (bei gleicher Gesamtflugzeit von 72,2 Stunden)

Die vermutliche minimale Größe leitet sich aus den Sichtbarkeitsbedingungen im Perigäum ab. Phaéthon soll der Überlieferung nach „eher einem feurigen Klumpen als einem Stern“ geglichen haben [20, S. 104]. Den bronzezeitlichen Augenzeugen erschien er also so groß, dass sie deutlich die von einer Kugel abweichende Form erkennen konnten. Eine solche Wahrnehmung bei einem schnell über den Himmel ziehenden Objekt sollte erst ab einer scheinbaren Größe von zehn Bogenminuten, einem Drittel des scheinbaren Monddurchmessers, zu erwarten sein. Zusammen mit den vorangegangenen Berechnungen zur Flugbahn und speziell der Perigäumshöhe ergibt sich daraus ein Durchmesser von mindestens hundert Metern (s. Tab. 3).

Das Ende des Asteroiden

Vom letzten Perigäum bis zum Aufschlag verlor Phaéthon etwa dreißig Kilometer an Höhe, aber legte dabei noch eine Flugstrecke von 1900 Kilometern zurück. Dieses typische Absturzverhalten aus einer Umlaufbahn beschreibt Ovid sehr treffend [M. II, 319-322]:

- „Phaéthon ... stürzt durch die Lüfte in lang sich ziehender Bahn, wie ein Stern bisweilen vom klaren Himmel, fällt er auch nicht, so doch zu fallen kann scheinen.“

Dieser Flugabschnitt verlief über dem Nordatlantik und den Britischen Inseln. Besonders Schottland bekam die Auswirkungen des Asteroiden zu spüren. Es war das einzige bewohnte Gebiet der Erde, das zweimal während der Abbrandphase überflogen wurde. Ziemlich genau drei Tage nach dem erstmaligen Überflug überquerte Phaéthon das schottische Hochland erneut, dieses Mal etwas südlicher zwischen der Insel Skye und dem Nordost-Teil der Grampian Mountains. Für die bronzezeitlichen Hochlandbewohner hatte der letzte Überflug knapp drei Minuten vor dem Einschlag bei Helgoland noch schlimmere Folgen, weil die „Flammen ausstreuende Kugel“ nur noch in etwa fünfzehn Kilometern Höhe dahin jagte, begleitet von einem ohrenbetäubenden Donner. Der „Feuerregen“ und die größeren glühenden Gesteinsbrocken, die in der letzten Abbrandphase mit der höchsten Bremsverzögerung abgelöst wurden, müssen zu verheerenden Flächenbränden geführt haben.

	Phaëthon	Orpheus
Ende des Jahres	etwa 1220 v. Chr.	1982
Annäherungsgeschwindigkeit an Erde [km/s]	2,24	8,9
Perihel (in Mio. km / AE)	145-150 / 0,97-1,0 (?)	123 / 0,82
Aphel (in Mio. km / AE)	205 / 1,37	238,8 / 1,60
Erdenzirkel	0,17	0,32
heliocentrisches Umlaufzeit [Jahre]	1,3	1,33
Bahnneigung [°]	< 3 (?)	3
Durchmesser [m]	100 – 200	600

Tabelle 4 : Parameter der Sonnenumlaufbahnen von Phaëthon (z.T. geschätzt) und Orpheus

Vielleicht findet dadurch ein bisher ungelöstes archäologisches Rätsel eine einfache Erklärung. Vor allem in Nord- und Nordwest-Schottland sind etwa sechzig Forts mit verschlackten Mauerresten bekannt, während ähnliche Forts in anderen Teilen Europas auf diese Weise nicht zerstört worden sind. Die lange vor der Römerzeit errichteten Bauwerke müssen einer mehrtägigen großen Hitze ausgesetzt gewesen sein. Ein gewöhnlicher Brand, so haben Experimente ergeben, hätte nicht diese Wirkungen gezeigt. Auch die Kuppe des 564 m hohen Berges Tap O' Noth (fünfundzwanzig Kilometer nordwestlich von Aberdeen) wurde völlig verglast [28]. Keiner der vorgebrachten Erklärungsversuche befriedigte bisher die Archäologen und Geologen. Noch ist der genaue Zeitpunkt der Brände unbekannt. Sollten ihn die Wissenschaftler auf das 13. Jh. v. Chr. eingrenzen, dann ist der Verursacher offensichtlich.

Der letzte Flugbahnabschnitt führte über die offene Nordsee etwa auf der Linie Stonehaven (dreißig Kilometer südlich von Aberdeen) – Helgoland. Glaubt man auch dieses Mal den alten Überlieferungen, so kam es zu massiven Zerfallserscheinungen, ohne dass der Hauptkörper zerbrochen wäre [M II, 314-318]:

- „Und die Rosse, sie scheun, in jähem Satz nach rückwärts
Sprengen den Hals sie vom Joch und lassen geborsten die Riemen.
Hier das Zaumzeug, und da, hinweg von der Deichsel gerissen,
Liegt die Achse, die Speichen dort der zerbrochenen Räder
Und weithin die Trümmer zerstreut des zerschmetterten Wagens.“

In sicherer Entfernung von reichlich hundert Kilometern südlich der Flugbahn, in Northumberland, muss sich den Menschen ein ungewöhnliches Schauspiel dargeboten haben. Ganz dicht über dem Horizont raste der Bolide mit einem grellen Flammenschweif über die Wasseroberfläche dahin, gefolgt von kleinen Trümmerstücken. Der Einschlag der brennenden Gesteinsbrocken konnte wahrscheinlich nicht beobachtet werden, weil er für den Betrachter unter dem Horizont stattfand. Aber mehrere Minuten später trafen unterschiedlich große Tsunamiwellen auf die Ostküste der Insel. Eine reichliche Stunde nach dem Haupteinschlag bei Helgoland erreichte dann die letzte und größte „lange Welle“ das Ufer [25].

Eine Erinnerung an das beeindruckende Himmelsschauspiel könnten zahllose Gesteinsritzungen im nordenglischen Northumberland sein. Jeweils zwischen zwei und sechs konzentrischen Ringen zieht sich eine schlängelnde Linie zum Mittelpunkt hin. Der Wiener Impaktforscher A. Tollmann vermutete bei diesen Abbildungen eine vorgeschichtliche Darstellung des Absturzes von Kometenfragmenten im Nordatlantik [20]. Wahrscheinlich beziehen sich einige der Jahrtausende alten Felsritzungen auch auf den Sturz des Phaëthon.

Der Einschlag bei Helgoland erfolgte unter einem sehr kleinen Winkel von etwa 4° und mit einer vergleichsweise geringen Geschwindigkeit von 5 km/s. Er schlug trotz der zuletzt enormen Verzögerung von über 5 g als kompakter Körper ein, ohne vorher zu zerbersten. Ein Hinweis darauf ist in der „Argonautica“ des antiken Schriftstellers Valerius Flaccus (1. Jh. n.Chr.) zu finden, wonach „eine schwarze Kugel in den zitternden Fluss Eridanus hineinging“ [3]. Bildhaft berichtet Hesiod von diesem Augenblick, der den meisten Meeresanwohnern den Tod brachte [6, S. 278]:

- „Die Kampfeshitze der beiden [d.h. Zeus und Phaéthon] ergriff die dunkelfarbene See.
Hitze und Feuer, Donner und Blitz dieses Ungeheuers überall, rasende Stürme und flammende Donnerkeile. Heiß wurde allenthalben vor Feuer die Erde.
Der Himmel erglühte, und siedend wallte das Meer auf. Mit rasender Wucht peischten ringsherum ungeheure Meereswogen alles Land, das in die See vorsprang ... endloses Beben erschütterte die Erde“

Noch nicht eindeutig ist die Frage zu klären, ob es beim Einschlag zu einer Explosion des Hauptkörpers gekommen ist. Nach einer Überlieferung des Byzantiners J. Antiochenus „schickte Gott in jenen Zeiten eine Feuerkugel aus dem Himmel herab auf die Giganten, die im keltischen Land lebten, und er verbrannte sie und das Land, und die Kugel blieb im Fluss Eridanos stecken und erlosch“ [3]. Schon eher für eine Explosion spricht die Aussage des Apollonios von Rhodos (3. Jh. v.Chr.), wonach „Phaéthons Brust von einem Blitzstrahl durchbohrt“ worden sei [5, S. 182]. Auch die archäologischen Funde im bronzezeitlichen Brand- und Grenzhorizont der norddeutschen Moore deuten möglicherweise auf eine von Helgoland ausgehende Druckwelle hin. Während in Schleswig-Holstein die Baumreste mit ihren Wipfeln alle ostwärts zeigten, waren die Baumkronen in den Mooren des Emslandes nach Süden gerichtet. Gerade hier zeugen hunderttausende von äußerlich verkohlten Eichen, die bei der Kultivierung der Moore geborgen wurden, von einer enormen Druck- und Hitzewelle. H. Zschweigert sah darin einen Zusammenhang mit dem Niedergang und der darauffolgenden Explosion eines riesigen Meteoriten [27]. Wenn seine Auswirkungen tatsächlich noch hundertfünfzig Kilometer von Helgoland entfernt zu spüren waren, dann muss Phaéthons Durchmesser nach Meinung des Dresdener Asteroidenforschers Ch. Gritzner deutlich über dem des etwa sechzig Meter großen Tunguska-Objektes von 1908 gelegen haben [14, 23].

Nachdem sich beim Einschlag in Sekundenbruchteilen ein untermeerischer Krater gebildet hatte, breiteten sich riesige Flutwellen ringförmig im Nordseegebiet aus und verwüsteten die Küstenländer. Wahrscheinlich entwichen dem Nordseegrund durch die nachfolgenden Erdbeben eine Zeitlang giftige Gase, und viele Vögel könnten Opfer „des üblen Dunstes“ geworden sein. Die alten Sagen sind durchaus glaubwürdig, denn bei Tiefbohrungen bei St. Peter-Ording im Jahre 1956 wurde auch faulig riechender Schwefelwasserstoff frei gesetzt, der in hoher Konzentration giftig ist [7].

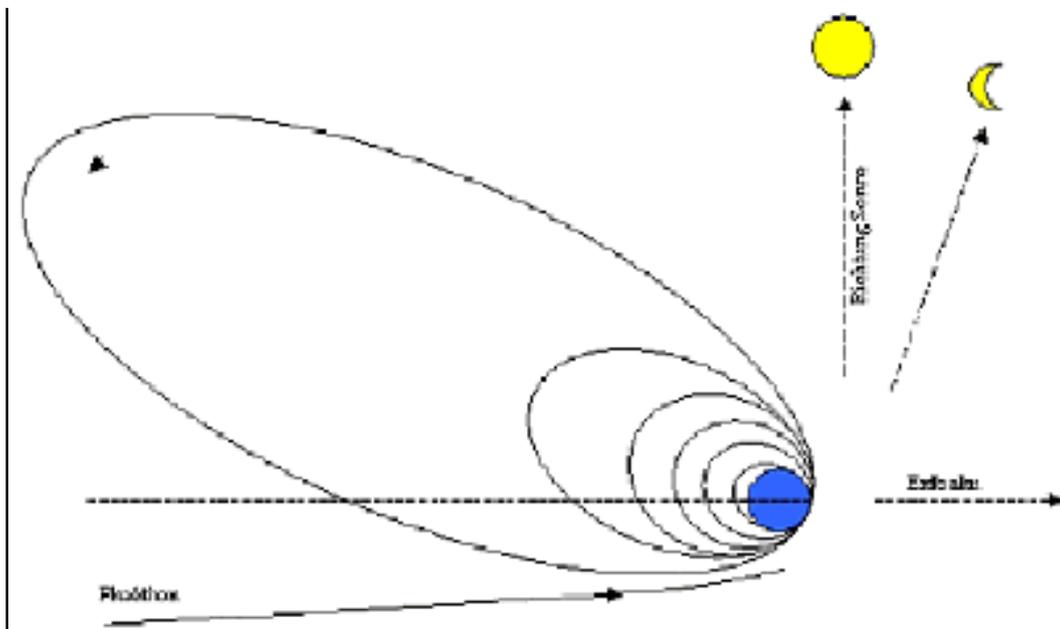


Abb. 2: Einfang und Erdumlaufbahnen des Phaëthon

Die Folgen für die im Umkreis der Deutschen Bucht lebenden Menschen waren katastrophal. Vermutlich waren mehrere tausend Tote zu beklagen, weil die bronzezeitlichen Marschen und Küstengebiete damals schon eine relativ dichte Besiedlung aufwiesen. Dutzende Inseln, darunter die in antiken Überlieferungen erwähnte Hauptbernsteininsel „Basileia“, wurden zerstört und die Westküste Schleswig-Holsteins um durchschnittlich sechzig Kilometer nach Osten verschoben. Die Verwüstungen waren so nachhaltig, dass große Bevölkerungsteile am Ende des 13. Jhd. v.Chr. zur Abwanderung aus ihrer Heimat gezwungen wurden.

Ein ehemaliges Apollo-Objekt

Über die Herkunft des inzwischen zerstörten Asteroiden stellte W. Stender 1982 erste Überlegungen an. Da er von einer Relativgeschwindigkeit von acht Kilometern pro Sekunde ausging, hätte das Aphel in der Nähe der Ceres-Bahn gelegen [24]. Die Computersimulation ergab nun für die Annäherungsphase eine um 2,24 km/s größere Bahngeschwindigkeit als die der Erde. Er bewegte sich somit während seines Umlaufs um die Sonne größtenteils zwischen der Erd- und Marsbahn und näherte sich unserem Planeten von außen. Eine nahe Begegnung von innen her mit einer geringeren Geschwindigkeit wäre theoretisch ebenso möglich gewesen. Tageszeitliche Überlegungen widersprechen allerdings dieser Variante des Einfangmanövers. Phaëthon war demnach ein Apollo-Objekt, das in seinem Aphel fast die Marsbahn erreichte und in Sonnennähe die Erdbahn tangierte oder in einem relativ kleinen Winkel schnitt. Von allen bisher bekannten Kleinplaneten über 0,5 km Durchmesser hat Orpheus (Nr. 3361) hinsichtlich der Bahnelemente die größte Ähnlichkeit mit dem ehemaligen Himmelskörper (s. Tab. 4).



So etwa (Pfeil) könnte Phaëthons Bahn beim Absturz verlaufen sein (Helgoland bei schwerer See, Foto Schensky, aus J. Spanuth: „Atlantis“, 1965).

Die Mitarbeiter von Spacewatch, die den Himmel ständig nach gefährlichen Erdbahnkreuzern durchmustern, haben für Asteroiden mit der theoretischen Möglichkeit einer Kollision mit der Erde die Bezeichnung NEO (Near Earth Object) eingeführt. Die für Phaëthon ermittelten Bahnelemente liegen bereits nahe der Werte für die Mitglieder der so genannten „Arjuna“-Familie, einer Untergruppe der NEOs. Sie zeichnen sich durch kleine Bahnneigungen und Exzentrizitäten um 0,1 aus. Bis 1993 waren erst neun „Arjunas“ bekannt, aber es werden 60.000 mit einem Durchmesser über hundert Metern vermutet [16, S. 112]. Die Bahnen dieser Asteroiden unterscheiden sich so wenig von der Erdumlaufbahn, dass es schon nach wenigen zehntausend Jahren zu einem Zusammenstoß oder zu einer Ablenkung kommen muss. Der bronzezeitliche Asteroid kann also speziell ein „Arjuna“ gewesen sein, der mit kleiner Neigung zur Ekliptik die Sonne in etwa 1,3 Jahren umrundete und sich von ihr bis zu 205 Mio. Kilometer entfernte (Tab. 4).

Bei seiner letzten Annäherung an die Erde befand sich der Kleinplanet nördlich der Ekliptik. Deshalb wurde seine Bahnebene beim Übergang in eine geozentrische Umlaufbahn stark gekippt. Als zeitweiliger Erdsatellit war seine Bahn nunmehr etwa $58,5^\circ$ gegen den Äquator und noch stärker gegen die Ekliptik geneigt. Phaëthon hatte sich von der Nachtseite her der Erde genähert. Seine erste Sichtung als „Feuerkugel“ in Mitteleuropa oder Griechenland muss in der Morgendämmerung erfolgt sein, denn „...Aurora erschloss im rötlichen Osten das purpurne Tor ihrer rosenerfüllten Halle“ [M. II, 112-115]. Etwa 72 Stunden später, also ebenfalls in den Morgenstunden, schlug der Asteroid im Helgoländer Loch ein.

Keineswegs sind nun alle ungewöhnlichen Geschehnisse des Katastrophenjahres 1220 v.Chr. geklärt. Eine beinahe unglaubliche Vermutung stellte 1965 J. Spanuth auf: Phaëthon soll bei seinem Einschlag die Erdachse kurzzeitig zum Taumeln gebracht haben. Anders aber können die folgenden überlieferten Beobachtungen aus dem letzten Drittel des 13. Jh. v.Chr. kaum gedeutet werden [7]:

- „Der Stern Anat ist vom Himmel gefallen ... und vertauschte die beiden Dämmerungen und die Stellung der Gestirne“ (Text aus dem syrischen Ugarit).
- „Die Sternbilder der Bären mussten infolge des von Phaéthon verursachten Weltbrandes
- ein Bad im westlichen Ozean nehmen“ (nach Nonnos, 6. Jhd. n.Chr.).
- „Der Süden wird zum Norden und die Erde stürzt vornüber (Papyrus Harris, Ägypten)
- „...Wo die Sonne untergeht, dort sei sie zweimal aufgegangen, und wo sie jetzt aufgeht,
- sei sie zweimal untergegangen“ (Herodot).
- die Erde habe sich „vorwärts und rückwärts, rechts und links, nach oben und unten bewegt“ (Platon, Dialog Timaios)

Diese Naturbeobachtungen können keinesfalls nur menschlicher Phantasie entsprungen sein. Offenbar trat am Ende der Bronzezeit ein außergewöhnliches Ereignis ein, das die Menschen sehr verunsicherte und sie an den Weltuntergang glauben ließ.

Viele Forscher haben bisher vergeblich versucht, eine plausible Erklärung für das chaotische Rotationsverhalten zu finden. Möglicherweise gelang dies dem englischen Wissenschaftler P. Warlow im Jahre 1978 mit einer originellen Theorie. Seiner Meinung nach können die raumstabile Rotationsachse und die Erdachse, die durch den geographischen Nord- und Südpol festgelegt ist, durchaus unterschiedliche Richtungen aufweisen. Die Gravitation eines nahe an der Erde vorbei ziehenden größeren Himmelskörpers soll zu jenem Zeitpunkt die Erdachse gekippt haben. Unser Planet hätte dabei eine Zeitlang unter Beibehaltung des Drehsinns „kopfüber“ rotiert, bis schließlich der Nordpol wieder die alte Lage einnahm. Tatsächlich vertauschen sich bei diesem Vorgang für einen irdischen Beobachter die Auf- und Untergangsorte der Sonne. Weil jedoch der hypothetische Planet einer Computersimulation zufolge die anderthalbfache Größe des Jupiters hätte aufweisen müssen, verwarfen die Astronomen Warlows Theorie 1981 wieder [30].

Möglicherweise kann aber ein größerer Asteroid bei einem schrägem Aufprall dem Kreisel „Erde“ einen kräftigen Kipp-Impuls geben und eine Verschiebung der Erdachse auslösen. Phaéthon mit einer geschätzten Masse von über fünf Millionen Tonnen schlug fast tangential auf der Oberfläche auf. Außerdem lag die Einschlagstelle auf einer hohen geographischen Breite. Beide Faktoren begünstigen theoretisch eine Kippbewegung. Praktisch jedoch ist der geophysikalische Vorgang, der tatsächlich zum Kippen führt, noch unbekannt.

Trotz des vielversprechenden Ansatzes von P. Warlow bleiben die vorliegenden Überlegungen vorerst nur eine Hypothese. Es ist nach den geltenden physikalischen Gesetzen nur schwer vorstellbar, dass ein Asteroid mit einer extrem geringen Masse im Vergleich zu unserem Planeten ein chaotisches Taumeln oder Kippen der Erdachse ausgelöst haben soll.

Der Untergang von Atlantis

Der Sturz des Phaéthon steht auch im Zusammenhang mit einem anderen großen Rätsel der Menschheitsgeschichte, nämlich dem Untergang der sagenhaften Insel Atlantis. Erstmals erwähnt wurde sie in den Dialogen „Kritias“ und „Timaios“ des griechischen Philosophen Platon. Über 2300 Jahre haben Wissenschaftler darüber gestritten, ob Atlantis überhaupt existierte. Aber vor einem halben Jahrhundert konnte das Rätsel durch den 1998

verstorbenen Privatgelehrten Jürgen Spanuth grundlegend gelöst werden, und etliche Forscher stimmen ihm darin zu [31].

Als einzige der mittlerweile über tausend Hypothesen kann seine Theorie den Kriegszug der Atlanter gegen die mächtigsten Staaten der spätbronzezeitlichen Welt erklären. Die so genannten frühen Urnenfelderleute zerstörten um 1200 v.Chr. das Hethiterreich und die Stadtstaaten Griechenlands und wurden erst in Ägypten in einer großen Schlacht besiegt. Diese Ereignisse fanden jedoch nicht, wie die Legende berichtet, 9000 Jahre vor dem Besuch des griechischen Staatsmannes Solon in Ägypten statt (561 v.Chr.), sondern um die Wende vom 13. zum 12. Jh. v.Chr. Die Verwechslung beruht darauf, dass die ägyptischen Priester noch lange neben dem im öffentlichen Leben gebräuchlichen Sonnenkalender nach einem Mondkalender rechneten und die „Jahre“ nach dem Umlauf des Erdtrabanten zählten [7, 32].

Ein Teil der Angreifer, die in den altägyptischen Papyri als Nord- und Seevölker bezeichnet werden, hatte Spanuths Forschungen zufolge ihre Heimat im Nord- und Ostseegebiet. Hier lebten die Menschen des Nordischen Kreises im 15. bis 13. Jh. v.Chr. auf einer hohen Kulturstufe. Ihr wirtschaftliches, verkehrsgeografisches und kultisches Zentrum war die ehemals viel größere Insel Althelgoland/Altsüdstrand. Zahlreiche Beweise zeigen, dass sie möglicherweise die gesuchte „Königs- und Säuleninsel“ Basileia des Atlantisberichts war [6, S. 123 ff.]. Ihre günstige Lage im Mündungsgebiet mehrerer großer Ströme, der Bernsteinhandel sowie die Kupfergewinnung förderten bereits lange vor der Bronzezeit die wirtschaftliche Bedeutung dieser Region. Sowohl die Suche nach dem Zentrum von Atlantis als auch nach dem antiken Bernsteinfluss Eridanos und dessen Mündung führten also unabhängig voneinander in das Gebiet der Helgoländer Bucht.

Wie bisher nur wenige Forscher erkannten, liefert Platon am Anfang seines Dialog „Timaios“ (22c) einen wichtigen Hinweis zur Untergangsursache des legendären Inselreiches. Was die ägyptischen Priester dem Griechen Solon mitzuteilen hatten, klingt nach den jüngsten Erkenntnissen der Impaktforschung erstaunlich modern [6, S. 448]:

- „...denn das, was bei euch erzählt wird, dass einst Phaéthon, der Sohn des Helios..., die Oberfläche der Erde durch Feuer zerstörte, weil er nicht imstande war, die Bahn des Vaters einzuhalten, das wird zwar in Form eines Mythos berichtet, es ist aber Wahrheit und beruht auf der Abweichung der am Himmel um die Erde kreisenden Gestirne und der nach langen Zeiträumen erfolgten Vernichtung der auf der Erde befindlichen Dinge durch mächtige Feuer“.

Demnach war der durch einen Himmelskörper verursachte Untergang von Atlantis nicht die erste Katastrophe dieser Art, aber als einzige ist sie so detailliert der Nachwelt überliefert worden.

Wie die bisherigen Erkenntnisse nahe legen, war Phaéthons Sturz eine wichtige Zäsur am Ende der Bronzezeit. Sie zeigen deutlich, wie sehr der Einschlag von Asteroiden und Kometen die menschliche Geschichte beeinflussen und unsere Zivilisation bedrohen kann. Viele Einzelheiten des wahrscheinlich unheilvollsten Meteoritenfalls der letzten fünftausend Jahre sind bereits enträtselt. Ein genaueres Bild von der Naturkatastrophe wird man aber erst gewinnen können, wenn der vermutete untermeerische Krater bei Helgoland aufgespürt und untersucht worden ist. Weitere wissenschaftliche Überraschungen sind dabei nicht auszuschließen.

Anmerkungen und Literaturhinweise

[1] Ovid, „Metamorphosen“, Deutscher Taschenbuchverlag München, 1997;

Phaéthon-Epos ab I. Buch, Vers 750; (zitiert im weiteren mit M. I, 750);

[2] nach M. Vosseler 1959, J. Spanuth 1976, S. 224 f.

[3] Engelhardt, W. v., „Phaéthons Sturz, ein Naturereignis?“, 1979 (Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften)

[4] Kugler, F. X., „Sibyllinischer Sternkampf und Phaéthon“, Aschendorfer Verlagsbuchhandlung, Münster i. W., 1927

[5] Spanuth, J., „Atlantis“, Grabert-Verlag Tübingen, 1965, S. 81 - 218

[6] Spanuth, J., „Die Atlanter“, Grabert-Verlag Tübingen, 1976, S. 224 - 284

[7] Spanuth, J. „Eine Ehrenrettung Platons“, Heft 39 der Schriftenreihe der Deutschen Akademie für Bildung und Kultur in München, 1992

[8] Goldmann, K. „Zur Funktion des Ko-Grabens bei Haithabu“, Materialien zur Vor- und Frühgeschichte von Hessen 8; Wiesbaden 1999; (Nachweis von Kanalbauten in der Wikingerzeit)

[9] Der Zeitpunkt der Explosion ist sehr umstritten (von 1645 v.Chr. bis 1220 v.Chr.), aber nur der von C.Blegen und J.Spanuth angenommene späte Zeitpunkt kann zufriedenstellend bestimmte Aspekte der ägyptischen Geschichte erklären.

[10] Stender, W. „War Phaéthon ein Planetoid?“, unveröffentlichtes Manuskript, 1982; „Die Wirklichkeit der Phaéthon-Sage“, in: „An den Grenzen unseres Wissens“, Band 1, CTT-Verlag Suhl, 1997; S. 59 - 98

[11] Dieser Himmelskörper darf nicht verwechselt werden mit dem 1983 entdeckten Asteroiden gleichen Namens (Nr. 3200) und einem hypothetischen zerstörten Planeten zwischen Mars- und Jupiterbahn; die Bezeichnung „Asteroid“ ist gleichbedeutend mit „Planetoid“ und „Kleinplanet“;

[12] Meier, G. „Die deutsche Frühzeit war ganz anders“, Grabert-Verlag Tübingen, 1999

[13] „Alten Sagen auf der Spur“ in der Sächs. Zeitung vom 3.3.1978;

[14] Gritzner, Ch., „Kometen und Asteroiden“, AVIATIC Verlag, Oberhaching, 1999; S. 59

[15] W. Stender vermutete eine erdölartige Substanz, da indische Überlieferungen von „Naphta“ sprechen; das im Jahre 2002 entdeckte Kuiper-Objekt Quaoar besitzt ebenfalls eine teerhaltige Oberfläche, die durch die Einwirkung von UV-Strahlung entstand (Der Spiegel 42/2002)

[16] Lewis, J.S. „Bomben aus dem All“, Birkhäuser Verlag Basel, Boston, Berlin, 1997; S.123f (Annäherungsgeschwindigkeit 10,1 km/s; Perigäumshöhe 58 km; Durchmesser 15-80 m)

[17] Die Entfernung von 500.000 km wurde vom Verfasser willkürlich gewählt. Die Wirkungssphäre der Gravitation des Erde-Mond-Systems reicht bis maximal 930.000 km. Beim Einfang-Problem muss diese Grenze deutlich vermindert werden, weil sich geringe gravitative Störungen im Apogäum bereits beträchtlich auf das Flugverhalten in Perigäumsnähe auswirken.

[18] Asphaug, E. „Kleinplaneten in Großaufnahme“ in „Spektrum der Wissenschaft“; Dossier 3/2001; S. 50 – 57;

[19] briefl. Mitteilung vom 20.1.1999 von O.Posdziech, Institut für Luft- und Raumfahrttechnik der TU Dresden: $c_w = 0,9 \dots 2,5$ für eine ideale Kugel, linear steigend von $h = 0$ bis $h = 100$ km Höhe;

[20] Tollmann, A. u. E. „Und die Sintflut gab es doch“, Droemersch Verlag Th.Knauer Nachf., München 1993; (Taschenbuchausgabe 1995)

[21] W.Stender vermutete einen Durchmesser von 2-3 km vor dem Einfang; der Berliner Impaktforscher Prof. D.Stöffler nur 20 m beim Einschlag;

[22] Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 9.12.1970; zitiert bei Spanuth 1976, S. 236

[23] Mitteilungen i.J. 2002 von Ch.Gritzner, Institut für Luft- und Raumfahrttechnik der TU Dresden

[24] bei allen Berechnungen zur vermutlichen heliozentrischen Umlaufbahn des Phaéthon wurde von einem Tangieren der Erdbahn ausgegangen (bzw. von einem sehr kleinen Schnittwinkel), weil damit die Wahrscheinlichkeit einer nahen Begegnung stark wächst.

[25] Tsunamiwellen breiten sich mit 700-800 km/h aus und erreichen bei großen Impaktoren beim Auflaufen auf die Küste eine Höhe, die der Wassertiefe an der Einschlagstelle entspricht; s.a Tollman 1993, S. 48

[26] nach einer Untersuchung des Geologen I. Reinwald im Jahre 1937; außerdem in „Ecological catastrophe in connection with the impact of the Kaali meteorite about 800 – 400 B.C.

on the island of Saaremaa, Estonia“ in Meteoritics & Planetary Science 36, 1367-1375, 2001 von S.Veski, A.Heinsalu, K.Kirsimae, A.Poska, L.Saarse

[27] briefl. Mitteilung von H. Zschweigert am 16.9.1992 an J. Spanuth über einen Besuch im Moormuseum in Groß Hesepe.

[28] „Vergessene Welten“, Moewig-Verlag Rastatt 1994; Lizenzausgabe der Little Brown Company Limited, London

[29] 11,12 km/s ist die Geschwindigkeit eines Satelliten in seinem Perigäum nahe der Erdoberfläche, wenn die Apogäumshöhe 500.000 km beträgt; s.a. [17];

[30] James, P. u. Thorpe, N. „Halley, Hünen, Hinkelsteine“, Sanssouci Verlag Zürich, 2001; S. 150 ff

[31] empfehlenswerte Literatur mit Diskussion der besten Atlantishypothesen in: Gadow, G., „Der Atlantis-Streit“, Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt a.M., 1973

Franke, A., „Atlantis – Wahn oder Wirklichkeit“, Mannus-Verlag Hückeswagen, Mannus-Bibliothek Bd. 11, 1978

Kehnscherper, G., „Auf der Suche nach Atlantis“, Urania-Verlag Leipzig, Jena, Berlin, 1978

[32] 9000 Mondmonate zurück gerechnet führen in die Zeit um 1250 bis 1230 v.Chr., also kurz vor dem Untergang von Atlantis um 1220 v.Chr. Es ist wegen der auf volle 1000 Zeiteinheiten gerundeten Angabe für die Abschätzung des Zeitraums unerheblich, ob eine Monatslänge von 29,53 Tagen (von Vollmond zu Vollmond) oder eine bei mehreren alten Kalendern gebräuchliche Monatslänge von 28 Tagen zugrunde gelegt wird.

Danksagung

Herzlichen Dank an Herrn Dr. Christian Gritzner für die ausführlichen Anmerkungen zu meinem Manuskript und die wertvollen fachlichen Hinweise.
