

weisen. Die Erkenntnisse über kausale Bedingungen einer behaupteten Makroevolution sind ähnlich gering wie die Erwartungen, die an eine völlig beliebige Suche gestellt werden können.

Das Buch von MICHAŁEWICZ läßt sich somit in der fachübergreifenden Diskussion allgemeiner evolutiver Paradigmen als technisch präzisierter Bezugspunkt nutzen.

Durch die Aufnahme des Buches in die bekannte „Artificial Intelligence Series“ haben die Herausgeber die sicher unerwünschte Nebenwirkung erzielt, daß man den Inhalt als nur fachspezifisch relevant für ein bestimmtes Teilgebiet der Informatik mißverstehen kann. Mir ist daran gelegen, daß der vorliegende Stoff

breiten Kreisen von Naturwissenschaftlern und Ingenieuren bekannt wird. Darüber hinaus wäre zu wünschen, daß beispielsweise Mediziner und Geisteswissenschaftler den hier vorgenommenen Versuch einer Präzisierung von Möglichkeiten und Grenzen evolutiver Ansätze zur Kenntnis nehmen.

Literatur

JUNKER R, SCHERER S (1992) Entstehung und Geschichte der Lebewesen. 3. Aufl., Gießen.

MICHAŁEWICZ Z (1992) Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. Springer Series „Artificial Intelligence“, Berlin – Heidelberg – New York.

K U R Z B E I T R Ä G E

Asteroiden im Visier der Weltraumerkundung

Lange Zeit hielt man Asteroiden für langweilige Felsbrocken, für die sich eine Weltraummission nicht lohnt. Sie sollen schon seit Jahrmilliarden geologisch inaktive, tote Körper sein, die keinen Magnetismus haben, gleichmäßig bekratert sein sollen und schon gar keinen Vulkanismus haben. Man wollte bei einem Vorbeiflug „eben mal vorbeischaun“, wenn es sich sozusagen nicht vermeiden läßt: Dann, wenn man z. B. im Rahmen einer „richtigen“ Weltraummission mehr oder weniger zufällig an einem solchen Objekt vorbeikommen sollte. Dies ist inzwischen wiederholt geschehen und prompt hat sich das Bild gewandelt.

Die Asteroiden kamen erstmals ins Gespräch, als gegen Ende des auslaufenden 18. Jahrhunderts und zu Beginn des 19. Jahrhunderts zweierlei zusammenkam: Zum einen wurde eine mathematische Gesetzmäßigkeit für Planetenabstände erkannt und zum anderen ein Objekt zwischen den Planeten Mars und Jupiter entdeckt.

Überzeugt von einer strengen Ordnung im Planetensystem gingen die beiden Herren TITUS und BODE daran, einen mathematischen Zusammenhang für die Abstände der Planeten von der Sonne zu suchen. Dieser Zusammenhang ist in Tab. 1 wiedergegeben. Neben den mathematisch gefundenen Werten in Einheiten von AE (1 Astronomische Einheit als „Metermaß“ des Planetologen entspricht dem mittleren Abstand von Sonne und Erde von ca. 150 Millionen Kilometern) sind die gemessenen Werte angegeben. Ein Vergleich zeigt neben einer verblüffenden Übereinstimmung beider Zahlengruppen einen Hinweis auf



Abb. 1:
Erstes Bild eines
Asteroiden (Gaspard)
durch die Raumsonde
Galileo.

eine Lücke. Der „Verband der Planetenjäger“ sollte diese Lücke durch eine großangelegte Suche schließen.

Die Ereignisse kamen diesem ehrenwerten Verein jedoch zuvor: Im Jahre 1801 hatte der italienische Astronom G. PIAZZI im Raum zwischen Mars und Jupiter Ceres entdeckt, der mit seinem Durchmesser von knapp über 1000 km den größten Kleinplaneten darstellt. Diese Entdeckung galt als eine glänzende Bestätigung der Voraussage durch TITUS-BODE.

Es wurde jedoch schnell klar, daß dieser Körper aufgrund seiner Größe letztlich nicht der gesuchte Planet sein konnte. Dafür war er zu klein. Inzwischen sind eine ganze Reihe von Körpern in dieser Region bekanntgeworden und die Entdeckungen in diesem Bereich sind noch nicht abgeschlossen. Bis heute sind etwa 3500 Objekte numeriert; mehrere Tausend wurden nur für kurze Zeit gesehen, gingen dann aber wieder aus dem Gesichtsfeld verloren. Gelegentlich gelingt dank moderner Foto- und Computertechnik noch nach Jahrzehnten eine Wiederentdeckung. Man geht heute davon aus, daß es eine Million Asteroiden mit einem Durchmesser von über 1 Kilometer gibt. Einige Objek-

Tab. 1: Ordnung im Planetensystem

Planet	Abstand von der Sonne	
	in AE	nach TITUS-BODE (r)
Merkur	0,39	0,4
Venus	0,72	0,7
Erde	1,0	1,0
Mars	1,52	1,6
		2,8
Jupiter	5,20	5,2
Saturn	9,54	10,0

Abstand $r = 0,4 + 0,3 \times 2^n$ mit $n = -\infty, 0, 1, \dots$

te haben ähnliche Bahnen, sodaß man sie als Familie zusammengefaßt hat. Zur Flora-Familie beispielsweise gehören Objekte bis 15 km, die wahrscheinlich Fragmente eines Zusammenstoßes darstellen.

Alle bislang erwähnten Informationen stammen aus erdgebundenen Beobachtungen. Die Beobachtungsmöglichkeiten wurden erst vor zwei Jahren erheblich erweitert, als die Raumsonde Galileo am ersten Asteroiden vorbeiflog und ihn vermaß. Der Asteroidengürtel war zuvor durchaus im Bewußtsein der Raumfahrer verankert, aber eher als Gefahrenquelle für Raumfahrzeuge behandelt worden, die den äußeren Teil des Planetensystems erreichen sollten und deshalb durch diesen Trümmerring hindurch mußten.

Erstes Asteroiden-Portrait. Ende 1991 funkte die Raumsonde Galileo auf ihrem Weg zu Jupiter das erste Bild eines Asteroiden zur Erde, welches in Abb. 1 gezeigt wird. Es stammte von Gaspra, einem 20 x 10 x 11 km großen Objekt, auf dessen Oberfläche nur eine geringe Anzahl von Kratern zu sehen war, seltsame Rillen entdeckt wurden und auf dessen Oberfläche eine relativ dicke als Regolith bezeichnete Staubschicht ausgemacht wurde. Sie kann nur so entstanden sein, daß Auswurfmaterial beim Einschlagsprozeß aufgrund der Gravitationskraft des getroffenen Körpers zurückgefallen ist. Dies wirft Probleme auf, da die Fluchtgeschwindigkeit auf Gaspra wegen seiner geringen Masse lediglich 10 m/sec beträgt. Deshalb sollte man erwarten, daß alle Trümmer eines Einschlags davonfliegen. Aus beiden Erscheinungen – der geringen Bekraterung und der dicken Staubschicht – schließt man für Gaspra auf ein nicht allzugroßes Alter als „selbstständiges“ Objekt – allenfalls 300–500 Millionen Jahre. Da Gaspra für die Umgestaltung seiner Oberfläche durch Vulkanismus zu klein ist, kann das nur bedeuten – so das heutige Verständnis – daß Gaspra früher Teil eines größeren Asteroiden gewesen sein dürfte.

So interessant einzelne Oberflächenstrukturen auch waren; die größte Überraschung überhaupt war:

Gaspra ist magnetisch!

Eigentlich hatte sich das Magnetometer-Team der Raumsonde Galileo nichts vom Vorbeiflug versprochen. Aber der Experimentator meinte: „Wir hatten das ausgeprägte Gefühl, daß man wenigstens mal hinschauen sollte, wenn man zum ersten Mal einer neuen Art Himmelskörper begegnet.“ So wurde Gaspra zum bislang kleinsten Himmelskörper im Sonnensystem mit einem bekannten Magnetfeld. „Der Ursprung von Gasprass Magnetfeld ist ein Rätsel. Gaspra ist sicher zu klein, um selbst einen geschmolzenen Kern zu haben und über den Dynamo-Effekt ein Magnetfeld zu erzeugen. Aber es bedeutet, daß Gaspra einen hohen Eisenanteil hat.“ (Anonymus 1993) Es ist allerdings alles andere als klar, wie dieses Magnetfeld den erwähnten katastrophalen Einschlag bei seiner Abspaltung von einem Mutterkörper überlebte.

Toutatis in der Radarfalle. In der Reihenfolge der Entdeckungen ist hier eine von der Erde aus gemachte Untersuchung zu erwähnen. Bei seinem erdnahen Vorbeiflug in 3,6 Millionen Kilometern Entfernung im Dezember 1992 wurde Toutatis mit speziellen Radareinrichtungen verfolgt. Toutatis zeigte sich dabei als das bislang unregelmäßigste Objekt im Sonnensystem. Er besteht im wesentlichen aus zwei Körpern mit im Mittel 2,5 und 4 Kilometern Durchmesser, die jeweils mit einigen 100 Metern großen Kratern bedeckt sind. Die Oberfläche weist eine ausgedehnte Staubschicht auf. Es steht außer Frage, daß wir hier Fragmente einer Katastrophe sehen, die einen größeren Körper zerstörte. Anschließend soll es zu sanfteren Begegnungen gekommen sein, die zwei Komponenten „zusammengeklebt“ haben. Das kombinierte Objekt rotiert in 10 bis 11 Tagen um seine gemeinsame Achse.

Überraschung bei Ida. Krater, Magnetfeld und Asteroidenmond; das sind die Überraschungen, deren Bedeutung in der Reihenfolge bereits ausgedrückt ist. Die Zeitschrift „Astronomy“ vom April 1994 faßte die Ergebnisse mit den Worten zusammen: „Als Wissenschaftler den ersten Blick auf Ida warfen, kam das einem Schock gleich“ (BURNHAM 1994): Ida muß ihrem Verständnis nach wegen ihrer dichten Bekraterung steinalt sein. Etwa 2 Milliarden Jahre werden gehandelt. Eigentlich sollte sie nur so alt sein wie Gaspra, da Ida zur gleichen Familie der Koronis gehören sollte wie Gaspra. Man glaubte, daß diese Familie Bruchstücke eines großen Körpers enthalten, die im Zuge einer kosmischen Katastrophe vor etwa 200 Millionen Jahren auseinandergebrochen sein sollen. Gaspra paßte in dieser Hinsicht mit seiner nur leicht bekraterten Oberfläche ins Bild. Ida dagegen gar nicht. „Was ist die Lösung des Rätsels?“ fragt Robert BURNHAM in dem oben erwähnten Artikel aus „Astronomy“. Niemand weiß es. Der einzige Ausweg ist die



Annahme, daß Ida ein Eindringling ist und eigentlich gar nicht zur Familie gehört. Warum hat sie dann so ähnliche Bahnelemente?

Eine weitere Möglichkeit, die „Astronomy“ erwähnt, ist, daß die Wissenschaftler die Koronis-Familie nicht wirklich verstehen, was heißt, daß es eben keine Antwort gibt.

Idas Oberfläche sieht der des Erdmondes sehr ähnlich. Man sieht überall Krater von jeder Größe bis zur Auflösungsgrenze. Auf der anderen Seite des Spektrums der Größenverteilung von Kratern findet man Einschläge riesigen Ausmaßes. Teilweise sind die Krater hell, wie man das vom Mond her auch kennt. Teilweise sind sie jedoch dunkel. Dies könnte ein Hinweis auf gewisse Schichtungen im Innern des Asteroiden sein, die in einigen Fällen durchstoßen wurde.

Galileo untersuchte nicht nur die Geologie von Ida. Man entdeckte erneut wie bei Gaspra eine Störung des interplanetaren Magnetfeldes, was als Hinweis auf ein eigenes Magnetfeld gilt.

Bei einer der letzten Auswertungen von Daten, die wegen der lädierten Datenübertragungsantenne für hohe Datenraten (Richtantenne) nur in kleinen Datenraten (Rundstrahlantenne) übermittelt werden können, fand man ganz am Rande des Bildausschnittes einen hellen Punkt, der als Mond von Ida betrachtet wird. Abb. 2 zeigt diese Szene. Eigentlich sollte Ida zu klein



Abb. 2b: 1993 (243) I, Idas Mond mit einem Durchmesser von ca. 1,5 km. Der Bahnradius liegt größenordnungsmäßig bei 100 km.

Abb. 2a:
Der Kleinplanet (243) Ida mit
seinem Mond (Aufnahme der
Galileo-Sonde vom 28.
August 1993, die am 23. März
1994 zur Erde überspielt
wurde).

sein, um einen Mond zu halten. Deshalb meint auch G. RADONS (1994): Eine Konfiguration aus Asteroid und Mond ist wahrscheinlich relativ kurzlebig. Bereits nach einigen Millionen Jahren sollte sie sich aufgrund von Störungen durch Jupiter und andere Asteroiden wieder aufgelöst haben.

Erneut soll „Astronomy“ (BURNHAM 1994) zu Wort kommen: „Lots of questions, few answers.“ Im Laufe des Jahres werden die Wissenschaftler noch die Gelegenheit haben, die ganze Datenfülle vom Band-speicher der Raumsonde abzuhören. Die Hoffnung ist, daß dann zumindest einige Antworten gegeben werden können.

Norbert Pailer, Meersburg

Beiträge zu Gaspra und Toutatis sind teilweise einer 2. erweiterten Auflage von „Neues aus der Planetenforschung – Unerwartete Ergebnisse durch Weltraumsonden“ vom gleichen Autor entnommen.

Literatur

- ANONYMUS (1993) Asteroid Gaspra surprises astronomers. Astronomy, April 1993 (Kurzbericht).
BURNHAM R (1994) Here's looking at Ida. Astronomy, April 1994.
RADONS G (1994) (243) Ida: Ein Asteroid mit Mond. Sterne und Weltraum 5/1994.