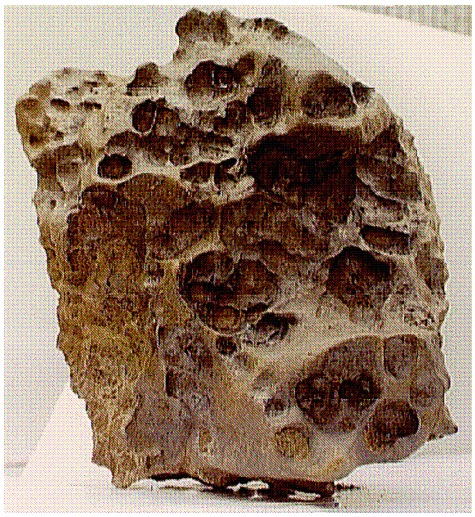
Regmaglypten auf Kalkstein-Geröllen: Hinweis auf Karbonatschmelze im Chiemgau-Impakt

1 Einleitung

Mit Regmaglypten bezeichnet man ein Relief, das häufig auf der Oberfläche von Meteoriten zu beobachten ist (Abb. 1). Die Vertiefungen entstehen beim Passieren des Meteoriten durch die Atmosphäre, wenn das Material partiell schmilzt und durch einen dynamischen Luftdruck erodiert wird (Ablation) (Svetsov 2003; und andere).



Source: Cascadia Meteorite Laboratory, Portland State University Source: NASA

Abb. 1. Meteorite mit Regmaglypten. Links: aus dem Gibeon-Streufeld; rechts: Derrick Peak (Antarktis)

Das Relief kann polygonale, kugelige oder elliptische Strukturen zeigen, und Muster wie Fingerabdrücke in einem feuchten Ton sind häufig.

Auf Ablationsprozesse bei irdischen Gesteinen haben vermutlich zum erstenmal Ocampo et al. (1998) im Zusammenhang mit den Ejekta aus der Chicxulub-Impaktstruktur hingewiesen (Ocampo et al. 1998, Marshall et al. 1998). Einige Oberflächenskulpturen von Kalksteinklasten in den Ejekta von Belize deuten die Autoren durch Ablation oberflächlicher Karbonatschmelze, wobei das Aufheizen der

Klasten beim Auswurfvorgang erfolgt. Sowohl ein Schmelzen der Kalksteinoberflächen beim Passieren der Klasten durch die heiße Impakt-Explosionswolke (Vickery 1986) als auch durch Reibung beim Wiedereintritt in die Atmosphäre (Schultz & Gault 1982) werden diskutiert.

Ebenfalls aus Impaktejekta werden Karbonatklasten beschrieben (Ernstson 2004, Web 1), die partiell bis vollständig mit Regmaglypten überzogen sind. Solche Klasten können in größerer Menge aus den Puerto Minguez-Auswurfmassen der großen spanischen Azuara/Rubielos-dela Cérida Impaktstrukturen (Claudín et al. 2001) geborgen werden, und ihre Regmaglypten sind denen von Meteoriten verblüffend ähnlich (Abb. 2).

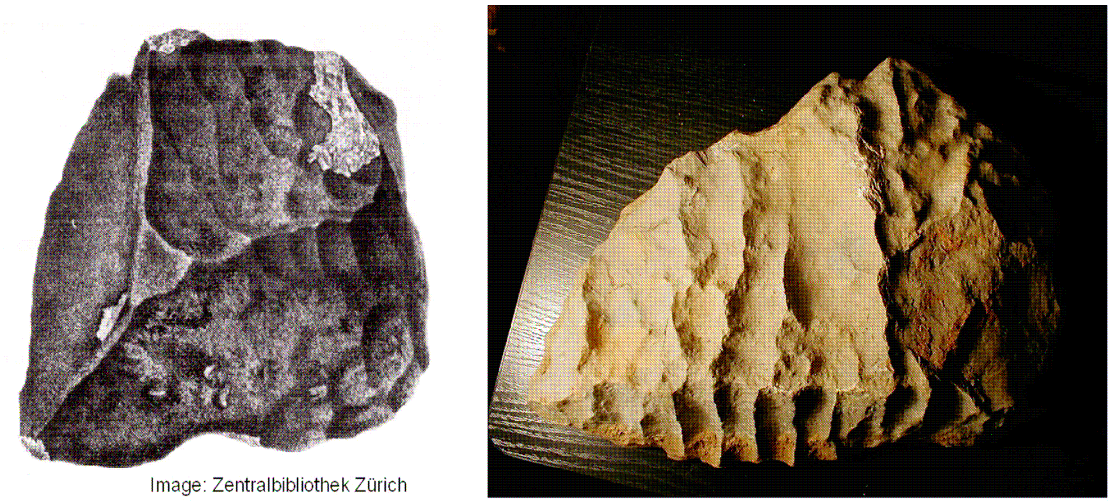


Abb. 2. Erstaunlich ähnlich: Regmaglypten auf der Oberfläche des Tabor-Meteoriten (links) und auf einem Kalkstein-Fragment aus den Puerto Mínguez-Ejekta, Azuara/Rubielos de la Cérida-Impaktstrukturen (Spanien).

Für die Regmaglypten von den Azuara/Rubielos de la Cérida-Impaktstrukturen wird das Modell der Bildung von Karbonatschmelze und Ablation beim Passieren der Ejekta durch die heiße Impakt-Explosionswolke favorisiert (Ernstson 2004).

Hier berichten wir über den Fund weiterer Kalksteinklasten mit einer sehr ausgeprägten Regmaglyptenskulptur, die vermutlich ebenfalls mit einem Impaktereignis, dem postulierten holozänen Chiemgau-Impakt (CIRT 2004, 2005, Rappenglück et al., 2004, 2005) zusammenhängen.

2 Befunde

Vor etwa 40 Jahren wurde von Thomas Weber, Hettenleidelheim, im Bereich des nördlichen Chiemseeufers zwischen Seebruck und Lambach ca. 30 - 40 m vom Ufer entfernt aus 2 - 3 m Wassertiefe der Stein der Abb. 3 geholt. Ein weiterer, sehr ähnlicher Brocken wurde an derselben Stelle von seinem Begleiter geborgen. Wegen der sehr ungewöhnlichen Oberflächenskulptur wurden die Steine seinerzeit als Sammelobjekte mitgenommen. Thomas Weber hat uns nunmehr, nachdem er sich im Zusammenhang mit der Diskussion über den Chiemgau-Impakt an seinen Fund erinnerte, den Stein zur Untersuchung und Dokumentation zur Verfügung gestellt.

Abb. 3. Das Kalkstein-Geröll aus dem Chiemsee

Bei dem Fundstück der Abb. 3 handelt es sich zunächst um ein alpines, glazial oder postglazial transportiertes Kalksteingeröll mit unterschiedlich ausgebildeten Oberflächenhälften. Im Detail der stärker skulptierten Oberfläche (Abb. 4) zeichnet sich deutlich ab, was wir als Regmaglypten bezeichnen, die in diesem Fall äußerst scharfgratig ausgebildet sind (Abb. 5). Die glattere Rückseite (Abb. 6) zeigt diese auffällige Skulptur nur in abgeschwächter Form. Abb. 4 vermittelt eine leicht pyramidale Ausbildung der intensiv regmaglyptischen Geröllseite, und in erster grober Näherung verlaufen die Furchen radial nach außen (Abb. 7). Querende Furchen mit ebenfalls scharfer Skulptur (Abb. 7) weisen auf eine Mehrphasigkeit der

Ausbildung der Regmaglypten hin. Diese Mehrphasigkeit erkennt man auch an einer Überlappung von Regmaglypten (Abb. 8).

Abb. 4. Die als "Vorderseite" bezeichnete stark regmaglyptische Oberfläche des Kalkstein-Gerölls.

Abb. 5. Detailaufnahme der stark regmaglyptischen Oberfläche mit scharfen Graten.

Abb. 6. Die Rückseite des Gerölls mit wenigen ausgeprägten Regmaglypten.

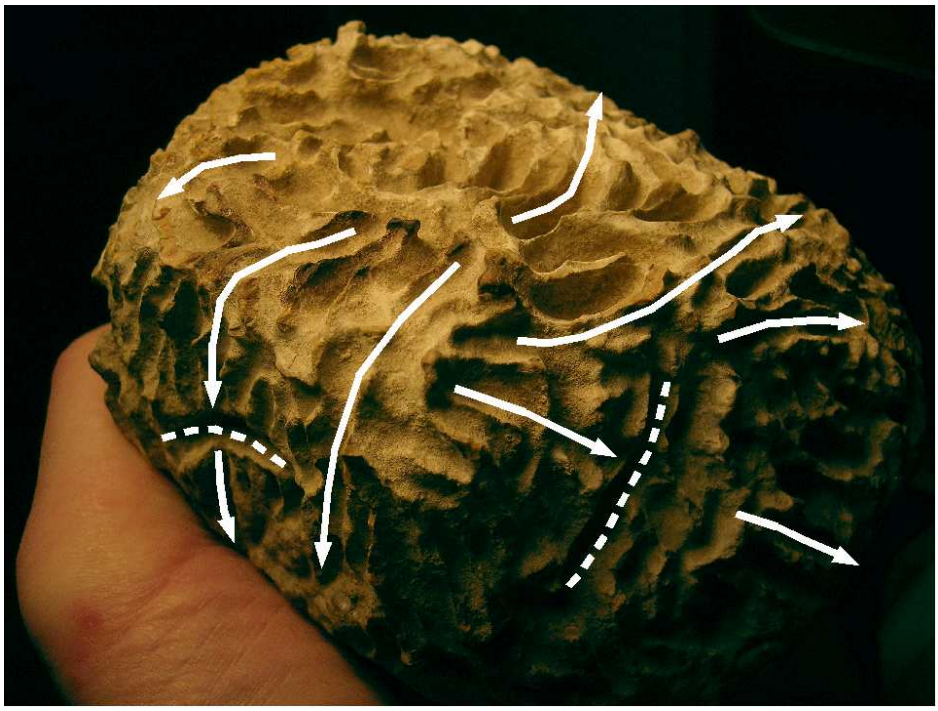


Abb.7. Leicht pyramidale "Vorderseite" des regmaglyptischen Gerölls mit nach außen strebenden Furchen (Pfeile). Man beachte die senkrecht dazu eingeschnittenen Furchen (gestrichelt), die auf eine Mehrphasigkeit der Bildung hindeuten.

Abb. 8. Eine Überlappung von Regmaglypten (Pfeil) kann durch eine Mehrphasigkeit bei der Bildung erklärt werden.

3 Diskussion

Die durchgehende Verwendung des Begriffes Regmaglypten signalisiert, daß wir die ungewöhnliche Skulptur des Kalksteingerölls mit Ablation, also der dynamischen Erosion einer geschmolzenen Oberfläche erklären. In diesem Fall und anders als bei Meteoriten aus metallischem oder silikatischem Material haben wir es mit karbonatischem Material und folglich mit der Bildung und Ablation einer Karbonatschmelze zu tun. Partielles Schmelzen von Kalksteinen benötigt Drücke von > 100 bar (= 10 MPa) und Temperaturen > 1500 K (Tyburczy & Ahrens 1986). Diesen Bedingungen müßte das regmaglyptische Kalksteingeröll vom Chiemsee ausgesetzt gewesen sein.

Ehe wir jedoch auf den Bildungsprozeß und das damit in Verbindung stehende Ereignis eingehen, sollen Alternativen der Entstehung dieser ungewöhnlichen Oberflächenskulptur erörtert werden. Ohne Zweifel besteht eine Ähnlichkeit der Strukturen auf dem Geröll mit sogenannten Lösungskarren. Karren entstehen im Karst an geneigten Gesteinsflächen, über die Wasser rinnt und dabei das Gestein

löst. Man findet Karren deshalb auf allen löslichen Gesteinen wie Kalksteinen, Dolomiten oder Gips (Abb. 9, Abb. 10). Da das Wasser der Schwerkraft folgt, wird es an den steilsten Stelle mit dem Lösungsprozeß beginnen, und anfänglich flache Mulden werden sich, dem Gefälle, folgend immer mehr eintiefen (Abb. 9, Abb. 10).

Mit Blick auf den Fund des Gerölls im Chiemsee drängt sich verständlicherweise ein möglicher Zusammenhang mit den eindrucksvollen Karren auf, die gerade im österreichisch-deutschen nördlichen Kalkalpin weit verbreitet sind.

Abb. 9. Lösungskarren auf einem jurassischen Kalkstein (Iberische Ketten, Spanien).

Abb. 10. Lösungskarren auf Gips (Tertiär; Provinz Teruel, Spanien).

Es wäre also zu überlegen, ob es sich bei der Geröllskulptur, die von uns durch Ablation und als Regmaglypten gedeutet wird, nicht tatsächlich um ganz gewöhnliche Lösungskarren handelt, die das Geröll aus dem Kalkalpin mitgebracht hat. Alternativ könnten die Karren auch erst nach dem glazialen oder postglazialen Transport auf dem Geröll entstanden sein.

Diesen Erklärungen stehen Fundumstände und Beobachtungen am Geröll ernsthaft entgegen. Das Geröll hat seine Rundung zweifellos beim Transport durch Eis und/oder Wasser erhalten; die im Kalkalpin gegebenenfalls entstandene kantige Karrenskulptur mit den scharfen Graten (Abb. 5) hätte einen solchen Transport nicht überstanden. Gegen eine primäre Karrenbildung im Kalkalpin spricht auch die Zweiphasigkeit (oder Mehrphasigkeit) der Furchenbildung (Abb. 7): Die zunächst entstandenen, vertikal der Schwerkraft folgenden Furchen müßten in einer späteren Phase der Kalklösung senkrecht (!) dazu durch eine Furche scharf durchschnitten worden sein. Auch die in Abb. 8 gezeigte Überlappung bereitet Schwierigkeiten, sie als Karrenbildung anzusehen. Schließlich finden sich die Regmaglypten, wenngleich weniger ausgeprägt, auch auf der Rückseite des Gerölls. Darüber hinaus heißt es (Mitteilung Thomas Weber), daß das andere aus dem Chiemsee geborgene Geröll rundherum mit der ausgeprägten Skulptur versehen war. Deshalb muß die Möglichkeit, die Skulptur auf dem Kalksteingeröll als Karrenbildung im Kalkalpin zu deuten, grundsätzlich ausgeschlossen werden.

Bei einer Deutung der Skulptur als postglaziale Karrenbildung unmittelbar auf der Oberfläche des aus den Alpen an den Chiemsee herantransportierten Kalksteingerölls stoßen wir auf keine geringeren Probleme. Das Geröll hätte oberflächlich herausschauend längere Zeit eingebettet sein müssen, um dem Regen und der Karrenlösung ausgesetzt zu sein. Die die beiden Gerölle rundherum überziehende Oberflächenskulptur hätte eine Rotation des Gerölls im Boden mit veränderter Exposition verlangt, und die sich gegenseitig in verschiedenen Richtungen durchschneidenden, z.T. isolierten Furchen hätten dabei - wie bei dem Modell der alpinen Karrenbildung - gar nicht entstehen können. Und schließlich hätte das derart zugerichtete große Geröll noch seinen Weg mindestens 30 - 40 m in das Wasser des Chiemsees finden müssen. Wir überlassen es dem Leser, ob er soviel Phantasie aufbringen möchte.

Da auf der einen Seite sich weitere Erklärungen nicht anbieten und auf der anderen Seite Vergleichsstrukturen als Regmaglypten von Meteoriten wohlbekannt sind und bereits von Karbonatklasten aus Impaktejekta beschrieben sind (Ernstson 2004, web 1), meinen wir, daß es sich bei der Skulptur auf dem Kalksteingeröll aus dem Chiemsee in der Tat um echte Regmaglypten, also um Ablationsstrukturen einer Karbonatschmelze handelt. Karbonatschmelzen haben eine extrem niedrige Viskosität (extrem hohe Fließfähigkeit), was erklären mag, daß beim Prozeß der Ablation auf der Gerölloberfläche sich sehr schmale, tiefreichende und scharfgratige Furchen gebildet haben, was bei Meteoriten in dieser Form eher selten zu beobachten ist. Anders als bei Meteoriten verhält es sich beim Kalksteingeröll auch mit der nach der Ablation verbliebenen Oberfläche. Während bei Steinmeteoriten vielfach eine ausgeprägte Schmelzkruste als den Meteoriten überziehende Glashaut zu beobachten ist, tritt Vergleichbares beim Kalkgestein nicht auf. Kalkgestein kann zwar schmelzen, aber bei der Abkühlung kann sich aus der Schmelze kein Glas bilden. Stattdessen entsteht durch Kristallisation aus der Schmelze sofort wieder Kalk (Mineral z.B. Calcit).

Eine Ähnlichkeit zur Ablation bei manchen Meteoriten zeigt das Kalksteingeröll insofern, als die Regmaglypten auf der leicht pyramidal ausgebildeten Hälfte stark dominieren. Bei Meteoriten spricht man von "orientierten Steinen" und erklärt eine gerichtete Ablation durch eine stabile Fluglage beim Passieren der Atmosphäre. Ein besonders schönes Beispiel dafür ist der Chondrit Karakol (web 2). Auch bei den regmaglyptischen Kalksteinklasten aus den Ejekta der spanischen Impaktstrukturen fällt auf, daß viele eine grob annähernd kegel- bis pyramidenförmige Gestalt besitzen und die Regmaglypten auf den Kegel- bzw. Pyramidenflächen meist viel deutlicher ausgebildet sind, als es auf der Basisfläche der Fall ist. Eine vergleichbare Erklärung, gerichtete Ablation bei stabiler Fluglage, wie bei den orientierten regmaglyptischen Meteoriten bietet sich an. Eine erkennbare Gesetzmäßigkeit scheint es nicht zu geben, da Meteorite aber auch Kalksteinklasten aus den Azuara/Rubielos de la Cérida-Ejekta vielfach rundum mehr oder weniger einheitlich regmaglyptisch ausgebildet sind. Auch das zweite Geröll aus dem Chiemsee gehört offenbar dazu.

4 Die regmaglyptischen Gerölle und der Chiemgau-Impakt

Ausgehend von der Vorstellung, daß die beiden aus dem Chiemsee geborgenen regmaglyptischen Kalksteingerölle ihre Skulptur durch Ablation einer oberflächlichen Schicht aus Karbonatschmelze erhalten haben, ist eine Verbindung mit dem postulierten Chiemgau-Impaktereignis (CIRT 2004, 2005, Rappenglück et al., 2004, 2005) naheliegend. Ein entsprechendes Szenario könnte so aussehen, daß die Kalksteingerölle beim Einschlag und bei der Exkavation von einem der zahlreich entstehenden Krater auf sehr hohe Geschwindigkeiten beschleunigt wurden, in die Explosionswolke des Impaktors gerieten und beim Queren den für ein oberflächliches Schmelzen notwendigen Drücken und Temperaturen ausgesetzt wurden. Dynamischer Druck und Turbulenzen führten zu Auskolkungen, wobei innerhalb extrem kurzer Zeit und auf kleinstem Raum wechselnde Bedingungen eine Mehrphasigkeit der Ablation möglich machten. Für das hier näher beschriebene Geröll könnte - wie bei einigen Meteoriten - eine stabile Fluglage dazu geführt haben, daß nur die Vorderseite einer starken Ablation unterlag, ehe das Geröll abkühlte, die zuletzt entstandenen Regmaglypten bewahrte und zusammen mit seinem Begleitergeröll in den Chiemsee stürzte.

Daß offenbar vergleichbare Prozesse beim Chiemgau-Impakt stattgefunden haben können, belegen die Funde von silikatischen Geröllen im Krater-Streufeld, die rundum verglast sind (Rösler et al. 2006, Hoffman et al. 2005, Schüßler 2005) und möglichweise diese Schmelzkruste ebenfalls in einer stark erhitzten Impakt-Explosionswolke erhielten. Ausgeprägte Regmaglypten konnten bei diesen glasüberzogenen Gesteinen bisher nicht festgestellt werden, was vielleicht durch ein sehr unterschiedliches Verhalten von Silikat- und Karbonatschmelze erklärt werden kann.

Mit dem Fund dieser regmaglyptischen Gerölle erhält auch ein anderer Befund in einem möglichen Zusammenhang mit dem Chiemgau-Impakt mehr Gewicht. Immer wieder ist von Chiemsee-Fischern berichtet worden, daß sich ihre Netze an scharfkantigen Steinen am Seeboden verfangen haben und es zu Netzbeschädigungen gekommen ist. Da größere scharfkantige Steine am Top einer ruhigen Seesedimentation eigentlich nichts zu suchen haben, könnte ihre Herkunft ebenfalls aus der Exkavation eines Kraters und dem damit verknüpften Auswurf

erklärt werden. Nach vorläufigen Ergebnissen von Echolotmessungen (Sonar), kann es nicht ausgeschlossen werden, daß sich ein solcher Krater im Chiemsee selbst befindet.

Literatur

CIRT, Chiemgau Impact Research Team (2004): Did the Celts see a cometary impact 200 B.C.? http://www.astronomy.com/asy/default.aspx?c=a&id=2519

CIRT, Chiemgau Impact Research Team (2005): Kommentar zu: Der Tüttensee im Chiemgau - Toteiskessel statt Impaktkrater, von Gerhard Doppler und Erwin Geiss (Bayerisches Geologisches Landesamt). http://www.chiemgauimpact.com/kommentar.html

Claudin, F., Ernstson, K., Rampino, M.R., Anguita, F. (2001): Striae, polish, imprints, rotated fractures, and related features from clasts in the Puerto Minguez impact ejecta in NE Spain. - In „Impact markers in the stratigraphic record“, 6th ESF-IMPACT workshop, abstract book, Granada, 15-16.

Ernstson, K. (2004). Regmaglypts on clasts from impact ejecta. Meteorite, 10, no 1, 41-42.

Hoffmann, V., Rösler, W., Patzelt, A., Raeymaekers, B., van Espen, P. (2005): Characterization of a small crater-like structure in southeast Bavaria, Germany. Meteoritics and Planetary Science, 40, p. A129.

Marshall, J.R., Bratton, C., Pope, K.O. & Ocampo, A.C. (1998): Diagnostic clasttexture criteria for recognition of impact deposits. - *Lunar Planet. Sci. Conf.*, **XXIX**, Abstract No. 1134.

Ocampo, A.C., Pope, K.O. and Fischer, A.G. (1997): Carbonate ejecta from the Chixculub crater: evidence for ablation and particle interactions under high temperatures and pressures. - *Lunar Planet. Sci. Conf.*, **XXVIII**, 1035 - 1036.

Rappenglück et al. (2004): The Chiemgau impact event in the Celtic Period: evidence of a crater strewnfield and a cometary impactor containing presolar matter. http://www.chiemgau-impact.com/

Rappenglück et al. (2005): Sind die Eisensilizide aus dem Impakt-Kraterstreufeld im Chiemgau kosmisch? - Eur. J. Mineral. 17, Beih. 1: 108.

Rösler et al. (2006): Characterisation of a small craterlike structure in SE Bavaria, Germany. European Space Agency First International Conference on Impact Cratering in the Solar System. ESTEC, Noordwijk , The Netherlands, 812 May, 2006.

Schüssler (2005): Petrographie und Geochemie von mechanisch und thermisch geschockten Geröllen aus dem nördlichen Bereich des Impakt-Areals. http://www.chiemgau-impact.com/petrographie.html.

Schultz, P.H. & Gault, D.E. (1982): Impact ejecta dynamics in an atmosphere: Experimental results and extrapolations. - Geol. Soc. Amer. Spec. Paper **190**, 153-174.

Tyburczy, J.A. & Ahrens, T.J. (1986): Dynamic compression and volatile release of carbonates. - J. Geophys. Res., **91**, 4730-4744.

Svetsov, V.V. (2003): A hydrodynamic model of regmaglypt formation on a meteorite front face. Meteoritics & Planetary Science, vol. 38, Supplement, abstract no.5146.

Vickery, A.M. (1986): Effect of an impact-generated gas cloud on the acceleration of solid ejecta. - J. Geophys. Res. **91**, 14139 -14160.

web 1. - http://www.impact-structures.com/article%20text.pdf
web 2. - [http://www.geokhi.ru/%7Emeteorit/opis/karakol-e.html]