

Chiemgau Impact Research Team:

Kommentar zu

Der Tüttensee im Chiemgau - Toteiskessel statt Impaktkrater
von Gerhard Doppler und Erwin Geiss (Bayerisches Geologisches Landesamt)

Zusammenfassung

Der als Chiemgau-Impakt bekannt gewordene, vermutete Kometeneinschlag gründet sich auf Beobachtungen zu einem großen Kraterfeld mit dem Tüttensee als dem bisher größten Impaktkrater sowie auf mineralogisch-petrologischen Untersuchungen zu makroskopischen Gesteinsdeformationen, mikroskopischen Effekten einer Schockmetamorphose und der Bildung weitverbreiteter Schmelzgesteine. In dem hier diskutierten Artikel von zwei Mitarbeitern des Bayerischen Geologischen Landesamtes werden Alternativen zur Bildung des Tüttensees, der Gesteinsdeformationen und der Schmelzgesteine angeführt. Für den Tüttensee-Krater wird die herkömmliche Deutung eines Toteiskessels herangezogen; die Argumentation stützt sich auf eine Begehung des Geländes um den Tüttensee durch die beiden Autoren und auf einige morphologische Gegebenheiten. Dagegen stützt sich die Deutung als Impaktkrater auf die reichlichen Beobachtungen an Gesteinen aus Schürfen des Tüttensee-Ringwalles mit Hochdruck-/Kurzzeitdeformationen von Geröllen in einer unverfestigten Matrix, sowie auf nachgewiesene Schockeffekte. Die komplexe Morphologie des Tüttensee-Krater wird auf den Einschlag eines mehrfach zerbrochenen und möglicherweise zuvor explodierten Projektils zurückgeführt, wobei die Eigenart eines Kometeneinschlages besonders zu diskutieren ist. Morphologische und sedimentäre Verhältnisse um den Tüttensee erhielten vermutlich ein besonderes Gepräge durch den Einschlag in das Wasser des damals viel größeren Chiemsee sowie durch vermutete weitere Einschläge ins Wasser mit den enormen Auswirkungen starker Flutwellen.

Die von den Autoren auf Fotos gezeigten Gesteinsdeformationen haben mit den charakteristischen Impaktdeformationen im Bereich des Kraterstreufeldes einschließlich Tüttensee nichts zu tun. Die Autoren verwechseln schockproduzierte dynamische Spallationsrisse mit Verwitterungslösung und einfacher Bruchbildung bei quasistatischem Druck. Sie zeigen beliebige tektonische Deformationen aus alpinen Gesteinen, die mit *in situ* produzierten Breccien mit Vergriesungs- und Mörtelgefüge und mit rotierten Brüchen einer partiell plastischen Deformation nichts gemein haben.

Die im gesamten Kraterstreufeld zwischen Burghausen/Altötting und Chiemsee vertretenen Schmelzgesteine werden von den beiden Autoren im Zusammenhang mit Schlacken von vorindustriellen Verhüttungsprozessen und Kalkbrennöfen gesehen. Die mineralogisch-petrologischen Analysen der Gläser aus den Schmelzgesteinen geben dafür keinerlei Anhaltspunkte, obgleich mittlerweile eine Herkunft bestimmter glasierter Gesteine aus Kalkbrennöfen als realistisch angesehen wird.

Der Artikel und die Argumente der Autoren des geologischen Landesamtes stehen in der Tradition einer hundertjährigen Auseinandersetzung über Meteoritenkrater und

Impaktstrukturen, in der vielfach versucht wird, die herkömmlichen Modelle der regionalen Geologie zu verteidigen.

Eine Ergänzung zu unserem Beitrag steht [hier](#).

1 Einführung

1884 berichten Schäfer von Metallfunden im Umkreis des etwa 1200 m messenden Kraters Coon Butte in Arizona in den USA. Das Metall erweist sich als meteoritisches Eisen, das Diamanten enthält. Dennoch deutet 1891 der bedeutende amerikanische Geologe G.K. Gilbert Coon Butte als einen vulkanischen Krater und etwas später, 1895, nochmals als durch eine vulkanische Dampfexplosion entstanden. In der Folgezeit wird Coon Butte (später dann als Barringer-, Arizona-, oder schlicht Meteor-Krater benannt) allerdings allgemein als Meteoritenkrater angesehen und die um ihn herum liegenden Meteorite als Reste des Projektils verstanden. Dennoch erscheint 1953 (das ist gerade einmal 50 Jahre her) in einer angesehenen amerikanischen geologischen Zeitschrift ein 35 Seiten langer Artikel (Hager 1953), in dem der Meteor-Krater erneut als durch irdische geologische Prozesse entstandene Struktur erklärt wird. Der Krater soll sich durch unterirdische Auslaugung und Einsturz gebildet haben, und die Meteorite sollen sich rein zufällig um den Krater herum befinden. Als wesentliches Argument zieht Hager die Beobachtung heran, dass Auslaugung und Einsturzstrukturen in der Region des Meteor-Kraters eine häufig anzutreffende geologische Situation darstellen. Hier wird vielleicht zum ersten Mal ein wesentliches Motiv für die Ablehnung von irdischen Impakten und Impaktstrukturen sehr deutlich: Impakt und Impaktstruktur sind angeblich nicht mit der regionalen Geologie verträglich.

1960 entdecken Shoemaker und Chao die Hochdruckminerale Coesit und Stishovit im Suevit des Nördlinger Ries-Kraters und leiten damit die "Verwandlung" dieser geologisch berühmten Struktur von einer vulkanischen Explosionsstruktur zu einem Impaktkrater ein. Der Widerstand der Geologen Anfang der sechziger Jahre gegen die Impakthypothese war enorm. Und wieder sind es die Argumente, dass sich ein Impakt nicht mit den regionalgeologischen Gegebenheiten (tertiärer Vulkanismus, großtektonische Elemente, fazielle Verhältnisse) verträgt. Die Anerkennung des Rieskraters als Impaktstruktur konnte dadurch nicht aufgehoben werden, aber noch 1985 wurden auf einem Impaktworkshop über "Katastrophen in der geologischen Vergangenheit" in Parys/Vredefort, Südafrika, in einem Beitrag von Prof. Nicolaysen das Ries und die Schwesterstruktur Steinheimer Becken wiederum als endogene, innere Erdstrukturen gedeutet, die in das regionalgeologische Gefüge hineinpassen. Auf diesem Workshop in Parys ging es im wesentlichen auch um die heftige Auseinandersetzung zwischen Impaktforschern und Regionalgeologen um den Ursprung der riesigen Vredefort-Struktur. Vredefort ist trotz der seinerzeitigen vehementen Opposition der Regionalgeologen heute als Impaktstruktur anerkannt. Sehr ähnliche Konstellationen stellten sich im Streit um die ebenfalls berühmte Sudbury-Struktur in Kanada und viele andere Krater auf der Erde ein, die heute als Impaktstrukturen anerkannt sind. Aber noch im letzten Jahr (2004) gab es einen Vortrag auf einer

Geologie-Tagung in den USA, in dem ein Impakt für das Ries aufgrund ganz lokaler Beobachtungen der Lagerung von Suevit und Bunter Breccie verneint wird.

Die Konfrontation Impaktforschung und neue geologische Modelle auf der einen Seite und Beharrung auf herkömmlichen Modellen zur regionalen Geologie auf der anderen Seite hat eine über hundertjährige Geschichte, die bis auf den heutigen Tag zu verfolgen ist. Der Artikel von Mitarbeitern des Bayerischen Geologischen Landesamt zum Chiemgau-Impakt ist aus unserer Sicht in dieser Tradition zu verstehen.

2 Der Tüttensee-Krater

Die Ablehnung des Tüttensee-Kraters als Impaktstruktur und das Beharren auf der herkömmlichen Deutung als Toteis-Kessel beruhen auf einer Begehung des Geländes um den Tüttensee durch die beiden Autoren Doppler und Geiss sowie auf einigen morphologischen Gegebenheiten.

Die Deutung des Tüttensee-Kraters als eine Impaktstruktur beruht auf Schürfen im Ringwall des Kraters und auf petrologischen Befunden. In mehreren Schürfen im Bereich des Ringwalles haben wir aus einem lockeren Haufwerk große Mengen an stark deformierten Komponenten geborgen. Diese Komponenten, die wir bereits in unserem Artikel Rappenglück et al. (2004) abbilden und erörtern (<http://www.chiemgau-impact.com/macroscopic.html>), sind keine vereinzeltten Funde aus Bayerischzell oder Kaufering (Abb. 5 bei Doppler & Geiss [2005]), sondern sie stammen aus einer unverfestigten Matrix des Tüttensee-Walles. Die eindrucksvollen Deformationen der vielfach scharfkantig-eckigen Komponenten müssen sich dort *in situ* gebildet haben, da sie einen fluviatilen oder glazialen Transport über mehr als wenige Zehner Meter nicht überstanden hätten, ohne in Bruchstücke zu zerfallen. Insbesondere bei Kalksteinkomponenten wären zudem Transportzurundungen zu erwarten. Bei einem Impakt können sich dagegen solche Verformungen bilden, wenn nach der Schockkompression in der zweiten Phase des Kraterbildungsprozesses (englisch: *excavation phase*) Material unter sehr hohem Umschließungsdruck aus dem sich aufweitenden Krater transportiert und als Auswurfmassen abgelagert wird. Solche typisch deformierten festen Komponenten sind sehr gut aus Impaktstrukturen und insbesondere auch aus dem Impaktkrater des Nördlinger Rieses bekannt, wo sie reichlich aus den einbettenden weichen Tonsteinen der Auswurfmassen der Bunter Breccie gesammelt werden können (Abb.1). Besonders kennzeichnend - wie auch bei den Tüttensee-Geröllen (Abb. 2) - sind offene rotierte Brüche mit makroskopisch unversehrten Scharnieren im Gestein, ohne dass die Komponenten zerteilt sind (!). Auch die berühmten Ries-Belemniten (Abb. 1) mit den Scherungen und rotierten Brüchen ohne eine komplette Zerteilung gehören zu diesem Deformationstypus, der bereits zu Zeiten, als das Ries noch vulkanisch gedeutet wurde, von den Geologen als Ausdruck einer extrem kurzzeitigen Beanspruchung innerhalb der Matrix der weichen Jura-Tonsteine angesehen wurde.



Abb. 1. Hochdruck-/Kurzzeit-Deformationen an Komponenten aus den Auswurfmassen (Bunte Breccie) der Ries-Impaktstruktur. Rechts: Deformationen der sogenannten Ries-Belemniten.



Abb. 2. Hochdruck-/Kurzzeit-Deformationen an einer Komponente aus dem Tüttensee-Ringwall. Man beachte die rotierten Brüche und die Kohärenz von Komponente und aufgeboenen scharfkantigen Fragmenten (Pfeile).

Brüche, wie sie in der Abb. 5 von Doppler und Geiss (2005) an Einzelproben gezeigt werden, können durch viele verschiedene geologische Prozesse entstehen und sagen für sich allein genommen nichts weiter aus. Entscheidend ist die Einbettung in eine unverfestigte Matrix, wie wir sie auch am Tüttensee vorliegen haben. Dann gibt es keine andere Erklärung als eine sehr kurzzeitige Deformation unter sehr hohem Umschließungsdruck. Einem länger anhaltenden Druck weicht die Komponente in der weichen Matrix einfach aus, und ein hoher Umschließungsdruck wird benötigt, damit die zur Deformation ausreichende Energie kurzzeitig übertragen werden kann. Tektonische Kräfte oder Kräfte beim Eistransport sind damit nicht in Einklang zu bringen.

Außer den beschriebenen makroskopischen Deformationen dokumentiert sich der Impakt auch im mikroskopischen Bereich. Unter den vielen Gesteinsdünnschliffen, die mittlerweile aus dem Bereich des gesamten Kraterstreufeldes vorliegen, befinden sich mehrere, die von makroskopisch deformierten Geröllen aus dem Tüttensee-Ringwall angefertigt wurden. Abb. 3, links, zeigt eine Dünnschliffaufnahme mit sogenannten planaren Deformationsstrukturen (englisch: *planar deformation features, PDFs*) in Quarz. Unter dem Mikroskop erkennt man mindestens fünf Scharen mit unterschiedlicher Orientierung. Bei diesen besonderen Strukturen handelt es sich um extrem engständige, parallele und optisch isotrope Lamellen, die nach kristallographischen Ebenen im Quarz ausgerichtet sind. Nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnisse (z.B. Stöffler & Langenhorst 1994) bilden sich multiple Scharen dieser engständigen isotropen Lamellen nur bei extremen Schockdrücken, und ihr natürliches Auftreten in Gesteinen wird generell als ein Beleg für einen Impakt angesehen. PDFs wurden in Dünnschliffen mehrerer Proben vom Tüttensee,

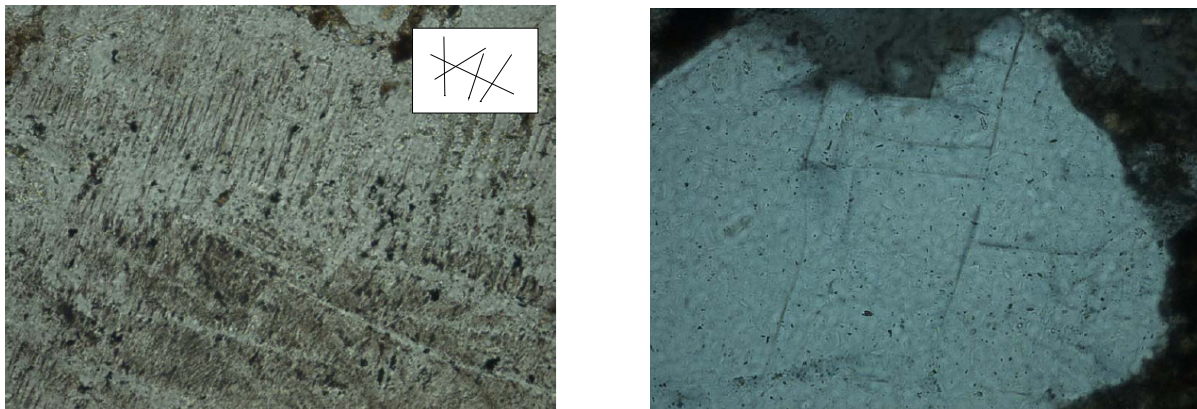


Abb. 3. Schockeffekte in Gesteinen des Tüttensee-Ringwalles. Dünnschliffaufnahmen, gekreuzte Polarisatoren; Breite der Aufnahmen ca. 500 μm . Links: Fünf Scharen planarer Deformationslamellen (PDFs) in Quarz. Auf dem Photo sind nicht alle Scharen zu erkennen; sie werden aber bei Rotation des Dünnschliffs sichtbar. Rechts: Scharen planarer Brüche (PFs; Spaltbarkeit) in Quarz.

aber auch in Gesteinen von anderen Kratern des Chiemgau-Impaktareals nachgewiesen. Einen anderen Schockeffekt, allerdings geringerer Intensität, vermittelt Abb.3, rechts, in Form von ebenen Brüchen nach kristallographischen Flächen in Quarz (englisch: *planar fractures, PFs*). Normalerweise zeigt Quarz keine solche Spaltbarkeit, und nur in ganz seltenen Fällen, bei extrem hohen tektonischen Drücken mag sie sich in den stärksten Stadien einer Regionalmetamorphose bilden. Spaltbarkeit bei Schock ist jedoch regelmäßig in Quarzen von Impaktstrukturen zu finden.

Die von uns als Ausdruck einer Hochdruck-/Kurzzeitbeanspruchung nachgewiesenen makroskopischen Deformationen sowie die mikroskopischen Schockdeformationen in Gesteinen des Ringwalles vom Tüttenseekrater sprechen deutlich für die Annahme

einer meteoritischen Entstehung des Tüttensees, während die petrographischen Beobachtungen mit einem Toteiskessel nur schwerlich, wenn überhaupt in Einklang zu bringen sind.

Obwohl die Morphologie zu den am wenigsten signifikanten Impaktkriterien gehört, wollen wir auch auf diese Gegebenheiten beim Tüttensee und die Argumente von Doppler und Geiss (2005) eingehen. Wie leicht erkennbar, ist der Tüttensee keine kreisrunde Hohlform, wie man sie bei jungen Meteoritenkratern in der Regel in guter Näherung verwirklicht sieht. In diesen Fällen kann man davon ausgehen, dass die Struktur vom Impakt eines einzigen zusammenhängenden Projektils geschaffen wurde. In unserer Publikation (Rappenglück et al. 2004) führen wir bereits an, dass wir beim Tüttensee von einem multiplen Einschlag eines zerteilten Impaktors ausgehen müssen. Eine ähnliche Konstellation einer sehr unregelmäßigen Form findet man beim größten der Krater im Henbury-Einschlagfeld in Australien. Während der Kraterbildungsprozeß bei einem einzelnen festen Impaktor (einem Asteroiden) mittlerweile sehr gut verstanden und am Computer auch eindrucksvoll als Animation simuliert werden kann, bestehen für den Einschlag eines Kometen, wie wir ihn für den Chiemgau-Impakt annehmen (Rappenglück et al. 2004), keinerlei rechte Vorstellungen über den Einschlagprozeß. Bei keiner der knapp 200 irdischen Impaktstrukturen können wir mit Sicherheit sagen, dass ein Komet der Impaktor war. So ist es auch beim Chiemgau-Einschlag keineswegs völlig geklärt, wie die Krater sich im Einzelnen gebildet haben: durch feste Bestandteile im Eis des Kometen, durch einschlagende Eiskörper oder sogar durch erst nahe der Erdoberfläche explodierendes Methaneis? Wenn dann darüber hinaus beim Tüttensee-Krater von mehreren einschlagenden/explodierenden Objekten - möglicherweise noch zeitlich versetzt - ausgegangen werden muß, sind die bekannten Abläufe eines Impaktes mit den drei überschaubaren Stadien Kontakt-/Kompressionsphase, Exkavationsphase und Modifikationsphase (Melosh 1989) nicht mehr so einfach anwendbar. Und es ist völlig ungewiß, wie sich das auf die Kraterausträumung, auf den Auswurf und die Ablagerung der Ejekta auswirkt.

Die Verhältnisse werden noch dadurch komplizierter, dass der postulierte Tüttensee-Einschlag vermutlich in das damals wesentlich größere Areal des Chiemsees erfolgte und die Beteiligung großer Wassermassen im Kraterbildungsprozeß mit eigener Erosion und Sedimentation eine ganz besondere Rolle spielten. Es gibt inzwischen Anzeichen, dass weitere Projektile des zerteilten Kometen in das Areal des heutigen Chiemsees gestürzt sind. War das der Fall, dann ist mit zusätzlicher Beteiligung beachtlicher Flutwellen mit weiterer Erosion und Sedimentation bei der endgültigen Ausformung des Tüttensee-Kraters zu rechnen.

Bevor nicht diese komplexen Szenarien eines sehr komplexen Impaktes "durchgespielt" sind, gibt es wenig Sinn, Einzelbeobachtungen einer Begehung des Geländes um den Tüttensee eine große Bedeutung beizumessen.

Die Torfbildungsrate in Hochmooren liegt bei ca. 1 mm pro Jahr, die in Kesselmooren bei mehr als 1 cm pro Jahr (Hutter et al. 1997). Damit können die zitierten (Doppler & Geiss 2005) bis 8,5 m großen Torfmächtigkeiten zwischen 8500 und 850 Jahren alt sein. Die Dicke der Torfschichten am Rande des Tüttensees ist daher kein

ausreichender Grund, einen Impakt, der zwischen 2200 und 3000 Jahre zurück erfolgt sein mag, auszuschließen. Nimmt man durchschnittlich ca. 4 mm pro Jahr Torfbildungsrate an, dann kann in ca. 2200 Jahren die Mächtigkeit der Schicht von 8,5 m erreicht werden. Eine schnellere Akkumulation der Torfschichten infolge des Impaktgeschehens ist zudem wahrscheinlich, so dass die Torfbildungsrate zwischen 1 und 4 mm gelegen haben mag, in Übereinstimmung mit den bekannten Werten (Hutter et al. 1997).

Zusammengefaßt meinen wir, dass Doppler & Geiss keine Befunde vorweisen können, die das Modell einer Impaktstruktur für den Tüttensee in irgendeiner Weise erschüttern, und wir meinen, dass es überhaupt keine zwingenden Kriterien gibt, eine Hohlform als Toteiskessel auszuweisen, während in der Geologie und Mineralogie/Petrographie der Impaktforschung entsprechende Kriterien für den Nachweis von Impaktstrukturen allgemein anerkannt sind. Deshalb sollte bei einer Anerkennung der Impaktnatur für den Tüttensee umgekehrt versucht werden, die morphologischen und sedimentologischen Befunde zu nutzen, um den Einschlag eines so komplexen Projektils besser verstehen zu lernen.

3 Deformationen

Die typischen Hochdruck-/Kurzzeitdeformationen der Gesteine vom Tüttensee haben wir bereits zuvor erörtert, möchten dennoch zusätzlich auf die Ausführungen von Doppler & Geiss zu den von ihnen abgebildeten Gerölldeformationen eingehen. Sie schreiben, dass Breccien und kleinstückig zerbrochene und wiederverheilte Gesteine typisch für die Alpentektonik sind und durch Flußtransport wie andere Gesteine zu Geröllen geformt werden, was allerdings allgemein-geologischem Kenntnisstand entspricht. Wenn Doppler & Geiss aber gut gerundete fluviatile Gerölle den scharfkantig zugerichteten, mit rotierten Brüchen und offenen scharfkantigen Spallationsrissen versehenen Komponenten gegenüberstellen, fehlt die Basis für eine sachdienliche Erörterung. Wir wollen auf die von ihnen gezeigten Beispiele näher eingehen.

Abb. 4 in Doppler & Geiss (2005) zeigt als alpine Trümmergesteine einen Dolomit mit brecciösem Gefüge und das Geröll einer Kieselkalkbreccie. Unklar ist, was Doppler & Geiss dem Leser bezüglich des Chiemgau-Impaktes damit sagen wollen. Das offenbar mit dem Hammer scharfkantig zugerichtete Handstück einer Dolomitbreccie hat in dieser Ausbildung Äquivalente als tektonische oder Einsturz-Breccien überall auf der Welt. Die gut gerundete Kieselkalkbreccie hat sicherlich hunderttausende Äquivalente, die vermutlich überall auch im Chiemgau aufgesammelt werden können.

Wenn wir in unseren Arbeiten brecciierte Gerölle abbilden und ihre Bildung dem Impaktereignis zuschreiben (siehe Rappenglück et al. 2004), dann handelt es sich verständlicherweise nicht um fluviatil gerundete alpine Breccien sondern um Gerölle, die vor Ort *in situ* in Verbindung mit einem Krater brecciiert wurden, scharfkantige Zerbrechungen an der Oberfläche aufweisen und nach der Brecciiierung keineswegs einen Transport über 100 m Distanz überlebt hätten

Zur Abb. 5 in Doppler & Geiss (2005) haben wir uns bereits im Zusammenhang mit dem Tüttensee geäußert. Wir fügen hinzu, dass wir identische tektonische Bruchformen im fränkischen Muschelkalk, im französischen Jura, in Nordspaniens Paläozoikum und auch sonst überall auf der Welt finden. Ob das offensichtlich scharfkantig facettierte Handstück in dieser Abb. 5, rechts, gemäß Doppler & Geiss als Geröll zu bezeichnen ist, mag dahingestellt bleiben. Nach dem Foto sieht es so aus, als ob es nur aus einem größeren Block herausgebrochen ist.

In Abb. 6 in Doppler & Geiss (2005) werden dem Leser Gerölle gezeigt, bei denen Kluffüllungen herausgewittert sind. Es ist die Eigenart von Kluffüllungen, bei z.B. besserer Löslichkeit herauszuwittern. Das hat nichts mit mechanischer Deformation zu tun. Im Chiemgau sehen wir die Wirkung eines Impaktes durch verformende Kräfte, nicht durch Lösungsverwitterung.

Abb. 7. in Doppler & Geiss (2005) zeigt zwei Proben mit der Unterschrift versehen: Gerölle mit vermeintlichen Spallationsrissen. Daraus geht nicht hervor, mit wem das "vermeintlich" in Beziehung gesetzt wird. Sind es die Autoren Doppler & Geiss, dann trifft die Formulierung zu. Denn was auf den beiden Foto zu sehen ist, hat mit Spallation nichts zu tun. Auf dem linken Bild erkennt man mehr oder weniger radialstrahlige Risse, die offenbar von einer Druckstelle auf dem Geröll ausgehen. Dieser Druck mag quasistatisch gewirkt haben. Vergleichbares kann an Komponenten in tektonisch stark deformierten Konglomeraten beobachtet werden. Abb. 7, rechts, in Doppler & Geiss (2005) zeigt ein Sandsteingeröll mit unregelmäßig herausgewitterten subparallelen Klüften eines Systems mehrerer alt angelegter Kluffscharen, wobei die Verwitterung im Zuge einer Bodenbildung vermutlich relativ rasch vonstatten gehen kann. Eine Verbindung zu Spallation ist nicht auszumachen. Für das Verständnis der bei der Spallation ablaufenden Prozesse und der sich bildenden Deformationen verweisen wir erneut auf diesbezügliche Ausführungen:

<http://www.impact-structures.com/Archiv/archiv.html>

<http://www.impact-structures.com/spain/shocked/spallation.htm>

<http://www.chiemgau-impact.com/footnotes.html>

Bei echter Spallation in Geröllen bilden sich als Folge reflektierter Schockimpulse offene scharfkantige Zugrisse mit - sofern keine weiteren Splitter abplatzen - paßgenau korrespondierenden Bruchwänden. Abb.4 zeigt ein Geröll aus dem Chiemgau-Kraterfeld mit ausgeprägten Zugrissen, die sehr wahrscheinlich durch schockinduzierte Spallation erzeugt wurden, ehe sie sich mit Schmelze füllten. Mit dem Beispiel der Abb. 4 wenden wir uns den Schmelzgesteinen des Chiemgau-Kraterfeldes zu.



Abb.4. Schnitt durch ein Geröll aus dem Chiemgau-Kraterfeld mit offenen, glasgefüllten Rissen, die vermutlich durch schockinduzierte Spallation entstanden sind. Man beachte das "Fitting" der gezackten Bruchwände (Pfeile) als Beweis von Zugbrüchen.

4 Schmelzgesteine

Doppler und Geiss (2005) legen in ihrem Artikel nahe, dass die über das gesamte Kraterstreufeld nachgewiesenen Schmelzgesteine anthropogen und in Zusammenhang mit Schlacken von Eisenhütten oder Kalkbrennöfen zu sehen sind. Damit wiederholen sie die bislang herrschenden Vorstellungen, ohne die tatsächlichen Fundumstände und die mineralogisch-petrologischen Analysen (<http://www.chiemgau-impact.com/petrographie.html>) zu berücksichtigen.

In der Frühphase unserer Erkundungen haben wir zur Kenntnis genommen, dass mit Glas überzogene Gerölle in der Bevölkerung bekannt sind, vom Acker aufgelesen und z.T. als hübsche Sammelobjekte aufbewahrt werden. Auf Befragen zur Herkunft wurde vielfach mit Schulterzucken geantwortet, aber auch immer wieder der Hinweis auf Kalkbrennöfen gegeben. Bei intensivem Nachfragen konnte aber in keinem Fall ein belegbarer Zusammenhang mit einem Kalkbrennofen hergestellt werden. Im Gegenteil: Ältere Leute berichteten sehr detailgenau über Kalkbrennöfen, an denen sie gearbeitet hätten, aber stets wurde ausdrücklich betont, dass sie niemals die glasierten Gesteine in einem der Öfen gesehen hätten. Das erschien nicht verwunderlich, da aus drei signifikanten Gründen ein Zusammenhang weitgehend ausgeschlossen werden konnte.

-- Da Kalkstein bereits unter 900°C dissoziiert, geben Brennöfen, in denen die Temperaturen auf Werte hochgefahren werden, bei denen in silikatischen Geröllen durchgehend und homogen Schmelzbildungen entstehen, kaum Sinn.

-- An praktisch allen *in situ* Fundorten der Schmelzgesteine fehlt das für die Erzeugung der hohen, lang anhaltenden Hitze notwendige Brennmaterial, Holzkohle oder Asche.

Wenn gelegentlich Holzkohle bei den Schmelzgesteinen gefunden wurde, dann nur wenige Bröckchen, die in der Hitze der Impaktexplosion entstanden sein können.

-- Es finden sich glasüberzogene Gerölle und Gesteinsblöcke, bei denen die zu Glas gewordene völlig glatte Schmelzhaut keinerlei Kontaktstellen aufweist, weder mit anderen Geröllen noch mit irgendeinem anderen Material. Diese Beobachtung machte es schwer anzunehmen, dass die entsprechenden Gerölle in einer Feuerstelle deponiert waren und dort ihre Schmelzummantelung bekamen und die Abkühlung zu Glas erfuhren.

Deshalb bot sich für die Funde der verglasten Gerölle ohne jede Sinterstellen nur eine Erklärung an, die eine sehr starke Stütze für den postulierten Kometeneinschlag ist. Wir gehen davon aus, dass beim Einschlag und bei der Entstehung der Krater gemäß den Kraterbildungsgesetzen Material einschließlich alpiner Gerölle unter hoher Geschwindigkeit hochgeschleudert wurde. Dabei gerieten Gerölle in die überhitzte Wolke der Methaneis-Explosion mit Temperaturen von vermutlich mehr als 10 000 °C, wo sie einen Temperaturschock mit der Bildung von Gesteinsschmelze und eines äußeren Schmelzüberzuges erhielten. Nach Verlassen der Explosionswolke und noch während des Fluges kühlte sich der meist nur Bruchteile eines Millimeter dicke Schmelzüberzug ab, wurde zu Glas, das bei der Landung bereits fest war und nicht mehr mit anderem Material versintern konnte.

Eine Bestätigung sahen wir auch darin, dass erste experimentelle Untersuchungen zur Glasbildung alpiner Gerölle in einer ca 2500 °C heißen Azetylenflamme innerhalb von 10 - 20 Sekunden nahezu identische Schmelzformen bei Geröllen sehr unterschiedlicher Gesteinszusammensetzung erbrachten (Abb.5). Diese Bedingungen - hohe Temperatur und kurze Erhitzungsdauer - sind mit denjenigen eines Impakts vergleichbar bzw. werden von ihnen noch weit übertroffen. Geringere Temperaturen dagegen brachten in einer impaktrelevanten kurzen Zeit keine vergleichbaren Phänomene hervor.



Abb. 5. Experimentell erzeugter "Glasstein" bei sehr kurzzeitiger Erhitzung auf ca. 2500 °C in einer Azetylenflamme.

Wie in dem Abschnitt "[Ergänzung](#)" ausgeführt, müssen wir diese Zusammenhänge differenziert sehen, da wir möglicherweise eine Konvergenz vorliegen haben derart, dass ganz unterschiedliche Prozesse zu ähnlichen Phänomenen, hier der Glaskrustenbildung, führen.

Wir fügen hinzu, dass von der möglichen Konvergenz der Glaskrustenbildung die weitverbreiteten schlackeartigen Gläser, die große Ähnlichkeit zu Gläsern z.B. vom Henbury-Meteoritenkraterfeld besitzen (Abb. 6), nicht betroffen sind.



Abb. 6. Links: Schlackeartiges Gesteinsglas auf Geröllen der Krater 004 und 029. Rechts: schlackeartiges Glas vom Henbury-Meteoritenkraterfeld (Australien).

5 Schlußbemerkungen

In Rappenglück et al. (2004) haben wir eine interdisziplinär begründete wissenschaftliche Hypothese vorgelegt, deren Widerlegung wir im Sinne wissenschaftstheoretischer Grundsätze durch empirische Falsifikation in jedem einzelnen Ansatz erwarten. Doppler & Geiss haben sich lediglich ein paar, vor allem morphologische Aspekte herausgegriffen und diese auf der Basis bisheriger Auffassungen begründet. Wir hätten z.B. eine experimentelle Darstellung der Erzeugung von "Glassteinen" im Prozess des Kalkbrennens unter Berücksichtigung sämtlicher relevanter Daten, beginnend mit dem Gesteinstyp, **erwartet - ein Komplex, dessen wir uns jetzt selbst angenommen haben (siehe "[Ergänzung](#)")**. Es fehlt uns auch eine detaillierte Erklärung des Entstehungsprozesses der PDF im Material auf der

Grundlage der Hypothese eines Toteislochs. Wir erwarten ferner eine physikalisch, bruchmechanisch und transportmäßig begründete Erklärung für die von uns beschriebenen impakt-typischen Deformationen, in denen Doppler & Geiss aber alpine tektonische Deformationen sowie Verwitterungslösung in nunmehr gerundeten Geröllen sehen.

Es wundert uns schließlich, dass der Titel der Darstellung von Doppler & Geiss, "Der Tüttensee im Chiemgau - Toteiskessel statt Impaktkrater", eindeutig klarlegt, dass hier kein Impaktkrater vorliegt, während die Schlussfolgerung davon spricht, dass "Die Deutung des Tüttensees als Einschlagskrater eines Himmelskörpers [...] äußerst unwahrscheinlich" ist, aber eben auch von den Autoren nicht ausgeschlossen werden kann. Man sollte erwarten, dass ein solches Fazit im Titel eigentlich ein Fragezeichen nötig machen würde.

Ergänzung

Angeregt durch den Beitrag der Mitarbeiter des Geologischen Landesamtes zu den Beobachtungen von Schmelzgesteinen aus Kalkbrennöfen am Starnberger See haben eigene Recherchen zu den Kalkbrennöfen und den ablaufenden Prozessen ergeben, dass offenbar glasierte Gesteine der Art entstehen können, wie wir sie in unseren Ausführungen z.T. beschreiben. Wir müssen annehmen, dass unsere bisherigen umfangreichen Recherchen im Internet und Befragungen von Personen mit Erfahrungen beim Kalkbrennen sich auf neuzeitliche Kalkbrennöfen beziehen. In Brennöfen historischer Bauart besteht offenbar die Möglichkeit, dass sich Silikatgläser bilden können und die Entstehung kontaktfreier Glasflächen möglich ist.

Ironischerweise haben wir es dabei vermutlich mit einem Prozess zu tun, der auch von Impaktschmelzen bekannt ist. Im Suevit des Nördlinger Rieses findet man (Graup 1999) amöbenartige Calcitkörperchen, die in einem Glas aus einer Silikatschmelze schwimmen. Das ist das Resultat einer Mischungsunverträglichkeit (englisch: *liquid immiscibility*) von Karbonat- und Silikatschmelze, die die kristallisierten Calcitkörperchen säuberlich von der Silikatschmelze trennt. Im Kalkbrennofen passiert möglicherweise ähnliches mit umgekehrtem Vorzeichen: Hier "schwimmen" Silikatgerölle mit einer Schmelzhaut im Karbonat, wobei Kontaktstellen nach Abkühlung offenbar in manchen Fällen ausbleiben können.

Wir haben es also im Kraterareal mit einer sogenannten Konvergenz zu tun, wie es in der Wissenschaft, insbesondere auch in den Geowissenschaften, immer wieder auftritt: Sehr unterschiedliche Prozesse können zu sehr ähnlichen Phänomenen führen. Wir haben auf der einen Seite rundum glasierte Gerölle (z.B. in den Kratern 004 und 005), die z.T. in der Glaskruste Nanodiamanten und Splitter der Eisensilizide Gupeit und Xifengit eingelagert haben (Rösler et al. 2004, Schryvers & Rösler 2004; B. Raeymaekers, pers. Mitteilung) und deshalb eine Impakterhitzung mit Glasbildung durchgemacht haben, und wir beobachten auf der anderen Seite ähnliche "Glasgerölle" anthropogener Entstehung.

Demgemäß haben wir den ursprünglichen Beitrag bezüglich der Schmelzgesteine in einigen Punkten abgeändert; die Kritikpunkte "Tüttensee" und "Deformationen" bleiben unverändert.

Literatur

- Doppler, G. & Geiss, E. (2005): Der Tüttensee im Chiemgau - Toteiskessel statt Impaktkrater. http://www.geologie2.bayern.de/app/media/user-files/1118154325830_tuettensee.pdf .
- Fehr, K. T., Pohl, J., Mayer, W., Hochleitner, R., Fassbinder, J., Geiss, E. & Kerscher, H. (2005): A meteorite impact crater field in eastern Bavaria? A preliminary report. - *Meteoritics & Planetary Science*, **40**(2): 187–194.
- Graup, G. (1999): Carbonate-silicate liquid immiscibility upon impact melting: Ries Crater, Germany. *Meteoritics Planet. Sci.*, **34**: 425-438.
- Hager, D. (1953): Crater Mound (Meteor Crater), Arizona, a Geologic Feature. *Bull.Am.Assoc.Petrol.Geol.*, **37**, 821-857.
- Hutter, C.-P., Kapfer, A. & Poschlod, P. (1997): Sümpfe und Moore. Biotope erkennen, bestimmen, schützen. Stuttgart.
- Melosh, H.J. (1989). *Impact Cratering. A geologic process*. Oxford Univ. Press. Oxford
- Rappenglück, M. A., Ernstson, K., Mayer, W., Beer, R., Benske, G., Siegl, C., Sporn, R., Bliemetsrieder, T. & Schüssler, U. (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> .
- Rösler, W. et al. (2004): Paneth-Kolloquium, Nördlingen 2004.
- Schryvers, D. & Rösler, W.(2004): Paneth-Kolloquium, Nördlingen 2004.
- Stöffler, D. & Langenhorst, F. (1994). Shock metamorphism of quartz in nature and experiment: I. Basic observation and theory. *Meteoritics*. **29**: 155-181.

Das Chiemgau Impact Research Team besteht aus:

R. Beer, G. Benske, T. Bliemetsrieder, K. Ernstson, W. Mayer, B. Rappenglück, M. Rappenglück, U. Schüssler, C. Siegl und R. Sporn.