

# Der GEFÄHRLICHSTE ASTEROID

im Sonnensystem



## Die Wahrscheinlichkeit ist zwar gering ... doch im **Jahr 2036** könnte der erdnahe Asteroid Apophis unseren Planeten treffen.

**Freitag, 13. April 2029:** Eine Stunde nach Sonnenuntergang beobachten Amateurastronomen in ganz Westeuropa und Nordafrika, wie ein »Stern« dritter Größe im Sternbild Krebs sich langsam Richtung Westen bewegt. Es ist kein künstlicher Satellit, sondern ein Gesteinsbrocken mit 320 Meter Durchmesser. Sein Name: Apophis! Mit fast einem Grad pro Minute ungewöhnlich schnell, zieht er vor dem Fixsternhimmel dahin. Sein Abstand von der Erdoberfläche entspricht dabei ziemlich genau jenem der geostationären Satelliten. Obwohl er im Jahr 2029 keine aktuelle Bedrohung für uns darstellt, sorgt Apophis doch unter Astronomen auf der ganzen Welt für Aufregung. Denn nicht dieses knappe Vorüberziehen von Apophis im Jahr 2029 bereitet uns heute Sorgen, sondern die Möglichkeit eines Einschlags nur sieben Jahre später. Forscher und Politiker streiten derzeit über geeignete Gegenmaßnahmen zur Abwehr dieser seltenen, aber realen weltweiten Bedrohung.

VON DANIEL D. DURDA

Während der Weihnachtsfeiertage des Jahres 2004 erreichte mich folgende Nachricht: Am folgenden Tag würden die zwei großen Zentren für die Vorhersage von Asteroideneinschlägen – das Jet Propulsion Laboratory (JPL) in Kalifornien und die Università di Pisa in Italien die weltweit erste Vorhersage eines möglichen Einschlags eines Asteroiden auf der Erde bekannt geben. Roy Tucker vom Goodricke-Pigott Observatory sowie David Tholen und Fabrizio Bernardi von der University of Hawaii hatten das Objekt mit der provisorischen Katalogbezeichnung 2004 MN<sub>4</sub> entdeckt, als sie im Juni 2004 am Kitt Peak National Observatory neue Geräte testeten. Bald darauf verlor man es allerdings wieder aus den Augen. Erst am 18. Dezember des Jahres sichtete man es erneut.

Auf Basis dieser unabhängigen Beobachtungen in einem zeitlichen Abstand von mehreren Monaten konnten die Astronomen eine Umlaufbahn berechnen, die präzise genug für eine Vorhersage war: Mit einer Wahrscheinlichkeit von 1:200 würde dieser Asteroid ausgerechnet am Freitag, dem 13. April 2029 auf der Erde einschla-

gen – und dabei eine Zerstörungskraft von mehreren tausend Megatonnen TNT freisetzen. Eine Bedrohung dieser Größenordnung hatten viele von uns in der Realität niemals erwartet.

Nun war es dringend geboten, möglichst schnell die Größe des Asteroiden zu bestimmen. Denn ein wichtiger Faktor in der »Turiner Skala« (siehe Abbildung S. 70), welche die Auswirkungen eines möglichen Einschlags eines Kometen oder Asteroiden beschreibt – ist die Größe des Objekts. Erste Abschätzungen von 2004 MN<sub>4</sub>, der mittlerweile den Namen des ägyptischen Gottes des Chaos, der Finsternis und Auflösung – Apophis – trägt, führten zu Werten zwischen 200 Metern und 1,5 Kilometern.

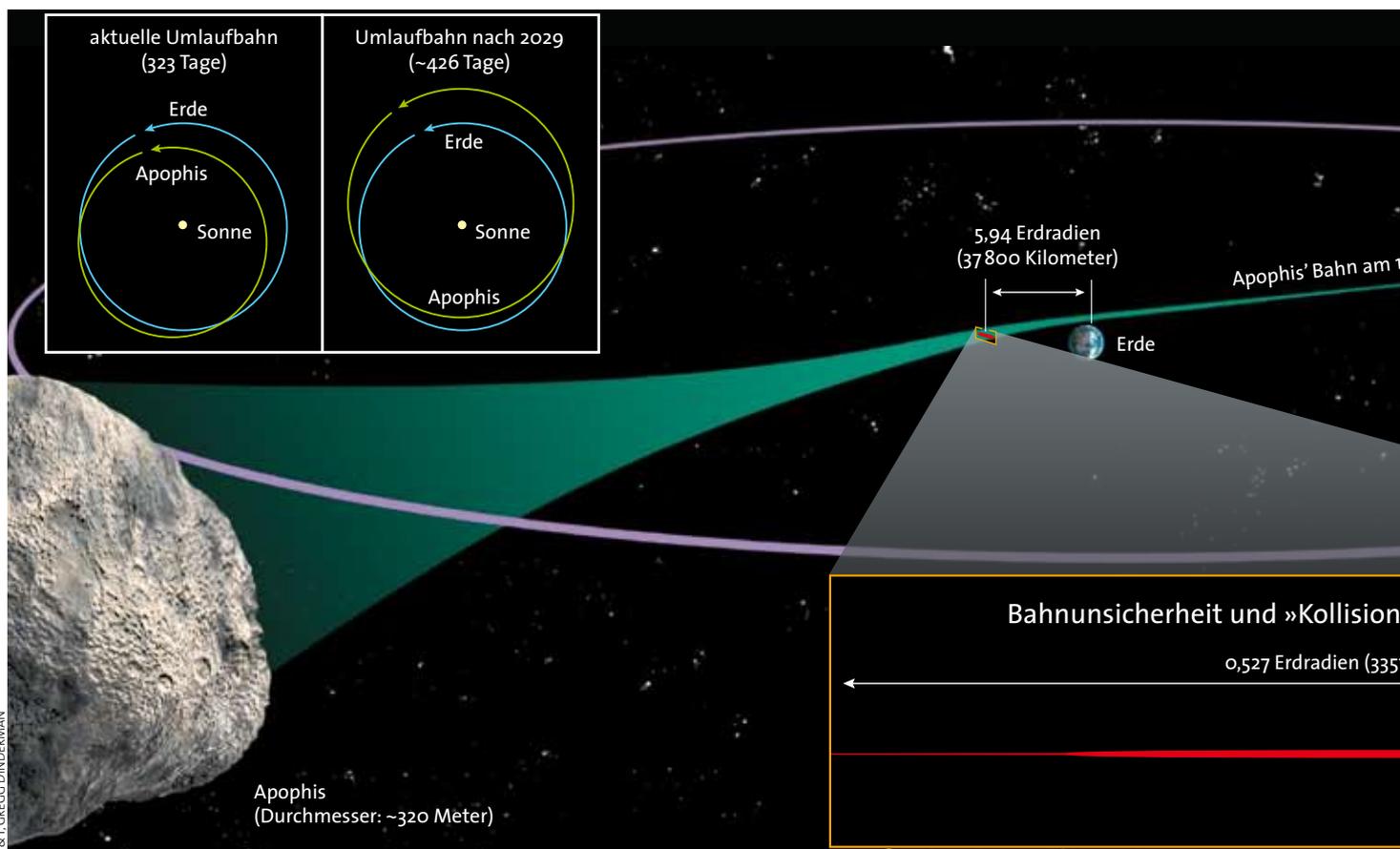
Der Einschlag eines 200-Meter-Trumms würde eine große Stadt völlig zerstören oder beim Einschlag ins Meer einen riesigen Tsunami auslösen. Ein 1,5-Kilometer-Objekt hingegen hat das Potenzial für eine globale Katastrophe: Es würde beim Eindringen in die Atmosphäre die Ozon-schicht zerstören. Die großen Staubmengen, die bei einem Einschlag in die Atmosphäre gewirbelt würden, hätten weltweite Klimaveränderungen zur Folge.



ROY A. TUCKER, DAVID J. THOLEN UND FABRIZIO BERNARDI, IFA-HAWAII

## ENTDECKT

Kaum vorstellbar, dass ein so schwaches Pünktchen für so viel Aufregung sorgte. Doch genau das passierte, als die Astronomen feststellten, dass der Asteroid Apophis in nicht allzu ferner Zukunft mit der Erde kollidieren könnte. Das Entdeckungsbild wurde am 18. Juni 2004 auf dem Kitt Peak in Arizona aufgenommen. Sterne erscheinen darauf als langgezogene Strichspuren.



S&T, GREGG DINDERMAN

Sowohl professionelle Astronomen als auch Amateure auf der ganzen Welt begannen, Apophis regelmäßig zu beobachten und leiteten ihre Positionsmessungen an das Minor Planet Center am Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics weiter. Die Teams im JPL und in Pisa verbesserten ihre Berechnungen und Vorhersagen über den möglichen Einschlag laufend mit diesen Daten. Am 23. Dezember war die Wahrscheinlichkeit einer Kollision des Asteroiden mit der Erde auf 1:170 gestiegen, am 24. Dezember lag sie bei 1:60 und am darauf folgenden Tag erreichte sie 1:40. Am 27. Dezember schließlich betrug die Einschlagswahrscheinlichkeit 1:37. Damit hatte die Gefährdung einen Wert von 4 auf der Turiner Skala erreicht. Normalerweise sinkt die Wahrscheinlichkeit eines Einschlags, je mehr Beobachtungen vorliegen. Im Fall von Apophis ging die Entwicklung jedoch in die entgegengesetzte Richtung!

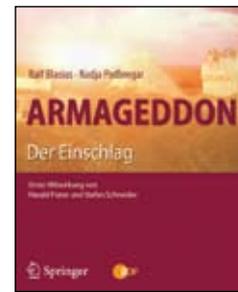
Obwohl das öffentliche Interesse zunahm, gab es keine Sensationsmeldungen wie bei vorangegangenen, wesentlich unwahrscheinlicheren Einschlagswarnungen – schließlich haben auch Journalisten zu Weihnachten frei. Dazu kam, dass am 26. De-

zember ein Tsunami Südostasien verwüstete. Die Aufmerksamkeit der Medien konzentrierte sich zu Recht auf dieses tragische Ereignis.

### Knapp daneben

Am 27. Dezember sah es so aus, als würde die Wahrscheinlichkeit eines Einschlags im Jahr 2029 auf 1:20 ansteigen. Glücklicherweise förderte jedoch eine umfangreiche Suche einige Bilder des Asteroiden ans Tageslicht, die am 15. März mit dem 0,9-Meter-Spacewatch-Teleskop auf dem Kitt Peak aufgenommen worden waren. Mit Hilfe dieser Aufnahmen konnten die Astronomen definitiv ausschließen, dass Apophis die Erde am 13. April 2029 treffen würde. Weitere Berechnungen zeigten sogar, dass er in einer sicheren Entfernung von etwa fünf Erddurchmessern an uns vorbeiziehen wird.

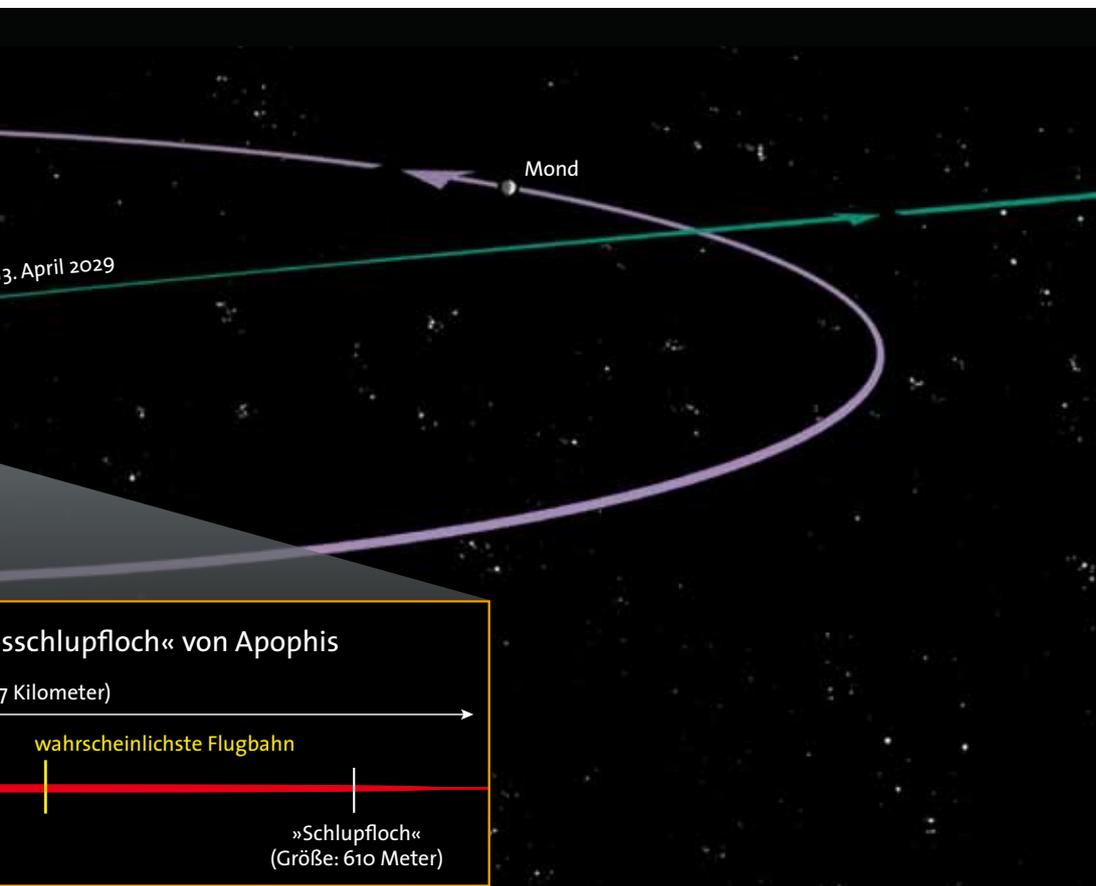
Ende Januar 2005 beobachteten die Astronomen den Asteroiden dann mit dem weltgrößten Radioteleskop in Arecibo, Puerto Rico. Diese Daten erlaubten eine bessere Bestimmung seines Orbits. Es stellte sich heraus, dass einige der optischen Beobachtungen ungenau waren: Der Abstand



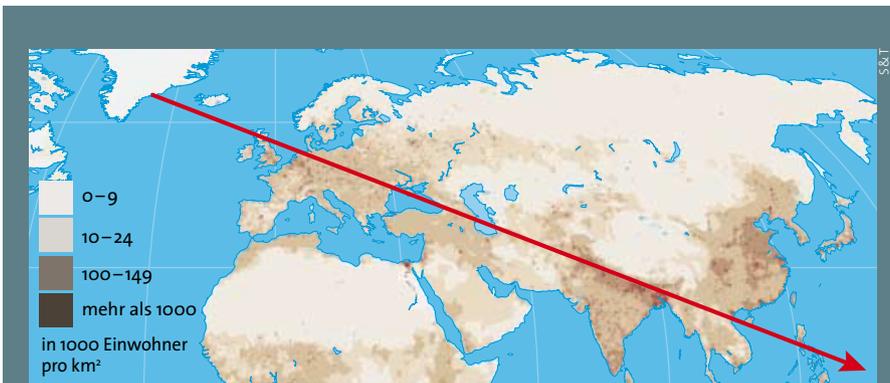
### ARMAGEDDON

Im Herbst 2007 strahlt das ZDF die Wissenschaftsdokumentation »Armageddon – Der Einschlag« aus. Das Begleitbuch zur Sendung schildert die Folgen einer globalen Katastrophe durch einen Asteroideneinschlag. Was würde passieren, wenn heute einer mit der Erde kollidieren würde?

Sendetermine: 30.9. und 7.10. 2007, jeweils um 19.30 Uhr



Die Astronomen können heute noch nicht exakt vorhersagen, wie nahe Apophis der Erde am 13. April 2029 tatsächlich kommen wird. Die rote Linie stellt hier das Unsicherheitsintervall (die Fehlerellipse) dar. Sollte Apophis eine bestimmte, sehr kleine Region – das »Schlupfloch« – passieren, würde der Schwerkraftstoß der Erde den Asteroiden genau auf Kollisionskurs mit unserem Planeten bringen – bei seiner nächsten Passage sieben Jahre später.

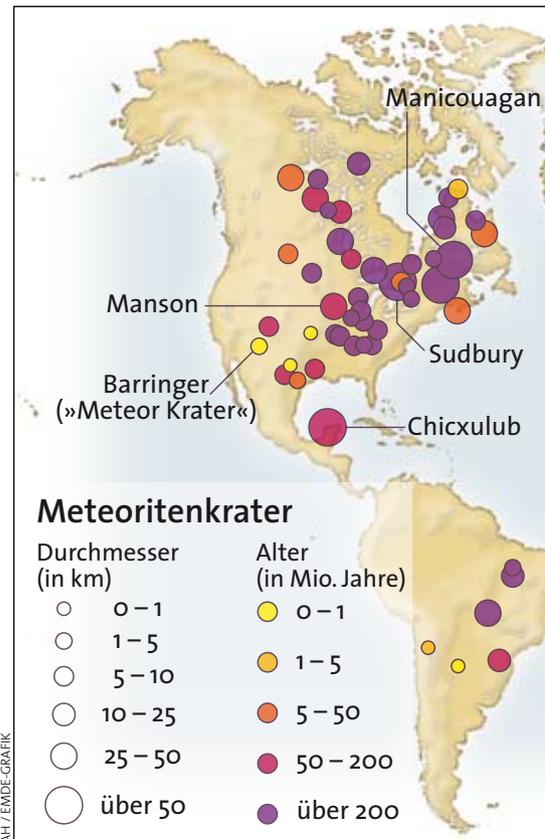


## Die Katastrophe managen

Projiziert man Apophis Flugbahn auf eine Karte der Weltbevölkerungsdichte (Abb. oben), wird schnell klar, dass sich der Asteroid auf gefährlichem Kurs befindet.

Ist es klug, solche Informationen publik zu machen? Immerhin könnte die Einschlagswahrscheinlichkeit durch neue Beobachtungsdaten von heute auf morgen auf Null sinken. Oder ist vielmehr deren Geheimhaltung verantwortungslos?

Rückt der Zeitpunkt einer Kollision näher, kann der Einschlagsort immer exakter bestimmt werden. Ergreift dann eine bestimmte Nation Maßnahmen, um den Asteroiden von seinem Kollisionskurs abzubringen, könnte sich dieser unter Umständen so verschieben, dass am Ende ein anderes Land getroffen wird. Die Politiker sollten sich mit diesem Szenario befassen, bevor es tatsächlich eintritt.



des Asteroiden von der Erde bei seiner Passage wird nur halb so groß sein wie erwartet. Tatsächlich fliegt er sogar noch innerhalb der Umlaufbahnen unserer geostationären Satelliten vorbei und wird dabei als heller »Stern« dritter Größe über den europäischen Himmel ziehen.

Ein Objekt dieser Größe sollte statistisch gesehen nur etwa einmal alle 1500 Jahre der Erde nahe kommen. Apophis besucht uns aber gerade ein Vierteljahrhundert nach seiner Entdeckung. Ist uns also etwas entgangen? Könnten unsere Schätzungen derart weit daneben liegen?

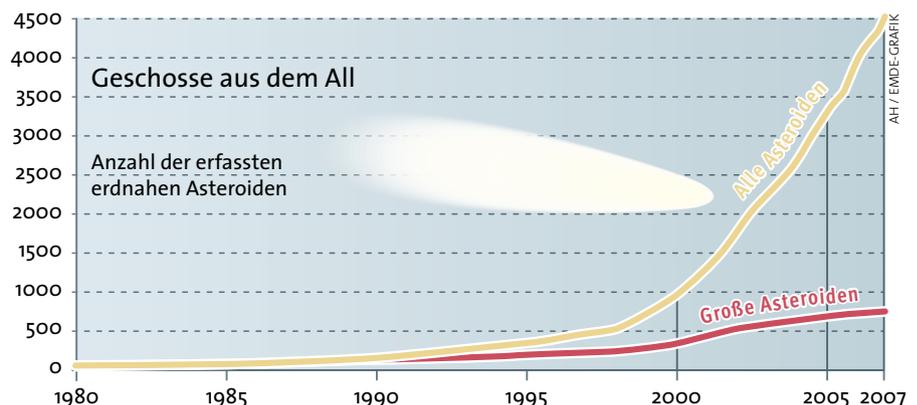
Abgesehen von diesen Bedenken bietet Apophis der Wissenschaft großartige Möglichkeiten: Während seines engen Vorbeiflugs im Jahr 2029 werden die Gezeitenkräfte der Erde seine Drehung beeinflussen und vielleicht sogar seine Form verändern. Sie werden allerdings nicht stark genug sein, um den Asteroiden in Bruchstücke zu zerreißen, wie es dem Kometen Shoemaker-Levy 9 im Jahr 1992 bei der Annäherung an Jupiter widerfuhr.

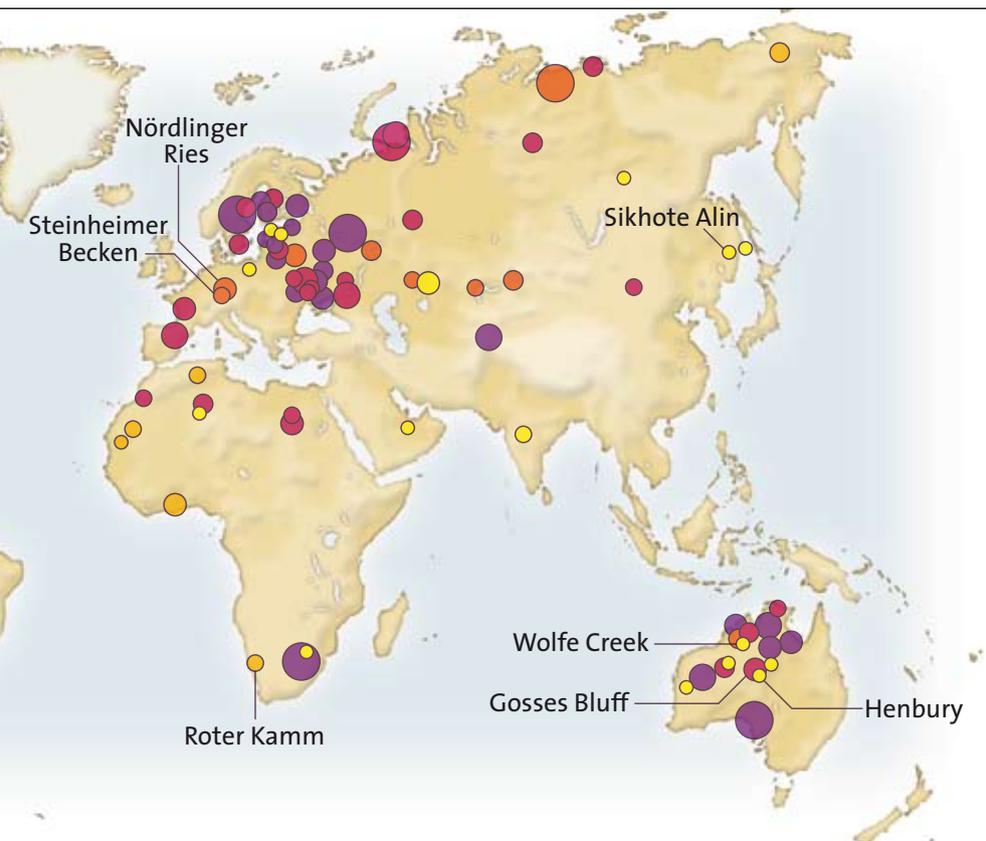
Da wir viele Jahre im Voraus wissen, dass Apophis der Erde sehr nahe kommen wird, gibt uns das die Zeit, Experimente vorzubereiten, um seinen inneren Aufbau zu studieren: Ist der Asteroid ein massiver

Gesteinsbrocken oder nur ein Haufen Geröll, der von seiner eigenen Schwerkraft gerade noch zusammengehalten wird? Wenn die Gezeitenkräfte der Erde ihn durchkneten, wird sein ganzes Inneres von »Asteroidenbeben« erschüttert. Die Echos dieser Stöße werden uns die Grenzen zwischen möglichen inneren Strukturen zeigen. So erledigt die Natur für uns den schwierigsten Teil dieses interessanten seismischen Experiments. Wir brauchen nur einige Sensoren einzusetzen und gut zuzuhören.

Wenn Apophis die Erde passiert und dabei von ihrer Schwerkraft erfasst wird, verändert sich seine Flugrichtung um etwa 28 Grad. Sein Orbit um die Sonne vergrößert sich, die Umlaufzeit wird länger. Der Aste-

Im letzten Vierteljahrhundert stieg die Zahl der entdeckten erdnahen Asteroiden enorm an. Nur ein Bruchteil von ihnen wird der Erde jedoch auf Grund ihrer Größe gefährlich.





Nur ein kleiner Bruchteil aller Einschlagskrater auf der Erde ist heute noch sichtbar. Die meisten sind durch den Einfluss der Witterung nicht mehr zu erkennen.

roid wird dann mehr Zeit außerhalb der Erdbahn verbringen als im Moment (siehe kleine Abbildungen S. 66).

Die geänderte Flugbahn hängt jedoch vom genauen Punkt seiner größten Annäherung an die Erde ab. Und genau hier liegt die Gefahr, die von dem fliegenden Felsbrocken ausgeht: Erwischt Apophis bei seiner Wiederkehr im Jahr 2029 einen kleinen Bereich von nur 610 Metern – das so genannte Kollisionsschlupfloch – wird ihn seine Umlaufbahn sieben Jahre später wieder an exakt dieselbe Stelle führen (siehe Grafik S. 66/67). Das Problem ist, dass die Erde dann auch genau dort wäre. Trifft der Asteroid 2029 also diesen Punkt, kollidiert er am 13. April 2036 mit unserem Planeten.

Die Unsicherheiten in den Bahnberechnung der Astronomen lassen sich nur durch weitere Beobachtungen des Asteroiden verkleinern. Leider ist Apophis zwischen 2007 und 2011 nur sehr schwer zu beobachten. Der Himmelskörper befindet sich dann die meiste Zeit innerhalb der Erdumlaufbahn, wo er von der Sonne überstrahlt wird.

Im Mai 2006 war es zuletzt möglich, ihn mit der großen Radioantenne von Arecibo aufzuspüren und seine Position zu be-

stimmen. Berücksichtigt man diese und neuere optische Beobachtungen, liegt die Wahrscheinlichkeit, dass er durch das Schlupfloch fliegen und damit im Jahr 2036 auf der Erde einschlagen wird, bei etwa 1:48 000. Das ist immerhin um einen Faktor acht geringer als der aus früheren Beobachtungen abgeleitete Wert.

### Radiospäher zu Apophis

Vermutlich müssen wir uns aber bis zum Jahr 2010 gedulden, um Genaueres über Apophis' Einschlagswahrscheinlichkeit sagen zu können. Erst dann ist er wieder mit optischen Teleskopen beobachtbar.

Sollte das Schlupfloch dann immer noch in Reichweite von Apophis Bahn liegen, werden wir wahrscheinlich eine Raumsonde schicken, die einen Radiosender auf dem Asteroiden absetzt. Nasa-Direktor Michael Griffin hat bereits 2005 eine solche Mission genehmigt, die nach der nächsten Sichtbarkeitsperiode von Apophis im Jahr 2013 Realität werden könnte. Die Radiosignale würden es uns dann ermöglichen, seine Bahn exakter zu bestimmen. Was aber tun wir, wenn sich in den 2020er Jahren herausstellt, dass Apophis während seiner Annäherung im Jahr 2029 mit großer Wahrscheinlichkeit das Schlupfloch trifft?



JUGEND FORSCHT

## PREISTRÄGER

Der 17-jährige Gymnasiast Raphael Errani aus Stade (oben mit AH-Chefredakteur Jakob Staude) gewann in diesem Jahr den Preis der Bundeskanzlerin für die originellste Arbeit beim Wettbewerb »Jugend forscht«. Sein Thema: Die Einschlagwahrscheinlichkeit großer Asteroiden auf der Erde.

Mit Hilfe von Computersimulationen bestimmte er das Verhältnis der Einschläge auf Mond und Erde. Er fand 16 139 Erdtreffer und 1074 Mondtreffer, also ungefähr ein Verhältnis von 15:1. Mit diesem Faktor ließen sich die Zahlen seiner Mondkraterzählung auf die Erde übertragen. Zum Glück ergab sich, dass wirklich schlimme Einschläge nur alle 50 bis 100 Millionen Jahre zu erwarten sind.

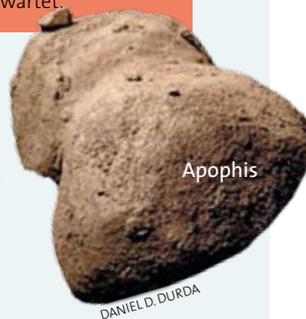
Für seine Arbeit erhielt Errani 2000 Euro und eine Einladung zum European Union Contest for Young Scientists in Valencia.



# Die Turiner Skala

Ereignisse ohne Konsequenzen	0	Die Wahrscheinlichkeit einer Kollision ist null. In diese Klasse gehören auch kleine Objekte, die die Erdoberfläche im Fall einer Kollision nicht beschädigen.
sorgfältige Beobachtung notwendig	1	Die Wahrscheinlichkeit eines Treffers ist sehr gering.
Besorgnis erregend	2	Nahe, aber noch nicht extrem enge Begegnung, Kollision unwahrscheinlich
	3	Enge Begegnung, die Wahrscheinlichkeit einer Kollision mit <b>lokalen</b> Zerstörungen ist größer als ein Prozent.
	4	Enge Begegnung, die Wahrscheinlichkeit einer Kollision mit <b>regionalen</b> Zerstörungen ist größer als ein Prozent.
bedrohlich	5	Enge Begegnung, die Gefahr einer Kollision mit <b>regionalen</b> Zerstörungen ist beträchtlich.
	6	Enge Begegnung, die Gefahr einer Kollision mit <b>globalen</b> Zerstörungen ist beträchtlich.
	7	Enge Begegnung, die Gefahr einer Kollision mit <b>katastrophalen globalen</b> Folgen ist extrem groß.
Gewissheit über Kollision	8	Eine Kollision, die <b>lokale</b> Zerstörungen zur Folge hat, solche Ereignisse werden einmal innerhalb von 50 bis 1000 Jahren erwartet.
	9	Eine Kollision, die <b>regionale</b> Zerstörungen zur Folge hat, solche Ereignisse werden einmal innerhalb von 1000 bis 100 000 Jahren erwartet.
	10	Eine Kollision, die eine <b>globale</b> Klimakatastrophe zur Folge hat, solche Ereignisse werden einmal innerhalb von 100 000 Jahren oder seltener erwartet.

Auf einer Konferenz in Turin im Jahr 1999 schlug Richard Binzel vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) eine Skala von 0 bis 10 vor, die zur Risikoeinstufung von Asteroiden und Kometen dient. Die »Turiner Skala« ermöglichte erstmals eine Quantifizierung des Risikos. Handelt es sich um einen kleinen Asteroiden, der nur begrenzten Schaden anrichtet oder um einen großen Brocken, der viele Menschenleben fordert, dafür aber nur mit geringer Wahrscheinlichkeit die Erde trifft? Die Skala kombiniert Wahrscheinlichkeitsberechnungen eines Einschlags mit einer Abschätzung der Folgen.



Die bloße Möglichkeit führt zu einer wichtigen Frage: Wann ist die Bedrohung durch ein solches Objekt groß genug, um konkrete Abwehrmaßnahmen einzuleiten? Da bisher keine nationale oder internationale Organisation damit betraut ist, die Erde vor Asteroideneinschlägen zu schützen, stellt sich auch die Frage, wer diese Entscheidung treffen soll. Wer wird handeln? Wer dafür zahlen? Und wer trägt die Verantwortung, falls etwas schiefgeht? Ein Komitee unter dem Vorsitz des Apollo-9-Astronauten Rusty Schweickart arbeitet derzeit gemeinsam mit den Vereinten Nationen daran, Antworten auf diese Fragen zu finden.

## Aufblasbare Spiegel

Forscher haben heute bereits viele Methoden ausgearbeitet, einen gefährlichen Asteroiden auf eine neue Flugbahn zu bringen: Riesige aufblasbare Spiegel könnten das Licht der Sonne auf seine Oberfläche lenken oder starke Laser ihn durchbohren, indem sie den Fels einfach verdampfen. Die dabei entstehenden kometenähnlichen Gasjets würden den Asteroiden langsam in eine andere Umlaufbahn schieben – und ihn so an der Erde vorbeidirigieren.

Eine andere Möglichkeit wäre, etwas auf den Asteroiden einschlagen oder einen Sprengsatz explodieren zu lassen, um ihn abzulenken oder sogar zu zerschmettern – ähnlich wie in den Filmen »Deep Impact« und »Armageddon«. Eine Schwierigkeit dieser Methode liegt darin, dass nur schwer kontrollierbar ist, was mit dem Asteroiden nach dem Einschlag passiert. Unter Umständen bleiben einige große Bruchstücke übrig, die nach wie vor auf Kollisionskurs sind.

Eines der größten Probleme ist, dass wir über die Oberfläche und den inneren Aufbau kleiner Asteroiden bisher kaum etwas wissen. Beobachtungen erdnaheer Asteroiden und Laboruntersuchungen an Meteoriten haben ergeben, dass deren Zusammensetzung stark variiert: Sie reicht von solidem Nickel-Eisen bis zu sehr porösem Gestein niedriger Dichte. Wie soll man einen kleinen Körper, der praktisch keine Schwerkraft besitzt, ergreifen oder auch nur in seiner Nähe arbeiten, wenn man nicht einmal weiß, ob seine Oberfläche aus solidem Metall, bröseligem Gestein oder einem Gemisch aus beidem besteht?

Eine elegante Lösung haben die Nasa-Astronauten Edward Lu und Stanley Love entwickelt – den »Gravitations-Schlepper«: Man parke ein massereiches Raumschiff in der Nähe des Asteroiden und bleibe mehrere Monate – oder auch länger – in dieser Position, wobei die Triebwerke wiederholt gezündet werden. Dank der Anziehungskraft zwischen Raumschiff und Asteroid zieht das Gefährt den Felsen mit sich, wobei die Gravitation wie ein Abschleppseil wirkt.

Würden wir einen solchen Schlepper-Satelliten rechtzeitig vor dem Vorbeiflug im Jahr 2029 zu Apophis schicken, bräuchten wir den Asteroiden nur wenige hundert Meter aus seiner jetzigen Bahn abzulenken, damit er das Kollisionsschlupfloch für 2036 verfehlt. Das ist wesentlich einfacher, als ihn mehrere tausend Kilometer an unserem gesamten Planeten vorbeizuziehen.

Eine winzige Änderung seiner Umlaufbahn könnte bereits von einem nur eine Tonne schweren Raumfahrzeug mit solar-elektrischem Antrieb ausgelöst werden –

ähnlich dem, das bei der Nasa-Mission Deep Space 1 zum Einsatz kommt.

Das Gravitationsschlepperkonzept umgeht das Problem, dass wir nichts über die Asteroidenoberfläche oder deren Inneres wissen. Es ist weder notwendig, auf dem Asteroiden zu landen, noch sich auf irgendeine Weise mit seiner Oberfläche oder seinem Inneren zu beschäftigen.

Große Felsbrocken fallen nur sehr selten vom Himmel. Doch wenn sie es tun, verursachen sie meist großräumige Verwüstung und unzählige Opfer (siehe Karte S. 68/69). Manche glauben, die angemessene Reaktion auf eine derartig seltene Bedrohung sei es, gar nichts zu tun. Doch da wir sowohl über das nötige Wissen als auch über die Technologie verfügen, sollten wir es nicht darauf ankommen lassen, dasselbe Schicksal wie die Dinosaurier erleiden. <<

*DANIEL D. DURDA ist Senior Research Scientist am Southwest Research Institute (SWRI) in Boulder, Colorado, wo er sich mit Asteroideneinschlägen und deren Folgen für die Erde beschäftigt.*

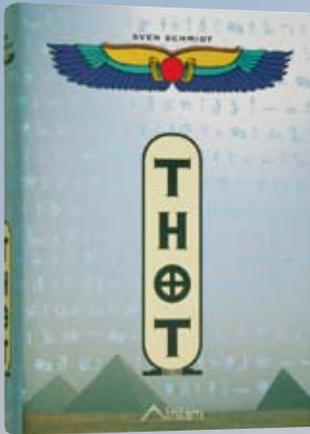


Ergänzend zu diesem Beitrag stellen wir unter [www.wissenschaft-schulen.de](http://www.wissenschaft-schulen.de) einen Versuch vor, bei dem CCD-Bilder des Asteroiden 4179 Toutatis ausgewertet werden, die im September 2004 am Observatorium Hoher List aufgenommen wurden. Aus den Messungen lässt sich die Entfernung des Asteroiden zur Erde ermitteln.

Das Projekt »Wissenschaft in die Schulen!« führen wir in Zusammenarbeit mit der Landesakademie für Lehrerfortbildung in Donaueschingen durch. Es wird von der Klaus Tschira Stiftung gGmbH großzügig gefördert.

# THOT-SPUREN AUS STEIN

## EIN SPANNENDER THRILLER UM DAS RÄTSEL DER PYRAMIDEN



DER ERSTE ARBEITSTAG DER ARCHÄOLOGIN SARAH KROEGER IM TAL DER KÖNIGE VERLÄUFT EREIGNISREICHER, ALS IHR LIEB IST. IN EINER GEHEIMEN HÖHLE WERDEN URALTE PAPYRUSSCHRIFTEN GEFUNDEN, DIE VIEL ÄLTER SEIN MÜSSEN, ALS DIE BISHER BEKANNTE ÄGYPTISCHE GESCHICHTE. SARAH UND DAS ARCHÄOLOGENTEAM UM TOM TUSTRA ERKENNEN JEDOCH SCHNELL, DASS DAS MILITÄR SOWIE EINE UNBEKANNTE GRUPPE EBENFALLS INTERESSE AN DEM FUND HABEN.

DIE EREIGNISSE ÜBERSTÜRZEN SICH UND SIE FLIEHEN IN DIE WÜSTE...

### NEUERSCHEINUNG

IM ALNILAM VERLAG 2007  
AUTOR: SVEN SCHMIDT  
FÜR 24,95 € DIREKT IM  
BUCHHANDEL ODER UNTER:  
[WWW.BUCHHANDEL.DE](http://WWW.BUCHHANDEL.DE)  
ISBN: 978-3-9811676-0-3

Alnilam

