

# BARBARA-GESPRÄCHE

## Payerbach 1997

Wesentliche Events der Erdgeschichte und deren  
Auswirkungen - Zusammenfassung und Ausblick

H. P. SCHÖNLAUB



**Anmerkung der Redaktion:**

Da das Originalmanuskript der Langfassung zum Zeitpunkt der Drucklegung nicht vorgelegen ist, findet hier die beim Vortrag aufgelegte Kurzfassung Verwendung

*Anschrift des Verfassers:*

*Dir. Dr. Hans Peter SCHÖNLAUB  
Geologische Bundesanstalt*

*Rasumofskygasse 23  
A - 1030 Wien*

# Wesentliche Events der Erdgeschichte und deren Auswirkungen - Zusammenfassung und Ausblick

H. P. SCHÖNLAUB

Naturkatastrophen können sich in der Atmosphäre, der Hydrosphäre, der Lithosphäre und in der Biosphäre ereignen und sehr unterschiedliche Dimensionen haben. Denken wir etwa an Vulkanausbrüche, die hunderte, ja tausende Kubikkilometer Magma freisetzen können, ganz abgesehen von der Förderung von Giftgasen wie  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , und  $\text{NO}_x$ .

So wurden z.B. in der Parana-Basaltprovinz am Beginn der Öffnung des Südatlantiks rund 800.000 m<sup>3</sup> Basalt und Rhyolith gefördert; die für den Ausbruch des Toba in Indonesien vor 75.000 Jahren hochgerechnete Menge von Schwefelsäure beträgt zwischen 900 Millionen und 5 Md. Tonnen.

Weitere Beispiele von Naturkatastrophen betreffen im weiteren Sinn Klimaereignisse und im Zusammenhang mit Erdbeben stehende katastrophale Ereignisse, wie z.B. Tsunamis, Bergstürze oder andere Massenumlagerungen. So werden z.B. untermeerische Schlammströme bis 200 km lang und erreichen ein Volumen von über 5000 km<sup>3</sup>.

Umweltkatastrophen haben und hatten aber auch ihre Auswirkungen auf die Lebewelt des Planeten Erde. Bereits im vorigen Jahrhundert haben Paläontologen erkannt, daß zu verschiedenen Zeiten plötzlich und massenhaft Arten verschwunden sind. Die größten Massensterben charakterisieren jene Übergänge der Erdgeschichte, nach denen der geologische Kalender unterteilt wird. Bis vor rund zwei Jahrzehnten hielt man diese Einschnitte nur für Phasen verlangsamter und anschließend verstärkter Evolution, die durch den Konkurrenzkampf unter den Organismen verursacht worden war.

Die von der sogenannten ALVAREZ - Hypothese ausgehende neue Situation regte ab etwa 1980 dazu an, sich erneut näher mit den

damals bekannten großen Massensterben zu beschäftigen. Die Fragen drehten sich einerseits um Ursache, Zeitpunkt und Umfang, andererseits aber um Gemeinsamkeiten und allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten, die diesen Ereignissen zugrunde lagen. Die Schlußfolgerungen daraus ließen sich womöglich auch für die Frage nach der zukünftigen Entwicklung der Erde heranziehen.

Aus dem Phanerozoikum kennt man "Fünf Große" Massensterben:

- am Ende des Ordoviz
- im späten Devon
- am Ende des Perms
- am Ende der Trias
- am Ende der Kreide

Das Massensterben aus dem Oberdevon unterscheidet sich insofern von den übrigen, als dieses Ereignis nicht am Ende des Devons, sondern innerhalb des Oberdevons und zwar zwischen Frasn- und Famenne-Stufen stattfand.

In den vergangenen vier bis fünf Jahren ist zu dieser Liste noch ein weiteres Massensterben hinzugekommen, allerdings im ausgehenden Proterozoikum vor rund 600 Millionen Jahren. Ich werde es hier kurz beleuchten, das dieses Ereignis für das Leben auf der Erde von entscheidender Bedeutung zu sein scheint.

\*

Über 2 Milliarden Jahre lang war das frühe Leben auf der Erde von einzelligen Prokaryonten ohne Zellkern geprägt. Der entscheidende Schritt zu planktonischen Algen und dem Erscheinen von Eucaryonten, also Einzellern mit Zellkern vollzog sich vor rund 1800 Millionen Jahren. Doch auch in den folgenden 800 Millionen Jahren machte die Evolution keine großen Fortschritte.

Dies änderte sich jedoch vor rund 1 Milliarde Jahren: Plötzlich erschienen mehr und mehr Arten, auch mehrzellige Algen, die zudem nur relativ kurze Zeit lebten. Molekularbiologen glauben heute den Grund dafür zu kennen und nehmen an, daß es damals zu einer fundamentalen genetischen Innovation kam: sexuelle Zellteilung und Vermehrung. Damit vervielfachten sich die genetischen Kombinationsmöglichkeiten.

Was war die Ursache für diesen Evolutionschritt? War es die Umwelt, Stress infolge des Selektionsdrucks, waren es Umweltfaktoren oder vielleicht die Verschmelzung einzelner Kontinentalplatten zu Superkontinent Rodinia? Wir wissen es nicht.

Fest steht, daß in der Folge dieses Ereignisses, allerdings erst 400 Millionen Jahre später, d.h. vor rund 600 Millionen Jahren das erste Massensterben in der Geschichte der Erde zu beobachten ist.

Zu dieser Zeit wurde der Anstieg der Diversität der planktonischen Algen zu den hohen Werten im Kambrium jäh unterbrochen. Es kam zu einem Kollaps, der sich im Verschwinden von rund 75% aller Algen manifestierte. In auffallender Weise fällt dieses Massensterben mit der Varanger-Eiszeit zusammen. Zur Zeit läßt sich nur spekulieren, ob zwischen diesen beiden Ereignissen ein kausaler Zusammenhang besteht.

\*

Eines der großen Rätsel in der Geschichte des Lebens ist die sogenannte "kambrische Explosion". Mit dem Beginn des Kambriums vor 540 Millionen Jahren trat zwar bereits eine Vielzahl hartschaliger kleiner Organismen als Kennzeichnung von Biomineralisation auf, doch erst vor rund 530 Millionen Jahren setzten mit einer Ausnahme schlagartig alle späteren Tierstämme ein.-Es kam zu einem verstärkten Evolutionsschub. Das ungewöhnliche daran ist, daß er innerhalb von nur 5-10 Millionen Jahren erfolgte.

In den vergangenen beiden Jahren wurde wiederholt versucht, diese zweistufige Evolution zu erklären und Beweise dafür vorzulegen. Sie reichen von einer veränderten

Zusammensetzung der Atmosphäre über Plattenreorganisation bis hin zu physiologischen Veränderungen der Tierwelt selbst. Nach dem letzten Stand der Untersuchungen muß für das ausgehende Präkambrium eine Kaltzeit angenommen werden, während im Kambrium in niederen Breiten ein ausgeprägtes Treibhausklima herrschte. Die Zeitenwende selbst sollen Evaporite, Phosphorite und ungewöhnliche Anomalien im Kohlenstoff-Isotopenverhältnis  $^{13}\text{C}$  zu  $^{12}\text{C}$ . charakterisieren.. Als Hinweis auf eine primär hohe Produktion von Biomasse, Eutrophierung sowie Entzug von Kohlendioxid aus der Atmosphäre bei gleichzeitigem Anstieg des O-Gehaltes wird das positive Signal des C-Isotopenverhältnisses an der Präkambrium/Kambrium - Grenze gewertet, das allerdings im Verlaufe des Unterkambriums in die andere Richtung ausschlägt und vermutlich Treibhausbedingungen anzeigt.

\*

Wenn wir diese Kurve mit der Verteilung der stabilen Kohlenstoff-Isotopen-Verhältnisse an der Perm/Trias - Grenze vor 251 Millionen Jahren vergleichen, so hat es den Anschein, als ob zwischen beiden ein spiegelbildliches Verhältnis besteht. Ich setze voraus, daß allgemein bekannt ist, daß an der Wende zum Paläozoikum zum Mesozoikum der markanteste Einschnitt in der Entwicklung der Lebewelt des Planeten Erde auftritt. Man hat errechnet, daß damals über 90% aller im Meer lebender Arten zugrunde ging, aber ebenso stark die Landflora betroffen war. Ob dieses Ereignis schlagartig hereinbrach oder sich über einen längeren Zeitraum hinzog, war freilich lange Zeit genauso umstritten wie die Ursache.

Nach einer kürzlich publizierten Analyse soll es am Ende des Perm innerhalb von 5 Mio. Jahren zu zwei Massensterben gekommen sein. Eine wenige Tage alte Spekulation des Astrophysikers David N. Schramm vertritt die Vorstellung, daß dieses Massensterben auf die Explosion eines Riesensterns, eine Supernova, zurückginge. Die Strahlenemission hätte die schützende Ozonschicht der Erde so schwer geschädigt, daß fast alles Leben vernichtet wurde.

Weitere Annahmen sind:

- klimatische Ursachen
- Meeresvergiftung
- Salinitätsänderungen
- Vulkanismus
- Asteroidenimpakt
- Verschmelzung von Kontinentalplatten
- Regression

Die Ergebnisse, die eine Arbeitsgruppe unter meiner Leitung und der eines Kollegen aus den USA in den vergangenen Jahren im Rahmen eines wissenschaftlichen Bohrprogrammes am Naßfeld in Kärnten erzielt haben, weisen in eine andere Richtung: Wir vermuten, daß am Ende des Perms die Produktivität in den Ozeanen stark abnahm und gleichzeitig der CO<sub>2</sub>-Partialdruck in der Atmosphäre anstieg. Dies bewirkte zeitweise ein Treibhausklima. Außerdem erkennen wir im Kurvenverlauf ein mehrmaliges Oszillieren, was anscheinend heißt, daß die Ökokrise länger dauerte: wir meinen rund 3 Millionen Jahre.

Der nur aus den Südalpen bekannte Kurvenverlauf scheint sich im Bükk-Gebirge von Nordungarn zu wiederholen.

Was aber war nun tatsächlich die Ursache für das Massensterben vor 251 Millionen Jahren?

Die meisten damit befaßten Wissenschaftler tendieren heute dahin, daß nicht ein Ereignis allein, wie beispielsweise an der K/T-Grenze, als Verursacher in Frage kommt, sondern eine ganze Kette und ein Zusammenwirken von für die Lebewelt ungünstigen Umständen.

1. Das begann mit dem Verlust vieler Lebensräume in der Folge einer globalen Regression.
2. Auf der Großerde Pangäa stellte sich ein instabiles Klima ein.
3. Diese Instabilität wurde verstärkt durch einen örtlich intensiven Vulkanismus (Sibirien, China) mit starkem Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Atmosphäre und entsprechender Erwärmung, die die Toleranzgrenzen vieler Organismengruppen im Meer und am Land überstieg - es kam zum ökologischen Kollaps.

4. Es fehlt jeglicher gesicherter Hinweis auf eine extraterrestrische Komponente, die zu dem Massensterben beitrug.

\*

Etwas klarer sind die heutigen Vorstellungen über das Massensterben vor rund 440 Millionen Jahren am Ende des Ordoviz.

Die wichtigste neue Erkenntnis liegt darin, daß dieses Ereignis ganz im Zeichen einer großen, aber relativ kurzfristigen Vereisung steht. Aller Wahrscheinlichkeit nach dauerte sie nicht länger als 500.000 bis 1 Million Jahre.

Bemerkenswert ist auch hier eine auffallende Fluktuation, sowohl was das Verhältnis der stabilen Kohlenstoff-Isotopen betrifft, als auch das Sauerstoff-Isotopen-Verhältnis. Beide Kurven verlaufen völlig synchron. Sie spiegeln zu Beginn eine verstärkte Produktivität und einen Entzug des leichteren C-Isotops <sup>12</sup>C aus dem organischen C.Pool wieder, was zur Folge hatte, daß der CO<sub>2</sub>-Partialdruck im Ozean und in der Atmosphäre sank und sich gleichsam ein "inverses" Treibhausklima, d.h. eine Vereisung einstellte. Dieses Geschehen fällt mit einer ersten Aussterbewelle zusammen. Kurz danach zeigen beide Kurven die entgegengesetzte Tendenz. Es wird angenommen, daß dieses Signal das Ende der Vereisungsperiode widerspiegelt, ebenso aber auch ein Hinweis auf verminderte Produktion von Biomasse ist. Dies dürfte die Ursache für ein weiteres Massensterben knapp vor Ende des Ordoviz gewesen sein.

\*

Für das Massensterben im Oberdevon wurde bereits 1970 ein Zusammenhang mit einem Asteroideneinschlag vermutet - 10 Jahre bevor Luis Walter ALVAREZ und sein Sohn das gleiche Szenario für die Kreide/Tertiär-Grenze mit ersten Evidenzen zu beweisen suchten.

Für beide Ereignisse gibt es auch in Österreich verschiedene Zeugnisse. Das große Sterben im Oberdevon weicht insofern von den übrigen ab, als es nicht am Ende des Devons, sondern zwischen den Frasn- und Famenne-Stufen innerhalb des Oberdevons stattfand. Es war in der Tat ein großes Sterben, denn damals

gingen zwischen 75% und 82% aller Arten und über die Hälfte aller Gattungen zugrunde.

Zur Eigenart dieses Sterbens gehört, daß es nicht über Nacht kam, sondern sich in mehreren Schüben über eine Zeit von 3 Millionen Jahre verteilte.

In einer ersten Ökoanalyse wurde zwar eine globale Temperaturabnahme als Ursache für das Aussterben gesehen, doch paßte in dieses Bild nicht die Vorstellung eines Killerasteroiden, dessen Nachwehen über solange Zeit wirksam gewesen sein sollten. Man verfiel daher auf die Idee von multiplen Impakten, wofür sogar konkrete Hinweise vorhanden schienen, u.a. in Form von Kratern und schließlich durch zwei Mikrotektitlagen, die 1992 in Belgien bzw. in China gefunden werden konnten. Die belgischen Mikrotektite sollen vom 52 km großen Siljan-Krater in Schweden stammen, die rund 15 Millionen Jahre jüngeren in China von einer rund 70km großen Struktur.

Nach den bisherigen geochemischen Untersuchungen der Grenzschichten fehlen leider bisher eindeutige Indizien, die für ein kosmisches Ereignis als Ursache für dieses Massensterben sprechen. Das gilt vor allem für Meldungen über Iridium, dessen geringe Mengen auf biologische Aktivitäten zurückgehen.

Die stabilen Isotopendaten zeigen an vielen Stellen, so auch in den Karnischen Alpen, auffallende positive und negative Anomalien; ähnliche Signale wurden auch für Sauerstoff und Schwefel beobachtet. Diese Werte sind jedoch schwer interpretierbar, könnten aber als

Hinweis auf globale Klimaänderungen und Meeresspiegelschwankungen gewertet werden. Eine allgemein überzeugende Erklärung für dieses Massensterben steht aber noch aus.

Devon/Karbon-Grenze ("Grüne Schneid"): Beispiel für ein zweitrangiges Massensterben.

Trias/Jura-Grenze:

Bisher ohne ungewöhnliche geochemische Anomalien

\*

In den vergangenen Jahren ist wiederholt die Frage nach der oder den Ursachen für die kurz skizzierten Massensterben gestellt worden. Sieht man vom Geschehen an der K/T-Grenze ab, so gab es bisher keine befriedigenden Antworten.

Welche Bedeutung kommt den verschiedenen biologischen, chemischen oder physikalischen Signaturen zu, die für das eine oder andere Ereignis das charakteristische Merkmal sind und als Indiz für dieses oder jenes Szenario vorgebracht wird.? Oder laufen alle Katastrophen unter der gleichen Regie ab?

Mit wenigen Ausnahmen konnte bisher kein direkter physikalischer oder chemischer Zusammenhang zwischen Massensterben und Impakten hergestellt werden.

Die Annahme scheint berechtigt, daß erst die Verkettung von Einzeleinwirkungen eine Gefahrensituation bewirkt, d.h. ein Impuls den nächsten auslöst und es daher zu wechselseitigen Verstärkungen im Sinne positiver Regelkreise kommt, die letztendlich in einer Katastrophe münden.

## DISKUSSION :

### Wesentliche Events der Erdgeschichte und deren Auswirkungen - Zusammenfassung und Ausblick

**KALLENBACH:** Vielen Dank für Ihre Ausführungen, und Sie haben gezeigt, daß, auch wenn es heute modern ist, nicht nur Impakte für das Aussterben von Arten verantwortlich gemacht werden können, sondern daß es auch eine Reihe irdischer Ereignisse dafür gibt.

**SCHÖPFER:** Ist es denkbar, daß es Impakte gibt, die keine Iridiumanomalie hinterlassen?

**KURAT:** Das ist natürlich möglich, wenn der extraterrestrische Körper kein oder sehr wenig Iridium hat, nur, die Hauptmasse hat es.

**SCHÖNLAUB:** Es gibt auf der Erde rund 150 Impaktkrater und viele davon sind mehr oder weniger gut, einige sehr präzise zeitlich eingeordnet. Diese Impakte haben nicht alle in einer Katastrophe gemündet, man muß sie sehr differenziert betrachten.

Wenn ein Krater bis etwa zur Größe des Rieskraters entstanden ist, dann wird keine größere Katastrophe verursacht worden sein, das war ein lokal begrenztes Ereignis. Das andere Extrem ist Chixculub, aber hier war die entscheidende Frage, wie war der Untergrund, auf welche Sedimente ist der Impaktor geprallt, die so große Mengen Schwefelsäure freigeben konnten. Wir müssen die Krater betrachten, die dazwischen liegen, die können unter Umständen mit selektiven Massensterben in Zusammenhang stehen.

Wenn Sie einen Krater mit 3,8 km Ø haben, wackelte zwar die Umgebung ein bißchen, aber auf die Lebenswelt hatte das keinen Einfluß. Anders ist das im Oberen Eozän, da haben Sie Krater mit 90 - 100 km Ø, und wir wissen, daß es hier tatsächlich zu einem signifikanten Wechsel in der Organismenwelt gekommen ist.

Weitere Krater, die für ein größeres Massensterben in Frage kommen, liegen im Campan/Cenoman mit 35/65/25 km Ø, an der Grenze

Abt/Alb in Canada mit 39 km Ø, dann einer mit 55 km Ø aus dem Jura. Im Jura kennen wir tatsächlich Massensterben, aber die waren zweit- bis dritrangig, nicht vergleichbar.

**SCHÖPFER:** Zur Perm/Trias-Grenze: Es gibt Iridiumanomalien in den Karnischen Alpen, kurz vor der Grenze zwei Anomalien, auf die Sie nicht eingegangen sind.

**SCHÖNLAUB:** Diese Anomalien gibt es, sie haben ungefähr die vierfachen Werte des normalen Hintergrundwertes von 20 - 80 ppt Iridium. Auffallend ist, daß diese Anreicherungen mit einem Schieferhorizont zusammenfallen, und wir nehmen an, daß es hier zu einer bakteriellen Beteiligung gekommen ist. Man findet so etwas häufig in kohlenstoffreichen Sedimenten, das muß nicht mit einem Impakt zusammenhängen. Da andere kosmische Evidenzen auch fehlen, glauben wir nicht an einen Impakt, allerdings ist er nicht gänzlich auszuschließen.

**HERBST:** Was die Salinität angeht...*unverständlich*...Haselgebirge. Inwiefern hat das das Leben im Meer beeinflusst?

**SCHÖNLAUB:** Wenn es zu solchen Evaporiten kommt, haben Sie ohnedies nur sehr wenige Organismen, die in diesem Milieu gelebt haben. Es war sehr sehr heiß am Ende des Perms und man findet verstärkt Eindampfungsgesteine. Unter solchen Extrembedingungen finden Sie beispielsweise keine Ammoniten, Sie finden sie nicht im obersten Perm, sondern erst, wenn die Salinität wieder einigermaßen normal ist, etwa ab der Mitteltrias.

**HERBST:** Wenn man einen Superkontinent nimmt wie Pangäa, dann sind die Schelfbereiche verglichen mit der heutigen Kontinentverteilung um einiges kleiner, und damit auch der

Bereich, in dem es zur Riffbildung kommen kann.

**SCHÖNLAUB:** Zu dieser Zeit, an der Perm-/Triasgrenze, gab es auch keine Riffe, die erscheinen erst wieder etwas später.

**HACKENBERG:** Ich möchte nur darauf hinweisen, daß es für Massensterben nicht unbedingt dramatischer Ereignisse bedarf, weder Impakte noch Flutbasalte sind dafür erforderlich. Wir erleben gerade eben ein anthropogen bedingtes Massensterben.

**SCHÖNLAUB:** Ja, das stimmt, aber das Aussterben des Menschen ist keine Katastrophe.

**HACKENBERG:** Ich meine nicht den Menschen, sondern die tägliche Aussterberate von etwa 50 Arten, vor allem in den Tropen, und das - vermutliche - Aussterben aller Amphibien, mit dem übrigens der Mensch nicht unbedingt etwas zu tun haben muß.

**SCHÖNLAUB:** Ja, die Schätzungen liegen zwischen 41 und 72 Arten pro Tag. Wenn man das auf eine Million Jahre hochrechnet, dann kann man schätzen, in wie wenigen Jahren die Organismen ausgestorben sein werden. Ich glaube, daß hier mehr die Populationen betroffen sind.

**LAUER:** Wenn es richtig ist, daß trotz aller Bedenken und Einschränkungen die KT-Grenze jetzt doch allgemein als ein Impaktereignis anerkannt ist, gibt es eine Erklärung dafür, warum zwei verschiedene Lebensformen, beide Plankton, beide marin, beide

mit Kalkschalenskelett, zu verschiedenen Zeiten aus den Profilen verschwinden?

**RIEHL-H.:** Ich glaube, daß wir diese Frage in der Kürze der heutigen Zeit nicht mehr lösen werden. Die Übergabe des Weines des Vortragenden möchte ich noch für eine kurze Anschlußfrage mißbrauchen, wie stehst Du zur Position der Quarzporphyre? Im gesamten mitteleuropäischen Raum an der Ordovic/Silur-Grenze haben wir überall einen ganz charakteristischen Vulkanismus, wie wir ihn rezent nicht kennen. Wie erklärt man das heute? Das zweite Vorkommen, ebenfalls zeitlich sehr eng begrenzt und europaweit verbreitet, ist der Bozener Quarzporphyr und die entsprechenden primären und sekundären Marken an der Wende vom Paläozoikum zum Mesozoikum.

**SCHÖNLAUB:** Ich habe versucht, den Bozener Quarzporphyr, der in den Alpen vehement in Erscheinung tritt, den anderen vulkanischen Ereignissen gegenüberzustellen. Sowohl der Bozener Quarzporphyr als auch der Blasseneckporphyr der Grauwackenzone sind zeitlich relativ genau eingegrenzt. Aber sie waren relativ kleine Ereignisse, was die Mengen betrifft. Wir wissen natürlich nicht, was durch die variszische und alpidische Gebirgsbildung verlorengegangen ist, aber dennoch halte ich diese Ereignisse für relativ unbedeutend für die Lebewelt.

#### *Diskussionsbeiträge von:*

**Michael HACKENBERG**

*Bergbaunuseum Enzenreith  
A - 2640 Gloggnitz*

**Paul HERBST**

*Inst. f. Geologie, Univ. Salzburg  
Georg Kropp Straße 16  
5020 Salzburg*

**Univ.Prof. Dr. Heinz KALLENBACH**

*Am Sandwerder 42a  
D - 14109 Berlin 39*

**Univ.Prof. Dr. Gero KURAT**

*Naturhistorisches Museum Wien  
Burgring 7  
A - 1010 Wien*

**Dr. G. LAUER**

*Erndtgasse /  
A - 1180 Wien*

**Dr. Georg RIEHL - H**

*Hauptstraße 70  
A - 2801 Katzelsdorf*

**Dir. Dr. Hans Peter SCHÖNLAUB**

*Geologische Bundesanstalt  
Rasumofskygasse 23  
A - 1030 Wien*

**Martin SCHÖPFER**

*Inst. f. Geologie, Univ. Salzburg  
Georg Kropp Straße 16  
5020 Salzburg*