RAINER BRANDNER

promovierte 1972 zum Dr. phil. an der Universität Innsbruck. Im Jahre 1988 wurde er als Professor an die Universität Erlangen-Nürnberg berufen. Seit 1991 ist er Univ.-Prof. für Geologie an der Universität Innsbruck wo er seit 1992 dem Institut für Geologie und Paläontologie vorsteht. Neben breit gestreuten geologischen Grundlagenforschungen in der Alpengeologie ist er federführend an den Voruntersuchungen zum Brenner-Basistunnel-Projekt beteiligt.

MASSENSTERBEN

Vor 250 Millionen Jahren ereignete sich die größte bis jetzt bekannte Katastrophe im globalen Ökosystem, bei der 70 bis 90 Prozent der Lebewesen ausstarben. Ziel dieses Projekts war es, in einem Vergleich von Schlüssel-Lokalitäten in Südtirol und dem Iran mit unterschiedlichen Methoden die möglichen Ursachen zu beurteilen und Beweise für die wahrscheinlichste Ursache dieses Massensterbens zu finden.

Gefördert durch: International Geoscience Programme (IGCP)

DANK | Micha Horacek (Austrian Research Centers, Seibersdorf), Leo Krystyn (Institut für Paläontologie, Universität Wien), Robert Scholger (Montanuniversität Leoben)

Rainer Brandner: „Es hat die Wissenschaft schon immer interessiert, was die Ursachen dieses mehrmals in der Evolution zu beobachtenden Massensterbens gewesen sein könnten. An der Perm-Trias-Grenze sind 70 bis 90 Prozent der Arten plötzlich verschwunden."

Herr Brandner, wir sind in Pufels, einem Ort im Grödnertal in Südtirol. Eine Ortschaft, die mir bis jetzt namentlich völlig unbekannt war. Auf dem Weg hierher haben Sie mir von Ihrem Projekt erzählt, und da kamen mehrmals ein Ort im Iran und das Grödnertal im gleichen Satz vor. Was macht denn Pufels und seine geologische Sehenswürdigkeit so besonders, und wie kommt es zu diesem Kontext zweier kleiner Orte und von diesen jeweils nur eine ganz spezielle Stelle?

A| Ja, es mag verwundern, dass an der Straße zu diesem kleinen Ort Pufels eine Stelle liegt, die man über tausende Kilometer weit mit anderen Lokalitäten in Verbindung bringt, wie Orte im Iran oder in China. Unsere Forschung versucht mehr Licht in die großen Ereignisse in der Entwicklungsgeschichte der Erde zu bringen, insbesondere in die Veränderungen der Umwelt, die die Entwicklungsgeschichte des Lebens so stark beeinträchtigten. Die Evolution, das wissen wir schon lange, ist ja nicht immer in eine Richtung gegangen, sie ist nicht immer positiv verlaufen, sondern ist durch massive Einschnitte geprägt. Der massivste Einschnitt war an der Grenze des Erdaltertums zum Erdmittelalter, der Perm-Trias-Grenze, vor ungefähr 250 Millionen Jahren. Und gerade in Pufels ist zufälligerweise aus dieser Zeit eine vollständige Gesteinsabfolge aufgeschlossen, und zwar bequem aufgeschlossen, weil sie entlang einer Straßenböschung, gut einsehbar, vor uns liegt.

F| Sie sind also dabei, herauszufinden, warum es uns als Besiedler der Welt fast an den Kragen gegangen wäre?

A| Nicht ganz. Der Mensch besiedelte die Welt ja erst viel, viel später. Aber es gibt durchaus Vergleichsmöglichkeiten bezüglich der derzeitigen Entwicklung und vielleicht zukünftigen Entwicklungen auf der Erde. Der abgegriffene Begriff „global change", der in aller Munde ist, betrifft in unserem Fall diese Perm-Trias-Grenze. „Global change" hat es immer gegeben und wird es auch immer geben. Die Erde, so wie wir sie heute kennen, hat sich im Lauf der Geschichte stark verändert, und sie wird sich immer verändern. Denken wir nur an die Plattentektonik, an das Driften der Kontinentalplatten. Denken wir nur daran, dass die Ozeane nie gleich groß gewesen sind, sondern neue Ozeane entstanden sind und alte sich geschlossen haben. Beim Aufeinanderschieben der Kontinentalplatten sind die Gebirge entstanden. Unsere Alpen wachsen dadurch und werden durch die Erosion wieder niedriger, das hält sich derzeit die Waage. Auf lange Sicht werden alle Gebirge, wenn die Aufwärtsbewegung infolge des Dichteausgleichs zu Ende ist, durch die Erosion abgetragen und zum unscheinbaren Mittelgebirge.

F| Wann also werden die Alpen eingeebnet sein?

A| Wir reden da natürlich von Jahrmillionen, vielleicht von zehn Millionen Jahren. Darüber gibt es Modellrechnungen. Heute werden die Bewegungen der Erdkruste mittels Satellitenvermessungen weltweit millimetergenau erhoben, ebenso die Hebung der Gebirge durch Präzisionsnivellement. Die größten Bewegungen sind gegenwärtig im Pazifischen Raum zu beobachten oder auch im Roten Meer-Graben, wo diese horizontale Bewegungen im Zentimeterbereich, bis zu einem Dezimeter pro Jahr, liegen. Das ist, geologisch gesehen, unheimlich viel. Aber selbst bei uns in den Alpen, wo man glauben würde, sie wären immer ruhig, sind Bewegungen im Millimeterbereich pro Jahr üblich.

F| Das sind Horizontalbewegungen. Aber heben sich die Alpen auch?

A| Noch heben sie sich und zwar in den Zentralalpen immer noch im Millimeterbereich pro Jahr. Durch die horizontale Bewegung kommen Venedig und Innsbruck näher an München. Sechs bis sieben Kilometer unter Innsbruck laufen auch heute noch Bewegungen ab, wo sich Spannungen aufbauen, die in Form von plötzlichen Bewegungen, eben Erdbeben, abgebaut werden. Der Antriebsmotor für diese Bewegungen liegt weit im Süden, es ist das tyrrhenische Meeresbecken südwestlich vom italienischen Festland. An und vor der Südwestküste Italiens gibt es eine Zone, die von aktiven Vulkanen geprägt ist, wie dem Vesuv oder dem Stromboli. Diese hochaktiven Vulkane sind Anzeichen für die Instabilität der Kruste. Das Becken des dortigen Tyrrhenischen Meeres erweitert sich und drückt Italien mit der Adriaplatte nach Norden und Nordosten gegen die Alpen. Solange dieser Druck anhält, werden die Alpen einerseits in die Höhe wachsen und andererseits von der Erosion abgebaut, das heißt, sie bleiben in der Höhe etwa konstant. Was wir nicht wissen ist, ob die Erweiterung des tyrrhenischen Meeresbeckens weiter anhält oder nicht. Das hängt von der plattentektonischen Bewegung zwischen Afrika und Europa ab, aber auch von vielen anderen Faktoren.

„GLOBAL CHANGE" HAT ES IMMER GEGEBEN UND WIRD ES AUCH IMMER GEBEN: IN UNSEREM FALL BETRIFFT ES DIE PERM-TRIAS-GRENZE.

F| Zurück zum Projekt, können Sie die Aufgabenstellung in ein paar Sätzen zusammenfassen? Was ist das Spannende dabei?

A| Es hat die internationale Wissenschaftswelt schon immer interessiert, was die Ursachen dieser mehrmals in der Evolution zu beobachtenden Massensterben gewesen sein könnten. An der Perm-Trias-Grenze ist der größte Einschnitt passiert. 70 bis 90 Prozent der Arten sind plötzlich verschwunden, einzelne tauchen später wieder in anderer Form auf, so als ob sie an einem uns unbekannten Ort die Krise überdauert hätten. Die spektakulärste Katastrophe ist jene von vor 65 Millionen Jahren, also an der Kreide-Tertiär-Grenze, als die Saurier ausstarben. Dieses Ereignis ist berühmt geworden, weil man den Nachweis gefunden hat, dass außerirdisches Material die Erde erreicht hat. Durch den Nachweis von Iridium, das vor allem in Meteoriten und Asteroiden vorkommt und auf der Erde nur sehr selten ist, gilt heute als gesichert, dass diese Katastrophe durch den Einschlag eines Asteroiden ausgelöst wurde. Weltweit wurde in dieser einzeitigen Schicht, das ist eine orange Lage von zirka einem Zentimeter Stärke, Iridium in hoher Konzentration gefunden.

F| Das muss eine unglaubliche Menge gewesen sein, wenn man bedenkt, wie viel eine Schicht von einem Zentimeter, um den Globus verteilt, ergibt.

A| Ja, das ist eine Menge. Durch den Aufprall wurde natürlich auch Material der Erde, Wasser und Luft mit dem Iridium verwirbelt. Das ergab eine riesige Aerosolwolke, die sich über den ganzen Erdkörper

Die Evolution ist nicht immer positiv verlaufen. Der massivste Einschnitt war vor ungefähr 250 Millionen Jahren. Und in Pufels ist eine vollständige Gesteinsabfolge bequem aufgeschlossen, weil sie entlang einer Straßenböschung liegt. Die kreisförmigen Durchschnitte kugeliger Sandkörner des Tesero Ooliths zeigen eine besondere Ausbildung von Kalzitkristallen, die auf den außergewöhnlichen Chemismus des Ozeanwassers zur Zeit des Massensterbens hinweisen.

verteilt hat und dann aus der Atmosphäre ausgeregnet ist. Mittlerweile weiß man, dass dieser große Asteroid in Mittelamerika, auf der Halbinsel Yucatan, niedergegangen ist. Dort hat man Reste des Kraters gefunden. Wir haben es bei unserer Katastrophe aber nicht mit einem Ereignis extraterrestrischen Ursprungs zu tun, wir haben es mit einem erdeigenen Ereignis zu tun. Bis heute haben Wissenschaftlergruppen weltweit viele Proben an dieser Zeitgrenze untersucht, aber kein Iridium gefunden.

F| War der Meteoriteneinschlag also einmalig?

A| Nein es hat immer Meteoriteneinschläge gegeben, aber an der Kreide-Tertiär-Grenze wurde einer nachgewiesen. Übrigens hat es, als diese Erkenntnis gewonnen wurde, globale politische Nebenwirkungen gegeben. Es wurde den Weltmächten klar, dass ein Nuklearkrieg auch für denjenigen, der den Erstschlag führt, nicht zu überleben ist. Abgesehen von der radioaktiven Verstrahlung, würde die enorme Staubentwicklung die Sonneneinstrahlung stark reduzieren und die Photosynthese des Planktons beeinträchtigen. Die komplexe Nahrungskette würde unterbrochen, was wohl ähnlich wie am Ende der Kreidezeit zu einem globalen Massensterben führen würde. Diese Einsicht führte letztendlich zur Aufnahme der Abrüstungsgespräche.

F| Wenn wir uns jetzt diese Schicht in Pufels ansehen, so heißt das, wir stehen vor einem Massengrab?

A| Nicht nur hier, sondern weltweit sind sehr viele Arten verschwunden. Das wichtige an diesem Profil in Pufels ist, dass da die geologische Aufzeichnung, was also geschehen ist, sehr vollständig vorhanden ist. Das größte Problem in der Geologie und auch in der Schichtenlehre, also in der Stratigraphie, ist, dass wir in diesen Schichtabfolgen, wohl eine Aufzeichnung der Geschichte finden, diese aber sehr oft unvollständig oder unscharf ist.

F| Und hier in Pufels ist die Aufzeichnung in Ordnung?

A| In Pufels ist diese Aufzeichnung recht gut. Wir befinden uns hier am damaligen Westrand des Tethys-Ozeans, dem großen vergangenen „Mittelmeer". Die Tethys ist für unsere Überlegungen sehr wichtig, weil alles, was in der Tethys an Sedimenten abgelagert wurde, heute hoch gestapelt in den Gebirgen von den Alpen bis zum Himalaya zu finden ist. Hier in Pufels sind wir am damaligen westlichen Kontinentalrand dieser alten Tethys, die sich natürlich auch immer wieder verändert hat. Aber an dieser Perm-Trias-Grenze war die Situation der Tethys eine ganz besondere oder anders gesagt: Die Lebensbedingungen im Meer waren ganz besondere. Wir haben durch unsere Arbeiten in Südtirol und im Iran nachgewiesen, dass bei diesem Meer etwas „nicht gestimmt" hat.

F| Das meinen Sie jetzt „unter Anführungszeichen"?

A| Natürlich. Vor unserer Grenzschicht finden wir wohl fossilreiche Schichten, allerdings sind diese immer sehr dunkel, fast schwarz gefärbt. Solche Bereiche entstehen durch verringerte Oxidation, durch Sauerstoffmangel. Das war in diesem Fall ein komplexer Vorgang. Alle plattentektonischen Rekonstruktionen kommen weltweit zum Ergebnis, dass diese riesige Tethys, sie reichte von Europa bis China, zu dieser Zeit lediglich im Osten mit dem Pazifik verbunden war. Durch zeitweise tektonische Hebungen blieben nur mehr schmale Wasserstraßen als Verbindung zum Pazifik übrig, die sich weiter verengten, durch welche aber der Wasseraustausch mit dem offenen Ozean stattfand. Was die Zirkulation der Ozeane bewirkt, ist der Austausch von kalten und warmen Wassermassen. In der heutigen Situation werden die kalten Wassermassen im Nordatlantikbereich gebildet und sinken auf Grund der größeren Dichte ab. Dabei nehmen sie den Sauerstoff von der Oberfläche in die Tiefe mit. Wenn das nicht mehr funktioniert, weil Hindernisse im Weg sind, dann kann der Sauerstoff nicht mehr in die Tiefe der Ozeane gebracht werden, und wir erhalten eine Art geschichteten Ozean, in dem es keine Zirkulation mehr gibt. Fehlt der Sauerstoff, wird die organische Substanz, welche langsam von der Oberfläche in die Tiefe sinkt, nicht mehr oxidiert, nicht abgebaut, und wir finden eine schwarze Schicht, wie beispielsweise Schwarzschiefer. Nachdem wir diesen Vorgang und diese Ursachen hier in Südtirol erkannt hatten, wollten wir unsere Ergebnisse an einer anderen Stelle des ehemaligen Tethys-Ozeans überprüfen. Wir stellten uns die Frage: Wo finden wir die gleichen Sedimente in der gleichen Zeitfolge? Aus meiner früheren Arbeit im

> DIE GANZ PRIMITIVEN FORMEN HABEN IMMER ÜBERLEBT. DIE HATTEN IMMER DIE BESTEN CHANCEN UND WERDEN SIE IMMER HABEN.

Iran habe ich gewusst, dass dort solche Profile liegen. Wir hatten auch noch gute Verbindungen zu ehemalige Absolventen unserer Universität aus dem Iran, welche es uns auch in politisch schwierigen Situationen ermöglichten, unsere Proben zu nehmen und nach Innsbruck zur Analyse zu bringen. Dabei war es wichtig, dass diese Proben nicht nur ungefähr aus unserer Grenzschicht kommen. Wir wollen die Veränderungen ja in eng begrenzten Zeitscheiben möglichst weiträumig erfassen, das heißt die Gesteinsproben in Südtirol und im Iran sollten zeitlich möglichst exakt übereinstimmen. Das ist eines der großen Probleme in der Geologie, Sedimentabfolgen über den Globus exakt zu korrelieren. Wir müssen die in der Schichtenfolge abgebildete Zeit erfassen und weltweit in Übereinstimmung bringen.

F| Das stelle ich mir sehr schwierig vor. Wie funktioniert das?

A| Dafür gibt es mehrere Methoden. Die eine Methode, die sich im Laufe des letzten Jahrhunderts immer mehr entwickelt hat, sind die „Leitfossilien". Das sind Organismenreste, die nur in einem bestimmten Zeitabschnitt vorkommen. Je kürzer die Dauer des Erscheinens ist, umso prägnanter sind diese Leitfossilien. Uns helfen die Leitfossilien, unsere Schicht zu finden, um mit einer Schärfe von ein paar hunderttausend Jahren bis einer Million Jahre zu arbeiten. Höher auflösend sind die Leitfossilien in unserem Zeitabschnitt leider nicht. Wir brauchten also eine Methode, die deutlich höher auflöst und deutlich genauere zeitliche Zuordnungen zulässt, und das ist die Paläomagnetik. Diese Methode basiert auf der Tatsache, dass sich die Orientierung des Magnetfeldes der Erde immer wieder ändert. Wir wissen aus der geologischen Vergangenheit, dass es immer wieder Umpolungen des Magnetfeldes gegeben hat. Dieser Prozess der Umpolung dauert ungefähr 1000 Jahre, ist im Gestein global zeitgleich gespeichert und ergibt für den Zeitraum Perm-Trias jedenfalls deutlich schärfere, zeitliche Abbildungen als die Leitfossilien. Damit hatten wir das ideale Werkzeug oder die ideale Methode, die Umpolung hier in Pufels zu suchen, dann im Iran zu suchen und die Korrelation zwischen den Umpolungen herzustellen. Somit konnten wir und auch andere Wissenschaftler die südtiroler, iranischen aber auch chinesischen Schichtabfolgen exakt einander zuordnen und ältere und jüngere Schichten an diesen Fixpunkten einhängen. Damit war bewiesen, dass wir uns in derselben Zeitscheibe befanden.

F| Das sagt aber noch nichts über die Ursachen des großen Massensterbens aus. Konnten Sie das auch erforschen?

A| Ja, dabei half uns eine junge Disziplin, die Chemostratigraphie, welche Aussagen über den ehemaligen Chemismus des Ozeans ermöglicht. Dabei wird für unsere Fragestellung das Verhältnis des leichten ^{12}C-Kohlenstoffisotops zum schwereren ^{13}C-Isotop gemessen. Dieses Isotopenverhältnis ist in den Schichten, in den Kalken der jeweiligen Zeit „eingefroren". Wir nehmen Schicht für Schicht in dieser Abfolge Proben und messen die Schwankungen im $^{12}C/^{13}C$-Verhältnis. Von diesem Verhältnis wissen wir eine ganz interessante Geschichte: Das ^{12}C wird von den Organismen aufgenommen und in die Schalen und Zellen eingebaut. Wenn diese Organismen absterben, sinkt die organische Substanz zu Boden und sedimentiert. So werden die Schichten am Meeresboden aufgebaut. Wenn nun die Zirkulation im Ozean normal ist und Sauerstoff in die Tiefen des Meeres zugeführt wird, verwest die organische Substanz, und das ^{12}C, das ja aus dem Wasser genommen wurde, wird wieder dem Wasser zurückgegeben, der Kreislauf schließt sich wieder. Nur geringe Mengen des ^{12}C-Isotops gehen in das Sediment über. Das schwere ^{13}C hingegen wird von den Lebewesen nicht aufgenommen und sedimentiert in immer gleicher Konzentration. Das Verhältnis von ^{12}C zu ^{13}C in den Sedimenten bleibt bei zirkulierenden Wassermassen ungefähr gleich. Wird allerdings die Zirkulation des Wassers im Meer – und damit die Sauerstoffzufuhr – in die tiefen Zonen gestoppt, kann die organische Substanz der abgestorbenen Organismen nicht mehr abgebaut werden. Sie wird mit dem gespeicherten ^{12}C-Isotop im Sediment eingebaut. Damit verschiebt sich das Verhältnis zwischen ^{12}C und ^{13}C im Sediment hin zu mehr ^{12}C. Das jeweilige Verhältnis wird bei der Fällung von Kalzit (Kalziumkarbonat) im Kristallgitter eingebaut und bleibt so über die Jahrmillionen in den Kalksteinen erhalten, und das messen wir.

F| Diese Methode ist ja nicht mehr nur wissenschaftlich, das ist ja schon detektivisch.

A| Das ist ein sehr gutes Werkzeug, um eine Aussage zu treffen, ob die Zirkulation funktioniert hat, ob genügend Sauerstoff auf dem Meeresboden gelangt ist oder nicht. An der Perm-Trias-Grenze erkennen wir, dass immer mehr ^{12}C weggespeichert wurde. Wir können umgekehrt sagen, dass die Zirkulationsverhältnisse in der Tethys immer schlechter geworden sind. Ob das weltweit in allen Meeren der Fall war, wissen wir noch nicht, aber für die Tethys ist diese Aussage zutreffend. Das konnten wir anhand der Schichtenuntersuchung in Südtirol und im Iran beweisen. Der Zufall brachte uns noch einen weiteren Beweis. In Dünnschliffen der Kalksteine aus dieser Periode finden sich grobe Kalzitkristalle und Pyritminerale. Kalzit entsteht durch Ausfällung von Karbonat aus übersättigten Lösungen, Pyrit bildet sich nur mit reduziertem Schwefel. Dieser reduzierte Schwefel kommt nur dort vor, wo wir extrem sauerstoffarme Bedingungen vorfinden.

F| Was hat das mit dem Sauerstoffmangel in der Tethys zu tun?

A| Der Ozean ist üblicherweise ein Puffersystem für den CO_2-Kreislauf. Über 90 Prozent der Karbonatfällung läuft über Organismen. Einen wesentlichen Anteil haben kalkproduzierende Algen, wie Grünalgen, oder jene Organismen, die in Riffen leben und diese aufbauen. Diese Organismen bauen ungeheure Mengen an Karbonatgesteinen auf. Auf den Bahamas sind die Kalkschichten bis zu zehn Kilometer mächtig, in den Alpen ist der Hauptdolomit eindrucksvolle vier Kilometer stark. Wir können heute mit gutem Gewissen und gestützt auf viele Daten sagen, dass der Kohlenstoffkreislauf damals ganz empfindlich gestört war. Das war eine Sondersituation im Meer und erklärt auch, warum die Korallen, Kalkalgen und andere Rifforganismen, die ja ganz wichtige Kalksteinproduzenten sind, an der Perm-Trias-Grenze weltweit ausgestorben sind. Durch die mangelnde Zirkulation des Wassers und die verringerte Durchlüftung kam es zu einer Übersäuerung der Ozeane. Und diese Übersäuerung hat dazu geführt, dass Karbonat über Lebewesen wie Algen, Korallen oder Muscheln nicht gefällt werden konnte, weil diese zum Großteil ausgestorben waren. Der Kalk blieb also in steigender Konzentration im Wasser in Lösung. An der Sättigungsgrenze reichen nun schon geringfügige Schwankungen im pH-Wert, um eine anorganische Fällung zu bewirken, bei der die oben erwähnten Kalzitkristalle entstehen. Die Kalzitkristalle lagern sich im bewegten Flachwasser konzentrisch um einen Kristallisationspunkt an, dadurch entstehen kleinste Kugeln mit schichtweisem Aufbau, so genannte Ooidkörner. Diese fanden wir in den Dünnschliffen gemeinsam mit den Pyritmineralen, die unter sehr reduzierenden, also anoxischen, das sind sauerstoffarme Bedingungen, entstehen. Heute weiß man, dass sich diese Entwicklung von einem normalen, gut durchlüfteten Tethysmeer hin zum stratifizierten Wasserkörper mit ruhig übereinander liegenden Wasserschichten ohne Austausch, mit übersäuertem, konzentriertem Milieu über mehrere Millionen Jahre aufgebaut hat. In dieser Situation kam nun an der Perm-Trias-Grenze starke vulkanische Aktivität hinzu. Sibirische Vulkane beförderten ungeheure Mengen an Asche und Kohlendioxid in die Atmosphäre. Das Treibhausgas und die Aschen waren wohl das berühmte Pünktchen auf dem „i" und brachten das Ökosystem der Tethys zum Kippen.

F| Das hat das Schicksal der meisten Lebewesen besiegelt?

A| Ja. Dann hat es eben wieder etwa vier bis fünf Millionen Jahre gebraucht, bis der Raum neu besiedelt werden konnte. Und diese Zeitspanne stellt unsere berühmte Schichtabfolge, die wir in Pufels und in Persien untersucht haben, dar. In dieser Zeit haben nur sehr einfache Organismen wie Algen den Boden besiedelt.

F| Wer hat diese wirklich große Katastrophe noch überlebt?

A| Jedenfalls primitive Algen, die es in der geologischen Vergangenheit immer geschafft haben zu überleben. Weiters Cyanobakterien, ganz einfach gebaute Spaltalgen, Blaualgen, die eigentlich die ersten Besiedler waren, welche mit der Photosynthese und dadurch mit der Sauerstoffproduktion erst begonnen haben. Aus diesen sind die Grünalgen entstanden. Aber diese ganz primitiven Formen, das sehen wir in diesen Einschnitten in der Evolution, haben immer überlebt. Die hatten immer die besten Chancen und werden sie immer haben.

F| Es war also eine richtige Zäsur in der Erdgeschichte, aber danach hat das Leben neu begonnen?

A| So ist es. Und obwohl viele Fragen zur Perm-Trias-Grenze immer noch unbeantwortet sind, ist uns der Beweis für die Richtigkeit unserer Annahme gelungen, dass das Massensterben der Lebewesen an der Perm-Trias-Grenze auf erdgebundene Ursachen zurückzuführen ist und nicht auf einen Meteoriteneinschlag. •••

Nächste Seite | *Auf der gegenüberliegenden Talseite erstrahlen die Seceda und die Geisler Spitzen im Sonnenlicht. Hier ist die gesamte Schichtabfolge, mit der Perm-Trias-Grenze etwa in der Mitte, von den Wüstenablagerungen der roten Grödner Sandsteine an der Basis bis hinauf zu den hellen Dolomitgesteinen der tropischen Riffe der Geisler Spitzen erhalten geblieben.*