

**Zeitschrift:** Werdenberger Jahrbuch : Beiträge zu Geschichte und Kultur der Gemeinden Wartau, Sevelen, Buchs, Grabs, Gams und Sennwald

**Herausgeber:** Historischer Verein der Region Werdenberg

**Band:** 18 (2005)

**Artikel:** Suche nach der Ursache des Massensterbens vor 65 Millionen Jahren

**Autor:** Keller, Gerta

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-893448>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 21.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Suche nach der Ursache des Massensterbens vor 65 Millionen Jahren

Gerta Keller, Princeton NJ, USA<sup>1</sup>

Seit der Entdeckung des Chicxulub-Asteroidenkraters auf der südmexikanischen Halbinsel Yucatán im Jahr 1990 (Abb. 1) wird dieser Krater für das Aussterben der Dinosaurier und zahlreicher weiterer Tiergruppen verantwortlich gemacht. Der Einschlag (Impakt<sup>2</sup>) vor rund 65 Millionen Jahren soll eine weltweite Feuerwalze und gigantische Flutwellen verursacht haben, und der aufgewirbelte Staub und Russ soll zur totalen Verdunkelung der Atmosphäre geführt haben. Zurück blieb der Todeskrater. – Ein wunderbares Skript, wie gemacht für Film und Fernsehen. Und so fand die Story in den letzten 15 Jahren Eingang in die öffentliche Meinung und wurde so auch in der wissenschaftlichen Literatur oft als Faktum dargestellt. Aber entspricht sie der Wahrheit? Reichen die wissenschaftlichen Belege aus, um diese Theorie zu untermauern?

Von Anfang an gab es Indizien, die der oben skizzierten Theorie widersprachen, und über die Jahre kam eine Fülle von Beweisen zusammen. So konnte die Hypothese der weltweiten Feuerwalzen im Nachhinein nicht bestätigt werden. Dr. Wendy Wolbach von der De Paul Universität in Chicago, USA, hatte diese Hypothese 1990 aufgrund von Russspuren in der 65 Millionen Jahre alten Tonschicht aufgestellt, die das Aussterben sowie den Übergang zwischen der obersten Kreide und dem untersten Tertiär<sup>3</sup> markiert (man nennt diesen Grenzton deswegen «K/T-Grenze»). Solche Russspuren gibt es jedoch in fast jedem Tonstein, und der Russ röhrt oft von gewöhnlichen Waldbränden her. Überdies konnten wir bereits 1990 anhand isotopischer Messungen in Kalkschalen mikroskopische Meerestierchen nachweisen, die zeigen, dass die marine Produktion hoch blieb und es demnach keine lang dauernde Verdunkelung gab. Dreizehn Jahre später (2003) gelang es Claire Belcher vom Holloway College in London darzustellen, dass auch die Pro-

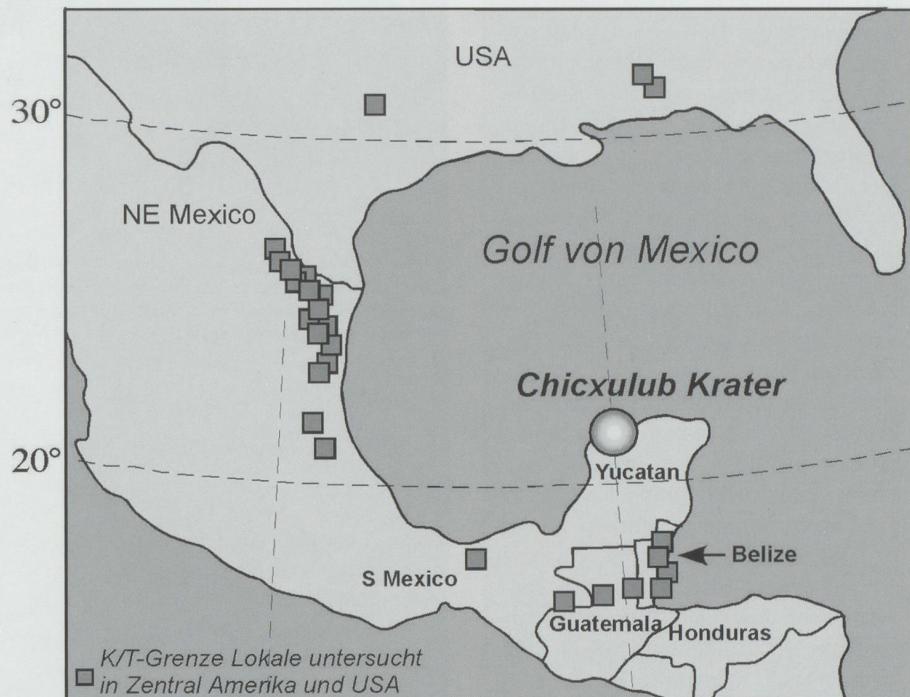


Abb. 1. Zentralamerika mit dem Chicxulub-Krater und den Lokalitäten mit Impaktgesteinen, die Beweise zum Alter des Kraters ergeben.

duktivität des marinen Phytoplanktons im K/T-Grenzton nicht abnahm, sondern gleichbleibend hoch blieb. Da Phytoplankton zum Leben Sonne braucht, passten auch diese Daten nicht zur angenommenen Verdunkelung der Atmosphäre durch von weltweiten Feuerwalzen verursachte Staubpartikel.

Ebenfalls die Hypothese von gigantischen Flutwellen (oder Tsunami-Wellen), die 1992 von Dr. Jan Smit von der Freien Universität in Amsterdam gemeinsam mit einer Reihe von Koautoren postuliert wurde, liess sich im Nachhinein nicht nachweisen. Und schliesslich scheint der Chicxulub-Krater selbst älter zu sein als die K/T-Grenze. Dieser Asteroideneinschlag kann somit nicht für das globale Massensterben verantwortlich sein. Eine Vielzahl von Entdeckungen haben in den vergangenen 15 Jahren zu diesen

Schlussfolgerungen geführt und werden hier zusammengefasst.

## Erste Verknüpfungen zwischen Chicxulub und der K/T-Grenze

Der Chicxulub-Asteroidenkrater wurde in den frühen 1990er Jahren hauptsächlich aufgrund der folgenden beiden Faktoren mit dem Massensterben an der K/T-Grenze in Verbindung gebracht:

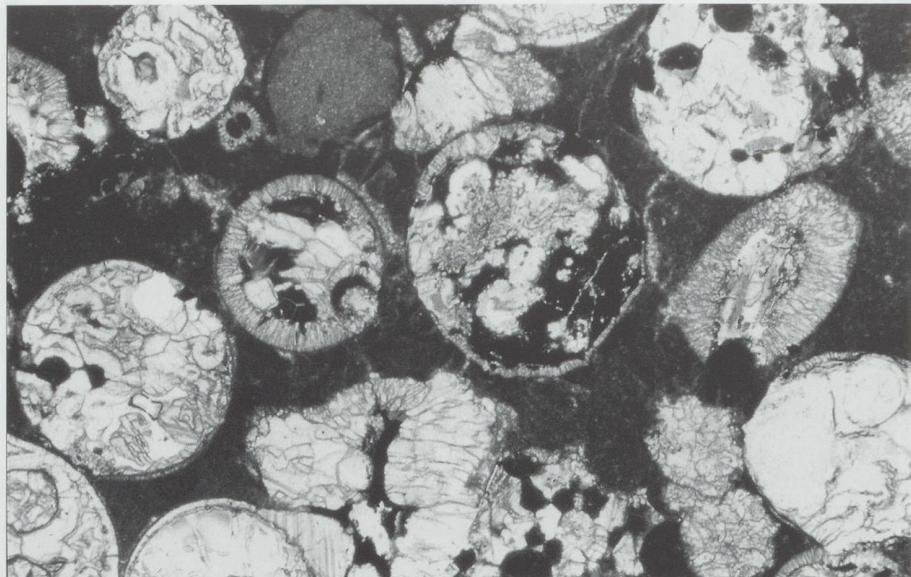
1 Der vorliegende Aufsatz wurde von der Autorin in Englisch verfasst. Die fachkundige Übersetzung ins Deutsche besorgte freundlicherweise Prof. Dr. Wolfgang Stinnesbeck, Geologisches Institut, Universität Karlsruhe.

2 Die Bezeichnung *Impakt* steht für Meteoriten- bzw. Asteroideneinschlag.

3 Der erdgeschichtliche Begriff *Kreide* bezeichnet die letzte Phase des Erdmittelalters, *Tertiär* die erste Phase der Erdneuzeit.

## Zusammenfassung

Die Suche nach dem «Dino-Killer» dauert schon Jahrzehnte lang. Als 1990 auf der Yucatán Halbinsel in Südmeiko der Chicxulub-Krater entdeckt wurde, kam die Theorie auf, der Asteroideneinschlag, der den Krater verursacht hatte, sei für das Aussterben der Dinosaurier verantwortlich. Bald wurde dieser «Todeskrater» als Faktum dargestellt, und fachliche Gegenbeweise der Geologie wurden systematisch unterdrückt. Die phantasievolle Geschichte vom Killer-Asteroiden war allgemein beliebt. Einige Geologen arbeiteten weiter, um die Details der Katastrophe zu entziffern. Sie fanden heraus, dass Chicxulub nicht die Ursache des Aussterbens sein konnte, weil er bereits rund 300 000 Jahre vor dem Massensterben auf der Erde eingeschlagen hat. Ein zweiter, womöglich noch grösserer Asteroideneinschlag erfolgte, der zeitlich mit dem Zenit des Dekkan-Trapp-Vulkanismus und dem Massensterben zusammenfällt. Es ist demnach anzunehmen, dass die Massensterben in der Erdgeschichte nicht durch einzelne grosse Impakte ausgelöst wurden, sondern mehr durch das Zusammenwirken von Asteroideneinschlägen und Vulkanismus, was starke Klimawechsel auszulösen vermochte.



**Abb. 2. Glaskügelchen, Mikrotektite genannt, aus Schmelzgestein des Chicxulub-Kraters. Diese Mikrotektite sind in Gesteinslagen der obersten Kreidezeit im Umkreis von Tausenden von Kilometern zu finden und dokumentieren das genaue Alter des Chicxulub-Kraters.**

mit dem K/T-Grenze-Massensterben zu verknüpfen.

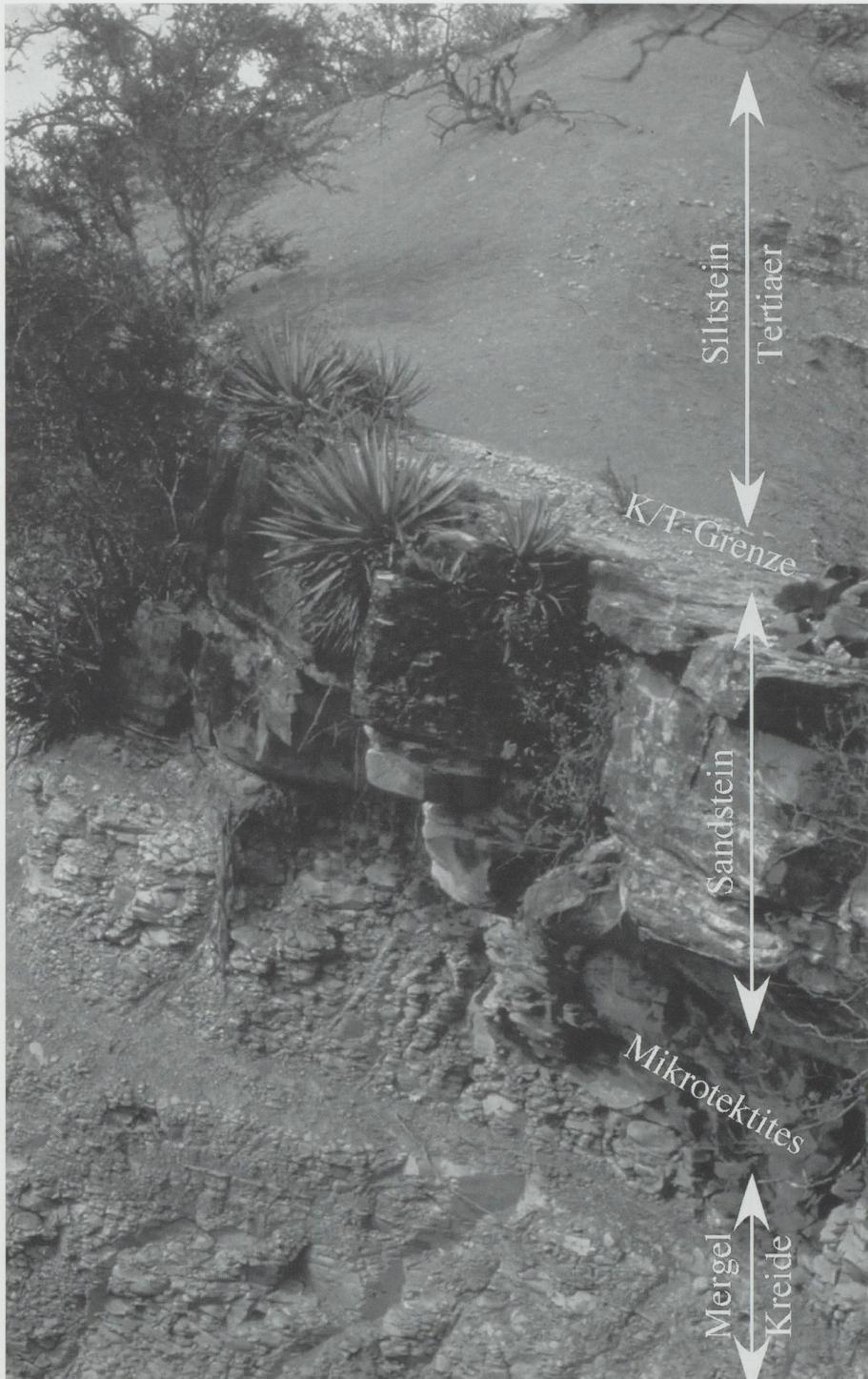
## Erste Zweifel und Unterdrückung von Gegenbeweisen

Mit der Hypothese von impaktgenerierten Tsunamis sowie vom Alter des Impaktkraters gab es von Anfang an Probleme. Diese wurden vom Forschungsteam – bestehend aus Prof. Dr. Gerta Keller (der Verfasserin) von der Universität Princeton in New Jersey, USA, Prof. Dr. Wolfgang Stinnesbeck von der Universität Karlsruhe in Deutschland und Prof. Dr. Thierry Adatte von der Universität Neuchâtel, Schweiz (Abb. 4) sowie natürlich unseren hart arbeitenden Studenten – über mehr als zwölf Jahre hinweg wiederholt dokumentiert. Trotz der in unserem Team gelungenen vielfältigen Dokumentierung von über 250 K/T-Grenze-Lokalitäten in Zentralamerika und weltweit hielt sich ein starker Glaube an die Asteroidenimpakt- und Tsunami-Theorien, und unsere alternative Theorie blieb relativ unbekannt – bis zum Frühjahr 2003.

Die Geschichte der langen Jahre unserer Forschungen und Entdeckungen über das grosse Massensterben vor rund 65 Millionen Jahren und unseres Kampfes, Gehör zu finden mit neuen Erkenntnissen, die mit populären Theorien nicht übereinstimmen, will ich hier erzählen.

## Impakt-Tsunami?

Schon 1992/93 zeigten unsere Forschungen in Mexiko Beweise, die im Gegensatz zur Impakt-Tsunami-Theorie standen. An einer einwöchigen, von mir und Wolfgang Stinnesbeck gemeinsam geleiteten internationalen Geländetagung in Mexiko im Jahr 1994 versuchten wir diese Beweise unseren Wissenschaftlerkollegen darzulegen. An dieser Geländetragung entdeckte der Paläontologe<sup>4</sup> Dr. Toni Ekdale von der Universität Utah, USA, in den Gesteinen, die nach der Theorie ja durch Tsunami-Wellen abgelagert worden sein sollten, eine Reihe von Grabgängen und Spuren von Krebstieren und Würmern. Einige Krebsspuren waren sogar mit Glaskügelchen (Mikrotektite) (Abb. 5) gefüllt. Das Auftreten dieser Meerestiere zeigt deutlich, dass die Ablagerung langsam über einen Zeitraum von Hunderten oder sogar Tausenden von Jahren erfolgt sein muss. Ein Tsunami hätte diese Schichten dagegen in wenigen Stunden bis maximal einigen Tagen gebildet. Krebse, Muscheln oder Würmer hätten in diesem Fall auf dem Meeresboden keine Überlebensmöglichkeit gehabt, sondern wären plötzlich unter Tonnen von Sediment begraben worden. Die häufigen und verschiedenartigen Lebensspuren sind daher klarer Hinweis, dass diese Gesteine über einen langen Zeitraum und zeitlich vor dem



**Abb. 3. Gesteinsschichten der obersten Kreidezeit und des untersten Tertiär in El Mulato, Nordostmexiko. Die Mikrotektite liegen unterhalb dicker Sand- und Siltschichten; die K/T-Grenze und das Massensterben befinden sich einige Meter darüber. Um die Mikrotektite und das Massensterben zeitlich in Übereinstimmung zu bringen, wurden die Sand- und Siltschichten zunächst als Tsunami-Ablagerungen interpretiert.**

Massensterben zur Ablagerung kamen. Diese Geländebefunde wurden 1996 zum ersten Mal gemeinsam veröffentlicht. Trotz dieses wichtigen Beweises liessen sich die meisten der 65 Teilnehmer der

Geländetagung von 1994 in Mexiko nicht überzeugen. Ja, manche lachten Toni Ekdale, einen weltbekannten Experten für Fossilien, sogar aus und sagten, dass es sich unmöglich um Spuren von Leben

handeln könne, da die Lagen ohne Zweifel von einem Impakt-Tsunami abgelagert worden seien. Fast alle Teilnehmer waren so sehr überzeugt, das Rätsel des Dinosaurieraussterbens sei bereits gelöst, dass mit keinen Gegenbeweisen dagegen anzukommen war.

An der anschliessenden Nasa-Konferenz in Houston, USA, wurde die Chicxulub-Impakt-Theorie als Faktum gefeiert. Die wenigen, die den Mut hatten, ihre Zweifel zu äussern, wurden rundweg ausgelacht und als altmodisch hingestellt. Dieselbe Taktik war schon in den frühen 1980er Jahren ausgeübt worden. Damals wurden Paläontologen mit fossilen Gegenbeweisen vom Physiker und Nobelpreisträger Luis Alvarez, der zusammen mit seinem Sohn, dem Geologen Walter Alvarez, 1980 die Asteroidenimpakt-Theorie aufgestellt hatte, als schlechte, altmodische Wissenschaftler, ja mehr noch als «stamp collectors» (Briefmarkensammler) bezeichnet. Die Taktik wirkte. Wenige Wissenschaftler hatten den Mut, sich öffentlich verspotten zu lassen. Zweifel wurden meist nur noch in privaten Gesprächen geäußert. Unter diesen Umständen haben wir die Forschung nach dem wahren Killer der Dinosaurier fast allein weitergetrieben. Während der letzten zwölf Jahre haben die Verteidiger der Chicxulub-Impakt-Kill-Hypothese wiederholt meine Mitarbeiter davor gewarnt, weiter mit mir zu arbeiten, weil dies für ihre Karriere schlecht sein könnte.

#### **Das Chicxulub-Ereignis führte nicht zum Aussterben**

Trotz zahlreicher gegenteiliger Darstellungen in den Medien gibt es bisher keinen Beweis dafür, dass der Chicxulub-Asteroideneinschlag das Aussterben der Dinosaurier und vieler anderer Lebewesen verursacht hat. Im Gegenteil, seit den frühen 1990er Jahren häufen sich die Hinweise, dass dies nicht der Fall war und dass das Aussterben erst viel später bei einem zweiten und wahrscheinlich grösseren Asteroideneinschlag geschah.

Im Wesentlichen geht es um die bereits erwähnten Glaskügelchen, die Mikrotektite, die beim Chicxulub-Einschlag gebildet wurden und die innerhalb von Stunden über Zentralamerika von New Jersey

4 Paläontologie ist die Lehre von den Lebewesen vergangener Erdperioden.



**Abb. 4. Das Keller-Adatte-Stinnesbeck-Team in Nordostmexiko.**

bis Brasilien herabregneten. Die Position dieser Mikrotektite in den Steinschichten markiert das genaue Alter des Einschlags. Jede Schicht oberhalb der Mikrotektite ist später abgelagert worden, muss also jünger sein, und jede Schicht darunter muss älter sein.

In Mexiko lagern die Mikrotektite unterhalb von ein bis acht Meter dicken Sand-, Silt- und Tonsteinschichten, die von Jan Smit fälschlicherweise als Tsunami-Ablagerungen interpretiert worden sind. Die Sedimentschicht, die das Massensterben enthält, befindet sich aber über diesen Mikrotektiteablagerungen und über den Sand-, Silt- und Tonsteinschichten und muss damit wesentlich jünger sein, wie dies das Foto von der Lokalität El Mulato (Abb. 3) veranschaulicht. Entsprechend muss der Chicxulub-Impakt also älter sein als die K/T-Grenze und kann für das globale Aussterben nicht verantwortlich sein.

Aber auch die Impakt-Glaskügelchen (Mikrotektite), die Jan Smit unterhalb der vermeintlichen Tsunami-Ablagerungen dokumentierte, stellten sich als Pro-

blem heraus. Sie sollen innerhalb von wenigen Stunden nach dem Einschlag am Meeresboden angekommen und abgelagert worden sein. Dies ist aber nicht der Fall. Die Ablagerung der Mikrotektite ist von einer 15 bis 20 Zentimeter dicken Schicht sandigen Kalksteines unterbrochen (Abb. 6). Krebsbauten in dieser Kalksteinschicht zeigen, dass die Ablagerung der Mikrotektite für lange Zeit unterbrochen war und dass Tiere im Meeresboden lebten, lange bevor es zu einem erneuten Zustrom von Mikrotektiten kam. Die Mikrotektite müssen daher zu zwei unterschiedlichen Zeiten abgelagert worden sein, getrennt durch eine Periode normaler Sedimentation.

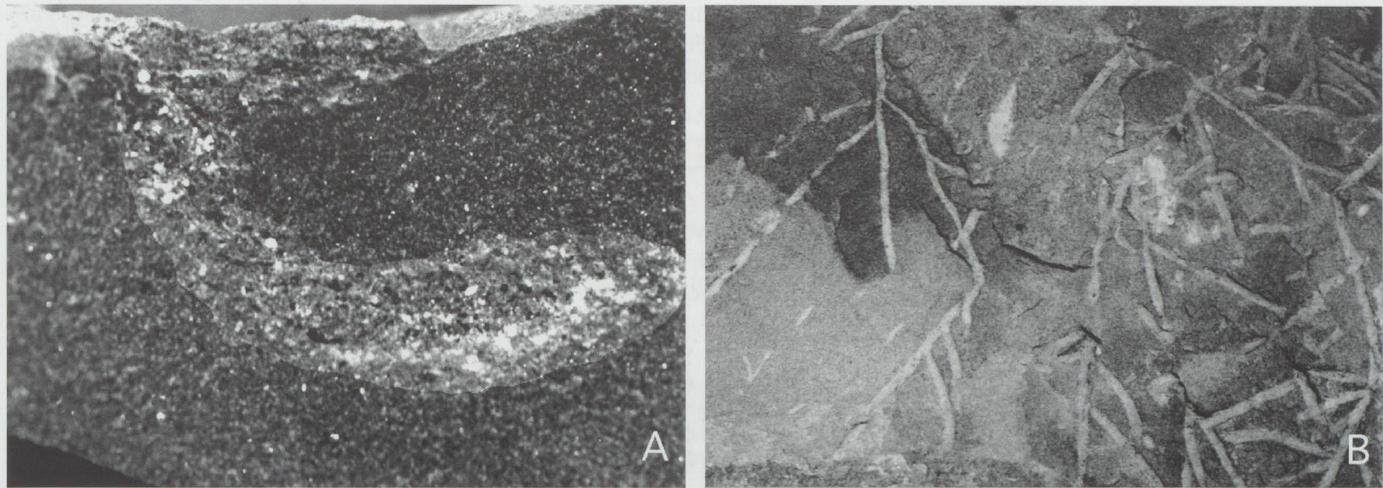
In beiden Mikrotektiteschichten finden sich Holz und Blatthäcksel sowie Sand und Mikrofossilien des Flachwassers. Diese Komponenten belegen, dass die Mikrotektite zunächst im Flachmeer zur Ablagerung kamen und erst zu einem späteren Zeitpunkt durch Strömungen oder Trübeströme ins tiefe Meer transportiert wurden. Die beiden Mikrotektiteschichten können damit nicht die ur-

sprüngliche Impakt-Fallout-Lage darstellen. Vielmehr erodierten sie aus älteren Ablagerungen. Die Position des nicht transportierten, originären Fallouts blieb damit zunächst noch unbekannt. Die mühevolle Suche nach dieser Schicht in Mexiko, Haiti, Guatemala und Belize erfolgte in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre und nahm mehrere Jahre in Anspruch.

### **Chicxulub ist älter als die K/T-Grenze**

Die entscheidenden Entdeckungen gelangen der Arbeitsgruppe Keller-Adatte-Stinnesbeck und ihren Studenten in den späten 1990er Jahren in Nordostmexiko. Im Rahmen intensiver Geländeuntersuchungen wurde die kreidezeitliche Schichtfolge unterhalb der K/T-Grenze systematisch auskariert und auf einer Länge von mehr als 160 Kilometern aufgenommen. In Dutzenden von Aufschlüssen wurden eine oder mehrere zusätzliche Mikrotektitlagen entdeckt, die bis zu 15 Meter unterhalb der K/T-Grenze in Sedimente des Oberkreidemeeres eingeschaltet waren. Zu Beginn betrachtete das Team diese Entdeckungen voller Skepsis – es konnte doch nicht so einfach sein! Oder war dies der entscheidende Beweis? Wie konnte es sein, dass diese Mikrotektitlagen nicht schon viel früher entdeckt worden waren? Hatten unsere Fachkollegen so sehr an die populäre Impakt-Tsunami-Theorie geglaubt, dass sie es nicht für nötig fanden, die wenigen Meter unterhalb der Sandsteinlage ebenfalls zu untersuchen?

Eine Periode intensiver Nachforschungen folgte. Sämtliche Möglichkeiten für die Einlagerung dieser Mikrotektitschichten wurden durchgespielt, bis das Ergebnis feststand: Es zeigte sich, dass diese Mikrotektite etwa 300 000 Jahre vor dem Massensterben auf den Meeresboden herabgeregnet waren. Doch die abgelagerten Mikrotektite wurden zu späterer Zeit im Flachmeer wieder freigelegt. Strömungen beförderten sie dann aus dem Flachmeer in tiefer gelegene Meeresbereiche. Das konnte das Auftreten zusätzlicher Mikrotektitlagen in den höheren Profilbereichen erklären, einschließlich die beiden Schichten, welche unterhalb der Sandsteine auftreten und die durch den sandigen Kalkstein voneinander getrennt sind (Abb. 7). Anders ist ihr Auftreten nicht zu erklären. Wesentli-



**Abb. 5. Fossilienspuren im Sand- und Siltgestein sowie im Kalkstein zwischen den Mikrotektitlagen in Lokalitäten von Nordostmexiko. Diese Fossilienspuren zeigen, dass der Meeresboden während der Ablagerung von Sand und Silt von Leben besiedelt war. Deshalb kann es sich nicht um Tsunami-Ablagerungen handeln.**

che Störungen der Sedimentabfolge, zum Beispiel durch Hebung und Gebirgsbildung oder durch von Erdbeben ausgelöste sedimentäre Gleitungen, wurden nicht aufgefunden und entfallen somit als Möglichkeit für Schichtverdoppelungen. Auch heute, nach mehr als 65 Millionen Jahren, liegen alle Schichten immer noch in ihrer horizontalen Position.

Es dauerte einige Zeit, bis im Team die Wahrnehmung reifte, dass man den lang gesuchten Beweis für das Alter des Chicxulub-Impakts gefunden hatte: Chicxulub musste älter sein als die K/T-Grenze und das weltweite Massensterben. Das bedeutete aber auch, dass dieser Asteroideneinschlag doch nicht so katastrophal gewesen sein konnte, wie immer behauptet wurde, denn nach dem Einschlag ist es noch während 300 000 Jahren zu keinem Massensterben gekommen (Abb. 7).

Es muss also an der K/T-Grenze ein weiterer Einschlag erfolgt sein. Die weltweit feststellbare Iridium-Anomalie<sup>5</sup> an dieser Grenze kann nur durch einen Impakt gebildet worden sein, denn viele Asteroide – wenn auch nicht alle – sind reich an Iridium. Im Unterschied dazu ist Iridium auf der Erde ein sehr seltenes Element und kommt nur durch Vulkanismus an die Oberfläche, aber auch dann in viel kleineren Mengen. Die Iridium-Anomalie zeigt daher, dass ein Asteroideneinschlag zum Massensterben geführt haben könnte. Vielleicht zusammen mit massiven vulkanischen Ausströmungen, wie man sie von den Dekkan-Trapps<sup>6</sup> in Indien kennt?

Im Gebiet La Sierra im nordöstlichen Mexiko und sowohl in Zentral- und Süd-

mexiko als auch in Guatemala fanden wir die K/T-Grenze in einer drei bis vier Millimeter dicken rotfarbigen Schicht (Abb. 8), wie man sie weltweit finden kann. Iridium ist in dieser Schicht stark konzentriert und weist damit auf einen grossen Asteroideneinschlag hin. Im Meeresbereich markiert diese Schicht das Massensterben aller planktonischen Arten der tropischen Foraminiferen<sup>7</sup>; nur wenige andere überlebten. Keine anderen Meerestierchen haben ein so verheerendes Aussterben erlitten (Abb. 9). Da dieses Massensterben mehrere Meter über der Mikrotektitschicht des Chicxulub-Impakts stattfand, kommt der Asteroideneinschlag von Chicxulub als Auslöser nicht in Frage.

In den Jahren 2001 und 2002 wurden diese Ergebnisse veröffentlicht. Doch sie reichten noch immer nicht aus, um eine Mehrheit der Fachkollegen davon zu überzeugen, dass die alte Theorie von Chicxulub als globalem Killer falsch war. Sie hielten es schlicht für unmöglich, dass so viele Wissenschaftler so lange hatten falsch liegen können.

### Beweise aus dem Chicxulub-Krater

Der endgültige Beweis, ob der Chicxulub-Impakt an der K/T-Grenze erfolgte und das Massensterben verursachte oder nicht, musste aus dem Krater selbst stammen. Aber es gab zunächst nur eine geringe Wahrscheinlichkeit, diese Erwartungen der Fachwelt je erfüllen zu können. Bohrungen nämlich, die in den 1960er Jahren von der mexikanischen

Erdölgesellschaft Pemex in Yucatán durchgeführt worden waren, erwiesen sich als unvollständig. Die erste vom mexikanischen Ökologen Lopez Ramos veröffentlichte Arbeit dokumentierte allerdings, dass die Gesteine oberhalb der Einschlagsbrekzie<sup>8</sup> spätkreidezeitliche Mikrofossilien enthalten, nämlich planktonische Foraminiferen. Da diese Einzeller erst im Rahmen des K/T-Grenze-Massensterbens verschwunden sind (siehe Abb. 9), müsste der Chicxulub-Asteroiden-Einschlag vorher erfolgt sein und hätte in keinem direkten Zusammenhang zum Faunenschnitt gestanden.

Diese wichtigen Ergebnisse konnten aber nicht nachgeprüft werden, da aus den fraglichen kritischen Intervallen der Bohrungen keine Proben verfügbar waren. Immerhin bestätigten 1995 Dr. Bill Ward und das Keller-Adatte-Stinnesbeck-Team anhand von Bohrlochdaten und Gesteinsproben aus der Kraterregion, dass eine Überlagerung der Impaktbrekzie durch kreidezeitliche Sedimentgesteine zumindest wahrscheinlich ist.

Ein neuer Bohrkern war zwingend erforderlich, um das Geheimnis der Ursache

5 Schicht mit anomal hoher Iridiumkonzentration.

6 Der Dekkan ist der südlich der Linie Golf von Cambay–Ganges-Brahmaputra-Delta gelegene Teil Indiens; Traps sind sehr ausgedehnte und mächtige basaltische Ergussgesteine und röhren also von gewaltigen Vulkanausflüssen her.

7 Zu den Wurzelfüssern gehörende Urtierchen.

8 Brekzen sind Sedimente aus Gesteinstrümmern.

des Aussterbens der Dinosaurier zu lüften. Mehr als ein Jahrzehnt nach der Entdeckung des Chicxulub-Kraters stellte das International Continental Drilling Program (ICDP, internationales Kontinental-Bohrprogramm) mehrere Millionen Dollar zur Verfügung, um eine Forschungsbohrung im Krater durchzuführen. Die Bohraktivitäten begannen am 9. Dezember 2001 auf einer Hazienda na-

mens Yaxcopoil, nahe der Stadt Mérida im Norden der Halbinsel Yucatán. Bis zum April 2002 wurde ein Kern von insgesamt 1511 Metern erbohrt und anschliessend zur Universität von Mexiko City (National Autonomous University of Mexico, UNAM) transportiert. Dort wurde der acht Zentimeter dicke Bohrkern der Länge nach durchgesägt und in ein Meter lange Stücke geschnitten. Die

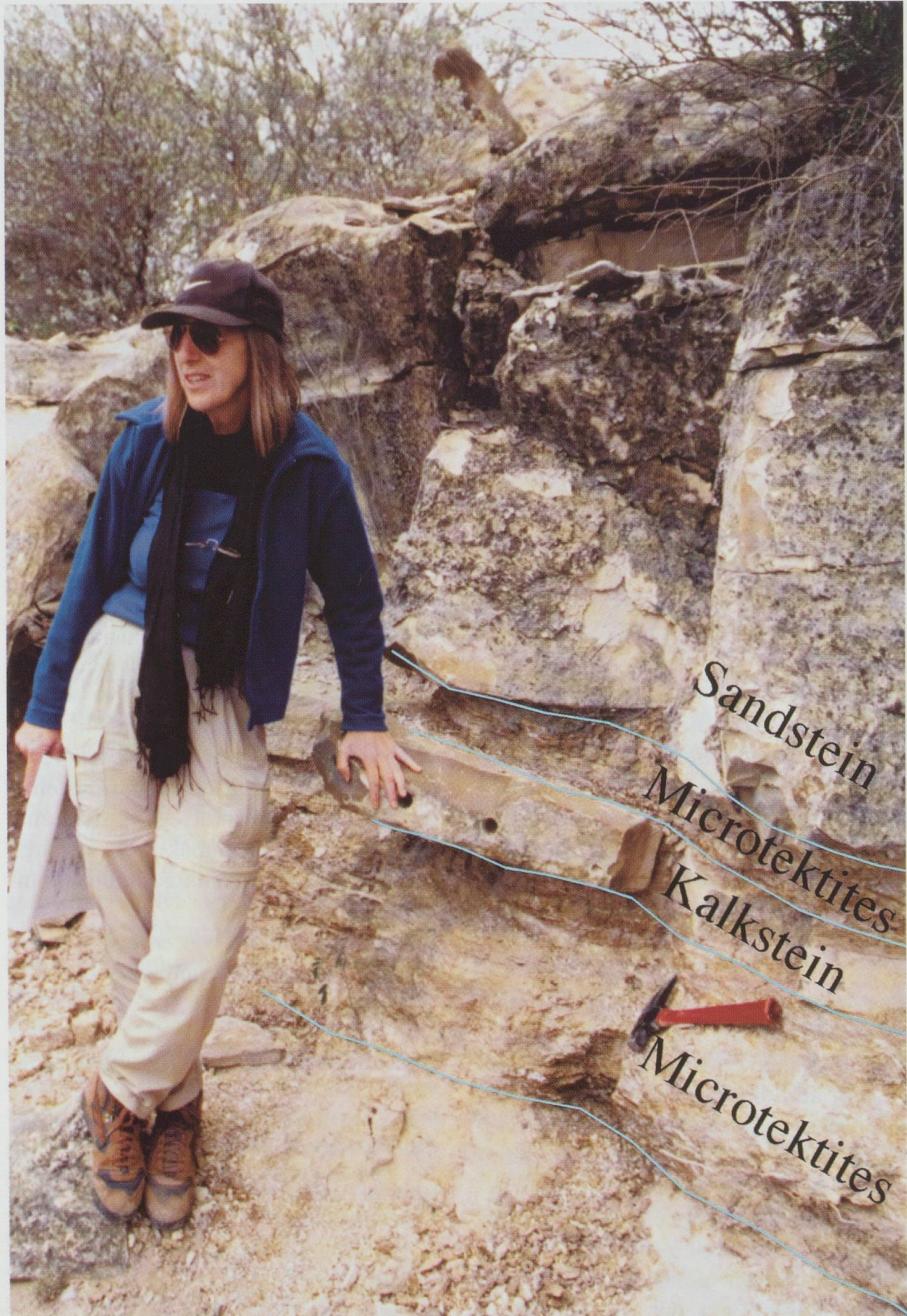
eine Hälfte wurde archiviert und die andere für wissenschaftliche Studien freigegeben. Die ersten Ergebnisse der nachfolgenden Untersuchungen wurden im April 2003 auf dem internationalen geowissenschaftlichen Kongress in Nizza vorgestellt.

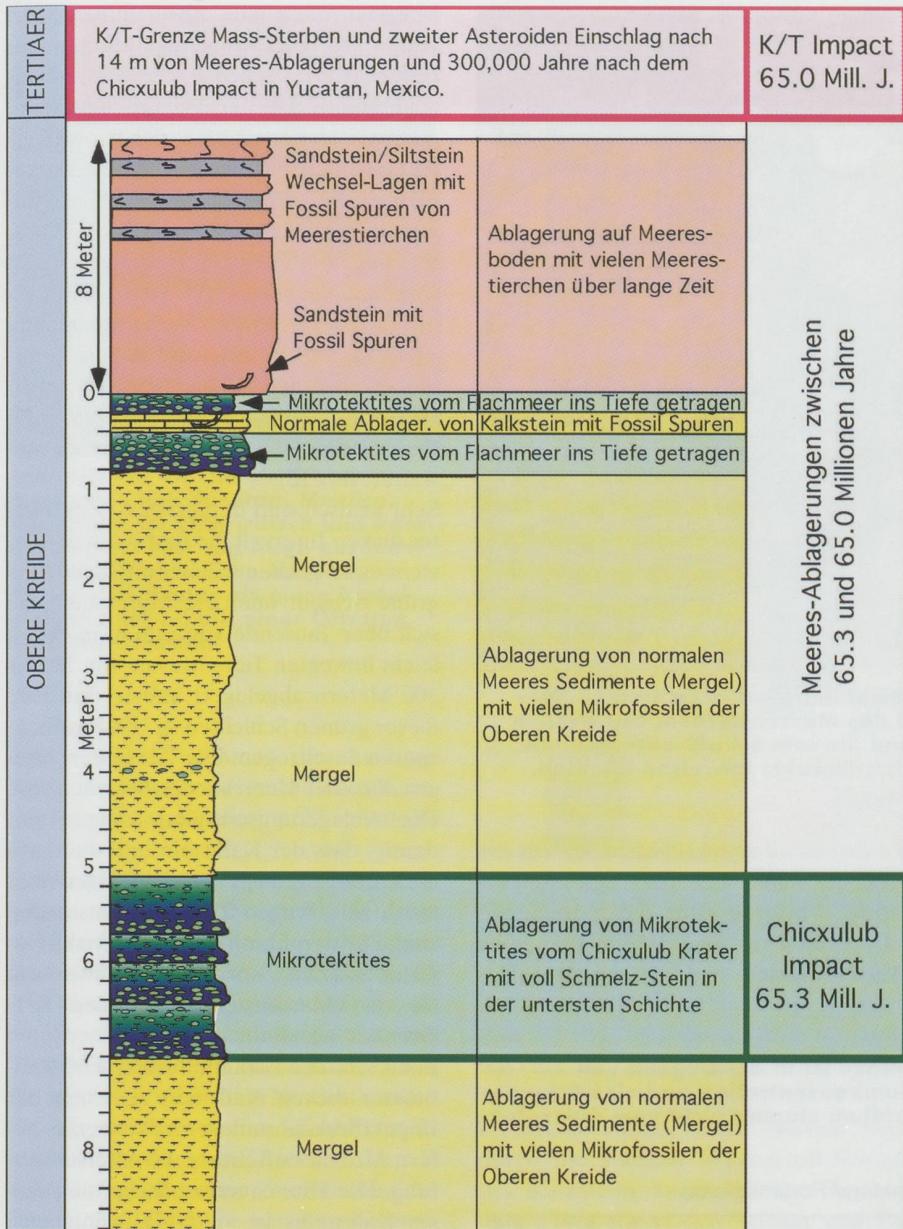
Insgesamt 37 Forschungsgruppen hätten an der Analyse der Bohrproben beteiligt sein sollen. Jan Smit sollte die Proben im Juni/Juli 2002 verteilen. Aber nur wenige erhielten ihre Proben zu dieser Zeit und nur unter viel politischem Ränkespiel, wie das vom Journalisten Rex Dalton im Artikel «Hot tempers, hard core» für das Magazin «Nature» im Jahr darauf beschrieben wurde.<sup>9</sup> Einige Wissenschaftler bekamen ihre Proben zu spät und konnten deswegen die Analysen nicht rechtzeitig für die Tagung in Nizza machen. Andere erhielten sie überhaupt nicht. Meine Arbeitsgruppe erhielt die Proben sehr spät, so dass nur ein paar Wochen Zeit bis zur Nizza-Tagung blieben. Nach Tag-und-Nacht-Forschungsarbeit konnten wir aber trotzdem noch rechtzeitig erste Ergebnisse erzielen.

Die neue Bohrung, Yaxcopoil-1, war in einer Entfernung von etwa 60 Kilometern vom Zentrum des Chicxulub-Kraters niedergebracht worden (Abb. 10). Der Bohrkern sollte die letzten Zweifel daran ausräumen, dass dieser Impakt für das Aussterben der Dinosaurier verantwortlich war. In der Tat, ein erster Arbeitsbericht, den die Projektleiter unter der Federführung von Dr. Burkhard Dressler im Herbst 2002 in der Fachzeitschrift «Eos» publizierten, verkündigte die erwarteten Ergebnisse: dass Chicxulub der K/T-Grenze-Impakt und demnach für das Dinosterben verantwortlich sei. Damit sollte die Chicxulub-Impakt-Theorie abschliessend bestätigt sein. Diese Ankündigung sollte sich allerdings als verfrüht erweisen. Die detaillierte Analyse der Kerne durch das Keller-Adatte-Stünnenbeck-Team unter Mitarbeit von Doris Stüben von der Universität Karlsruhe in Deutschland kam nämlich zum Ergebnis, dass Chicxulub älter als die K/T-Grenze sein muss.

Der Yaxcopoil-1-Bohrkern erreichte eine Tiefe von 1511 Metern und durchbohrte zwischen 794 und 894 Meter Tiefe eine 100 Meter mächtige Impaktbrekzie. Diese Brekzie besteht aus einem bunten Gemisch von zertrümmerten und partiell aufgeschmolzenen Gesteinen sowie Mi-

**Abb. 6.** Gerta Keller zeigt an der Lokalität El Penon in Nordostmexiko, dass die Mikrotektite in zwei Schichten unter und über einer Kalksteinschicht liegen. Das beweist, dass die Mikrotektite zu verschiedenen Zeiten abgelagert wurden. Deshalb repräsentieren sie nicht die Zeit des Chicxulub-Impakts, sondern eine spätere Zeit.





**Abb. 7. Gesteinslagen in Nordostmexiko zeigen, dass die Mikrotektite des Chicxulub-Impakts und das Massensterben an der K/T-Grenze zeitlich nicht übereinstimmen.**

krotektiten. Die Sedimentgesteine unterhalb der Brekzie waren in einer flachen Lagune oder einem marinen Flachmeer abgelagert worden. Die dortigen Umweltverhältnisse waren für das Überleben von Foraminiferen ungeeignet. Diese einzelligen Mikroorganismen (<1 mm) mit ihren Kalkschalen sind ansonsten in den meisten Meeresablagerungen zu finden. Oberhalb der Brekzie befinden sich eine 50 Zentimeter dicke Schicht aus Kalkstein und darüber in einer dünnen (1 cm) Schicht aus grünem Ton die K/T-Grenze und die Spuren des Massensterbens. Die ersten tertiären Arten tauchten im Bohr-

kern unmittelbar oberhalb der genannten Tonschicht auf (Abb. 11).

### Die «Bombe»

Der neue Chicxulub-Bohrkern Yaxcopoil-1 bestätigte die Resultate aus Nordostmexiko, nämlich dass dieser Impakt zeitlich vor der K/T-Grenze und unabhängig vom Massensterben erfolgt ist. Mit diesen neuen Beweisen direkt aus dem Chicxulub-Krater war die Impakt-Killer-Theorie massiv in Frage gestellt. An der Tagung in Nizza vom April 2003 gab Jan Smit die erste Vorlesung und verkündete, die Resultate aus dem Krater

hätten die erwartete Bestätigung der Theorie erbracht: Chicxulub sei der K/T-Grenze-Impakt und für das Aussterben der Dinosaurier verantwortlich, entschied er unter allgemeinem Applaus. Für die nächste Vorlesung trat ich aufs Podium und begann: «Sie hören jetzt eine Geschichte, die ganz anders verläuft als die, welche soeben erzählt wurde.» Ich stellte die Ergebnisse des Keller-Adatte-Stinnesbeck-Teams vor – und löste damit eine hitzige Debatte aus. Unsere Gegner hatten keine Gegenbeweise, reagierten aber trotzdem vehement: Das ist doch Unsinn! Blödsinn! Unmöglich! Das kann doch nicht wahr sein! So viele Wissenschaftler können doch nicht so viele Jahre lang falsch liegen!

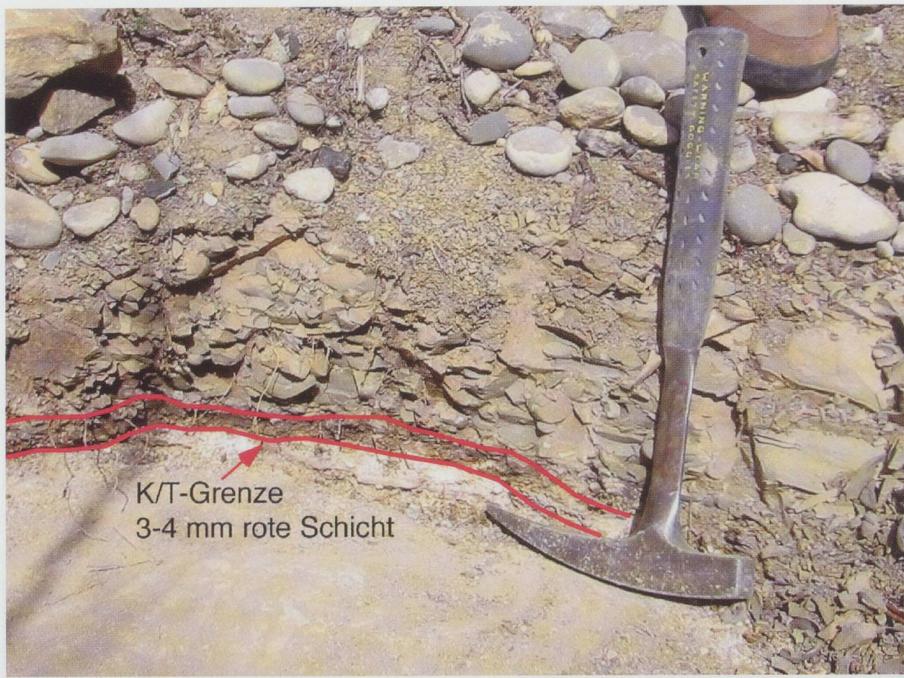
Am gleichen Tag entschied die Projektleitung an einer privaten Sitzung, zu der das Keller-Adatte-Stinnesbeck-Team nicht eingeladen war, dass die neuen Chicxulub-Resultate bis zum Herbst nicht veröffentlicht werden durften. Aber es war schon zu spät, um die neuen Resultate zu unterdrücken – die Katze war aus dem Sack! Viele Journalisten waren bereits fleissig dabei, über unsere Erkenntnisse zu schreiben.

### Das kritische Detail

Das kritische Detail im Kraterbohrkern Yaxcopoil-1 ist der 50 Zentimeter dicke Kalkstein, der zwischen der K/T-Grenze und der Impaktbrekzie liegt. Dieser Kalkstein war ursprünglich in Wassertiefen von 100 bis 300 Metern abgelagert worden und enthält viele planktonische Foraminiferen, die vor dem Ende der Kreidezeit lebten und am Ende dieser Periode, also an der K/T-Grenze, ausstarben. Ihr Auftreten zeigt eindeutig, dass der kreidezeitliche Ozean auch nach Bildung des Chicxulub-Kraters noch reichlich Mikroplankton enthielt und dass die Artenvielfalt erst wesentlich später, nämlich an der K/T-Grenze zusammenbrach. Daraus ergeben sich zwei Interpretationsmöglichkeiten: 1. Der Kalkstein wurde geologisch instantan<sup>10</sup> durch schnell zusammengeschwemmtes Kratermaterial gebildet, wie dies Jan Smit, Burkhard Dressler und andere vorschlagen haben. Oder 2. Der Chicxulub-Krater ist älter als die K/T-Grenze, wie

<sup>9</sup> Nature, vol. 425, 4. September 2003, S. 13f.

<sup>10</sup> Unverzüglich, mit sofortiger Auswirkung.



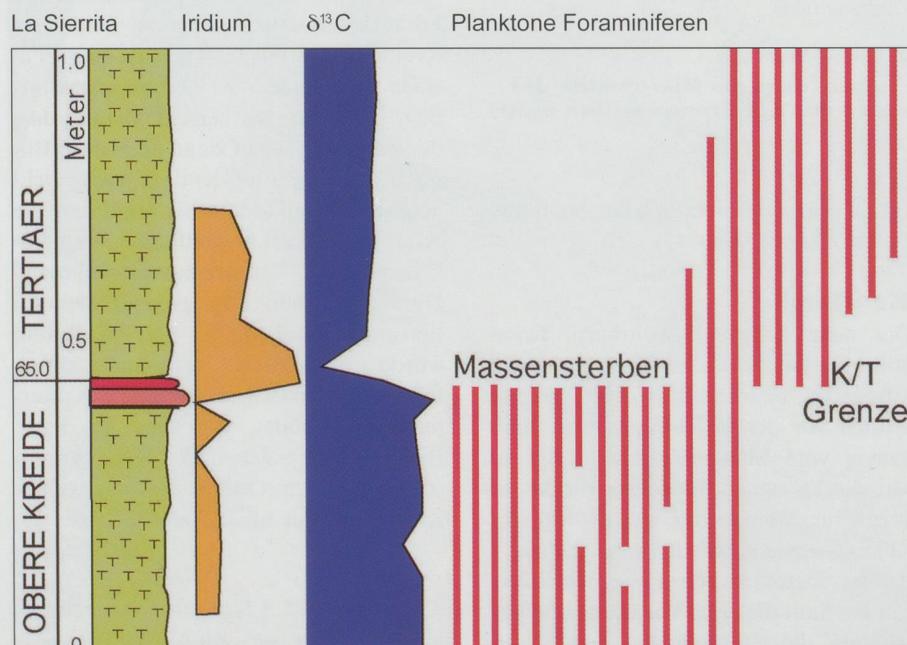
**Abb. 8.** Eine iridiumreiche, dünne rote Schicht markiert in La Sierrita, Mexiko, sowie weltweit die K/T-Grenze und das Massensterben. Das Iridium stammt nicht vom Chicxulub-Einschlag, und die rote Schicht enthält keine Mikrotektite, die den Einfluss des Chicxulub-Impakts beweisen könnten.

dies das Keller-Adatte-Stinnesbeck-Team schon früher im Norden von Mexiko bestätigt fand.

Die Ablagerungsbedingungen innerhalb der 50 Zentimeter dicken Kalkschicht

werden damit zum kritischen Test für das Alter des Asteroideneinschlags. Interpretation 1 erfordert für das Zusammenschwemmen von Kratersedimenten hohe Wasserenergien und Strömungen. Das

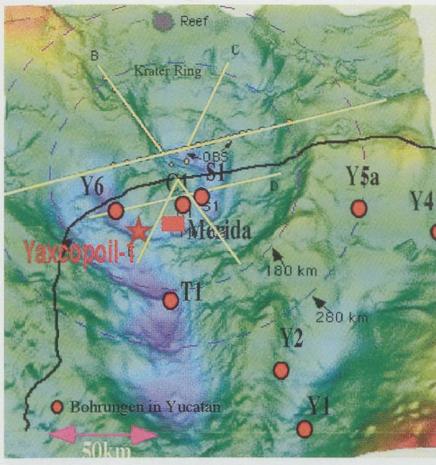
**Abb. 9.** Das Massensterben an der K/T-Grenze ist in der Gegend von La Sierrita auch durch eine anomale Iridiumkonzentration und eine Schwankung beim Karbonisotop markiert. Das Iridium stammt nicht vom Chicxulub-Impakt.



Material muss aus dem umgebenden Ringwall erodieren und ins Beckeninnere transportiert werden und müsste damit auch ältere Gesteinsklassen enthalten. Aber dafür gibt es keinerlei Hinweise – im Gegenteil: ein Grossteil des Kalksediments zeigt millimeterfeine Laminierungen, was auf sehr ruhiges Wasser hindeutet und deshalb für Interpretation 2 spricht. Die einzigen Unterbrechungen dieser energiearmen Verhältnisse sind drei Intervalle von jeweils einem Zentimeter, in denen eine diagonale Schichtung auf leicht erhöhte Wassерenergie und auf das Absetzen von Sediment hinweist (Abb. 12).

Sehr kritisch sind in diesem 50 Zentimeter dicken Intervall die fünf dünnen Tonstein- und grünen Glaukonitlagen. Jede grüne Schicht markiert Mineralien, die sich über Tausende von Jahren in einem leicht bewegten Tiefenwasser von 100 bis 300 Metern abgelagert haben, und jede dieser grünen Schichten ist mit Fossiliensspuren durchzogen. Die Tierspuren belegen, dass der Meeresboden besiedelt war. Die Ablagerungsumstände zeigen eindeutig, dass der Kalkstein und die darin enthaltenen grünen Glaukonitlagen über einen sehr langen Zeitraum entstanden sind. Die darunter liegenden Impakt-Gesteine müssen also wesentlich älter sein als das Massensterben an der K/T-Grenze.

Planktonische Foraminiferen im 50 Zentimeter dicken Kalkstein zwischen der Impaktbrekzie und der K/T-Grenze liefern dazu die entscheidende Alterseinstufung. Die Faunenvergesellschaftung dieses Kalksteins ist vielfältig, wenn auch schlecht erhalten. Der schlechte Erhaltungszustand veranlasste Jan Smit und Dr. Antonio Arz von der Universität Zaragoza in Spanien zur Behauptung, es handle sich bei den Foraminiferen wohl nur um anorganisch gebildete Kristalle. Doch in der anschliessenden detaillierteren Analyse der Sedimente, veröffentlicht im wissenschaftlichen Journal «Maps» im Juli 2004, bestätigte Antonio Arz dann das Vorhandensein kreidezeitlicher Foraminiferen in diesen Kalken. Es kann anhand von dünnen Scheiben der Kalksteine aus dem kritischen Intervall leicht gezeigt werden, dass 2D-Schnitte dieser Foraminiferen mit 3D-Fotos von perfekt erhaltenen Exemplaren derselben Arten aus intakten marinen Tonsedimenten übereinstimmen (Abb. 13). In all

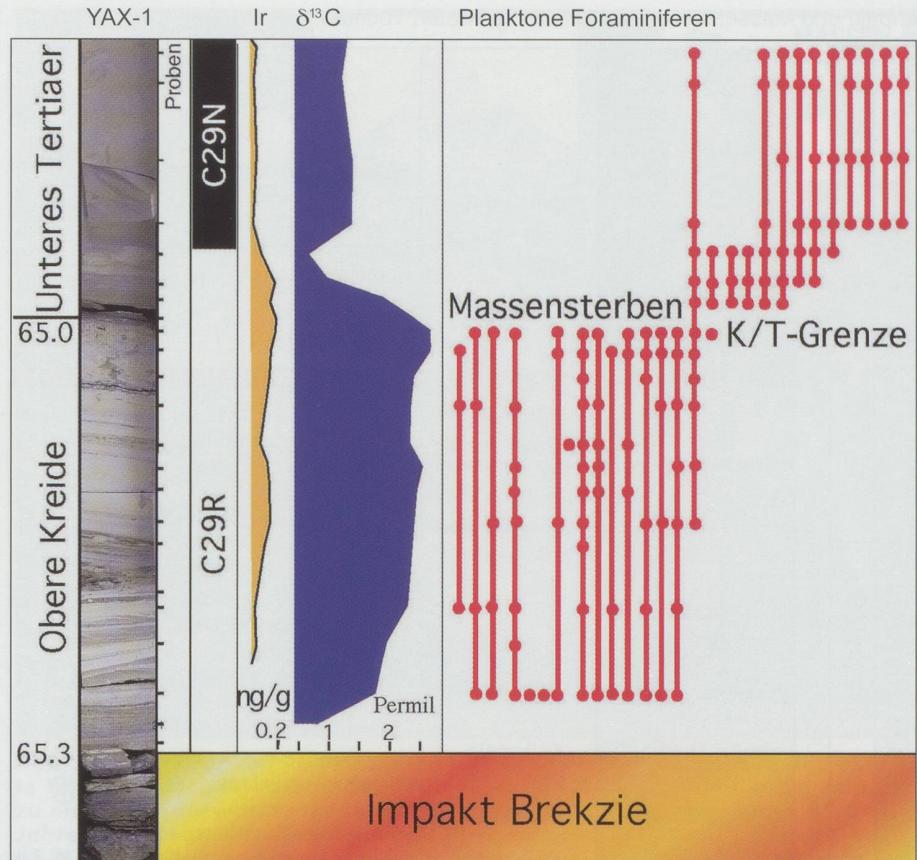


**Abb. 10.** Der Chicxulub-Krater im Nordosten von Yucatán, Mexiko. Der Krater ist unterirdisch und kann deswegen nicht von Auge gesehen werden. Magnetische Messungen zeigen den Krater als einen kipfartigen Ring an mit einer Öffnung nach Nordwesten.

diesen Bildern stimmen das Arrangement, die Form und Anzahl der Kammern und die allgemeine Morphologie überein.

Die Faunen der Yaxcopoil-1-Kalkschicht lebten während der letzten 300 000 Jahre der Kreidezeit nach dem Chicxulub-Asteroideneinschlag. Diese Arten weisen damit also das gleiche Alter auf wie die planktonischen Foraminiferen aus den Meeresablagerungen oberhalb der ältesten Mikrotektschicht in Nordostmexiko. Der Chicxulub-Krater und die Mikrotektschichten, die vom Chicxulub-Impakt stammen, zeigen ohne Zweifel, dass der Impakt 300 000 Jahre vor dem Massensterben geschah.

Zusätzliche Hinweise auf ein prä-K/T-Grenze-Alter des Chicxulub-Impakts liefert die gesteinsmagnetische Geschichte der Kalke. Magnetische Partikel in den Sedimenten richten sich entweder nach dem Nordpol aus, oder aber es kommt durch Umklappung des Erdmagnetfeldes zu einer Ausrichtung auf den Südpol. Die letzten 500 000 Jahre der Kreidezeit waren weltweit durch reverse Polaritäten gekennzeichnet, das sogenannte Chron 29R. Diese Ausrichtung wurde von Dr. Mario Rebolledo-Vieyra von der mexikanischen UNAM auch in der 50 Zentimeter dicken Kalkschicht des Yaxcopoil-1-Bohrkerns festgestellt. Das bedeutet, dass die Sedimente innerhalb des genannten Zeitraums in C29R abgelagert wur-



**Abb. 11.** Das Massensterben an der K/T-Grenze ist im Chicxulub-Krater auch markiert durch eine Schwankung beim Karbonisotop, aber nicht durch eine Iridium-Anomalie, weil diese Schicht nicht mehr vorhanden ist.

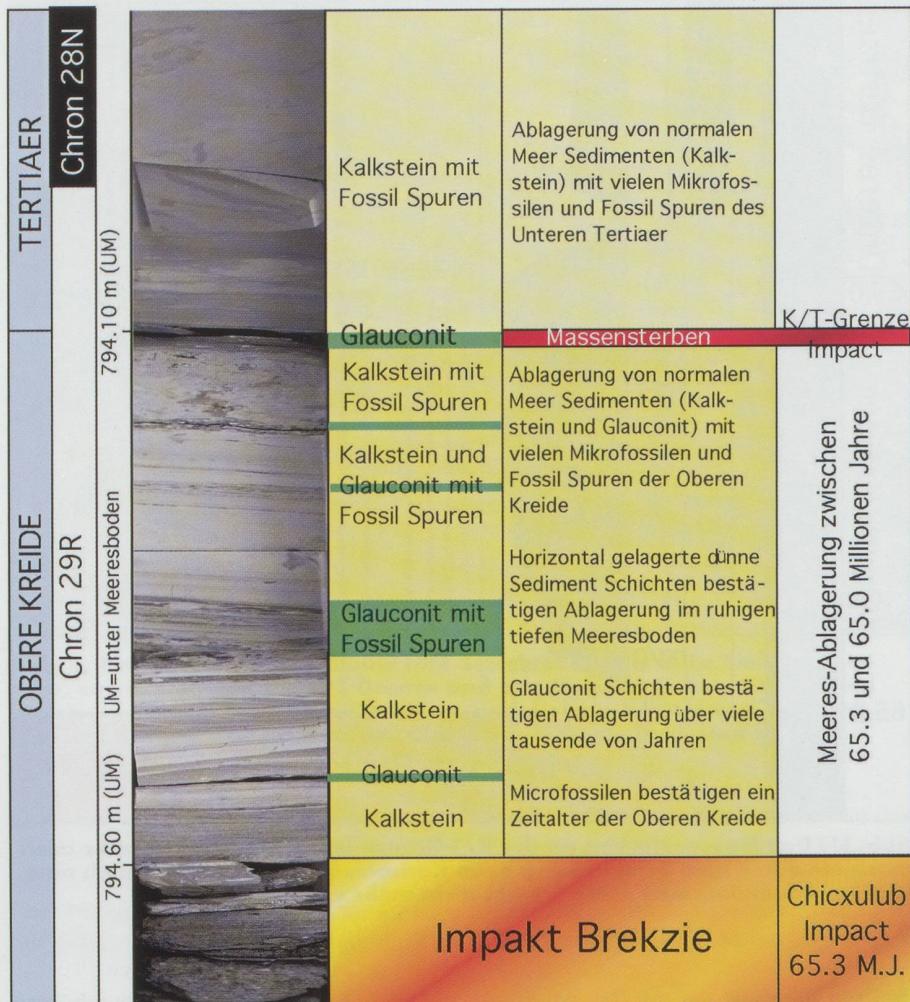
den, ein Ergebnis, das mit den Altersdaten der Foraminiferen übereinstimmt (Abb. 12).

Endkreidezeitliche Alter werden auch durch die stabilen Kohlenstoff-Isotope des Kalksteins angezeigt. Die Analyse durch Prof. Dr. Doris Stüben und Dr. Zsolt Berner von der Universität Karlsruhe belegt hohe Werte, wie sie für die oberste Kreide charakteristisch sind, gefolgt von einem scharfen Abfall hin zu niedrigen Werten an der K/T-Grenze (Abb. 11). Dieser Abfall wurde an Lokalitäten rund um die Welt gemessen und ist auch für Nordostmexiko bekannt, wie dies in Abb. 9 am Beispiel der Lokalität La Sierra illustriert wird. Waren die Sedimente mittels Durchmischung unterschiedlicher Gesteinstypen und Alter durch Impaktwellen entstanden, so wären die Isotopenwerte sicher erratisch ausgefallen; dies ist aber nicht der Fall. Die Iridiumkonzentrationen innerhalb des 50 Zentimeter mächtigen Kalksteinintervalls aus dem Yaxcopoil-1-Bohrkern sind niedrig und liegen im Hintergrund-

bereich. Es kam also zu keinem erhöhten Eintrag von Iridium. An der K/T-Grenze steigen die Werte nur leicht über die Hintergrundwerte an. Dies liegt daran, dass an der K/T-Grenze eine Ablagerungslücke (Hiatus) besteht, weil die ansonsten vorhandene Tonschicht erosiv entfernt wurde.

Das prä-K/T-Grenze-Alter des Chicxulub-Impakts ist also durch folgende Punkte abgesichert:

1. Endkreidezeitliche Sedimente oberhalb der Impaktbrekzie im Einschlagskrater und in Nordostmexiko.
2. Präsenz planktonischer Foraminiferenvergesellschaftungen in diesen Sedimenten. Diese sind typisch für die letzten 300 000 Jahre der Kreidezeit.
3. Reverse Polarität (C29R) in diesen Sedimenten. Sie belegt, dass die Ablagerung innerhalb der letzten 500 000 Jahre der Kreidezeit stattgefunden haben muss.
4. Isotopensignale, deren Werte charakteristisch sind für die oberste Kreide.
5. Präsenz von insgesamt fünf grünen glaukonitreichen Sedimentlagen. Jede



**Abb. 12. Gesteinslagen im Bohrkern Yaxcopoil-1 zeigen, dass die Chicxulub-Impaktbrekzie und das K/T-Grenze-Massensterben zeitlich nicht übereinstimmen. Dieselben geologischen Bestimmungen konnten auch im Nordosten von Mexiko gemacht werden.**

einzelne dieser Schichten belegt eine reduzierte Ablagerungsgeschwindigkeit über mindestens 50 000 Jahre.

Unsere Resultate wurden im März 2004 veröffentlicht.<sup>11</sup> Innert kurzer Zeit berichteten Journalisten weltweit in Hunderten von Zeitungs- und Magazinartikeln über unsere Resultate. Ein derartiges Medienecho hätten wir nie erwartet, schienen uns unsere Resultate hierfür doch viel zu komplex und die allgemein bekannte Impakt-Theorie viel zu populär. Die hitzige wissenschaftliche Debatte jedoch geht weiter.

### Multiple Impakte

Es sieht also ganz so aus, als wäre der Chicxulub-Impakt nur eines einer ganzen Serie katastrophaler Ereignisse gewesen, die das Leben am Ende der Kreidezeit

unerträglich machten. Das globale Massensterben stimmt zeitlich mit einem weiteren, vermutlich wesentlich grösseren Impakt überein. Dieser ereignete sich exakt an der K/T-Grenze und wird vor allem durch die globale Iridiumverteilung, die erwähnte Iridium-Anomalie, dokumentiert. Zusätzlich kam es in Indien zu massivem Vulkanismus mit globalen Konsequenzen. Die dortigen Dekkan-Trapp-Basalt-Decken ergossen sich während des Zeitraums von der obersten Kreidezeit bis hinein ins frühe Tertiär. Dieser Vulkanismus führte zu einer globalen Erwärmung und zu erhöhtem Umweltstress für Flora und Fauna. Wahrscheinlich resultierten die damaligen Stressbedingungen aus einer Kombination von Vulkanismus und mehreren Impakten. Sie kulminierten an der K/T-Grenze und führten zu

einem Kollaps der Ökosysteme und zu globalem Artensterben.

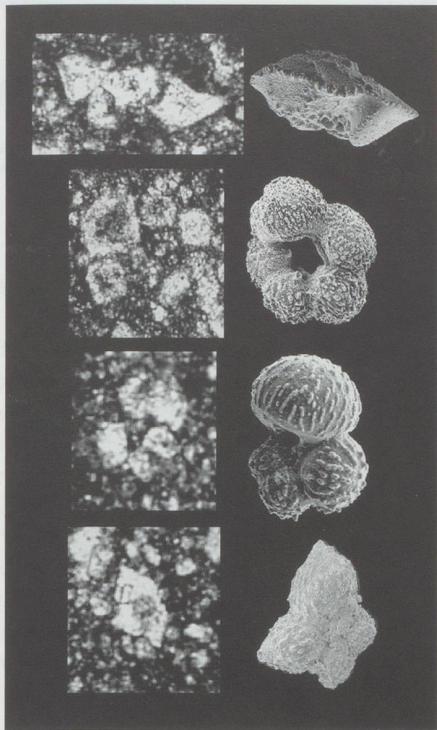
Chicxulub unterstützte ein Szenarium multipler Impakte, wobei sich dieser grosse Einschlag, wie dargelegt, etwa 300 000 Jahre vor der K/T-Grenze ereignete und ein zweiter womöglich noch grösserer an der K/T-Grenze selbst erfolgte (Abb. 14). Es gibt Hinweise auf zumindest drei weitere Einschläge, auch wenn die Altersdaten für diese kosmischen Ereignisse noch ungenau sind. Dieser «Kometenregen» fällt zeitlich mit dem Zenit des Dekkan-Trapp-Vulkanismus zusammen. Bedingt durch die grosse Menge vulkanischer Gase kam es zu einer globalen Erwärmung der Atmosphäre. Selbst im tiefen Ozean betrug die Erwärmung des Wassers im Zeitraum zwischen 65,2 und 65,4 Millionen Jahren noch 4° Celsius. Der Chicxulub-Impakt vor 65,3 Millionen Jahren wird zum Treibhauseffekt beigetragen haben.

### Biologische Auswirkungen von Impakt und Vulkanismus

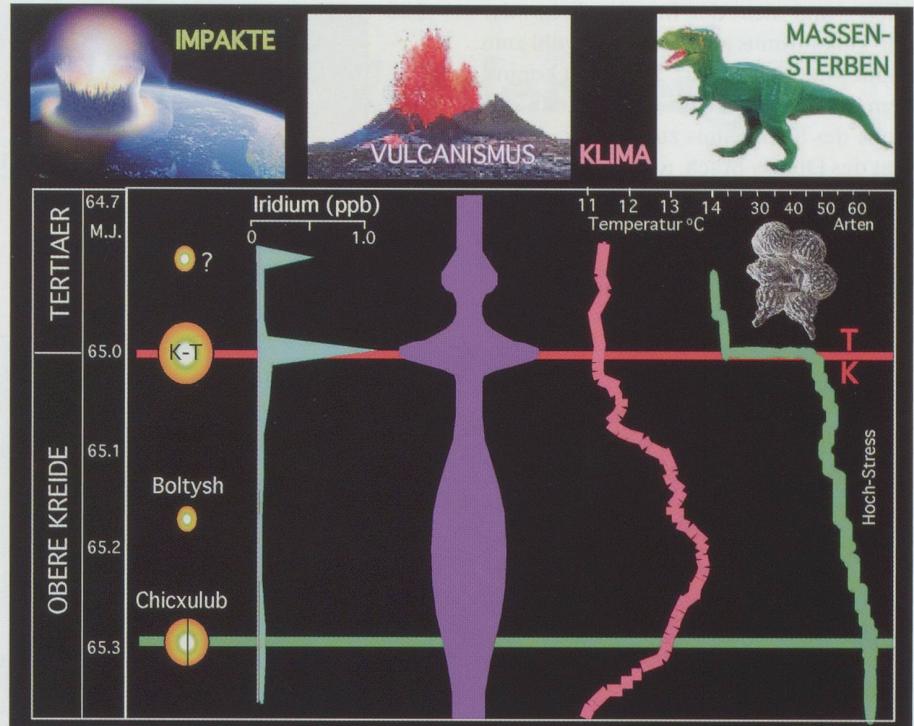
Die massive, durch den Vulkanismus ausgelöste Klimaerwärmung hatte Auswirkungen auf das ozeanische Zirkulationssystem. Die Strömungsdynamik wurde herabgesetzt, was wiederum zu einer geringeren Menge aufströmenden Tiefenwassers (Upwelling) und damit zu niedrigerem Transfer von Nährstoffen aus dem tiefen Ozean an die Oberfläche führte. Die ebenfalls resultierende geringere Stratifizierung (Schichtung) des Wasserkörpers führte zu einer Reduktion der ökologischen Nischen und zu stärkerem Wettbewerb. Diese ökologischen Veränderungen führten zu enormem biotischem Stress, vor allem für die hoch spezialisierten tropischen Arten.

Die allgemeine Artendiversität sank über die letzten 500 000 Jahre der Kreidezeit langsam, und die Populationen tropischer Arten wurden an den Rand des Aussterbens getrieben. Die Vielfalt der Saurier, Ammoniten und vieler Muscheln sank rapide, und viele Arten starben allmählich aus. Doch es gibt keinen zeitlichen Zusammenhang mit dem Chicxulub-Impakt. Der biotische Hochstress ist dem geänderten Klima zuzuschreiben.

Es ist ungewiss, ob die Dinosaurier schon zu dieser Zeit ausgestorben sind, ob sie bis zur K/T-Grenze überlebt oder ob einige Arten auch noch eine Zeit lang bis ins Tertiär überlebten. Dies festzustellen



**Abb. 13.** Planktonische Foraminiferen aus dem Chicxulub-Krater (links) im Vergleich mit gut erhaltenen Arten (rechts) aus der Tiefsee. Beide zeigen den gleichen Artencharakter.



**Abb. 14.** Katastrophen kennzeichnen das Ende der Kreidezeit und das unterste Tertiär: Massiver Vulkanismus führte vor 65,4 bis 65,2 Millionen Jahren zu einer Klimaerwärmung, zu der auch der Chicxulub-Impakt (vor 65,3 Mio. Jahren) beitrug. Diese Erwärmung führte zu hohem biotischem Stress. Vor 65 Millionen Jahren führten eine erneute starke Zunahme des Vulkanismus und ein zweiter Impakt an der K/T-Grenze zum Massensterben.

ist sehr schwierig, weil auf der Welt für eine statistische Ermittlung zu wenig Dinosaurierfossilien zu finden sind. Deswegen sind Mikrofossilien mit ihren Tausenden von individuellen Ausprägungen in der Grösse eines Fingerhutes bessere Indizien, um die Erdgeschichte zu enträtseln.

Wie in Abb. 14 dargestellt, trafen kurz vor Ende der Kreidezeit schliesslich mehrere Katastrophen zusammen: Prof. Dr. Vincent Courtillot und seine Mitarbeiter vom Institut Physique de Globe in Paris konnten aufzeigen, dass die Intensität des Dekkan-Vulkanismus nochmals enorm anstieg. An der K/T-Grenze kam es dann zum letzten Schlag, einem Asteroiden-Impakt, der gross genug war, eine feine Iridiumschicht auf der ganzen Erde zu verteilen (die sogenannte Iridium-Anomalie). Der Krater dieses K/T-Grenze-Impakts muss allerdings erst noch gefunden werden. Zu dieser Zeit sind alle tropischen planktonischen Foraminiferen – etwa zwei Drittel des gesamten Artenpektrums – ausgestorben. Arten, welche die veränderten Umweltbedingungen to-

lerierten, überlebten für weitere 200 000 Jahre, wurden dann aber allmählich durch neue, besser angepasste ersetzt.

### Impakt oder Vulkanismus – oder beides?

Die grosse Frage ist: Hat der 300 000 Jahre nach dem Chicxulub-Einschlag erfolgte K/T-Grenze-Impakt das Massensterben verursacht? Die vorliegenden Daten zeigen, dass der Faunenschwund der tropischen Arten, der K/T-Grenze-Impakt und das Maximum des Vulkanismus zeitlich zusammenfallen (Abb. 14). Welche Rolle aber spielte der Vulkanismus im finalen Akt des kreidezeitlichen Lebens? Klar zu sein scheint, dass der Vulkanismus die Hochstressbedingungen schuf, die zum graduellen Niedergang der Artenvielfalt führte. Würde der massive Vulkanismus aber auch zum Massensterben geführt haben, wenn es den K/T-Grenze-Impakt nicht gegeben hätte? Hätte dann die kreidezeitliche Fauna überlebt, und wäre eine Welt entstanden, in der Dinosaurier weiterhin dominieren hätten?

Die Antworten auf diese Fragen werden wir wohl nie wissen. Aber es gibt einige Indizien. Massiver Vulkanismus kann dieselben biologischen Konsequenzen haben wie ein grosser Impakt, was ich anhand der spätkreidezeitlichen Eruption auf dem Ninetyeast Ridge im Indischen Ozean 2003 dokumentiert habe.<sup>12</sup>

Arten reagieren in vergleichbarer Weise auf Stressbedingungen, egal, ob diese durch Vulkanismus oder Impakt ausgelöst werden. Für das kreidezeitliche Leben war es eine schwere Katastrophe, dass der K/T-Grenze-Asteroid genau in jener Phase auf der Erde einschlug, als die Fauna ohnehin maximalem Stress ausgesetzt war, ausgelöst durch Vulkanismus und Klimaveränderungen. Dieses zeitliche Zusammentreffen zweier Katastro-

11 GERTA KELLER et al., *Chicxulub impact predates the K-T boundary mass extinction*. – In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (PNAS 2004, 101(11), S. 3721–3992).

12 GERTA KELLER, *Biotic effects of impacts and volcanism*. – In: *Earth and Planetary Science Letters* 215 (2003), S. 249–264.

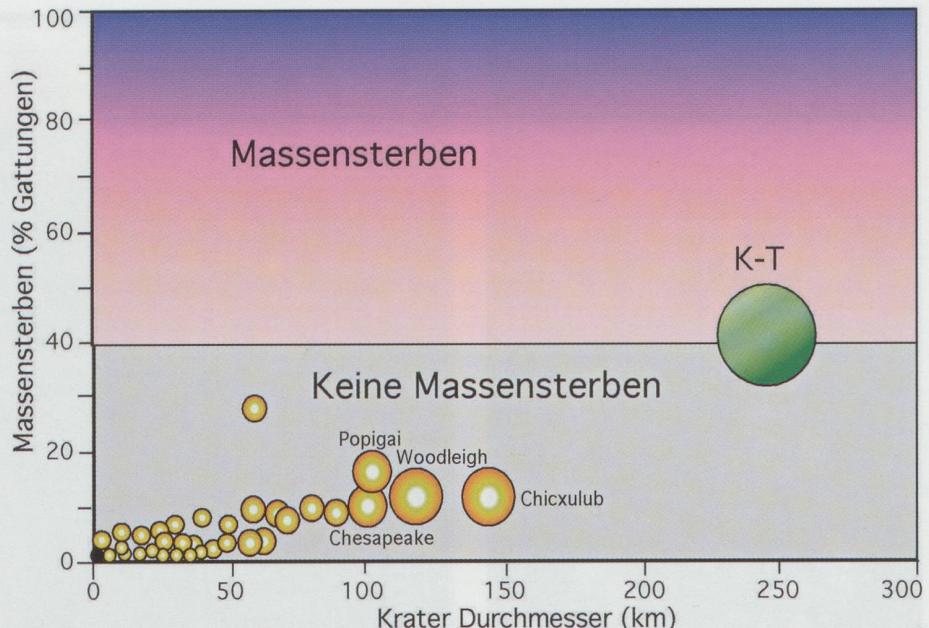
phen – und nicht der Impakt allein oder der Vulkanismus allein – haben wohl zum Faunensterben geführt. Vielleicht kommt dem K/T-Grenze-Einschlag damit die Rolle des Strohhalms zu, der das «Rückgrat des Dinos» brach. Sicher aber veränderte das K/T-Grenze-Massensterben den Lauf der Evolution und ermöglichte erst den Aufstieg der Säugetiere und damit letztlich unsere eigene Entwicklung.

### Killrate von Impakten

Die oben dargestellten Ergebnisse führen uns unweigerlich zur Frage, welche generelle Rolle Impakte und Vulkanismus für die biologische Evolution spielen. Wie gross muss ein Einschlag sein, damit er überhaupt eine grosse biologische Krise und ein Aussterben verursachen kann? Die geologisch überlieferte Kratergeschichte der letzten etwa 350 Millionen Jahre gibt uns dazu weitere Informationen. Eine Gegenüberstellung der Prozentzahlen ausgestorbener Gattungen und der gemessenen Grösse von Einschlagskratern zeigt, dass kein einziger dieser Krater zeitlich mit einem Massensterben (von mehr als 30 Prozent der Gattungen) übereinstimmt (Abb. 15). Kleinere Krater von 25 bis 50 Kilometern führen erwartungsgemäss nicht zu Artensterben. Aber dies gilt selbst für grosse Einschläge mit Kraterdurchmessern von 100 Kilometern. Zwei solche grosse Impakte, die Popigai- und Chesapeake-Krater, ereigneten sich in einem Zeitraum von nur 200 000 Jahren im späten Eozän, vor etwa 35,5 Millionen Jahren. Keine Lebensformen sind damals ausgestorben.

### Zuerkennung

Dieser Beitrag ist meinen Geschwistern und ihren Gatten und Gattinnen gewidmet, die mich jahrelang immer wieder fragten: Was machst du denn eigentlich? Auch will ich ihn meinen ehemaligen Schulkameradinnen und -kameraden von Salez, Haag, Sax, Frümsen und Sennwald zuerkennen – und natürlich allen im Dorf Salez, wo ich meine Jugendzeit verbracht habe. Ein spezieller Dank geht an Hans Jakob Reich, der viele Erinnerungen an die Jugend zurückbrachte und mich zu diesem Aufsatz aufgefordert hat.



**Abb. 15. Die Daten von Massensterben und Impakten für die letzten 300 Millionen Jahre zeigen, dass Impakte mit Kraterdurchmessern bis zu 150 Kilometern keine Massensterben verursacht haben. Der K/T-Grenze-Impakt, für den noch kein Krater gefunden ist, muss entweder grösser sein oder Vulkanismus spielte eine grössere Rolle, als man allgemein glaubt.**

Chicxulub ist der grösste bekannte Krater und wurde zuerst mit 190 bis 250 Kilometern im Durchmesser angegeben. Doch die neueste Messung zeigt den Krater mit einem Durchmesser von «nur» rund 145 Kilometern. Wie wir bereits wissen, kam es auch durch diesen Einschlag zu keinem globalen Massensterben. Ein anderer grosser Einschlagskrater (Woodleigh, 120 Kilometer Durchmesser) vor etwa 354 Millionen Jahren ist älter als der globale Faunenschnitt im oberen Devon. Dieser Einschlag hatte, ähnlich wie Chicxulub, keine grossen Auswirkungen auf die Artenvielfalt.

Nur der endkreidezeitliche Faunenschnitt scheint über die dort angetroffene Iridium-Anomalie direkt mit einem grossen Impakt verknüpft zu sein. Der Paläontologe Sankar Chatterjee von der Texas Tech Universität, USA, zieht in Erwägung, dass es im Indischen Ozean, überlappend mit dem indischen Subkontinent und dem Dekkan-Vulkanismus, eine grosse Impaktstruktur geben könnte. Die Existenz dieses sogenannten Shiva-Kraters ist aber bisher nicht durch harte Daten abgesichert.

Wir können also die Killrate von Einschlägen anhand der bekannten Krater einschätzen. Abb. 15 zeigt, dass bis zu einem Kraterdurchmesser von 150 Kilome-

tern kein Artensterben von globalen Ausmassen nachgewiesen ist. Wenn wir also davon ausgehen, dass an der K/T-Grenze 45 Prozent der damaligen Gattungen ausgelöscht wurden und dass dieser Faunenschnitt auf einen Impakt zurückzuführen ist, dann müsste dieser Einschlag einen Krater von mehr als 250 Kilometern Durchmesser hinterlassen haben. Wenn das globale Massensterben aber auf die gemeinsamen Auswirkungen eines grossen Einschlags und von Vulkanismus zurückgeht, dann kann der Einschlagskrater auch kleiner gewesen sein.

Die abschliessende Analyse der vorliegenden Fakten ergibt, dass der Asteroideneinschlag an der K/T-Grenze zu einer Zeit von globalem biotischem Stress erfolgte. Auch er löschte nicht auf einen Schlag eine blühende Artengemeinschaft aus. Der globale Faunenschnitt an der K/T-Grenze vor rund 65 Millionen Jahren war vielmehr die Folge des Zusammenwirkens verschiedener Faktoren, von Einschlägen und Vulkanismus, die gemeinsam eine Veränderung des globalen Klimas bewirkten und so zum Massensterben führten.

### Bilder/Grafiken

Zur Verfügung gestellt von der Autorin.