

Jb. Geol. B.-A.	ISSN 0016-7800	Band 132	Heft 2	S. 507-529	Wien, August 1989
-----------------	----------------	----------	--------	------------	-------------------

Die Katastrophe, die aus dem Weltall kam – 10 Jahre „ALVAREZ-Impakt-Hypothese“

Von HANS PETER SCHÖNLAUB*)

Mit 11 Abbildungen und 3 Tabellen

Meinem Lehrer,
Univ.-Prof. Dr. H. W. FLÜGEL, Graz,
zum 65. Geburtstag
gewidmet.

*Kosmologie
Asteroide
Katastrophenhypothesen
Neodarwinismus
Vulkanismus
Iridium
Schockmetamorphose*

Inhalt

Zusammenfassung	507
Abstract	507
1. Einleitung	507
2. Apologeten des Vulkanismus	509
3. Neokatastrophismus versus Neodarwinismus	510
4. Besucher aus dem Kosmos	511
5. Die Iridiumfrage und andere geochemische Signaturen	511
6. Mikrosphären, Schockminerale und „shatter cones“	513
7. Ein Massensterben?	515
8. Das apokalyptische Szenario	516
9. Trauma der Menschheit	518
10. Die Frage der Periodizität	518
11. Der Beitrag aus Österreich	519
12. Schlußfolgerungen	522
Literatur	522

Zusammenfassung

Vor 10 Jahren wurde die Hypothese aufgestellt, die Erde sei vor rund 66 Millionen Jahren von einem Riesenobjekt aus dem Weltall getroffen worden, das fast alles Leben vernichtet hätte. Mittlerweile haben sich dafür viele Beweise gefunden, die alle alternativen Erklärungsversuche höchst unwahrscheinlich erscheinen lassen. Das Geschehen an der Kreide/Tertiär-Grenze ist aber bislang in der Geschichte der Erde etwas „Einmaliges“. Für Katastrophen ähnlichen Umfangs zu anderen Zeiten fehlen bisher geeignete Indizien, die ebenfalls die Annahme extraterrestrischer Auslöser rechtfertigen.

Abstract

Since the discovery of an iridium anomaly at the Cretaceous/Tertiary boundary by the ALVAREZ-Group some 10 years ago and their speculation that

- 1) the excess Ir was derived from an impact of a 10 km diameter asteroid and
- 2) the mass extinction 66 Million years ago can be attributed to the event

*) Anschrift des Verfassers: Univ.-Doz. Dr. HANS PETER SCHÖNLAUB, Geologische Bundesanstalt, Rasumofskygasse 23, A-1031 Wien.

the relevant evidences in favour of this theory increased considerably and became firmly established from many places around the world. No other triggering mechanism can equally well explain all field and analytical data. Based on all recently available data, however, it can be concluded that the C/T boundary event and possibly the late Eocene event are yet the only impact generated biological crises in Earth's history.

1. Einleitung

Als Ende Mai 1979 anlässlich der Frühjahrstagung der geophysikalischen Gesellschaft der USA in Washington eine Gruppe kalifornischer Wissenschaftler unter Prof. WALTER ALVAREZ die erste Meldung über ungewöhnlich hohe Gehalte von seltenen Edelmetallen, vor allem von Platin, Iridium und Osmium verbreitete, die sie in der Bottaccione-Schlucht bei Gubbio in Umbrien in einer 1 cm dicken und rund 66,5 Millionen Jahre alten Ton-schichte feststellten, erregte das kaum Aufsehen. Auch die Vermutung, dafür eine Supernova in der Nähe der Erde verantwortlich zu machen, wurde als übliche Spekulation unter Wissenschaftlern hingenommen (W. AL-

VAREZ et al., 1979a). Die Erde selbst kam jedenfalls aufgrund der chemischen Zusammensetzung ihrer Kruste als Quelle der rund 20-fach über den Gesteinen der Umgebung erhöhten Elementanreicherungen in diesen, an der Wende vom Erdmittelalter zur Erdneuzeit entstandenen Meeresablagerungen nicht in Frage.

Kurz darauf aber herrschte in Fachkreisen große Aufregung: Die gleichen Forscher fanden nach isotochemischen Analysen nämlich heraus, daß die Idee vom explodierenden Superstern falsch war (W. ALVAREZ et al., 1979b, L. W. ALVAREZ et al., 1980). Richtig sei vielmehr, daß die Erde damals direkt von einer Riesen-

bombe aus dem Weltall getroffen worden war. Bei ihrem Aufprall richtete sie ein unvorstellbares Horrorszenario an: Der rund 10 km große Asteroid explodierte, wurde pulverisiert und verdampfte größtenteils, ein Rest wurde zusammen mit riesigen Auswurfsmengen aus dem bis zu 40 km tiefen und 150–200 km Durchmesser großen Einschlagskrater in die Atmosphäre geschleudert. Die Folgen waren so dramatisch, daß darunter alles Leben auf der Erde litt: Denn die entstandene Giftwolke aus Wasserdampf, Staub, Asche, Ruß und giftigen Gasen ließ kaum mehr Sonnenlicht auf die Erdoberfläche dringen, zerstörte die Ozonschicht und

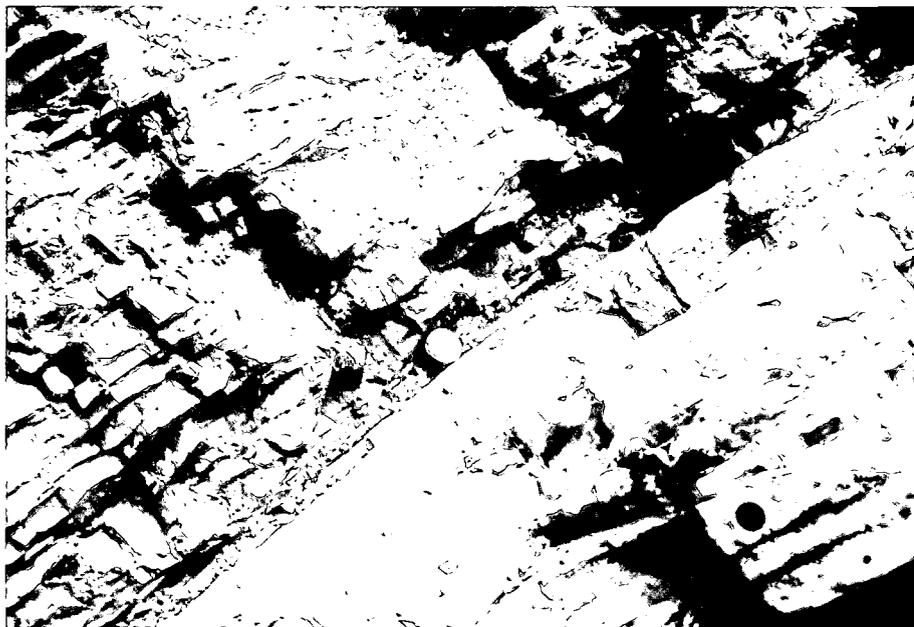


Abb. 1.

a) Die Grenze Kreide/Tertiär in der Bottaccione-Schlucht bei Gubbio, Ausgangspunkt der ALVAREZ-Hypothese.

b) Detail der Grenze (aus J. WEINER, 1986).



a)

b)

stoppte die Photosynthese und damit den Nahrungskreislauf. Saurer Regen und Feuersbrünste verwüsteten das Antlitz der Erde – es gefror wie in einem „nuklearen Winter“, um anschließend eine unerträgliche Hitze wie in einem überheizten Glashauss einzufangen. Das konnte die Tier- und Pflanzenwelt nicht ertragen: Über 60 % aller Arten sollen kurzfristig zugrunde gegangen sein, darunter auch alle Dinosaurier und die letzten Ammoniten.

Seit den ersten, mit Indizien untermauerten Berichten über eine verheerende, durch den Einschlag eines Asteroiden ausgelöste globale Katastrophe sind 10 Jahre vergangen. Spekulationen über extraterrestrische Einwirkungen auf die Biosphäre in Form von Strahlung, als Supernova oder Impakt gab es zwar schon vorher, doch wurden sie mangels ausreichender Beweise alle nicht ernst genommen (vgl. z. B. H. T. MARSHALL, 1928; E. HENNIG, 1932; O. H. SCHINDEWOLF, 1954, 1958; D. J. MCLAREN, 1970; D. A. RUSSEL, 1975, 1979, W. ALVAREZ et al., 1984 cum lit.). Nun aber setzte eine nie dagewesene internationale und interdisziplinäre Forschungsarbeit zu diesem Thema ein, sei es, um weitere Belege zur Stützung der „Impakt-Hypothese“ zu suchen, oder um sie zu widerlegen. Daran beteiligten sich auch zahlreiche österreichische Wissenschaftler. Es brach eine wahre Publikationsflut herein, die jährlich zu einem Zuwachs von rund 200 einschlägigen Arbeiten zum Thema führte. Da läuft der Einzelne Gefahr, die Ergebnisse des Kollegen nicht zu kennen oder nicht zu verstehen, sie falsch zu interpretieren oder einfach nicht mehr am laufenden zu sein. Teamarbeit war und ist gefragt und notwendig, und so verbanden sich Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen, wie z. B. Kosmologen, Astrophysiker, Chemiker, Geologen, Paläontologen, Mineralogen, Vulkanologen, Ozeanographen und Meteorologen, um nur einige zu nennen, zu einer fruchtbaren Zusammenarbeit. Dank Hunderter von Fachleuten auf der ganzen Welt konnten unzählige neue Daten gewonnen werden, die helfen, vor allem ein Geheimnis und Rätsel aus der Vergangenheit der Erde zu lösen, das auf Geowissenschaftler (und nicht nur auf diese!) seit jeher eine eigenartige Faszination ausübte – das Wesen und die Ursache von Massensterben in der Geschichte des Lebens.

In den vergangenen 600 Millionen Jahren hat das Leben auf der Erde mindestens fünf große Krisen durchgemacht (vgl. N. D. NEWELL, 1962, 1967, 1982; W. A. BERGGREN & J. A. VAN COUVERING (Hrsg.), 1984; A. G. FI-

SCHER & M. A. ARTHUR, 1977; D. J. MCLAREN, 1983, 1988; M. H. NITECKI (Hrsg.), 1984; J. F. QUINN, 1983; D. M. RAUP & J. J. SEPKOSKI, 1982, 1984, 1986; J. J. SEPKOSKI, 1982, 1989; S. M. STANLEY, 1984, 1986, 1988). Am besten und intensivsten untersucht ist das Geschehen vor rund 66 Millionen Jahren, als zwischen 63 und 77 % aller im Meer und auf dem Festland lebenden Arten vernichtet wurden. Eine Abstimmung unter führenden U. S.-Paläontologen ergab dazu vor wenigen Jahren, daß die große Mehrheit an den Einschlag eines Asteroiden oder Kometen zu dieser Zeit glaubt; umstritten ist allerdings, welches Ausmaß das durch ihn verursachte Aussterben von Organismen erreichte. Was ist im Lichte der heute verfügbaren Erkenntnisse wahr an der Katastrophentheorie?

2. Apologeten des Vulkanismus

Viele Geologen kommen mit der Vorstellung nicht zu recht, daß plötzlich und unerwartet große Steine vom Himmel fallen können (E. M. SHOEMAKER, 1984a). Sie verstehen nicht (oder noch nicht), daß der Normalzustand in einem Gebiet für kurze Zeit völlig außer Kontrolle geraten kann. Wenn dafür aber alle Indizien sprechen, so suchen sie zu ihrer Erklärung irdische Ursachen. Da ist es am naheliegendsten, die ruhelose, dynamische, oft feuerspeiende Erde herzunehmen. In diesem Sinn wurden Massensterben u.a. von D. M. MCLEAN (1982, 1983, 1985), C. B. OFFICER & C. L. DRAKE (1983, 1985, 1988), C. B. OFFICER et al. (1987), A. R. PRICE (1985, 1988), W. J. MORGAN (1986, 1988), A. HALLAM (1987, 1988) u. a. erklärt.

Es ist bekannt, daß die größten Vulkanausbrüche auf der Erde in der geologischen Vergangenheit riesige Magmenmengen an die Erdoberfläche förderten. So setzten vor rund 66 Millionen Jahren die Dekan-Basalte in Indien in einem Zeitraum von nur 600.000 Jahren auf einer etwa sechs Mal so großen Fläche wie Österreich mindestens 1 Million km³ Magma frei (V. COURTILLOT et al., 1986, 1988; M. R. RAMPINO & R. B. STOTHERS, 1988; A. V. MURALI et al., 1988); die rund 250 Millionen Jahre alten Plateaubasalte Sibiriens oder die etwa 200 Millionen Jahre alten Vulkangesteine Südafrikas bedecken je eine Fläche von mehr als 1,5 Millionen km² (vgl. W. T. HOLSER & M. MAGARITZ, 1987; M. R. RAMPINO & R. B. STOTHERS, 1988 cum lit.); jene aus dem Tertiär im

Abb. 2.

Das K/T-Profil Stevns Klint südlich von Kopenhagen/Dänemark.



Nordatlantik zwischen Irland und Grönland werden auf ein Gesamtvolumen zwischen 1 und 2 Millionen km³ geschätzt (M. R. RAMPINO & R. B. STOTHERS cum lit. 1988). Dagegen sind die historischen Ausbrüche des Mount St. Helens mit 2,5 km³ oder die 150 km³ des Tambora in Indonesien waren Zwerge. Zum Vergleich dazu sei erwähnt, daß der rund 270 Millionen Jahre alte Bozener Quarzporphyr, das wohl größte vulkanische Ereignis in den Alpen, heute bei einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 1500 m eine Fläche von etwa 2000 km² einnimmt.

Bei solchen Riesenvulkanen wird aber meist die Tatsache übersehen, daß die Eruptionen relativ ruhig verliefen. Zum Unterschied vom kurzzeitigen explosiven Vulkanismus ist festzuhalten, daß er zwar länger anhält, jedoch die in die Atmosphäre geschleuderten Auswurfsprodukte mit Ausnahme von Gasemissionen vergleichsweise gering sind (W. ALVAREZ, 1986; R. B. STOTHERS et al., 1986; C. B. OFFICER et al., 1987; A. HALLAM, 1988). Die Zeugnisse der Katastrophe an der Kreide/Tertiär-Grenze finden sich aber weltweit verbreitet. Dies erfordert einen besonderen Mechanismus der Verteilung.

Katastrophen können durch explosive Eruptionen dann ausgelöst werden, wenn bis zu einem Drittel des ausgeworfenen Volumens weltweit in der Stratosphäre als feine Asche, Staub und in Form von Schwefel-Aerosolen verteilt werden (P. L. LIPMAN, 1988). Sie haben für kurze Zeit, vielleicht Wochen, Monate und selten Jahre sehr wohl Auswirkungen auf das Klima, wie das Beispiel des Vulkanausbruches Tambora in Indonesien im Jahr 1815 zeigte: Noch im darauffolgenden Sommer sanken die Temperaturen infolge hoher Staubwolken und dadurch verminderter Sonneneinstrahlung in Europa um 2 Grad, in Nordamerika um bis zu 5 Grad. Zwei Jahre später war aber alles wieder normal.

Allerdings sind derartige Eruptionen nicht überall auf der Erde zu befürchten. Nach T. SIMKIN (1988) kommen rund 94 % aller historischen Vulkanausbrüche in Gebieten vor, die weniger als 0,6 % der Erdoberfläche einnehmen. Gemäß dem neuen, heute allgemein anerkannten Weltbild der Plattentektonik sind sie in der Hauptsache in relativ schmalen Zonen entlang von konvergierenden Plattenrändern der Erdkruste konzentriert. Der Zirkumpazifik bietet dafür das beste Beispiel.

3. Neokatastrophismus versus Neodarwinismus

Viele Paläontologen hegen gegen zu starke und plötzliche Veränderungen in der Biosphäre eine besondere Abneigung. Sie sehen sich selbst gerne als Grahnhüter der Zeugnisse vergangenen Lebens auf der Erde, das nur sie zu entschlüsseln vermögen. Zugegebenermaßen zu Recht, denn niemand sonst verfügt über eine so umfangreiche Datenbank, die heute bis jenseits von 3 Milliarden Jahren reicht. Solche Katastrophen, wie oben für die Wende Kreide/Tertiär geschildert, konnte anfangs kaum einer der Paläontologen erkennen und ihnen daher im Sinn eines „Neokatastrophismus-Paradigmas“ auch nicht zustimmen (vgl. H. JAEGER, 1985 u. a.). W. BUCKLAND's und G. CUVIER's Gedankengut von 1823 bzw. 1825 schien mithin längst überwunden. Zu keiner Zeit stoppte die Evolution wirklich. Vielmehr verschwanden fortwährend Organismen, starben aus

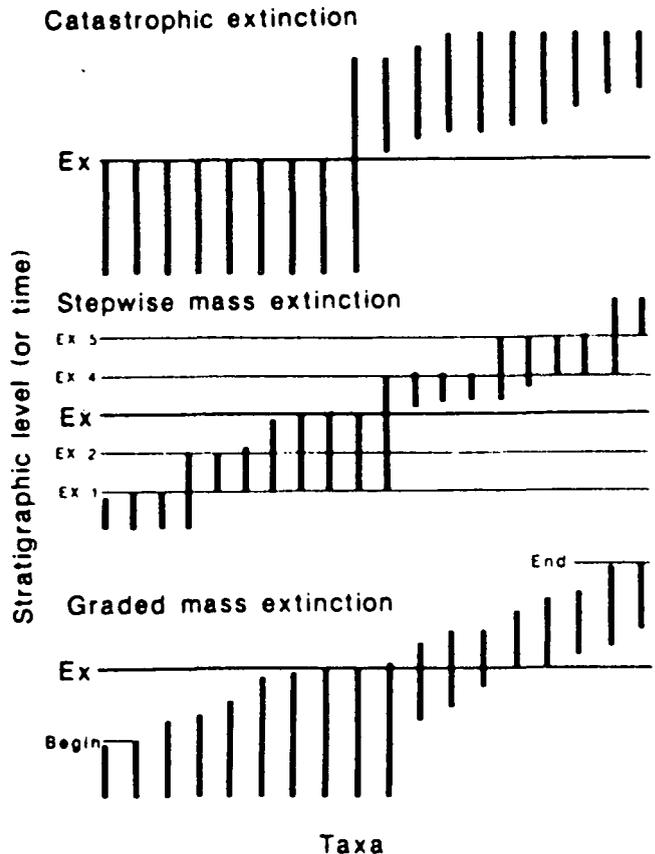


Abb. 3. Krisen in der Biosphäre, mit schematischen Beispielen für eine Katastrophe, für ein stufenweises Verlöschen und ein graduelles Verschwinden von Taxa. nach P. HUT et al. (1985, Fig. 3.).

oder durchlebten Krisen in einem \pm zufälligen, komplexen Zusammenwirken verschiedener konstruktiver und destruktiver, vom Milieu bestimmter Faktoren (K. W. FLESSA et al., 1986; M. L. MCKINNEY, 1987; E. G. KAUFMANN & O. H. WALLISER, 1988; A. HOFFMANN, 1984, 1989 cum lit.). Normale und erhöhte Aussterberaten sind daher – entgegen D. JABLONSKI (1986) – mit neodarwinistischen Ideen und Grundsätzen vereinbar. Quantitative Kriterien zur Unterscheidung beider Kategorien, auch als „Hintergrund-“ bzw. „Massensterben“ bezeichnet, fehlen aber bisher (vgl. C. TEICHERT, 1987; D. J. MCLAREN, 1988; A. HOFFMANN, 1989; J. J. SEPKOSKI, 1989). Das hat seine Gründe in der lückenhaften paläontologischen Überlieferung und einer vielerorts noch immer höchst unbefriedigenden Kenntnis stratigraphischer Reichweiten der von einem „Ereignis“ betroffenen Taxa.

Die fossile Überlieferung umfaßt rund 150.000 Arten aus verschiedenen Zeitepochen der Erde. Das ist nur rund 10 % der heute beschriebenen, etwa 1,5 Millionen Arten von Organismen im Wasser und am Land. Die Gesamtzahl der heute lebenden Arten wird inzwischen auf 3 bis 5 Millionen geschätzt, doch ist diese Zahl unsicher (vgl. R. M. MAY, 1988). Man kann aber vermuten, daß früher auf der Erde ein ähnlich reiches Leben existiert hat, dessen Spuren nicht erhaltungsfähig waren. Ist es schlagartig bei Katastrophen zugrunde gegangen, oder unterlagen die verschiedenen Vertreter untereinander im normalen „täglichen“ Lebenskampf und Wettbewerb?

4. Besucher aus dem Kosmos

Die Erde hat in ihrer 4,6 Milliarden Jahre langen Geschichte wiederholt „Besuch“ aus dem Weltraum empfangen. Ob er stets willkommen war, darf bezweifelt werden. Waren es in der ersten Milliarde Jahre zahllose Überreste von der Geburt des Sonnensystems, die in einem pausenlosen Trümmerregen auf die jugendliche Erde und die anderen Planeten mitsamt ihren Monden niedergingen, wurden diese durch die sich allmählich entgiftende und dichtere Atmosphäre gebremst und gingen in ihrer Häufigkeit stark zurück. Aus dieser Zeit sind – zum Unterschied vom kraterübersäten Mond mit Kraterdurchmessern bis 1000 km – keine Krater vorhanden, da die älteste Kruste durch spätere gebirgsbildende Prozesse wiederholt aufgeschmolzen und durch jüngere Umwandlungsprodukte ersetzt wurde. Mit Sicherheit kennt man Krater aber aus der letzten Milliarde Jahre und da wiederum recht genau aus den vergangenen 250 Millionen Jahren.

Nach dem letzten Stand (R. A. F. GRIEVE, 1982; R. A. F. GRIEVE & P. B. ROBERTSON, 1987) wurden auf dem Festland ungefähr 120 Krater gezählt, die von extraterrestrischen Objekten (Meteorite, Asteroide, Kometen) stammen. Jedes Jahr werden einige neue entdeckt. Ihre Durchmesser schwanken zwischen einigen Zehnermetern und mehr als 100 km. Im Idealfall sind frische Krater erhalten, meist finden sich aber durch Erosion verwischte ringförmige Strukturen. Nicht selten kommen in ihrer Umgebung Meteoritenreste, diagnostische Schockmerkmale vom Aufprall oder ungewöhnliche Elementkonzentrationen vor. Aus astronomischer Sicht ist derzeit umstritten bzw. ungeklärt, ob die Krater in regelmäßigen Abständen von ungefähr 30 Millionen Jahren entstanden sind und damit die Aussterbewellen zusammenhängen (M. R. RAMPINO & R. B. STOTHERS, 1984, 1986, 1988; W. ALVAREZ & R. A. MULLER, 1984; E. M. SHOEMAKER & R. F. WOLFE, 1986; M. E. BAILEY et al., 1987; J. S. TREFIL & D. M. RAUP, 1987; P. R. WEISSMAN, 1988; R. B. STOTHERS, 1988; R. A. MULLER, 1988; J. J. SEPKOSKI, 1989).

In klaren Nächten kann man das Verglühen von Meteoriten beim Eintritt in die Atmosphäre beobachten. Das ist ein Teil des täglichen Zuflusses von chondritischem Material auf die Erde, das aus Größenpartikeln zwischen einem zehnbillionstel Gramm (10^{-13} g) und 1 Trillion Tonnen Masse (10^{18} g) besteht (F. T. KYTE & J. T. WASSON, 1986). Das umfaßt kosmischen Staub, kleine und große Meteorite und kraterproduzierende Objekte. Mindestens 20 % stammen von Kometen ab (F. T. KYTE & J. T. WASSON, 1986; P. R. WEISSMAN, 1988). Nach neuen Quellen dringen im Durchschnitt täglich zwischen 100 und 213 Tonnen kosmischen Materials in die Erdatmosphäre ein (R. A. F. GRIEVE, 1982; F. T. KYTE & J. T. WASSON, 1986). Die Menge kosmischen Staubes wurde von D. W. HUGHES (1978) auf jährlich 16.000 Tonnen geschätzt. Schon kleine Partikel stellen eine Gefahr für die Raumfahrt dar.

Erde und einzelne Asteroide sind stets auf Kollisionskurs! Bis Mai 1988 wurden 80 erdbahnkreuzende Objekte entdeckt, weitere kommen laufend dazu (G. W. WETHERILL & E. M. SHOEMAKER, 1982; E. M. SHOEMAKER (1984b); E. M. SHOEMAKER et al., 1988). Schätzungen, die auch kleinere Objekte berücksichtigen, lassen an insgesamt 1100 erdenkreuzende Apollo-Amor-Objekte denken. Das ist ebenfalls ein überzeugendes Argument für einen Impakt, dessen Wahrscheinlichkeit nach Be-

rechnungen des Bahnverlaufs (Orbit) zwischen beiden „Kontrahenten“ deutlich wird: Sie ist 5 : 1 Million/Jahr (E. M. SHOEMAKER et al., 1988). Geringer ist die Wahrscheinlichkeit, mit einem Kometen zusammenzustoßen, obwohl die Zahl der erdbahnkreuzenden Kometen vier Mal größer ist als die von Asteroiden (E. M. SHOEMAKER et al., 1988). In nahe Erdbahnen geraten aber nur Kometen mit langen Umlaufperioden (P. R. WEISSMANN, 1982, 1988).

Nach der Größe/Häufigkeits-Verteilung von Asteroiden und Kometen schlossen G. W. WETHERILL & E. M. SHOEMAKER (1982), E. M. SHOEMAKER (1984b) und E. M. SHOEMAKER et al. (1988), daß in den vergangenen 100 Millionen Jahren ein bis zwei Objekte mit mehr als 10 km Größe mit der Erde kollidierten. Sie erzeugten über 100 km große Krater. Kleinere Objekte trafen die Erde in kürzeren Abständen. So kann für die letzten 100 Millionen Jahre mit rund 800 Objekten mit Durchmessern von 0,5 km gerechnet werden, die Krater mit Größen um 10 km geschaffen haben. Ihre Spuren sind naturgemäß im Meer kaum erhaltungsfähig. Vielleicht traf eines dieser vielen kleinen Objekte sogar bei Köfels im Ötztal auf, wie neue Untersuchungen von A. GRATZ & G. KURAT (1988) und R. SURENIAN (1988) vermuten lassen. Für Astronomen kommen solche Ereignisse keineswegs überraschend oder unerwartet!

5. Die Iridiumfrage und andere geochemische Signaturen

Der Fund von verhältnismäßig großen Mengen des „kosmischen“ Edelmetalls Iridium war der Auslöser für die Impakt-Hypothese der ALVAREZ-Gruppe. Es ist mittlerweile an rund 80 Stellen auf der Erde festgestellt worden, so unter anderen auch an den österreichischen Lokalitäten „Elendgraben“ und „Rotwandgraben“ bei Gosau und „Knappengraben“ bei Gams/Hieflau (A. PREISINGER & H. STRADNER, 1986; A. PREISINGER et al., 1986; R. LAHODYNSKY, 1988). Die erhöhten Konzentrationen treten in Schichten auf, die exakt an der Kreide/Tertiär-Grenze vor rund 66,5 Millionen Jahren gebildet wurden.

Von entscheidender Bedeutung in der Debatte über die Entstehung dieser Anreicherung war der Nachweis, daß erhöhte Iridiumgehalte sowohl in Meeres- als auch

Tabelle 1.
Spurenelementgehalte in Kreide/Tertiär-Grenzschichten und Vergleichswerte.
Nach I. GILMOUR & E. ANDERS (1989, Tab. 1).

	Ni [ppm]	Cr [ppm]	Co [ppm]	Fe [%]	Zn [ppm]	As [ppm]	Sb [ppm]	Ir [ppm]
Gubbio	177	149	48,3	6,5	166,5	18,5	2,5	9,1
Biarritz	172	136	58,7	3,4	—	7,2	1	12
Stevns Klint	1370	225	146	6,4	810	82,6	9,4	47,3
Caravaca	946	474	230	4,9	374	256	6	36
Zumaya	66	76	35,4	2	—	17,9	0,9	4
Raton Basin	—	67	9,8	—	—	36	6,3	1,7
York Canyon	—	85	54	2,8	390	—	5	5,6
Sugarite	50	100	7	8	—	—	—	3,2
Woodside Creek	207	213	118	4,6	382	186	7,3	54
Flaxbourne River	298	130	197	1,7	541	22,1	4,1	21
DSDP 465A	461	146	77	3	318	33,8	7,3	15,6
Kruste	75	100	25	5,0	70	1,8	0,2	0,2
Mantel	1610	1969	91	6,2	63	0,1	0,03	3,4
Kilauea V3	2	2	—	$7 \cdot 10^{-3}$	4,5	8	0,03	6,4
C1 Chondriten	11000	2650	509	18,5	308	1,9	0,16	473

in genau gleich alten Festlandsablagerungen aus dieser Zeit vorkommen (C. J. ORTH et al., 1981, 1987; R. H. TSCHUDY et al., 1984; J. SMIT & S. VAN DEN KAARS, 1984; B. F. BOHOR et al., 1984, 1987; D. J. NICHOLS et al., 1986 cum lit.). Damit war klar, daß dieses Edelmetall keine Ausfällung aus dem Meerwasser sein konnte, wie anfangs eingewendet worden war (M. R. RAMPINO, 1982; B. SCHMITZ, 1985).

Der Iridiumgehalt kontinentaler Ablagerungen beträgt nach F. D. FENNER & B. J. PRESLEY (1984) und F. T. KYTE & J. T. WASSON (1986) rund 0,05 ng/g Probe (= 0,05 ppb), die Durchschnittsgehalte in der Kruste sind nach J. L. BARKER & E. ANDERS (1968) und J. H. CROCKET & H. Y. KUO (1979) weniger als 0,1 ppb (= $2 \cdot 10^{-10}$ g/g). In Chondriten ist der Gehalt rund 10.000 mal höher als auf der Erde; die Angaben schwanken zwischen 473 und 592 ng/g, vgl. J. T. WASSON et al. (1975), E. ANDERS & M. EBIHARA (1982), F. T. KYTE & J. T. WASSON (1986). Im berühmten Vorkommen von Gubbio in Umbrien wurde im Grenzton eine Anreicherung von rund 9 ng/g gemessen (L. W. ALVAREZ et al., 1980), noch höhere Gehalte weist die gleiche Grenzschicht in Dänemark auf (nach L. W. ALVAREZ et al., 1980: 42 ng/g, nach H. J. HANSEN et al., 1986: maximal 185 ng/g). Die Gesamtmenge des zu dieser Zeit auf der Erde abgelagerten Iridiums wurde von C. EMILIANI et al. (1981) nach den Kalkulationen von L. W. ALVAREZ et al., (1980), basierend auf den Verhältnissen in Gubbio, auf 40.000 Tonnen hochgerechnet. C. J. ORTH et al. (1989) nehmen in der Zwischenzeit einen rund 10 Mal höheren Wert an.

In den meisten Vorkommen tritt Iridium stets in einem bestimmten Verhältnis zu anderen Spurenele-

Tabelle 2.

Die Gehalte ausgesuchter Haupt- und Spurenelemente in der Kruste, dem Allende-Chondriten und ihr Verhältnis zueinander.

Beachte den Überschuß von Cr, Co, Ni, Se, Ru, Os, Ir und Au in Meteoriten gegenüber tellurischen Gesteinen.

Aus T. J. WDOVIK et al. (1988).

[ppm]	Crust Terrestrial [ppm]	Allende [ppm]	Allende/Terrestrial
Na	22.700	3.290	0,145
Mg	22.640	148.000	5,35
Al	83.600	17.600	0,21
K	18.400	294	0,016
Ca	46.600	18.800	0,40
Sc	25	11,3	0,45
V	136	99	0,73
Cr	122	3.630	29,75
Mn	1.060	1.450	1,37
Fe	62.200	237.000	3,81
Co	29	662	22,83
Ni	99	13.300	134
Zn	76	119	1,565
Ga	19	6,0	0,316
Ge	1,5	16,2	10,8
As	1,8	1,55	0,86
Sc	0,05	8,2	164
Br	2,5	1,6	0,64
Ru	—	1,150	—
Cd	0,16	0,463	2,725
In	0,24	0,035	0,146
Sb	0,2	0,083	0,415
La	34,6	0,49	0,0142
Sm	7,0	,298	0,0426
Eu	2,1	0,113	0,0538
Yb	3,1	0,320	0,103
Lu	—	0,46	—
Os	0,005	0,828	165,6
Ir	0,001	0,785	785
Au	0,002	0,145	72,5

menten, wie Platin, Osmium, Kobalt, Nickel, Chrom und Gold auf, die ebenfalls in der Grenzschicht gegenüber der Umgebung angereichert sind. Sie entsprechen – mit wenigen Ausnahmen – den aus C1-Chondriten bekannten Verhältnissen, die von irdischen erheblich abweichen (R. GANAPATHY, 1980; F. T. KYTE et al., 1980, 1985; F. ASARO et al., 1982; C. J. ORTH et al., 1989). Die von J. H. CROCKET et al. (1988) aus Gubbio gemeldeten neuen Werte weichen davon nur scheinbar ab (siehe Kritik bei C. J. ORTH et al., 1989).

Neben den meteoritischen Edelmetallen wurden an vielen Stellen auch erhöhte, nicht-meteoritische Spurenelemente wie Arsen, Antimon und Zinn festgestellt (F. T. KYTE et al., 1980, 1985; J. SMIT & J. HERTOGEN, 1980; J. SMIT & W. G. H. Z. TEN KATE, 1982; C. P. STRONG et al., 1987; W. S. WOLBACH et al., 1988; I. GILMOUR & E. ANDERS, 1989 cum lit.). Ihr Verhältnis zu Iridium ist ebenfalls auffallend konstant, was nur mit einem bestimmten, für alle Vorkommen gleichermaßen gültigen Mechanismus ihrer Mischung und Verteilung erklärbar ist (C. P. STRONG et al., 1987). B. SCHMITZ (1985) nahm als Quelle einmal metallreiche Porenlösungen im Sediment an, ein anderes Mal Aktivitäten von Mikroben (B. SCHMITZ, 1988). Vulkanische Exhalationen kommen dafür jedenfalls entgegen den Meinungen von C. B. OFFICER & C. L. DRAKE (1985), I. OLMEZ et al. (1986) und A. HALLAM (1987) kaum in Frage, da die Gehalte an Spurenelementen mit Ausnahme von Arsen um 1–3 Größenordnungen zu gering sind (vgl. I. GILMOUR & E. ANDERS, 1989; C. J. ORTH et al., 1989). Dieser Einwand gilt besonders für den häufig vorgebrachten Nachweis von Iridium in den Vulkanen von Mauna Loa und Kilauea auf Hawaii, dem derzeit einzigen Vulkangebiet auf der Erde mit meßbaren Iridiumwerten in der Gasphase (W. H. ZOLLER et al., 1983; OLMEZ et al., 1986; D. L. FINNEGAN et al., 1988). Das an Fluor gebundene Iridium kondensiert allerdings in unmittelbarer Nähe seines Austritts (F. T. KYTE & J. T. WASSON, 1986; D. L. FINNEGAN et al., 1988). Der Grund ist die geringe Flüchtigkeit von Iridiumfluorid unter allen Bedingungen (S. A. WOODS, 1987). Eine gegenteilige Beobachtung, bezogen auf die Antarktis, machte allerdings C. KOEBERL (1988, 1989).

Als Voraussetzung für eine weite Verbreitung müßte Iridium zumindest bis in die Stratosphäre gelangen, was jedoch bei den friedlichen Schildvulkanen auf Hawaii nicht der Fall ist. Eine Übertragung der Verhältnisse von Hawaii auf andere Vulkangebiete, wie z. B. die Dekan-Basalte von Indien führt nach den Berechnungen von C. P. STRONG et al. (1987), I. GILMOUR & E. ANDERS (1989) und C. J. ORTH et al. (1989) zu Fehlschlüssen.

Nach I. GILMOUR & E. ANDERS (1989) stammen die nicht-meteoritischen Spurenelemente in der Grenzschicht aber auch nicht aus den an der Erdoberfläche verbreiteten Gesteinen („target-rock“), da hierfür die Konzentrationen zu gering sind. Es bleibt daher nur der Ozean selbst als Lieferant übrig. Obwohl dafür anscheinend zu wenig Zinn zur Verfügung steht, ist dieses Medium dennoch die wahrscheinlichste Quelle. Als Ergänzung zum bestehenden Defizit nehmen I. GILMOUR & E. ANDERS besonders Schwermetall-reiche Ablagerungen am Meeresboden an, die durch den Impact des Asteroiden zusammen mit Wasserdampf und dem zersprengten Rest des Boliden als Debris in die Atmosphäre geschleudert wurden. Nach Kalkulationen von J. D. O'KEEFE & T. J. AHRENS (1982), J. D. O'KEEFE et al.

(1988) und D. J. RODDY et al. (1988) ist das Verhältnis von Auswurfmasse zu Impaktormasse rund 100 : 1.

Eine kritische Übersicht über das Auftreten und die Häufigkeit von Iridium (und weiteren Spurenelementen) an Systemgrenzen und biostratigraphisch definierten Zeitgrenzen bzw. zu Zeiten biologischer Krisen im Phanerozoikum geben C. J. ORTH & M. ATTREP (1988) und C. J. ORTH et al. (1989). Ihre Ergebnisse basieren auf tausenden Proben von allen Kontinenten und einer fast 10-jährigen Forschungsarbeit. Danach fanden sich gering über den Hintergrund erhöhte Werte an der Ordoviz/Silur-Grenze in Schottland, der Frasn/Famenn-Grenze in Australien und in Marokko, am Beginn des Mississippians in Oklahoma, an der Grenze Mississippian/Pennsylvanian in Oklahoma und Texas, an der Perm/Trias-Grenze in den Karnischen Alpen (und in Südtirol), an der Trias/Jura-Grenze in den Nördlichen Kalkalpen und in England sowie an der Cenoman/Turon-Grenze im westlichen Nordamerika, England und in Polen. Darüberhinaus wurde von F. ASARO et al. (1987, 1988a, b) eine Iridiumanomalie in 10–11 Millionen Jahre alten mittelmiozänen Schichten gefunden.

Die Autoren erklären die schwachen Anomalien mit erdgemachten, tellurischen Anreicherungsprozessen, wie z. B. bakterieller Tätigkeit, Lösung und Ausfällung im Meerwasser bei „Overturn“-Bedingungen oder erhöhter Mantelzufuhr im Zusammenhang mit Ultrabasitmagmatismus bzw. verstärktem MORB-Magmatismus. Beispiele sind die Ordoviz/Silur-Grenze in Dob's Linn/Schottland und die Cenoman/Turon-Grenze in Colorado. Für die erdgebundene Herkunft von Iridium sprechen vor allem die von chondritischen Verhältnissen stark abweichenden Quotienten von Platin und Osmium zu Iridium und die erhöhten Werte von litho- und chalcophilen Elementen.

Die Anomalie an der Kreide/Tertiär-Grenze übersteigt alle bisher gefundenen anderen Konzentrationen um das Zehn- bis Hundertfache. Für das späte Eozän fehlen zwar positive geochemische Signaturen eines Impakts (oder sie sind umstritten), doch wird ein solcher durch mindestens 4 Lagen mit Mikrosphären in ODS-Sedimenten und am Land („Nordamerikanische Mikrotektiten-Lage“) als wahrscheinlich angenommen (vgl. B. P. GLASS, 1984, 1986, 1988; A. SANFILIPPO et al., 1985; B. P. GLASS et al., 1979; B. P. GLASS & C. A. BURNS, 1987; J. E. HAZEL, 1988 cum lit.). Nach M. DAVIS et al. (1984) und P. HUT et al. (1987) waren dafür Kometenschauer verantwortlich, dem jedoch F. T. KYTE & J. T. WASSON (1986) nicht zustimmten. Kometen hinterlassen, anders als Asteroide und Meteorite, keine so deutlichen geochemischen Signaturen, wie z. B. Iridium, da sein Gehalt weniger als ein Drittel des Wertes in C1-Chondriten beträgt (A. H. DELSEMME, 1982). Darauf machten erstmals L. W. ALVAREZ et al. (1980 bona fide E. SHOEMAKER) aufmerksam. W. ALVAREZ (1986) und C. J. ORTH et al. (1989) schließen daher die Möglichkeit, daß zu anderen Zeiten der Erdgeschichte ebenfalls Kometen als Auslöser von Katastrophen anzusehen sind, nicht völlig aus.

Eine aufsehenerregende Entdeckung meldeten jüngst M. ZHAO & J. L. BADA 1989 (vgl. J. R. CRONIN, 1989): Sie fanden knapp über der iridiumreichen Kreide/Tertiär-Grenzschicht von Stevns Klint in Dänemark zwei Aminosäuren, nämlich die Alpha-Aminoisobutrylsche Säure (AIB) und Isovalin. Beide kommen in der Biosphäre äußerst selten vor, sind hingegen in C-Chondriten (und vielleicht in Kometen) ein häufiger Bestandteil.

Vor einer endgültigen Beurteilung bleibt abzuwarten, bis diese Berichte an anderen Vorkommen bestätigt werden.

6. Mikrosphären, Schockminerale und „shatter cones“

In dem Indizienverfahren zur Feststellung des Täters, der für das todbringende Ereignis vor 66 Millionen Jahren verantwortlich war, kennzeichnen die oben genannten geochemischen Signaturen gleichsam seine Blutgruppe. Unmittelbare Zeugen waren die davon betroffenen Organismen (siehe unten). Daneben existieren aber auch Fingerabdrücke vom Täter selbst. Sie sind in den letzten Jahren in Form von sogenannten „Mikrosphären“, Schockmineralien und „shatter cones“ (Trümmergesteine, ursprünglich als „Strahlenkalk“ bezeichnet, vgl. M. S. DIETZ & J. F. McHONE, 1988) an vielen Stellen der Erde – zuerst in Spanien durch J. SMIT & G. KLAVER (1981) – in den entsprechenden Grenzschichten gefunden worden. Vereinzelt kommen auch die Hochdruckmodifikationen von Quarz, Stishovit, in der Grenzschicht vor (vgl. J. J. McHONE et al., 1988).

Mikrosphären werden als Mikrotektite gedeutet, das sind einige 100 Mikron große, rundliche bis tropfenförmige Partikel, die meist aus siliziumreichem Glas bestehen. In der Umgebung junger meteoritischer Einschlagskrater kommen sie häufig unverändert in ihrer ursprünglichen chemischen Zusammensetzung vor und erreichen Größen bis mehrere Zentimeter und darüber. Diese bis 13 kg schweren werden als Tektite bezeichnet. Analyseergebnisse teilten S. R. TAYLOR (1962), W. D. EHMANN (1965) und P. A. BAEDCKER & W. D. EHMANN (1965) mit. Letztere wiesen besonders auf ihren geringen Gehalt von Iridium und Gold hin, der sie von



Abb. 4.
Mikrotektit-Korn aus dem oberen Eozän der Karibik.
Aus G. KELLER et al. (1983, Fig. 1).

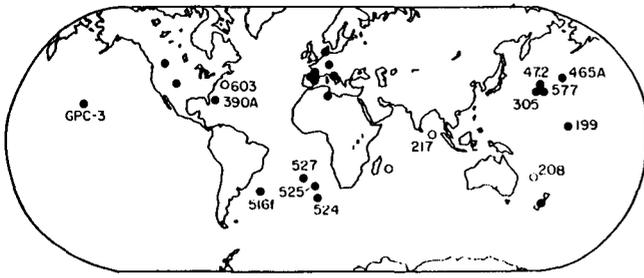


Abb. 5.
Vorkommen von Mikrotektiten an der Kreide/Tertiär-Grenze.
Aus J. SMIT & A.J.T. ROMEIN (1985, Fig. 3).

Meteoriten unterscheidet. Die Spurenelemente zeigen vielmehr enge Beziehungen zu irdischen Krustengesteinen (vgl. J. T. WASSON, 1988).

Detaillierte Beschreibungen stammen von B. P. GLASS & M. J. ZWART (1979) aus der Karibik; in einer weiteren Arbeit behandelten B. P. GLASS et al. (1979) 700.000 Jahre alte Tektite von Australasien und anderen Gebieten. Sie, wie auch S. R. TAYLOR (1973) und E. A. KING (1977), deuteten die von ihnen entdeckten kleineren Sphären, die sie als „Mikrotektite“ bezeichneten, als verfestigte Tropfen von ursprünglich geschmolzenem Krustenmaterial, das beim Aufprall eines extraterrestrischen Objekts in die Atmosphäre geschleudert wurde und dort zu Tropfen erstarrte. Durch die rasche Abkühlung kam es zur glasigen Textur, da sich Kristalle unter solchen Bedingungen nicht bilden konnten. Analoge „Glasperlen“ fanden sich auch in den Atombombentestgebieten von New Mexico (B. P. GLASS et al., 1987).

Nach ihrem äußeren Erscheinungsbild gleichen die 66 Millionen Jahre alten Mikrosphären aus den Kreide/Tertiär-Grenzschichten den subrezentem und rezenten Mikrotektiten. Ihr textureller Aufbau und ihre mineralogische Zusammensetzung unterscheidet sie aber grundlegend. Die Mikrosphären bestehen nämlich nicht aus Silizium-reichen Glas, sondern sind aus verschiedensten Mineralien aufgebaut, wie Sanidin, Glaukonit, Goethit, Hämatit, Klinopyroxen, Goyazit, Tonminerale, Kalzit, Baryt, Gips, Pyrit oder Magnetit (J. SMIT & G. KLAVER, 1981; F. T. KYTE & K. L. RASMUSSEN, 1982; G. KELLER et al., 1983; A. MONTANARI et al., 1983; J. SMIT & F. T. KYTE, 1984; B. P. GLASS et al., 1985; B. F. BOHOR et al., 1987; B. P. GLASS & C. A. BURNS, 1987; S. M. CISOWSKI, 1988; B. F. BOHOR, 1988).

Nicht alle Mikrosphären sind diagenetische Umwandlungsprodukte oder Neubildungen, für die als Ausgang mikrokristalliner Plagioklas und mafische Mineralien angenommen werden. Sie haben zudem meistens eine fibrös-radiale, dendritische Textur, die sie von heutigen Tektiten scharf abhebt (B. A. BAEDECKER & W. D. EHMANN, 1965; S. M. CISOWSKI, 1988).

Ein Teil der Mikrosphären ist vermutlich organischen Ursprungs und geht auf winzige Grünalgen zurück (H. J. HANSEN et al., 1986). Das trifft nach H. J. HANSEN et al. (1987) offenbar auch für die an der Perm/Trias-Grenze in China gefundenen Mikrosphären zu; ZHANG, K. & YANG SHIRON, (1987) nehmen dagegen eine vulkanische oder extraterrestrische Entstehung an.

Für andere Mikrosphären nahm G. A. IZETT (1988) hingegen eine authigene Bildung an, während S. M. CISOWSKI (1988) für die magnetischen Sphären eine Entstehung durch Verbrennung, möglicherweise als Folge eines Impakts, diskutierte. Eine ähnliche Zusammen-

setzung aus Magnetit und Olivin (Forsterit) können allerdings auch Sphären haben, die aber als Mikrometeorite gedeutet werden (C. KOEBERL & C. H. HAGEN, 1989).

Von den Gegnern der Impakt-Hypothese wurde wiederholt darauf hingewiesen, daß die Mikrosphären vulkanisch entstanden seien. Das ist aber höchst unwahrscheinlich, da solche Glastropfen bisher nur bei ruhigen Basalruptionen beobachtet wurden (G. A. MCDONALD, 1972). Aufgrund ihrer globalen Verbreitung (vgl. J. SMIT & A. J. T. ROMEIN, 1985) kommt diese Quelle daher kaum in Frage. Explosiver Vulkanismus produziert hingegen nur eckige Glasscherben. Die überwiegende Mehrheit der Bearbeiter tendiert daher zu einem Impakt-induzierten Entstehungsmechanismus der Mikrosphären. Zu dieser Vorstellung passen die Beobachtungen von B. P. GLASS et al. (1987) aus Atomtestgebieten.

Bzüglich des verschiedenen Auftretens von Mikrosphären im Profil bei Gubbio sei auf die Ausführungen von W. ALVAREZ (1986) verwiesen (vgl. dazu H. R. NASLUND et al., 1986; A. MONTANARI et al., 1986; A. MONTANARI, 1986).

Als U. S.-Wissenschaftler vor einigen Jahren Kreide/Tertiär-Grenzschichten festländischer und mariner Herkunft Korn für Korn untersuchten (B. F. BOHOR et al., 1984, 1987; G. A. IZETT & C. C. PILLMORE, 1985), fanden sie zu ihrer Überraschung zahlreiche sandkorngroße Quarzkörner, die unter dem Mikroskop feinste parallele Brüche und Risse in Form von multiplen planaren Lamellen und eines Mosaikmusters erkennen ließen. Die Deformationen betrafen aber nicht nur einzelne Quarzkörner, sondern ebenso ganze Quarzaggregate, Metaquarzit- und Hornsteinkomponenten (G. A. IZETT, 1987, 1988).

Auf der Erde waren solche Schockmerkmale in Gesteinen lange Zeit nicht bekannt. Am Mond sind sie hingegen sehr häufig und immer an Krater gebunden. Erst 1968 wurden die gleichen geschockten Quarze auch auf der Erde in der Umgebung von Einschlagskratern entdeckt und mit ihren Erzeugern in Verbindung gebracht (T. E. BUNCH, 1968; B. M. FRENCH & N. M. SHORT, 1968). Gelegentlich kommen sie zusammen mit



Abb. 6.
Geschocktes Quarzkorn von der Kreide/Tertiär-Grenze im Raton Basin, Colorado, mit multiplen, sich kreuzenden, planaren Lamellen.
Korndurchmesser 0,8 mm. Aus V. SHARPTON (Geotimes, März 1989).

sogenannten „shatter cones“, das sind brekziierte konische Trümmergesteine vor (J. F. MCHONE & R. S. DIETZ, 1988; R. S. DIETZ & J. F. MCHONE, 1988). Bekannt sind Schockmerkmale aber vor allem in Nukleartestgebieten. Damit war klar, daß sie nur dort entstehen können, wo plötzlich, d. h. schockartig, sehr hohe Drucke von über 60 kbar und entsprechende Temperaturen auf ein Gestein einwirken, wie beispielsweise bei einer Explosion (vgl. dazu B. P. GLASS et al., 1987).

Die Suche nach Schockmineralien in vulkanen oder vulkanischen Auswurfsprodukten war bisher erfolglos. Nach S. S. DE SILVA & V. L. SHARPTON (1988) sind solche Funde wegen des Fehlens der dafür erforderlichen P-T-Bedingungen nicht zu erwarten. Dagegen wenden D. E. LOPER & K. MCCARTNEY (1988) theoretische Überlegungen ein, durch die hohe Überdrucke von CO₂ zustande kommen könnten (vgl. auch A. R. RICE, 1985, 1986, 1988; C. B. OFFICER & C. L. DRAKE, 1985).

7. Ein Massensterben?

Trauma in der Biosphäre, biotischer Holocaust und Massensterben wurden in den letzten Jahren zu beliebten und viel zitierten Schlagworten, um Krisen in der Geschichte des Lebens auf der Erde zu charakterisieren. Tatsächlich wurde unser Planet in der Vergangenheit von mehreren großen Krisen heimgesucht. Vor rund 66,5 Millionen Jahren soll sie ein katastrophales Ausmaß angenommen haben, das nur von einem noch größeren Desaster vor 250 Millionen Jahren übertroffen worden sein soll (D. M. RAUP & J. J. SEPKOSKI, 1982, 1986; J. J. SEPKOSKI, 1982, 1986, 1989; D. M. RAUP & G. E. BOYAJIAN, 1988). Dennoch, ein „Massensterben“ im engefaßten Sinn des Wortes fand damals nicht statt. Das mußten in den letzten Jahren auch die überzeugtesten Anhänger der Impakt-Hypothese zur Kenntnis nehmen, die viel lieber gesehen hätten, wenn auf der ganzen Erde fast alles Leben – wie vom Blitz getroffen – schlagartig und gleichzeitig aufgehört hätte. Das „Große Sterben“ war jedoch zu relativieren und abzuschwächen, ja, es war, mit einer Ausnahme, gar nicht eingetreten.

Zu diesem Schluß kam J. J. SEPKOSKI (1989) nach der statistischen Auswertung des vorhandenen Datenmaterials auf der Basis von Gattungen. Danach sind

Tabelle 3.
Das Ausmaß biologischer Krisen auf Gattungs- und Art-Ebene.
Aus J. J. SEPKOSKI (1989, Tab. 3).

Stratigraphic interval	Generic extinction		Estimated species extinction
	filtered	total	
Middle Miocene	6 ± 1	10 ± 2	16 ± 2–24 ± 4
Upper Eocene	9 ± 1	15 ± 2	22 ± 2–35 ± 4
Maastrichtian	36 ± 2	47 ± 3	63 ± 2–77 ± 3
Cenomanian	14 ± 1	26 ± 4	33 ± 2–53 ± 6
Aptian	13 ± 1	19 ± 3	31 ± 2–41 ± 5
Upper Tithonian	13 ± 2	21 ± 4	31 ± 4–45 ± 7
Pliensbachian	14 ± 1	26 ± 3	33 ± 2–53 ± 4
upper Norian	36 ± 3	47 ± 5	63 ± 3–75 ± 4
Upper Permian	78 ± 1	84 ± 1	93 ± 1–95 ± 1

Intensities were measured as percent extinction (= numbers of extinctions times 100 divided by diversity). Standard errors for generic extinction were estimated using the method outlined by Raup and Sepkoski (1986); standard errors for species were estimated from the generic data using the rarefaction curve.

die erhöhten Aussterberaten dem normalen Hintergrundsterben gegenüberzustellen, das im Tertiär und in der Kreide 10–17 %, im Jura und in der Trias aber zwischen 15 und 30 % der Fauna und Flora betraf. Mit Ausnahme der Perm/Trias-Grenze, im obersten Nor und an der Kreide/Tertiär-Grenze hätten demnach sogenannte „Massensterben“ das normale Aussterben nur um das 2–3-fache überstiegen. Das bedeutete den Verlust von 1/4 bis 1/3 aller mariner Arten über einen Zeitraum von 3–5 Millionen Jahre. A. HOFFMANN (1989) und J. J. SEPKOSKI (1989) meinen daher zu Recht, daß dies keine Katastrophen in der Biosphäre sind.

Einen größeren Umfang erreichte das Aussterben am Ende der Nor- und der Maastricht-Stufen. Dabei verschwanden jedes Mal zwischen 2/3 und 3/4 aller marinen Arten. Am Ende des Perms trat allerdings eine Katastrophe von noch verheerenderem Ausmaß ein, in der über 90 % aller damals im Meer lebenden Arten aus bisher nicht bekannten Gründen umkamen.

Das berühmteste Sterben in der Geschichte der Erde war das Ende der Dinosaurier. Aus Neufunden in Nordamerika (Montana, Wyoming, Alberta) ist mittlerweile bekannt, daß sie nicht eines plötzlichen Todes starben, sondern langsam über mindestens 7 Millionen Jahre dahinsiechten (R. E. SLOAN et al., 1986; R. E. SLOAN, 1988). In dieser langen Zeit verarmte die Fauna und ihre Vielfalt nahm ständig ab, zuletzt in dramatischem Tempo: Von 30 Dinosaurier-Taxa starben innerhalb von 9 Millionen Jahren 60 % aus; von 93 Vertebratenarten, die noch 1 Million Jahre vor dem Ende der Kreidezeit lebten, verschwanden 25 % in den folgenden 2 Millionen Jahren. Betroffen wurden 12 Gattungen von Dinosauriern, 10 Säugetierarten und 2 Schildkröten. Während dieser Zeit verschwanden aber nicht nur viele Landbewohner, sondern es erschienen auch neue, die den frei gewordenen Lebensraum einnahmen (J. SMIT, 1985). Das waren in erster Linie Landsäugetiere.

Nach J. K. RIGBY & R. E. SLOAN (1985), R. E. SLOAN et al. (1986) und J. K. RIGBY et al. (1987) verschwanden die letzten Dinosaurier in Montana etwa 200.000 Jahren nach der Kreide/Tertiär-Grenze, in Südchina aber noch später, nämlich erst nach rund einer Million Jahre (R. E. SLOAN, 1987).

Die genaue Ursache für das Verschwinden der Dinosaurier wurde bisher noch nicht gefunden, wenngleich klimatische Gründe (S. M. STANLEY, 1984, 1987, 1988) oder andere drastisch veränderte Umweltbedingungen, wie insbesondere ein Rückzug des Oberkreidemeeres, häufig dafür genannt wurden (z. B. N. D. NEWELL, 1967; J. WIEDMANN, 1988). Ob die letzten Überlebenden an den Folgen des Impakts eines Asteroiden umkamen, wird wohl niemals endgültig geklärt werden. Tatsache ist, daß sie nach dem Impakt noch eine Weile weiter lebten, andererseits ihr Ende aber schon lange vorher „programmiert“ war.

Ein allmählicher Rückgang, sichtbar im Arten-schwund und erhöhten Aussterberaten wurde auch bei verschiedenen Muscheln, wie den Inoceramen (A. V. DHONDT, 1983; P. D. WARD & K. MACLEOD, 1988) und den riffbauenden Rudisten (E. G. KAUFFMAN, 1979, 1984), Bryozoen (W. ALVAREZ et al., 1984) und vor allem den Ammoniten beobachtet (P. D. WARD & J. WIEDMANN, 1983; P. D. WARD et al., 1986; J. WIEDMANN, 1986, 1988). In Zumaya in Spanien fanden sich die letzten, deutlich kleineren Ammoniten nach einem 8 Millionen Jahre dauernden Niedergang 12,5 m unter der Kreide/Tertiär-Grenze. J. WIEDMANN (1988) schloß

daraus, daß diese Gruppe bereits etwa 130.000 Jahre vor dem Ende der Kreidezeit und dem diese Zeit abschließenden „kosmischen Feuerzauber“, dokumentiert in der Iridium-Schicht, ausgestorben waren. Klassische Profile, in denen das Aussterbemuster verschiedener Organismengruppen im Detail untersucht wurde, sind neben Gubbio Zumaya, Caravaca und Agost in Spanien, Stevns Klint in Dänemark (vgl. T. BIRKELUND & R. G. BROMLEY, 1979), Brazos River in Texas (R. GANAPATHY et al., 1981) und El Kef in Tunesien (J. SMIT, 1982, G. KELLER, 1988). Bedeutung erlangten daneben in jüngerer Zeit Woodside Creek und Flaxbourne River in Neuseeland und zusätzliche dänische Vorkommen.

Im klaren Gegensatz zu den oben erwähnten Organismengruppen steht das plötzliche weltweite Erlöschen von bestimmten planktonischen Foraminiferen und Radiolarien (H. R. THIERSTEIN, 1982), vielen Brachiopoden (F. SURLYK & M. B. JOHANSON, 1984), den Angiospermen oder bedecktsamigen Pflanzen (J. A. WOLFE & G. R. UPCHURCH, 1986, 1987) und, mit einer kleinen zeitlichen Verzögerung von geschätzten 1000–10.000 Jahren (= 10–15 cm über der Kreide/Tertiär-Grenze) die Zäsur des kalkigen Nannoplanktons (H. R. THIERSTEIN, 1981; K. PERCH-NIELSEN et al., 1982; A. J. T. ROMEIN (1977), J. SMIT & A. J. T. ROMEIN, 1985). Für sie gilt, was trivial unter „Massensterben“ verstanden wird: Das Zooplankton wurde zum Zeitpunkt der Bildung der Iridium-reichen Grenzschicht drastisch reduziert, das Phytoplankton kurz danach.

G. KELLER (1988b) fand jedoch im Wechsel der planktonischen Foraminiferenfauna keinen so scharfen Schnitt: Nach ihr ändert sich die Zusammensetzung der Fauna in den beiden vollständigen Profilen von El Kef und Brazos River progressiv über ein Intervall von 25 cm (bzw. 1,6 m in Texas) unter der Grenze bis 7 cm darüber. Dieser Ansicht wurde aber von J. SMIT et al. (1988) widersprochen.

Im Endzeit-Szenario der Kreide/Tertiär-Grenze wurde das plötzliche Verschwinden des Meeresplanktons meistens als eine nicht bewältigte Anpassung an extrem veränderte Umweltbedingungen interpretiert. Diese Deutung gilt noch mehr für die Verhältnisse an Land, wo anspruchslose „opportunistische“ Farne für kurze Zeit den Platz der hochentwickelten Angiospermenflora besetzten (C. J. ORTH et al., 1981; R. H. TSCHUDY et al., 1984; J. SMIT & A. J. T. ROMEIN, 1985; D. J. NICHOLS et al., 1986).

Die biologische Produktivität in oberflächennahen Wasserschichten wird (neben dem Bariumgehalt) durch das Mengenverhältnis der beiden stabilen Kohlenstoffisotope ^{13}C und ^{12}C angezeigt. Als Maßstab dafür wird der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert verwendet. Er gibt die Abweichung des ^{13}C -Gehaltes einer Probe vom ^{13}C -Wert eines Standards (PDB) aus der marinen Kreide an, der per Definition null ist (vgl. W. T. HOLSER, 1984; M. SCHIDLowski, 1984; H. D. HOLLAND et al., 1986 u. a.)

Die Methode beruht auf der Tatsache, daß bei der Photosynthese und bei allen biologischen Prozessen das leichtere Isotop ^{12}C gegenüber dem schwereren und häufigeren ^{13}C angereichert ist. In der organischen Kohlenstoff-Fraktion der Sedimente ist also das leichtere Isotop ^{12}C stärker vorhanden als in Karbonatgesteinen. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn eine erhöhte primäre Produktivität von Fauna und Flora stattfindet. Der Wert $\delta^{13}\text{C}$ wird infolgedessen positiv. Umgekehrt wird bei sinkender Produktivität, wie z. B. in der Folge eines Massensterbens in den Ozeanen, $\delta^{13}\text{C}$

entsprechend der Länge des Ereignisses zu einem Minuswert, angegeben in Promille. Das war zu Zeiten biologischer Krisen im Phanerozoikum mehrmals der Fall (vgl. W. T. HOLSER et al., 1986a; M. L. DELANEY, 1989). Drei Krisen, deren Ursachen allerdings noch nicht restlos geklärt sind, spiegeln sich in deutlichen Anomalien wieder:

- 1) Die Präkambrium/Kambrium-Grenze (K. J. HSÜ et al. 1985, M. MAGARITZ et al., 1986),
- 2) die Perm/Trias-Grenze (W. T. HOLSER et al., 1986b; W. T. HOLSER & M. MAGARITZ, 1985, 1987; W. T. HOLSER et al., 1989; M. GRUSZCZYNSKI et al., 1989) und
- 3) die Kreide/Tertiär-Grenze (H. R. THIERSTEIN, 1981; J. SMIT, 1982; K. J. HSÜ et al., 1982; K. PERCH-NIELSEN et al., 1982; N. J. SHACKLETON & M. A. HALL, 1984; J. C. ZACHOS & M. A. ARTHUR 1986; J. F. MOUNT et al., 1986; J. C. ZACHOS et al., 1989).

8. Das apokalyptische Szenario

Die Impakthypothese, mehrheitlich aufgrund der vielen Evidenzen befürwortet, wurde von Beginn an aus verschiedenen Gründen auch skeptisch bewertet oder gar abgelehnt (vgl. H. JAEGER, 1985; A. HOFFMANN, 1989). In den meisten Fällen wurde die globale Umweltkatastrophe am Ende der Kreide auf zahllose Vulkanausbrüche zurückgeführt, die das Weltklima drastisch veränderten: D. M. MCLEAN (1982, 1983, 1985), C. B. OFFICER & C. L. DRAKE (1983, 1985, 1988), C. B. OFFICER et al. (1987), A. R. RICE (1985, 1988), W. J. MORGAN (1986, 1988) und A. HALLAM (1987, 1988).

Das Endzeit-Szenario, das die Anhänger der Impakthypothese für das Horrorgeschehen an der Kreide/Tertiär-Grenze mit Hilfe von Computermodellen entworfen haben, sprengt die kühnste Phantasie. Den meisten jüngeren Modellen liegt das von R. P. TURCO et al. (1983) und P. R. EHRlich et al. (1983, 1984) aus Vulkaneruptionen abgeleitete Nuklear-Szenario zugrunde. Zusammenfassende Darstellungen, auch die Dynamik des Impaktors betreffend, stammen neben den in L. T. SILVER & P. H. SCHULTZ (Hrsg., 1982) enthaltenen Aufsätzen von folgenden Quellen: L. W. ALVAREZ et al. (1980), C. EMILIANI et al. (1981), D. J. MCLAREN (1983), W. ALVAREZ et al. (1984), W. ALVAREZ (1986), L. W. ALVAREZ (1987) und P. HUT et al. (1987). Die umfassendste Analyse in Form einer Computersimulation und unter Berücksichtigung aller erfaßbaren Parameter aus der Atmosphäre, des Impaktors und der vom Impakt betroffenen Erdkruste führten D. L. RODDY et al. (1988) aus.

Die physikochemischen Veränderungen in der Atmosphäre, teilweise unter Verwendung dreidimensionaler atmosphärischer Zirkulationsmodelle behandeln neben den in L. T. SILVER & P. H. SCHULTZ (Hrsg., 1982) veröffentlichten Arbeiten in jüngerer Zeit W. S. WOLBACH et al. (1985, 1988), R. G. PRINN & B. FEGLEY (1987, 1988), J. D. O'KEEFE et al. (1988), S. L. THOMPSON & P. J. CRUTZEN (1988), C. COVEY et al. (1988), I. GILMOUR et al. (1988), A. M. VICKERY & H. J. MELOSH (1988), K. ZAHNLE et al. (1988), M. I. VENKATESAN & J. DAHL (1989) und J. D. O'KEEFE & T. J. AHRENS (1989).

Die chemischen Signaturen, Klimafolgen und die Effekte auf die Umwelt werden u. a. ausführlich diskutiert in M. KASTNER et al. (1984), J. SMIT & A. J. T. ROMEIN

(1985), O. EUGSTER et al. (1985), F. T. KYTE et al. (1985), K. W. FLESSA et al. (1986), J. BURGEIS et al. (1988), T. J. CROWLEY (1988), T. J. CROWLEY & G. R. NORTH (1988), T. J. WDOVIK et al. (1988), I. GILMOUR & E. ANDERS (1988, 1989), H. J. HANSEN et al. (1988), A. R. HILDEBRANDT & W. F. BOYNTON (1988b), J. D. MACDOUGALL & E. MARTIN (1988), B. SCHMITZ (1988), J. SMIT et al. (1988), T. J. WDOVIK et al. (1988) und J. C. ZACHOS et al. (1989).

Nach den meisten Berechnungen hatte der Asteroid einen Durchmesser von rund 10 km, eine Masse von knapp 1 Billion Tonnen und traf mit der kosmischen Geschwindigkeit von 20 km/Sekunde auf der Erde auf (C. EMILIANI et al. [1981] gehen von einem etwas größeren, 15 km Durchmesser aufweisenden Boliden aus, dessen Masse $2,5 \times 10^{15}$ kg betrug; nach J. D. O'KEEFE & T. J. AHRENS hatte hingegen ihr 10 km großer Asteroid nur eine Masse von 0,6 Billionen Tonnen). Auf Spekulationen, der Impaktor sei aus Eis, Cyan oder Ammoniak bestanden, wird hier nicht eingegangen.

Nach D. J. RODDY et al. (1988) setzte der Asteroid beim Aufprall eine kinetische Energie von $6,2 \times 10^7$ Megatonnen TNT frei (= $2,6 \times 10^{30}$ erg). Das entspricht, nach den Angaben bei R. P. TURCO et al. (1983), der mehr als 5000-fachen Explosionskraft des Nuklearbestandes aller Atomkräfte zu Beginn der 80-er Jahre in Höhe von rund 12.000 Megatonnen TNT oder – noch erschreckender – mehr als 5 Milliarden Hiroshima-Bomben!

Der Impakt des Asteroiden erzeugte auf der Erde einen rund 150 km Durchmesser-großen und zwischen 30 und 40 km tiefen Krater. Umstritten ist nach wie vor, ob der Impakt als „Astrobleme“ (R. S. DIETZ, 1961) auf dem Festland oder als „Hydrobleme“ (D. E. GAULT et al., 1979) im Ozean erfolgte. Für einen Impakt im Ozean spricht die größere Wahrscheinlichkeit (L. W. ALVAREZ et al., 1980), aber auch geochemische, mineralogische, isotopengeologische und sedimentologische Überlegungen und Beobachtungen (vgl. C. EMILIANI et al., 1981; J. D. O'KEEFE & T. J. AHRENS, 1982; H. J. MELOSH, 1982; W. B. MCKINNON, 1982; S. K. CROFT, 1982; H. F. SHAW & G. J. WASSERBURG, 1982; D. J. DEPAOLO et al. 1983; A. MONTANARI et al., 1983; J. SMIT & A. J. T. ROMEIN, 1985; F. T. KYTE & J. SMIT, 1986; A. R. HILDEBRANDT & W. V. BOYNTON, 1988a, J. SMIT et al., 1988; J. BURGEIS et al., 1988). Die Mineralogie und Zusammensetzung der Schockkomponenten scheint hingegen eher einem Einschlag am oder nahe dem nordamerikanischen Kontinent den Vorzug zu geben (vgl. B. F. BOHOR et al., 1984; B. F. BOHOR & G. A. IZETT, 1986; G. A. IZETT, 1987, 1988; B. F. BOHOR, 1988). Zu diesem Schluß kamen auch V. L. SHARPTON et al. (1988) aufgrund der Mineralogie und Geochemie der Mikrosphären und des Grenztons. Einen Kompromißvorschlag in Form eines beim Eintritt in die Atmosphäre zersprengten Asteroiden machten hingegen F. T. KYTE et al. (1985): Danach erzeugte ein Teil die auf einen kontinentalen Impakt hinweisenden Schockmerkmale, ein zweiter die für einen ozeanischen Einschlag charakteristischen Signaturen.

Erste Auswirkungen auf die Atmosphäre stellten sich beim hyperschnellen Eintritt des Impaktors in dichtere Luftschichten ein (C. EMILIANI et al., 1981; D. E. GAULT & C. P. SONETT, 1982; J. D. O'KEEFE; T. J. AHRENS, 1982; D. J. RODDY et al., 1988). Es entstand ein „Loch in der Atmosphäre“, Schockwellen breiteten sich mit rasender Geschwindigkeit von der Projektilspitze aus.

Durch die Wucht des Aufpralls wurde der Asteroid wie eine Bombe gezündet, er zerbarst und verdampfte fast vollständig.

Nach übereinstimmender Meinung von J. D. O'KEEFE & T. J. AHRENS (1982), J. D. O'KEEFE et al. (1988) und D. J. RODDY et al. (1988) war die Masse des ausgeworfenen Kratermaterials mindestens hundert Mal größer als der Impaktor. Es stieß in das vom Boliden verursachte Vakuum und drang – in der Form einem Atompilz ähnlich – in Höhen bis etwa 80 km. Nach Kalkulationen von R. A. HILDEBRANDT & W. V. BOYNTON (1988b) lagerten sich rund 1000 km^3 niedrigerenergetischen Auswurfs („Ejecta“) aus größerem Detritus in der Umgebung des Kraters ab, 1500 km^3 von feinerem Material aus der ozeanischen Kruste, dem oberen Mantel (etwa 70 %) und ein geringer Anteil von kontinentaler Kruste wurden aber in große Höhen gerissen und anschließend als sogenannte Feuerball-Schicht global verteilt. Vom gesamten Auswurf blieben insgesamt nur ein hunderttausendstel bis ein millionstel Teil für längere Zeit in der Atmosphäre. An der Gesamtmenge betrug der Anteil des Projektils rund 12 %, ein Wert, der zu hoch erscheint. Das kosmische Edelmetall Iridium und andere Spurenelemente sind wichtige Bestandteile in dieser Fraktion.

Nach D. J. RODDY et al. (1988) wurden bei einem ozeanischen Impakt rund 90.000 km^3 Material ausgeworfen. Etwa 70 % lagerten sich in nächster Nähe des Kraterandes ab. Der Rest, immerhin rund 10^{13} Tonnen, wurde bis 100 km hoch in die Atmosphäre gestoßen. Davon entfielen nur rund 10 % auf Krustenmaterial, 90 % hingegen war Wasserdampf. Zusätzliche Emissionen könnten von einem durch den Impakt induzierten Vulkanismus stammen.

In den ersten Minuten nach dem Impakt herrschte ein unbeschreibliches Inferno: Schockwellen erzeugten rasende Stürme im Umkreis von über 1000 km, Gesteinstrümmel und feurige flüssige Schmelze flogen als Geschosse in allen Größen durch die gluthitze Luft, Flutwellen (Tsunamis) pflanzten sich als viele 100 m hohe gesteinsbeladene Wasserberge in den Ozeanen fort und rissen alles Lockermaterial mit sich, um es über weite Strecken auf den Kontinenten beim „backwash“ abzulagern, Feuersbrünste begannen zu wüten und stießen riesige Mengen von Ruß und Rauch in die Atmosphäre. Nach einiger Zeit koagulierte der Ruß mit den Aerosolen und Staubpartikelchen und fiel langsam wieder zur Erde (O. B. TOON et al., 1982). I. GILMOUR et al. (1988) rechneten auf Grund der in der Grenztonschicht zusammen mit Iridium festgestellten Menge von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) mit einem Gesamtausstoß von rund 70 Milliarden Tonnen Ruß (vgl. W. S. WOLBACH et al., 1985, 1988; I. GILMOUR & F. GUENTHER, 1988; M. I. VENKATESAN & J. DAHL, 1989).

Mit Computerhilfe wurden die Auswirkungen auf die Atmosphäre und die Biosphäre durchgerechnet: In Abhängigkeit von der Staub-, vor allem aber der Rußmenge (vgl. J. NELSON, 1989) in der Atmosphäre dauerte die globale Finsternis und Kälte bis zu einem halben Jahr (W. S. WOLBACH et al., 1988; J. D. O'KEEFE et al., 1988; S. L. THOMPSON & P. J. CRUTZEN, 1988), die Photosynthese stoppte für mindestens 4 Monate.

Umstritten und abhängig von den zur Verfügung stehenden Mengen von Stickoxiden ist der Niederschlag von saurem Regen in Form von salpetriger Säure und Salpetersäure (R. G. PRINN & B. FEGLEY, 1988; K. ZAHN-

LE et al., 1988) und den davon ausgehenden Schäden durch Vergiftung des Bodens mit Schwermetallen (T. J. WDOIWAK et al., 1988), Ersticken, stärkerer Verwitterung (J. D. MACDOUGALL, 1988), Kalklösung und Freisetzen von großen Mengen Kohlendioxid, dem „Treibhaus-Gas“. J. D. O'KEEFE & T. J. AHRENS (1989) meinen, daß dieser Effekt zu einer globalen Erwärmung von rund 10 Grad führte. Der Temperatursturz der ersten Tage nach dem Impakt, der Werte um den Gefrierpunkt erreichte (S. L. THOMPSON & P. J. CRUTZEN, 1988), verkehrte sich ins Gegenteil, da nun der Treibhaus-Effekt zu wirken begann (M. R. RAMPINO & T. VOLK, 1988; T. J. CROWLEY & G. R. NORTH, 1988). Nach etwa 60 Tagen griffen schließlich Stickoxide die Ozonschicht an und zerstörten sie für die Dauer von 1–10 Jahre (S. L. THOMPSON & P. J. CRUTZEN, 1988).

Die Folgen waren für das Leben am Land und in den oberen produktiven Wasserschichten der Ozeane tödlich: Die Produktivität sank rapide oder stoppte völlig, auf dem Festland konnte aus Sauerstoffmangel, Kälte und Finsternis, Rauch und fehlender Nahrung kein Organismus überleben, drastische Populationsabnahmen und Massensterben traten ein (K. J. HSÜ et al., 1982 u. a.). Dieser Zustand soll zwischen 100 und 500.000 Jahre lang angehalten haben (vgl. K. W. FLESSA et al., 1986; J. C. ZACHOS et al., 1988). Danach stellten sich allmählich wieder normale Bedingungen ein, die mit der raschen Radiation der Säugetiere begann.

9. Trauma der Menschheit

Seit frühesten Zeiten hat sich der Mensch vor Naturkatastrophen gefürchtet. Es ist ihm zwar bewußt, daß sie unausweichlich sind, doch wahrhaben will er die damit verbundenen Risiken nicht. Ein Zusammenstoß mit einer Riesenkugel aus dem Weltall ist für die meisten Menschen denn auch völlig unvorstellbar. Diese Theorie muß Vorurteile wecken, die wir gegen plötzliche und zu starke Veränderungen haben; sie erzeugt ein Streßdiagramm, das alle normalen Ereignisse um ein Vielfaches übersteigt (J. WEINER, 1987). Da hilft auch keine nüchterne wissenschaftliche Beschreibung des Phänomens, wenn das Ergebnis kein Naturereignis, sondern eine „Katastrophe“ ist.

Das Geschehen am Ende der Kreide war jedoch eine „furchtbare“ Katastrophe, wenn ihr Zerstörungspotential betrachtet wird, das rund 12.000 Megatonnen TNT oder unfaßbare 5 Milliarden A-Bomben vom Hiroshima-Typ betrug.

Katastrophen dieser Größenordnung müssen auf der Erde mindestens alle 100 Millionen Jahre stattgefunden haben, kleinere Objekte trafen sie viel öfter. Beweise dazu lieferte die Erde selbst, vor allem aber der Mond und die vielen Sonden, die zu den Nachbarplaneten geschickt wurden.

Wie C. R. CHAPMAN & D. MORRISON (1988) ausführen, kann tatsächlich eine Gefahr für die Zivilisation durch bisher nicht entdeckte Asteroiden oder Kometen bestehen, deren Bahnen sich mit der Erde kreuzen. Im Jahr 1981 ergab ein Workshop, daß die Menschheit jedes Jahr mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 : 100.000 mit Gefahren aus dem Weltraum bedroht ist. Zum Glück beinhaltet dieser Wert eine große Unsicherheit, denn die Chancen schwanken zwischen 1 : 3000/Jahr und 1 : 10 Millionen/Jahr.

Das Risiko wird an Beispielen deutlich: Die Gefahr eines Impakts ist 10 Mal größer, als für einen Atomkraftwerksunfall wie Cernobyl angenommen wurde; sogar 20 Mal größer, als die Chance in einem Tornado umzukommen; jedoch 25 Mal kleiner, als an einem Autounfall zu sterben.

Warum beschäftigt sich die Öffentlichkeit nicht mit solchen Gefahren, wenn klar ist, welche verheerende Folgen ein Impakt hat? Ist es auf ein Fehlen von seriösen Berichten über diese Katastrophen zurückzuführen, will man die Öffentlichkeit nicht beunruhigen oder werden die Ergebnisse nicht von allen Wissenschaftlern geteilt und daher verzerrt und abwertend wiedergegeben? Es mag aber auch sein, daß „Lotteriehancen“ eines Impakts dem Normalbürger einfach zu gering erscheinen und zeitlich zu entfernt liegen, um im Augenblick ernsthaft darüber in Sorge zu sein (C. STARR & C. WHIPPLE, 1980). Oder wirkt ein „Gaia-Denken“ in jedem von uns?

10. Die Frage der Periodizität

Im Jahre 1977 behaupteten A. G. FISCHER & M. A. ARTHUR, daß Krisen in der Biosphäre in regelmäßigen Intervallen von etwa 32 Millionen Jahren auftreten (vgl. auch K. S. THOMSON, 1976). Ein annähernd gleiches zeitliches Muster fanden später M. R. RAMPINO & R. B. STOTHERS (1984) und J. A. KITCHELL & D. PENA (1984), letztere allerdings mit einem pseudoperiodischen Verhalten.

D. M. RAUP und J. J. SEPKOSKI bestätigten die Periodizität durch statistische Methoden. Nach ihrer Ansicht traten Krisen vom Perm bis in die Gegenwart aber in etwas kürzeren Abständen von 26 Millionen Jahren auf, dann allerdings mit hoher statistischer Signifikanz. Ihre Schlußfolgerung basierte anfangs auf der Basis von Familien, später aber auf Gattungsebene (D. M. RAUP & J. J. SEPKOSKI, 1984, 1986, 1988; D. M. RAUP, 1986; D. M. RAUP & G. E. BOYAJIAN, 1988; J. J. SEPKOSKI, 1986, 1989).

Während M. R. RAMPINO & R. B. STOTHERS (1984) diese Signale mit extraterrestrischen stochastischen Ursachen in Verbindung brachten, wiesen D. M. RAUP (1986) und J. J. SEPKOSKI (1986, 1989) wiederholt auf ein womöglich zufälliges Zusammentreffen von zwei extraterrestrischen Ereignissen mit zwei erhöhten Aussterbephasen hin, nämlich am Ende der Kreide und am Ende des Eozäns. Die Periodizität mag in Wirklichkeit andere, derzeit nicht bekannte Ursachen haben. A. G. FISCHER & M. A. ARTHUR (1977) und C. B. OFFICER & D. L. DRAKE (1985) erklärten die Krisen demgegenüber mit episodisch ablaufenden endogenen oder solaren Prozessen.

Eine dritte Gruppe leugnet das periodische Muster überhaupt. Ihre Begründung dafür ist die ungenügende empirische Datenbasis und die statistische Behandlung des Materials (A. HOFFMAN & J. GHIOLD, 1985; A. HOFFMANN, 1985, 1989; C. PATTERSON & A. B. SMITH, 1987; J. F. QUINN, 1987). Sie argumentieren, daß die Periodizität ein Zufallseffekt sei (S. TREMAINE, 1986; S. M. STIGLER & M. J. WAGNER, 1988).

Einige Einwände scheinen jedoch zu Recht zu bestehen und sind D. M. RAUP und J. J. SEPKOSKI wohl bewußt (vgl. D. M. RAUP & J. J. SEPKOSKI, 1984, 1988; J. J. SEPKOSKI, 1989). Sie betreffen auf der einen Seite

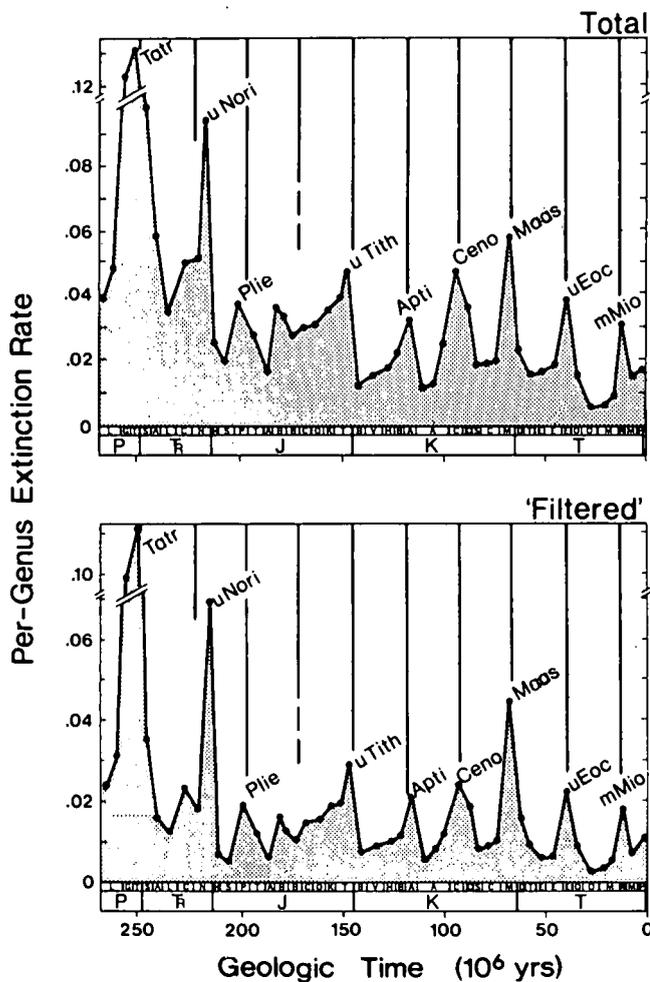


Abb. 7.
Rate im Erlöschen von Gattungen pro Million Jahre für den Zeitraum Mittelperm bis in die Gegenwart.
Vertikale Linien geben die 26 Millionen Jahre-Periodizität an. Die „totale“ Darstellung basiert auf 17.500 Gattungen, die untere „gefilterte“ auf 11.000 Gattungen. Sie enthält keine Einzelvorkommen.
Aus J.J. SEPKOSKI (1989, Fig. 2).

die absolute Zeitskala (vgl. R. B. STOTHERS, 1989), die im Allgemeinen auf der Annahme von Stufen gleicher Zeitdauer und/oder von Biozonen gleicher Länge beruht, auf der anderen Seite das behandelte Fossilmaterial. Weil genauere Datierungen oft fehlen, wird der Zeitpunkt des Aussterbens verschiedener Taxa stets mit dem Ende des jeweiligen Zeitabschnitts festgesetzt. Dieses Verfahren wurde allerdings auf Gattungsebene wesentlich verfeinert (J. J. SEPKOSKI, 1989). Danach fallen von rund 13.000 Gattungen 68 % auf Aussterbeintervalle von 5,5 Millionen Jahren, 7 % auf die Zeitdauer einer Stufe, 21 % auf eine Serie und nur 4 % auf ein System.

Den genannten Umständen Rechnung tragend, erkannten U. BAYER & G. R. MCGHEE (1986) und U. BAYER (1988) drei Gruppen von Signalen, deren mittleres bei 32 Millionen Jahren ein deutliches Maximum besitzt. Schwächere Signale sind 13 bzw. 105 Millionen Jahre-Perioden. Der verdoppelte 13 Millionen-Jahre-Zyklus könnte der ursprünglich von D. M. RAUP & J. J. SEPKOSKI für das Meso- und Känozoikum gefundenen 27 Millionen-Jahre-Periodizität entsprechen.

Eine ähnliche Periodizität, wie sie erhöhte Aussterberaten zeigen, haben anscheinend terrestrische Impaktkrater (vgl. Kap. 4., 2. Absatz) und periodische, um 32

Millionen Jahre wiederkehrende Basaltergüsse (M. R. RAMPINO & R. B. STOTHERS, 1988), vielleicht aber auch weltweite Meeresspiegelschwankungen, tektonische Episoden oder Umpolungen des Erdmagnetfeldes (M. D. RAUP, 1985; P. C. PAL & K. M. CREER, 1986; R. B. STOTHERS, 1986; M. R. RAMPINO & R. B. STOTHERS, 1988; C. A. BURNS, 1989). Eine denkbare Erklärung dafür sind periodische Kern-Mantel-Prozesse (D. E. LOPER & K. MCCARTNEY, 1986; D. E. LOPER & G. BUZYNA, 1988; V. COURTILOT & J. BESSE, 1987) andere – ebenso spekulative – sind ein durch den Impakt eines extraterrestrischen Objekts ausgelöster Impakt-Vulkanismus (M. R. RAMPINO & R. B. STOTHERS, 1988; J. J. SEPKOSKI, 1989) oder dadurch hervorgerufene Polumkehrungen (C. A. BURNS, 1989). Für die Annahme, irgendwelche astronomische Ursachen („Nemesis-Affäre“, Planet X) könnten ein ähnliches zyklisches Verhalten aufweisen, fehlt derzeit jegliche Grundlage (M. E. BAILEY et al., 1987; E. M. SHOEMAKER & R. F. WOLFE, 1986; S. D. TREMAINE, 1986; P. R. WEISSMAN, 1988).

11. Der Beitrag aus Österreich

Mehrere Gruppen aus Österreich beteiligen sich – meist in internationaler Teamarbeit – an der Analyse globaler, kurzzeitig wirkender geologischer Ereignisse („events“), gehen den Ursachen von Faunenschnitten an Zeitgrenzen nach oder untersuchen andere geologi-



Abb. 8.
Die Grenze Devon/Karbon im Profil Grüne Schneid in den Karnischen Alpen. Die Bank 6c enthält Faunen des jüngsten Devons, mit Bank 6d erscheinen unterkarbonische Faunen.

Sample no.	Thickness (cm)
1	24
2	18
3D	3
3A	7
4	10
5c	5
5b	11
5a	13
6D	5
6C	5
6B+	4
6B-	4
6A	10
7	18
8	91
9	23
10	34
11	14
12	

Ammonoidea > 250

- Gonioclymenia (Finiclymenia) wocklumensis*
- Wocklumeria sphaeroides*
- Parawocklumeria paradoxa*
- Kosmoclymenia (Linguaclymenia) similis*
- Cymaclymenia striata*
- Mimimitoceras* sp.
- Balvia* sp.
- Imitoceras exile*
- Imitoceras* sp.
- Acutimitoceras carinatum*
- Acutimitoceras kleinerae*
- Acutimitoceras prorsum*
- Acutimitoceras intermedium*
- Acutimitoceras acutum*
- Acutimitoceras subbilobatum*
- Acutimitoceras convexum*
- Acutimitoceras sphaeroidale*
- Gattendorfia subinvoluta*
- Gattendorfia reticulum*
- Eocanites supradevonicus*

Trilobita > 100

- Helioproetus* cf. *ebersdorfensis*
- Helioproetus carinthiacus*
- Helioproetus subcarinthiacus*
- Typhloproetus (Silesiops) korni*
- Typhloproetus (Silesiops) sp.*
- Chaunoproetus (Chaunoproetus) cf. palensis*
- Chaunoproetus (Chaunoproetus) stockumensis*
- Haasia* cf. *antedistans*
- Phacops (Phacops) granulatus*
- Waribole abruptirhachis*
- Waribole* cf. *richteri*
- Carbonocoryphe (Winterbergia) cf. lunirepa*
- Liobolina crestaverdensis*
- Liobolina submonstrans*
- Globusia* sp.
- Archegonus (Phillibole) hercules*
- Archegonus (Phillibole) drewerensis*
- Archegonus (Phillibole) aff. drewerensis*
- Archegonus (Phillibole) blax*
- Archegonus (Phillibole) cf. ogivalis*
- Archegonus (Phillibole) sp. A*

Conodonta >3000

- Bispathodus a. aculeatus*
- Bispathodus c. costatus*
- Bispathodus stabilis*
- Bispathodus ziegleri*
- Branmehla suprema*
- Palmatolepis gr. expansa*
- Palmatolepis gr. gracilis*
- Palmatolepis gr. sigmoidalis*
- Polygnathus inornatus*
- Pseudopolygnathus m. trigonicus*
- Protognathodus meischneri*
- Protognathodus collinsoni*
- Protognathodus kockeli*
- Protognathodus kuehni*
- Protognathodus praedelicatus*
- Siphonodella praesulcata*
- Siphonodella sulcata*
- Siphonodella duplicata MT₁*
- Polygnathus c. communis*
- Polygnathus c. bifurcatus*
- Polygnathus c. carina*
- Polygnathus p. subplanus*
- Polygnathus p. purus*
- Pseudopolygnathus cf. multistriatus*
- Pseudopolygnathus dentilineatus*
- Pseudopolygnathus primus*
- Pseudopolygnathus triangulus ssp.*
- Elictoynathus laceratus*
- Ozarkodina* sp.
- Oulodus* sp.

Abb. 9.
Der Faunenschnitt zwischen Devon und Karbon im Profil Grüne Schneid.
Nach H.P. SCHÖNLAUB, D. KORN & R. FEIST (in Vorb.).

sche Phänomene, die möglicherweise mit extraterrestrischen Vorgängen zusammenhängen. Gefördert wurden und werden diese Untersuchungen durch den Fonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung bzw. sie werden im Rahmen des Internationalen Geologischen Korrelationsprogrammes durchgeführt.

Abgeschlossen sind die Forschungsarbeiten zum Geschehen an der Devon/Karbon-Grenze (H. P. SCHÖNLAUB et al., 1988), einer bisher als zweitrangig angesehenen Krise der Biosphäre im Paläozoikum. Die Ergebnisse in den Karnischen Alpen haben weltweit eine große Bedeutung, da hier im Profil „Grüne Schneid“ eines der wenigen lückenlosen Profile in gleichbleibender Fazies über die Systemgrenze vorhanden ist, das außerdem hervorragende Makro- und Mikrofaunen enthält (Clymenien, Goniatiten, Trilobiten, Conodonten u. a.). Umfangreiche Untersuchungen zur Biostratigraphie, Lithologie, Litho- und Biofazies sowie Geochemie nach Haupt- und Spurenelementen weisen zwar vertikal signifikante Unterschiede und schwach über den Hintergrund erhöhte Signale von Iridium und anderen Spurenelementen auf, doch haben diese Veränderungen wahrscheinlich lokale, erdgebundene Ursachen.

Weltweit besteht großes Interesse an der Aufklärung des Geschehens an der Perm/Trias-Grenze. Die Voraussetzungen zur Lösung dieses Problems bieten sich in den Südalpen, wo erstens in den Dolomiten ausgezeichnete Ergebnisse von einer Innsbrucker und mehreren italienischen Arbeitsgruppen erzielt werden konnten (R. BRANDNER, 1988 bzw. Autorenschaft im Field Guide-Book 1986 der Soc. Geol. Ital., Brescia-Meeting und in Mem. Soc. Geol. Ital., vol. 34, 1988) und zum zweiten durch die wissenschaftliche Bohrung Gartnerkofel-1 in den Karnischen Alpen grundlegende Daten gewonnen wurden (W. T. HOLSER & H. P. SCHÖNLAUB, 1988; W. T. HOLSER et al., 1989). In beiden Gebieten wurden zwar Iridium-Anomalien und Anomalien der stabilen Kohlenstoff- und Sauerstoff-Isotope sowie erhöhte Gehalte siderophiler Elemente festgestellt, doch fehlen Hinweise auf ein extraterrestrisches Ereignis. Dazu kommt, daß alle geochemischen Signaturen mindestens eine Größenordnung kleiner sind als an der Kreide/Tertiär-Grenze.

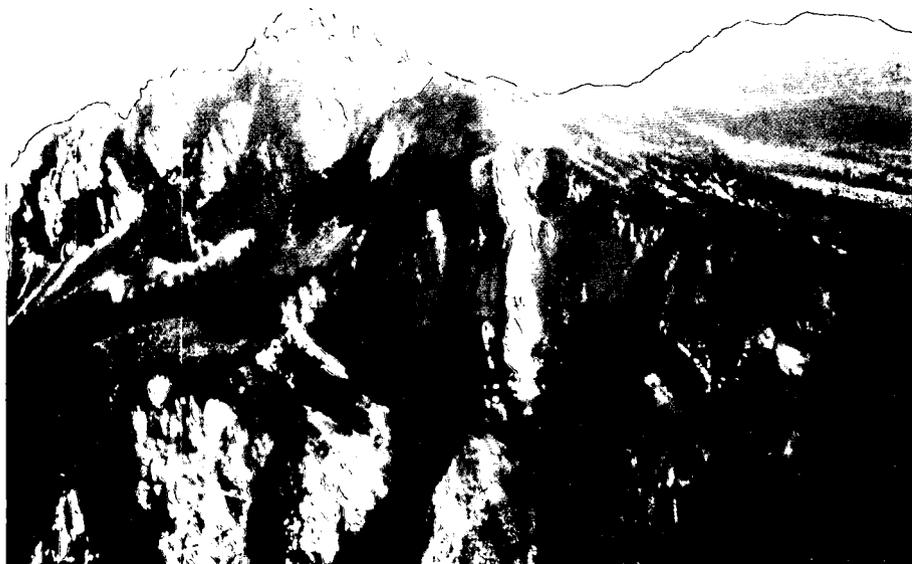
Dem Ereignis an der Trias/Jura-Grenze wurde erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet, nachdem D. D. BADJUKOV et al. (1987) im Kendlbachgraben in den Salzburger Kalkalpen im Grenzmergel Schockquarze fand. Schwach über dem Hintergrund erhöhte Iridiumgehalte (D. D. BADJUKOV et al., 1988; C. J. ORTH et al., 1989) werden unterschiedlich interpretiert, sind aber vermutlich terrestrisch bezogen, da sie mit Aluminium korrelieren. Zu beachten ist ein deutlicher Fazieswechsel an der Grenze, der kurzzeitig zu Stagnation, anoxischen Bedingungen und erhöhter klastischer Zufuhr führte (R. GOLEBIOWSKI & R. E. BRAUNSTEIN, 1988).

Die unter Leitung von A. PREISINGER und H. STRADNER bzw. R. LAHODYNSKY an der Kreide/Tertiär-Grenze in Gosauvorkommen durchgeführten Analysen bestätigen vollinhaltlich die weltweit an dieser Zeitmarke erzielten Ergebnisse und sind ein wertvoller Beleg für ihre Richtigkeit (H. STRADNER et al., 1985, 1987; A. PREISINGER & H. STRADNER, 1986; A. PREISINGER et al., 1986). Dieser Auffassung schloß sich allerdings R. LAHODYNSKY (1987, 1988b) nicht an: Er führt die Anomalien an der Kreide/Tertiär-Grenze auf vulkanische Ereignisse zurück.

Die lange Zeit geführte Debatte über die Entstehung der „Bimssteine“ und der Struktur von Köfels im Ötztal scheint nun zugunsten des Impakts eines relativ kleinen extraterrestrischen Objekts entschieden zu sein. Bereits F. E. SUESS nahm 1936 einen Impakt als Ursache an, A. GRATZ & G. KURAT (1988, cum lit.) und R. SURENIAN (1988) bestätigten die Berichte von Impakt-induzierten Schockdeformationen in Quarz und anderen Gesteinstrümmern.

Als wichtiger österreichischer Beitrag ist der Nachweis erhöhter Iridiumgehalte im antarktischen Eis durch C. KOEBERL (1988, 1989) zu werten. Die Mengen entsprechen in der Größenordnung jenen an der Kreide/Tertiär-Grenze. Sollte sich der vermutete Zusammenhang mit Vulkanen Australiens beweisen lassen, wäre Iridium wohl nicht mehr der „Geomarker“ für ein kosmisches Ereignis, wie bisher angenommen wurde.

Abb. 10.
Gartnerkofel, Kammleiten und Reppwand am Naßfeld in den Karnischen Alpen.
Im oberen Teil der Reppwand liegt die Perm/Trias-Grenze, die durch die Bohrung am Gipfel der Kammleiten ungestört in einer Tiefe von 225 m erfaßt wurde.



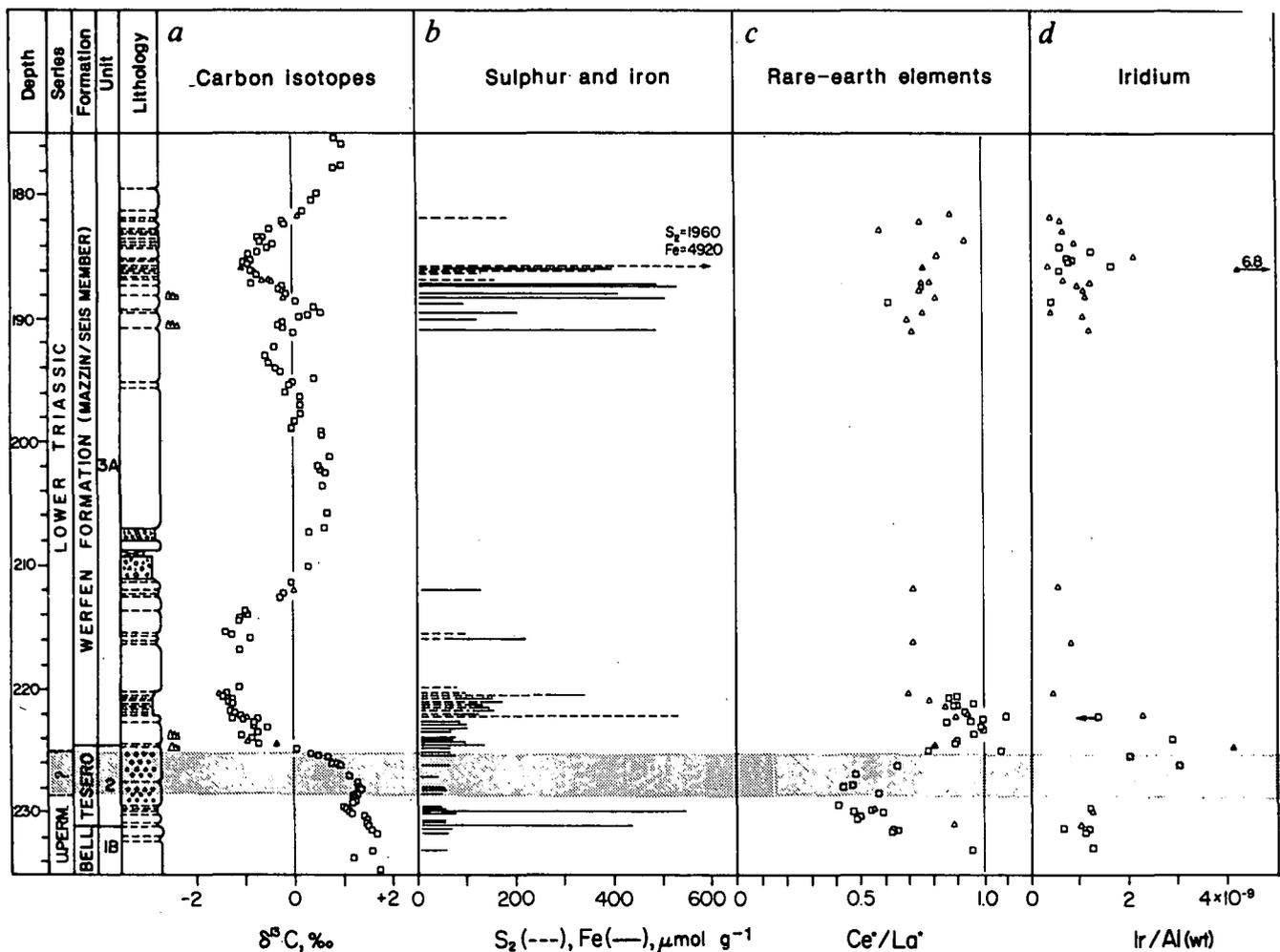


Abb. 11.

Der Grenzbereich Perm/Trias in der Bohrung Gartnerkofel-1 in den Karnischen Alpen mit Details zur Stratigraphie und Geochemie.
Aus W.T. HOLSER et al. (1989, Fig. 3).

12. Schlußfolgerungen

Nach 10 Jahren weltweiten intensiven Forschens über die Ursache der Krise in der Biosphäre vor 66,5 Millionen Jahren liegt heute ein umfangreiches und überzeugendes Beweismaterial vor, das der Impakthypothese vor allen anderen Spekulationen den Vorrang einräumt. Wie kaum eine andere erdwissenschaftliche Theorie vor ihr, ist sie in wenigen Jahren durch eine Fülle von Beobachtungen und Fakten untermauert worden, die alle auf eine gemeinsame Wurzel zurückgeführt werden können. Dennoch darf nicht übersehen werden, daß noch immer einige Probleme bestehen und auf eine Erklärung warten. So etwa wurde bisher vergeblich der Einschlagskrater gesucht oder es wird kritisiert, daß das geschilderte Szenario zu drastisch sei, um dem selektiv wirkenden Aussterbemuster verschiedener Tiergruppen gerecht zu werden. Es wurden aber auch in einigen Gesteinsschichten mehrere, knapp übereinanderliegende, iridiumreiche und Mikrosphären führende Lagen gefunden, die derzeit nicht sehr überzeugend in das angestrebte Bild eines einzigen, einzeitigen Impakts zu passen scheinen.

Vor allem aber: Es hat zur Zeit den Anschein, als ob der Aufprall eines so großen Asteroiden auf der Erde vor 66,5 Millionen Jahren etwas „Einmaliges“ gewesen sei. Denn es fehlen – trotz intensiven Suchens – vergleichbare geochemische Signaturen oder andere Spu-

ren des Kosmos in solchen Schichten und zu solchen Zeiten, als auf der Erde weitere Krisen stattfanden und erwiesen sind. Diesem Einwand wird jedoch entgegengehalten, daß z. B. Kometen bei ihrer Ankunft auf der Erde keine oder nur sehr geringe Spuren in Form erhöhter Edelmetallwerte hinterlassen. Ob diese Vermutung für Massensterben im Erdaltertum gilt, wird derzeit weltweit geprüft. Schon jetzt ist aber klar, daß es zumindest für das Ereignis am Ende der Kreidezeit keinen anderen Mechanismus als einen Impakt gibt, der alle beobachteten Phänomene in einen kausalen Zusammenhang bringt und damit logisch erklärt. Vielleicht schlägt diese Theorie sogar eine Brücke zu ihren schärfsten Kritikern: Vulkanismus wird in dem oben geschilderten Szenario insofern eine bescheidene Rolle eingeräumt, als es für möglich gehalten wird, daß durch den Impakt eines größeren extraterrestrischen Objekts Vulkanismus zu verschiedenen Zeiten und in verschiedenen Gebieten induziert wurde.

Literatur

- ALVAREZ, L. W. (1987): Mass extinctions caused by large bolide impacts. – U. S. Dept. of Energy (LBL-22786), 1–53, Washington.
ALVAREZ, L. W., ALVAREZ, W., ASARO, F. & MICHEL, H. V. (1980): Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. – Science, **208**, 1095–1108, Washington.

- ALVAREZ, W. (1986): Towards a theory of impact crises. – *Eos Trans. AGU*, **67**, 649–658, Washington.
- ALVAREZ, W. & MULLER, R. A. (1984): Evidence from crater ages for periodic impacts on the Earth. – *Nature*, **308**, 718–720, London.
- ALVAREZ, W., ALVAREZ, L. W., ASARO, F. & MICHEL, H. V. (1979a): Experimental evidence in support of an extra-terrestrial trigger for the Cretaceous–Tertiary extinctions (abstract). – *Eos Trans. AGU*, **60**, 734, Washington.
- ALVAREZ, W., ALVAREZ, L. W., ASARO, F. & MICHEL, H. V. (1979b): Anomalous iridium levels at the Cretaceous/Tertiary boundary at Gubbio, Italy: negative tests for a supernova origin. – In: T. BIRKELUND (Hrsg.): Cretaceous–Tertiary Boundary Events Symposium, 69, vol. 2 University of Copenhagen, Copenhagen.
- ALVAREZ, W., KAUFFMAN, E. G., SURLYK, F., ALVAREZ, L. W., ASARO, F. & MICHEL, H. V. (1984): Impact theory of mass extinctions and the invertebrate fossil record. – *Science*, **223**, 1135–1141, Washington.
- ANDERS, E. & EBIHARA, M. (1982): Solar systems abundances of the elements. – *Geochim. Cosmochim. Acta.*, **46**, 2363–2380, London.
- ASARO, F., ALVAREZ, L. W., ALVAREZ, W. & MICHEL, H. V. (1982): Geochemical anomalies near the Eocene/Oligocene and Permian/Triassic boundaries. – *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, **190**, 517–528, Boulder.
- ASARO, F. A., ALVAREZ, L. W., ALVAREZ, W. & MICHEL, H. V. (1987): „Rare Events in Geology“, Abstract, 65–66, Beijing, March 3–5, Beijing.
- ASARO, F., MICHEL, H. V., ALVAREZ, L. W., ALVAREZ, W. & MONTANARI, A. (1988a): *Eos Trans. AGU.*, **69**, No. 16, 301–302, Washington.
- ASARO, F., ALVAREZ, W., MICHEL, H. V., ALVAREZ, L. W., ANDERS, M. H., MONTANARI, A. & KENNETT, J. P. (1988): Possible world-wide Middle Miocene iridium anomaly and its relationship to periodicity of impacts and extinctions. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 6–7, Houston.
- BADJUKOV, D. D., LOBITZER, H. & NAZAROV, M. A. (1987): Quartz grains with planar features in the Triassic–Jurassic boundary sediments from Northern Limestone Alps, Austria. – *Lunar Planet. Sci.*, **18**, 38–39, Houston.
- BADJUKOV, D. D., BARSUKOVA, L. D., KOLESOV, G. M., NIZHEGORODOVA, I. A., NAZAROV, M. A. & LOBITZER, H. (1988): Element concentrations at the Triassic–Jurassic boundary in the Kendlbachgraben Section (Austria). – In: Abstracts IGCP Project 199, 1–2, Ber. Geol. B.-A., **15**, Wien.
- BAEDECCKER, P. A. & EHMANN, W. D. (1965): The distribution of some noble metals in meteorites and natural materials. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **29**, 329–342, New York.
- BAILEY, M. E., WILKINSON, D. A. & WOLFENDALE A. W. (1987): Can episodic comet showers explain the 30-Myr cyclicity in the terrestrial record? – *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **227**, 863–885, London.
- BARKER, J. L. & ANDERS, E. (1968): Accretion rate of cosmic matter from iridium and osmium contents of deep-sea sediments. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **32**, 627–645, New York.
- BAYER, U. (1988): The modulated biostratigraphic timescale: another approach to periodic extinctions. – *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **1988**, 709–717, Stuttgart.
- BAYER, U. & MCGHEE, G. R. (1986): Cyclic patterns in the Paleozoic and Mesozoic: Implications for time scale calibrations. – *Paleoceanography*, **1**, No. 4, 383–402.
- BERGGREN, W. A. & COVERING, VAN J. A. (Hrsg.) (1984): *Catastrophes and Earth History*. – Princeton (University Press).
- BIRKELUND, T. & BROMLEY, R. G. (Hrsg.) (1979): *Cretaceous–Tertiary Boundary Events*. vol. 1: The Maastrichtian and Danian of Denmark. – 210 S., University of Copenhagen, Copenhagen.
- BOHOR, B. F. (1988): Shocked quartz and more: Impact signatures in K–T boundary clays and claystones. – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 17–18, Houston.
- BOHOR, B. F. & IZETT, G. A. (1986): Worldwide size distribution of shocked quartz at the K/T boundary: Evidence for a North American impact site. – *Lun. Planet. Sci.*, **17**, 68–69, Houston.
- BOHOR, B. F., FOORD, E. E., MODRESKI, P. J. & TRIPLEHORN, D. M. (1984): Mineralogic evidence for an impact event at the Cretaceous–Tertiary boundary. – *Science*, **224**, 867–968, Washington.
- BOHOR, B. F., TRIPLEHORN, D. M., NICHOLS, D. J. & MILLARD, H. T. (1987): Dinosaurs, spherules, and the „magic“ layer: A new K–T boundary clay site in Wyoming. – *Geology*, **15**, 896–899, Boulder.
- BRANDNER, R. (1988): The Permian-Triassic boundary in the Dolomites (Southern Alps, Italy), San Antonio section. – In: Excursion Guide IGCP Project 199 „Rare Events in Geology“, 49–56, Ber. Geol. B.-A., **15**, Wien.
- BUCKLAND, W. (1823): *Reliquiae Diluvianae*. – London (Murray).
- BUNCH, T. E. (1968): Some characteristics of selected minerals from craters. – In: SHORT, N. M. (Hrsg.): *Shock metamorphism of natural materials*, 413–432, Baltimore (Mono Book).
- BURGEON, J., HANSEN, T. A., WIBERG, P. L. & KAUFFMAN, E. (1988): A tsunami deposit at the Cretaceous–Tertiary boundary in Texas. – *Science*, **241**, 567–570, Washington.
- BURNS, S. A. (1989): Timing between a large impact and a geomagnetic reversal and the depth of NRM acquisition in deep-sea sediments. – In: F. J. LOWES et al. (Eds.): *Geomagnetism and Paleomagnetism*, 253–261, Kluwer Academic Publishers.
- CHAPMAN, C., R. & MORRISON, D. (1988): Risk to civilisation: A planetary science perspective. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 26–27, Houston.
- CISOWSKI, S. M. (1988): Magnetic properties of K/T and E/O microspherules: Origin by combustion? – *Earth and Planet. Science Lett.*, **88**, 193–208, Amsterdam.
- COURTILLOT, V. & BESSE, J. (1987): Magnetic field reversals, polar wander, and core mantle coupling. – *Science*, **237**, 1140–1144, Washington.
- COURTILLOT, V., BESSE, J., VANDAMME, D., MONTIGNY, R., JAEGER, J. J. & CAPPETTA, J. (1986): Deccan flood basalts at the Cretaceous–Tertiary boundary. – *Earth Plan. Sci. Lett.*, **80**, 361–374, Amsterdam.
- COURTILLOT, V., VANDAMME, D., BESSE, J. & JAEGER, J. J. (1988): Deccan volcanism at the Cretaceous–Tertiary Boundary. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 31–32, Houston.
- COVEY, C., GHAN, S. J. & WEISSMAN, P. R. (1988): Global environmental effects of impact-generated aerosols: Results from a general circulation model. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 33, Houston.
- CROCKET, J. H. & KUO, H. Y. (1979): Sources for gold, palladium and iridium in deep-sea sediments. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **43**, 831–842, New York.
- CROCKET, J. H., OFFICER, C. B., WEZEL, W. C. & JOHNSON, G. D. (1988): Distribution of noble metals across the Cretaceous/Tertiary boundary at Gubbio, Italy. – *Geology*, **16**, 77–80, Boulder.
- CROFT, S. K. (1982): A first-order estimate of shock heating and vaporization in oceanic impacts. – *Geol. Soc. Amer., Spec. Pap.* **190**, 143–152, Boulder.
- CRONIN, J. R. (1989): Amino acids and bolide impacts. – *Nature*, **339**, 423–424, London.
- CROWLEY, T. J. (1988): Abrupt climate change and extinction events. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 36–37, Houston.
- CROWLEY, T. J. & NORTH, G. R. (1988): Abrupt climate change and extinction events in Earth history. – *Science*, **240**, 996–1002, Washington.
- CUVIER, G. (1825): *Discours sur les Révolutions de la surface du globe et sur les changements qu'elles ont produites dans le Règne Animal*. – Paris (Dufour et d'Ocagne).
- DAVIS, M., HUT, P. & MULLER, R. A. (1984): Extinction of species by periodic comet showers. – *Nature*, **308**, 715–717, London.

- DELANEY, M. L. (1989): Extinctions and carbon cycling. – *Nature*, **337**, 18–19, London.
- DELSEMMÉ, A. H. (1982) in: L. L. WILKENING (Hrsg.): *Comets*. – 85–130, Tucson (Arizona Press).
- DEPAOLO, D. J., KYTE, F. T., MARSHALL, B. D., O'NEIL, J. R. & SMIT, J. (1983): Rb–Sr, Sm–Nd, K–Ca, O and H isotopic study of Cretaceous–Tertiary boundary sediments, Caravaca, Spain: Evidence for an oceanic impact site. – *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **64**, 356–373, Amsterdam.
- DESILVA, S. L. & SHARPTON, V. L. (1988): Explosive volcanism, shock metamorphism and the K–T Boundary. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 38–39, Houston.
- DHONDĚ, A. V. (1983): Campanian and Maastrichtian inoceramids: A review. – *Zitteliana*, **10**, 689–701.
- DIETZ, R. S. (1961): *Astroblemes*. – *Scientific American*, 50–58, Washington.
- DIETZ, R. S. & MCHONE, J. F. (1988): Shatter cones: Criterion for Astroblems. – *Eos Trans. AGU*, **69**, No. 44, 1290, Washington.
- EHRlich, P. R., HARTE, J., HARWELL, M. A., RAVEN, P. H., SAGAN, C. & WOODWELL, M., BERRY, J., AYENSU, E. S., EHRlich, A. N., EISNER, T., GOULD, S. J., GROVER, H. D., HERRERA, R., MAY, R. M., MAYR, E., MCKAY, C. P., MOONEY, H. A., MYERS, N., PIMENTEL, D. & TEAL, J. M. (1983): Long-term biological consequences of nuclear war. – *Science*, **222**, 1293–1300, Washington.
- EHRlich, P. R., SAGAN, C., KENNEDY, D. & ROBERTS, W. O. (1984): *The Cold and the Dark: The World after nuclear war*. – New York (W. W. Norton).
- EHMANN, W. D. (1965): On some tantalum abundances in meteorites and tektites. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **29**, 43–48, New York.
- EMILIANI, C., KRAUS, E. B. & SHOEMAKER, E. M. (1981): Sudden death at the end of the Mesozoic. – *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **55**, 317–334, Amsterdam.
- EUGSTER, O., GEISS, J. & KRÄHENBÜHL, U. (1981): Noble gas isotopic abundances and noble metal concentrations in sediments from the Cretaceous–Tertiary boundary. – *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **74**, 27–34, Amsterdam.
- FENNER, F. D. & PRESLEY, B. J. (1984): Iridium in Mississippi river suspended matter and Gulf of Mexico sediment. – *Nature*, **312**, 260–262, London.
- FINNEGAN, D. L., ZOLLER, W. H. & MILLER, T. M. (1988): Iridium emissions from Hawaiian volcanoes. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 48, Houston.
- FISCHER, A. G. & ARTHUR, M. A. (1977): Secular variations in the pelagic realm. – In: COOK, H. E. & ENOS, P. (Hrsg.): *Deep-water carbonate environments*. – Soc. Econ. Paleont. and Mineralogists, Sp. Publ. **25**, 19–50, Tulsa.
- FLESSA, K. W., ERBEN, H. K., HALLAM, A., HSÜ, K. J., HÜSSNER, H. M., JABLONSKI, D., RAUP, D. M., SEPKOSKI, J. J., SOULÉ, M. E., SOUSA, W., STINNESBECK, W. & VERMEIJ, G. J. (1986): Causes and consequences of extinction. – In: RAUP, D. M. & JABLONSKI, D. (Hrsg.): *Patterns and processes in the history of life*, 235–257. – Berlin (Springer).
- FRENCH, B. M. & SHORT, N. M. (1968): Shock metamorphism of natural materials. – 644 S., Baltimore (Mono Book).
- GANAPATHY, R. (1980): A major meteorite impact on the Earth 65 million years ago: Evidence from the Cretaceous–Tertiary boundary clay. – *Science*, **209**, 921–923, Washington.
- GANAPATHY, R., GARTNER, S. & JIANG, M.-J. (1981): Iridium anomaly at the Cretaceous–Tertiary boundary in Texas. – *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **54**, 393–396, Amsterdam.
- GAULT, D. E. & SONETT, C. P. (1982): Laboratory simulation of pelagic asteroidal impact: Atmospheric injection, benthic topography, and the surface wave radiation field. – *Geol. Soc. Amer., Spec. Pap.*, **190**, 69–92, Boulder.
- GAULT, D. E., SONETT, C. P. & WEDEKIND, J. A. (1979): Tsunami generation by pelagic planetoid impact. – *Abstract Lunar Plan. Sci. Conf.*, No. **10**, LPI, 422–424, Houston.
- GILMOUR, I. & ANDERS, E. (1988): Evidence for a single impact at the Cretaceous–Tertiary boundary from trace elements. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 56–57, Houston.
- GILMOUR, I. & ANDERS, E. (1989): Cretaceous–Tertiary boundary event: Evidence for a short time scale. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **53**, 503–511, New York.
- GILMOUR, I. & GUENTHER, F. (1988): The global Cretaceous–Tertiary fire: Biomass or fossil carbon? – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 60–61, Houston.
- GILMOUR, I., WOLBACH, W. S. & ANDERS, E. (1988): Global fire at the Cretaceous–Tertiary boundary. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 62, Houston.
- GLASS, B. P. (1984): Multiple microtektite horizons in Upper Eocene marine sediments? – *Science*, **224**, 309–310, Washington.
- GLASS, B. P. (1986): Late eocene microtektites and clinopyroxene-bearing spherules. In: POMEROL, C. & PREMOLI-SILVA, R. (Eds.): *Terminal Eocene Events*, 395–401, Amsterdam (Elsevier).
- GLASS, B. P. (1988): Late Eocene impact events recorded in deep-sea sediments. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 63–64, Houston.
- GLASS, B. P. & BURNS, C. A. (1987): Late Eocene crystal-bearing spherules: Two layers or one? – *Meteoritics*, **22**, 265–279.
- GLASS, B. P., SWINCKI, M. B. & ZWART, P. A. (1979): Australasian, Ivory Coast, and North American tektite strewnfields: Size, mass and correlation with geomagnetic reversals and other Earth events. – *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf.*, **10**, 2535–2545, New York (Pergamon Press).
- GLASS, B. P. & ZWART, M. J. (1979): North American microtektites in Deep Sea Drilling Project cores from the Caribbean Sea and Gulf of Mexico. – *Geol. Soc. Amer., Bull.*, **90**, 595–602, Boulder.
- GLASS, B. P., BURNS, C. A., CROSBIE, J. R. & DUBOIS, D. L. (1985): Late Eocene North-American microtektites and clinopyroxene-bearing spherules. – *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf.*, **16**, 175–196, New York.
- GLASS, B. P., SENFTLE, F. E., MUENOW, D. W., AGGREY, K. E. & THORPE, A. N. (1987): Atomic bomb glass beds: Tektite and microtektite analogs. – In: *Second International Conference on Natural Glasses*, 361–369, Prague.
- GOLEBIEWSKI, R. & BRAUNSTEIN, R. E. (1988): A Triassic–Jurassic boundary section in the Northern Calcareous Alps (Austria). – In: IGCP Project 199 „Rare Events in Geology“, *Ber. Geol. B.-A.*, **15**, S. 8, Wien.
- GRATZ, A. & KURAT, G. (1988): Good news from Köfels (Austria): Abundant lamellae in quartz. – In: IGCP Project 199 „Rare Events in Geology“, *Ber. Geol. B.-A.*, **15**, S. 9, Wien.
- GRIEVE, R. A. F. (1982): The record of impact on Earth: Implications for a major Cretaceous/Tertiary impact event. – *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* **190**, 25–37, Boulder.
- GRIEVE, R. A. F. & ROBERTSON, P. B. (1987): Terrestrial impact structures. – *Episodes*, **10**, S. 86, Ottawa.
- GRUSZCZYNSKI, M., HALAS, S., HOFFMAN, A. & MALINOWSKI, K. (1989): A brachiopod calcite record of the oceanic carbonate and oxygen isotope shifts at the Permian/Triassic transition. – *Nature*, **337**, 64–68, London.
- HALLAM, A. (1987): End-Cretaceous mass extinction event: Argument for terrestrial causation. – *Science*, **238**, 1237–1242, Washington.
- HALLAM, A. (1988): A compound scenario for the end-Cretaceous mass extinctions. – *Rev. Española Paleontol. No. Extraordinario: Palaeontology and Evolution: Extinction Events*, 7–20, Oviedo.
- HANSEN, H. J., GWOZDZ, R., BROMLEY, R. G., RASMUSSEN, K. L., VOGENSEN, E. B. & PEDERSEN, K. R. (1986): Cretaceous–Tertiary boundary spherules from Denmark, New Zealand and Spain. – *Bull. Geol. Soc. Denmark*, **35**, 75–82, Copenhagen.
- HANSEN, H. J., HONGFU-YIN & VOGENSEN, E. (1987): The spherules at the Chinese Permo–Triassic boundary of terrestrial origin. – In: *Final conference on Permo–Triassic events of*

- east Tethys region and their intercontinental correlations, S. 8, Beijing.
- HANSEN, H. J., GWOZDZ, R. & RASMUSSEN, K. L. (1988): High-resolution trace element chemistry across the Cretaceous-Tertiary boundary in Denmark. – *Rev. Española Paleontol.*, No. Extraordinario: Palaeontology and Evolution: Extinction Events, 21–29, Oviedo.
- HAZEL, J. E. (1988): How many Upper Eocene microspherule layers? More than we thought. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 72–73, Houston.
- HENNIG, E. (1932): *Wesen und Wege der Paläontologie*. – Berlin.
- HILDEBRAND, A. R. & BOYNTON, W. F. (1988a): Impact wave deposits provide new constraints on the location of the K/T boundary impact. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 76–77, Houston.
- HILDEBRAND, A. R. & BOYNTON, W. F. (1988b): Provenance of the K/T boundary layers. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 78–79, Houston.
- HOFFMAN, A. (1984): Mass extinctions: More publicity than progress? – *Zentralbl. Geol. Paläont. II*, **1984**, 211–224, Stuttgart.
- HOFFMAN, A. (1985): Periodicity of extinctions. – *Science*, **230**, 8, Washington.
- HOFFMAN, A. (1989): Mass extinctions: the view of a sceptic. – *Journ. Geol. Soc. London*, **146**, 21–35, London.
- HOFFMAN, A. & GHIOLD, J. (1985): Randomness in the pattern of „mass extinctions“ and „waves of origination“. – *Geol. Magazine*, **122**, 1–4, London.
- HOLLAND, H. D., LAZAR, B. & MCCAFFREY, M. (1986): Evolution of the atmosphere and oceans. – *Nature*, **320**, 27–33, London.
- HOLSER, W. T. (1984): Gradual and abrupt shifts in ocean chemistry during Phanerozoic time. – In: H. D. HOLLAND & A. G. TRENDALL (Hrsg.): *Patterns of change in Earth evolution*, 123–143, Berlin (Springer).
- HOLSER, W. T. & MAGARITZ, M. (1985): Late Permian carbon isotope anomaly in the Bellerophon Basin, Carnic and Dolomite Alps. – *Jb. Geol. B.-A.*, **128**, 75–82, Wien.
- HOLSER, W. T. & MAGARITZ, M. (1987): Events near the Permian-Triassic boundary. – *Modern Geology*, **11**, 155–180, London.
- HOLSER, W. T. & SCHÖNLAUB, H. P. (1988): New insights on the Permian-Triassic boundary event from core Gartnerkofel-1 (Carnic Alps, Austria). – In: Abstracts IGCP Project 199 „Rare Events in Geology“, *Ber. Geol. B.-A.*, **15**, S. 11, Wien.
- HOLSER, W. T., MAGARITZ, M. & WRIGHT, J. (1986a): Chemical and isotopic variations in the world ocean during Phanerozoic time. – In: O. H. WALLISER (Hrsg.): *Lecture Notes in Earth Sciences*, **8**, Global Bio-Events, 63–74, Berlin (Springer).
- HOLSER, W. T., MAGARITZ, M. & CLARK, D. L. (1986b): Carbon-isotope stratigraphic correlations in the Late Permian. – *Amer. Journ. Science*, **286**, 390–402.
- HOLSER, W. T. und 14 Autoren (1989): A unique geochemical record at the Permian/Triassic boundary. – *Nature*, **337**, 39–44, London.
- HSÜ, K. J. und 19 Autoren (1982): Mass mortality and its environmental and evolutionary consequences. – *Science*, **216**, 249–256, Washington.
- HSÜ, K. J., OBERHÄNSLI, H., GAO, J. Y., SUN SHU, CHEN HAIHONG & KRÄHENBÜHL, U. (1985): „Strangelove ocean“ before the Cambrian explosion. – *Nature*, **316**, 809–811, London.
- HUGHES, D. H. (1978) in: J. A. McDONNELL (Hrsg.): *Cosmic Dust*, S. 123. – Chichester (J. Wiley).
- IZETT, G. A. (1987): The Cretaceous-Tertiary (K-T) boundary interval, Raton Basin, Colorado and New Mexico, and its content of shock-metamorphosed minerals: Implications concerning the K-T boundary impact-extinction theory. – *U. S. Geol. Survey Open-File Rept.*, **87-606**, 1–125, Washington.
- IZETT, G. A. (1988): The Western North American Cretaceous-Tertiary (K-T) boundary interval and its content of shock-metamorphosed minerals: Implications concerning the K-T boundary impact-extinction theory. – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 83–84, Houston.
- JABLONSKI, D. (1986): Background and mass extinctions: The alternation of macroevolutionary regimes. – *Science*, **231**, 129–133, Washington.
- JAEGER, H. (1986): Die Faunenwende Mesozoikum/Känozoikum – nüchtern betrachtet. – *Zeitschr. für Geol. Wissenschaften*, **14**, 629–656, Berlin.
- KASTNER, M., ASARO, F., MICHEL, H. V. ALVAREZ, W. & ALVAREZ, L. W. (1984): The precursor of the Cretaceous-Tertiary boundary clays at Stevns Klint, and DSDP Hole 465A. – *Science*, **226**, 137–143, Washington.
- KAUFFMAN, E. G. (1979): The ecology and biogeography of the Cretaceous-Tertiary extinction event. – In: K. CHRISTENSEN & T. BIRKELUND (Hrsg.): *Cretaceous-Tertiary boundary events*, 29–37, Bd. 2, Kopenhagen (University of Copenhagen).
- KAUFFMAN, E. G. (1984): The fabric of Cretaceous marine extinctions. – In: W. A. BERGGREN & J. A. VAN COUVERING (Hrsg.): *Catastrophes and Earth History*, 151–246, Princeton (Princeton University Press).
- KAUFFMAN, E. G. & WALLISER, O. H. (1988): Global bioevents: Abrupt changes in the global biota. – *Episodes*, **11**, 289–291, Ottawa.
- KELLER, G. (1988a): Extended period of K/T boundary mass extinction in the marine realm. – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 88–89, Houston.
- KELLER, G. (1988b): Extinction, survivorship and evolution of planctic foraminifera across the Cretaceous/Tertiary Boundary at El Kef, Tunisia. – *Marine Micropaleontology*, **13**, 239–263, Amsterdam.
- KELLER, G., D'HONDT, S. & VALLIER, T. L. (1983): Multiple microtektite horizons in Upper Eocene marine sediments: No evidence for mass extinctions. – *Science*, **22**, 150–152, Washington.
- KING, E. A. (1977) in: *American Scientist*, **64**, 212–218.
- KITCHELL, E. A. & PENA, D. (1984): Periodicity of extinction in the geological past: Deterministic versus stochastic explanations. – *Science*, **226**, 689–692, Washington.
- KOEBERL, C. (1988): Volcanic ash layers in blue ice fields (Beardmore glacier area, Antarctica): Iridium enrichments. – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 93–94, Houston.
- KOEBERL, C. (1989): Iridium enrichment in volcanic dust from blue ice fields, Antarctica, and possible relevance to the K/T boundary event. – *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **92**, 317–322, Amsterdam.
- KOEBERL, C. & HAGEN, E. H. (1989): Extraterrestrial spherules in glacial sediment from the Transantarctic Mountains, Antarctica: Structure, mineralogy, and chemical composition. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **53**, 937–944, New York.
- KYTE, F. T. & RASMUSSEN, K. L. (1982): Sanidine spherules in a Pacific K/T boundary. – *Meteoritics*, **17**, 239–240.
- KYTE, F. T. & SMIT, J. (1986): Regional variations in spinel composition: An important key to the Cretaceous/Tertiary event. – *Geology*, **14**, 485–487, Boulder.
- KYTE, F. T. & WASSON, J. T. (1986): Accretion rate of extraterrestrial matter: Iridium deposited 33 to 67 Million years ago. – *Science*, **232**, 1225–1229, Washington.
- KYTE, F. T., ZHOU, Z. & WASSON, J. T. (1980): Siderophile-enriched sediments from the Cretaceous-Tertiary boundary. – *Nature*, **288**, 651–656, London.
- KYTE, F. T., SMIT, J. & WASSON, J. T. (1985): Siderophile interelement variations in the Cretaceous-Tertiary boundary sediments from Caravaca, Spain. – *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **73**, 183–195, Amsterdam.
- LAHODYNSKY, R. (1987): The K/T boundary in the flyschoid Gosau sections of Gosau (Elendgraben) and Gams (Knappegraben), Austria. – Abstract Intern. Conf. on Paleontology and Evolution: Extinction Events, Soc. Españ. de Paleontol., *Jornadas de Paleontología*, S. 211, Leioa.

- LAHODYNSKY, R. (1988a): Lithostratigraphy and sedimentology across the Cretaceous/Tertiary boundary in the Flyschgo-sau (Eastern Alps, Austria). – *Rev. Españ. de Paleontol.*, No. Extraordinario, Paleontology and Evolution: Extinction Events, 73–82, Oviedo.
- LAHODYNSKY, R. (1988b): Bericht 1983–1987 über geologische Aufnahmen im Rahmen der Suche nach der Kreide/Tertiär-Grenze (Grundlagenforschung). – *Jb. Geol. B.-A.*, **131**, 485–488, Wien.
- LIPMAN, P. L. (1988): Catastrophic volcanism. – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 104–105, Houston.
- LOPER, D. E. & BUZYNA, G. (1988): A model of correlated episodicity in magnetic field reversals, climate, and mass extinctions. – *J. Geol.*, **96**, 1–16.
- LOPER, D. E. & MCCARTNEY, K. (1986): Mantle plumes and periodicity of magnetic field reversals. – *Geophys. Res. Lett.*, **13**, 1525–1528.
- LOPER, D. E. & MCCARTNEY, K. (1988): Shocked quartz found at the K/T boundary. – *Eos Trans. AGU*, **69**, No. 42, 961–972, Washington.
- MAGARITZ, M., HOLSER, W. T. & KIRSCHVINK, J. L. (1986): Carbon-isotope events across the Precambrian/Cambrian boundary on the Siberian platform. – *Nature*, **320**, 258–259, London.
- MARSHALL, H. T. (1928): Ultra-violet and extinction. – *American Naturalist*, **62**, 165–187.
- MACDONALD, G. A. (1972): *Volcanoes*, S. 510. – Englewood Cliffs (Prentice Hall).
- MACDOUGALL, J. D. (1988): Seawater strontium isotopes, acid rain, and the Cretaceous–Tertiary boundary. – *Science*, **239**, 485–487, Washington.
- MAY, R. M. (1988): How many species are there on Earth? – *Science*, **241**, 1441–1449, Washington.
- McHONE, J. F. & DIETZ, R. S. (1988): Shatter cones: Diagnostic impact signatures. – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 118–119, Houston.
- McHONE, J. F., NIEMAN, R. A., LEWIS, C. F. & YATES, A. M. (1989): Stishovite at the Cretaceous–Tertiary Boundary, Raton, New Mexico. – *Science*, **243**, 1182–1184, Washington.
- MCKINNEY, M. L. (1987): Extinction periodicity through random processes: The „rebound effect“. – *Geol. Soc. Amer. Abstracts with Program*, **19**, 767, Boulder.
- MCKINNON, W. B. (1982): Impact into the Earth's ocean floor: Preliminary experiments, a planetary model, and possibilities for detection. – *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, **190**, 129–142, Boulder.
- MCLAREN, D. J. (1970): Time, life, and boundaries. – *J. Paleontol.*, **44**, 301–315, Tulsa.
- MCLAREN, D. J. (1982): Frasnian–Famennian extinctions. – *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, **190**, 477–484, Tulsa.
- MCLAREN, D. J. (1983): Bolides and biostratigraphy. – *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **94**, 313–324, Boulder.
- MCLAREN, D. J. (1984): Abrupt extinctions. – *Terra Cognita*, **4**, 27–32.
- MCLAREN, D. J. (1988): Detection and significance of mass killings. – In: McMILLAN, N. J., EMBRY, A. F. & GLASS, D. J. (Eds.): *Devonian of the World*, vol. III, 1–7.
- MCLEAN, D. M. (1982): Deccan volcanism and the Cretaceous–Tertiary transition scenario: A unifying causal mechanism. – *Syllogeus*, **39**, S. 143.
- MCLEAN, D. M. (1983): Mantle degassing, Williams–Riley „pump“ disruption, carbon cycle perturbation in the K–T transition. – *Abstract Eos Trans. AGU*, **64**, 245, Washington.
- MCLEAN, D. M. (1985): Deccan traps mantle degassing in the terminal Cretaceous marine extinctions. – *Cretaceous Research*, **6**, 235–259.
- MELOSH, H. J. (1982): The mechanics of large meteoroid impacts in the Earth's oceans. – *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, **190**, 121–127, Boulder.
- MONTANARI, A. (1986): Spherules from the Cretaceous/Tertiary boundary clay at Gubbio, Italy: The problem of outcrop contamination. – *Geology*, **14**, 1024–1026, Boulder.
- MONTANARI, A., HAY, R. L., ALVAREZ, W., ASARO, F., MICHEL, H. V. & ALVAREZ, L. W. (1983): Spheroids at the Cretaceous–Tertiary boundary are altered impact droplets of basaltic composition. – *Geology*, **11**, 668–671, Boulder.
- MORGAN, W. J. (1986): Flood basalts and mass extinctions. – *Abstracts Eos, Trans AGU*, **67**, No. 16, 391, Washington.
- MORGAN, W. J. (1988): Flood basalts and mass extinctions. – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 126, Houston.
- MOUNT, J. F., MARGOLIS, S. V., SHOWERS, W., WARD, P. & DOEHNE, E. (1986): Carbon and oxygen isotope stratigraphy of the Upper Maastrichtian, Zumaya, Spain: A record of oceanographic and biologic changes at the end of the Cretaceous Period. – *Palaeos*, **1**, 87–91, Tulsa.
- MULLER, R. A. (1988): Astrophysical implications of periodicity. – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 127, Houston.
- MURALI, A. V., SCHURAYTZ, B. C. & PAREKH, P. P. (1988): Deccan volcanism and K-T boundary signatures. – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 128–129, Houston.
- NASLUND, H. R., OFFICER, C. B. & JOHNSON, G. D. (1986): Microspherules in Upper Cretaceous and Lower Tertiary clay layers at Gubbio, Italy. – *Geology*, **14**, 923–926, Boulder.
- NELSON, J. (1989): Fractality of sooty smoke: Implications for the severity of nuclear winter. – *Nature*, **339**, 611–613, London.
- NEWELL, N. D. (1962): Paleontological gaps and geochronology. – *J. Paleontol.*, **36**, 592–610, Tulsa.
- NEWELL, N. D. (1967): Revolutions in the history of life. – *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, **89**, 63–91, Tulsa.
- NEWELL, N. D. (1982): Mass extinctions – illusions or realities? – *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, **190**, 257–263, Boulder.
- NICHOLS, D. J., JARZEN, D. M., ORTH, C. J. & OLIVER, P. Q. (1986): Palynological and iridium anomalies at Cretaceous–Tertiary boundary, south-central Saskatchewan. – *Science*, **231**, 714–717, Washington.
- NITECKI, M. H. (Hrsg.) (1984): *Extinctions*. – Chicago (University of Chicago Press).
- OFFICER, C. B. & DRAKE, C. L. (1983): The Cretaceous–Tertiary transition. – *Science*, **219**, 1383–1390, Washington.
- OFFICER, C. B. & DRAKE, C. L. (1985): Terminal Cretaceous environmental events. – *Science*, **227**, 1161–1167, Washington.
- OFFICER, C. B. & DRAKE, C. L. (1988): Cretaceous/Tertiary findings, paradigms and problems. – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 132, Houston.
- OFFICER, C. B., HALLAM, A., DRAKE, C. L. & DEVINE, J. D. (1987): Late Cretaceous and paroxysmal Cretaceous/Tertiary extinctions. – *Nature*, **326**, 143–149, London.
- O'KEEFE, J. D. & AHRENS, T. J. (1982): The interaction of the Cretaceous/Tertiary extinction bolide with the atmosphere, ocean, and solid Earth. – *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, **190**, 103–120, Boulder.
- O'KEEFE, J. D. & AHRENS, T. J. (1989): Impact production of CO₂ by the Cretaceous/Tertiary extinction bolide and the resultant heating of the Earth. – *Nature*, **338**, 247–249, London.
- O'KEEFE, J. D., AHRENS, T. J. & KOSCHNY, D. (1988): Environmental effects of large impacts on the Earth ... Relation to extinction mechanism. – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 133–134, Houston.
- OLMEZ, I., FINNEGAN, D. L. & ZOLLER, W. H. (1986): Iridium emissions from Kilauea volcano. – *Journ. Geophys. Res.*, **91**, 653–663.
- ORTH, C. J. & ATTREP, M. (1988): Iridium abundance measurements across bio-event horizons in the geologic record. – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 139–140, Houston.
- ORTH, C. J., GILMORE, J. S., KNIGHT, J. D., PILLMORE, C. L., TSCHUDY, R. H. & FASSETT, J. E. (1981): An iridium abundance anomaly at the palynological Cretaceous–Tertiary boundary in northern New Mexico. – *Science*, **214**, 1341–1343, Washington.
- ORTH, C. J., GILMORE, J. S. & KNIGHT, J. D. (1987): Iridium anomaly at the Cretaceous–Tertiary boundary in the Raton Ba-

- sin. – In: LUCAS, S. G. & HUNT, A. P. (Hrsg.): New Mexico Geological Society Guidebook, 265–270, University of New Mexico Printing Plant.
- ORTH, C. J., ATTREP, M. & QUINTANA, L. R. (1989): Iridium abundance measurements across bio-event horizons in the fossil record. – Proc. Conf. on Global Catastrophes in Earth History, Snowbird, Utah (in Druck).
- PAL, P. L. & CREER, K. M.: (1986): Geomagnetic reversal spurts and episodes of extraterrestrial catastrophism. – *Nature*, **320**, 148–150, London.
- PATTERSON, C. & SMITH, A. B. (1987): Is the periodicity of extinctions a taxonomic artefact? – *Nature*, **330**, 248–251, London.
- PERCH-NIELSEN, K., MCKENZIE, J. A. & HE, Q. (1982): Biostratigraphy and isotope stratigraphy and the „catastrophic“ extinction of calcareous nannoplankton at the Cretaceous/Tertiary boundary. – *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, **190**, 353–372, Boulder.
- PREISINGER, A. & STRADNER, H. (1986): Massenaussterben vor 66,7 Millionen Jahren. – *Geowissenschaften in unserer Zeit*, **4**, 1986, 116–121, Weinheim.
- PREISINGER, A., ZOBETZ, E., GRATZ, A. J., LAHODYNSKY, R., BEKKE, M., MAURITSCH, H. J., EDER, G., GRASS, F., RÖGL, F., STRADNER, H. & SURENIAN, R. (1986): The Cretaceous/Tertiary boundary in the Gosau Basin, Austria. – *Nature*, **332**, 794–799.
- PRINN, R. G. & FEGLEY, B. (1987): Bolide impacts, acid rain, and biospheric traumas at the Cretaceous/Tertiary boundary. – *Earth and Plan. Sci. Lett.*, **83**, 1–15, Amsterdam.
- PRINN, R. G. & FEGLEY, B. (1988): Biospheric traumas caused by large impacts and predicted relics in the sedimentary record. – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 145, Houston.
- QUINN, J. F. (1983): Mass extinctions in the fossil record: A discussion. – *Science*, **219**, 1239–1240, Washington.
- QUINN, J. F. (1987): On the statistical detection of cycles in extinctions in the marine fossil record. – *Paleobiology*, **13**, 465–478, Amsterdam.
- RAMPINO, M. R. (1982): A non-catastrophist explanation for the iridium anomaly at the Cretaceous/Tertiary boundary. – *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, **190**, 455–460, Boulder.
- RAMPINO, M. R. & STOTHERS, R. B. (1984): Geological rhythms and cometary impacts. – *Science*, **226**, 1427–1431, Washington.
- RAMPINO, M. R. & STOTHERS, R. B. (1986): Periodic flood-basalt eruptions, mass extinctions, and comet impacts. – Abstracts Eos Trans. AGU, **67**, No. 44, 1247, Washington.
- RAMPINO, M. R. & STOTHERS, R. B. (1988): Flood basalt volcanism during the past 250 Million years. – *Science*, **241**, 663–668, Washington.
- RAMPINO, M. R. & VOLK, I. (1988): Climatic changes resulting from mass-extinctions at the K/T boundary (and other bio-events?). – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 147, Houston.
- RAUP, D. M. (1985): Magnetic reversals and mass extinctions. – *Nature*, **314**, 341–343, London.
- RAUP, D. M. (1986): Biological extinction in Earth history. – *Science*, **231**, 1528–1533, Washington.
- RAUP, D. M. & BOYAJIAN, G. E. (1988): Patterns of generic extinction in the fossil record. – *Paleobiology*, **14**, 1988, 109–125, Amsterdam.
- RAUP, D. M. & SEPKOSKI, J. J. (1982): Mass extinctions in the marine record. – *Science*, **215**, 1501–1503, Washington.
- RAUP, D. M. & SEPKOSKI, J. J. (1984): Periodicity of extinctions in the geological past. – *Proc. Nat. Acad. of Sciences USA*, **812**, 801–805.
- RAUP, D. M. & SEPKOSKI, J. J. (1986): Periodic extinction of families and genera. – *Science*, **231**, 833–836, Washington.
- RAUP, D. M. & SEPKOSKI, J. J. (1988): Testing for periodicity of extinction. – *Science*, **241**, 94–96, Washington.
- RICE, A. R. (1985) in: *Geophysical Surveys*, **7**, 303–384.
- RICE, A. R. (1986): Explosive volcanism: A source of shocked minerals at the K/T boundary. – Abstracts Eos Trans. AGU, **67**, No. 16, 390–391, Washington.
- RICE, A. R. (1988): Dynamics of exploding magma chambers: Implications for K/T volcanism and mass extinctions. – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 154–155, Houston.
- RIGBY, J. K. Jr., NEWMAN, K. R., SMIT, J., VAN DER KAARS, S., SLOAN, R. E. & RIGBY, J. K. (1987): Dinosaurs from the Paleocene part of the Hell Creek Formation, McCone County, Montana. – *Palaios*, **2**, 296–302, Tulsa.
- RIGBY, J. K. Jr. & SLOAN, R. E. (1985): Dinosaur decline and eventual extinction near the Cretaceous/Tertiary boundary, Hell Creek Fm., Mt. – *Geol. Soc. Amer. Abstracts and Program*, **17**, 700, Boulder.
- RODDY, D. L., SCHUSTER, S. H., ROSENBLATT, M., GRANT, L. B., HASSIG, P. J. & KREYENHAGEN, K. N. (1988): Computer modeling of large asteroid impacts into continental and oceanic sites: Atmospheric, cratering, and ejecta dynamics. – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 158–159, Houston.
- ROMEIN, A. J. T. (1977): Calcareous nannofossils from the Cretaceous–Tertiary boundary interval in the Barranco del Gredero (Caravaca, Prov. Murcia, SE Spain). – *Proc. K. Ned. Akad. Wet., Ser. B.*, **80**, 256–279.
- RUSSEL, D. A. (1975): L'extinction des sauropsidés à la fin de l'ère secondaire: Une hypothèse. – *Colloque Intern. CNRS*, **2189**, S. 513, Paris.
- RUSSEL, D. A. (1979): The enigma of the extinction of the dinosaurs. – *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, **7**, 163–182.
- SANFILIPPO, A., RIEDEL, W. R., GLASS, B. P. & KYTE, F. T.: Late Eocene microtektites and radiolarian extinctions on Barbados. – *Nature*, **314**, No. 6012, 613–615, London.
- SCHIDLÓWSKI, M. (1984): Organic matter in sedimentary rocks: „The dust we tread on was once alive“. – *Terra Cognita*, **4**, 45–59.
- SCHINDEWOLF, O. H. (1954): Über die möglichen Ursachen der großen erdgeschichtlichen Faunenschnitte. – *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **1954**, 457–465, Stuttgart.
- SCHINDEWOLF, O. H. (1958): Zur Aussprache über die großen erdgeschichtlichen Faunenschnitte und ihrer Verursachung. – *N. Jb. Geol. Paläont., Mh.* **1958**, 270–279, Stuttgart.
- SCHMITZ, B. (1985): Metal precipitation in the Cretaceous–Tertiary boundary clay at Stevns Klint, Denmark. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **49**, 2361–2370, New York.
- SCHMITZ, B. (1988): Marine and continental K/T boundary clays compared. – Abstracts, LPI Contr. No. **673**, 164–165, Houston.
- SCHÖNLAUB, H. P., KLEIN, P., MAGARITZ, M., ORTH, C. & ATTREP, M. (1988): The D–C boundary event (360 Ma) in the Carnic Alps (Austria). – Abstracts IGCP Project 199 „Rare Events in Geology“, *Ber. Geol. B.-A.*, **15**, S. 24, Wien.
- SEPKOSKI, J. J. (1982): Mass extinction in the Phanerozoic oceans: A review. – *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* **190**, 283–289, Boulder.
- SEPKOSKI, J. J. (1986): Global bioevents and the question of periodicity. – In: WALLISER, O. H. (Hrsg.): *Global Bio-Events*, 47–61, Berlin (Springer Verlag).
- SEPKOSKI, J. J. (1989): Periodicity in extinction and the problem of catastrophism in the history of life. – *Journ. Geol. Soc. London*, **146**, 7–19, London.
- SHACKLETON, N. J. & HALL, M. A. (1984): Carbon isotope data from Leg 74 sediments. – In: MOORE, T. C., RABINOWITZ, P. D. et al. (Hrsg.): *Init. Repts. of the DSDP*, **74**, 613–619, Washington.
- SHARPTON, V. L., SCHURAYTZ, B. C., MURALI, A. V., RYDER, G. & BURKE, K. (1988): K–T impact(s): Continental, oceanic or both? – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 172–173, Houston.
- SHAW, H. F. & WASSERBURG, G. F. (1982): Age and provenance of the target materials for tektites and possible impactites as inferred from Sm–Nd and Rb–Sr systematics. – *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **60**, 155–177, Amsterdam.
- SHOEMAKER, E. M. (1984a): Acceptance of the G. K. Gilbert Award. – *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **95**, 1001–1002, Boulder.

- SHOEMAKER, E. M. (1984b): Large body impacts through geologic time. – In: HOLLAND, H. D. & TRENDALL, A. F. (Hrsg.): Patterns of Change in Earth Evolution, Dahlem-Konferenz Conference 1984, 15–40, Berlin – Tokyo (Springer).
- SHOEMAKER, E. M. & WOLFE, R. W. (1986): Mass extinctions, crater ages and comet showers. – In: SMOLUCHOWSKI, R. S., BAHCALL, J. N. & MATTHEWS, M. S. (Hrsg.): The Galaxy and the Solar System, 338–386. – Tucson (University of Arizona Press).
- SHOEMAKER, E. M., SHOEMAKER, C. S. & WOLFE, R. F. (1988): Asteroid and comet flux in the neighborhood of the Earth. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 174–176, Houston.
- SILVER, L. T. & SCHULTZ, P. H. (Hrsg.) (1982): Geological implications of impacts of large asteroids and comets on the Earth. – Geol. Soc. Amer. Spec. Pap., **190**, 1–528, Boulder.
- SIMKIN, T. (1988): Volcanoes and global catastrophes. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 179, Houston.
- SLOAN, R. E. (1987) in: Geol. Soc. Amer. Spec. Pap., **209**, 165–200, Boulder.
- SLOAN, R. E. (1988): Biostratigraphic case studies of six major extinctions. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 180–181, Houston.
- SLOAN, R. E., RIGBY, J. K. Jr., VAN VALEN, L. & GABRIEL, D. (1986): Gradual extinction of dinosaurs and the simultaneous radiation of ungulate mammals in the Hell Creek Formation of McCone County, Montana. – Science, **232**, 629–633, Washington.
- SMIT, J. (1982): Extinction and evolution of planktonic foraminifera at the Cretaceous/Tertiary boundary after a major impact. – Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. **190**, 329–352, Boulder.
- SMIT, J. (1985): Catastrophic events at the terrestrial Cretaceous–Tertiary (K/T) boundary. – Geol. Soc. Amer. Abstracts and Program, **17**, 720, Boulder.
- SMIT, J. & HERTOGEN, J. (1980): An extra-terrestrial event at the Cretaceous–Tertiary boundary. – Nature, **285**, 198–200, London.
- SMIT, J. & VAN DEN KAARS, S. (1984): Terminal Cretaceous extinctions in the Hell Creek area, Montana: compatible with catastrophic extinctions. – Science, **223**, 1177–1179, Washington.
- SMIT, J. & TEN KATE, W. G. H. Z. (1982): Trace element patterns at the Cretaceous–Tertiary boundary – consequences of a large impact. – Cretaceous Res., **3**, 307–332.
- SMIT, J. & KLAVER, G. (1981): Sanidine spherules at the Cretaceous–Tertiary boundary indicate a large impact event. – Nature, **292**, 47–49, London.
- SMIT, J. & KYTE, F. T. (1984): Siderophile-rich magnetic spheroids from the Cretaceous–Tertiary boundary in Umbria, Italy. – Nature, **310**, 403–405, London.
- SMIT, J. & ROMEIN, A. J. T. (1985): A sequence of events across the Cretaceous–Tertiary boundary. – Earth and Planet. Sci. Lett., **74**, 155–170, Amsterdam.
- SMIT, J., GROOT, H., DE JONGE, R. & SMIT, P. (1988): Impact and extinction signatures in complete Cretaceous–Tertiary (KT) boundary sections. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 182–183, Houston.
- STANLEY, S. M. (1984): Marine mass extinction: A dominant role for temperature. – In: M. H. NITECKI (Hrsg.): Extinctions, 69–117, Chicago (University of Chicago Press).
- STANLEY, S. M. (1986): Anatomy of a regional mass extinction: Plio–Pleistocene decimation of the Western Atlantic bivalve fauna. – Palaios, **1**, 17–36, Tulsa.
- STANLEY, S. M. (1987): Extinction. – 1–242, New York (W. J. Freeman).
- STANLEY, S. M. (1988): Krisen der Evolution: Aussterben in der Erdgeschichte. – 1–246, Heidelberg (Spektrum der Wiss. Verlagsgesellschaft).
- STARR, C. & WHIPPLE, C. (1980): Risks of risk decisions. – Science, **208**, 1114–1119, Washington.
- STOTHERS, R. B. (1986): Periodicity of the Earth's magnetic reversals. – Nature, **322**, 444–446, London.
- STOTHERS, R. B. (1988): Structure of Oort's comet cloud inferred from terrestrial impact craters. – The Observatory, **108**, 1–9, London.
- STOTHERS, R. B. (1989): Structure and dating errors in the geologic time scale and periodicity in mass extinction. – Geophys. Res. Lett., **16**, 119–122, Washington.
- STOTHERS, R. B., WOLFF, J. A., SELF, S. & RAMPINO, M. R. (1986): Basaltic fissure eruptions, plume heights, and atmospheric aerosols. – Geophys. Res. Lett., **13**, 725–728, Washington.
- STRADNER, H., BECKE, M., GRASS, F., LAHODYNSKY, R., MAURITSCH, H., PREISINGER, A., RÖGL, F., SURENIAN, R. & ZOBETZ, E. (1985): The Cretaceous–Tertiary boundary in the Gosau Formation of Austria. – Terra Cognita, **5**, 2–3, S. 247, Strasbourg.
- STRADNER, H., EDER, G., GRASS, F., LAHODYNSKY, R., MAURITSCH, H. J., PREISINGER, A., RÖGL, F., SURENIAN, R., ZEISSL, W. & ZOBETZ, E. (1987): New K/T boundary sites in the Gosau Formation of Austria. – Terra Cognita, **7**, 2–3, S. 212, Strasbourg.
- STRONG, C. P., BROOKS, R. R., WILSON, S. M., REEVES, R. D., ORTH, C. J., MAO, X.-Y., QUINTANA, L. R. & ANDERS, E. (1987): A new Cretaceous–Tertiary boundary site at Flaxbourne river, New Zealand: Biostratigraphy and geochemistry. – Geochim. Cosmochim. Acta, **51**, 2769–2777, New York.
- Suess, F. E. (1936): Der Meteor-Krater von Köfels bei Umhausen im Ötztale, Tirol. – N. Jb. Miner. Geol. Paläont., Beil., Bd. **72**, Abt. A., 98–155, Stuttgart.
- SURENIAN, R. (1988): Structural features and microanalyses of pumice from Köfels (Tyrol, Austria). – In: IGCP Project 199 „Rare Events in Geology“, Abstracts, 26. – Ber. Geol. B.-A., **15**, Wien.
- SURLYK, F. & JOHANSON, M. B. (1984): End-Cretaceous brachiopod extinctions in the chalk of Denmark. – Science, **223**, 1174–1177, Washington.
- TAYLOR, S. R. (1962): The chemical composition of australites. – Geochim. Cosmochim. Acta, **26**, 685–722, New York.
- TAYLOR, S. R. (1973): Tektites: A post-Apollo view. – Earth Sci., Rev., **9**, 101–123, Amsterdam.
- TEICHERT, C. (1987): Extinctions and extinctions. – Palaios, **2**, 411, Tulsa.
- THIERSTEIN, H. R. (1981): Late Cretaceous nannoplankton and the change at the Cretaceous–Tertiary boundary. – Soc. Econ. Paleont. Miner. Spec. Publ., **32**, 355–394, Tulsa.
- THIERSTEIN, H. R. (1982): Terminal Cretaceous plankton extinctions: A critical assessment. – Geol. Soc. Amer. Spec. Pap., **190**, 385–399, Boulder.
- THOMPSON, S. L. & CRUTZEN, P. J. (1988): Acute effects of a large bolide impact simulated by a global atmospheric circulation model. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 194, Houston.
- THOMSON, K. S. (1976): Explanation of large scale extinctions of lower vertebrates. – Nature, **261**, 578–580, London.
- TOON, O. B., POLLACK, J. B., ACKERMAN, T. P., TURCO, R. P., MCKAY, C. P. & LIU, M. S. (1982): Evolution of an impact-generated dust cloud and its effects on the atmosphere. – Geol. Soc. Amer. Spec. Pap., **190**, 187–200, Boulder.
- TREFIL, J. S. & RAUP, D. M. (1987): Numerical simulations and the problem of periodicity in the cratering record. – Earth and Planet. Sci. Lett., **82**, 159–164, Amsterdam.
- TREMAINE, S. D. (1986): Is there evidence for a solar companion star? – In: R. S. SMOLUCHOWSKI, J. N. BAHCALL & M. S. MATTHEWS (Hrsg.): The Galaxy and the Solar System, 409–416, Tucson (University of Arizona Press).
- TSCHUDY, R. H., PILLMORE, C. L., ORTH, C. J., GILMORE, J. S. & KNIGHT, J. D. (1984): Disruption of the terrestrial plant ecosystem at the Cretaceous–Tertiary boundary, Western Interior. – Science, **225**, 1030–1032, Washington.
- TURCO, R. P., TOON, O. B., ACKERMAN, T. P., POLLACK, J. B. & SAGAN, C. (1983): Nuclear Winter: Global consequences of multiple nuclear explosions. – Science, **222**, 1283–1292, Washington.

- VICKEREY, A. M. & MELOSH, H. J. (1988): Atmospheric erosion by impacts: An analytical investigation. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 204–205, Houston.
- VENKATESAN, M. I. & DAHL, J. (1989): Organic geochemical evidence for global fires at the Cretaceous/Tertiary boundary. – *Nature*, **338**, 57–60, London.
- WARD, P. D. & MACLEOD, K. (1988): Macrofossil extinction patterns at Bay of Biscay Cretaceous–Tertiary boundary sections. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 206–207, Houston.
- WARD, P. D. & WIEDMANN, J. (1983): The Maastrichtian ammonite succession at Zumaya, Spain. – Abstracts, Symposium on Cretaceous Stage boundaries, Copenhagen, 205–208, Copenhagen.
- WARD, P. D., WIEDMANN, J., MOUNT, J. F. (1986): Maastrichtian molluscan biostratigraphy and extinction pattern in a Cretaceous/Tertiary boundary section exposed at Zumaya, Spain. – *Geology*, **14**, 899–903, Boulder.
- WASSON, J. T. (1988): Tektites: Origin as melts produced by the impact of small projectiles onto dry targets. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 208, Houston.
- WASSON, J. T., BOYNTON, W. V., CHOU, C.-L. & BAEDEKER, P. A.: Compositional evidence regarding the influx of interplanetary materials onto the lower surface. – *The Moon*, **13**, 121–141, Dordrecht – Boston.
- WDOWIAK, T. J., DAVENPORT, S. A., JONES, D. D. & WDOWIAK, P. (1988): Heavy metal toxicity as a kill mechanism in impact caused mass extinctions. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 209–210, Houston.
- WEINER, C. (1987): Planet Erde. Schicksal und Zukunft der Erde. – 1–382, München (Verlag Droemer Knaur).
- WEISSMAN, P. R. (1982): Terrestrial impact rates for long and short-period comets. – *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, **190**, 15–24, Boulder.
- WEISSMAN, P. R. (1988): The cometary and asteroidal impactor flux at the Earth. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 211–212, Houston.
- WETHERILL, G. W. & SHOEMAKER, E. M. (1982): Collision of astronomically observable bodies with the Earth. – *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, **190**, 1–13, Boulder.
- WIEDMANN, J. (1986): Macro-invertebrates and the Cretaceous–Tertiary boundary. – In: O. H. WALLISER (Hrsg.): *Global Bio-Events*, 397–409, Berlin (Springer Verlag).
- WIEDMANN, J. (1988): Ammonoid extinction and the „Cretaceous–Tertiary boundary event“. – In: J. WIEDMANN & J. KULLMANN (Hrsg.): *Cephalopods – Present and Past*, 117–140. – Stuttgart (Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- WOLBACH, W. S., LEWIS, R. S. & ANDERS, E. (1985): Cretaceous extinctions: Evidence for wildfires and search for meteoritic material. – *Science*, **230**, 167–170, Washington.
- WOLBACH, W. S., ANDERS, E. & ORTH, C. J. (1988): Darkness after the K–T impact: Effects of soot. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 219–220, Houston.
- WOLFE, J. A. & UPCHURCH, G. R. (1986): Vegetation, climatic and floral changes at the Cretaceous–Tertiary boundary. – *Nature*, **324**, 148–151, London.
- WOLFE, J. A. & UPCHURCH, G. R. (1987): Leaf assemblages across the Cretaceous–Tertiary boundary in the Raton Basin, New Mexico and Colorado. – *Proc. National Acad. Sciences*, **84**, 5096–5100, Washington.
- ZACHOS, J. C. & ARTHUR, M. A. (1986): Paleoceanography of the Cretaceous/Tertiary boundary event: Interferences from stable isotope and other data. – *Paleoceanography*, **1**, 5–26.
- ZACHOS, J. C., ARTHUR, M. A. & DEAN, W. E. (1989): Geochemical evidence for suppression of pelagic marine productivity at the Cretaceous/Tertiary boundary. – *Nature*, **337**, 61–64, London.
- ZAHNLE, K., KASTING, J. & SLEEP, N. (1988): Impact production of NO and reduced species. – Abstracts LPI Contr. No. **673**, 223–224, Houston.
- ZHANG, K. & YANG-SHIRON (1987): Preliminary study of microspherules from Permian–Triassic boundary in South-China. – In: *Final Conf. on Permo-Triassic events of east Tethys region and their intercontinental correlations*, Abstracts, S. 35, Beijing.
- ZHAO, M. & BADA, J. L. (1989): Extraterrestrial amino acids in Cretaceous/Tertiary boundary sediments at Stevns Klint, Denmark. – *Nature*, **339**, 463–465, London.
- ZOLLER, W. H., PARRINGTON, J. R. & PHELAN KOTRA, J. M. (1983): Iridium enrichment in airborne particles from Kilauea Volcano: January 1983. – *Science*, **222**, 1118–1121, Washington.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 8. Juni 1989.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt](#)

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: [132](#)

Autor(en)/Author(s): Schönlaub Hans-Peter

Artikel/Article: [Die Katastrophe, die aus dem Weltall kam - 10 Jahre "ALVAREZ-Impakt-Hypothese" 507-529](#)