

ERNSTSON CLAUDIN IMPAKTSTRUKTUREN – METEORITENKRATER

Untersuchungen zur Geologie, Geophysik und Petrologie



**Die Schlitzer Kauten (Hessen) und das hochauflösende Digitale Geländemodell DGM 1:
ein Airburst-Impakt ereignis mit einem Krater-Streufeld**

Kord Ernstson, Jens Poßekel und Rudolf Auth

**The Schlitzer Kauten (Hesse, Germany) and the high-resolution Digital Terrain Model
DGM 1: a low-altitude airburst impact event with a crater strewn field**

August 2025

Die Schlitzer Kauten (Hessen) und das hochauflösende Digitale Geländemodell DGM 1: ein Airburst-Impaktereignis mit einem Krater-Streufeld

Kord Ernstson¹, Jens Poßekel² und Rudolf Auth³

[The Schlitzer Kauten (Hesse, Germany) and the high-resolution Digital Terrain Model DGM 1: a low-altitude airburst impact event with a crater strewn field]

Zusammenfassung. - Die drei Dekameter großen kesselförmigen Hohlformen der Schlitzer Kauten im hessischen Buntsandstein sind ein auffälliges geologisches Merkmal, das in der Vergangenheit verschiedene Deutungen der Entstehung erfahren hat. Eine neue Erkundung des Areals mit den enormen Möglichkeiten des Digitalen Geländemodells DGM 1 und seiner extremen Auflösung (bis in den Dezimeterbereich horizontal, bis in den Zentimeterbereich vertikal) zeigt, dass die Kauten selbst viel komplexer aufgebaut sind als bisher registriert, und dass sie zu einem ganzen Streufeld von Kratern der unterschiedlichsten Größen und Formen gehören. Die Interpretation der Entstehung sieht einen kosmischen Airburst nahe der Erdoberfläche mit einem ausgedehnten multiplen Impact ("low-altitude touchdown airburst impact"), der sich wahrscheinlich im Holozän ereignet hat. Eine Verwandtschaft zu ähnlichen holozänen Impaktereignissen in Deutschland und Tschechien ist unübersehbar. Bisherige Modelle der Entstehung der Kauten wie Einsturz-Strukturen oder fossile Pingos können ausgeschlossen werden.

¹Fakultät für Philosophie I, Universität Würzburg, 97074 Würzburg, (kernstson@ernstson.de); ²Geophysik Poßekel Mülheim (possekeltjens@gmail.com); ³Am Steinbruch 17, 36145 Hofbieber-Traisbach, (auth.rudolf@gmx.de)

Abstract. - The three decameter-wide, kettle-shaped hollow formations of the Schlitzer Kauten in the Hessian Lower Triassic Buntsandstein field are a striking geological feature that has been interpreted in various ways in the past. A new exploration of the area using the enormous possibilities offered by the digital terrain model DGM 1 and its extreme resolution (down to the decimeter range horizontally and the centimeter range vertically) shows that the Kauten themselves are much more complex in structure than previously recorded and that they belong to an entire strewn field of impact features of various sizes and shapes. The interpretation of their formation involves a cosmic airburst near the Earth's surface with an extensive multiple impact ("low-altitude touchdown airburst impact"), which probably occurred in the Holocene. A connection to similar Holocene impact events in Germany and the Czech Republic is obvious. Previous models of the formation of the depressions, such as collapse structures (sink holes) or fossil pingos, can be ruled out.

1 Einführung

Die kesselförmigen Hohlformen, die "Schlitzer Kauten", befinden sich im hessischen Landkreis Vogelsberg. Die auffallenden Vertiefungen, die in einem Waldgebiet südwestlich der Ortschaft Hemmen liegen (Abb. 1), haben Durchmesser von ca. 90 m, 45 m und 30 m und wurden 1996 von M. Schütz in einem speziellen Projekt "Schlitzer Kauten" vermessen [0]. Das Wort "Kaute" kommt aus dem Althochdeutschen und ist eine Bezeichnung für Vertiefung oder Mulde. Die Kauten wurden bisher als Erdfälle [1] und als fossile Strukturen eiszeitlicher Pingos [2] gedeutet.

Eine Neubetrachtung erfuhr die Diskussion durch Auth [3], der die Kauten als Meteoritenkrater vermutete. Er begründet seine Annahme unter anderem mit ihrer gemeinsamen Lage auf einer Linie, die sukzessive Größenzunahme von NW nach SE und mit der Wallstruktur an der Teufelskaute, der größten der drei Kauten. Von Tiirma und Czegka [4] werden sie dann auch als mögliche holozäne Impaktstrukturen gedeutet.

In einer Diplomarbeit an der Universität Würzburg von 2007 [5] sind die Kauten Gegenstand umfangreicher Untersuchungen der Geologie, Geophysik und Petrographie mit dem Ziel, die bisherigen Modelle der Entstehung zu überprüfen. Das Ergebnis lässt eine eindeutige Zuordnung offen und führt das Auftreten einer erhöhten Bruchhäufigkeit in Dünnschliffen von Quarzen der Sandsteine im Inneren der Teufelskaute als mögliches Impakt-Indiz aber auch eine tektonische Ursache an.

Eine Wiederaufnahme der Impakt-Hypothese wird 2022 von Auth publiziert [6].

Mit den neuen Möglichkeiten der extrem hochauflösenden Digitalen Geländemodelle erweist sich der Komplex der drei Kauten in einem ganz neuen Licht, das an die bisherigen Impakt-Vorstellungen anknüpft, aber das Geschehen in einem weitaus größeren Zusammenhang sieht, über den hier berichtet wird.

2 Topografie

Die Lage der Kauten befindet sich inmitten von Deutschland im Bundesland Hessen (Abb.1) mitten in einem größeren Waldgebiet, was bei den enormen Vorzügen des Digitalen Geländemodells eine wesentliche Rolle spielt.

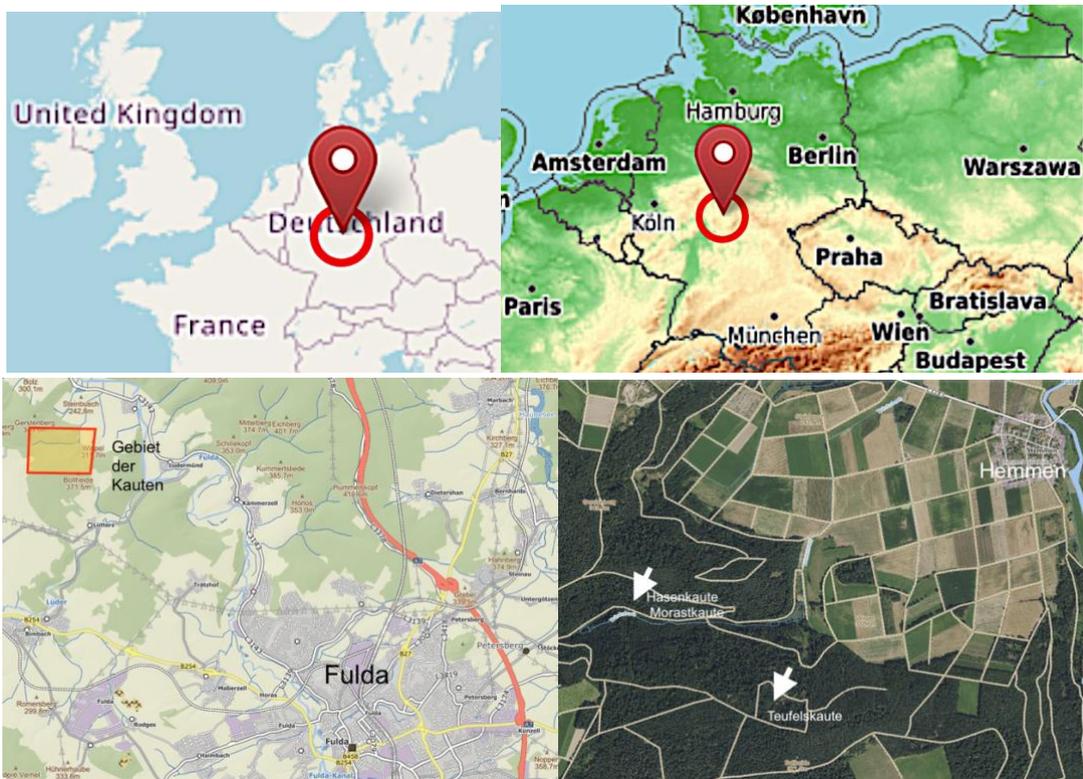


Abb. 1. Lagepläne für das Untersuchungsgebiet. Google Maps und OpenTopoMap.

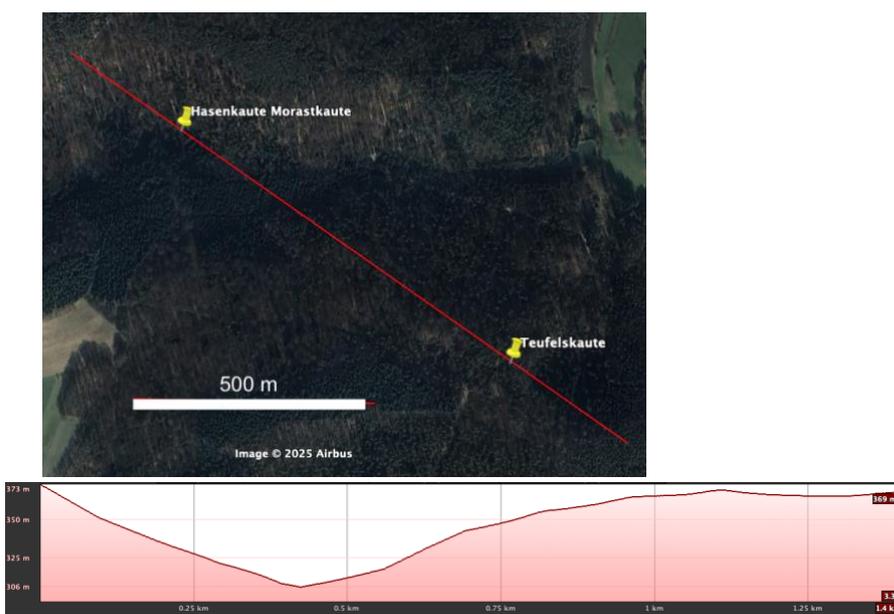


Abb. 2. Die Lage der Kauten im Luftbild mit Geländeprofil; Google Earth.

3 Geologie

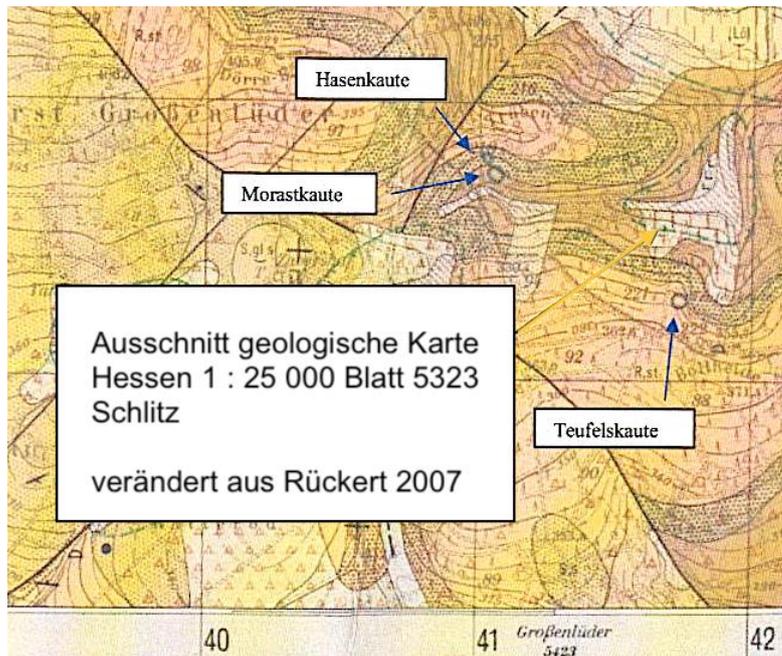


Abb. 3. Die geologischen Einheiten im Areal der Kauten zeigen anstehenden Mittleren Buntsandstein weitestgehend ohne jüngere Überdeckung. Die einzelnen stratigraphischen Abschnitte beschreibt Rückert [5] in Bezug auf die Kauten, was im Zusammenhang hier entbehrlich ist. Im Hinblick auf einen tektonischen Zusammenhang der Kauten-Bildung mit tiefgreifenden Lösungsprozessen im Zechstein-Salinar zeigt sich kein Zusammenhang mit den kartierten Hauptstörungen.

4 Das Digitale Geländemodell DGM 1 und Datenprocessing

Das DGM 1 beschreibt die Geländeoberfläche mit Datensätzen eines dreidimensionalen Koordinatensystems mit Rechts (X)- und Hochwerten (Y) der UTM-Netze bzw. von geographischer Länge und Breite, sowie der Geländehöhe (Z) über NHN an regelmäßigen Gitterpunkten. Die Daten werden aus einer Befliegung mit einem Laserscanning (LiDAR, engl. light detection and ranging) gewonnen, wobei aus den Primärsignalen des DOM (= digitales Oberflächenmodell) durch ein Datenprocessing alle Gebäude und die Vegetation herausgerechnet werden, sodass das DGM selbst in Waldgebieten die Oberfläche des Bodens sehr genau wiedergibt. Die Lagegenauigkeit der Punkte beträgt beim DGM 1 ca. $\pm 0,5$ m bei einer Höhengenaugigkeit besser als $\pm 0,1$ m, was durch Interpolation weiter verringert werden kann.

Abb.4 zeigt die topographische Karte des DGM 1 für die vier 1 km x 1 km Kacheln, die das Untersuchungsgebiet überdecken. Der Abstand der Höhenlinien ist hier mit 5 m noch recht grob und lässt die drei Kauten allenfalls erahnen.

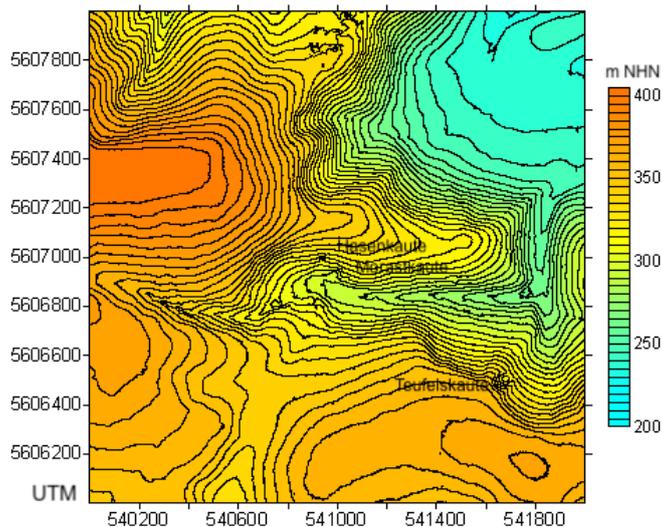


Abb. 4. Die topographische Karte des DGM 1, die das hier untersuchte Gebiet abdeckt.

4.1 Datenprocessing

Die hier diskutierten Geländebilder für das Kauten-Einschlagsfeld basieren in allen Fällen auf dem deutschen DTM (DGM 1) mit einer Maschenweite von 1 m und einer Höhenauflösung von ca. 0,1 - 0,2 m im UTM-Koordinatensystem. Durch einfache Datenverarbeitung lassen sich die Standards durch Interpolation in den Dezimeter- und Zentimeterbereich reduzieren. Die bekannteste Übertragung der DTM-Daten erzeugt topografische Karten auf der Grundlage beliebiger Konturintervalle. In Abb. 4 ist eine solche topografische Übersichtskarte mit einem Konturintervall von 5 m für das gesamte hier untersuchte Gebiet mit den Abmessungen 2 km x 2 km dargestellt.

4.2 Daten-Filterung

Die 2D-Datenfilterung bietet verschiedene Möglichkeiten für die DTM-Verarbeitung, ausgehend von dem Konzept, dass das Gelände aus der Überlagerung verschiedener Höhenwellenlängen besteht. Tiefpassfilter verstärken allgemeine topografische Trends, während Hochpassfilter kleinere, lokale topografische Merkmale hervorheben. Durch die Filterung entstehen keine neuen Felddaten, aber bestimmte Geländemerkmale können für das Auge besser sichtbar gemacht werden. Häufig können kleine Unebenheiten allgemeine Geländetrends, die von Interesse sind, weitgehend verdecken, und ein einfacher Tiefpassfilter kann hier Abhilfe schaffen. Ein aus der Geophysik (z. B. Schwerkraft- und Erdmagnetfelder) übernommenes Verfahren kann auch bei der DTM-Datenverarbeitung hilfreich sein, um lokale Anomalien von einem allgemeinen Trend in einem Feld von Konturlinien zu trennen. In der Gravimetrie kann beispielsweise aus den Messdaten durch verschiedene Verfahren ein regionales Trendfeld abgeleitet werden, und durch Subtraktion des regionalen Feldes vom Messfeld wird das lokale oder Restfeld zum Hauptgegenstand

des Interesses. Dieses Verfahren kann für die DTM-Datenverarbeitung kopiert werden, wenn man lokale topografische Merkmale von einem allgemeinen Trend in der Geländehöhe trennen möchte. Zwei Beispiel für die Kraterbewertung sind in den Abb. 5 und 6 dargestellt.

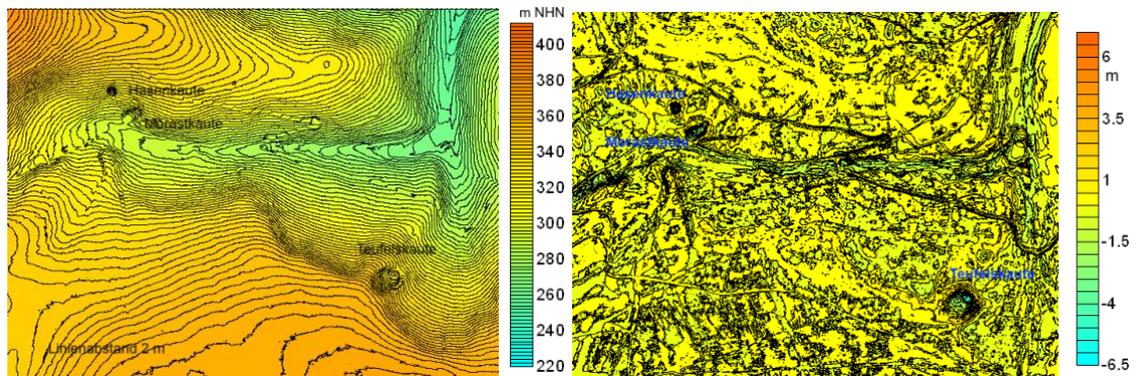


Abb. 5. Ausschnitt der topographischen Originalkarte des DGM 1 mit der Fokussierung auf die drei Kauten. Rechts: das topographische Restfeld nach Abzug eines Trendfeldes (2D Tiefpassfilter, gleitendes Mittel).

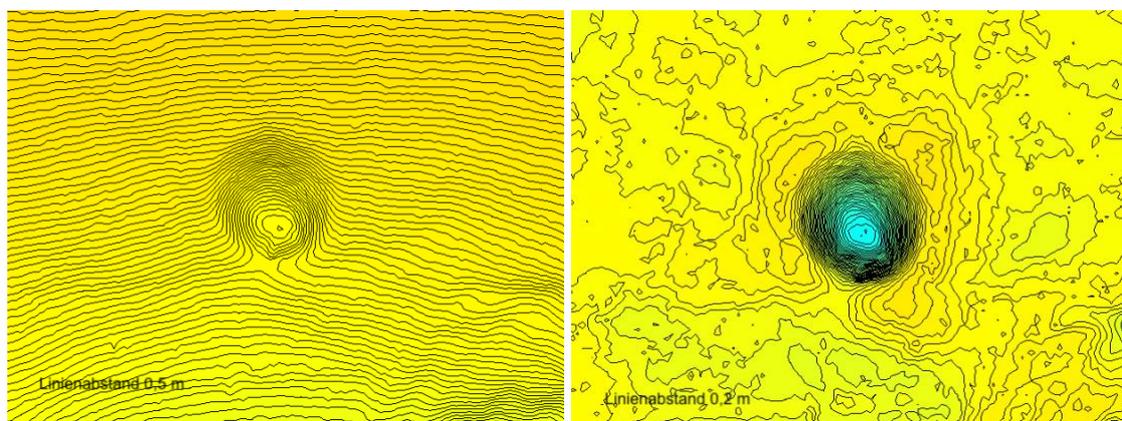


Abb. 6. Die Hasenkaute im DGM 1: links die Original-Topografie, rechts im DGM 1-Restfeld. Nach Abzug des Geländetrendfeldes wird der umschließende Ringwall klar sichtbar.

4.3 3D-Blockdarstellungen der Geländeoberfläche; schattierte Reliefkarten

Die Erstellung einer 3D-Oberfläche aus den digitalen Daten liefert eine anschaulichere Darstellung des Geländes, insbesondere für die Visualisierung von komplexeren Kratern, wie in Abb. 8 für den Krater der Hasenkaute gezeigt. In geeigneten Datenverarbeitungsprogrammen können beliebige Farben und Abstufungen ausgewählt und ein Höhenraster überlagert oder weggelassen werden.



Abb. 7. Schattierte Reliefkarte der beiden nördlichen Kauten.

Schattierte Reliefkarten, die digital aus verschiedenen Richtungen und unter verschiedenen Einfallswinkeln aufgehellrt werden können, heben beliebige topografische Merkmale hervor und liefern eine ähnliche 3D-Visualisierung der Geländeoberfläche. Die schattierte Reliefkarte in Abb. 7 zeigt die Krater der Hasenkaute und Morastkaute in ihrer etwas größeren Umgebung als deutliche Anomalie, jedoch nicht so eindrucksvoll wie in der 3D-Oberflächenkarte (Abb. 8). Die besondere Bedeutung schattierter Reliefkarten liegt in ihrer Eigenschaft, einen schnellen Überblick über ausgewählte Merkmale auch auf größeren Gebieten zu ermöglichen.

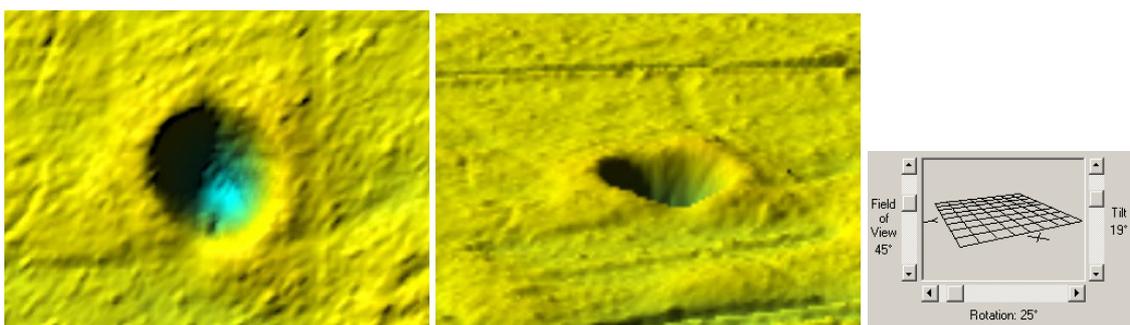


Abb. 8. Die Hasenkaute in der DGM 1-Restfeldkarte; Blick zentriert von oben und Schrägblick nach Nordosten. Man beachte die starke Überhöhung in den Karten.

5 Ergebnisse

Die Untersuchungen mit dem DGM 1 habe eine Fülle von Ergebnissen erbracht, für die es wichtig erscheint, dass in ihrer Zusammenstellung die Übersicht nicht verloren geht. Deshalb wird darauf verzichtet, die Häufung von Abbildungen in einen verbindenden Text zu integrieren. Stattdessen werden allein die zugehörigen Abbildungen aneinandergereiht, die jeweils mit mehr oder minder langen Texten als "Bildunterschriften" kommentiert werden. Bei allen Abbildungen ohne Skalierung handelt es sich stets um Meter-Angaben.

5.1 Die Teufelskaute

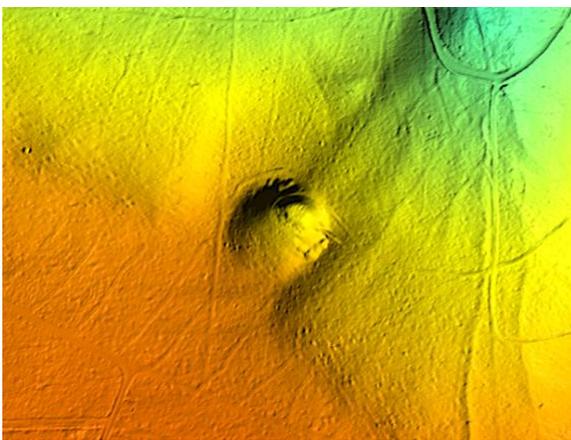


Abb. 9. Die Teufelskaute in der DGM1-Originalkarte der Geländeoberfläche. Der Ringwall der Kaute mit dem Gürtel von Auswurfmassen kommt deutlich zum Ausdruck.

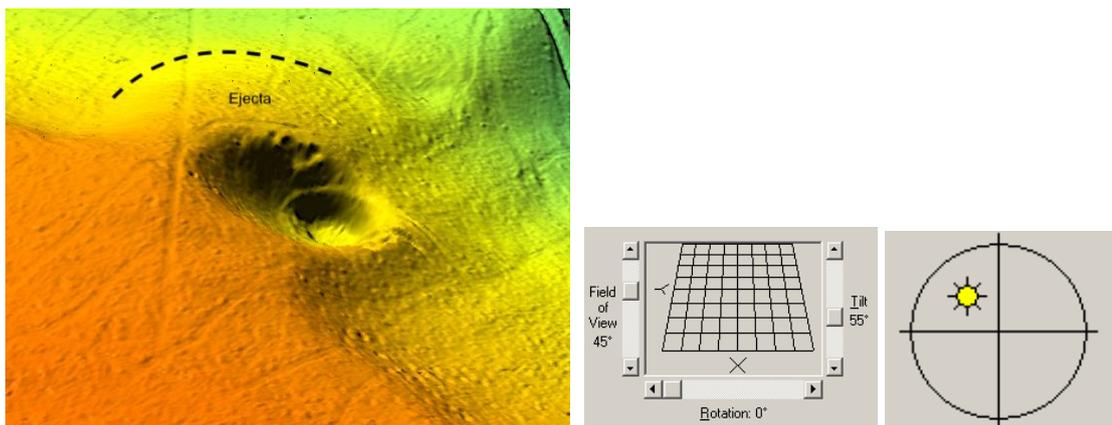


Abb. 10. Dieselbe Oberflächenkarte der Teufelskaute mit Schrägblick nach Norden und Beleuchtung von NW. In dieser nicht weiter modifizierten Karte zeigt sich deutlich, dass die Kaute tatsächlich ein Doppelkrater ist, was später diskutiert wird. Auch der breitere Gürtel der Auswurfmassen (Ejecta) wird hier besonders hervorgehoben.

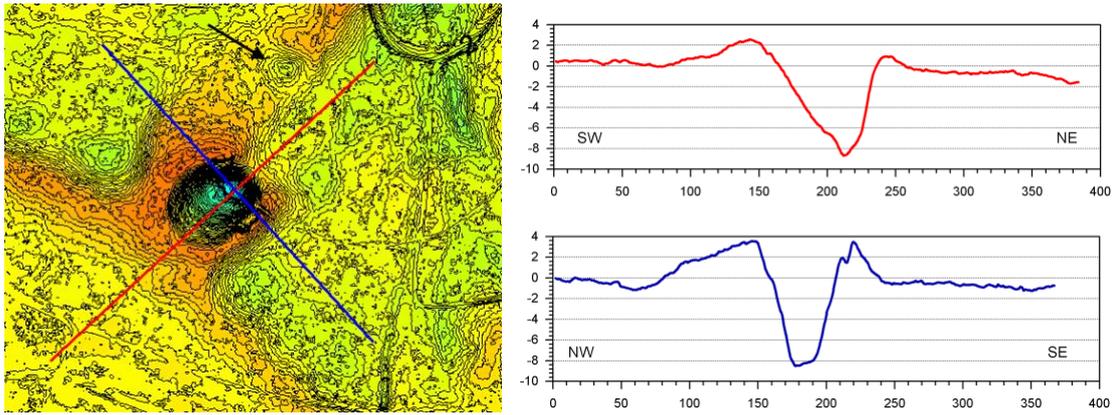


Abb. 11. Die Maße der Teufelskaute in Längs- und Querprofilen mit 100 m in der Länge und ca. 80 m in der Breite, jeweils wie üblich bezogen auf die Wallkrone. Beim Längsprofil zeigt sich in der Abstufung des Kessels nach Nordosten auch der Doppelkrater der Abb. 10.

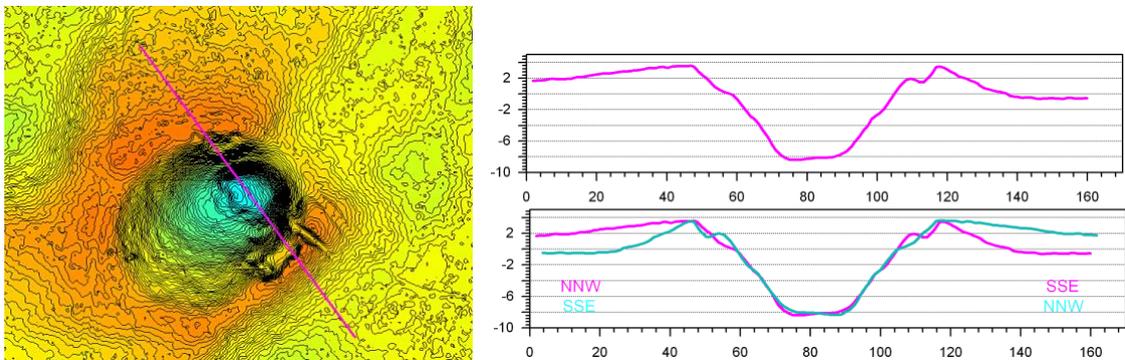


Abb. 12. Das DGM 1-Höhenprofile über die kleinere Struktur des Doppelkraters in Abb. 10. Bemerkenswert ist die praktisch deckungsgleiche Überlagerung des NNW-SSE-Profiles (pink) mit dem gespiegelten SSE-NNW-Profil (türkis). Die fast perfekte Symmetrie über die Ringwälle über 80 m Länge mit Abweichungen der Höhen im Dezimeterbereich bis maximal 1 m schließt endogene geologische Prozesse der Entstehung der Teufelskaute aus.

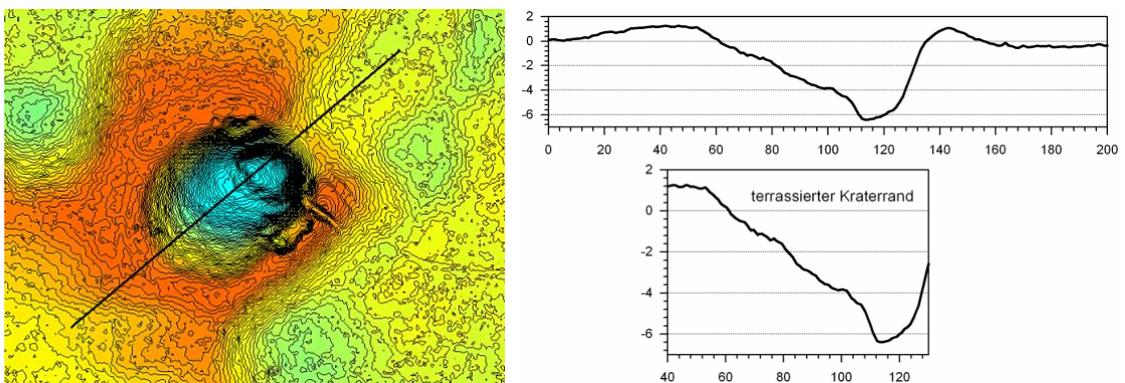


Abb. 13. Das Längsprofil über den Teufelskauten-Kraterrand mit einer deutlichen Terrassierung dürfte mit der Exkavation des Kraters und einer Reaktion auf den geschichteten Buntsandstein-Untergrund unterschiedlicher Festigkeit zusammenhängen.

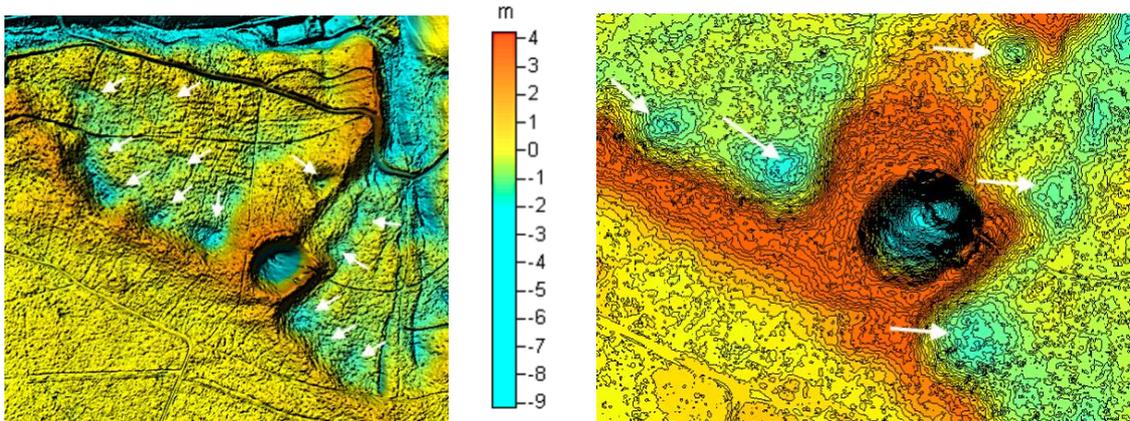


Abb. 14. Die Teufelskaute im Restfeld des DGM 1 als Teil einer ganzen Schar begleitender kleinerer Kraterstrukturen. Rechts ein vergrößerter Ausschnitt.

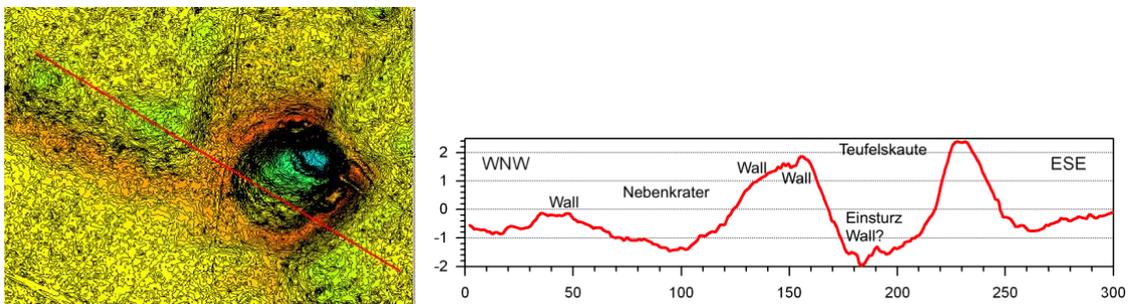


Abb. 15. Die Teufelskaute und ein unmittelbar benachbarter Nebenkrater. Im Verlauf des Profils überschneiden sich die Wälle der beiden Krater offensichtlich und haben zu Einsturzmassen in der Teufelskaute geführt

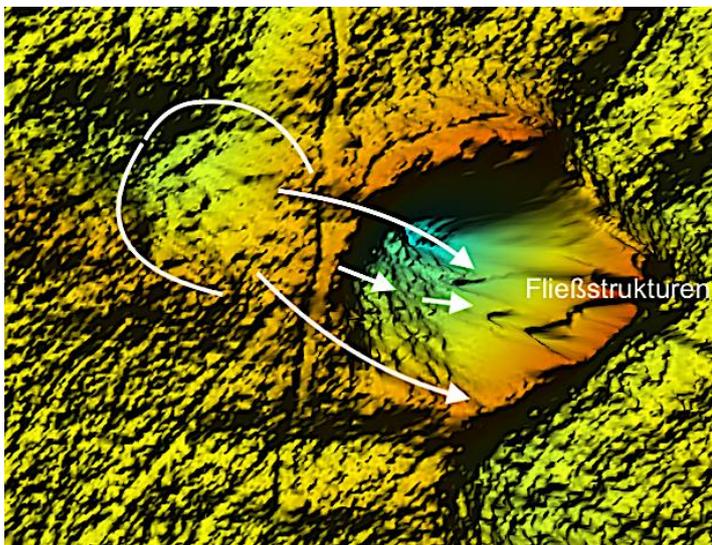


Abb. 16. Teufelskaute und Nebenkrater im DGM 1 3D-Oberflächenmodell. Der mehr oder weniger gleichzeitige Einschlag hat vermutlich zu einer Instabilität im Kontakt bei der Entstehung der beiden Ringwälle und zu einem Massenfluss in die Kaute geführt. Die blockartige Umgebung der Krater (hier morphologisch extrem überhöht) dürfte den Auswurf beim Impact markieren.

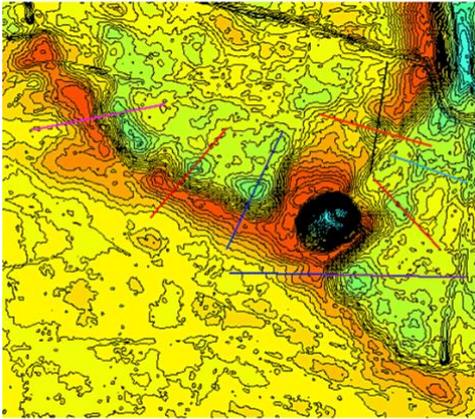


Abb. 17. DGM 1 topographische Profil-Entnahmen für Begleitkrater der Teufelskaute. Die Profilarben korrespondieren jeweils mit den Farben der Profile in den folgenden Abbildungen.

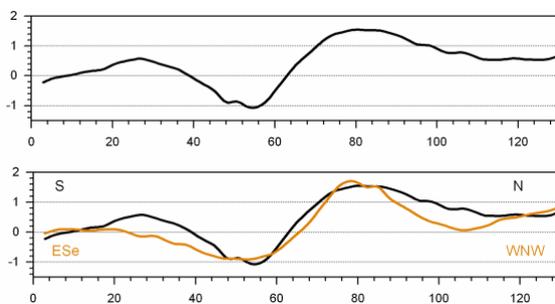


Abb. 18. Die beiden sich kreuzenden Profile (schwarz und rot) über den isolierten Krater nne' der Teufelskaute. Die fast passgenaue Überlagerung verdeutlicht die Kreissymmetrie der umwallten Struktur.

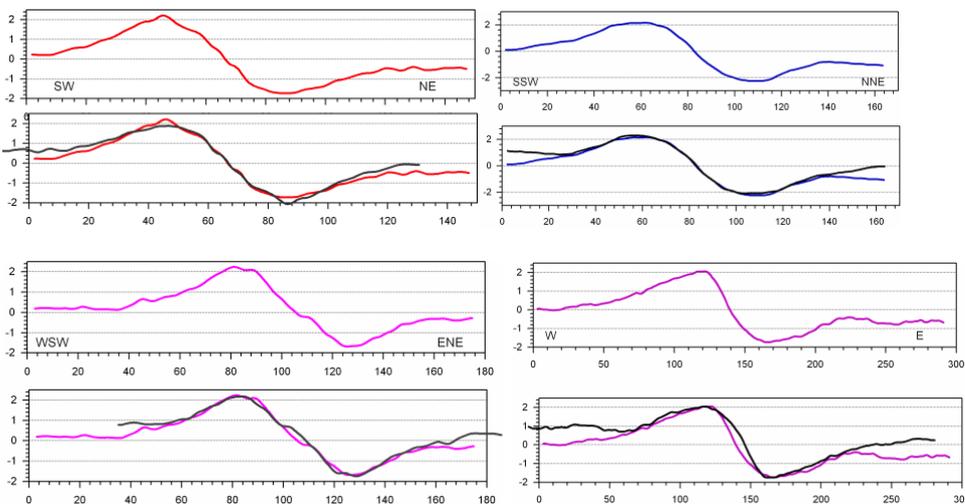


Abb. 19. Die Zusammenstellung der vier DGM 1-Profile zeigt eine bemerkenswerte Besonderheit. Alle vier Profile in der jeweiligen oberen Abbildung zeigen eine bipolare morphologische Plus-Minus-Anomalie. Spiegelt man die Profile sowohl horizontal als auch vertikal, so erhält man in einer Überlagerung aller vier Profile praktisch deckungsgleiche Verläufe für die Zentren der Strukturen, was Abb. 20 noch mal verdeutlicht.

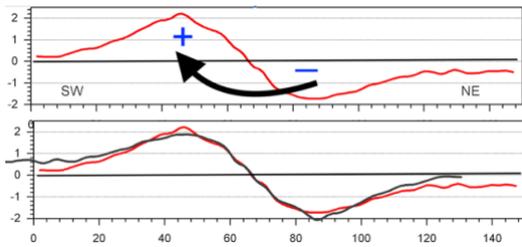


Abb. 20. Die Überlagerung mit den horizontal und vertikal gespiegelten Profilen macht klar, dass bei der Bildung der bipolaren Strukturen volumenmäßig exakt das Material der ausgehobenen grob 50 m großen Grube im direkt anschließenden Wall identischer Geometrie aufgetürmt wurde. Das ist offensichtlich kein zufälliger einzelner Befund, sondern ein systematisch ablaufender Prozess, wie er noch diskutiert wird.

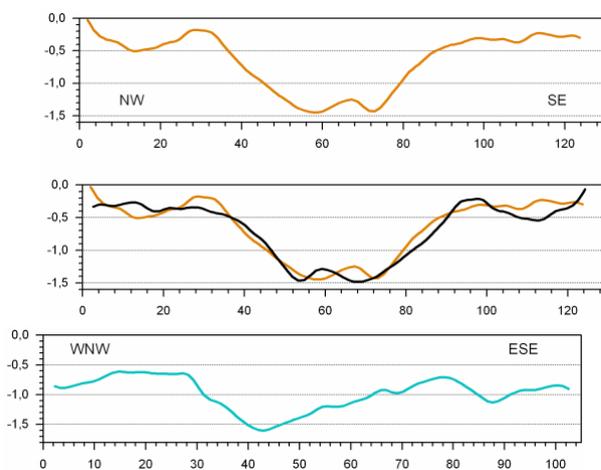


Abb. 21. Andere Kraterformen. Links: Der Krater direkt östlich an die Kaute anschließend (rot) mit überlagertem gespiegeltem Profil als Ausdruck fast perfekter Symmetrie. Die zentrale Erhebung ist regelmäßig von den anderen Airburst-Kraterfeldern als Wassertropfen-Modell wohlbekannt. Rechts: Unsymmetrisch gelängter Krater (türkis), nördlich an den vorherigen Krater anschließend.

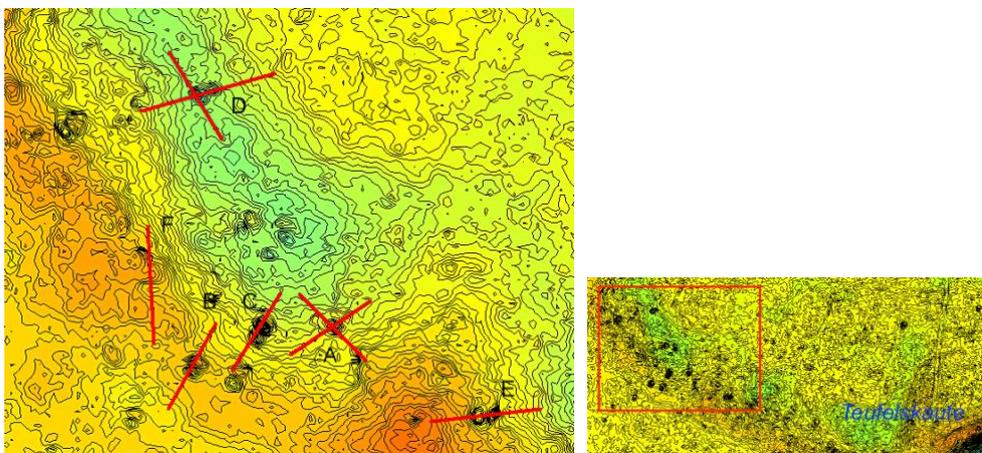


Abb. 22. Cluster grob gleichgroßer kleinerer Strukturen verschiedener Formen in einem Streifen zwischen der Teufelskaute und den beiden anderen Kauten mit den markierten DGM 1-Profilen.

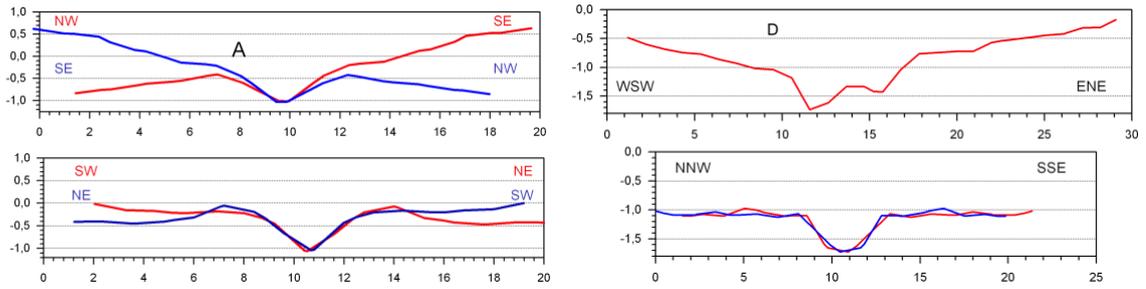


Abb. 23. Links: Die sich kreuzenden diametralen Profile mit ihren überlagerten Spiegelbildern. Rechts: Profil über den Doppelkrater (oben) und Querprofil mit überlagertem Spiegelung (unten). Die perfekte Symmetrie ist augenfällig.

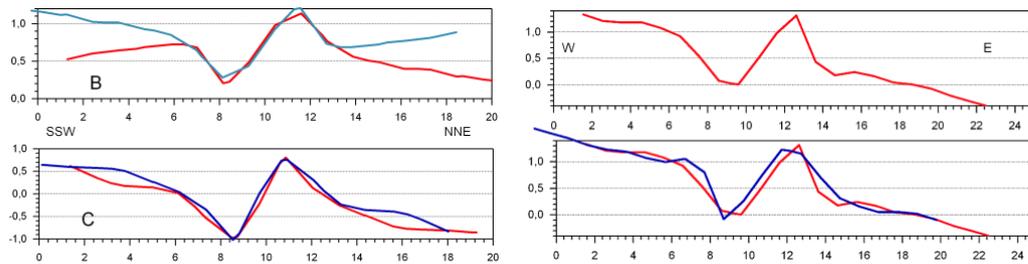


Abb. 24. Bipolare Strukturen mit überlagerten horizontal und vertikal gespiegelten Profilen. Wie bei Abb. 19 ist die volumemäßig fast perfekte geometrische Übereinstimmung von Massenaushub und Wallablagerung bemerkenswert. Rechts Profil E.

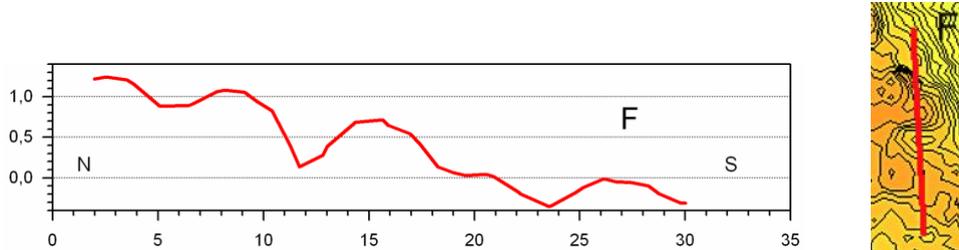


Abb. 26. Wellenförmige Aneinanderreihung von Buckeln und Mulden.

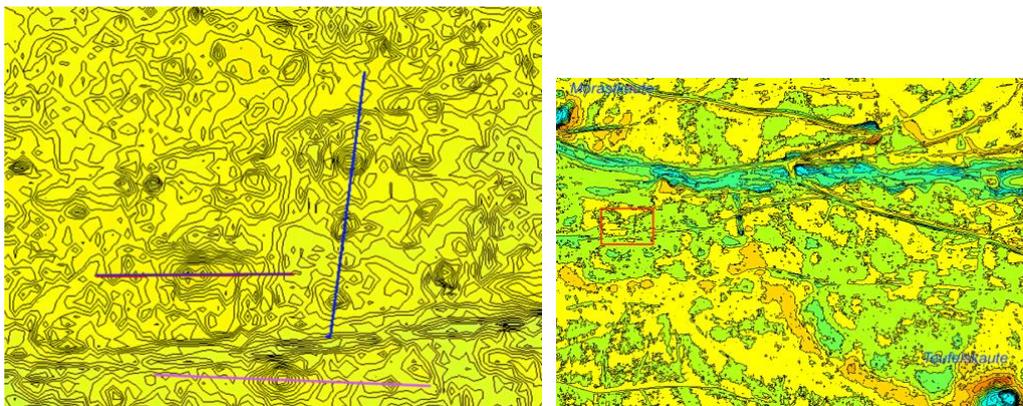


Abb. 27. Cluster von buckeligen Strukturen zwischen Teufelskaute und den beiden anderen Kauten mit einigen Höhenprofilen in Abb. 28. Skalierung gemäß Abb. 28. Abstand der Höhenlinien links 5 cm.

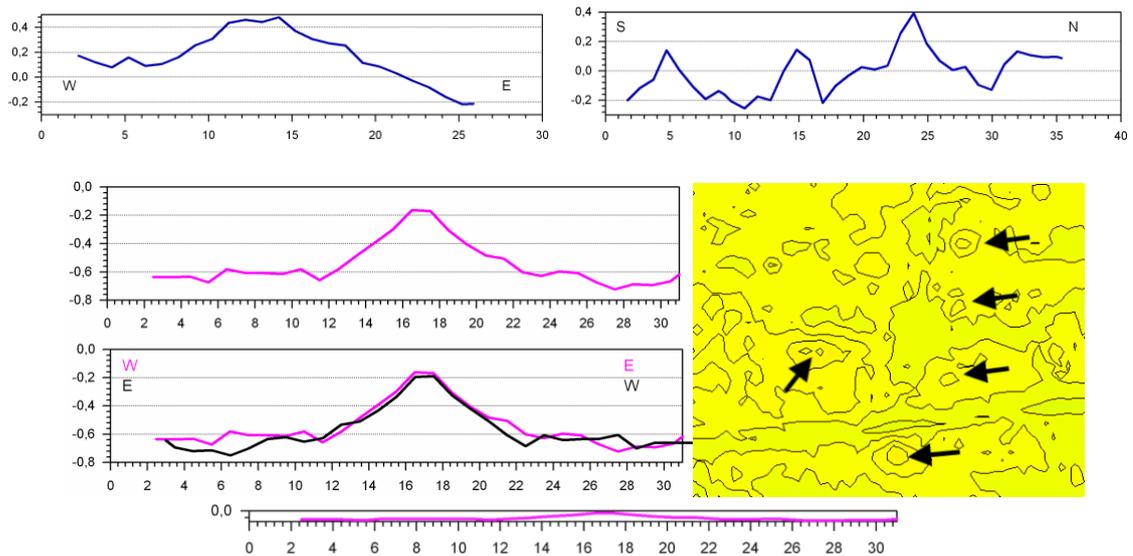


Abb. 28. Auswahl von Profilen über Buckelstrukturen. Unten links (pink): Fast perfekte Symmetrie in der Überlagerung mit dem diametral gespiegelten Profil. Offenbar charakteristisch die Form umgestülpter Trichter. - Im Vergleich zu Abb. 27 ist hier in der Karte unten rechts der Abstand der Höhenlinien 20 cm. Das ist eine wichtige Aussage, da sie vermittelt, dass diese signifikanten Buckelstrukturen dem Auge morphologisch verborgen bleiben, zumal innerhalb der teilweise dichten Vegetation des Waldes. Das DGM 1-Höhenprofil darunter ohne Überhöhung unterstreicht das.

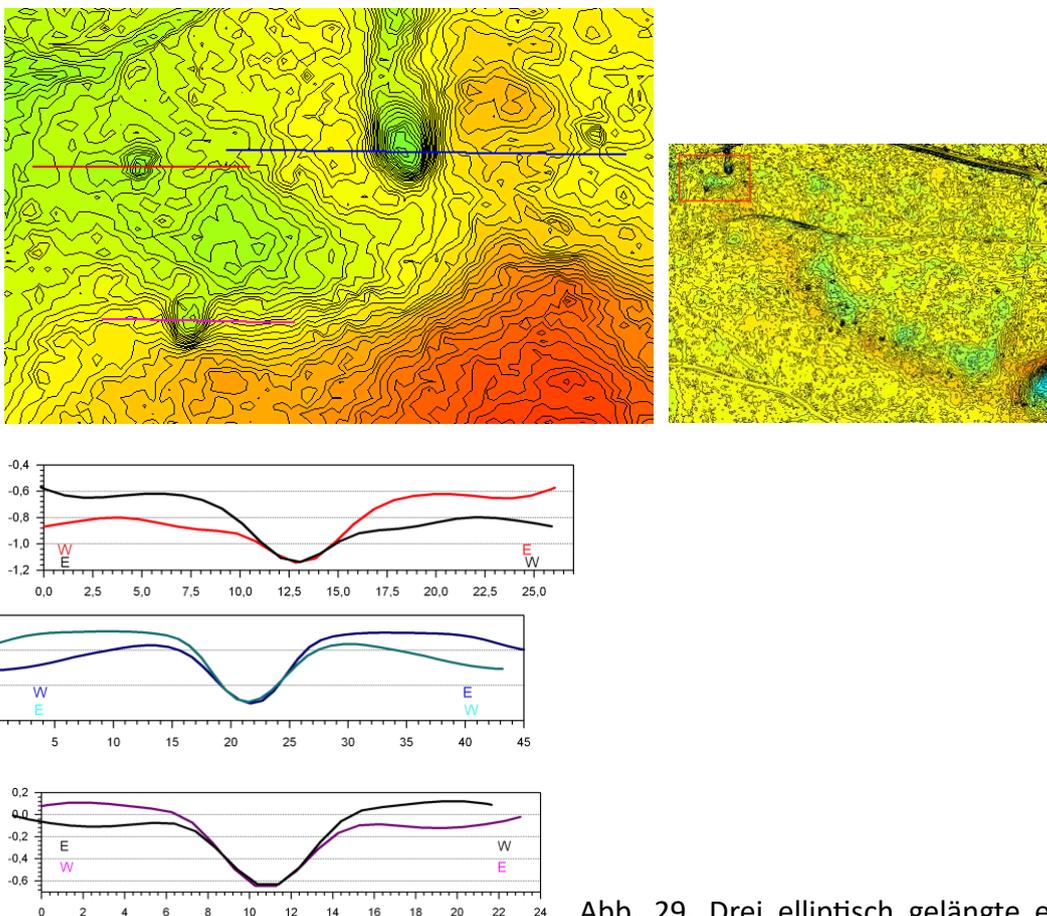


Abb. 29. Drei elliptisch gelängte einfache Krater mit perfekt symmetrischer innerer Kraterstruktur auf den Querprofilen.

5.2 Die Morastkaute

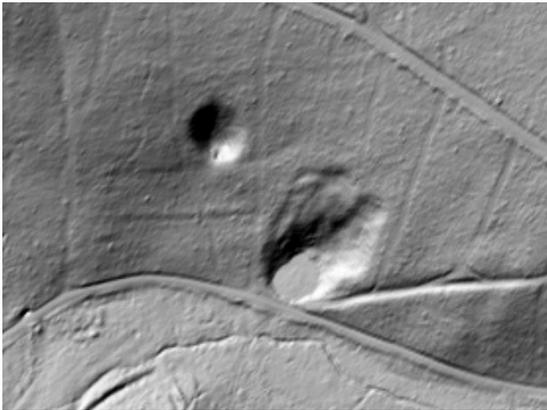


Abb. 30. Die Morastkaute zusammen mit der Hasenkaute in der Karte des schattierten Reliefs. Beleuchtung von NW.

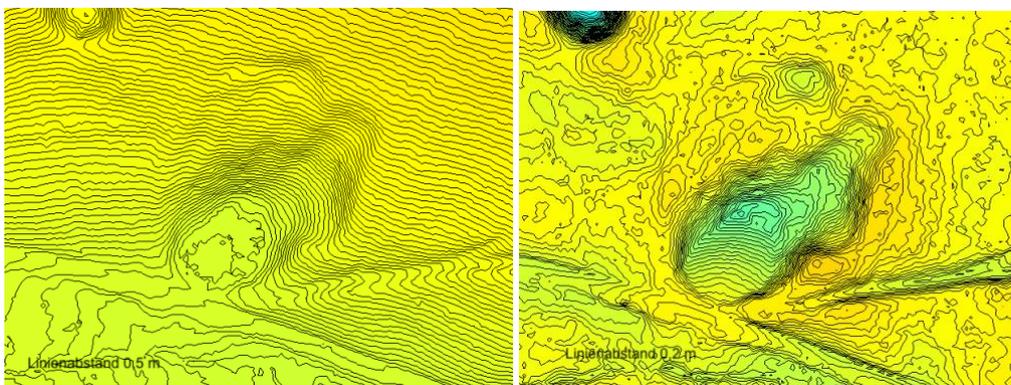


Abb. 31. Die Morastkaute in der originalen topographischen Höhenkarte des DGM 1 und nach Abzug eines Trendfeldes mit der Zentrierung auf ein Nullniveau. Die komplexe Struktur eines multiplen aufgereihten Einschlags mit einem kleinen externen weiteren Krater im NW ist offensichtlich. Das Restfeld nach Abzug eines Trendfeldes hebt insbesondere auch den die gesamte Struktur umschließenden Ringwall hervor.

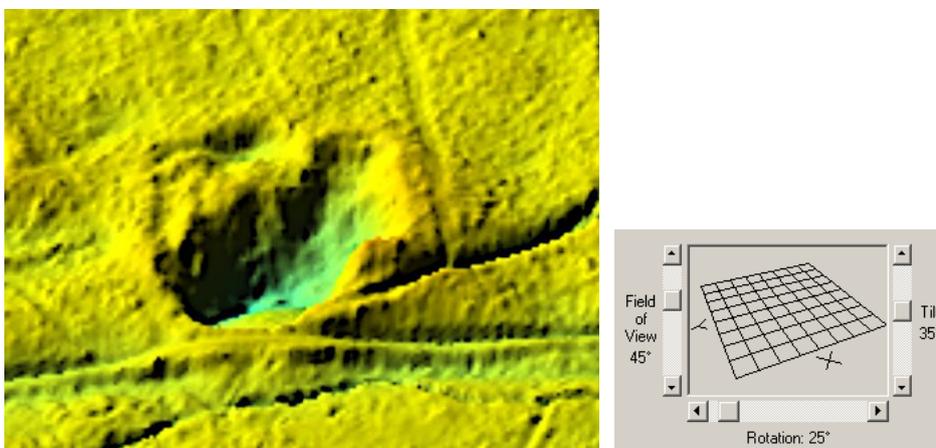


Abb. 32. Die Morastkaute in einer 3D Darstellung mit Schrägansicht vermittelt die komplexe multiple Impact-Struktur, wie sie bisher nicht in Ansätzen realisiert worden ist.

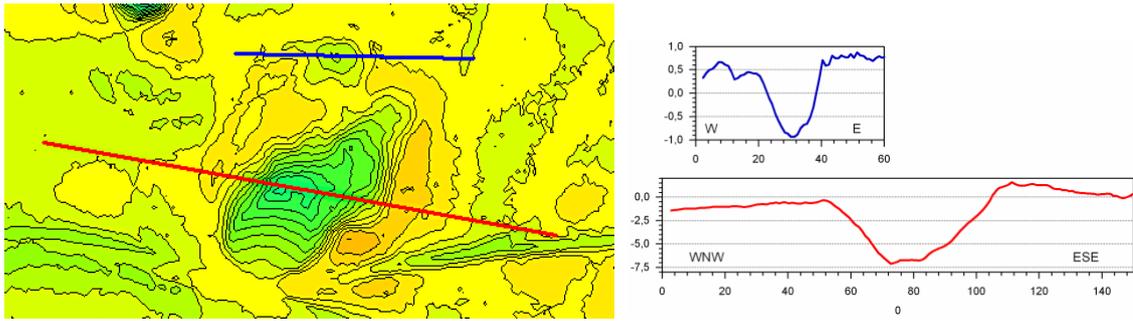


Abb. 33. Die rund 60 m breite Hauptstruktur und der ca. 25 m messende Begleitkrater (jeweils Wallkrone).

5.3 Die Hasenkaute

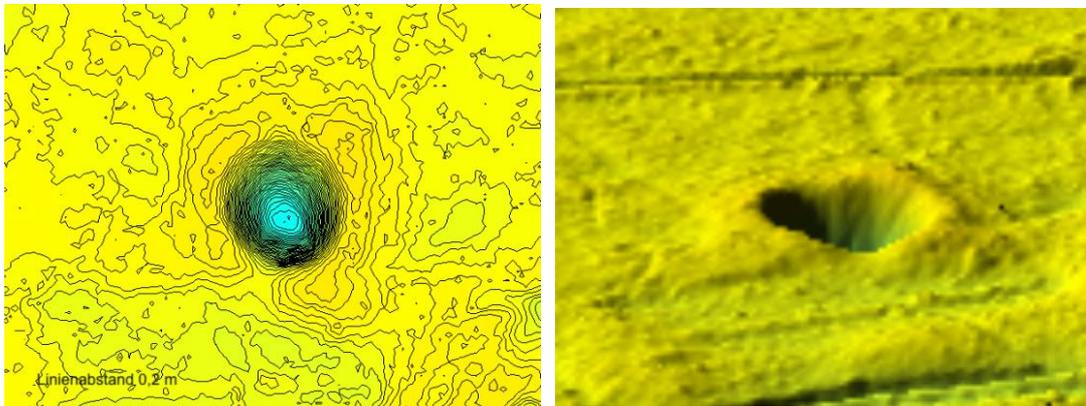


Abb. 34. Der relativ einfach geformte Krater der Hasenkaute in der DGM 1 topografischen Karte und in einer Schrägansicht der (stark überhöhten) Geländeoberfläche mit dem exponierten Ringwall.

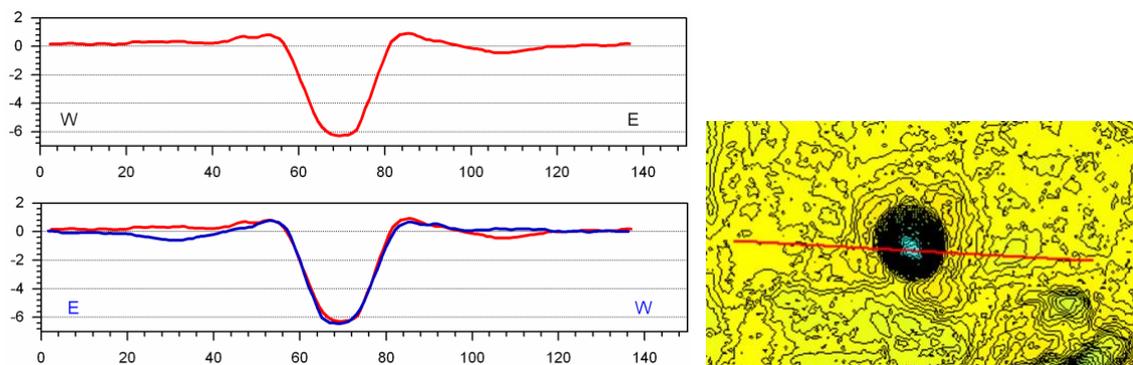


Abb. 35. Der 35 m-Krater der Hasenkaute zeigt nahezu perfekte Symmetrie eines diametralen Höhenprofils. Unübersehbar ist eine äußere flache Ringmulde um den Wall.

5.4 Begleitkrater

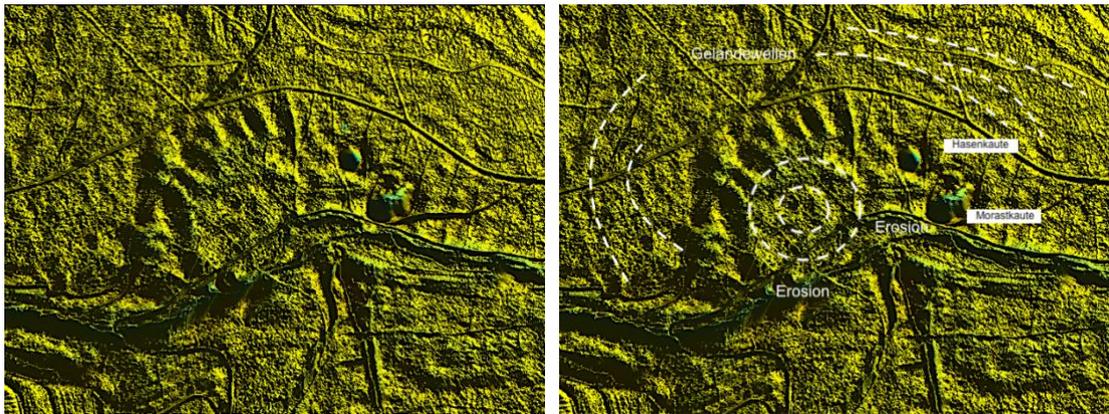


Abb. 36. In direkter Nachbarschaft zu Hasen- und Morastkaule zeigt das DGM 1 eine ungewöhnliche Ringstruktur mit partiellem, grob radial angeordnetem morphologischen Rippenrand (DGM 1 Geländeoberfläche, stark überhöht).

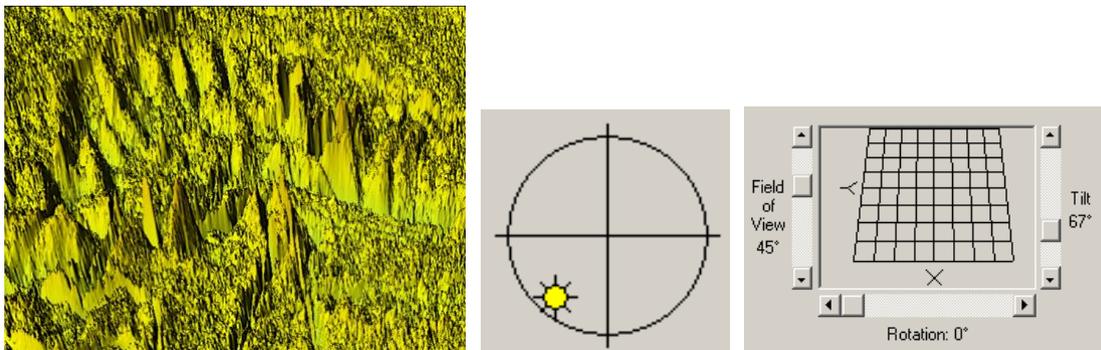


Abb. 37. Mit den Möglichkeiten des DGM 1 gelingt ein präzises, hochauflösendes Bild der Rippenstruktur. Beleuchtung der Oberfläche und leichte Schrägansicht.

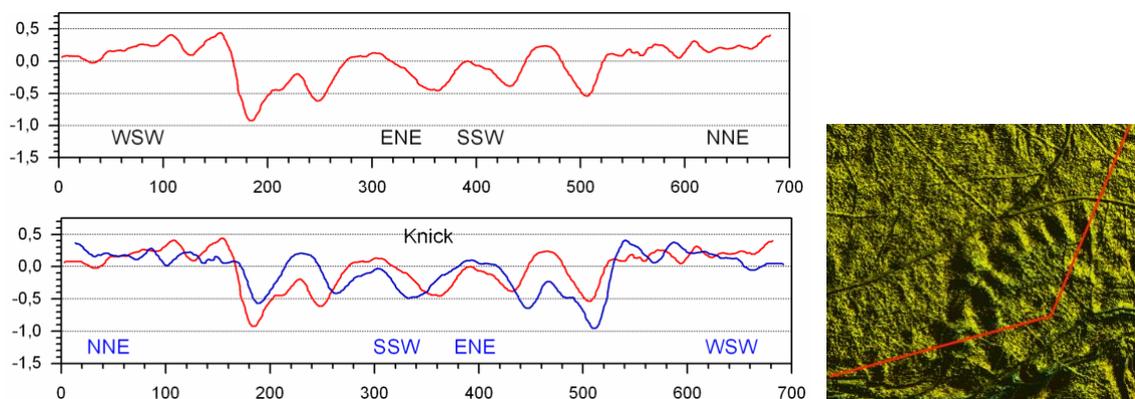


Abb. 38. Mit dem abgeknickten radialen Profil deutet sich eine grob 400 m messende multiple Ringstruktur an.

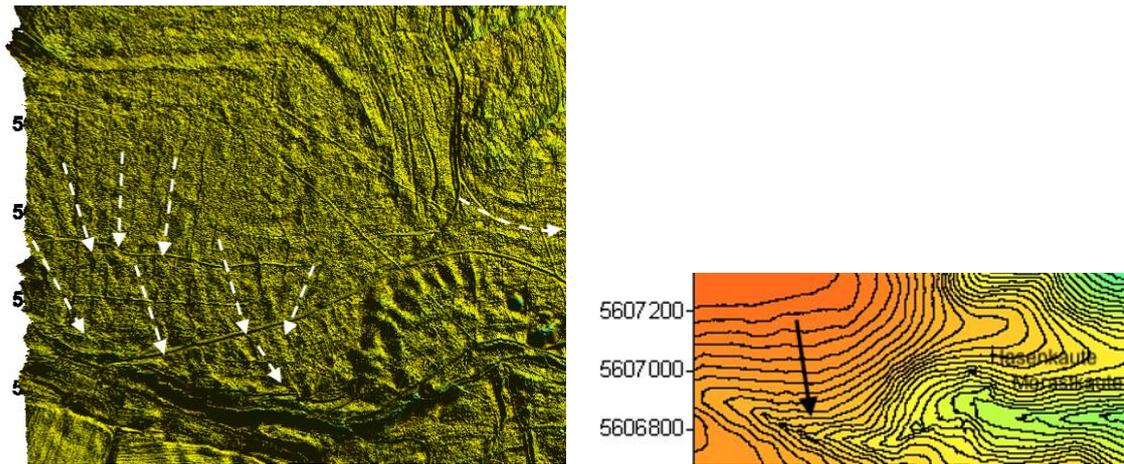


Abb. 39. Weitere Rippenstrukturen erfasst das DGM 1 etwas weiter im Westen. Da ihre Streichrichtung im Hangfallen verläuft (siehe rechts), handelt es sich nicht um erosiv herauspräparierte Schichtung im Buntsandstein. Diese Rippenbildung wird später noch diskutiert.

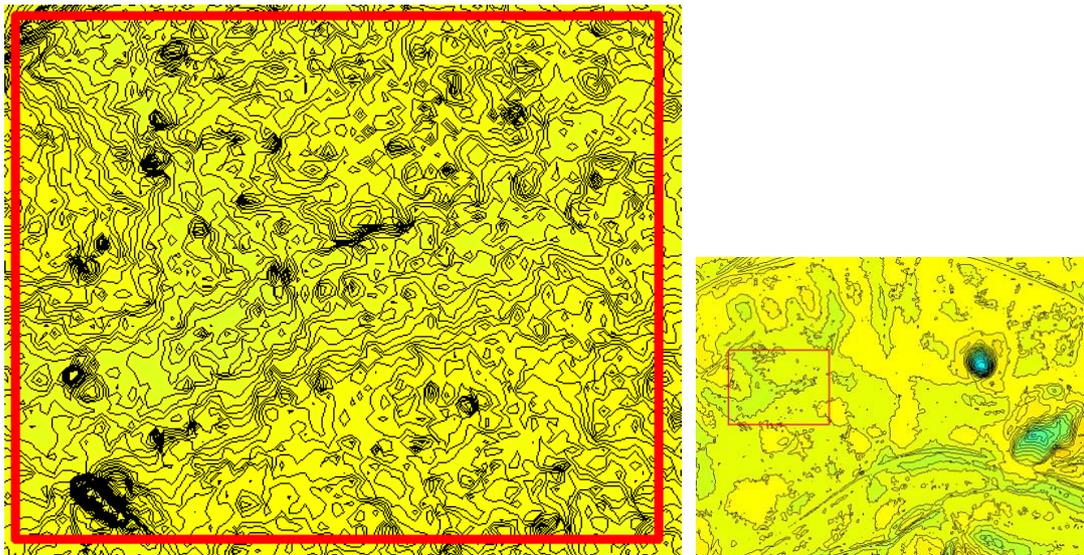


Abb. 40. Auch in westlicher Fortsetzung der Kauten existieren Cluster komplexerer kleiner Kraterstrukturen mit zwei Beispielen in Abb. 41 und in Abb. 42.

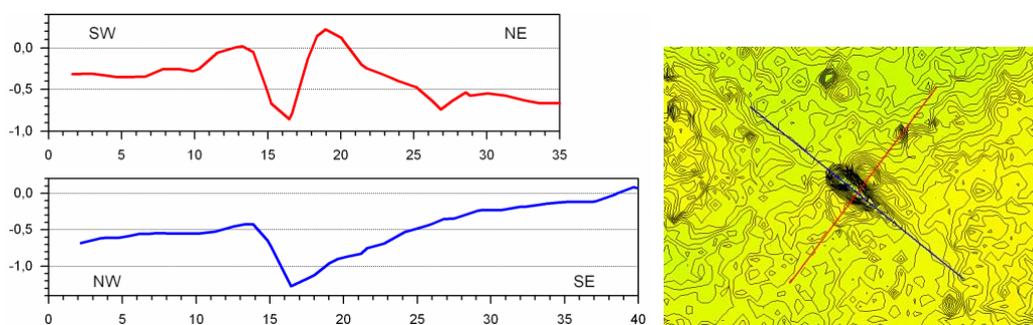


Abb. 41. Eine kleine umwallte Kraterkette eines multiplen Einschlags offenbar systematisch abnehmender Energie

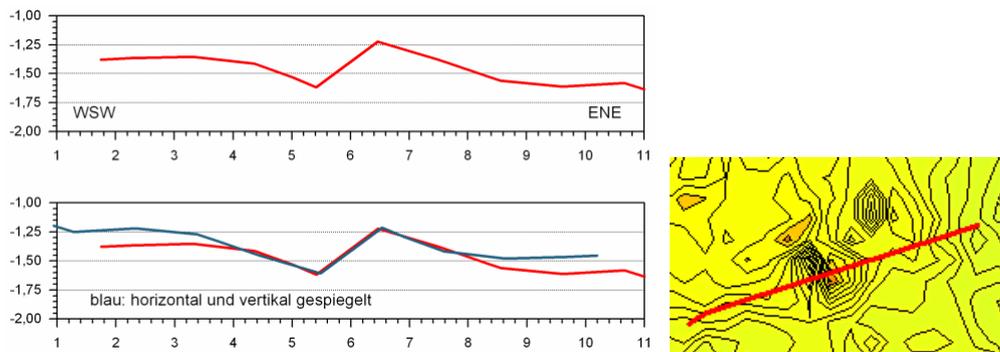


Abb. 42. Auch hier Krater mit nahezu perfekter bipolarer Struktur.

7 Diskussion

-- Die bereits im 17.Jh. als Markierungspunkte erwähnten Kauten sind seitdem meistens als Einbruchstrukturen (große Erdfälle) angesehen worden.

-- Aus der Eiszeitforschung der Würzburger Universität kamen Untersuchungen, die die Kauten als nacheiszeitliche fossile Pingos vorschlugen, ohne überzeugende geologische Befunde vorzulegen.

-- Zum ersten Mal wurden die Kauten vom Autor R.A. als mögliche Meteoritenkrater gedeutet, dem eine Wiederaufnahme der Hypothese Ende der 90er Jahre folgte. Dabei blieb die kosmische Erklärung umstritten, woran auch die später folgende umfangreichere Untersuchung im Rahmen einer Diplomarbeit nichts änderte.

-- Mit dem kostenlosen Erwerb der extrem hochauflösenden Höhendaten des Digitalen Geländemodells DGM 1 vom Geoportal Hessen erfuhr die Erforschung der Kauten einen in diesem Ausmaß nicht erwarteten Schub.

-- Bis dahin war es undenkbar, Geländestrukturen ohne aufwändiges und teures optisches Nivellement bis in den Dezimeter- und Zentimeterbereich selbst im dichten Wald der Kauten zu erfassen und mit geeigneter Auswerte-Software darzustellen und zu interpretieren.

-- Dieses neue Bild der Impaktforschung hat in den vergangenen Jahren dazu geführt, mehrere Impakt-Streifelder in Deutschland und in Tschechien neu zu dokumentieren [7-15]. Dabei haben durchweg neue Vorstellungen über Impakt-Prozesse und Impakt-Häufigkeiten, insbesondere im Zusammenhang mit Airburst-Impakten durch explodierende Asteroiden und Kometen nahe der Erdoberfläche, durch Beobachtungen und Computer-Modellierungen viel zum Verständnis der ablaufenden Prozesse beigetragen [z.B. 16].

-- Dabei finden neue Impakt-Vorstellungen und hochauflösende Digitale Geländemodelle zusammen. Bei Airburst-Impakten in geringer Höhe oder nahe der Erdoberfläche entstehen im Gegensatz zu den "konventionellen" Impakten großer Körper

mit großen, tiefen Kratern eher Streufelder vieler kleinerer und flacher bis sehr flacher Krater mit weitflächigen anderen Bodenveränderungen, die eher von schwereren Erdbeben vertraut sind. Und genau diese vielen kleinen und sehr flachen Impakt-Strukturen können in Ihrer Morphologie ganz präzise erfasst werden, was insbesondere ermöglicht, sie von anthropogen geschaffenen Strukturen und "normalen" geologischen Formen zu unterscheiden.

Die einzelnen neuen Befunde lassen sich wie folgt diskutieren:

-- Die drei bekannten Teufels-, Morast- und Hasenkaute sind nur Teil eines größeren Impakt-Streufeldes, das sich auf den bisher untersuchten 4 km² Fläche ausdehnt.

-- Klar identifizierbare Strukturen treten in Clustern auf und dürften ganz grob in der Größenordnung um 100 liegen.

-- Die Strukturen lassen sich grob in simple Krater, multiple Krater, Kraterketten, bipolare Strukturen und Buckelstrukturen unterscheiden. Diese Typen sind durchweg auch von den anderen erwähnten Airburst-Impaktfeldern in Deutschland und in Tschechien bekannt.

-- Die Teufelskaute und die Morastkaute erweisen sich im DGM 1 als strukturmorphologisch komplexer als nach früheren Untersuchungen aufgezeigt. Die Teufelskaute ist eine Doppelstruktur, die aus einem größeren und einem kleineren Krater besteht, die sich in einem gleichzeitigen Einschlag überlagert haben. Die Morastkaute ist eine multiple unregelmäßig strukturierte Einschlagform, die von einem kleineren externen einfachen Krater begleitet wird. Die Hasenkaute zeigt sich als einfache umwallte Krater-Hohlform mit einem streng symmetrischen diametralen Querschnitt.

-- Ein ganz wesentlicher Punkt beim neuen Modell des ausgedehnten Impakt-Streufeldes bei den Schlitzer Kauten sind die zahlreichen Krater-Strukturen mit absolut symmetrischem diametralen Querschnitt der Hohlform. Selbst der Krater der Hasenkaute mit dem 35 m Durchmesser zeigt diese perfekte Symmetrie (Abb. 35), und der kleinere Krater des Doppelkraters der Teufelskaute zeigt sogar über einen etwa 80 m langen diametralen Querschnitt im DGM 1 eine ebenfalls perfekte Symmetrie (Abb. 12). Aber auch für die perfekte Symmetrie der Hohlform vieler kleinerer Krater bis in den Zentimeterbereich gilt die Feststellung, dass die Entstehung weder einen geologisch endogenen noch einen anthropogenen Ursprung haben kann und, geologisch gesehen, auch nicht sehr alt ist. Das zeigt in dieser unerhörten Präzision allein das DGM 1 und beweist gleichzeitig die unbestreitbare Entstehung dieser Krater durch eine grob punktförmige Explosion in der Höhe darüber, von der eine sphärische Schockwelle ausging, die natürlich eine flache kreisförmige Deformation am Boden erzeugte. Eiszeit (Pingos) oder andere geologische Prozesse oder der Mensch können das nicht gemacht haben.

-- Als Besonderheiten sind die bipolaren Strukturen aus Mulde und direkt assoziierter Aufwallung zu betrachten, die auf diametralen Profilen exakte Übereinstimmung in Form und Volumen aufweisen. Die vielfach einheitliche Ausrichtung der etwa gleich großen

bipolaren Strukturen lässt auf einen einheitlichen, gleichzeitigen Entstehungsprozess schließen, der noch nicht vollständig geklärt ist. Die perfekte Überlagerung mit den horizontal und vertikal gespiegelten Profilen verdeutlicht den geschlossenen Prozess der Massenverschiebung. Bei Erdbeben geschieht dies durch die Erdbebenwellen verursachte Bodenverflüssigung (Liquefaktion, Abb. 43); analog dazu dürfte dies auch beim Impact ablaufen.

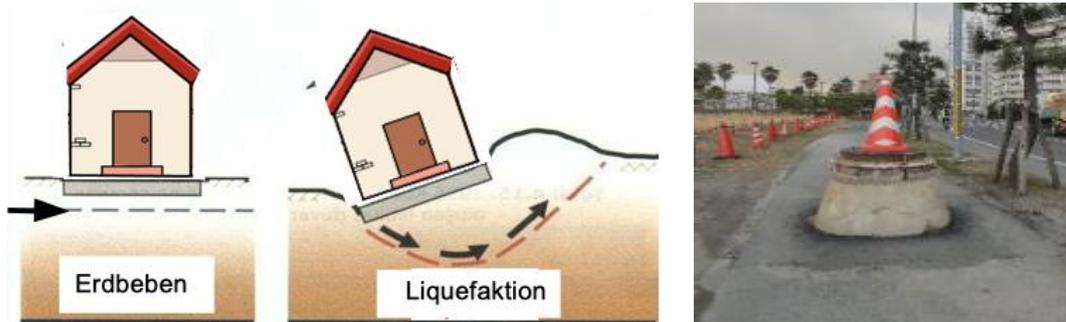


Abb. 43. Liquefaktion: Zur Entstehung der bipolaren Impactstrukturen (verändert nach Bakir and Baran Karasin (2016)) und zur Entstehung der Impact-Buckelstrukturen (Erdbeben in Japan).

-- Die meist in Clustern auftretenden Buckelstrukturen sind von allen anderen Airburst-Impakt-Streifefeldern in vergleichbarer Ausbildung wohl bekannt. Beim Chiemgau-Impakt sind sie an nördlichen Voralpen-Hängen als Buckelwiesen sogar in den geologischen Karten ausgewiesen. Es soll an die mehr als Dutzend verschiedene Hypothesen in der Literatur über ihre Entstehung geben, darunter auch seismische Kräfte wie z.B. bei den Mima Mounds oder den Pimple Mounds in den USA. Ihr regelmäßiges Auftreten in den Airburst-Impaktarealen sieht ebenfalls einen impact-"seismischen" Zusammenhang, wenn die starken Druckwellen, die von den Einschlägen ausgehen, zu Bodenverflüssigung führen, die sich an Schwächstellen (z.B. in Bruchzonen) nach oben mit Buckelbildung entlädt. Für die Donnerlöcher als Folge eingebrochener Impact-Buckel im Chiemgau-Impaktereignis gibt es solche Modell-Vorstellungen. Bodenverflüssigung und punktförmige Druckentladung nach oben an Schwächstellen bei einem Erdbeben in Japan zeigt Abb. 43. So etwa könnten auch Buckelstrukturen bei einem Airburst-Impakt entstehen.

-- Ein besonderes Merkmal des Impact-Prozesses im Umfeld der Kauten mit ihren Impact-Begleitstrukturen sind Systeme rippenförmiger Bodenverformungen, die teilweise mit größeren Kraterstrukturen assoziiert sind, aber auch als ausgedehntere Flächen überdecken (Abb. 44), was im Vergleich mit anderen Impacten in Abb. 44 erläutert wird.

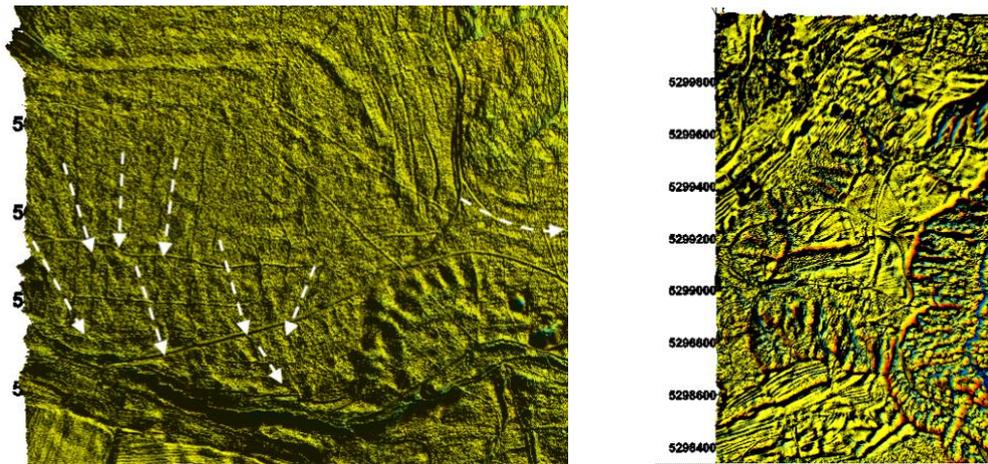


Abb. 44. DGM 1, Geländeoberfläche: Rippenstrukturen bei den Kauten (Abb. 39) und beim Bärnsee-Krater im Chiemgau-Impaktstreufeld mit verblüffender Ähnlichkeit. Die unregelmäßigen Überlagerungen der Rippen-Systeme können bei dieser Modellvorstellung dadurch entstehen, dass bei einem Airburst viele benachbarte Einschläge erfolgen, von denen die "Erdbebenwellen" radial auseinandergehen und sich zu den Bodenrippen-Systemen überlagern.

-- Entstehungsmodelle der Rippenbildung bringen die Abb. 45 und Abb. 46.

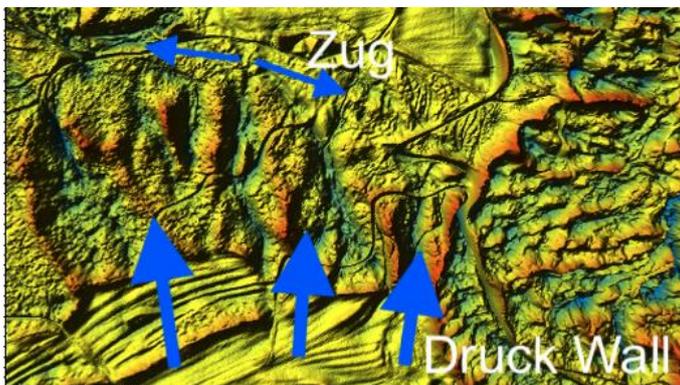


Abb. 45. Modell der Entstehung der Rippen als Druck - Zug-Strukturen (transpression - transtension) am Kraterrand.

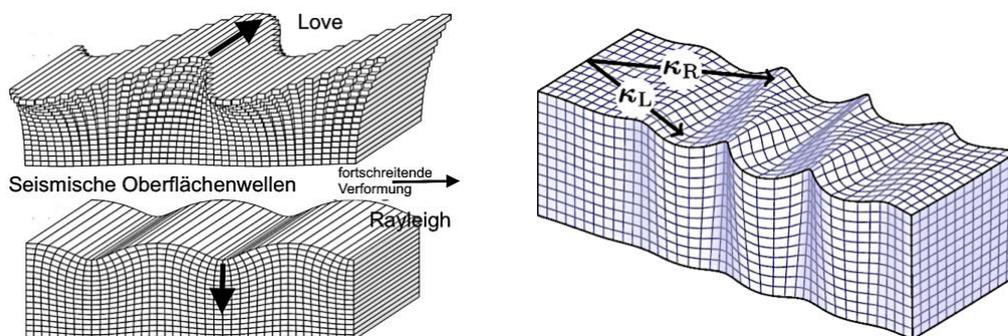


Abb. 46. Modelle seismischer Oberflächenwellen und Überlagerung mit Rippenbildung. (stark verändert nach Shearer 2009, links), Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License, Stefano Maranò (rechts). Ein Modell für die Rippenbildung bei Impact-"Erdbeben" drängt sich auf.

-- Der bereits früher aufgezeigte Vergleich zwischen Impakt-Kratern auf Mond und Mars und auffällig ähnlichen Strukturen auf der Erde [7] ist auch an zwei Beispielen beim Kauten-Kraterstreufeld mit der Teufelskaute signifikant (Abb. 47, Abb. 48).

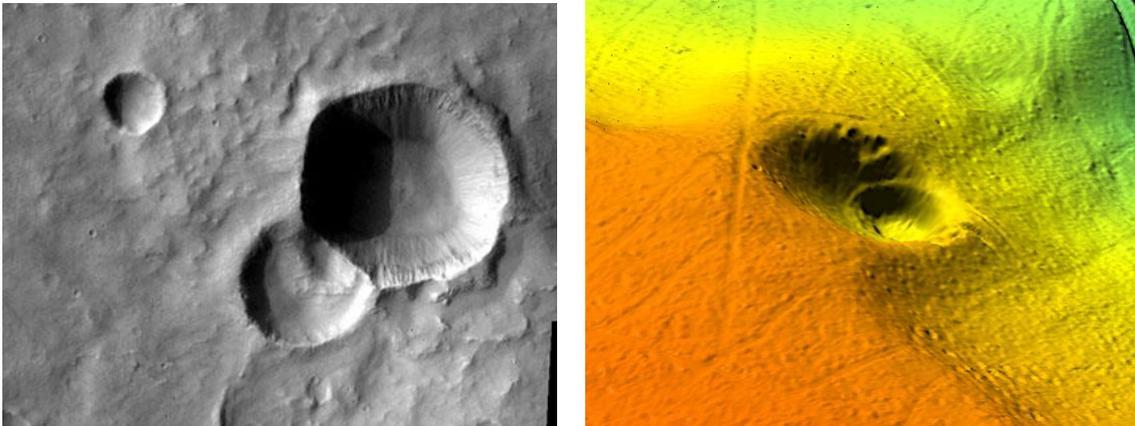


Abb. 47. Ein instruktiver Vergleich: Ein Doppel-Impaktkrater auf dem Mars und der Doppeleinschlag der Teufelskaute (von Abb.10). Foto: NASA Raumsonde Odyssey.

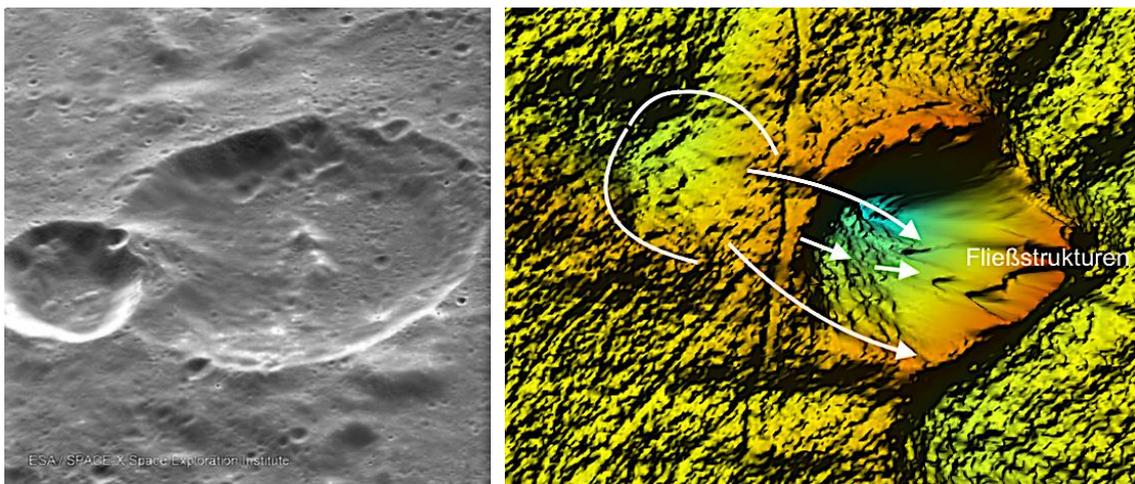


Abb. 48. Auch hier ein eindrucksvoller Vergleich: Mond-Impakt und Teufelskaute-Impakt (Abb.16). Der mehr oder weniger gleichzeitige Einschlag mit dem teilweisen Einbruch der kontaktierenden Ringwälle und dem Massenfluss in den größeren Krater. ESA/SPACE-X (Space Exploration Institute).

6 Schlussfolgerungen

Die Anwendung des extrem hochauflösenden Digitalen Geländemodells DGM 1, dessen Daten mittlerweile völlig unproblematisch online heruntergeladen und geeigneten Auswerteprogrammen zugeführt werden können, hat der Impaktforschung völlig neue Wege eröffnet. Angestoßen durch die eindrucksvollen Resultate bei den neu adressierten Impakt-Streufeldern in Deutschland und Tschechien, bei denen insbesondere der Saarland-Impakt und der Chiemgau-Impakt hervorstechen, hat sich das Impakt-Streufeld der Schlitzer Kauten eindrucksvoll hinzugesellt. Alle anderen Erklärungen für die Entstehung der

Kauten, die bisher bemüht wurden, sind hinfällig, wobei die ursprüngliche und erste Hypothese des Autors R.A. über die Meteoritenkrater bereits auf der richtigen Spur war.

In der Impaktforschung gilt allgemein die auch geschriebene Regel, dass ein meteoritischer Impakt und eine Impakt-Struktur dann verifiziert sind, wenn der mineralogische Befund eindeutiger Schock-Effekte oder Reste des Projektils belegt sind. Beim erwähnten Saarland-Impakt und beim Chiemgau-Impakt sind diese Kriterien überreichlich und überzeugend erfüllt. Dass diese eindeutigen Kriterien beim Schlitzer Kauten-Impakt bisher fehlen, kann auf die bisherige strenge Fokussierung auf die Einzelstrukturen der drei Kauten zurückgeführt werden. Verdienstvoll ist die sehr ausführliche Diskussion von Rückert in seiner Diplomarbeit [5] über die verschiedenen Möglichkeiten der Kauten-Bildung, wobei zu bedenken ist, dass hinsichtlich der Meteoritenhypothese die klassischen Vorstellungen der Krater-Entstehung (natürlich) Pate standen. An ein völlig neues Bild eines weitgefächerten Airburst-Impakts mit kleine und flache Krater schlagenden Explosionstrümmern und erdbebenähnlichen Bodenverflüssigungen ohne die extrem energiereichen Schock-Prozesse war nicht in Ansätzen zu denken.

Wenn jetzt von den zu erwartenden Kritikern eines Kauten-Impakts auf die fehlenden mineralogischen Beweise verwiesen wird, so ist dem zu entgegnen, dass die mit dem DGM 1 erkannte morphologische Signatur durch eine punktförmige Quelle der Deformation in der Höhe über der Erdoberfläche gleichermaßen impakt-beweisend ist. Wenn von der klassischen Impakt-Mineralogie ins Feld geführt wird, dass Schock-Effekte wie planare Deformationsstrukturen (PDF) oder diaplektische Gläser oder Shatter Cones bei keinem anderen geologischen Prozess entstehen und damit impakt-beweiskräftig sind, muss das uneingeschränkt auch für die perfekt symmetrischen Impakt-Morphologien gelten, für die es keinen anderen geologischen Prozess gibt. Ergänzend ist als sehr wesentlich zu bemerken, dass bei einem Airburst-Impakt über der Erdoberfläche die Energie der den Untergrund beaufschlagenden Schockfronten sehr unterschiedlich sein kann, die zwar in der Lage ist, relativ flache Krater und enorme Deformationen durch Liquefaktion zu erzeugen, aber nicht unbedingt die notwendigen gigapascal-hohen Drücke für die genannten Schockeffekte aufbringt. Darin unterscheiden sich z.B. auch die Airburst-Impakte vom Saarland und dem Chiemgau, wo außer signifikanten Schockeffekten auch begleitende Krater mit Kilometergröße entstanden, sind [12, 13, 15].

Dass sich letztlich hier ein Paradigmen-Wechsel in der Impaktforschung aufdrängt, wurde bereits artikuliert [8].

Literatur

- 0 Schütz, M. (1996) Projekt: Vermessung der Schlitzer Kauten, Amt für Straßen- und Verkehrswesen Fulda, 1996-
- 1 Kuhphal, H.G. (1965) Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen, Blatt 5323 Schlitz, Wiesbaden.
- 2 Wiegand, G. (1965) Fossile Pingos in Mitteleuropa. - Würzburger Geographische Arbeiten 16, Diss. Universität Würzburg.
- 3 Auth, R. (1980) Zur Entstehung der Schlitzer Kauten - Eine dritte Möglichkeit. - Beitr. Naturkunde Osthessen, 16, 49-57.
- 4 Tiirma, R. and Czegka W. (1998) Holocene meteorite craters in Central and North-East-Central Europe. - Meteoritics Planet. Sci., 33, No.4.
- 5 Rückert, D. (2007) Geologische, geophysikalische und petrographische Untersuchungen zur Entstehung der Schlitzer Kauten. - Diplomarbeit, 113 S., Univ. Würzburg.
- 6 Auth, R. (2022) Die Vogelsbergkrater bzw. Schlitzer Kauten. Restformen späteiszeitlicher Pingos, Erdfälle oder Meteoritenkrater. - 48 S., Druckerei Vogel.
- 7 Ernstson, K., Poßekel, J. and Rappenglück, M.A. (2024) Mars and Moon on Earth: multiple impact and oblique impact patterns from digital terrain models in the Holocene Chiemgau crater strewn field. - 55th LPSC, Abstract und Poster 1641.pdf.
- 8 Ernstson, K. and Poßekel, J. (2024) Paradigm shift in impact research: the Holocene Chiemgau meteorite impact crater strewn field and the digital terrain model. - 55th LPSC, Abstract und Poster 1658.pdf.
- 9 Ernstson, K. and Poßekel, J. (2024) The Chiemgau Meteorite Impact Strewn Field and the Digital Terrain Model: "Earthquake" Liquefaction from Above and from Below. - AGU 2024. Abstract und Poster.
- 10 Ernstson, K. und Poßekel, J. (2023) Pingos and mardels: high-resolution digital terrain models suggest meteorite impact craters in addition to permafrost, sinkhole and dead-ice formation models. - <https://www.impact-structures.com/2023/04/new-article-pingos-mardels-and-meteorite-impact-craters/>
- 11 Poßekel, J., Molnár, M. und Ernstson, K. (2022) The proposed meteorite impact event in the Czech Republic: evidence strengthened by investigations with the digital terrain model. - 53rd LPSC, Abstract und Poster 1558.pdf.
- 12 Ernstson, K. und Poßekel, J. (2025) Lake Bärnsee in the Chiemgau Holocene impact strewn field (Germany): ice-age tongue basin lake vs. Holocene low-altitude touchdown airburst impact formation. - 87th Meteoritical Society Meeting 2025, LPI Contrib. No. 3088, 5134.pdf.

- 13 Ernstson, K. und Poßekel, J. (2025) Many of a kind: the digital terrain model and a new cluster of larger and smaller craters accumulate the Chiemgau meteorite impact strewn field. - 87th Meteoritical Society Meeting 2025, LPI Contrib. No. 3088, 5312.pdf.
- 14 Ernstson, K., Müller, W., Gawlik-Wagner, A. und 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. - 64 LPSC, Abstract und Poster, 1264.pdf.
- 15 Poßekel, J. und Ernstson, K. (2025) The digital terrain model: new insights into the Holocene Lake Tüttensee (Germany) multiple impact structure as part of the Chiemgau low altitude touchdown airburst event. - 64 LPSC, Abstract und Poster, 2770.pdf.
- 16 West, A. et al. (2024) Modeling airbursts by comets, asteroids, and nuclear detonations: shock metamorphism, meltglass, and microspherules. - Airbursts and Cratering Impacts, Vol.(1). DOI: 10.14293/ACI.2024.0004.