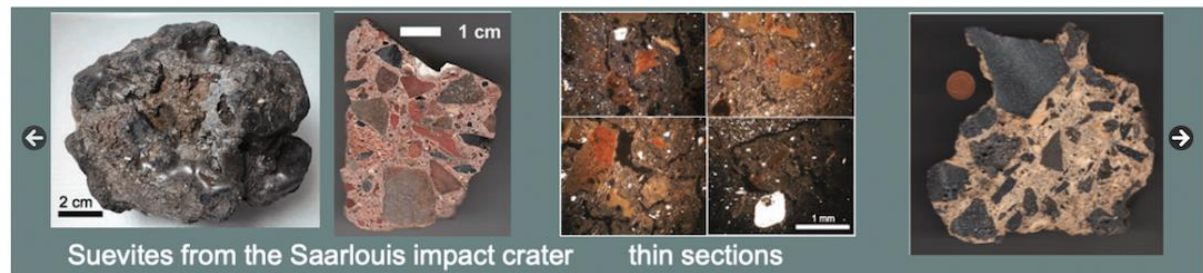


The Saarland (Germany) Meteorite Impact Site



Rayleigh-Taylor und Kelvin-Helmholtz Instabilitäts-Strukturen beim Saarland-Impakt

Der "touchdown" Airburst-Impakt und die extrem hochauflösenden digitalen
Geländemodelle

Kord Ernstson¹ und Jens Poßekel²

Zusammenfassung. - Der Saarland-Impakt in Deutschland mit einem mindestens 15 km großen Streufeld gilt seit gut 10 Jahren mit allen von der Forschung anerkannten impakt-spezifischen Merkmalen (Krater, ausgeprägter Schock-Metamorphismus, Shattercones, Impakt-Brekzien wie z.B. Suevit, Impakt-Gläser, Impakt-Schmelzgesteine) als bemerkenswertes, vermutlich Holozänes Impakt-Ereignis. Bei den überzeugenden Befunden eines oberflächennahen Airburst-Impakts wird der Nachweis von Rayleigh-Taylor und Kelvin-Helmholtz Instabilitäts-Strukturen nach deren erstmaliger Beschreibung beim Chiemgau-Impakt auch beim Saarland-Impakt mit Analysen des extrem hochauflösenden digitalen Geländemodells dokumentiert. Da geologische Prozesse und anthropogene Konstrukte ausgeschlossen werden können, liegt ein weiterer Beweis für ein signifikantes Saarland-Impaktereignis vor, das von der etablierten Impakt-"Community" immer noch als nicht existent angesehen wird.

¹Universität Würzburg, 97074 Würzburg, kernstson@ernstson.de, ²Geophysik Poßekel, Mülheim/Ruhr, possekeljens@gmail.com

1 Einleitung

Besondere Merkmale in Einschlagskratern, die häufig in Laborexperimenten zu beobachten sind, können durch Rayleigh-Taylor- (RT) und Kelvin-Helmholtz- (KH)-Fluidinstabilitäten verursacht werden, die mit Unterschieden in Viskosität, Trägheit, Dichte und Geschwindigkeit zusammenhängen (Übersicht Google KI 2006).

Im Labor: RTI tritt bei einer Dichteumkehr während der Impact-Abbremsung auf und bildet Diapire, während KHI bei einer Geschwindigkeitsscherung auftritt und wellenförmige Verformungen erzeugt. Beide Phänomene führen zu komplexen Mischschichten. RTI bei Einschlägen (Pilzbildung) tritt auf, wenn ein dichteres flüssiges oder festes Auswurfmaterial auf ein weniger dichtes Landungsmaterial trifft und die Verzögerung die Grenzfläche instabil macht, wodurch das weniger dichte Material nach oben und das dichtere Material nach unten gedrückt wird. Dadurch entstehen pilzförmige Diapire oder Finger, die vom Aufprallort nach außen wachsen.

In terrestrischen Kratern: Während dieser Prozess häufig in Laborexperimenten mit Flüssigkeitsimpakten beobachtet wird, ist er in großen terrestrischen Kratern kaum anzutreffen, wo er aufgrund anderer physikalischer Vorgänge wie Verdampfung oder Schockwellen auftreten kann. KHI tritt an der Grenzfläche zwischen zwei Gesteinsschichten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Bewegung auf und erzeugt eine Geschwindigkeitsscherung, die wellenförmige Muster bildet. Während RTI bei Einschlägen die Diapir-(Pilz)-Bildung zu zentralen Erhebungen führen kann (neben z. B. elastischer Rückfederung), kann KHI in turbulenten Impact-Ejecta oder Mischzonen auftreten und zu einer komplexen Dynamik beitragen. Daher erzeugt RTI Pilz- und abgeleitete Fingerstrukturen (Abb. 1), während die KH-Instabilität geschwindigkeitsabhängig ist und wellenförmige Impact-Phänomene hervorrufen kann (Abb. 2).

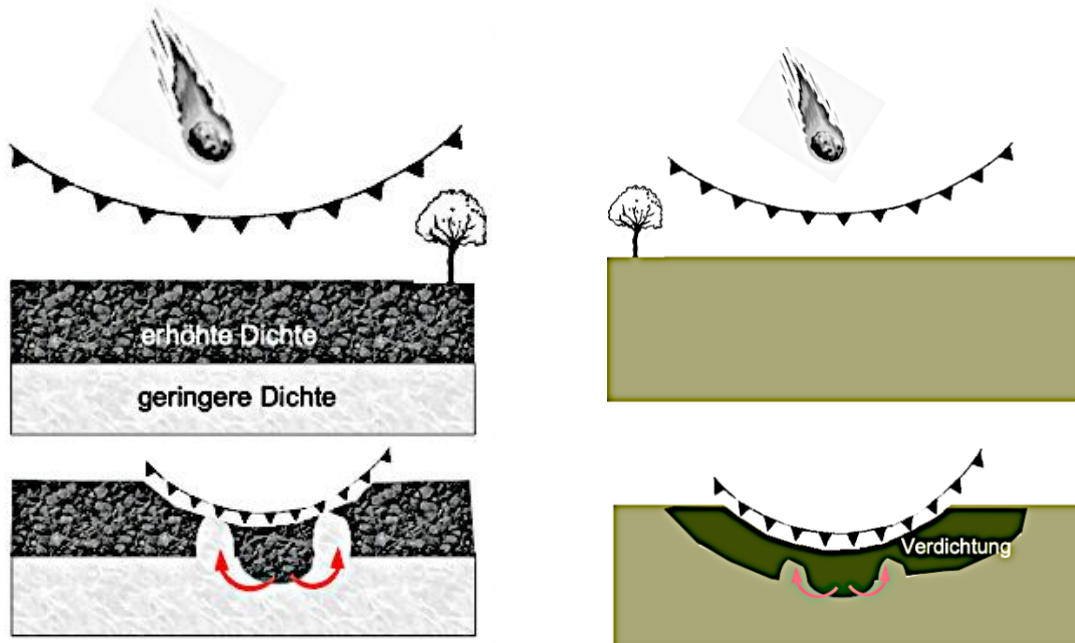


Abb. 1. Einfache Modelle zur Entstehung von RTI-Pilz- und Fingerstrukturen. Links: Die Schockfront drückt die Schicht mit höherer Dichte nach unten in die Schicht mit geringerer Dichte, aus der als Reaktion die Pilze und Finger nach oben aufsteigen. Rechts: Die Schockfront verdichtet den oberen Bereich, und das verdichtete Material drückt nach unten und das liegende Material pilz- und fingerförmig nach oben.

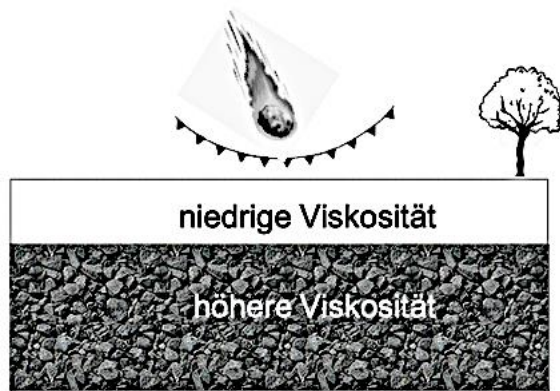


Abb. 2. Modell zur Entstehung von Wellenstrukturen bei KH-Instabilität. Beim Einschlag wird die niedriger viskose Schicht leichter und mit höherer Geschwindigkeit nach außen gedrückt als die höher viskose, zähere Schicht.

Es ist verständlich, dass beide Prozesse bei der Bildung von Impakt-Strukturen zusammenwirken können. Hier berichten wir über offensichtliche RT- und KH-Instabilitäten, die in den extrem hochauflösenden digitalen Geländemodellen mit den oben genannten Kratermerkmalen (Finger, Pilze, Wellen, Blockbildungen) beim Airburst-Impakt des Saarland-Impakt-Areals zu beobachten sind.

2 Der Saarland-Impakt [11, und Beiträge darin]

Ausgehend von den ersten Entdeckungen von Einschlagspuren durch Werner Müller [7, 8] entwickelten sich die Geländeforschungen und Materialanalysen zu dem, was heute als „Saarland-Einschlag“ bezeichnet wird und mittlerweile zwei Krater mit einem Durchmesser von 250 m bzw. 2,3 km umfasst (Abb. 3). Oberflächenfunde verschiedener Impaktite mit Sueviten, Impakt-Schmelzgesteinen, Impaktgläsern sowie monomikten und polymikten Impaktbrekzien mit impaktspezifischen mehreren Brekziengenerationen erstrecken sich über ein annähernd elliptisches Gebiet mit einer Achsenlänge von etwa 15 km und zu begleitenden kleineren Impakt-Arealen, was zu Diskussionen und letztlich zur Akzeptanz eines großen oberflächennahen Airburst-Impakts geführt hat [2-5].

Eindeutige Beweise für den Einschlag sind die weit verbreiteten starken Schockwirkungen (Schockmetamorphose), die in den Impaktiten festgestellt wurden und praktisch alle in der Impaktforschung dokumentierten Beweise umfassen: planare Deformationsmerkmale (PDF) in Quarz und anderen Mineralien, multiple Sätze planarer Brüche (PF) in Quarz, Quarzit-Gerölle, die vollständig in diaplektisches Glas umgewandelt wurden, diaplektische Feldspäte, mit Cristobalit und Tridymit assoziierte Ballen-Strukturen, getoasteter Quarz, extrem deformierter

Glimmer mit mehreren Sätzen planarer Deformationsmerkmale und mehreren Sätzen eng beieinanderliegender Knickbänder sowie intensive Schockspallation in Quarzit-Geröllen und einzelnen Quarzkörnern [1]. Shattercones in Quarziten ergänzen die eindeutigen Hinweise auf einen Impakt [9].

Schließlich umfasst dieses Inventar den ganz besonderen und – abgesehen vom ersten Fund beim Chiemgau-Impakt – in der Impaktforschung bisher unbekannte Kohlenstoff-Impaktit Chiemit [10].

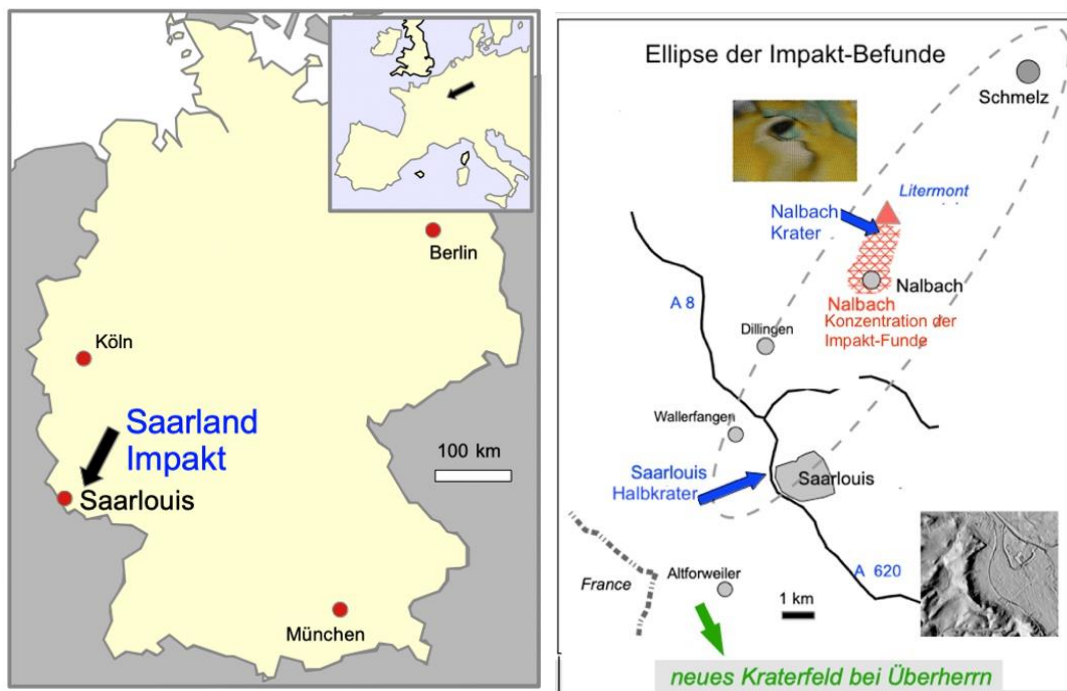


Abb. 3. Lagepläne. Das assoziierte Kraterfeld von Überherrn zeichnet sich durch dichte Cluster von kleineren Krater- und Buckelstrukturen aus.

3 Das Digitale Geländemodell DGM 1

Das digitale Geländemodell (DGM) basiert auf Flugvermessung-LiDAR-Daten der Erdoberfläche in einem regelmäßigen Meterraster mit extremer Höhenauflösung. Dadurch lassen sich insbesondere bei jungen Meteoritenkratern und allgemein Impakt-Strukturen Besonderheiten präzise erkennen, die bei Feldarbeiten oder auf topografischen Karten niemals entdeckt würden. Die reine Erdoberfläche wird unabhängig von Gebäuden und Vegetation, selbst in dichten Wäldern, dargestellt. (X,Y,Z)-Dateien werden von den zuständigen Behörden online zum Download bereitgestellt und können mit Datenverarbeitungsprogrammen (Filterung, Gradientenbildung usw., SURFER-Programm) verwendet werden, um verschiedene Kartenanzeigen und Geländeprofile zu erstellen. Mit dem Programm SURFER ist es darüber hinaus möglich, die bereits extreme Auflösung durch Interpolation bis in den Dezimeter- und Zentimeterbereich zu verringern.

Ein nicht zu unterschätzender Vorteil der DGM-Kartierung besteht darin, dass die extrem hochauflösende Morphologie der Strukturen aufgrund ihrer meist perfekten Symmetrie bis in

den Zentimeterbereich geogene und anthropogene Ursprünge ausschließt, während punktförmige Explosionen eines Airburst mit sphärischen Schockausbreitungen bis zur Erdoberfläche genau das hervorbringen, was auch eine wesentliche Grundlage der folgenden Ausführungen ist.

Zu den nachfolgenden DGM 1-Abbildungen (Karten und Profilen) ist anzumerken, dass (von wenigen Ausnahmen abgesehen) von den Original-Morphologie-Daten jeweils ein langwelliger Geländetrend im SURFER-Programm abgezogen wurde (extremes Tiefpass-Filter mit 2D-gleitendem Mittel), was einer Zentrierung auf ein Nullniveau bedeutet. und Feinheiten der Impakt-Strukturen präziser dokumentiert.

Quelle der DGM 1-Daten: Saarland - Landesamt für Vermessung, Geoinformation und Landentwicklung

4 Topographie und Geologie

Die Topografie des Impakt-Areals lässt sich grob in den Bereich der beiden größeren Krater von Saarlouis und Nalbach und die verbreitet auftretenden kleineren Strukturen aufteilen, wobei letztere wiederum als unterschiedlich große Cluster von Kratern und Buckeln (pocken- und pustelnarbig) vor allem im Impakt-Feld von Überherrn (Abb. 1, 3) auftreten.

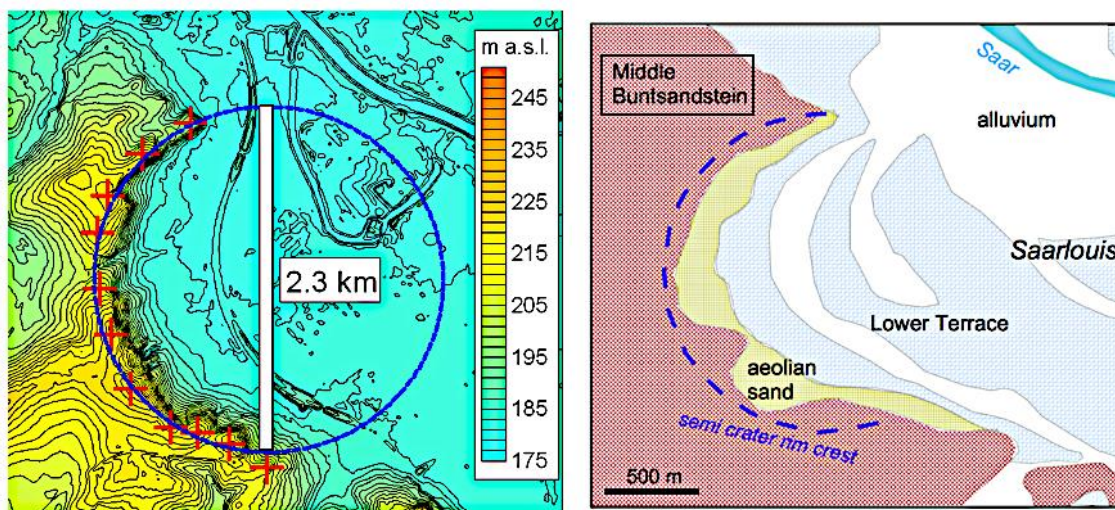


Abb. 4. Das DGM 1 (Abstand der Höhenlinien 2 m) des Impakt-Halbkraters von Saarlouis. Die roten Kreuze markieren die Wallkrone zu einem perfekten Kreisabschnitt mit einem assoziierten Krater-Durchmesser von 2,3 km. Rechts: Der entsprechende Ausschnitt der vereinfachten geologischen Karte (geoportal.saarland.de).

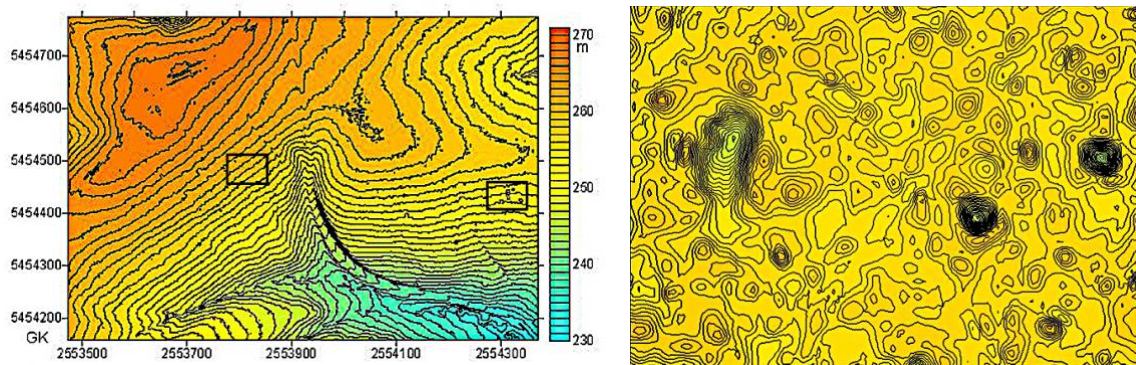


Abb. 5. Das Digitale Geländemodell des Impakt-Areals von Überherrn; Abstand der Höhenlinien 1 m, der GK-Maßstab sind Meter. Rechts: der östliche Ausschnitt in der Karte mit Kratern und einem dichten Cluster von Buckelstrukturen; Abstand der Höhenlinien 5 cm.

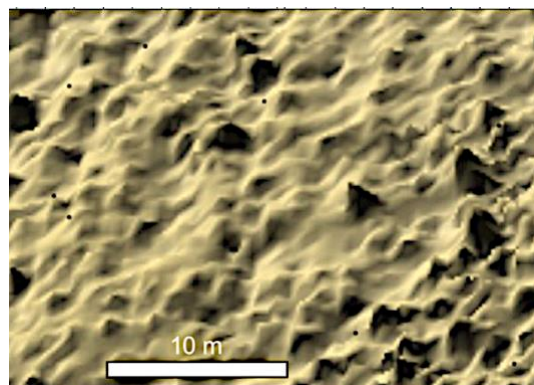
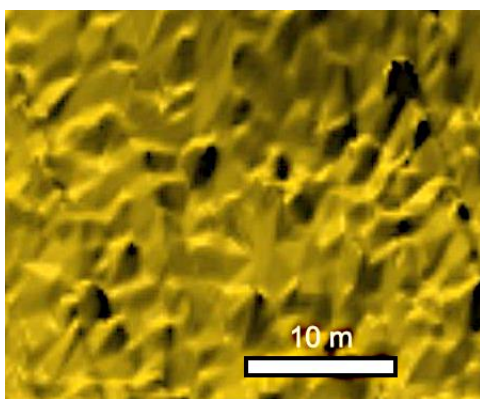


Abb. 6. Pocken- und pustelnarbiges Impaktgelände beim Saarland-Impakt (Überherrn, oben, westlicher Ausschnitt in Abb. 5), beim Chiemgau-Impakt (Vogelöd, unten links) und bei einem tschechischen Impakt-Streifeld. Solche auffälligen morphologischen Formen sind offensichtlich ein Merkmal von oberflächennahen Airburst-Impakten mit herabstürzenden Explosionstrümmern. Man beachte die starke Überhöhung der DGM 1-Blockbilder: Die Höhen der Buckel betragen meist nur wenige Dezimeter (siehe die folgenden Profil-Abb.) und sind mit bloßem Auge nicht wahrnehmbar.

3 Für KHI und RTI relevante Gesteine und Parameter beim Saarland-Impakt

Typische quartäre Schichtablagerungen, die oberflächennah beim Airburst "touchdown" die entscheidende Rolle spielen, bestehen aus Löss, Lehm, Schluff, Ton, Sand, Kies und beliebigen Mischungen dieser Fraktionen, z. B. sandigem Lehm, sandigem Schluff, tonhaltigem Sand, sandigem Kies.

Dichten: Die Dichten der betroffenen Gesteine können erheblich variieren und betragen (in g/cm^3) bei trockenem Sand 1,5–1,6, bei trockenem Kies 1,3–1,7, bei grundwassergesättigtem Sand 1,9–2,0, bei Ton 1,9–2,2 und bei trockenem Schluff bis zu 1,0–1,2.

Viskositäten: Die Viskositäten der vom Aufprall betroffenen unkonsolidierten Gesteine unterscheiden sich um viele Größenordnungen, wobei die Viskositäten des Gesteins vor dem Aufprall – wie Zusammensetzung, Korngröße, Gefüge und Wassergehalt –, aber auch die Einschlagparameter wie Temperatur, Druck und Dehnungsrate eine wichtige Rolle spielen.

4 Auswahl von RTI- und KHI-Merkmalen in den Saarland-Einschlagstrukturen

4.1 Rayleigh-Taylor-Instabilitäten: Pilzstrukturen

Wie oben unter 3 beschrieben, bilden sich RTI-Instabilitäten vor allem, wenn in geschichteten Medien Dichteunterschiede bei Druck (im einfachsten Fall durch Gravitation bei dichteren über weniger dichten Flüssigkeiten) zu vertikaler Durchmischung mit der Bildung von charakteristischen Strukturen (Pilze, Finger) führen. Beim Impact mit der Airburst-Druckwelle und den gegen die Erdoberfläche einschlagenden Explosionstrümmern ist diese Situation durch eine spontane starke Verdichtung der obersten Schichten gegeben, die gegen die unverdichteten Lockersedimente beschleunigt werden und zu den RTI-Strukturen führen (Abb.1). Dass bei diesem Prozess die Untergrundsichtung mit wechselnden Gesteinsdichten und Viskositäten zu ganz speziellen Formen, wie nachfolgend illustriert, führt, ist leicht verständlich.

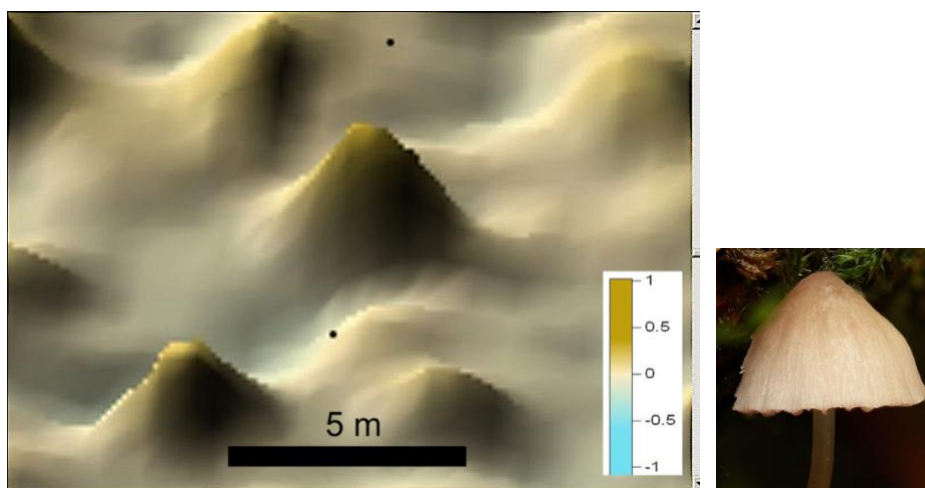


Abb. 7. RTI-Pilze; DGM 1, 3D Oberfläche Blockbild, leichter Schrägblick und namengebender Pilz. Man beachte die starke DGM 1-Überhöhung.

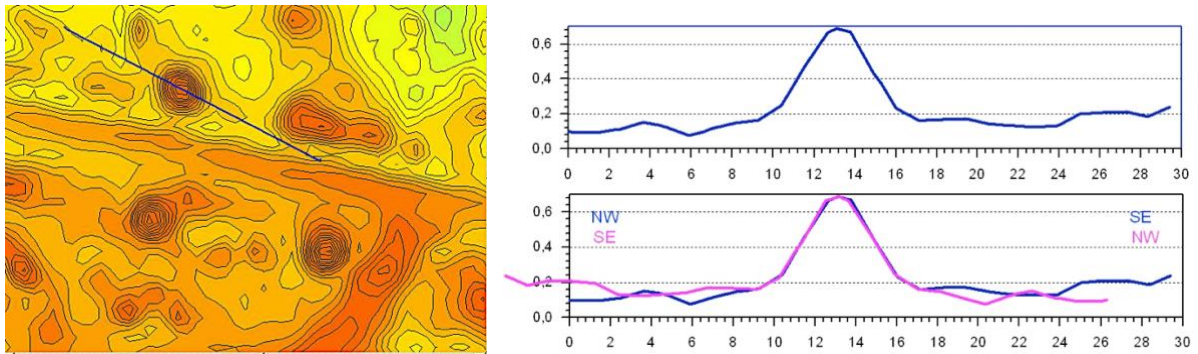


Abb. 8. Ensemble von RTI-Pilzen. DGM 1, Abstand der Höhenlinien 5 cm. Profil blau und Spiegelspur (pink). Zentimeter-genaue Überlagerung über 10 m des Buckels schließt geologische und anthropogene Herkunft aus.

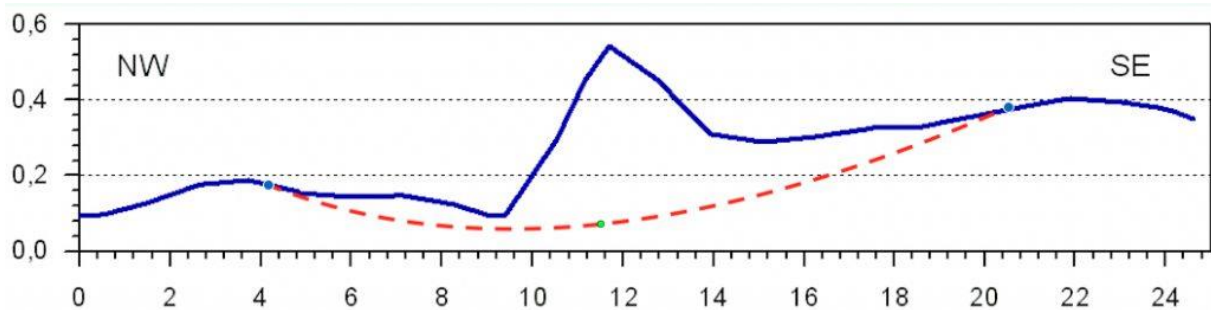


Abb. 9. RTI-Pilz in flacher Mulde.

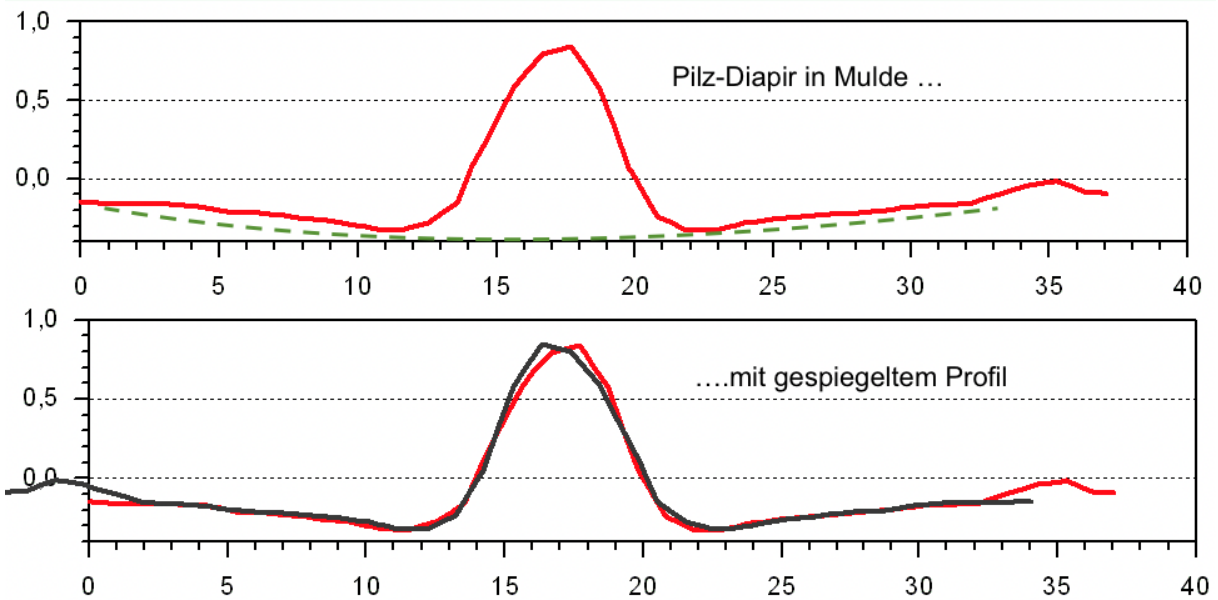


Abb.10. RTI-Pilz in Mulde. Zentimeter-Passgenauigkeit des gespiegelten Profils über 35 m.

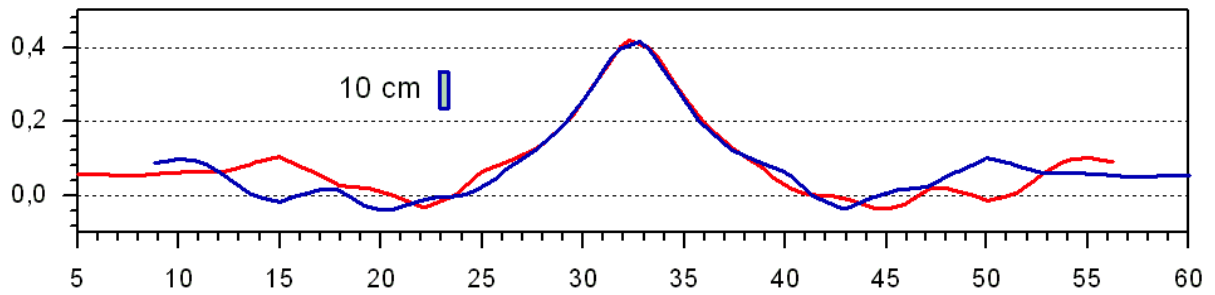


Abb. 11. Leicht terrasierter RTI-Pilz in flacher Mulde mit Spiegel-Überlagerung des Profils.

4.2 Rayleigh-Taylor-Instabilitäten: Fingerstrukturen

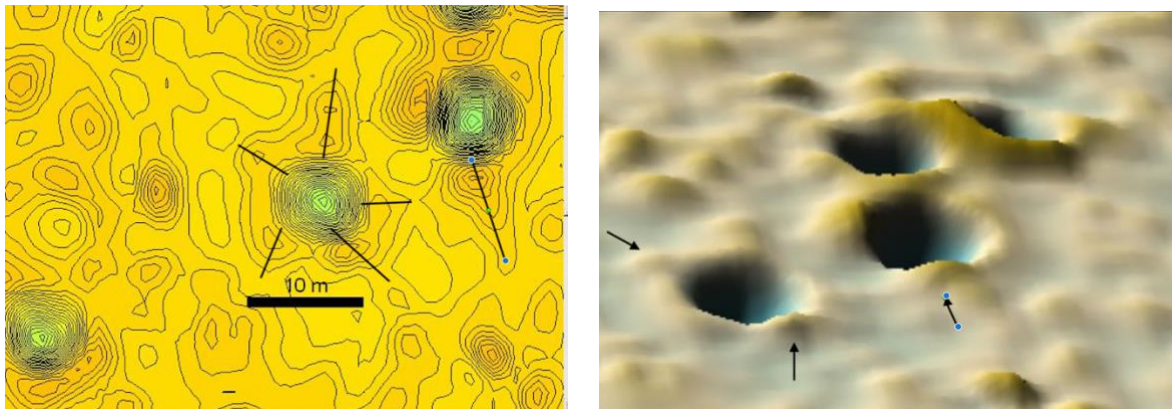


Abb. 12. DGM 1 von Krater-Ensemble, topographische Karte (Abstand der Höhenlinien 5 cm) und 3D Blockbild. RTI-Finger als Ausstülpungen des Krater-Walls.

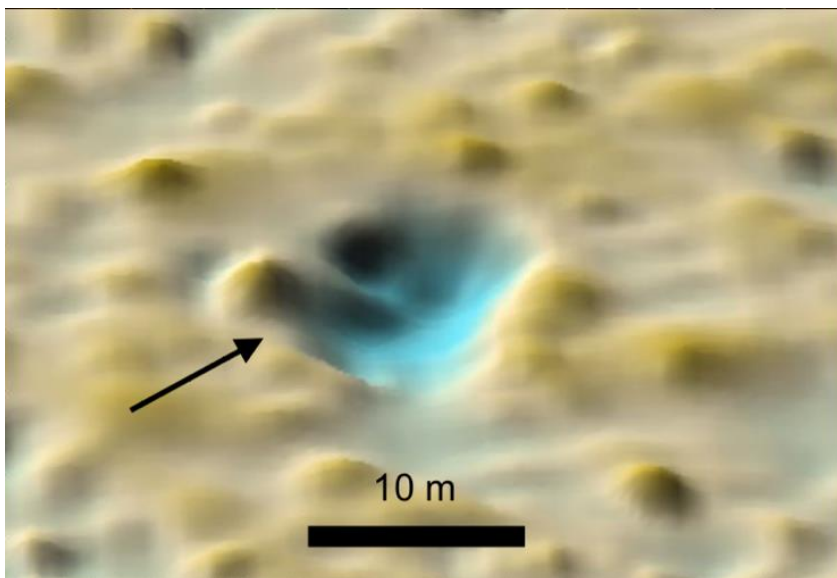


Abb. 13. DGM 1 Blockbild eines Kraters; Ausstülpung des Walls als Überlagerung von Pilz- und Finger-Struktur.

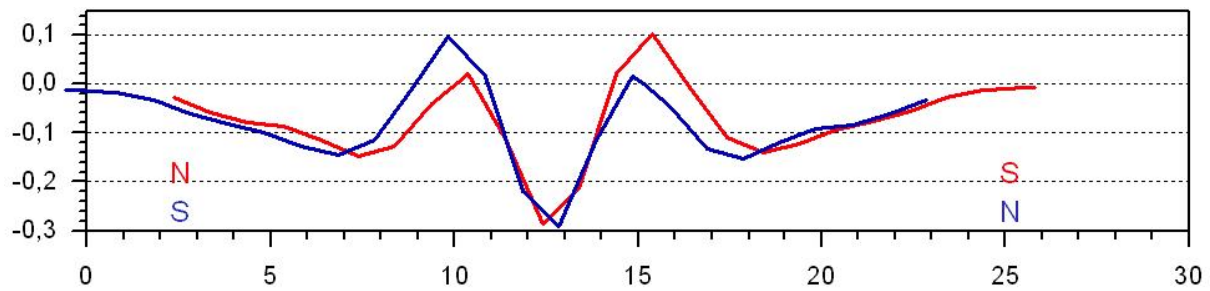


Abb. 14. Vermutlich kollabierter RTI-Pilz oder Fingerbildung in Krater-Mulde mit ausgeprägter Spiegelsymmetrie über mehr als 25 m Profillänge.

4.3 Kelvin-Helmholtz-Instabilitäten: Wellenstrukturen

KHI-Instabilitäten mit Wellenstrukturen entstehen bei Scherschichten zwischen zwei Materialien, die sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegen (Abb.2). Es ist ersichtlich, dass genau das bei einem Impakt geschieht, wenn vor allem in geschichteten Lockersedimenten die in den Untergrund eindringende Einschlags-Schockfront zu konzentrischen oder lateralen Schichtverschiebungen mit unter Umständen erheblichen Geschwindigkeitsunterschieden vor allem bei stärkeren Viskositätsänderungen führt.

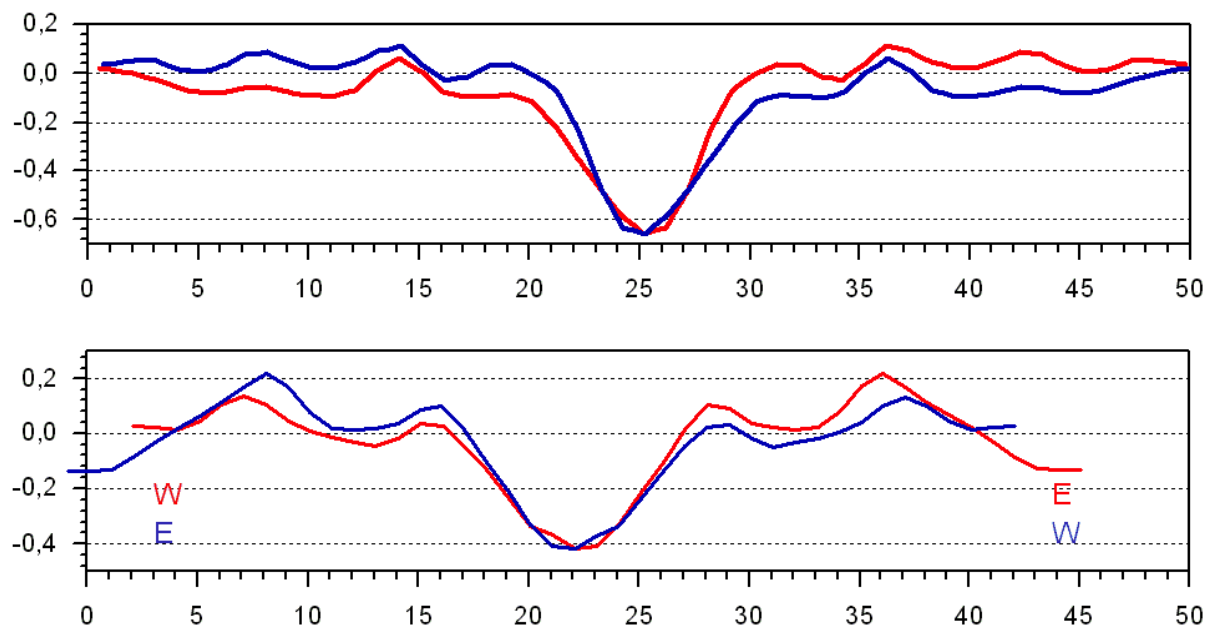


Abb. 15. Eindrucksvolle Wellenstrukturen mit ausgeprägter, zentral induzierter Spiegelsymmetrie über 40-50 m.

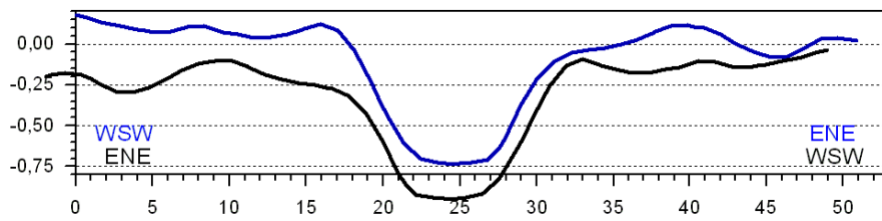
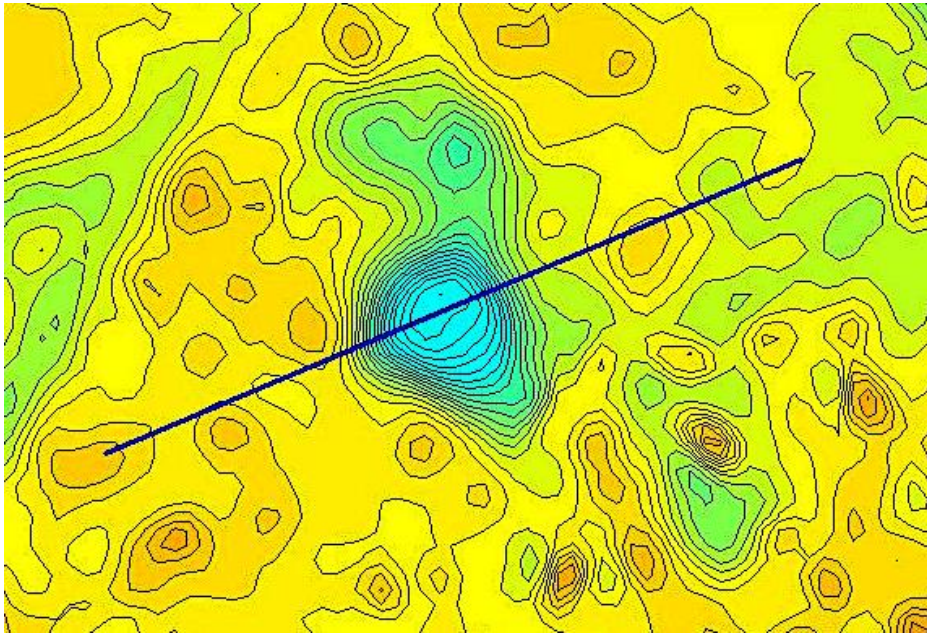


Abb. 16. Wellenstruktur aus ringförmig angeordneten Pilzen.

4.4 Kombinierte Strukturen aus Kelvin-Helmholtz- und Rayleigh-Taylor Instabilitäten

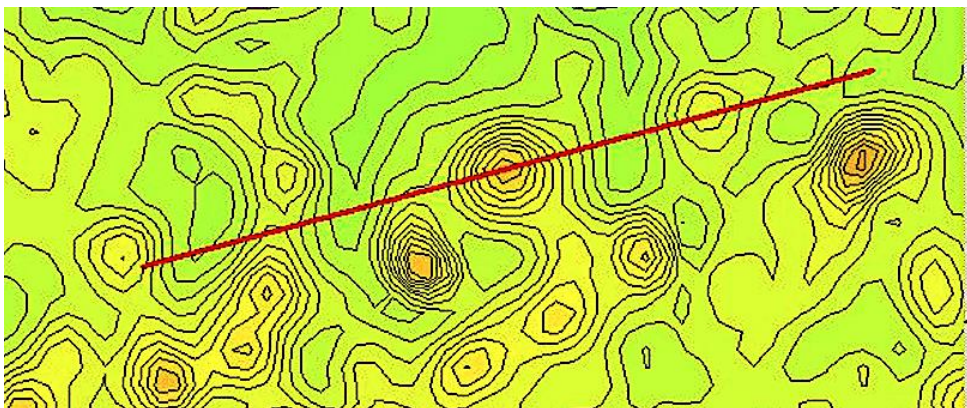


Abb. 17 A. RTI-Pilze mit KHI-welliger Umrahmung. Profil in Abb. 17 B.

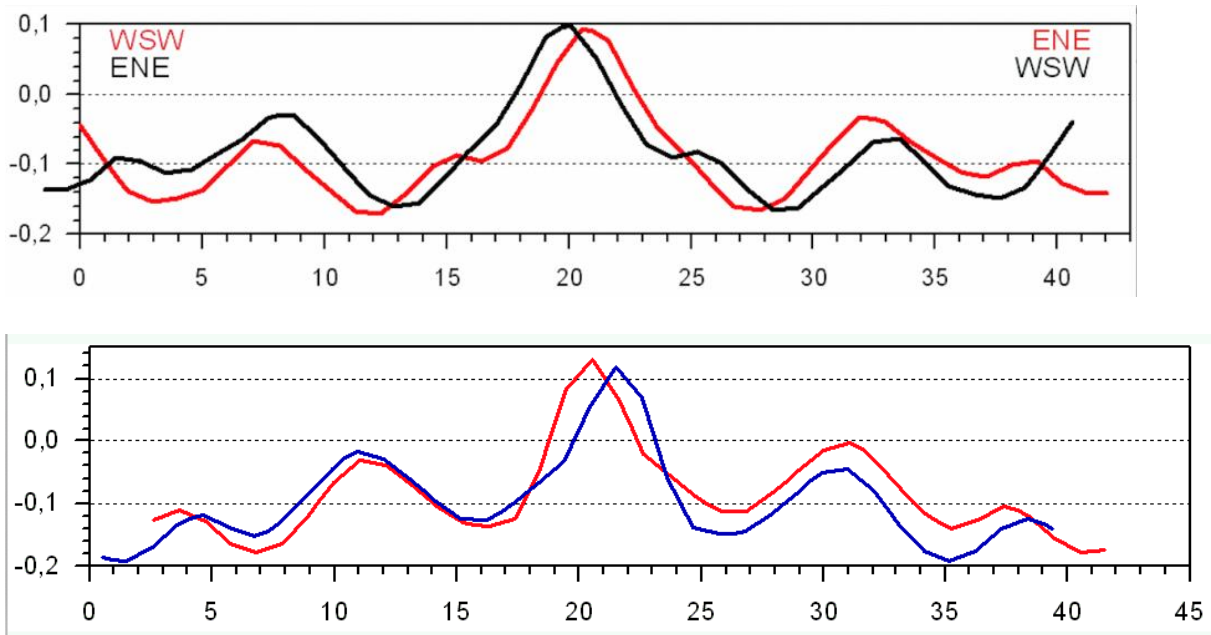


Abb. 17 B. RTI-Pilze mit KHI-welliger Umrahmung. DGM 1 Topographie (17 A) und Profil oben und erstaunlich ähnliches Profil darunter, jeweils mit gespiegelten Spuren. Auf den Kopf gestellte Strukturen der Profile in Abb. 15 drängen sich auf. Eine Erklärung bieten stark unterschiedliche Dichte- und/oder Viskositäts-Folgen der Schichten im Untergrund.

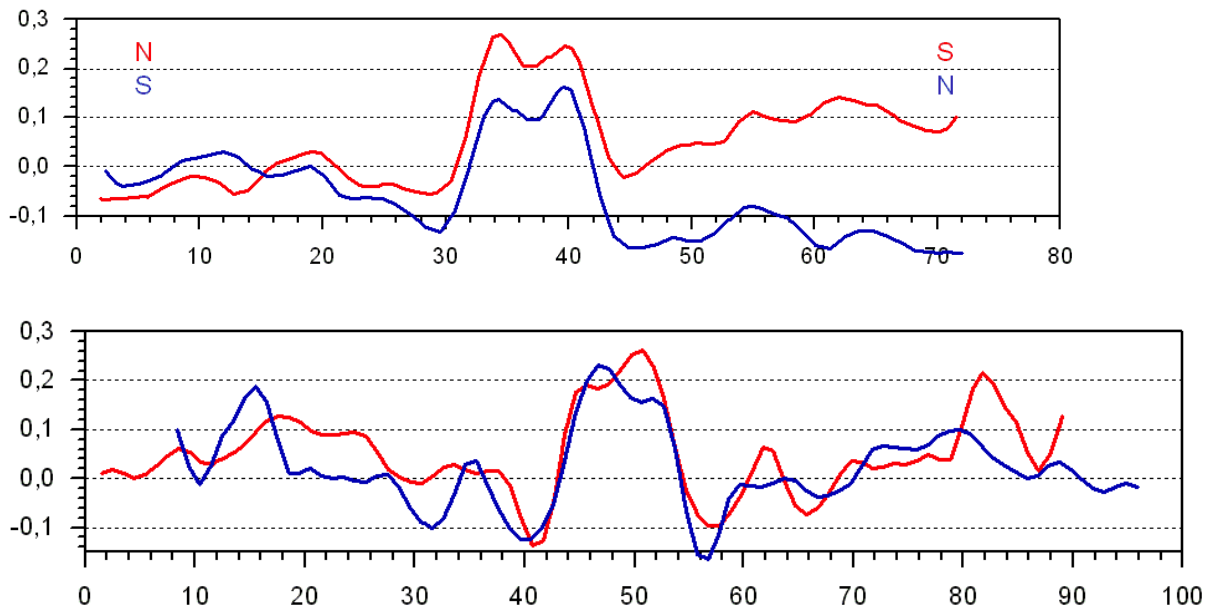


Abb. 18. DGM 1. Beginnender Kollaps von RTI-Pilzen in KHI-welligen Mulden (mit jeweiligen Spur-Spiegeln).

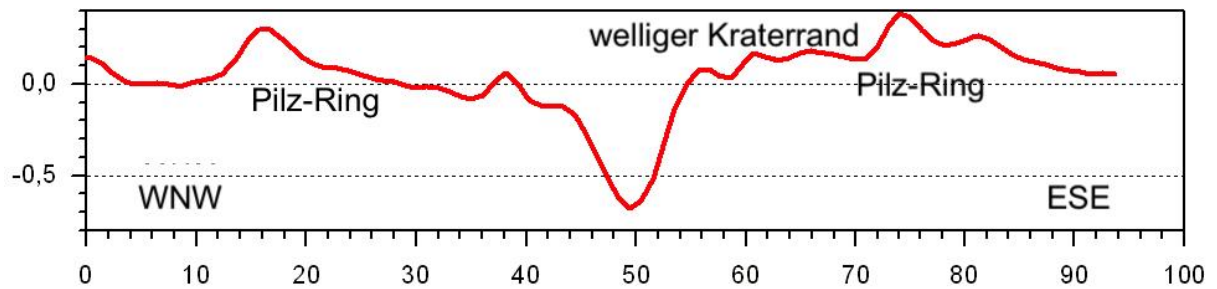
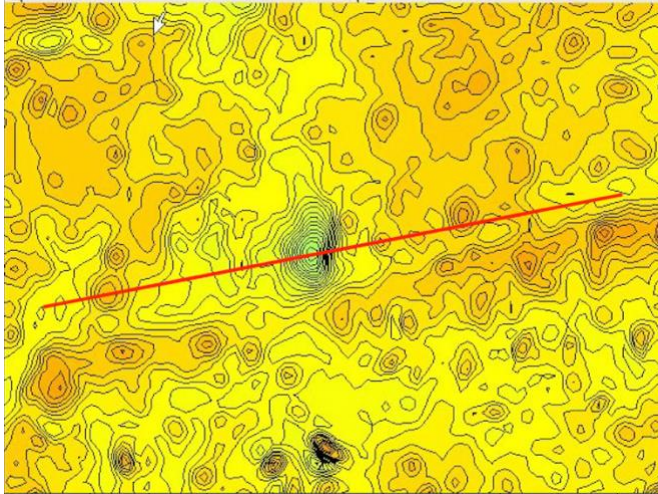


Abb. 19. DGM 1: Krater mit KHI-welliger Randzone in flacher Mulde mit äußerem Ring aus RTI-Pilzen. Ähnlich Abb. 16.

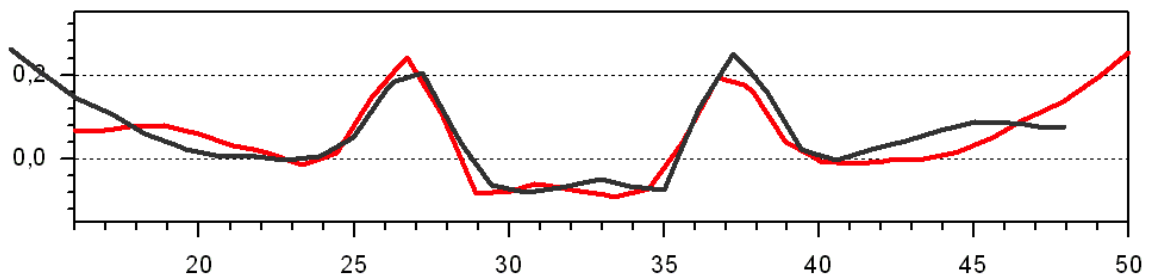
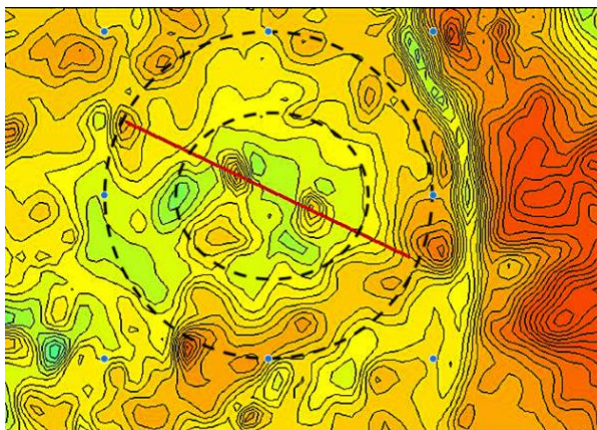


Abb. 20. RTI-Pilze als Bestandteil einer komplexen Ringstruktur mit diametraler Spursymmetrie.

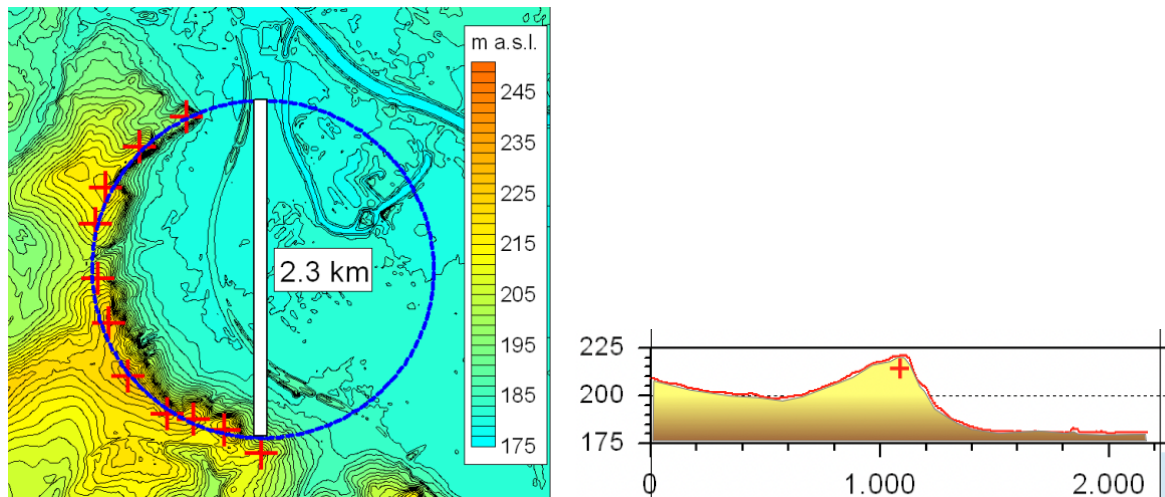


Abb. 21. DGM 1 vom Saarlouis-Halbkrater: Trotz der perfekten Halbkreis-Signatur des Ringwalls (die roten Kreuze markieren jeweils die Wallkrone auf radialen Profilen) ist der Wall selbst stark strukturiert, was wir durch RT- und KH-Instabilitäten bei der Krater-Entstehung erklären. Dichte- und Viskositäts-Kontraste der quartären Lockersedimente über dem Buntsandstein-Festgestein würden den Modell-Vorstellungen der Abb. 1 und 2 entsprechen.

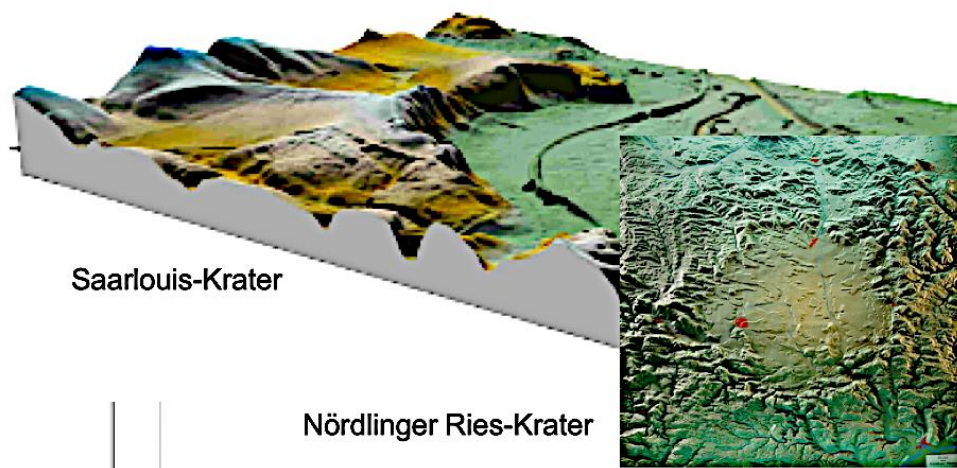


Abb. 22. Dasselbe als DGM 1-Geländeoberfläche im 3D-Blockbild. Trotz der perfekten Halbkreis-Signatur des Saarlouis-Kraterwalls (Abb. 21) zeigt das DGM 1 einen morphologisch stark strukturierten Aufbau, der an den Wall des Nördlinger Rieskraters erinnert.



Abb. 23. Der Saarlouis-Kraterwall zeigt im 3D-Blockbild einen komplexen Aufbau aus RTI- und KHI-Elementen (Finger, Blockbildungen, Wellen).

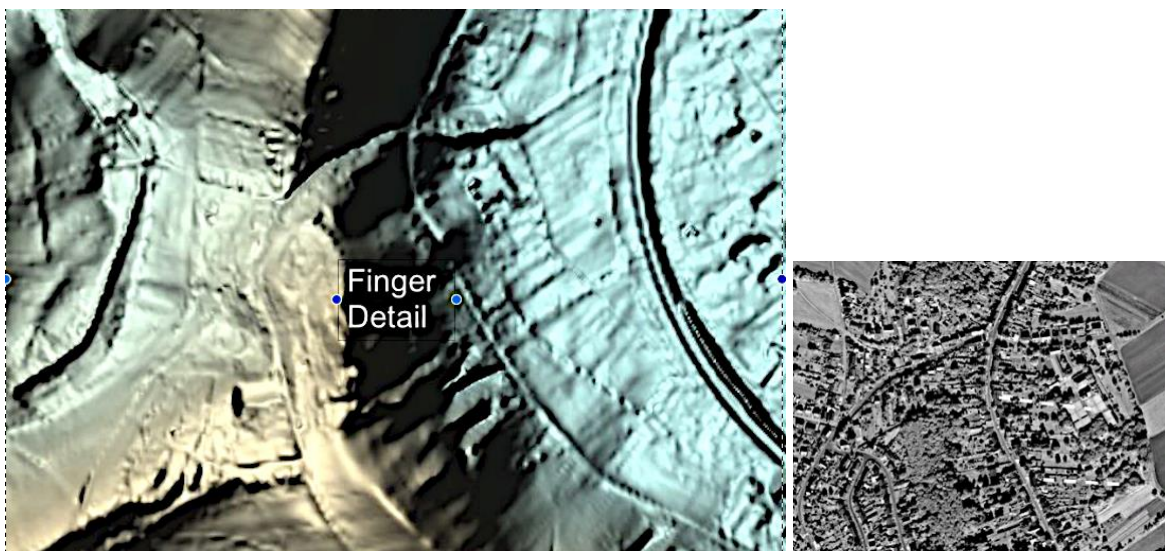


Abb. 24. Detailansicht, in der besonders die finger- bis wellenartige Struktur ins Auge fällt. Der Bereich der vom Wall herabziehenden Finger/Wellen zeichnet offensichtlich keine Grundstücksgrenzen nach, wie das Google Earth-Bild daneben nahelegt (die weißen Linien).

5 Ähnlichkeiten und Verwechslungen (?) mit Bombenkratern

Das Ensemble der sechs Krater im Überherrn-Impakt-Feld (Abb. 25; bereits angesprochen in Abb. 12) hat beim ersten Blick unbestrittene Verwandtschaft mit einem Bombenabwurf und deren Kratern (Abb. 26). Das ist nicht verwunderlich, da es sich physikalisch um ähnliche Prozesse handelt. Im Einzelfall, vor allem bei stärker verwitterten Kratern, kann eine

Zuordnung schwierig sein, aber im Falle von Bombenkratern durch Funde von Splittern oder historische Dokumente zugeordnet werden.

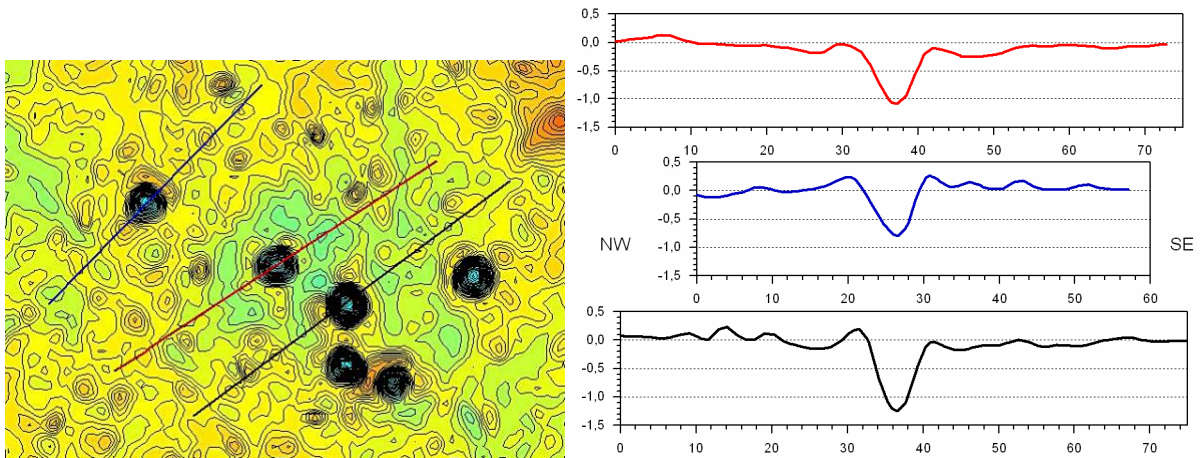


Abb. 25. Ensemble von Saarland-Impaktkratern inmitten von teilweise randlich begleitenden Mulden sowie Pilz- und Fingerstrukturen.

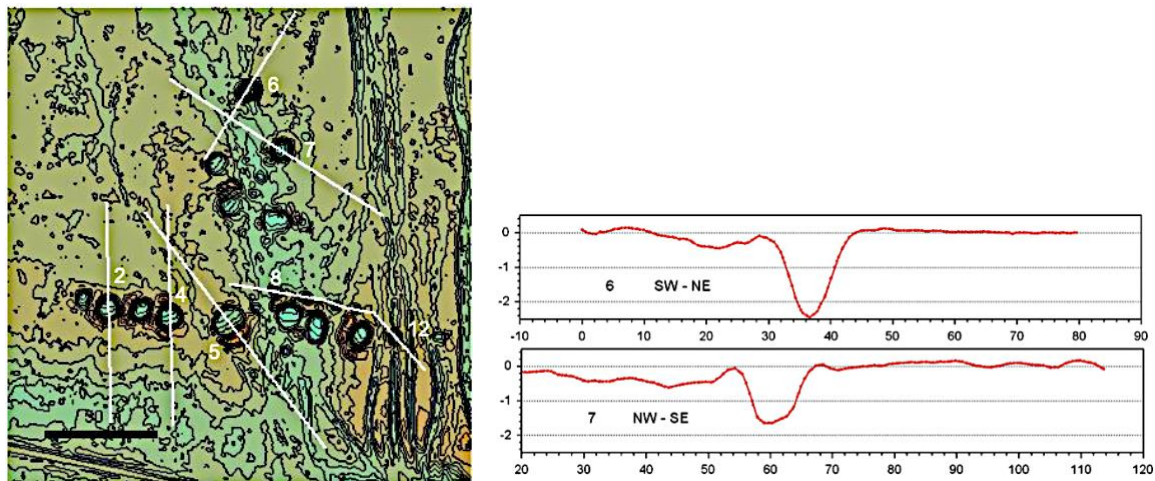


Abb. 26. DGM 1-Karte von einem Bombenabwurf in einem oberbayerischen Waldgebiet.

6 Diskussion und Schlussfolgerung

- Das Saarland-Impaktgebiet ist ein Einschlagkraterfeld mit einer Ausdehnung von mindestens 15 km mit zwei größeren Kratern (2,3 km und 250 m Durchmesser) und einer Vielzahl kleinerer Impact-Strukturen, sowie einem separaten nahegelegenen Impact-Areal auf einem Untergrund aus lockeren Sedimenten des Quartär über dem mesozoischen Untergrund aus Buntsandstein und Muschelkalk.
- Nach allen bisherigen Funden und Befunden der über 10jährigen Forschungstätigkeit ist von einem oberflächennahen. "touchdown" Airburst-Impakt auszugehen, der wegen der direkt oberflächlich auftretenden Impact-Gesteine und nach archäologischen Ausgrabungen im Holozän stattgefunden haben sollte, wobei eine Synchronizität mit dem Chiemgau-Impakt bereits diskutiert wurde [6].
- Die Entdeckung und Dokumentation dieser neuen, sehr großen Anzahl von Impact-Strukturen ist den neuen Möglichkeiten des LiDAR-Digitalen Geländemodells DGM 1 zu verdanken, das mit einer extrem hohen Auflösung von 1 m (interpoliert auf

Dezimeter) in horizontaler Richtung und 0,1 m (interpoliert auf Zentimeter) in vertikaler Richtung sogar Krater in dichter Vegetation (z. B. in Wäldern) erkennt und komplexe Impakt-Morphologien mit höchstmöglicher Detailgenauigkeit offenlegt.

- Das DGM 1 zeigt, dass der Einschlag neben entstandenen Kratern auch viele sehr komplexe Strukturen wie Pilzformen, Fingerformen, Mehrfachringe, Wellenmuster und fragmentierte Randzonen erzeugt hat..
- Die Entstehung solch komplexer Formen lässt sich, wie hier als Kernpunkt des Artikels, durch Einschläge erklären, die vor allem aus Experimenten mit Flüssigkeiten bekannt sind, und zwar durch sogenannte Rayleigh-Taylor- (RTI) und Kelvin-Helmholtz- (KHI) Instabilitäten.
- Wir wenden diese RTI- und KHI-Prozesse auf die Schichten im Saarland-Einschlaggebiet an, die aus abwechselnden Lagen lockerer Sedimente mit stark variierenden Dichten und Viskositäten der beteiligten Gesteine bestehen.
- Aufgrund dieser sehr komplexen Kraterformen kommen wir zu dem Schluss, dass sie einen normalen geologischen Ursprung wie Dolinen oder andere Einsturzstrukturen ausschließen.
- Anthropogene Entstehung muss in den allermeisten Fällen wegen der morphologischen Besonderheiten mit teilweise erheblicher Größe und vielfach bis in den Dezimeter- und Zentimeter-Bereich streng kreis- und struktursymmetrischen Formen ebenfalls verneint werden.
- Die große Ansammlung dieser ganz besonderen, manchmal exotischen Kraterstrukturen im grob elliptischen Streufeld des Chiemgau-Einschlags beweist einmal mehr die Realität der Existenz eines Saarland-Einschlagereignisses mit einem oberflächennahen "touchdown" Airburst-Impakt.
- Sie zeigt auch, dass Datenbanken und Statistiken zu derzeit anerkannten terrestrischen Einschlägen, auf die sich die Einschlagliteratur durchweg bezieht, nicht mehr relevant sind. In dieses gegenwärtige Impakt-"Weltbild" passt natürlich der Saarland-Impakt und die weiteren neuen mitteleuropäischen holozänen Impakt-Streufelder nicht hinein.

Literatur

1. Berger, N., Müller, W., Ernstson, K. (2015) Strong shock metamorphism and a crater: evidence of a Holocene meteorite impact event near Nalbach (Saarland, Germany). - 46th Lunar and Planetary Science Conference 2015. <https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2015/pdf/1255.pdf>
2. Ernstson, K., Müller, W., Gawlik-Wagner, A., West, A. (2025) The New World of Impact Cratering: The High- Resolution Digital Terrain Model and Hydrocode Modeling -The Saarland (Germany) Low Altitude Touchdown Airburst Impact Event. - Lunar & Planetary Science Conference 2025. <https://lpsc2025.ipostersessions.com/default.aspx?s=D2-C9-58-9A-6A-CB-F2-FF-C3-FA-5E-EE-6E-17-81-E9&guestview=true>
3. Ernstson, K., Gawlik-Wagner, A., Müller, W., Poßkel, J. (2021) Anatomy of an impact crater rim wall from selected ground penetrating radar (GPR) measurements - the Saarlouis (Germany) impact case. AGU Fall Meeting 2021. [https://agu2021fallmeeting-
agu.ipostersessions.com/default.aspx?s=E9-6D-C8-48-F3-A1-1E-CE-14-A4-9F-40-66-48-E7-E5&guestview=true](https://agu2021fallmeeting-
agu.ipostersessions.com/default.aspx?s=E9-6D-C8-48-F3-A1-1E-CE-14-A4-9F-40-66-48-E7-E5&guestview=true)

4. Ernstson, K., Portz, D., Müller, W., Hiltl, M. (2021) Zhamanshinite-Like Black-Glass Melt Rocks from the Saarland (Germany) Meteorite Impact Site. 52nd Lunar and Planetary Science Conference 2021. <https://lpsc2021.ipostersessions.com/?s=A4-EB-33-45-78-53-7F-ED-A0-C7-80-B5-D2-E1-F2-60>
5. Ernstson, K., Müller, W., Gawlik-Wagner, A. (2018) The Saarlouis semi-crater structure: notable insight into the Saarland (Germany) meteorite impact event achieved. - 49th Lunar & Planetary Science Conference 2018. <https://saarland-impakt.de/wp-content/uploads/2018/04/Poster-Saarlouis-6.3.2018-75-jpg.pdf>
6. Ernstson, K., Müller, W., Neumair, A. (2013) The proposed Nalbach (Saarland, Germany) impact site: is it a companion to the Chiemgau (Southeast Bavaria, Germany) impact strewn field?. - Meteoritics & Planetary Science 2013. <https://www.impact-structures.com/wp-content/uploads/2013/07/Poster-Nalbach-Chiemgau.pdf>
7. Müller, W. (2011) Prims: a possible Holocene meteorite impact crater in the Saarland region, West Germany. - <https://www.scribd.com/document/51477759/A-possible-Holocene-meteorite-impact-in-the-Saarland-region-West-Germany> (Adresse kopieren)
8. Müller, W. (2012) <https://www.scribd.com/document/110982627/Saarland-Impakt-mutma%C3%9Flicher-Meteoriteneinschlag-bei-Nalbach-Prims-Update>
9. Siegel, U., Müller, W., Michelbacher, S., Rommelfangen, J., Ernstson, K. (2022) Shatter Cones in Litemont Quartzites: Saarlouis/Nalbach (Saarland, Germany) Meteorite Impact Event Strengthened. Lunar & Planetary Science Conference LPSC 2022. <https://lpsc2022.ipostersessions.com/default.aspx?s=30-21-4F-EF-A3-78-1A-CD-EA-C0-01-6E-6A-E0-E1-01&guestview=true>
10. Siegel, U., Müller, W. (2025) Glass-like Carbon in the Nalbach/Saarlouis (Saarland, Germany) Proposed Touchdown Airburst Impact Event: Evidence of Shock Metamorphism of Organic Material. ACI. 2025. Vol. 3(1). DOI: 10.14293/ACI.2025.0005 <https://www.scienceopen.com/hosted-document?doi=10.14293/ACI.2025.0005>
11. <https://saarland-impakt.de/>