

Zeitschrift: Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft
Herausgeber: St. Gallische Naturwissenschaftliche Gesellschaft
Band: 91 (2008)

Artikel: Shatter Cones aus dem Blockhorizont an der Sitter bei Bernhardzell
Autor: Hofmann, Beda A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-832599>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 07.02.2026

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

Shatter Cones aus dem Blockhorizont an der Sitter bei Bernhardzell

Beda A. Hofmann

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	77
1. Einleitung und Erforschungsgeschichte	78
2. Impaktkrater und das Ries-Ereignis ...	78
3. Shatter Cones als Zeugen von Impaktereignissen	79
4. Der Blockhorizont Bernhardzell.....	80
5. Shatter Cones von Bernhardzell	84
6. Folgerungen	85
Dank	85
Literaturverzeichnis	86

Zusammenfassung

Shatter Cones sind kegelförmige Bruchflächen in Gesteinen mit einer charakteristischen, durch an vielen Stellen zusammenlaufende Linien charakterisierten Oberflächenmorphologie. Shatter Cones entstehen ausschliesslich bei Einschlägen grosser Meteoriten im Gestein der Einschlagstelle. Die Shatter Cone-Bruchflächen im Gestein sind die Folge der intensiven Schockwelle. Shatter Cones gelten als eindeutiger Hinweis für Meteoritenkrater. Ein Horizont („Blockhorizont“) in der Oberen Süßwassermolasse an der Sitter bei Bernhardzell SG enthält eckige Komponenten von Jurakalk und Keupermergel sowie Quarzkörner. Nach der Entdeckung 1945 wurde dieser „Blockhorizont“ als vulkanisches Phänomen interpretiert. Der Fund eines ersten Shatter Cone in einem Kalkblock 1971 führte zur Interpretation des Blockhorizontes als Auswurfmaterial eines Meteoritenkraters. Ein solches Ereignis wurde vorerst in der Region St.Gallen-Bodensee postuliert. Später wurden Prozesse bekannt, welche einen Auswurf von intakten Gesteinsmassen mit einer Geschwindigkeit von mehreren Kilometern pro Sekunde aus Meteoritenkratern erlauben. Damit konnte der Blockhorizont bei Bernhardzell mit dem Ries, einem rund 15 Millionen Jahre alten

und rund 24 km grossen Meteoritenkrater in Süddeutschland (Zentrum 180 km NNE Bernhardzell) in Verbindung gebracht werden. Die wahrscheinlichste Erklärung des Blockhorizontes Bernhardzell ist somit eine Bildung durch Auswurfmateriale des Rieskraters, eventuell mit einem Beitrag des gleichzeitig gebildeten, aber viel kleineren Steinheimer Beckens. Zwischen 1994 und 2006 gelangen fünf weitere Funde von teilweise hervorragend ausgebildeten Shatter Cones im Blockhorizont. Damit konnte der Zusammenhang mit einem Meteoriteneinschlag wesentlich untermauert werden. In der vorliegenden Arbeit werden die Bernhardzeller Shatter Cones beschrieben und in einen grösseren Zusammenhang gestellt. Die Shatter Cone-Funde sind nicht nur für die Schweiz einzigartig, sie stellen auch eine weltweite Seltenheit dar, gelten doch Funde von Shatter Cones in weit vom Krater entfernten Auswurfmassen als extrem selten.

1. Einleitung und Erforschungsgeschichte

In der Oberen Süsswassermolasse der Region St.Gallen sind drei Fundorte eines Horizontes (Blockhorizont) bekannt, welcher ein ganz besonderes Ereignis vor rund 15 Millionen Jahren dokumentiert: Es handelt sich um die Ablagerung von Auswurfmateriale, welches nach dem Einschlag eines riesigen Meteoriten und dem darauf folgenden Auswurf gewaltiger Gesteinsmassen über grosse Distanzen weggeschleudert wurde. Die bis heute einzigen drei bekannten Vorkommen dieses Horizontes wurden 1945 von Franz Hofmann entdeckt und als Resultat einer vulkanischen Eruption in der Region St.Gallen gedeutet.

Verschiedene Aspekte des Blockhorizontes von Bernhardzell, mit besonderer Berücksichtigung des Geotopschutzes und des geologischen und landschaftlichen Rahmens, wurden von KRAYSS (2004) beschrieben. Die dort enthaltenen Informationen werden

hier nur wiederholt, wo dies für den Zusammenhang nötig erscheint. Hauptanliegen dieser Arbeit ist es, die Bedeutung des Blockhorizontes bei Bernhardzell mit den heute vorhandenen Kenntnissen über Einschläge grosser Meteoriten (Impaktereignisse) aufzuzeigen und insbesondere den Zusammenhang mit dem Ries-Ereignis in Süddeutschland zu erklären. Im Zentrum stehen neue Funde von Shatter Cones (Strahlenkalken), welche bei der Interpretation eine Schlüsselstellung einnehmen. Eine besonders wichtige Rolle spielt dabei der besterhaltene Shatter Cone aus Bernhardzell (und wahrscheinlich des gesamten Riesereignisses): Auf diese einmalige Probe wurde der Autor durch die erwähnte Arbeit von KRAYSS aufmerksam. Zusammen mit Funden des Naturhistorischen Museums Bern liegen heute sechs Proben mit eindeutigen Shatter Cones vor, welche die Deutung des Blockhorizontes als Impaktphänomen wesentlich untermauern.

2. Impaktkrater und das Ries-Ereignis

Himmelskörper wie Mond und Mars sind übersät von Impakt- oder Meteoritenkratern aller Grössen. Auf der Erde treten solche Krater viel weniger in Erscheinung, weil geologische Prozesse wie Erosion, Sedimentation und Tektonik zu einer raschen Zerstörung von Kratern führen. Trotzdem sind heute auf der Erde über 160 sichere Impaktkrater bekannt (EARTH IMPACT DATA-BASE 2007). Der Durchmesser der bekannten Krater reicht von wenigen Metern (z.B. Håviland, USA; Dalgaranga, Australien) bis zu mehreren 100 km (Vredefort, Südafrika, 300 km; Sudbury, Kanada, 250 km; Chicxulub, Mexico, 170 km).

Das Ries ist eine nahezu kreisrunde landschaftliche Einheit ziemlich genau in der Mitte des Dreiecks München-Stuttgart-Nürnberg an der Grenze zwischen Baden-Württemberg und Bayern gelegen. Während auf der Alb grossräumig Gesteine des Jura

die Landschaft prägen, kommen im Ries auch Trias und das Kristallin an die Oberfläche. Nachdem viele Theorien über die Entstehung dieser geologisch abweichenden, kreisrunden Region aufgestellt wurden, setzte sich nach dem Nachweis der Quarzhochdruckmodifikation Coesit (SHOEMAKER UND CHAO 1961), einem untrüglichen Indikator für extrem hohe Drucke, die Erkenntnis durch, dass das 24 km messende Ries ein Meteoritenkrater ist. Rund 40 km südwestlich des Rieszentrums befindet sich mit dem Steinheimer Becken eine weitere fast kreisrunde Struktur von 3.8 km Durchmesser. Das Steinheimer Becken wurde gleichzeitig mit dem Ries ebenfalls als Meteoritenkrater erkannt. Es ist heute allgemein akzeptiert, dass beide Krater zeitgleich entstanden: Ein Asteroid von rund 1–2 km Durchmesser, eventuell begleitet von einem kleineren Trabanten, ist vor rund 14,4 Millionen Jahren (BUCHNER ET AL. 2003) mit der Erde zusammengestossen. Impaktereignisse dieser Größenordnung sind über geologische Zeiträume nicht allzu selten und dürften sich etwa alle 0.3–0.5 Millionen Jahre ereignen. Im Vergleich zum Impaktereignis, welches vor 65 Millionen Jahren auf der Halbinsel Yucatan/Mexiko die Bildung des Chicxulub-Kraters (rund 170 km Durchmesser) bewirkte (und das einen Zusammenhang mit dem Ende des Erdmittelalters hat), ist das Riesereignis ‹bescheiden›. Für weitere Informationen über das Ries sei auf PÖSGES UND SCHIEBER (2000) verwiesen.

Wichtig zum Verständnis von Impaktphänomenen ist die Tatsache, dass mit hoher Geschwindigkeit (typischerweise 15–30 km/s) auf der Erde auftreffende Meteoriten vollständig explodieren. Als Faustregel gilt, dass der Energieinhalt (= kinetische Energie) eines Meteoriten rund dem 10-fachen an Masse des hochbrisanten Sprengstoffs TNT entspricht. Der Durchmesser des Kraters entspricht typischerweise etwa dem 20-fachen Durchmesser des Meteoriten (abhängig von Geschwindigkeit und Aufprallwinkel). Im Falle des Ries kann von einem

Objekt von rund 1–2 km Durchmesser ausgegangen werden, entsprechend einer Sprengkraft von rund 100 000–200 000 Millionen t (Mt) TNT. Zum Vergleich: der größte Wasserstoffbombentest hatte eine Sprengkraft von 60 Mt TNT. Das Resultat der Explosion ist ein riesiger Krater, enorme Gesteinsmassen werden verdampft, aufgeschmolzen, ausgeworfen oder verschoben. Der Meteorit wird bei diesen Prozessen meist vollständig zerstört.

Die Auswurfmassen des Ries können in teilweise aufgeschmolzene, vorwiegend aus dem Kristallin stammende, heute als Suevit vorliegende Materialien und thermisch wenig beanspruchte, vorwiegend sedimentäre Materialien (bekannt als ‹Bunte Brekzie›) unterteilt werden. Suevit kommt bis etwa 8 km vom Kraterrand entfernt vor, die Bunte Brekzie bildet eine mehr oder weniger zusammenhängende Decke von Auswurfmassen bis 40 km vom Kraterrand. Aus noch größerer Entfernung sind die sogenannten ‹Reuterschen Blöcke› bekannt, Jurakalkblöcke aus der Oberen Süßwassermolasse aus der Gegend von Augsburg, die in einer Entfernung bis rund 70 km vom Riesrand gefunden werden. Völlig aufgeschmolzene Gläser, sogenannte Tektite, sind aus der Tschechischen Republik bekannt (bis 400 km vom Ries). Diese Gläser stellen höchstwahrscheinlich Schmelzen von oberflächlichen Sedimenten dar, welche in einer Frühphase des Impaktereignisses ausgeworfen wurden (STÖFFLER ET AL. 2002).

3. Shatter Cones als Zeugen von Impaktereignissen

Shatter Cones sind Risse im Gestein, welche eine charakteristische kegelförmige Geometrie aufweisen. Der englische Begriff Shatter Cone („Schlagkegel“) ist treffender als der manchmal gebrauchte deutsche Begriff ‹Strahlenkegel› oder ‹Strahlenkalk›. Shatter Cones können sich in allen massigen Gesteinstypen bilden. Die Risse eines Shatter

Cone gehen von einem Punkt aus (Nukleation der Rissbildung), und setzen sich dann kegelförmig ins umgebende Gestein fort, meist auf eine Seite, manchmal aber auch in zwei entgegengesetzte Richtungen. Obwohl die Form von Shatter Cones sehr charakteristisch ist, werden sie immer wieder mit anderen geologischen Phänomenen verwechselt. Die grösste Ähnlichkeit weisen Rutsch-harnische (Bewegungsflächen), Stylolithen (Drucklösungserscheinungen), Winderosions-effekte (in Wüstengebieten) sowie sogenannte ‹cone-in-cone›-Strukturen (›Nagelkalke›) auf. Nur Shatter Cones zeigen jedoch die Kombination von kegelförmiger Geometrie, des deutlichen Zusammenlaufens der Oberflächenlineation sowie von fraktalen Eigenschaften: Das Muster der an einer Vielzahl von Punkten zusammenlaufenden Linien wiederholt sich in verschiedensten Massstäben. Shatter cones messen typischerweise einige Zentimeter bis Dezimeter, können aber Dimensionen von Dekametern erreichen (Slate Island, Kanada). Shatter-cones sind von einer grossen Zahl von Impaktkratern bekannt und gelten als ein eindeutiges Erkennungsmerkmal der impaktbedingten Schockmetamorphose. Es handelt sich um eine spezielle Form der Rissbildung als Folge einer Schockwelle. Die Details des Bildungsprozesses sind jedoch noch umstritten (ROACH ET AL. 1993, SAGY ET AL. 2002, BARATOUX AND MELOSH 2003, OSINSKY UND SPRAY 2006). In den allermeisten Fällen werden Shatter Cones in zentraler Position im Innern von Impaktkratern gefunden. Vorkommen von Shatter Cones in Auswurfmassen sind hingegen extrem selten. Im Rieskrater sind Shatter Cones selten und auf die kristallinen Gesteine des Rieszentrums beschränkt. Funde von Shatter Cones in Sedimenten, insbesondere in Kalksteinen des Oberen Jura, sind aus dem Ries bemerkenswerterweise nicht bekannt. Ein bekannter Fundort für Shatter Cones in Malmkalken befindet sich hingegen in der zentralen Erhebung (central uplift) des Steinheimer Beckens, dem ‹Steinhirt›.

4. Der Blockhorizont Bernhardzell

Der Blockhorizont von Bernhardzell wurde am 19. Juli 1945 von Franz Hofmann entdeckt und als vulkanischer Horizont beschrieben (BÜCHI UND HOFMANN 1945). Eckige Jurakalkbrocken mitten in den Molassesedimenten liessen nach dem damaligen Kenntnisstand nur die Interpretation als vulkanische Auswürflinge zu, insbesondere da verschiedene vulkanische Horizonte in der Oberen Süsswassermolasse der Ostschweiz bekannt waren (HOFMANN ET AL. 1949, HOFMANN 1955). In der Folge konnte F. Hofmann noch zwei weitere Fundorte des selben Horizontes nachweisen, so an der Sitter im Erlenholz (entdeckt 31.7.1945) und im Tiefenbachertobel am Tannenberg (entdeckt 3.8.1945). Für weitere Angaben über die Fundorte wird auf HOFMANN (1973a) und KRAYSS (2004) verwiesen. Eine Reihe neuer Erkenntnisse führte dann rund 25 Jahre nach der Entdeckung des Blockhorizontes zu einer neuen Interpretation: Nördlinger Ries und Steinheimer Becken waren inzwischen als Impaktkrater anerkannt. Dann konnte im Tiefenbachertobel in einem zusammenhängenden Profil rund 70 m über dem dortigen Blockhorizont ein wichtiger vulkanischer Leithorizont (Bentonit) nachgewiesen werden. Damit war klar, dass der Blockhorizont rund 0.1 Mio Jahre älter ist als der vulkanische Bentonit. Weiter konnten auch wiederholte sedimentpetrographische Untersuchungen im Blockhorizont keine jener vulkanischen Mineralien nachweisen, welche für die Tuffhorizonte in der Ostschweiz charakteristisch sind. Der Bentonit von Bischofszell, welcher höchstwahrscheinlich jenem vom Tannenberg entspricht, wurde mittels absoluter Altersbestimmung (Uran-Blei an Zirkon und Kalium-Argon an Sanidin) zu 14,4 und 14,6 ($\pm 0,06$) Millionen Jahre bestimmt (FISCHER ET AL. 1987). Damit ist, innerhalb der Fehler, eine Gleichaltrigkeit des Blockhorizontes mit dem Riesereignis nachgewiesen. Als weiterer wichtiger Beweis wurde 1971 erstmals ein Kalkblock

gefunden, der die charakteristische Morphologie der für Impakte typischen Shatter Cones zeigte (HOFMANN 1973a, Figur 3). Damit war ein Zusammenhang mit einem Impakt bewiesen, nur der Krater fehlte. Da ein direkter Zusammenhang mit dem Ries nicht möglich schien, wurde ein weiterer, mit dem Ries-Steinheim-Ereignis zeitgleicher Impakt in der Region Bodensee-St.Gallen postuliert (HOFMANN 1973a,b, 1978). Wiederum rund 20 Jahre später waren die Kenntnisse über Impaktprozesse wesentlich fortgeschritten. Insbesondere war nun klar, dass intakte Gesteinstrümmer aus Kratern mit mehreren Kilometern pro Sekunde ausgeworfen werden können. Beweise dafür sind Meteoriten vom Mond und vom Mars (Auswurfgeschwindigkeit >5 km/s, MELOSH 1993) sowie Auswurfmassen des Acraman-Kraters in Australien, welche 500 km vom Krater entfernt gefunden wurden (WALLACE ET AL. 1989). Da keine Hinweise auf einen verborgenen Krater im Bodenseegebiet aufgetaucht waren, lag es nahe, den Blockhorizont als Auswurfmassen des Rieskraters (mit einem möglichen Beitrag des Steinheimer Beckens) zu deuten. Als weiterer Beweis für einen Zusammenhang mit einem Impaktereignis konnten geschockte Quarzkörner mit für die Schockmetamorphose charakteristischen ‹planaren Elementen› nachgewiesen werden (HOFMANN UND HOFMANN 1992).

Im Feld ist der Blockhorizont von Bernhardzell eine auf den ersten Blick nicht besonders augenfällige Lage in den Mergeln der Oberen Süßwassermolasse, nur ca. 2 m unterhalb eines mächtigen Konglomerathorizontes (‐Ramschwagnagelfuh‐). Der Horizont ist entlang des linken Ufers der Sitter bei Koordinaten 743100/260530 ($9^{\circ} 20.3' E$, $47^{\circ} 28.78' N$) über rund 200 m aufgeschlossen. Gegen Osten (flussaufwärts) liegt dabei der Horizont sukzessive tiefer und verschwindet schliesslich im Flussniveau. Der im Aufschluss sonst meist gelblichbeige Mergel ist im Blockhorizont schwach rötlich verfärbt. In unregelmässigen Abständen finden sich

eckige Bruchstücke von Malmkalk (Oberer Jura). Bruchstücke von wenigen Millimetern sind in lateralen Abständen von wenigen Zentimetern erkennbar, grössere sind seltener und Blöcke von über 10 cm Grösse wurden nur ausnahmsweise gefunden. Fossilien (Ammoniten, Brachiopoden, Schwämme) in den Malmkalken beweisen, dass die Kalke altersmässig dem Oxford bis Kimmeridge entsprechen (HOFMANN UND HOFMANN 1992). Neben den Kalkbruchstücken treten ebenfalls recht häufig Bruchstücke von violetten Mergeln auf, welche ihrer Ausbildung nach den Keupermergeln (Trias) des Ries entsprechen. Im Gegensatz zum Ries wurde im Steinheimer Becken kein Material der Trias ausgeworfen. Beim sorgfältigen Ausschlammern von Mergelproben aus dem Blockhorizont bleibt nach Weglösen von Kalk mit verdünnter Salzsäure ein Rückstand aus Quarzkörnern und violetten Mergelbruchstücken (Keuper) zurück. Der Mergel unter (-20 und -70 cm) und über ($+20$ und $+40$ cm) dem Horizont ist deutlich ärmer an Quarzkörnern $>1,5$ mm (Mittel von 4 Proben: 50 mg/kg) als Proben aus dem Blockhorizont (Mittel von 3 Proben: 640 mg/kg). Dünnschliffe dieses Sandes zeigen einen bedeutenden Anteil von Quarzkörnern, welche sogenannte ‹Planare Elemente› aufweisen, ein eindeutiger Beweis für starke Schockeinwirkung, wie sie nur aus Impaktkratern bekannt ist. Aufgrund von geschlammten Proben wurde abgeschätzt, dass auf einem Quadratmeter des Blockhorizontes rund 4 kg Malmkalk und 100 g Quarzsand aus dem Ries liegen. Fossilien der Molassezeit konnten direkt im Blockhorizont keine nachgewiesen werden. Dunklere, wenige Meter tiefer gelegene Mergelpartien enthalten Süßwasserschnecken.

Der Impakthorizont von Bernhardzell stellt ein für die Schweiz einmaliges geologisches Phänomen dar. Der einzige andere Impakthorizont der Schweiz ist die Kreide-Tertiär-Grenze des Gurnigelgebietes BE (DE KAENEL ET AL. 1989), welche jedoch phänomenologisch nicht in Erscheinung tritt

Abbildung 1:
Shatter Cone (A) in einem
rund 10 kg schwerem Malm-
kalkblock. Der erste Fund
eines Shatter Cones im
Blockhorizont Bernhardzell,
1971 (NMBE 50064). Maxi-
maler Durchmesser des
Blockes 22 cm.
Foto Peter Vollenweider.



Abbildung 2:
Der am besten ausgebildete
Shatter Cone (B) mit feiner
Lineation, welche in einem
charakteristischen Winkel
zusammenlaufen (32° für
diese Probe). Am oberen
Bildrand ist eine zweite,
ebenfalls als Shatter Cone
ausgebildete Bruchfläche
erkennbar. Fund von David
Wettstein, 1994 (NMBE
37941). Maximale Breite
der Probe 15 cm.
Foto Peter Vollenweider.

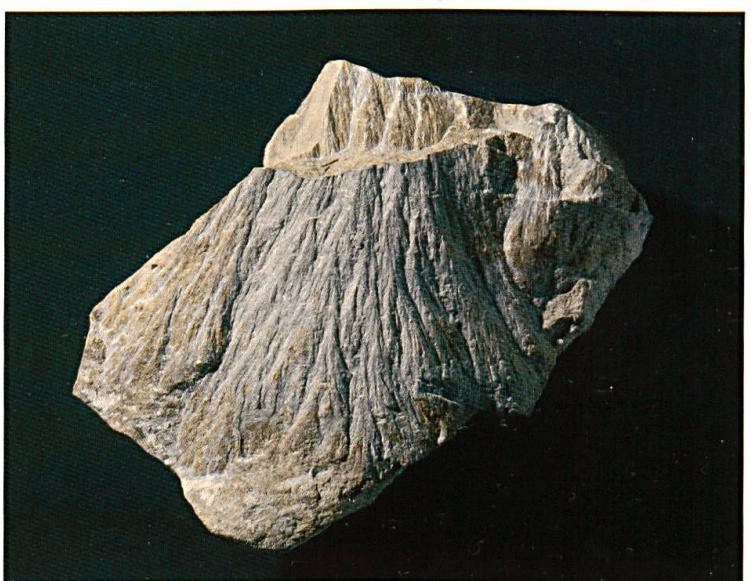


Abbildung 3:
Relativ grob ausgebildeter
Shatter Cone (C). Eine
zweite Fläche ist oben er-
kennbar. Fund 2003 (NMBE
37037). Maximale Breite
der Probe 13 cm. Foto Peter
Vollenweider.





Abbildung 4:
Unregelmässig ausgebildete
Shatter Cone-Bruchfläche
(D). Die beiden Bruch-
stücke passen zusammen.
Hier könnte man vermuten,
es handle sich um einen
Rutschharnisch. Kleine
Flächen auf der Rückseite
zeigen jedoch ein eindeutiges
Zusammenlaufen der Line-
ation. Fund 2003 (NMBE
37038). Maximale Breite
der grösseren Probe 6 cm.
Foto Peter Vollenweider.

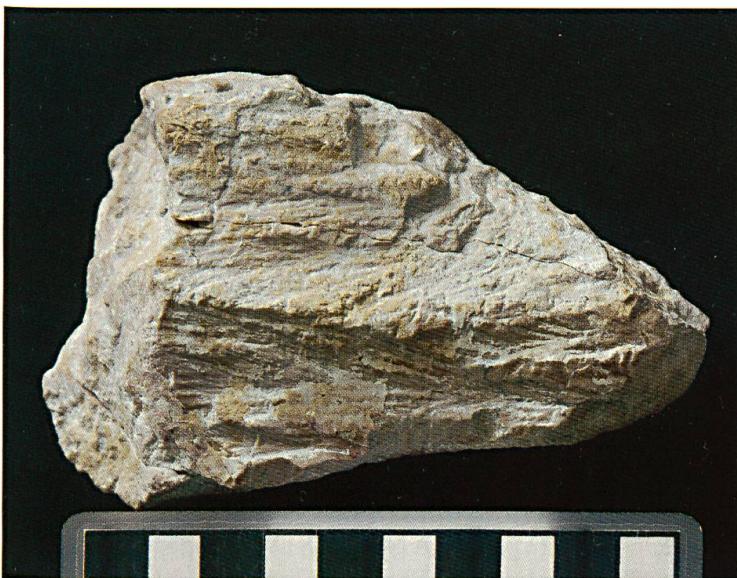


Abbildung 5:
Shatter Cone (E) mit gut
erhaltener Shatter Cone-
Struktur auf konkaver
Bruchfläche. Fund 2005
(NMBE 38631). Maximale
Breite der Probe 12 cm.
Foto Peter Vollenweider.

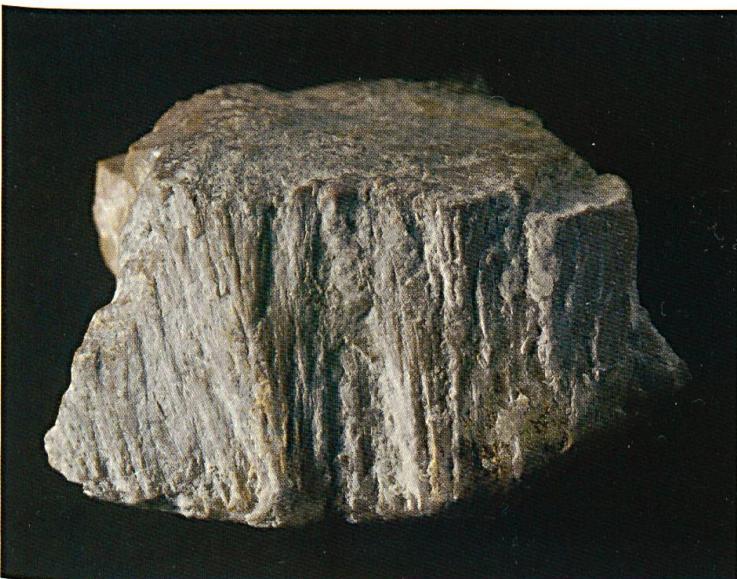


Abbildung 6:
Shatter Cone (F) auf
kleinem Malmkalkbruch-
stück. Dieses Stück wurde
in situ im Mergel einge-
bettet gefunden.
Fund 2006 (NMBE 38753).
Breite der Probe 3.5 cm.
Foto Peter Vollenweider.

und nicht mehr aufgeschlossen ist. Aufgrund dieser Einzigartigkeit und der guten, seit Jahrzehnten stabilen Aufschlussverhältnisse wurde der Blockhorizont Bernhardzell als Geotop von nationaler Bedeutung identifiziert (KRAYSS 2004).

5. Shatter Cones von Bernhardzell

Trotz der hohen Zahl von untersuchten Kalkbruchstücken konnten bis heute vom Blockhorizont Bernhardzell nur sechs eindeutige Shatter Cone-Proben nachgewiesen werden. Der erste Fund von 1971 (Abbildung 1) war für die Interpretation als Impaktphänomen ausschlaggebend, wurde aber auch bezweifelt, da es sich um ein eher grob ausgebildetes Exemplar handelt. Von besonderer Bedeutung ist deshalb der 1994 von David Wettstein gemachte Fund eines hervorragend ausgebildeten Shatter Cone (Abbildung 2), welcher jeden Verdacht auf Verwechslung mit Strukturen anderer Entstehung eliminiert und Vergleiche mit ähnlich gut ausgebildeten Shatter Cones aus dem Steinheimer Becken zulässt. Weitere Funde gelangen 2003, 2005 und 2006. Probe D (Abbildung 4) zeigt am wenigsten deutlich die typische Oberflächenstruktur der Shatter Cones, diese ist jedoch auf einer kleinen Fläche der Rückseite ganz eindeutig erkennbar. Bei Probe E (Abbildung 5) ist die typische Shatter Cone-Struktur als ‹Negativ› auf einer konkaven Bruchfläche ausgebildet. Die kleine Probe F (Abbildung 6) schliesslich zeigt eine sehr fein ausgebildete Struktur, ähnlich der Probe B. In der Tabelle 1 sind alle dem Autor be-

kannten Funde von Shatter Cones von Bernhardzell zusammengefasst. Alle Proben befinden sich im Naturhistorischen Museum der Burgergemeinde Bern.

Die Ausbildung der Shatter Cone-Struktur, insbesondere die Feinheit der zusammenlaufenden Linien, ist bei zwei der sechs Proben (A, Abbildung 1 und C, Abbildung 3) eher grob (Breite der feinsten erkennbaren Lineationen: >1mm). Die anderen vier Proben zeigen mindestens teilweise eine sehr feine Lineation (Breite 0,2–0,5 mm). Probe B zeigt die weitaus am besten erhaltene Struktur bei grösster Fläche. In mehreren Proben (A, B, C, D) können mehrere parallele Flächen mit Shatter Cone-Struktur beobachtet werden, jeweils in einem Abstand von 1,5–4 cm. Die Oberfläche aller Shatter Cone-Proben zeigt Reste von anhaftendem Molassemergel sowie feine Rutschharnische, welche vermutlich durch Bewegungen des Mergels relativ zum massigen Kalk während der Kompaktion zustande kamen.

Wo möglich wurde an den Shatter Cones der Winkel zwischen den Lineationen (sog. V-Winkel, SAGY ET AL. 2002) gemessen. Die Messung erfolgte anhand von Aufnahmen, welche in möglichst rechtem Winkel zur Oberfläche gemacht wurden. Zum Vergleich wurden sechs Proben von Steinheim gemessen (HOFMANN UND GNOS 2006). Die Steinheimer Shatter Cones ergaben V-Winkel von 12–25° (jeweils Mittelwerte von 7–23 Messungen), der Mittelwert aller Messungen ist $17 \pm 5^\circ$ ($n=93$). Nur die Bernhardzeller Probe B bot genügend Messmöglichkeiten und ergab einen Mittleren Winkel von $32 \pm 6^\circ$,

Abbildung		NMBE Nr	Funddatum	Finder	Dimension Shatter Cone	Erhaltung	V-Winkel (°)
1	A	50064	1971	Franz Hofmann	6x15 cm	grob	
2	B	37941	20.4.1994	David Wettstein	10x14 cm	fein	32 ± 6 ($n=30$)
3	C	37037	18.6.2003	Beda Hofmann	10x11 cm	grob	
4	D	37038	18.6.2003	Beda Hofmann	4x5 cm	fein, lückenhaft	$21-26$ ($n=4$)
5	E	38631	15.6.2005	Manuel Eggimann	7x9 cm	fein	25 ± 6 ($n=15$)
6	F	38753	12.8.2006	Beda Hofmann	1.8x3.5 cm	fein	18 ± 4 ($n=6$)

NMBE: Naturhistorisches Museum Bern

Tabelle 1:
Shatter Cones aus dem Impakthorizont bei Bernhardzell

deutlich verschieden von den Steinheimer Proben. Proben D, E und F ergaben ähnliche Werte wie Steinheim, allerdings bei nur wenigen Messungen. Damit steht zumindest fest, dass Probe B aus einem anderen Schockmilieu stammen muss als die untersuchten Steinheimer Shatter Cones. SAGY ET AL. (2002) postulieren aufgrund von Beobachtungen im Vredefort-Krater, dass der V-Winkel mit zunehmender Entfernung vom Zentrum des Kraters zunimmt. Falls dies zutrifft, müsste die Probe B von Bernhardzell aus einer wesentlich weiter vom Kraterzentrum entfernten Position stammen als die Steinheimer Proben, welche praktisch exakt aus dem Zentrum kommen. Dies wäre konsistent mit der Herkunft aus dem Ries. Die Bedeutung des V-Winkels ist jedoch noch umstritten (H.J. MELOSH, pers. Mitt. 2006).

6. Folgerungen

Das Vorkommen von Shatter Cone-Strukturen in Malmkalkbrocken aus dem Blockhorizont von Bernhardzell konnte zwischen 1994 und 2006 mehrfach verifiziert werden. Eine Entstehung dieses Horizontes als Ablagerung von Impakt-Auswurfmaterial, höchstwahrscheinlich vorwiegend aus dem 180 km entfernten Nördlinger Ries stammend, wird damit bestätigt. Der mittlere V-Winkel des am besten ausgebildeten Shatter Cone ist signifikant grösser als jener von Proben aus dem Zentralhügel des Steinheimer Beckens. Dies spricht für eine Herkunft aus einem Milieu mit deutlich verschiedenen Schockwelleneigenschaften. Es ist deshalb sehr wahrscheinlich, dass die Bernhardzeller Shatter Cones aus dem Ries stammen, obwohl dort im heutigen Erosionsniveau keine Shatter Cones in Malmkalken gefunden wurden. Vermutlich stammen die Shatter Cones aus Regionen der ehemaligen Bedeckung des Rieskraters, welche bereits beim Impakteignis vollständig zerstört und ausgeworfen wurden. Da Shatter Cones in weit vom Krater entfernten Auswurfmassen extrem selten sind, stellen die Shatter Cones von

Bernhardzell als Zeugen des Riesimpaktes wichtige Proben dar.

Die Ereignisse im Zusammenhang mit dem Ries-Steinheim-Impakt mögen sich in der Region St.Gallen vor 14,4 Millionen Jahren etwa wie folgt präsentiert haben: Der Eintritt der Meteoriten in die Atmosphäre bewirkte eine wenige Sekunden dauernde, helle Lichterscheinung am nördlichen Horizont, wenig später gefolgt von einem Leuchten, welches der sich vom Krater ausbreitende Feuerball bewirkt haben dürfte. Bereits gut 30 Sekunden nach dem Aufprall erreichte die Schockwelle, als Bodenerschütterung fühlbar, die Region. Innerhalb weniger Minuten nach dem Einschlag muss eine dunkle Wand von Auswurfmaterial, welche eine Höhe von über 100 km erreichte, den nördlichen Himmel verdüstert und sich mit hoher Geschwindigkeit genähert haben. Nach einem ballistischen Flug über 180 km erreichten ab rund dreieinhalb Minuten nach dem Einschlag die Auswurfmassen als dichter Hagel von Gesteinsbrocken, gefolgt von Feinmaterial in Form einer Staubwolke, die Gegend des heutigen St.Gallen. Rund 9 Minuten nach dem Einschlag muss die Druckwelle die Region erreicht haben. Obwohl es sich um eine grossregionale Katastrophe für das Leben gehandelt haben muss, gibt es kein Anzeichen dafür, dass Ereignisse dieser Grösse einen wesentlichen Einfluss auf das globale Klima hatten.

Dank

Mein tiefer Dank gilt meinem verstorbenen Vater Franz Hofmann, welcher den Blockhorizont von Bernhardzell entdeckte und mich anlässlich verschiedener gemeinsamer Exkursionen für dieses Phänomen zu faszinierten wusste. Herr Edgar Krayss (St.Gallen) überliess dem Naturhistorischen Museum der Burgergemeinde Bern in verdankenswerter Weise den schönsten und besterhaltenen Shatter Cone (Fund von David Wettstein).

Literaturverzeichnis

- BARATOUX, D. & MELOSH, H.J. (2003): The formation of shatter cones by shock wave interference during impacting. *Earth and Planetary Science Letters* 216, 43–54.
- BÜCHI, U. & HOFMANN, F. (1945): Spuren vulkanischer Tätigkeit im Tortonien der Ostschweiz. – *Eclogae geol. Helv.* 38/2, 337–343.
- BUCHNER, E., SEYFRIED, H. & VAN DEN BOGAARD, P. (2003): $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ laser probe age determination confirms the Ries impact crater as the source of glass particles in Graupensand sediments (Grimmelfingen Formation, North Alpine Foreland Basin). – *Int. J. Earth Sci.* 92, 1–6.
- DE KAENEL, E., VON SALIS PERCH-NIELSEN, K. & LINDINGER, M. (1989): The Cretaceous/Tertiary boundary in the Gurnigel Flysch (Switzerland). – *Eclogae geol. Helv.* 82, 555–581.
- EARTH IMPACT DATABASE (2006): www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/ (22. Mai 2007)
- FISCHER, H., OBERLI, F. & MEIER, M. (1987): U-Pb und K-Ar-Datierungen an OSM-Bentoniten. – Abstract, Jahrestagung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Luzern.
- HOFMANN, B. A. & GNOS, E. (2006): New finds of shatter cones in distal Ries ejecta, Bernhardzell, eastern Switzerland. – *Meteoritics and Planetary Science* 41 (Suppl.), A78.
- HOFMANN, B. & HOFMANN, F. (1992): An impactite horizon in the Upper Freshwater Molasse in Eastern Switzerland. – Distal Ries Ejecta? *Eclogae geol. Helv.* 85, 788–789.
- HOFMANN, F., GEIGER, TH. & SCHWARZACHER, W. (1949): Über ein Vorkommen von Montmorillonit in der ostschweizerischen Molasse. – *Schweiz. Min. Petr. Mitt.* 29/1, 43–49.
- HOFMANN, F. (1955): Beziehungen zwischen Tektonik, Sedimentation und Vulkanismus im schweizerischen Molassebecken. – *Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. Ing.* 22/62, 5–18.
- (1967): Der vulkanische Blockhorizont an der Sitter bei Bernhardzell. – In: *Geologischer Führer der Schweiz*, Heft 6, Wepf & Co, Basel.
 - (1973a): Horizonte fremdartiger Auswürflinge in der ostschweizerischen Oberen Süßwassermolasse und Versuch einer Deutung ihrer Entstehung als Impaktphänomen. *Eclogae geol. Helv.* 66/1, 83–100.
 - (1973b): Fremdartige Trümmerhorizonte in der Molasse des ostschweizerischen Bodenseegebietes und ihre Beziehung zur Entstehung des Nördlinger Ries und des Steinheimer Beckens. – *Schriftenreihe Verein f. Geschichte Bodensee* 91, 125–139.
 - (1978): Spuren eines Meteoriteneinschlags in der Molasse der Ostschweiz und deren Beziehung zum Riesereignis. – *Bull. Ver. Schweiz. Petrol-Geol. U. Ing.* 44/107, 17–26.
- KRAYSS, E. (2004): Geotope im Raum Wittenbach-Häggenschwil-Bernhardzell. – *Berichte der St. Gallischen Naturforschenden Gesellschaft* 90, 35–56.
- MELOSH, H.J. (1993): Blasting rocks off planets. – *Nature* 363, 498–499.
- OSINSKI, G.R. & SPRAY, J.G. (2006): Shatter Cones of the Haughton impact structure, Canada. – Proc. 40th ESLAB/First intl. Symp. In impact cratering in the Solar System, ESA, Noordwijk, 8–12 May 2006, pp. 95–99.
- PÖSGES, G. & SCHIEBER, M. (2000): Das Rieskrater-Museum Nördlingen. Museumsführer. – Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 111p.
- ROACH, D.E., FOWLER, A.D. & FYSON, W.K. (1993): Fractal fingerprinting of joint and shatter-cone surfaces. – *Geology*, 21, 759–762.
- SAGY, A., RECHES, Z. & FINEBERG, J. (2002): Dynamic fracture by large extraterrestrial impacts as the origin of shatter cones, – *Nature* 418, 310–313.
- SHOEMAKER, E.M. & CHAO, E.C.T. (1961): New evidence for the impact origin of the Ries basin, Bavaria, Germany. – *Journal of Geophysical Research*, 66: 3371–3378.
- STÖFFLER, D., ARTEMIEVA, N.A. & PIERAZZO, E. (2002): Modeling the Ries-Steinheim impact event and the formation of the moldavite strewn field. – *Meteoritics and Planetary Science* 37, 1893–1907.
- WALLACE, M.W., GOSTIN, V.A. & KEAYS, R.R. (1989): Discovery of the Acraman impact ejecta blanket in the Officer basin and its stratigraphic significance. – *Australian Journal of Earth Sciences* 36, 585–587.