

**Strahlenkalke (Shatter-Cones)
aus dem Brockhorizont
der Oberen Süßwassermolasse
in Oberschwaben
(Südwestdeutschland)
– Fernauswürflinge des
Nördlinger-Ries-Impaktes**



Volker J. Sach

Fokus Natur	PDF-Version	S. 1-17	13 Abb.	2 Tab.	Sigmaringen	2014
--------------------	--------------------	----------------	----------------	---------------	--------------------	-------------

Strahlenkalke (Shatter-Cones) aus dem Brockhorizont der Oberen Süßwassermolasse in Oberschwaben (Südwestdeutschland) – Fernauswürflinge des Nördlinger-Ries-Impaktes

Volker J. Sach

Zusammenfassung

Strahlenkalke bzw. Shatter-Cones stellen heute eigenartige Leitgesteine bzw. -strukturen dar für die sichere Identifizierung von Impaktkratern (Meteoritenkrater). Mit vorliegender Arbeit werden nun erste Funde derartiger Impakt-Gesteine aus der mittelmiozänen Oberen Süßwassermolasse in Oberschwaben vorgestellt. Es sind dies eindeutige geologische Zeugnisse eines Impakt-Ereignisses in Südwestdeutschland zur Zeit des Mittel-Miozäns. Die Fundpunkte der Strahlenkalke bzw. Shatter-Cones liegen etwa 110 bzw. 140 Kilometer südsüdwestlich des Nördlinger Rieses, einem bis heute erhaltenen Impaktkrater mit etwa 24 Kilometer Durchmesser. Die geographische Position der betreffenden Molasse-Fundstellen in Bezug zum Ries-Krater und auch die Ausbildung der Shatter-Cones aus Oberschwaben zeigen, dass es sich hierbei um Fernauswürflinge (Fern-Ejekta) dieser gewaltigen Naturkatastrophe handelt.

Summary

Nowadays Strahlenkalke resp. shatter cones represent special, characteristic rocks resp. structures on the surface of rocks for a reliable identification of impact craters. In this publication the first findings of dislocated shatter cones from the Middle Miocene Upper Freshwater Molasse of Upper Swabia are presented. They are unambiguous evidences for an impact event in Southwest Germany during the time of Middle Miocene. The sites where these shatter cones were found are situated about 110 resp. 140 kilometers south-southwest of the "Nördlinger Ries", a great impact crater with a diameter of about 24 kilometers. The geographic position of these sites within the Molasse of the North Alpine Foreland Basin related to the Ries crater and the facies of the shatter cones from Upper Swabia indicate that the rock material has been widely ejected by this great natural disaster.

Schlüsselworte: Strahlenkalke, Shatter-Cones, Ries-Ejekta, Mittel-Miozän, Obere Süßwassermolasse, Biberacher und Ravensburger Brockhorizont, Nördlinger Ries, Steinheimer Becken.

Key words: Strahlenkalke, shatter cones, Ries ejecta, Middle Miocene, Upper Freshwater Molasse, boulder horizon (Brockhorizont) near Biberach/Riß and Ravensburg, Nördlinger Ries, Steinheim Basin.

Anschrift des Autors:

Dr. Volker J. Sach, In der Talwiese 2, D-72488 Sigmaringen; E-Mail: vsach@gmx.de

Inhalt	Seite
Zusammenfassung / Summary	1
1. Einleitung	2
2. Forschungsgeschichte	2
3. Strahlenkalke bzw. Shatter-Cones: Produkte der Stoßwellen-Metamorphose	5
4. Strahlenkalk-Fundstellen der Oberen Süßwassermolasse Südwestdeutschlands	6
4.1. Tobel Oelhalde-Süd (Hochgeländ) bei Biberach an der Riß	6
4.2. Wannenwaldtobel (Hochgeländ) bei Biberach an der Riß	7
4.3. Kleintobel bei Ravensburg/Weingarten	8
5. Biberacher und Ravensburger Brockhorizont	11
6. Strahlenkalke bzw. Shatter-Cones aus dem Brockhorizont in Oberschwaben	12
7. Fernauswürflinge des Nördlinger-Ries-Impaktes	13
8. Dank	16
9. Literatur	16

1. Einleitung

Im Raum Oberschwaben, genauer in den Landkreisen Biberach und Ravensburg, sind bisher zwei Aufschlussgebiete des sogenannten Brockhorizontes in der Oberen Süßwassermolasse bekannt, der mit einem ganz besonderen geologischen Ereignis vor rund 15 Millionen Jahren in direktem Zusammenhang steht. Der Brockhorizont enthält nämlich zahlreiche ortsfremde Gesteinskomponenten, vor allem kantige Oberjura-Kalkbrocken, die durch den Einschlag eines riesigen Meteoriten und dem danach verursachten Massenauswurf von Gesteinsmaterial – per ballistischem Transport – über sehr weite Distanzen bis hin zu ihrem heutigen Fundort geschleudert wurden. Die betreffenden Fundpunkte dieses Impakthorizontes wurden in den Jahren 1996 („Biberacher Brockhorizont“) und 2011 („Ravensburger Brockhorizont“) vom Verfasser entdeckt und gedeutet.

Wesentliches Ziel vorliegender Arbeit ist es, die Bedeutung der Brockhorizont-Vorkommen bei Biberach an der Riß und Ravensburg im Kontext mit den heutigen Kenntnissen über Meteoriten-Einschläge und deren Fernauswirkungen aufzuzeigen. Außerdem soll insbesondere der Zusammenhang mit den beiden – wohl nahezu zeitgleichen – Impakt-Ereignissen im Nördlinger Ries und im Steinheimer Becken geklärt werden. Dies nicht zuletzt deswegen, da diese Brockhorizont-Aufschlüsse bisher die einzigen Fundorte von Fern-Ejekta in der Oberen Süßwassermolasse Baden-Württembergs sind und darüber hinaus sogar die bisher einzigen Fundorte von – teilweise hervorragend erhaltenen – Strahlenkalken bzw. Shatter-Cones im gesamten süddeutschen Molassebecken darstellen. Insgesamt lieferten die Brockhorizont-Aufschlüsse in Oberschwaben bisher acht Fundobjekte (A-H) mit eindeutigen Shatter-Cones, welche die Deutung des Brockhorizontes als Impakthorizont wesentlich unterstützen. Sämtliche Abbildungen in vorliegender Arbeit wurden vom Verfasser selbst angefertigt.

2. 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 bündel-

förmige 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 Meteorkrater (Durchmesser: etwa 3,5 Kilometer) weithin bekannte geologische Großstruktur damals als vulkanische Bildung (sog. „kryptovulkanisches Becken von Steinheim“) mit einer explosiven Magmakammer im tieferen Untergrund des Beckens. 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 vulkanischer Gase und Dämpfe spröde wurde und danach partienweise zu fein gerieften Gesteinskegeln zerbrach.

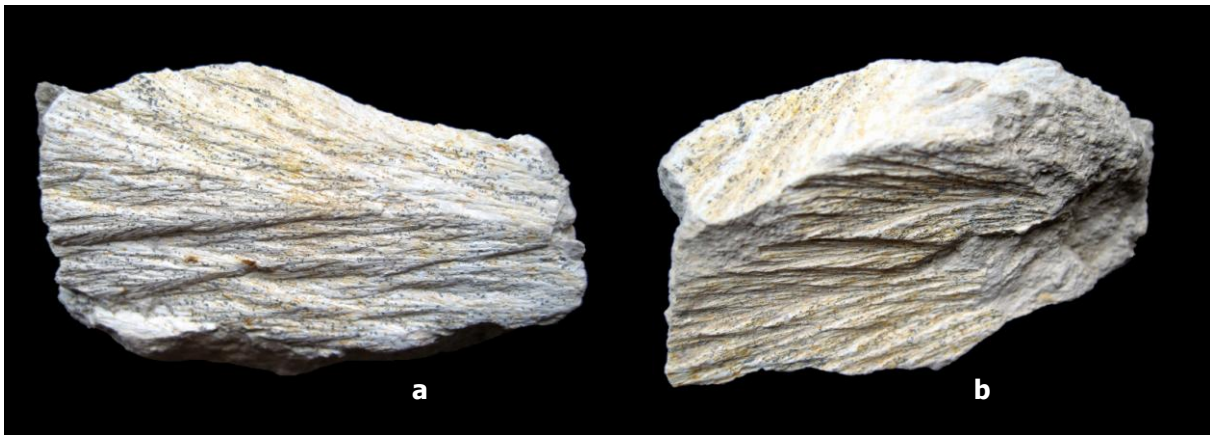


Abb. 1. Strahlenkalk mit Shatter-Cone-Strukturen aus dem Steinheimer Becken. Linkes Foto (a): Gesteinshälfte mit erhabenen Strahlenkegeln (konvexe Positivseite); rechtes Foto (b): Gesteinshälfte mit Negativ-Abdrücken von Strahlenkegeln (konkave Negativseite). Länge des Oberjura-Kalkstückes etwa 6,5 Zentimeter.

Da die charakteristischen Oberflächenphänomene der Strahlenkalke nicht nur in feinkörnigen Kalken, sondern später auch in anderem Gesteinsmaterial (Dolomit- und 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 Meteorkrater sehr ähnlichen – Impaktkrater in Tennessee (Nordamerika). 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 Kraterstrukturen (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 Impaktkratern 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 im Labor kleine Kügelchen per Gasdruckgerät mit extrem hoher Geschwindigkeit (etwa 5,5 km/s) in Kalkgesteinsproben einschossen.

Der erste eindeutige Shatter-Cone bzw. Strahlenkegel aus dem „Nördlinger Ries“, einem weiteren, gegenüber dem Steinheimer Becken sehr viel größeren Impaktkrater (Durchmesser: 24 Kilometer) in Süddeutschland, wurde von FRITZ WEIDENBACH (Geologisches 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 („Strahlengranite“) in Kristallingestein aus dem Kraterboden des Nördlinger Rieses entdeckt werden (s. BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1974).

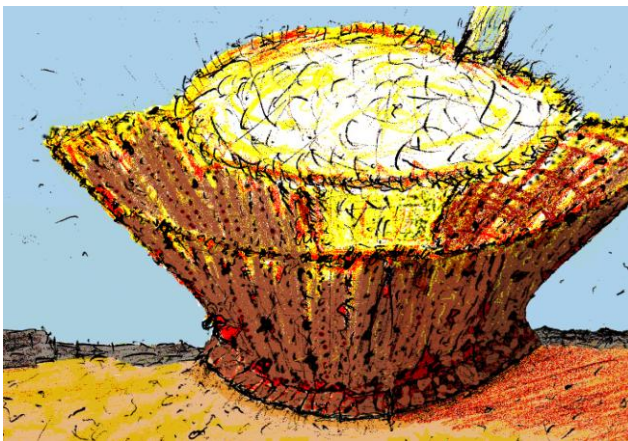


Abb. 2. Aussprengung des Nördlinger-Ries-Kraters durch einen Großmeteoriten mit einem Durchmesser von etwa 1 Kilometer. Die Trümmersmassen (einschließlich der Strahlenkalke) werden trichterförmig ausgeschleudert und, nach dem Flug durch die Luft, bis über 180 Kilometer vom Krater-Zentrum entfernt abgelagert.

Von Strahlenkalken bzw. strahlenkalkähnlichen Gesteinsbrocken aus einem „Malmkalk-Blockhorizont“ (Äquivalent des süddeutschen Brockhorizontes) der Oberen Süßwassermolasse bei St. Gallen, genauer bei Bernhardzell, in der 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. Viele Jahre später publiziert BEDA A. HOFMANN (2008), Sohn des oben genannten Autors (F. H.), eine Abhandlung über die sechs bis dahin bekannten Shatter-Cones aus dem „Blockhorizont“ bei Bernhardzell. Unter diesen Fundobjekten befindet sich ein sehr gut ausgebildeter Strahlenkalk, dessen mittlerer V-Winkel (= auf die Ebene projizierter Winkel der Shatter-Cone-Lineationen) gegenüber den entsprechenden Winkeln an Strahlenkalk-Proben vom Zentralhügel des Steinheimer Beckens erheblich größer ist (s. HOFMANN & GNOS 2006). Dass dieser Strahlenkalk aus dem Steinheimer Meteorokrater stammt, wird deshalb als sehr unwahrscheinlich angesehen.

Erst in jüngster Zeit, im Jahr 2012, berichteten J. F. MCHONE, C. SHOEMAKER und M. & K. KILLGORE über die ersten derzeit bekannten Shatter-Cones an den Oberflächen von zwei Steinmeteoriten (Chondrite) aus der Sahara Nordwestafrikas. 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. Ebenfalls erst vor kurzer Zeit konnte auf dem Zentralhügel des Steinheimer Beckens ein neues Vorkommen ungewöhnlich – radialstrahlenartig – ausgebildeter Strahlenkegel in konkretionären Tonsteinknollen des Opalinuston (Brauner Jura alpha) entdeckt werden (SCHMIEDER & BUCHNER 2013).

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 für die verlässliche Identifizierung terrestrischer Impaktkrater akzeptiert.

3. Strahlenkalke bzw. Shatter-Cones: Produkte der Stoßwellen-Metamorphose

Shatter-Cones (deutsch: Strahlenkegel) stellen kegelförmige Strukturen in Festgesteinen dar, deren Oberflächen strahlenartig oder rossschweifähnlich 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 hohem Druck zwischen etwa 15 und 200 Kilobar ($= 1,5\text{-}20 \times 10^9 \text{ Pa}$). 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, Teilaufschmelzen, Mineralumwandlung, mechanische Deformation und Zerbrechen (Prinzip der sogenannten „progressiven Stoßwellen-Metamorphose“, s. STÖFFLER 1971).

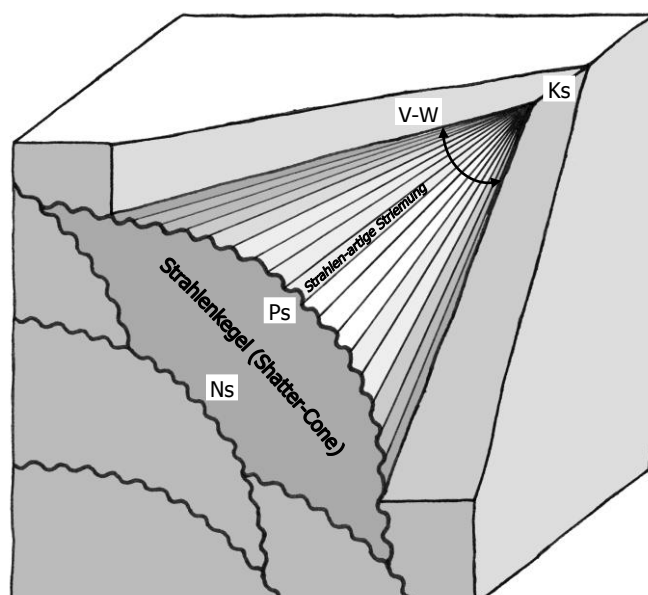


Abb. 3. Modell eines durch Stoßwellen-Metamorphose in Festgestein entstandenen Strahlenkegels (Shatter-Cone). Ks = Kegelspitze, Ps = Positivseite (konvexe Oberfläche), Ns = Negativseite (konkave Oberfläche), V-W = V-Winkel. Verändert nach GIBSON & SPRAY (1998: Abb. 5a).

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 ordo-vizischem Kalkgestein des Impaktkraters von Charlevoix in Québec, Kanada). Je feinkörniger das betreffende Gestein ist, desto deutlicher sind die Strahlenkegel mit ihren Spitzen (Apex) und Striemen (Striae) ausgebildet. Wie bereits oben beschrieben, findet man besonders deutliche und gut erhaltene Strahlenkegel mit rossschweifähnlicher Striemung 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.

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 einst 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 Impaktkraters 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.

4. Strahlenkalk-Fundstellen der Oberen Süßwassermolasse Südwestdeutschlands

In den Jahren 1996 bis 2014 konnten nun erstmals in der Oberen Süßwassermolasse (OSM) Baden-Württembergs Strahlenkalk bzw. Shatter-Cones aufgefunden werden, für die offensichtlich ein direkter Bezug zum Ries-Impakt während des Mittel-Miozäns vorhanden ist, möglicherweise unter Mitwirkung des nahezu gleichzeitigen, aber viel kleineren Impaktes im Steinheimer Becken. Bei den Fundstücken mit Shatter-Cone-Strukturen handelt es sich größtenteils um Oberjura-Kalkbrocken der schwäbisch/fränkischen Fazies. Vergleichbare Kalkgesteine stehen in den Fundgebieten nur in den über 800-1500 Meter tiefer liegenden Schichten der Oberjura-Zeit, unterhalb der Molasse, an. Geographisch gesehen nehmen diese ersten Strahlenkalk-Fundstellen in der OSM Süddeutschlands eine vermittelnde Position ein zwischen dem Impaktkrater „Nördlinger Ries“ und dem bereits oben genannten Strahlenkalk-Fundort an der Sitter bei Bernhardzell (Ostschweiz). Die Fundstellen in Baden-Württemberg befinden sich 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.

4.1. 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. Material: 1 eindeutiger Strahlenkalk (A). Literatur: SACH (1997, 1999, 2004, 2014a).

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 etwa 100 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 (A, Abb. 4), der auf seiner „Rückseite“ wahrscheinlich weitere, allerdings stark abgerollte Negativabdrücke von Shatter-Cone-Strukturen zeigt. Aus der oberen Brockhorizont-Lage konnte bisher nur ein kleines Oberjura-Kalkstück (Durchmesser: 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.

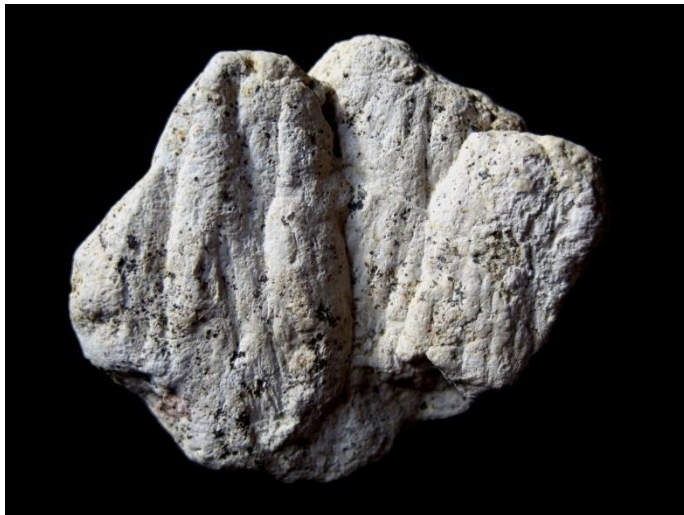


Abb. 4. Oberjura-Kalkbrocken mit groben Shatter-Cone-Strukturen (Strahlenkalk A) aus dem Tobel Oelhalde-Süd. Biberacher Brockhorizont bei etwa 605,3 Meter ü. NN. Maße des Strahlenkalkes: 5,0 x 3,5 x 2,5 Zentimeter.

4.2. Wannenwaldtobel (Hochgeländ) 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. Material: 1 eindeutiger Strahlenkalk (B). Literatur: SACH (1997, 1999, 2004, 2014a).

Etwa 6 Meter oberhalb der Basis des Wannenwaldtobels ist eine bis zu 20 Zentimeter mächtige Lage des Biberacher Brockhorizontes 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 Kirschkernegröße bis zum Block mit den Maßen 20 x 18 x 15 Zentimeter. Etwa 900 Einzelobjekte konnten geborgen und hierbei eine Lagerungsdichte von etwa 25-30 kg/m² ermittelt werden. Unter den Brockhorizont-Komponenten konnte ein 5,0 x 3,0 x 2,0 Zentimeter großer Strahlenkalk (B, Abb. 5) mit Shatter-Cone-Strukturen auf zwei Gesteinsflächen, die spitzwinklig aufeinanderstoßen, eindeutig identifiziert werden. Vom Wannenwaldtobel liegen außerdem mehrere Gesteinsbro-

cken vor mit strahlenkalkähnlicher 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 Strahlenkalken schwierig ist.



Abb. 5. Oberjura-Kalkbrocken mit Shatter-Cone-Striemung (Strahlenkalk B) aus dem Wannentobel. Biberacher Brockhorizont bei etwa 603,5 Meter ü. NN. Linkes Foto (a): Gesteinshauptfläche; rechtes Foto (b): seitliche Gesteinsfläche, die spitzwinklig (Winkel etwa 60°) mit der Gesteinshauptfläche verbunden ist (Bildausschnitt etwa 2,4 x 2,2 Zentimeter). Maße des Strahlenkalkes: 5,0 x 3,0 x 2,0 Zentimeter.

4.3. 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. Material: 6 eindeutige Strahlenkalke bzw. Shatter-Cones (C-H). Literatur: SACH (2014a und 2014b).

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 Ravensburger Brockhorizontes befindet sich an der nordwestlichen Tobelwand etwa 6 Meter oberhalb der Tobelbasis. Der Impakthorizont ist hier auf einer Länge von etwa 11 Meter angeschnitten und bis zu 20 Zentimeter, meist aber nur wenige Zentimeter, mächtig. Die aufgesammelten Jura-Komponenten (etwa 2.300 Bruchstücke von Malm- und Dogger/Lias-Gesteinen) haben Kantenlängen von etwa 1-29 Zentimeter. Im untersuchten Brockhorizont-Bereich betrug die Lagerungsdichte ortsfremder Jura-Gesteine etwa 20-25 kg/m². Zwischen diesen Gesteinen fanden sich Schalenreste miozäner Süßwassermuscheln. Der bisher größte Gesteinsbrocken (quaderförmiges Oberjura-Bruchstück) aus dem Ravensburger Brockhorizont hat die Maße von 29 x 14 x 13 Zentimeter und ein Gewicht von 7,4 Kilogramm.

Besondere Bedeutung haben freilich die Funde mehrerer, sicher ansprechbarer Strahlenkalke aus dem Brockhorizont des Kleintobels, darunter insbesondere ein 8,0 x 6,0 x 5,0 Zentimeter messendes, sehr gut erhaltenes Fundstück, das „frische“, feine rossschweif-ähnliche Shatter-Cone-Strukturen auf einer konvexen Fläche von etwa 6,0 x 4,0 Zentimeter zeigt. Dieser Strahlenkalk (C, Abb. 6) besteht aus scharfkantigem Oberjura-Kalkgestein und wiegt etwa 200 Gramm. Ein weiterer Strahlenkalk (G, Abb. 7) mit den Maßen 6,0 x 4,5 x 2,5 Zentimeter zeigt die gleiche Oberjura-Kalkfazies wie das oben beschriebene Fundstück und

hat auch einen sehr ähnlichen Erhaltungszustand mit feiner, recht deutlicher Shatter-Cone-Striemung auf einer konvexen Gesteinsfläche.



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



Abb. 7. Oberjura-Kalkbrocken mit deutlicher Shatter-Cone-Striemung (Strahlenkalk G) aus dem Kleintobel. Ravensburger Brockhorizont bei etwa 449,3 Meter ü. NN. Maße des Strahlenkalkes: 6,0 x 4,5 x 2,5 Zentimeter.

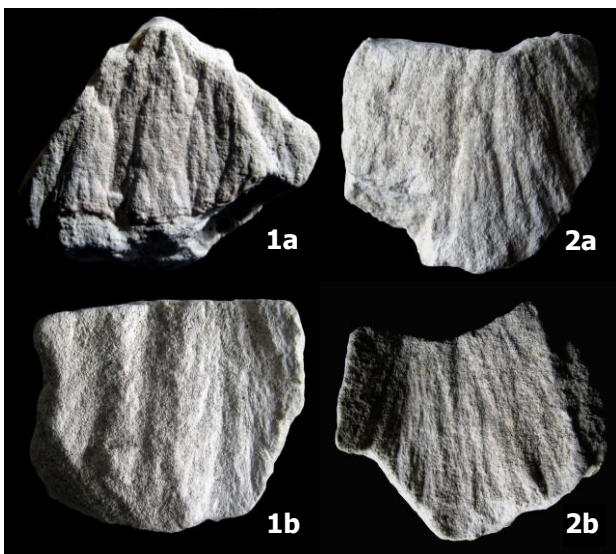


Abb. 8. Zwei Oberjura-Kalkbrocken mit groben Shatter-Cone-Strukturen (Fotos 1a+2a: Positivseiten, Fotos 1b+2b: Negativseiten). Kleintobel, Ravensburger Brockhorizont. Maße des Strahlenkalkes D (Fotos links: 1a+1b): 6,0 x 4,0 x 3,5 Zentimeter; Maße des Strahlenkalkes E (Fotos rechts: 2a+2b): 5,0 x 3,0 x 2,0 Zentimeter.



Abb. 9. Kalkbrocken mit groben Shatter-Cone-Strukturen (H) auf vier Gesteinsflächen (Fotos a+b) und mit sich gegenüber stehenden Kegelspitzen. Kleintobel, Ravensburger Brockhorizont. Maße: 7,0 x 4,5 x 3,0 Zentimeter.

Vier weitere Gesteinsbrocken weisen zwar unterschiedlich zugerundete („verwaschene“), aber dennoch eindeutige Shatter-Cone-Strukturen auf. Dabei sind an zwei Oberjura-Kalkstücken (Strahlenkalke D und E, Abb. 8) jeweils sogar eine konvexe Positivseite und eine – gegenüberliegende – konkave Negativseite der Strahlenkegel erkennbar (vgl. Abb. 1 und 3). Die zwei anderen Fundobjekte bestehen nicht aus dem typischen Oberjura-Kalkgestein

mit heller Verwitterungsrinde, sondern stellen materialmäßig seltenere Brockhorizont-Komponenten dar. Hierbei handelt es sich einerseits um einen rötlich gefärbten, knolligen Mergelstein mit Shatter-Cone-Strukturen auf zwei nahezu senkrecht aufeinanderstoßenden Gesteinsflächen (Shatter-Cone F, Abb. 10). Und andererseits um ein relativ dunkles, im bergfrischen Zustand graubraun gefärbtes Kalkgestein mit zahlreichen Molluskenresten. Das zuletzt genannte Fundobjekt (Shatter-Cone H, Abb. 9) zeigt grobe Shatter-Cone-Strukturen auf allen vier Gesteinshauptflächen, die jeweils durch scharfe Grate miteinander verbunden sind. Aufgrund der nahezu symmetrischen, im Profil rautenförmigen Anordnung der Gesteinsflächen, -grate und Oberflächenstriemung handelt es sich zweifellos um einen Strahlenkalk mit sich gegenüber stehenden Kegelspitzen („Doppelkegel“), also um eine besondere Shatter-Cone-Ausbildung, wie sie beispielsweise auch aus dem Steinheimer Becken bekannt ist (vgl. HEIZMANN & REIFF 2002: Abb. 68).

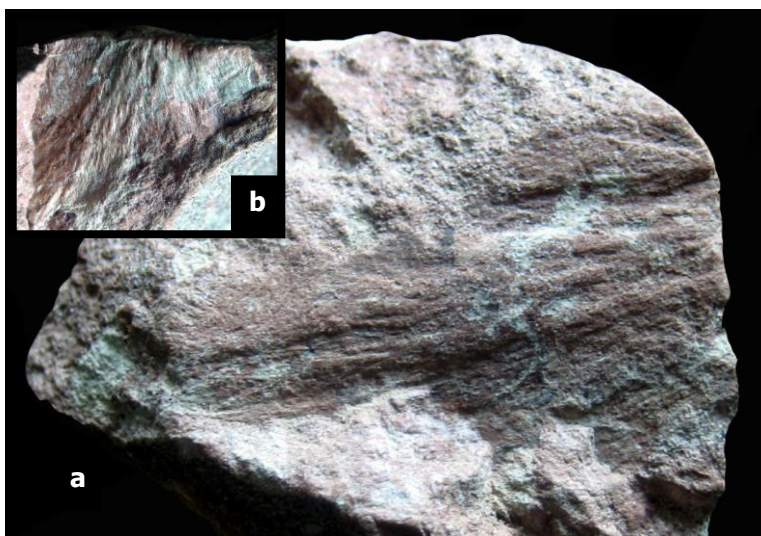


Abb. 10. Rötlich gefärbter Mergelstein-Brocken mit Shatter-Cone-Strukturen (F) auf zwei nahezu senkrecht aufeinander stoßenden Gesteinsflächen (Fotos a+b). Kleintobel, Ravensburger Brockhorizont. Maße des Gesteinsbrockens: 6,5 x 5,0 x 3,0 Zentimeter; Bildausschnitt oben links (Foto b): etwa 2,5 x 1,5 Zentimeter.

Neben diesen sicher als Strahlenkalke bzw. Shatter-Cones erkennbaren Fundstücken liegen außerdem noch mehrere Jura-Gesteinsbrocken vor mit gestriemten, strahlenkegelähnlichen Oberflächenstrukturen. Aufgrund ihrer Ausbildung und Erhaltung können sie aber nicht eindeutig von ähnlichen, tektonisch verursachten Gleitflächenstrukturen („Harnische“) unterschieden werden.

Tab. 1: Strahlenkalke bzw. Shatter-Cones aus der Oberen Süßwassermolasse Südwestdeutschlands. Datenzusammenstellung bzgl. der drei Fundstellen in Oberschwaben (Baden-Württemberg).

	SMNS-Nr.	Abbildung	Funddatum	Fundort/-horizont (Lkr.)	Stratigraphie	Höhe ü. NN	Ries-Distanz
A	MIN36500	4	08/1996	Tobel Oelhalde-Süd (BC)	OSM-Brockh.	605,3 m	~ 110 km
B	MIN36501	5 (a+b)	07/2008	Wannenwaldtobel 1 (BC)	OSM-Brockh.	603,5 m	~ 110 km
C	MIN36502	6	06/2011	Kleintobel 2 (RV)	OSM-Brockh.	449,3 m	~ 140 km
D	MIN36503	8 (1a+1b)	05/2012	Kleintobel 2 (RV)	OSM-Brockh.	449,3 m	~ 140 km
E	MIN36504	8 (2a+2b)	05/2012	Kleintobel 2 (RV)	OSM-Brockh.	449,3 m	~ 140 km
F	MIN36505	10 (a+b)	05/2012	Kleintobel 2 (RV)	OSM-Brockh.	449,3 m	~ 140 km
G	MIN36506	7	02/2014	Kleintobel 2 (RV)	OSM-Brockh.	449,3 m	~ 140 km
H	MIN36507	9	02/2014	Kleintobel 2 (RV)	OSM-Brockh.	449,3 m	~ 140 km

SMNS = Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart; OSM = Obere Süßwassermolasse; Brockh. = Brockhorizont.

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 enthält hier zahlreiche aufgearbeitete Ton- und Mergelgerölle und ist bis zu 50 Zentimeter mächtig. Shatter-Cones konnten bisher nicht gefunden werden.

5. Biberacher und Ravensburger Brockhorizont

Im Molassebecken Süddeutschlands finden sich innerhalb der Schichtenabfolge der Oberen Süßwassermolasse (etwa 17 bis 8 Millionen Jahre alte Ablagerungen einer miozänen Flusslandschaft) fluviatile Aufarbeitungslagen mit ortsfremden Jura-Gesteinen unterschiedlicher Fazies und Größe. Da es sich meist um grobe, kantige Oberjura-Kalkbrocken handelt, werden diese Lagen zusammengefasst als Brockhorizont bezeichnet.



Abb. 11. Aufschluss des Ravensburger Brockhorizontes (Obere Süßwassermolasse) im Kleintobel. Bildmitte: eingelagerter, ortsfremder Jura-Kalkbrocken (\varnothing_{\max} etwa 19 Zentimeter).

Das Vorkommen des Brockhorizontes im Molassebecken war bis vor wenigen Jahren auf Fundpunkte in Bayern (u. a. in der Umgebung von Krumbach, Augsburg, Pfaffenhofen und Landshut, siehe z.B. GALL & MÜLLER 1975, SCHEUENPFLUG 1980, SCHMIDT-KALER 1986, HEISSIG 1986 + 1989 und SEEHUBER 2009) und in der Ostschweiz (bei St. Gallen) begrenzt. Im Sommer 1996 konnte dieser erstmals auch in Baden-Württemberg (Raum Oberschwaben) nachgewiesen werden (SACH 1997). Wie bereits oben beschrieben, 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“ bei etwa 600 bis 610 Meter ü. NN.) und im Kleintobel bei Ravensburg („Ravensburger Brockhorizont“ bei etwa 449,3 Meter ü. NN). Die unterschiedlichen topographischen Höhenlagen dieser Brockhorizont-Vorkommen weisen – mit über 150 Meter Höhendifferenz auf einer Strecke von etwa 30 Kilometer – auf ein geringes Gefälle der Geländeoberfläche in Richtung Südwesten für die betreffende Landschaft während des Mittel-Miozäns hin. Das Einfallen des Brockhorizontes beträgt hier, von NNO nach SSW, etwa 0,3 Grad, was einem Gefälle von etwa 0,5 Prozent entspricht. Dieser Befund fügt sich problemlos ein in das heute gültige Ablagerungsmodell der mittelmiozänen Oberen Süßwassermolasse Südwestdeutschlands mit vorwiegend nach Südwesten gerichteter Schrägschichtung der fluviatilen Feinsedimente (beckenachbiale Glimmersandschüttung) und einem daraus resultierenden Hauptentwässerungssystem der ehemaligen Flusslandschaft in gleicher Richtung.

6. Strahlenkalke bzw. Shatter-Cones aus dem Brockhorizont in Oberschwaben

Die Menge der aus dem Biberacher und Ravensburger Brockhorizont entnommenen ortsfremden Gesteinsbrocken (Ejekta) ist zwar recht groß (insgesamt wurde bisher etwa 130 Kilogramm Gesteinsmaterial bzw. etwa 3.300 Einzelobjekte gesammelt), nach Reinigung und Untersuchung der Oberflächen dieser Fundobjekte kamen jedoch lediglich acht eindeutige Strahlenkalke bzw. Gesteine mit Shatter-Cone-Strukturen zum Vorschein. In den Tabellen 1 und 2 sind die wichtigsten Daten dieser vom Autor in den Jahren 1996 bis 2014 gesammelten Fundstücke aufgelistet. Weitere derartige Funde aus der Oberen Süßwassermolasse Süddeutschlands sind dem Autor nicht bekannt. Mit Ausnahme eines Strahlenkalkes (Abb. 1; Coll. V.J.Sach) befinden sich alle beschriebenen und abgebildeten Fundobjekte in den Sammlungen des Staatlichen Museums für Naturkunde Stuttgart (SMNS).

Die Ausbildung bzw. der Erhaltungszustand der Shatter-Cone-Strukturen ist bei fünf (A, D, E, F, H) der acht Fundobjekte eher grob, mit meist unvollständigen und wohl durch fluviatilen Transport zugerundeten Strahlenkegel. Nur bei Streiflicht zeigen sich deutliche, spitzwinklig zusammenlaufende Lineationen. Die anderen drei Fundobjekte (B, C, G) hingegen zeigen zumindest teilweise recht gut erhaltene Shatter-Cone-Strukturen mit sehr feinen Lineationen. Strahlenkalk C zeigt die weitaus beste Struktur bei größter Fläche. Sein Erhaltungszustand ist dem von gut erhaltenen Strahlenkalken aus dem Steinheimer Becken sehr ähnlich. An fünf Fundobjekten (B, D, E, F, H) können zwei oder mehrere winklig aufeinander stoßende Gesteinsflächen mit Shatter-Cone-Strukturen beobachtet werden. Wie bereits oben beschrieben, liegt sogar ein Strahlenkalk (H) vor mit vier, im Profil nahezu rautenförmig angeordneten Shatter-Cone-Flächen. Hier handelt es sich um eine Strahlenkalk-Varietät mit sich gegenüber liegenden Kegelspitzen. Sämtliche Shatter-Cones aus dem Biberacher und Ravensburger Brockhorizont zeigen an ihren Gesteinsoberflächen anhaftendes Feinsediment (vor allem Quarz-Körnchen und Muskovit-Schüppchen) der Oberen Süßwassermolasse. Es sind dies Reste des Brockhorizont-Sedimentes, in dem die betreffenden Fundobjekte über Millionen von Jahren eingelagert waren.

Tab. 2: Material, Dimension, Erhaltung und V-Winkel der Strahlenkalke bzw. Shatter-Cones aus dem Biberacher und Ravensburger Brockhorizont (Impakthorizont).

	SMNS-Nr.	Gestein	Dimension Sh.-C.	Erhaltung Sh.-C.	Anzahl Sh.-C.	V-Winkel: \emptyset (min./max.)
A	MIN36500	Oberjura-Kalk	5,0x3,5cm	grob (1 Fläche)	n=14	25° (18°-31°)
B	MIN36501	Oberjura-Kalk	5,0x3,0cm	fein (2 Flächen)	n=27	23° (18°-28°)
C	MIN36502	Oberjura-Kalk	6,0x4,0cm	fein (1 Fläche)	n=18	28° (24°-30°)
D	MIN36503	Oberjura-Kalk	6,0x4,0cm	grob (2 Flächen)	n=10	29° (22°-33°)
E	MIN36504	Oberjura-Kalk	5,0x3,0cm	grob (2 Flächen)	n=16	28° (22°-35°)
F	MIN36505	Mergelstein	5,5x3,0cm	grob (2 Flächen)	n=7	28° (24°-32°)
G	MIN36506	Oberjura-Kalk	5,0x4,0cm	fein (1 Fläche)	n=8	28° (25°-35°)
H	MIN36507	Kalkgestein	7,0x4,5cm	grob (4 Flächen)	n=6	28° (26°-30°)

SMNS = Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart; Sh.-C. = Shatter-Cones. Alle Fundobjekte (A-H): Coll. Volker J. Sach.

Für Vergleiche mit Shatter-Cones von anderen Fundstellen wurden an den acht Fundobjekten aus Oberschwaben jeweils die Winkel der Shatter-Cone-Lineationen, der sogenannte V-Winkel (s. SAGY et al. 2002), gemessen. Die Winkelmessungen wurden mit Hilfe digitaler Fotoaufnahmen vorgenommen, welche möglichst senkrecht zu den Gesteinsober-

flächen mit Shatter-Cone-Strukturen gemacht wurden. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in der Tabelle 2 zusammengestellt. Als wesentliches Ergebnis kann festgestellt werden, dass die beiden Fundobjekte (A u. B) aus dem Biberacher Brockhorizont signifikant geringere mittlere V-Winkel (23° - 25°) aufweisen als die sechs Fundobjekte (C-H) aus dem Ravensburger Brockhorizont mit nahezu konstanten mittleren V-Winkeln von 28° bzw. 29° . Beim Vergleich mit den von B. A. HOFMANN (2008) ermittelten Durchschnittswerten der V-Winkel der Shatter-Cones von Bernhardzell (Ostschweiz) fällt auf, dass die Bernhardzeller Probe B, also der am besten erhaltene Strahlenkalk von dort, einen deutlich größeren mittleren V-Winkel (32°) aufweist als die entsprechenden Fundobjekte aus Oberschwaben. Diesbezüglich können noch weitere Vergleiche vorgenommen werden anhand der von HOFMANN & GNOS (2006) durchgeführten Messungen an sechs Strahlenkalk-Proben vom Zentralhügel des Steinheimer Becken. Diese Proben haben mittlere V-Winkel von 12° - 25° , der Durchschnittswert aller Messungen liegt bei 17° . Nur die beiden Fundobjekte (A u. B) aus dem Biberacher Brockhorizont liegen mit ihren mittleren V-Winkeln noch innerhalb des Streubereiches der Messwerte der Steinheimer Proben. Die Fundobjekte (C-H) aus dem Ravensburger Brockhorizont haben dagegen durchwegs deutlich größere mittlere V-Winkel als die Proben aus dem Steinheimer Becken. Anhand der ermittelten Werte bezüglich der Größe des durchschnittlichen V-Winkels an Shatter-Cone-Strukturen aus Oberschwaben, der Ostschweiz und aus dem Steinheimer Becken können folgende Aussagen gemacht werden:

1. Die sechs Strahlenkalk-Proben aus dem Steinheimer Becken weisen durchschnittlich die kleinsten V-Winkel auf.
2. Die zwei Strahlenkalke aus dem Biberacher Brockhorizont ergaben ähnliche mittlere V-Winkel wie die Proben aus dem Steinheimer Becken.
3. Je weiter die Brockhorizont-Vorkommen vom Ries-Krater bzw. Steinheimer Becken entfernt sind, desto größer sind die mittleren V-Winkel der dort gefundenen Shatter-Cones: Biberacher Brockhorizont (Ries-Distanz: ~ 110 Kilometer, mittlerer V-Winkel: 23° - 25°), Ravensburger Brockhorizont (Ries-Distanz: ~ 140 Kilometer, mittlerer V-Winkel: 28° - 29°) und Blockhorizont bei Bernhardzell (Ries-Distanz: ~ 180 Kilometer, mittlerer V-Winkel: bis zu 32°).

7. Fernauswürflinge des Nördlinger-Ries-Impaktes

Neben den oben beschriebenen Shatter-Cone-Strukturen weisen die aus dem Biberacher und Ravensburger Brockhorizont geborgenen ortsfremden Gesteine 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 dieser Befunde sind die im Biberacher und Ravensburger Brockhorizont enthaltenen Gesteinskomponenten zweifelsfrei als weit in südsüdwestliche Richtung ausgeworfene Sprengtrümmer des Ries-Impaktes während des Mittel-Miozäns anzusehen, eventuell mit Beimengung von Fern-Ejekta aus dem Steinheimer Meteorkrater. Da Strahlenkalke bzw. Shatter-Cones als Leitgesteine bzw. Leitstrukturen für die sichere Identifizierung von Meteorkratern verwendet werden können, sind die entsprechenden Gesteinsfunde aus den ober-schwäbischen Brockhorizont-Vorkommen eindruckliche Zeugnisse für das zwar „nur“ groß-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 Trümmermassen wurde wohl begünstigt durch die Gestalt des primären Ries-Kraters mit einem Verhältnis „Tiefe zu Durchmesser“ von etwa 1:4 (Tiefe etwa 4 Kilometer, Durchmesser etwa 16 Kilometer, vgl. PÖSGES & SCHIEBER 2000: 44). 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 Trümmermassen der sogenannten „Bunten Breccie“. Mit den von B. A. HOFMANN (2008: 82 und 83) und in vorliegender Arbeit abgebildeten Fundobjekten sind nun sogar eindeutige, weit ausgeworfene Strahlenkalke mit sehr wahrscheinlicher Herkunft aus dem Nördlinger-Ries bekannt. Die alternativ mögliche Herkunft aus dem Steinheimer Becken kann aufgrund folgender Befunde nahezu ausgeschlossen werden:

1. Die Strahlenkalke und Shatter-Cones aus der Oberen Süßwassermolasse Südwest-Deutschlands und der Ostschweiz haben deutlich größere mittlere V-Winkel als entsprechende Gesteinsproben aus dem Zentralhügel des Steinheimer Beckens. Dies spricht für differente Druck-/Temperaturverhältnisse, also für unterschiedliche Rahmenbedingungen während der Bildung dieser Shatter-Cones nahe des Zentrums des Einschlagkraters.
2. Der relativ kleine Krater des Steinheimer Beckens mit einem Durchmesser von etwa 3,5 Kilometer kann zumindest für die bei Ravensburg und Bernhardzell gefundene Fern-Ejekta aufgrund der sehr großen Distanzen (Luftlinie: 106 bzw. 148 Kilometer) kaum in Frage kommen.
3. Die drei bisher bekannten Shatter-Cone-führenden Brockhorizont-Vorkommen bei Bernhardzell, Ravensburg und Biberach/Riß liegen geographisch gesehen nahezu auf einer geraden Linie mit Ausrichtung SSW-NNO. Diese Linie zielt in Richtung NNO genau auf das Gebiet des Nördlinger Rieses bzw. auf die heute sichtbare Krater-ebene. Ein kausaler Zusammenhang zwischen den drei betreffenden Brockhorizont-Vorkommen und dem Ries-Krater ist somit sehr wahrscheinlich. Mit gewissem Vorbehalt kann hier sogar der Begriff „Ries-Auswurfstrahl“ verwendet werden (s. Abb. 13).



Abb. 12. Ortsfremde, kantige Oberjura-Kalkbrocken (\varnothing_{\max} etwa 10 Zentimeter), noch eingebettet im fluviatilen Feinsediment (Quarzglimmersande) des Ravensburger Brockhorizontes. Aufschluss der Oberen Süßwassermolasse im Kleintobel.

Einzelne Ausläufer der durch den Ries-Impakt gebildeten Schuttdecke reichten bis in die Ostschweiz hinein (nach Südsüdwesten gerichteter Auswurfstrahl: Ries – Biberach/Hochgeland – Ravensburg/Kleintobel – Bernhardzell/St. Gallen. So werden die ortsfremden Oberjura-Kalkstücke des Brockhorizontes als Relikte dieser ehemaligen Schuttdecke gedeutet. Für die

beiden Fundgebiete bei Biberach an der Riß und Ravensburg können die Lagen mit Jura-Gesteinen als bisher einziger lithostratigraphischer Bezugshorizont innerhalb der Schichtenabfolge der Oberen Süßwassermolasse verwendet werden. Dabei wird dem Brockhorizont ein geologisches Alter zugeschrieben, das ziemlich genau dem Ereignis der Ries-Katastrophe entspricht, also etwa 15 Millionen Jahre (vgl. ABDUL AZIZ et al. 2009: 1870).



Abb. 13. Schematische Übersichtskarte mit den Strahlenkalk-führenden Brockhorizont-Vorkommen (rote Punkte) in Südwest-Deutschland und in der Ostschweiz sowie mit dem Fundpunkt eines jüngst entdeckten REUTERSchen Blockes (roter Stern) bei Weingarten/Ravensburg (s. SACH 2014b), in geographischem Bezug zum Impakt-Krater „Nördlinger Ries“. Kilometerangaben (Ries-Auswurfstrahl): jeweils Distanz vom Zentrum des Ries-Kraters bis zu den Brockhorizont-Vorkommen bei Biberach an der Riß, Ravensburg und St. Gallen.

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

1. Ries-Impakt während des Mittel-Miozäns vor etwa 15 Millionen Jahren: Einschlag eines kosmischen Körpers (Durchmesser etwa 1 Kilometer) und Aussprengung eines großen und tiefen Kraters (Durchmesser unmittelbar nach dem Impakt etwa 16 Kilometer, Tiefe etwa 4 Kilometer) in die ehemalige tertiäre Landschaft des „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 – Aussprengung gewaltiger Gesteinsmassen aus dem innerhalb von Sekunden entstehenden Meteorokrater. Hierbei wird ein Teil der Gesteinsbrocken mit einer Startgeschwindigkeit von über 3.600 km/h (= 1 km/s) ausgeworfen.
5. Ballistischer Transport der ausgesprengten Gesteinsbrocken auf bogenförmiger Flugbahn.
6. Noch über 180 Kilometer vom Einschlagzentrum des Ries-Kraters entfernt schlagen pro Quadratmeter mehrere scharfkantige Oberjura-Kalktrümmer und andere Gesteinsbrocken (Fern-Ejekta) ein. Die vom Impakt erzeugte bzw. ausgehende Druck- und Hitzewelle dürfte fast im gesamten süddeutschen Raum die Bäume umgeknickt bzw. verbrannt haben und noch im weiten Abstand zum Ries-Krater Erdbeben, Bergstürze, Hangrutsche und Schlammlawinen ausgelöst haben.
7. Aufschlag von Ries-Auswürflingen (Fern-Ejekta) auch auf die ehemalige Geländeoberfläche bzw. in ehemalige Gewässer des Molassebeckens in Oberschwaben.
8. Ablagerung einer bis weit in das Molassebecken hinein reichenden Schuttdecke aus Ries-Ejekta. Danach Aufarbeitung und Einbettung von Ries-Auswürflingen unter anderem in die Sedimente des Biberacher und Ravensburger Brockhorizontes.
9. Teilweise spätere Freilegung und Abtragung der Brockhorizont-Vorkommen in der Oberen Süßwassermolasse durch fluviatile und glaziale Erosionsprozesse.

8. Dank

Meinen Dank für Diskussionen, Anregungen und Hinweise zum Thema „Impaktkrater, Shatter-Cones und Fern-Ejekta“, mündlich, schriftlich oder indirekt durch Fachpublikationen, möchte ich folgenden Personen aussprechen: Herrn Dr. Hans-Joachim Gregor (Olching), Herrn Prof. Dr. Kurt Heissig (München), Herrn Dr. Elmar P. J. Heizmann (Erdmannhausen), Herrn Dr. Beda A. Hofmann (Bern) und Herrn Prof. Dr. Winfried Reiff (Leinfelden-Echterdingen). Für die Durchsicht des Rohmanuskriptes und für Verbesserungsvorschläge bedanke ich mich bei Frau Friederike Leist (Tübingen) und Dr. Friedrich Pfeil (München). Ein herzlicher Dank gilt nicht zuletzt meinem Vater Hans-Jürgen Sach (Ochsenhausen), der mich tatkräftig unterstützte bei den Geländearbeiten im Hochgeländ bei Biberach/Riß.

9. Literatur

ABDUL AZIZ, H., BÖHME, M., ROCHOLL, A., PRIETO, J., WIJBRANS, J. R., BACHTADSE, V. & ULBIG, A. (2009): Integrated stratigraphy and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronology of the early to middle Miocene Upper Freshwater Molasse in western Bavaria (Germany). – *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)* (2010) 99: 1859-1886, 16 Abb., 4 Tab. DOI 10.1007/s00531-009-0475-8

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.
- GALL, H. & MÜLLER, D. (1975): REUTERSche Blöcke – außeralpine Fremdgesteine unterschiedlicher Herkunft in jungtertiären und quartären Sedimenten Südbayerns. – *Mitt. Bayer. Staatsslg. Paläont. hist. Geol.*, 15: 207-228; München.
- 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.
- HEISSIG, K. (1986): No effect of the Ries impact on the local mammal fauna. – *Modern Geol.*, 10: 171-179, 3 Abb.; London.
- HEISSIG, K. (1989): Neue Ergebnisse zur Stratigraphie der mittleren Serie der Oberen Süßwassermolasse Bayerns. – *Geologica Bavarica*, 94: 239-257, 5 Abb.; München.
- HEIZMANN, E. P. J. & REIFF, W. (2002): Der Steinheimer Meteorokrater. – 160 S., 155 Abb.; München.
- HILDENBRAND, J., in KRANZ, W., BERZ, K. C. & BERCKHEMER F. (1924).
- HOFMANN, B. A. (2008): Shatter Cones aus dem Blockhorizont an der Sitter bei Bernhardzell. – *Ber. d. St. Gallischen Naturwiss. Ges.*, 91: 77-86, 6 Abb., 1 Tab; St. Gallen.
- HOFMANN, B. A. & GNOS, E. (2006): New finds of shatter cones in distal Ries ejecta, Bernhardzell, eastern Switzerland. – In: *Meteoritics and Planetary Science*, 41 (Suppl.), A78.
- 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.
- 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.; Bad Wurzach.
- SACH, V. J. (2014a): Fossilienkatalog der Miozän-Molasse in Südwestdeutschland (Obere Süßwassermolasse, Brackwassermolasse, Obere Meeresmolasse, Untere Süßwassermolasse). – *Documenta naturae*, Sonderband 70, 112 S., 74 Abb., 2 Tab., 4 Taf.; München.
- SACH, V. J. (2014b): Ein REUTERScher Block aus dem Staigertobel bei Weingarten – Fernejekta des Nördlinger-Ries-Impaktes im Mittel-Miozän. – *Oberschwaben Naturnah*: 32-37, 9 Abb.; Bad Wurzach.
- SAGY, A., RECHES, Z. & FINEBERG, J. (2002): Dynamic fracture by large extraterrestrial impacts as the origin of shatter cones. – *Nature*, 418: 310-313. DOI 10.1038/nature00903
- SCHEUENPFLUG, L. (1980): Neue Funde ortsfremder Weißjuragesteine in Horizonten der südbayerischen miozänen Oberen Süßwassermolasse um Augsburg (Ein Beitrag zum Problem der REUTERSchen Blöcke). – *Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver.*, 62: 131-142, 1 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- SCHMIDT-KALER, H. (1986): Ein Vorkommen von ortsfremden Weißjurakalkbrocken bei Pfaffenhofen an der Ilm. – *Geol. Bl. NO-Bayern*, 36/3-4: 309-310; Erlangen.
- SCHMIEDER, M. & BUCHNER, E. (2013): Strahlenkegel in Opalinuston-Konkretionen des Steinheimer Beckens (Baden-Württemberg). – *Z. Dt. Ges. Geowiss (German J. Geosci.)*, 164/3: 503-513, 8 Abb.; Stuttgart.
- SEEHUBER, U. (2009): Litho- und biostratigraphische Untersuchungen in der Oberen Süßwassermolasse in der Umgebung von Kirchheim in Schwaben. – *Documenta naturae*, 175: 355 S., 48 Abb., 6 Tab.; München.
- 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.
- STEPHAN, W. (1952): Ein tortoner Brockhorizont in der Oberen Süßwassermolasse Bayerns. – *Geologica Bavarica*, 14: 76-85, 2 Abb.; München.
- 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.