

Strahlenkalke bzw. Shatter-Cones aus Oberschwaben (Südwest-Deutschland) – Fernauswürflinge des Nördlinger-Ries-Impaktes

Von Volker J. Sach

Strahlenkalke, auch Shatter-Cones genannt, stellen heute eigenartige Leitgesteine bzw. –strukturen dar für die sichere Identifizierung von Impakt-Kratern (Meteoritenkrater). Mit vorliegender Arbeit werden nun erste Funde von Strahlenkalken aus der Oberen Süßwassermolasse in Oberschwaben vorgestellt. Es sind dies eindeutige geologische Zeugnisse eines Impakt-Ereignisses in Süddeutschland zur Zeit des Mittelmiozäns. Die Fundorte dieser Strahlenkalke liegen etwa 110 bzw. 140 Kilometer südwestlich des Nördlinger Rieses, einem großen Impakt-Krater mit etwa 24 Kilometer Durchmesser. Bei den aufgefundenen Strahlenkalken handelt es sich um Fernauswürflinge (Fern-Ejekta) dieser gewaltigen Naturkatastrophe.

Forschungsgeschichte

Im Jahre 1900 deutete JAKOB HILDENBRAND in seinen damals nieder geschriebenen Notizen die auffällig gerieften Gesteinsflächen von Oberjurakalken aus dem Steinheimer Becken – rund 7 Kilometer westlich der Stadt Heidenheim an der Brenz – als „*sich beim Setzen während der Bildung*“ des Kalkgesteins entstandene Strukturen (s. HILDENBRAND 1924: 100).

Erstmals näher beschrieben und erkannt wurden Strahlenkalke aus dem Steinheimer Becken im Jahre 1905 durch WILHELM BRANCO

und EBERHARD FRAAS. Sie interpretierten die auffälligen, eigenartigen Gesteinsstrukturen als „*durch Pressung hervorgerufene strahlen- oder bündelförmige Absonderungen in dem Kalkgestein*“ (BRANCO & FRAAS 1905: 36-37). Der Entstehungsmechanismus des merkwürdig gestriemten Kalkgesteins konnte von den beiden Autoren nicht genauer erklärt werden. BRANCO & FRAAS deuteten die heute als Steinheimer Meteor-Krater weithin bekannte geologische Großstruktur damals als vulkanische Bildung (sog. „*kryptovulkanisches Becken von Steinheim*“) mit einer explosiven Magmakammer im tieferen Untergrund des Beckens.

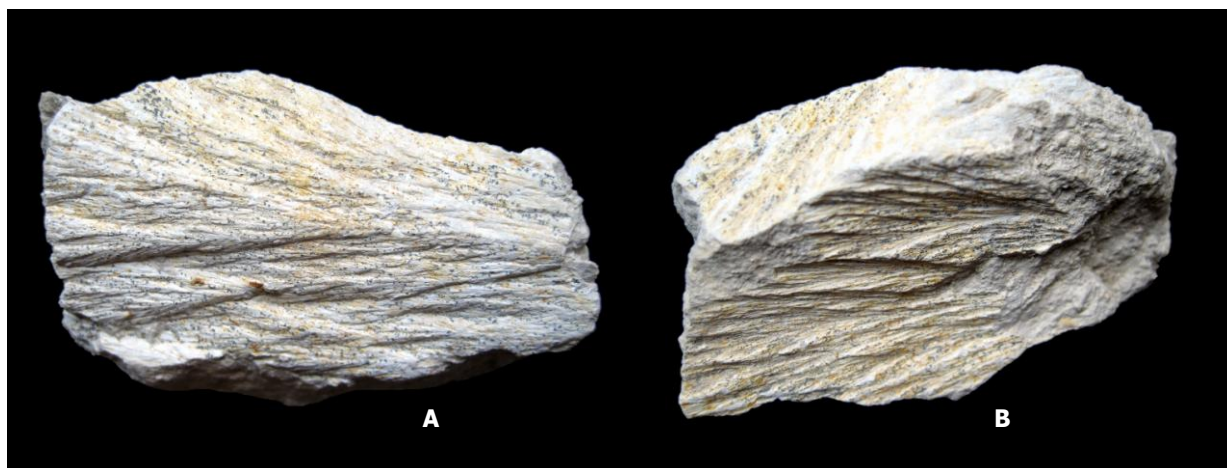


Abb. 1. Strahlenkalk mit Shatter-Cone-Strukturen aus dem Steinheimer Becken. Linkes Bild (A): Gesteinshälfte mit erhabenen Strahlenkegeln (Positivseite); rechtes Bild (B): Gesteinshälfte mit Negativ-Abdrücken von Strahlenkegeln (Negativseite). Länge des Oberjura-Kalkstückes etwa 6,5 Zentimeter.

Der deutschsprachige Begriff „Strahlenkalk“ wurde durch WALTER KRANZ (1924) eingeführt. Er vermutete, dass das betreffende Kalkgestein im Steinheimer Becken durch die chemisch auflösende Einwirkung heißer vul-

kanischer Gase und Dämpfe spröde wurde und danach partienweise zu fein gerieften Gesteinskegeln zerbrach.

Da die charakteristischen Oberflächen-Phänomene der Strahlenkalke nicht nur in

feinkörnigen Kalken, sondern später auch in anderem Gesteinsmaterial (Dolomit- u. Sandgesteine sowie kristalline Gesteine) nachgewiesen wurden, führte WALTER H. BUCHER (Columbia Universität New York, USA) im Jahre 1936 den heute international gebräuchlichen Begriff „shatter cones“ (deutsche Übersetzung: „Schmetterkegel“ bzw. „Strahlenkegel“) für diese Gesteinsstrukturen ein. In seiner 1936 veröffentlichten Abhandlung über *„Cryptovolcanic structures in the United States“* beschrieb BUCHER Shatter-Cones in feinkörnigem Dolomit aus dem zentralen Bereich des „Wells-Creek-Basin“, einem – dem Steinheimer Meteorokrater sehr ähnlichen – Impakt-Krater in Tennessee (Nord-Amerika). BUCHER wies in seiner Arbeit ausdrücklich auf die gute Übereinstimmung der von ihm beschriebenen Shatter-Cones mit den bereits lang zuvor bekannten Strahlenkalken aus dem Steinheimer Becken hin (*„This curious fracture pattern was first described from the Steinheim Basin“*; BUCHER 1936: 1070).

ROBERT S. DIETZ, ein deutschstämmiger, amerikanischer Geophysiker und Geologe, beschäftigte sich bereits ab Ende der 1940er Jahre bis in die 1960er Jahre intensiv mit Shatter-Cones, insbesondere aus nordamerikanischen Krater-Strukturen (u.a. Sierra Madera, Texas; Serpent Mound, Ohio; Flynn Creek, Tennessee). Dabei erkannte er, dass Shatter-Cones unter extrem hohen Druckverhältnissen bzw. durch starke Stoßwellen im Gesteinskörper entstehen. DIETZ war überzeugt davon, dass die im Gelände bereits mit bloßem Auge gut erkennbaren Shatter-Cones aufgrund ihrer Form und der Ausrichtung ihrer Kegelachsen (bei primärer Lagerung stets in Richtung eines Punktes an der ehemaligen Erdoberfläche) keine Bildungen in Folge vulkanischer Prozesse darstellen, sondern durch die enormen Stoßwellen bei Impakt-Ereignissen erzeugt wurden. Damals bereits vermutete DIETZ, dass eindeutige Shatter-Cones im Gelände als charakteristische bzw. „leitende“ Gesteinsstrukturen für die Identifizierung von Impakt-Kratern verwendet werden können (s. DIETZ 1947, 1961 und 1967).

Im Jahre 1960 konnten DONALD GAULT und EUGENE SHOEMAKER (U.S. Geological Survey) bei experimentellen Versuchen – erstmals künstlich – kleine Shatter-Cones erzeugen.

Dies gelang ihnen, nachdem sie kleine Kügelchen per Gasdruckwaffe mit extrem hoher Geschwindigkeit (etwa 5,5 km/s) in Kalkgesteins-Proben einschossen.

Der erste eindeutige Shatter-Cone bzw. Strahlenkegel aus dem „Nördlinger Ries“, einem weiteren Impakt-Krater in Süddeutschland mit einem Durchmesser von etwa 24 Kilometer, wurde von FRITZ WEIDENBACH (Geol. Landesamt Baden-Württemberg) 1970 während einer Ries-Exkursion im Kristallingestein des Geländeaufschlusses „Meyers Keller“ gefunden (s. HEIZMANN & REIFF 2002: 43). Wenige Jahre danach konnten dann im Rahmen der Forschungsbohrung „Nördlingen 1973“ weitere Shatter-Cones (sog. „Strahlengranite“) in Kristallingestein aus dem Kraterboden des Nördlinger Rieses entdeckt werden (s. BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1974).

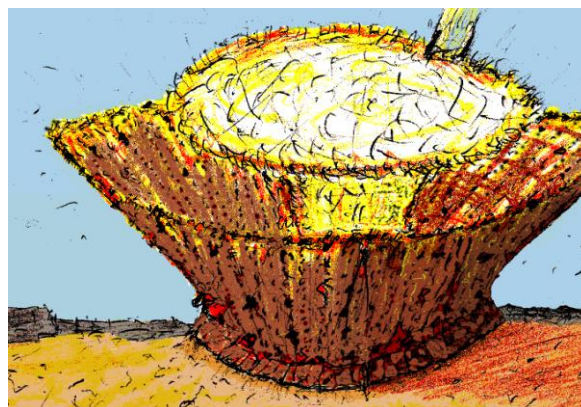


Abb. 2. Aussprengung des Ries-Kraters durch einen Großmeteoriten mit einem Durchmesser von etwa 1 Kilometer. Die Trümmerrmassen (inklusive Strahlenkalken) werden trichterförmig ausgeschleudert und, nach dem Flug durch die Luft, bis über 180 Kilometer vom Krater-Zentrum entfernt abgelagert.

Von Strahlenkalken bzw. Strahlenkalk-ähnlichen Gesteinsbrocken aus einem „Malmkalk-Blockhorizont“ (Äquivalent des süddeutschen Brockhorizontes) der Oberen Süßwassermolasse bei St. Gallen (Ostschweiz) berichtet FRANZ HOFMANN (1973: 87-88 u. 1978: 20-22). Ein direkter Bezug zum Ries-Impakt wird angenommen, wobei die betreffenden Fundstücke als Fern-Ejekta („Langstreckengeschosse“) mit einer Flugweite von etwa 180 Kilometer gedeutet werden.

Erst in jüngster Zeit, im Jahr 2012, berichteten J. F. MCHONE, C. SHOEMAKER und M. & K. KILLGORE über die ersten derzeit bekannten Shatter-Cones in zwei Steinmeteoriten

(Chondrite) aus der Sahara Nordwest-Afrikas. Ob die Shatter-Cone-Strukturen dieser beiden Meteoriten bereits im Weltall durch die Kollision mit einem anderen Himmelskörper entstanden oder erst beim Einschlag auf die Oberfläche der Erde, ist nicht geklärt.

Weltweit sind bislang etwa 180 Impakt-Krater dokumentiert, wobei Shatter-Cones von über 70 Kratern sehr unterschiedlicher Größe bekannt sind. Sie werden heute von den meisten Autoren als makroskopisches Feldkriterium akzeptiert für die verlässliche Identifizierung terrestrischer Impakt-Krater.

Shatter-Cones/Strahlenkalke: Produkte der Stoßwellen-Metamorphose

Shatter-Cones (deutsch: Strahlenkegel) stellen kegelförmige Strukturen in Festgesteinen dar, deren Oberflächen strahlenartig oder Roßschweif-ähnlich gestriemt sind. Finden sich diese Trennflächenstrukturen in Kalkgesteinen, spricht man – im deutschen Sprachraum – auch von Strahlenkalken. In der Natur entstehen Shatter-Cones bzw. Strahlenkalke ausschließlich bei Impakt-Ereignissen (Einschläge von Stein-, Eisen- und Stein-Eisen-Meteoriten auf die Erdoberfläche) durch Stoßwellen und unter extrem hohen Drücken zwischen etwa 15 und 200 Kilobar. Außerdem konnte die Bildung von Shatter-Cones auch in künstlich erzeugten Explosionskratern von Kernwaffentests beobachtet werden. In Kratern vulkanischer Entstehung sowie in Gesteinen vulkanischer Herkunft wurden bislang noch nie Shatter-Cones festgestellt.

Beim Einschlag eines Großmeteoriten in die Erdkruste werden die Gesteinsschichten im Bereich des Impakt-Kraters und in dessen näheren Umgebung extremen Druck- und Temperaturverhältnissen ausgesetzt. In Bruchteilen einer Sekunde nach dem Impakt breitet sich, vom Einschlagkörper ausgehend, eine halbkugelförmige Druckfront mit mehrfacher Schallgeschwindigkeit im Gestein aus. Der kosmische Einschlagkörper selbst und das umgebende Gestein werden dabei auf etwa ein Viertel ihres ursprünglichen Volumens komprimiert (PÖSGES & SCHIEBER 2000: 28). Durch die enormen Druck-/Temperaturverhältnisse kommt es – je nach Radialabstand vom Einschlagzentrum – zu spezifischen Veränderungen bei den betroffenen Gesteinen wie Verdampfen, Aufschmelzen, Teilauf-

schmelzen, Mineralumwandlung, mechanische Deformation und Zerschneiden (Prinzip der sogenannten „progressiven Stoßwellen-Metamorphose“, s. STÖFFLER 1971).

Bisher konnten Shatter-Cone-Strukturen in Kalk-, Dolomit-, Sand- und Kristallingesteinen nachgewiesen werden. Gewöhnlich haben sie eine Länge von einigen Zentimeter (minimal etwa 1 Zentimeter), können aber auch bis mehrere Meter lang sein (z.B. in ordovizischem Kalkgestein des Impakt-Kraters von Charlevoix in Québec, Kanada). Je feinkörniger das betreffende Gestein ist, desto deutlicher sind die Strahlenkegel mit ihren Spitzen (Apex) und Striemen (Striae) ausgebildet. Besonders deutliche und gut erhaltene Strahlenkegel mit Roßschweif-ähnlicher Striemung findet man in feinkörnigen Oberjurakalken des Steinheimer Beckens, einem intensiv erforschten Meteorokrater. Bei grobkörnigen Gesteinen wie Granit und Gneis sind die Kegel dagegen meist recht grob und nicht sehr deutlich ausgebildet.

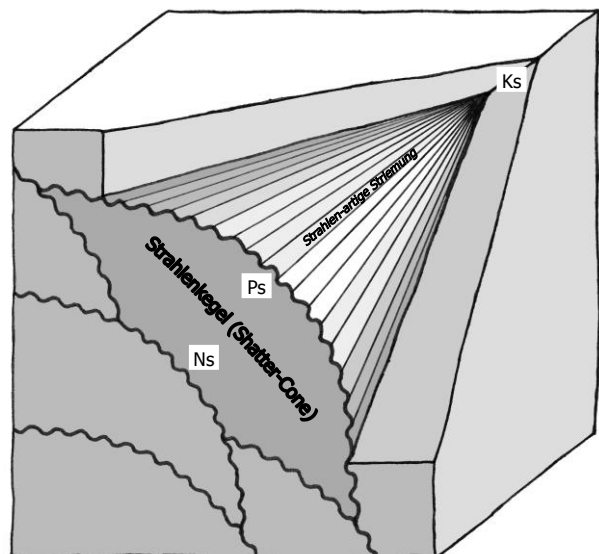


Abb. 3. Modell eines durch Stoßwellen-Metamorphose in Festgestein entstandenen Strahlenkegels. Ks = Kegelspitze, Ps = Positivseite (konvexe Oberfläche), Ns = Negativseite (konkave Oberfläche). Modifiziert nach GIBSON & SPRAY (1998: Abb. 5a).

Anhand elektronenmikroskopischer Digitalaufnahmen konnten HEATHER M. GIBSON & JOHN G. SPRAY (1998) an Oberflächen von Shatter-Cones aus dem kanadischen Sudbury-Impaktkrater ungewöhnliche Mikrostrukturen (winzige Fäden bzw. Fasern, Aggregate, Schlieren und Silikatkügelchen) feststellen, die sich wohl durch Schmelz- und/oder

Verdampfungsprozesse beim Durchlauf der Schockwelle im Gestein gebildet haben.

Sofern Shatter-Cones im Gelände in unveränderter (primärer) Lage gefunden werden, zeigen die Mittelachsen der Strahlenkegel, die durch die jeweiligen Kegelspitzen verlaufen, stets zur Quelle der ehemals wirkenden, halbkugelförmigen Stoßwellenfront. Bei primärer Lagerung sind sie also immer zum Einschlagzentrum des kosmischen Körpers nahe an der ehemaligen Landoberfläche ausgerichtet. Eine Lokalisierung der Einschlagstelle mit Hilfe primär gelagerter Strahlenkegel ist somit möglich, was sehr hilfreich sein kann, wenn der zentrale Bereich eines Impakt-Kraters heute nicht mehr erkennbar bzw. vorhanden ist.

Im Steinheimer Becken finden sich nahe beieinander Strahlenkegel mit stark variierender Ausrichtung der Kegelachsen bzw. -spitzen. Es handelt sich hierbei um sekundär gelagerte Strahlenkalk, also Gesteinsmaterial, das während der Shatter-Cone-Bildung noch umgelagert wurde.

Neue Strahlenkalk-Fundstellen in der Oberen Süßwassermolasse (OSM) Südwest-Deutschlands

In den Jahren 1996 bis 2012 konnten nun erstmals auch in der Oberen Süßwassermolasse von Baden-Württemberg Strahlenkalk bzw. Shatter-Cones aufgefunden werden, für die offensichtlich ein direkter Bezug zum Ries-Impakt während des Mittelmiozäns vorhanden ist. Bei den Fundstücken mit Shatter-Cone-Strukturen handelt es sich fast ausschließlich um Oberjura-Kalkbrocken der schwäbisch/fränkischen Fazies. Vergleichbare Kalkgesteine stehen in den Fundgebieten nur in den über 800-1500 Meter tiefer liegenden Schichten der Jura-Formation, unterhalb der Molasse, an. Geographisch gesehen nehmen die neuen Strahlenkalk-Fundpunkte in Baden-Württemberg eine vermittelnde Position ein zwischen dem Impakt-Krater „Nördlinger Ries“ und der von HOFMANN (1973 u. 1978) beschriebenen Strahlenkalk-Fundstelle an der Sitter bei St. Gallen (Ostschweiz).

Die drei neuen Strahlenkalk-Fundpunkte in Baden-Württemberg (Südwest-Deutschland) liegen zum einen im Bereich des sogenannten „Hochgeländs“, einer Hochfläche südsüdöstlich der Stadt Biberach an der Riß,

und zum anderen in einem – zur Schussen hin entwässernden – Bachtobel bei Ravensburg:

▪ Fundstelle im Tobel Oelhalde-Süd (Hochgeländ bei Biberach an der Riß)

Aufschluss des „Biberacher Brockhorizontes“ im Bachtobel (nordwestliche Tobelwand) südlich der Straße von Fischbach nach Wettenberg, etwa 400 Meter südöstlich der Ortschaft Wettenberg. TK 25 Blatt 7924 Biberach an der Riß. – GAUSS-KRÜGER-Koordinaten: R³⁵61950, H⁵³22525; Topographische Höhe: 605,3 Meter ü. NN. Literatur: SACH (1997, 1999, 2004).

An der nordwestlichen Wand des Tobels Oelhalde-Süd befinden sich zwei Sedimentlagen des „Biberacher Brockhorizontes“ mit unterschiedlicher topographischer Höhe (605,3 und 606,7 Meter ü. NN.). Die beiden Vorkommen sind in Ost/West-Richtung angeschnitten, etwa 5 Meter lang und bis zu 40 Zentimeter mächtig. In der unteren Lage konnten bisher Oberjura-Kalkbrocken mit bis zu 6 Zentimeter Durchmesser gefunden werden, darunter ein eindeutiger, etwa 5,0 x 3,5 x 2,5 Zentimeter messender Strahlenkalk (Abb. 4), der auf seiner „Rückseite“ möglicherweise stark abgerollte Negativabdrücke von Shatter-Cone-Strukturen zeigt. Aus der oberen Brockhorizont-Lage konnte bisher nur ein kleines Oberjura-Kalkstück (Ø etwa 2 Zentimeter) geborgen werden. Unterhalb etwa 604 Meter ü. NN. sind an mehreren Stellen der Tobelwände weitere fluviatile Aufarbeitungslagen aufgeschlossen, die aber keine Jura-Komponenten enthalten. An der Tobelbasis fand sich – als Lesefund – der bisher größte Oberjura-Kalkbrocken aus dem Biberacher Brockhorizont mit den Maßen 30 x 22 x 16 Zentimeter und einem Gewicht von 12,2 Kilogramm.



Abb. 4. Oberjura-Kalkbrocken mit Shatter-Cones (Strahlenkegel) aus dem Tobel Oelhalde-Süd (Biberacher Brockhorizont bei etwa 605,3 Meter ü. NN.). Maße des Kalkbrockens: 5,0x3,5x2,5 Zentimeter. Coll. V. J. Sach 1996.

▪ Fundstelle im Wannenwaldtobel (Hochgeland bei Biberach an der Riß)

Aufschluss des „Biberacher Brockhorizontes“ im Bachtobel (nördliche Tobelwand) am westlichen Talabhang der Umlach, etwa 2 Kilometer südwestlich der Ortschaft Fischbach, östlich des Wasenmooses. TK 25 Blatt 7925 Ochsenhausen. – GAUSS-KRÜGER-Koordinaten: R³⁵62250, H⁵³21750; Topographische Höhe: 603,5 Meter ü. NN. Literatur: SACH (1997, 1999, 2004).

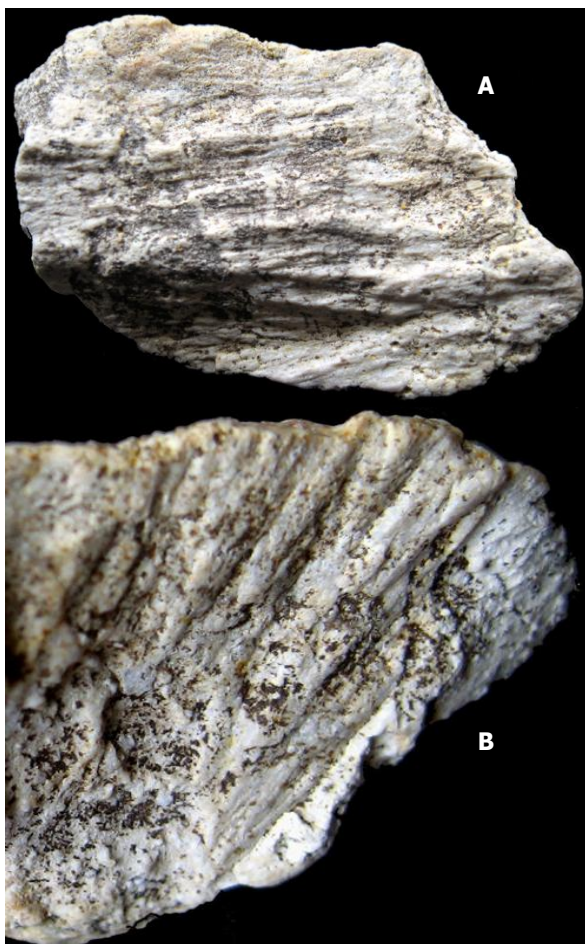


Abb. 5. Oberjura-Kalkbrocken mit Shatter-Cones (Strahlenkegel) aus dem Wannenwaldtobel (Biberacher Brockhorizont bei etwa 603,5 Meter ü. NN.). A: Gesteinshauptfläche; B: seitliche Gesteinsfläche, die spitzwinklig (Winkel etwa 60°) mit der Gesteinshauptfläche verbunden ist (Bildausschnitt etwa 2,4 x 2,2 Zentimeter). Maße des Kalkbrockens: 5,0 x 3,0 x 2,0 Zentimeter. Coll. V. J. Sach 2008.

Etwa 6 Meter oberhalb der Basis des Wannenwaldtobels ist eine bis zu 20 Zentimeter mächtige Lage des Biberacher Brockhorizontes (SACH 2004) auf etwa zehn Meter Länge aufgeschlossen. Der Brockhorizont zeigt sich hier mit wellenförmiger, schwach nach Westen einfallender Oberfläche. In Richtung Westen keilt er aus, in östlicher Richtung ist er von Hangschutt überdeckt. Kantige Oberjura-Kalkbrocken fanden sich bisher von Kirschkerndgröße bis zum Block mit den Maßen 20 x

18 x 15 Zentimeter. Unter diesen Brockhorizont-Komponenten konnte ein 5,0 x 3,0 x 2,0 Zentimeter großer Strahlenkalk (Abb. 5) mit Shatter-Cone-Strukturen auf zwei Gesteinsflächen, die spitzwinklig aufeinander stoßen, eindeutig identifiziert werden. Vom Wannenwaldtobel liegen außerdem mehrere Gesteinsbrocken vor mit Strahlenkalk-ähnlicher Oberflächenstruktur. Eine sichere Ansprache als Strahlenkalke gelang für diese Objekte bisher nicht, da aufgrund der relativ starken Zurundung der Fundstücke ein direkter Vergleich mit gut erhaltenen Strahlenkalcken schwierig ist.

▪ Fundstelle im Kleintobel bei Ravensburg/Weingarten

Aufschluss des „Ravensburger Brockhorizontes“ im Bachtobel (nordwestliche Tobelwand) etwa 500 Meter nordöstlich der Ortschaft Kleintobel/Berg westlich von Weingarten, etwa 220 Meter nordöstlich der Einmündung des südöstlichen Seitentobels bei Kleintobel. TK 25 Blatt 8123 Weingarten. – GAUSS-KRÜGER-Koordinaten: R³⁵44907, H⁵²96301. Topographische Höhe: etwa 449,3 Meter ü. NN. Literatur: SACH (2011).

Im Kleintobel bei Ravensburg/Weingarten konnte der Verfasser 2011 in Oberschwaben ein weiteres Brockhorizont-Vorkommen mit kantigen Oberjura-Kalkbrocken sowie mit dunkel gefärbten Mitteljura- bzw. Unterjura-Komponenten lokalisieren. Der neu entdeckte Aufschluss des sogenannten „Ravensburger Brockhorizontes“ befindet sich an der nordwestlichen Tobelwand etwa 6 Meter oberhalb der Tobelbasis. Die Brockhorizont-Lage ist hier auf einer Länge von etwa 11 Meter angeschnitten und bis zu 20 Zentimeter mächtig.



Abb. 6. Oberjura-Kalkbrocken mit sehr deutlicher Shatter-Cone-Striemung (Strahlenkegel) aus dem Kleintobel (Ravensburger Brockhorizont bei etwa 449,3 Meter ü. NN.). Maße des Strahlenkalkes: 8,0 x 6,0 x 5,0 Zentimeter. Coll. V. J. Sach 2011.

Die Durchmesser der aufgesammelten Jura-Komponenten (Malm- u. Dogger/Lias-Gesteine) betragen etwa 1-20 Zentimeter. Der bisher größte Gesteinsbrocken aus dem Ravensburger Brockhorizont hat die Maße von 19 x 12 x 8 Zentimeter und ein Gewicht von 1,8 Kilogramm.

Besondere Bedeutung haben freilich die Funde mehrerer, sicher ansprechbarer Strahlenkalke aus dem Brockhorizont des Kleintobels, darunter ein 8,0 x 6,0 x 5,0 Zentimeter messendes, gut erhaltenes Fundstück, das „frische“, Roßschweif-ähnliche Shatter-Cone-Strukturen auf einer Fläche von etwa 6,0x4,0 Zentimeter zeigt (Abb. 6). Dieser Strahlenkalk besteht aus scharfkantigem Oberjura-Kalkgestein und wiegt etwa 200 Gramm. Drei weitere Gesteinsbrocken (Abb. 7+8) zeigen zwar etwas zugerundete („verwaschene“), aber dennoch eindeutige Shatter-Cone-Strukturen. Dabei sind an zwei Oberjura-Kalkstücken (Abb. 7) jeweils sogar eine konvexe Positivseite und eine – gegenüber liegende – konkave Negativseite der Strahlenkegel erkennbar (vergl. Abb. 3). Darüber hinaus liegen noch mehrere Jura-Gesteinsbrocken vor mit gestriemten, Strahlenkegel-ähnlichen Oberflächenstrukturen. Aufgrund ihrer Ausbildung und Erhaltung können sie aber nicht eindeutig von ähnlichen, tektonisch verursachten Gleitflächen-Strukturen („Harnische“) unterschieden werden.

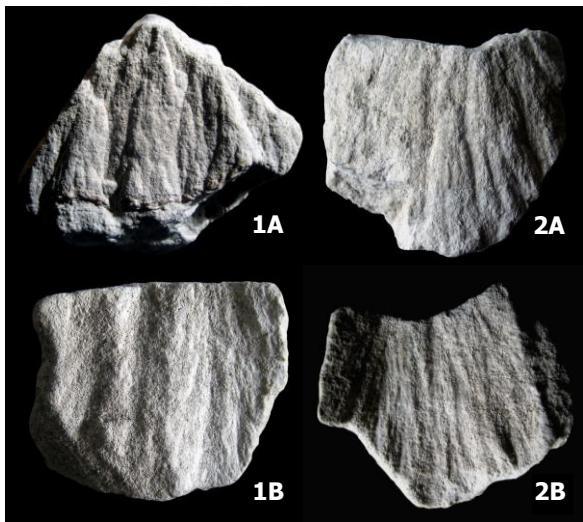


Abb. 7. Zwei Oberjura-Kalkbrocken mit Shatter-Cone-Strukturen bzw. Strahlenkegel (1A und 2A: Positivseiten, 1B u. 2B: Negativseiten). Kleintobel, Ravensburger Brockhorizont. Maße des Strahlenkalkes links (1A+1B): 6,0 x 4,0 x 3,5 Zentimeter; Maße des Strahlenkalkes rechts (2A+2B): 5,0 x 3,0 x 2,0 Zentimeter. Coll. V. J. Sach 2012.

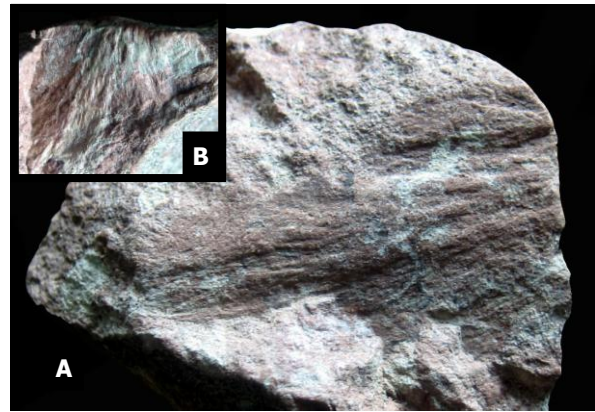


Abb. 8. Rötlich gefärbter, knolliger Mergelstein-Brocken mit Shatter-Cone-Strukturen auf zwei nahezu senkrecht aufeinander stoßenden Gesteinsflächen (A+B). Kleintobel, Ravensburger Brockhorizont. Maße des Gesteinsbrockens (A): 6,5 x 5,0 x 3,0 Zentimeter; Bildausschnitt oben links (Gesteinsfläche B): etwa 2,5 x 1,5 Zentimeter. Coll. V. J. Sach 2012.

Im Kleintobel befindet sich ein zweiter Aufschluss des Ravensburger Brockhorizontes – an einer Stelle mit ungefähr gleichem Höhenniveau – etwa 75 Meter südwestlich des zuvor genannten Aufschlusses. Der Brockhorizont-Bereich enthält hier zahlreiche aufgearbeitete Ton-/Mergelgerölle und ist bis zu 50 Zentimeter mächtig.

Biberacher und Ravensburger Brockhorizont

In wenigen Aufarbeitungslagen der Oberen Süßwassermolasse, dem jüngsten Abschnitt des Molassebeckens, finden sich ortsfremde Jura-Gesteine unterschiedlicher Fazies und Größe. Da es sich meist um grobe, kantige Oberjura-Kalkbrocken handelt, werden diese Lagen zusammengefasst als Brockhorizont bezeichnet. Ein direkter Bezug des Brockhorizontes zum Ries-Impakt bzw. Nördlinger Ries kann heute – ohne Zweifel – angenommen werden. Dabei sind die im Brockhorizont enthaltenen Jura-Komponenten als weit ausgeworfene Sprengtrümmer (Fern-Ejekta) dieses Impakt-Ereignisses zu interpretieren.

Das Vorkommen des Brockhorizontes im süddeutschen Molassebecken war bis vor wenigen Jahren auf Fundpunkte in Bayern (u.a. in der Umgebung von Augsburg, Pfaffenhofen und Landshut) und, wie oben erwähnt, in der Ostschweiz (bei St. Gallen) begrenzt. Im Sommer 1996 konnte er erstmals auch in Baden-Württemberg (Gebiet Oberschwaben) nach-

gewiesen werden (SACH 1997). Wie bereits genannt, befinden sich die bislang bekannten oberschwäbischen Brockhorizont-Vorkommen an Steilwänden von tief in die Obere Süßwassermolasse eingeschnittenen Bachtobeln des Hochgeländs bei Biberach an der Riß (Biberacher Brockhorizont) und im Kleintobel bei Ravensburg (Ravensburger Brockhorizont).



Abb. 9. Ortsfremde Oberjura-Kalkbrocken (\varnothing_{max} etwa 10 Zentimeter), noch eingebettet im Feinsediment (Quarzglimmersande) des Ravensburger Brockhorizontes. Aufschluss der Oberen Süßwassermolasse im Kleintobel.

Fern-Ejekta aus dem Nördlinger Ries

Die aus dem Biberacher und Ravensburger Brockhorizont geborgenen, ortsfremden Gesteine weisen neben den oben aufgezeigten Shatter-Cone-Strukturen auch andere Spuren starker mechanischer Beanspruchung auf: scharfkantig gebrochenes Material; keilförmige und senkrecht zu Trennflächen ausgeschlagene Stücke; zahlreiche Mikroklüfte bzw. Risse im Gesteinskörper; Jura-Fossilien (Brachiopoden, Belemniten) mit feinen Bruchstrukturen sowie Kalkbrocken mit subparallelen Schockbrüchen (sensu REIFF 1979).

Auf Grundlage der oben genannten Befunde sind die im Biberacher und Ravensburger Brockhorizont enthaltenen Gesteins-Komponenten zweifelsfrei als weit in südwestliche Richtung ausgeworfene Sprengtrümmer (Fern-Ejekta) des Ries-Impaktes während des Mittel-Miozäns anzusehen. Da Strahlenkalke bzw. Strahlenkegel als Leitgesteine bzw. Leitstrukturen für die sichere Identifizierung von Meteorokratern verwendet werden können, sind die entsprechenden Gesteinsfunde aus den oberschwäbischen Brockhorizont-Vorkommen eindruckliche Zeugnisse für das zwar regionale, aber dennoch gewaltige Ausmaß

des Ries-Ereignisses. So wurden hierbei Strahlenkalke nebst anderen Gesteinstrümmern vom Nördlinger-Ries-Krater bis ins Molassebecken nach Oberschwaben geschleudert mit Auswurfweiten von etwa 110 Kilometer (Biberacher Brockhorizont) bzw. 140 Kilometer (Ravensburger Brockhorizont) ab dem Kraterzentrum. Dieser sehr weite ballistische Transport der Trümmersmassen wurde wohl begünstigt durch die relativ flache Gestalt des Ries-Kraters mit einem Verhältnis „Tiefe zu Durchmesser“ von etwa 1:30. Im Ries-Krater selbst wurden eindeutige Shatter-Cone-Strukturen bisher nur in Granitgestein und in silikatischem Ganggestein (Kersantit) gefunden; außerhalb des Kraters auch in den Trümmersmassen der sog. „Bunten Breccie“. Mit den in vorliegender Arbeit abgebildeten Fundobjekten sind nun sogar eindeutige Strahlenkalke mit Herkunft aus dem Nördlinger-Ries bekannt.

Einzelne Ausläufer der durch den Ries-Impakt gebildeten Schuttdecke reichten bis in die Ostschweiz hinein (nach Südwesten gerichteter Auswurfstrahl: Ries – Biberach/Hochgeländ – Ravensburg/Kleintobel – St. Gallen/Sitter; s. Abb. 11). So werden die ortsfremden Oberjura-Kalkstücke des Brockhorizontes als Relikte dieser ehemaligen Schuttdecke gedeutet. Für die beiden Fundgebiete bei Biberach/Riß und Ravensburg können die Lagen mit Jura-Gesteinen als bisher einziger lithostratigraphischer Bezugshorizont innerhalb der Schichtenfolge der Oberen Süßwassermolasse verwendet werden. Dabei wird dem Brockhorizont ein geologisches Alter zugeschrieben, das ziemlich genau dem Ereignis der Ries-Katastrophe entspricht, also etwa 14,5 Millionen Jahre.



Abb. 10. Aufschluss des Ravensburger Brockhorizontes im Kleintobel mit eingelagertem, ortsfremdem Jura-Kalkbrocken (\varnothing_{max} 19 Zentimeter).

Der chronologische Ablauf des Ries-Ereignisses und dem hierbei verursachten Massenauswurf von Fern-Ejekta lässt sich – in groben Zügen – wie folgt veranschaulichen:

1. Impakt eines etwa 1 Kilometer großen kosmischen Körpers im Bereich des heutigen Nördlinger Rieses;
2. Infolge des Meteoriteneinschlags breitet sich eine halbkugelförmige Stoßwellenfront mit enormer Wucht im anstehenden Gestein und im Meteoriten aus;
3. Unter den enormen Druck-/Temperaturverhältnissen kommt es gebietsweise zur Bildung von Shatter-Cones (Strahlenkegel) im „gestressten“ Gesteinskörper;
4. Explosionsartige Auswurfphase – Aussprenzung gewaltiger Gesteinsmassen aus dem innerhalb von Sekunden entstehenden Meteorokrater;
5. Ballistischer Transport der ausgesprengten Gesteinsbrocken auf bogenförmiger Flugbahn (Flugstrecke: bis über 180 Kilometer vom Einschlagzentrum hinaus reichend);
6. Aufschlag von Ries-Auswürflingen (Fern-Ejekta) auch auf die ehemalige Geländeoberfläche bzw. in ehemalige Gewässer des Molassebeckens in Oberschwaben;
7. Ablagerung einer bis weit ins das Molassebecken hinein reichenden Schuttdecke aus Ries-Ejekta. Danach Aufarbeitung und Einbettung von Ries-Auswürflingen u. a. in die Sedimente des Biberacher und Ravensburger Brockhorizontes;
8. Teilweise spätere Freilegung und Abtragung der Brockhorizont-Vorkommen in der Oberen Süßwassermolasse durch fluviatile und glaziale Erosionsprozesse.



Abb. 11. Schematische Übersichtskarte mit Strahlenkalk-führenden Brockhorizont-Vorkommen in SW-Deutschland und in der Ostschweiz, im geographischen Bezug zum Impakt-Krater „Nördlinger Ries“. Kilometerangaben (Auswurfstrahl): jeweils Distanz vom Zentrum des Ries-Kraters bis zu den Brockhorizont-Vorkommen bei Biberach, Ravensburg und St. Gallen.

Literatur

- ADAM, K. D. (1992): Das Steinheimer Becken – eine Fundstätte von Weltgeltung. *Monumenta geologica et palaeontologica*. – 132 S., 66 Abb., 2 Tab.; Steinheim am Albuch.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1974): Die Forschungsbohrung Nördlingen 1973. – In: *Geologica Bavarica*, 72, 98 S., 14 Abb.; München.
- BRANCO, W. & FRAAS, E. (1905): Das kryptovolcanische Becken von Steinheim. – *Abh. kgl. Preuss. Akad. Wiss. (phys. Abh. I)*: 1-64, 10 Abb.; Berlin.
- BUCHER, W. H. (1936): Cryptovolcanic structures in the United States. – In: *International Geological Congress. Report of 16th Session, United States of America 1933. Bd. 2: 1055-1084*, 9 Abb.; Washington.
- DIETZ, R. S. (1947): Meteorite impact suggested by the orientation of shatter cones at the Kentland, Indiana, disturbance. – In: *Science*, 105 (2715): 42-43.
- DIETZ, R. S. (1961): Astroblemes. – In: *Scientific American*, 205 (2): 50-58.
- DIETZ, R. S. (1967): Shatter Cone Orientation at Gosses Bluff Astrobleme. – In: *Nature*, 216 (5120): 1082-1084.
- EL GORESY, A. & CHAO E. C. T. (1976): Evidence of the Impacting Body of the Ries Crater – The discovery of Fe-Cr-Ni Veinlets below the Crater Bottom. – In: *Earth and Planetary Science Letters*, 31: 330-340; Amsterdam.
- GIBSON, H. M. & SPRAY, J. G. (1998): Shock-induced melting and vaporization of shatter cone surfaces: Evidence from the Sudbury impact structure. – In: *Meteoritics & Planetary Science*, 33: 329-336.
- HEIZMANN, E. P. J. & REIFF, W. (2002): Der Steinheimer Meteorokrater. – 160 S., 155 Abb.; München.
- HOFMANN, F. (1973): Horizonte fremdartiger Auswürflinge in der ostschweizerischen Oberen Süßwassermolasse und Versuch einer Deutung ihrer Entstehung als Impaktphänomen. – In: *Eclogae geol. Helv.*, 66/1: 83-100, 5 Abb.; Basel.
- HOFMANN, F. (1978): Spuren eines Meteoriteneinschlags in der Molasse der Ostschweiz und deren Beziehung zum Riesereignis. – In: *Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.*, 44/107: 17-27, 5 Abb.; Basel.
- HILDENBRAND, J., in KRANZ, W., BERZ, K. C. & BERCKHEMER F. (1924).
- KRANZ, W., BERZ, K. C. & BERCKHEMER, F. (1924): Begleitworte zur Geognostischen Spezialkarte von Württemberg. Atlasblatt Heidenheim mit der Umgebung von Heidenheim, Steinheim a. A., Weissenstein, Eybach, Urspring-Lonsee, Dettingen-Heuchlingen, Gerstetten. – 2. Aufl., 142 S., 22 Abb.; Stuttgart.
- McHONE, J. F., SHOEMAKER, C., KILLGORE, M. & KILLGORE, K. (2012): Two shatter-coned NWA Meteorites. – 43rd Lunar and Planetary Science Conference: 2 S., 2 Abb. [2359.pdf].
- PÖSGES, G. & SCHIEBER, M. (2000): Das Rieskrater-Museum Nördlingen. Museumsführer. – 111 S., 62 Abb.; München.
- REIFF, W. (1976): Einschlagkrater kosmischer Körper auf der Erde. In: *Meteorite und Meteorokrater. – Stuttgarter Beitr. Naturk., C*, 6: 24-47, 24 Abb.; Stuttgart.
- REIFF, W. (1979): Subparallel shock-fractures: an impact specific deformation. – In: *Meteoritics*, 13: 605-609; Phoenix.
- SACH, V. J. (1997): Neue Vorkommen von Brockhorizonten in der Oberen Süßwassermolasse von Baden-Württemberg (Deutschland). – *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 205/3: 323-337, 7 Abb.; Stuttgart.
- SACH, V. J. (1999): Litho- und biostratigraphische Untersuchungen in der Oberen Süßwassermolasse des Landkreises Biberach a. d. Riß (Oberschwaben). – *Stuttgarter Beitr. Naturk., B*, 276, 167 S., 41 Abb.; Stuttgart.
- SACH, V. J. (2004): Nördlinger Ries und Biberacher Brockhorizont – Spuren einer kosmischen Katastrophe in Oberschwaben. – In: *Oberschwaben Naturnah*: 42–45, 4 Abb.; Wangen.
- SACH, V. J. (2011): Fossilkatalog der Oberen Süßwassermolasse (OSM), Brackwassermolasse (BM), Oberen Meeresmolasse (OMM) und der Unteren Süßwassermolasse (USM) in Südwestdeutschland. – 86 S.; Sigmaringen [PDF-Datei im „Oberschwaben-Portal“].
- SHOEMAKER, E. M., GAULT, D. E & LUGN R. V. (1961): Shatter cones formed by high speed impact in dolomite. – In: *U.S. Geol. Survey, Res. Article* 417 (Prof. Paper, 424-D): 365-368.
- STÖFFLER, D. (1971): Progressive metamorphism and classification of shocked and brecciated crystalline rocks at impact craters. – In: *J. Geophys. Res.*, 76 (23): 5541-5551; Washington.
- Aufbewahrung des abgebildeten Gesteinsmaterials in den Sammlungen des Staatlichen Museums für Naturkunde Stuttgart.

Verfasser / Abbildungen:
DR. VOLKER J. SACH, Sigmaringen
Email: vsach@gmx.de