

GEOFOKUS



Meteoriteneinschläge im Labor – das MEMIN-Projekt

Alexander Deutsch, Michael Poelchau, Thomas Kenkmann*

Die nun gefestigte Theorie, dass das Aussterben der Dinosaurier am Ende der Kreidezeit die Konsequenz eines Asteroideneinschlags ist, rückte das geologische Phänomen „Impakt“ weltweit in den Blickpunkt der Öffentlichkeit. Für die Entstehung und Entwicklung unseres Sonnensystems sind Kollisionen der wichtigste Prozess: Auch der Erdmond entstand durch eine Kollision. In der interdisziplinären DFG-Forscherguppe MEMIN werden im Labormaßstab Kraterexperimente durchgeführt, um die bei Kollisionen wirksamen Prozesse besser zu verstehen. Dabei kommen geowissenschaftliche und physikalische Untersuchungsmethoden gemeinsam mit numerischen Modellierungstechniken zum Einsatz.

Für die Bildung und Evolution unseres Sonnensystems waren und sind Zusammenstöße von Festkörpern ein fundamentaler Prozess. Zielkörper („Target“) und Aufschlagkörper (Projektile, Impaktoren) können bei einer Kollision vollständig zerbrechen und neue Körper bilden. Schlägt allerdings ein Projektil auf einem deutlich größeren Körper ungebremst ein, so entsteht ein Impaktkrater; dieser Prozess ist zudem mit einem Massenzuwachs des getroffenen Körpers verbunden. Diese Akkretion von Material führte in der Frühphase des Sonnensystems zur Bildung der Protoplaneten. Etwa 60 Millionen Jahre nach der Entstehung des Sonnensystems, also vor gut viereinhalb Milliarden Jahren, kollidierte die Protoerde mit einem marsgroßen Objekt. Das aus der Erde herausgeschleuderte Material und Teile des Projektils akkretierten zum Erdmond, dessen kraterübersäte Oberfläche einen eindrucksvollen Beweis für das nach wie vor anhaltende „kosmische Bombardement“ liefert. Teleskopaufnahmen und Fernerkundungsdaten zeigen, dass in unserem Sonnensystem alle Körper mit einer festen Oberfläche Impaktkrater aufweisen, ja regelrecht zernarbt sind. Die erfolgreichen Missionen zum Erdmond, zu den Jupitersatelliten, dem Mars und dem Asteroiden

Vesta lieferten brillante, hochaufgelöste Bilder von Kratern, deren Durchmesser bis zu mehr als 2.500 km beträgt (South Pole-Aitken-Becken auf dem Erdmond).

Impaktgeologie = Aktuogeologie?

Im Jahre 1908 vernichtete ein Projektil bei seiner Explosion über Sibirien 2.150 km² Urwald. Für diesen „Tunguska-Asteroiden“ nimmt man einen Durchmesser zwischen 30 und 50 Metern an, seine kinetische Energie wird auf etwa 20 Megatonnen TNT-Äquivalent geschätzt. Die Eintrittswahrscheinlichkeit solch eines Ereignisses auf der Erde liegt bei eins in einem Zeitraum von 100 Jahren (Abb. 1). Im September 2007 erschütterte eine Detonationswelle die Andengemeinde Carancas in Peru: Ein metergroßes Projektil mit einer auf vier Tonnen geschätzten Masse, bereits weitgehend abgebremst in der Atmosphäre, erzeugte dort einen Krater mit einem Durchmesser von 14,2 m (Abb. 2). Im Oktober 2008 beobachteten Piloten eines Verkehrsflugzeuges einen Feuerball über der Nubischen Wüste, dieses Ereignis wurde auch von einem Wettersatelliten aufgezeichnet. Es handelte sich um die Explosion des Asteroiden 2008 TC₃, der erst 20 Stunden vorher entdeckt worden war. Im Folgejahr sammelte eine Expedition hunderte kleiner Meteoritenbruchstücke in dem Streufeld, das nach der nächsten Bahnstation Almahata Sitta (Sudan) benannt ist. Ereignisse dieser Größenordnung (15 kg TNT-Äquivalent) finden mehrmals pro Jahr statt, doch ist ihr Gefährdungspotential im Verhältnis zu anderen Naturkatastrophen, verursacht durch Unwetter, Vulkanausbrüche oder Erdbeben, äußerst gering.

Die Kollision des Kometen Shoemaker-Levy 9 mit dem Gasplaneten Jupiter am 9. Juli 1994 und die 246 von der Erde aus zwischen 2005 und September 2011 teleskopisch beobachteten Impaktblitze auf dem Mond demonstrieren die nach wie vor fundamentale Bedeutung des geo-

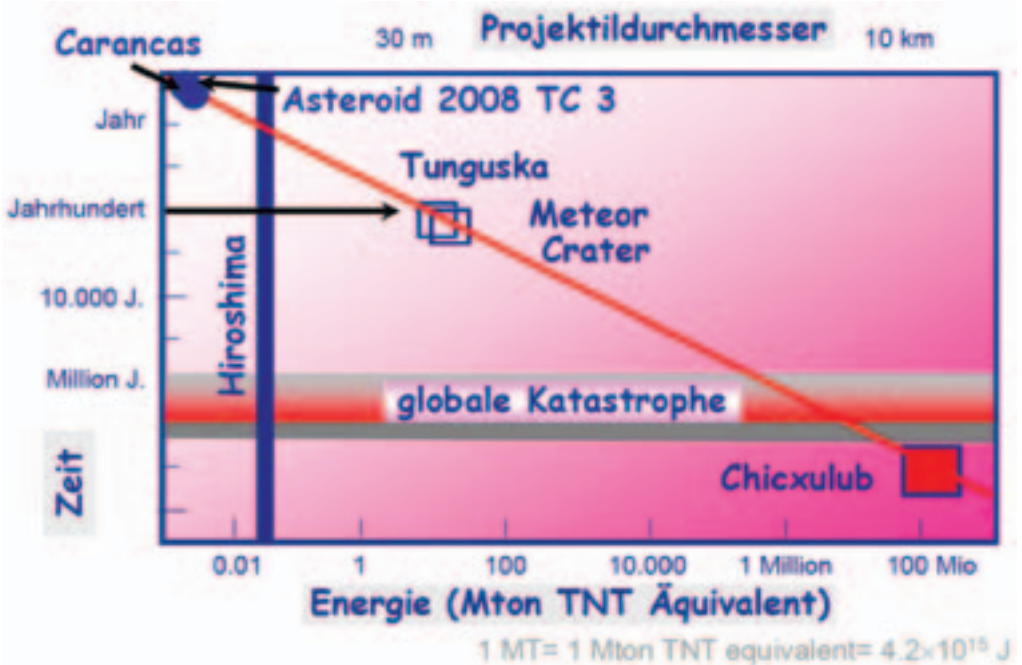


Abb. 1: Die statistische Häufigkeit (Impaktwahrscheinlichkeit) für die Erde nimmt mit der Projektgröße (und damit dem Energieeintrag) ab. Bei der größten je von Menschen verursachten Explosion (sowjetische H-Bombe „Tsar“, 30.10.1961), wurde ungefähr so viel Energie freigesetzt wie bei einem Erdbeben der Magnitude 8; allerdings sind Freisetzung und Energieverteilung bei Erdbeben, Explosionen und Impaktereignissen sehr unterschiedlich. 1 Megatonne TNT Äquivalent = $4,2 \times 10^{15}$ Joule. Ein Chicxulub-Ereignis findet statistisch einmal in 100 Mio. J. statt.

logischen Prozesses „Impakt“ im Sonnensystem. Sie zeigen auch, dass das kosmische Bombardement eine reale Bedrohung darstellt, die Treffer erfolgen zufällig in Raum und Zeit. Für die Bewertung des Kollisionsrisikos und der möglichen Folgen eines Impaktes existiert ähnlich wie für Erdbeben und vulkanische Ereignisse eine Gefahrenskala (Torino- bzw. Palermo-Skala). Die Schwelle für eine globale Katastrophe liegt bei deutlich kleineren Projektilen als jenem des Chicxulub-Ereignisses, welches das Massensterben an der Kreide-Paläogen-Grenze verursacht hat. Dies lässt sich durch die Komplexität der modernen Welt begründen, in der Energieversorgung, Kommunikation und

Transport wesentliche Bestandteile von funktionierenden Gesellschaften darstellen. Durch die Ergebnisse der Apollo-Missionen, das Shoemaker-Levy-9-Ereignis, den Chicxulub-Impakt und dessen kausale Verknüpfung mit dem Aussterben der Dinosaurier wurde auch der breiten Öffentlichkeit die Bedeutung von Kollisionen bewusst.

Der Impaktprozess

Hochgeschwindigkeitseinschläge auf der Erde erfolgen mit Geschwindigkeiten zwischen 11,2 und 71,9 km s⁻¹, der häufigste Eintrittswinkel der Projektile liegt bei ~45°. Beim Kontakt wird die Bewegungsenergie des Projektils in Sekunden-



Abb. 2: Thomas Kenkmann und Hernando Nunez del Prado vermessen den Carancas-Krater in der Hochebene von Peru.

bruchteilen auf die Oberfläche des planetaren Körpers übertragen und Stoßwellen breiten sich mit Überschallgeschwindigkeit in das Projektil und das Target aus. Diese Kompression führt in Projektil und Target zu Druck-Temperatur-Zuständen, die jene im Erdkern überschreiten können (Abb. 3). Durch Entlastungswellen wird der Druck abgebaut, die Restwärme in Projektil und Target kann aber so hoch sein, dass Gesteine schmelzen, ja sogar verdampfen. Das hochdynamische Geschehen („Kratermechanik“) umfasst Materialauswurf, Bildung einer tiefen „vorübergehenden“ Kraterhohlform und, bedingt durch die Einwirkung der Schwerkraft, die Modifikation dieses instabilen Gebildes zu einem größeren und flacheren, schüsselförmigen Krater, der zum Teil mit einer Brekzienlinse gefüllt ist. Die Bildung eines einfachen Meteoritenkraters ist in wenigen Minuten abgeschlossen, doch können Massenbewegungen an dem steilen Kraterwall noch über lange Zeiträume andauern. Bei größeren Kratern entsteht durch diese Veränderungen eine weite Randzone mit

Terrassen, während sich im Kraterzentrum ein Zentralberg oder eine Hügelkette bildet. Die Größe des vorübergehenden Kraters hängt hauptsächlich von der Bewegungsenergie des Projektils ab, die Schwerkraft des Zielkörpers hingegen bestimmt ganz wesentlich den Durchmesser des endgültigen Kraters, zudem haben auch Materialparameter (z.B. Festigkeit) und Targetbeschaffenheit (z.B. Eis, Wasserbedeckung, Festgestein, Sediment) eine gewisse Bedeutung.

Natürliche Krater stellen ein Archiv für das Endprodukt der Kraterbildung dar, doch die komplexen Bewegungen und Verformungen, denen die Targetmaterialien während der Entstehung des Kraters ausgesetzt sind, lassen sich ebenso wie die physikalischen Randbedingungen zum Zeitpunkt des Einschlages nur mühsam rekonstruieren.

Aktuelle Kraterforschung

Moderne Impaktforschung ist ohne Interaktion unterschiedlicher Disziplinen nicht mehr denk-

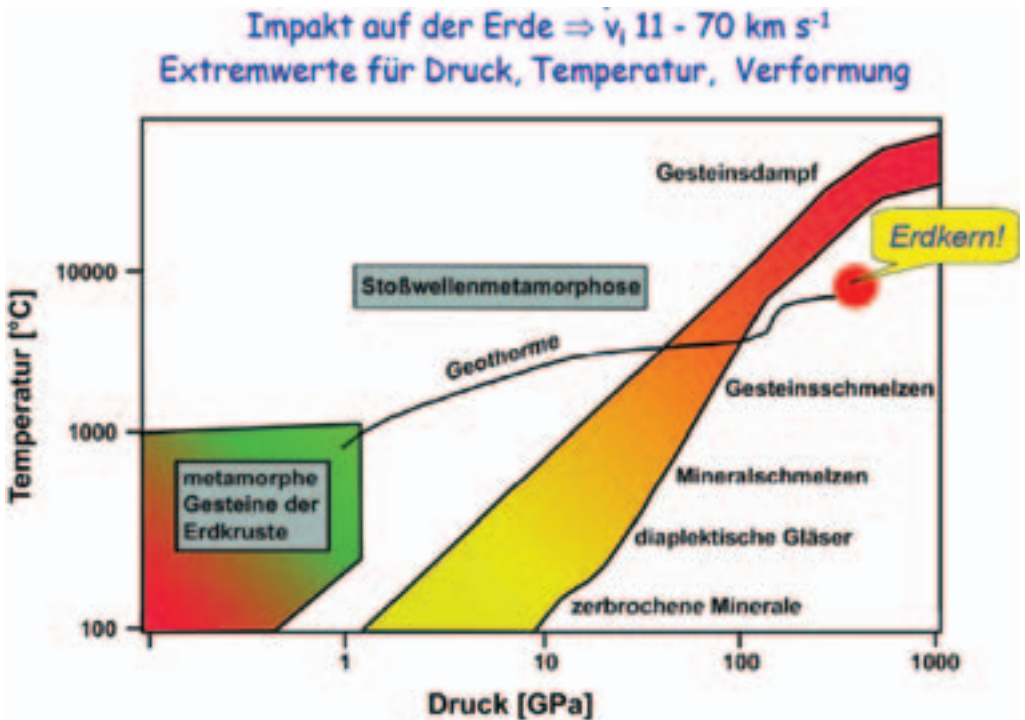


Abb. 3: Im Druck-Temperatur-Diagramm unterscheidet sich die Stoßwellenmetamorphose eindeutig von allen anderen in der Erdkruste vorkommenden Prozessen. Diaplektische Gläser sind Minerale, deren Kristallstruktur ohne Aufschmelzung aufgrund des hohen Druckes amorphisiert wurden. Gesteinsdampf kann bei der Kondensation Schmelzkügelchen bilden.

bar. Zum Verständnis der hochdynamischen Prozesse, die bei einem Impakt wirksam sind, tragen Planetenastronomie und Fernerkundung, Geländeuntersuchungen an irdischen Kratern in Kombination mit Forschungsbohrungen im Rahmen des Internationalen Kontinentalen Tiefbohrprogramms (ICDP), die Analyse von Apolloproben, von Mond-, Mars- und Mikrometeoriten sowie von Material aus irdischen Kratern und Auswurfslagen bei. Fernerkundungsmissionen liefern präzise morphometrische Daten von unveränderten Impaktkratern und helfen, die Kollisionshäufigkeit im Sonnensystem zu ermitteln. Wesentliche Erkenntnisse stammen auch aus der Analyse von Nuklearexplosionen und ganz wesentlich aus Forschungsprojekten, die

experimentelle Untersuchungen mit numerischer Modellierung verknüpfen. Vielversprechende innovative Projekte umfassen (i) die *Mikroanalytik deformierter Minerale und neu gebildeter Phasen* (Abb. 4), (ii) *Stoßwellen- und Kraterexperimente im Labor* und (iii) *Computersimulation von Einschlagprozessen* (Abb. 5).

(i) Elektronenoptische Untersuchungen helfen, stoßwelleninduzierte Veränderungen und den Bildungsmechanismus von Hochdruckmineralen auf atomarer Größenordnung zu verstehen. Die Untersuchungsergebnisse sind auch bei der Charakterisierung neuer Werkstoffe von Interesse. (ii) Da der Faktor Zeit bei einigen Prozessen der Mineraldeformation und -transformation sowie in der Kratermechanik nur eine untergeordnete

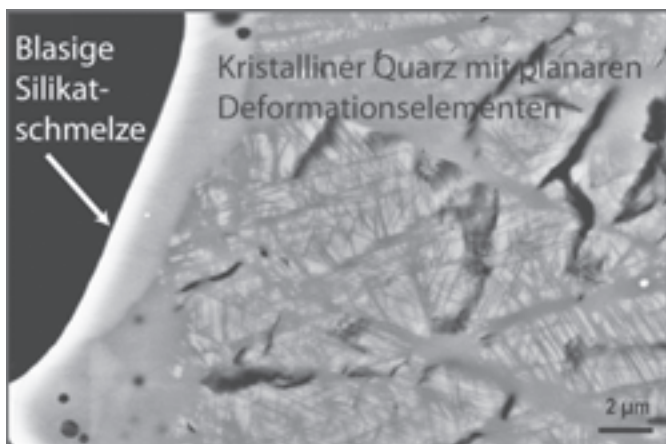


Abb. 4: Stoßwellenmetamorphe Veränderungen in einem Quarzkorn belegen, dass im Kraterexperiment Drücke oberhalb von 50 GPa erreicht werden. Solche Drücke sind notwendig, um Quarz lokal aufzuschmelzen, die mittelgrauen Lamellen im Zentrum des Kornes sind sog. „planare Deformationslamellen“, die aus amorphem Quarz bestehen. Die hellen „Kügelchen“ sind in den Quarz eingedrungene abgeschreckte Projektilschmelzpartikel.

Abbildung: Fiona Reiser

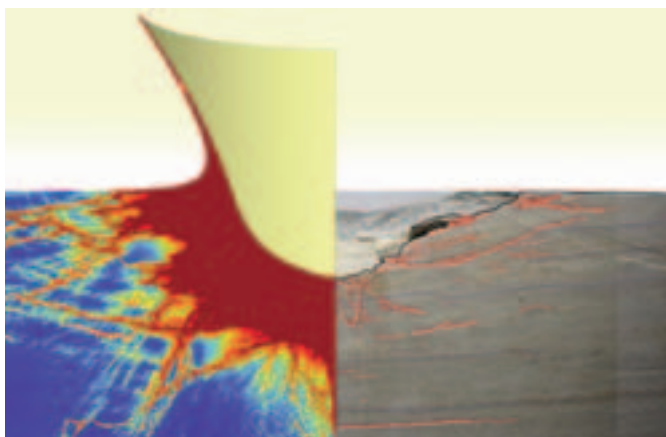


Abb. 5: Die Ergebnisse der numerischen Modellierung entsprechen sehr gut dem tatsächlich im Krateruntergrund beobachteten Bruchmuster. Der Radius des experimentell erzeugten Kraters beträgt 15 cm.

Rolle spielt, liefern dynamische Hochdruckexperimente und die experimentelle Erzeugung von Einschlagkratern grundsätzliche Daten zur Interpretation von Beobachtungen an natürlichen Proben. Die Techniken zur Druckerzeugung reichen von Explosionen mit konventionellen Sprengstoffen über Systeme mit elektrischer Entladung, von Laserkanonen bis zu komplizierten zweistufigen Leichtgas-Beschleunigern (siehe unten). (iii) Begünstigt durch die enorme Leistungssteigerung bei Rechnersystemen lassen sich heute erfolgreich 3D-Modellie-

rungen von großen Impaktereignissen durchführen.

MEMIN-Experimente

Vor diesem Hintergrund bewilligte die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Frühjahr 2009 die Einrichtung der dezentralen interdisziplinären Forschergruppe 887 MEMIN (**M**ultidisciplinary **E**xperimental and **M**odeling Impact research **N**etwork). An diesem mit einer Summe von etwa zwei Millionen € ausgestatteten Projekt sind Wissenschaftlerinnen und Wissen-

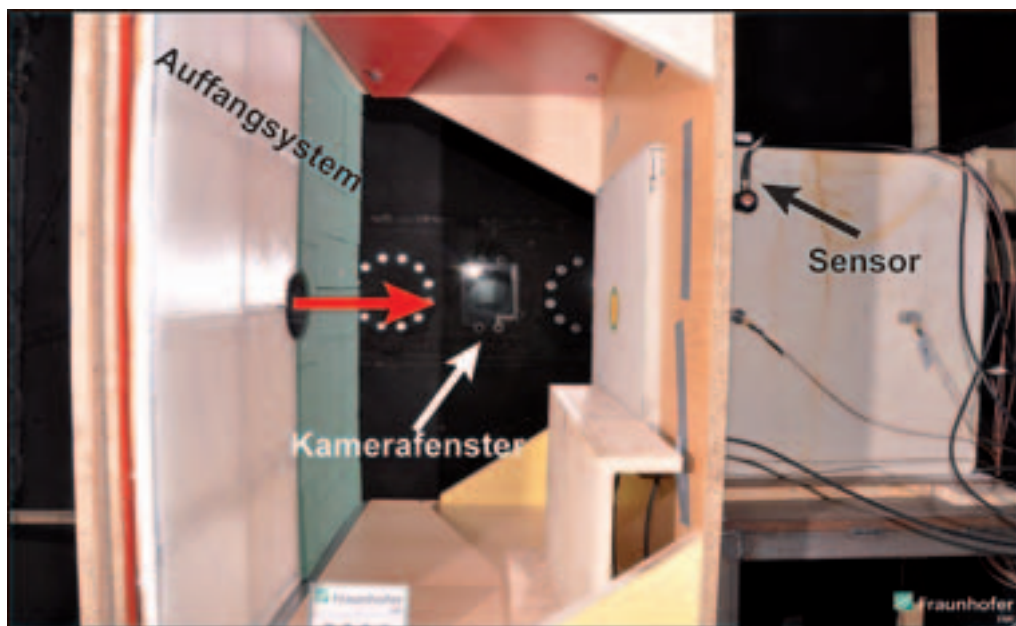


Abb. 6: Versuchsaufbau in der teil-evakuierten Targetkammer. Der Sandsteinblock (50 cm Kantenlänge) ist mit Ultraschallsensoren bestückt, die Frontfläche des Blocks ist mit einer Farbkodierung markiert. Durch das Loch in der Auffangvorrichtung tritt das Projektil in die Targetkammer ein (roter Pfeil). Der Impactprozess wird mit Hochgeschwindigkeitskameras dokumentiert. Abbildung: Fiona Reiser

schaftler aus den Bereichen Geologie, Geophysik, Ingenieurwesen, Mineralogie und Physik aus sieben Instituten in Freiburg, München, Münster, Berlin, Potsdam und Berkeley beteiligt, neun Doktorand(inne)n sind in die Forschungsarbeiten eingebunden. Im Mittelpunkt der ersten Phase dieses Projektes stehen die Impactkraterexperimente, die mit hohem technischen Aufwand am Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik (Ernst-Mach-Institut EMI in Freiburg, Leitung K. Thoma – Co-Sprecher der Forschergruppe) durchgeführt werden.

In diesen Experimenten werden kugelförmige Projektile aus Spezialstahl, Aluminium oder aus dem Eisenmeteoriten Campo del Cielo mit einer Masse zwischen 0,07 und 4,1 g verwendet; Quarzsandsteinblöcke aus einem Steinbruch bei Seeberg, Thüringen, dienen als Target. In der zweistufigen Leichtgas-Beschleunigungsanlage

am EMI, die zu den weltweit leistungsstärksten dieses Typs zählt, erreichen die Projektile Geschwindigkeiten bis zu $5,3 \text{ km s}^{-1}$, in einer weiteren Anlage werden die kleineren Projektile auf eine Impactgeschwindigkeit von bis zu $7,8 \text{ km s}^{-1}$ ($\sim 28.000 \text{ km h}^{-1}$) beschleunigt. Dies entspricht einer kinetischen Energie zwischen 673 und 56.913 Joule. Die Spitzendrücke am Kontakt Projektil – Target liegen bei 22 bis 83 Gigapascal (GPa). Vor den einzelnen Experimenten werden die petrographischen und physikalischen Eigenschaften der Sandsteinblöcke wie Gesteinsdichte, p-Wellengeschwindigkeit, Porosität und Korngrößenverteilung genau erfasst. Je nach Versuchsanordnung haben die Blöcke eine Kantenlänge zwischen $100 \times 100 \times 50$ und $20 \times 20 \text{ cm}$, einige Blöcke wurden teilweise mit Wasser gesättigt. Jeder Block wird auf fünf Seiten mit Ultraschallsensoren versehen (Abb. 6),

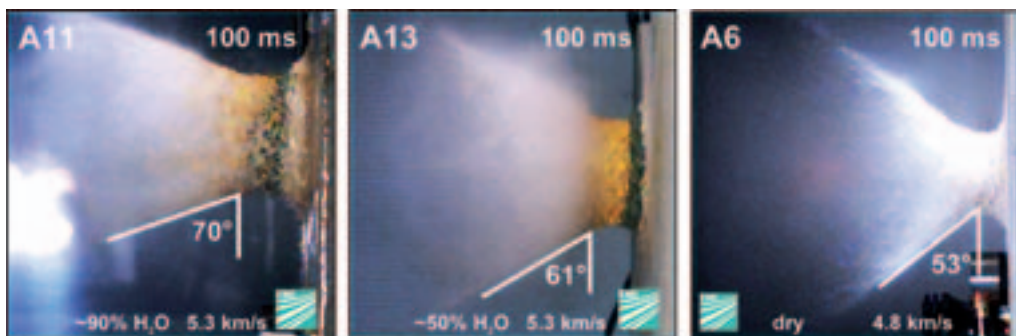


Abb. 7: 100 Millisekunden nach dem Aufprall des Projektils ist die deutliche Auswirkung der Porenraumsättigung auf das Auswurfsverhalten gut zu erkennen; ein hoher Wassergehalt bewirkt einen engen Auswurfskegel. Abbildung: Fiona Reiser

welche den Druckverlauf an den Messpunkten und Fragmentierungsprozesse im Gestein aufzeichnen. In den Versuchen weist die Targetkammer einen Restdruck zwischen 100 und 300 mbar auf, das ausgeworfene Material wird in „Ejectacatchern“ mithilfe von ausgegaster Vaseline bzw. Phenolschaumziegeln aufgefangen. Der Auswurfprozess wird mit Hochgeschwindigkeitskameras mit einer Bildrate von bis zu 10^6 Aufnahmen pro Sekunde gefilmt (Abb. 7). Unmittelbar nach Belüftung der Targetkammer wird alles lose Ejektamaterial sorgsam aufgelesen und der Impaktkrater wird fotografisch dokumentiert. Im Labor erfolgt dann die digitale Vermessung des Kraters mithilfe eines 3D-Scanners. Nach Durchschallungsmessungen wird der geschockte Sandsteinblock anschließend zersägt, um ebenfalls in 3D petrographische Analysen durchzuführen. Das Auswurfsmaterial wird petrographisch und geochemisch untersucht, und unter Verwendung der Hochgeschwindigkeitsfilme lassen sich Ejektageschwindigkeit und Änderungen im Auswurfswinkel errechnen. Die gute Kontrolle der physikalischen Versuchsparameter wie auch die relativ homogene Gesteinszusammensetzung und die exakt bekannte Projektilzusammensetzung erlauben zudem eine genaue Zuordnung der aufgefangenen Partikel, die zu einem gewissen Teil aus Mischungen zwischen festem und aufge-

schmolzenem Projektil- und Targetmaterial bestehen. Weltweit sind diese „voll instrumentierten“ mesoskaligen Kraterexperimente einzigartig. Die experimentell gebildeten Krater (Abb. 8) sind erstmals so groß, dass auch eine Charakterisierung mit speziell angepassten geophysikalischen Messmethoden möglich ist, die in modifizierter Form auch zur Untersuchung terrestrischer Krater eingesetzt werden. Begleitet werden diese aufwändigen Kraterexperimente von numerischer Modellierung. Dieser Teilbereich des MEMIN-Projektes dient zum einen der Optimierung der experimentellen Anordnungen, zum anderen helfen die experimentellen Daten die Modelle zu verbessern.

Die bisherigen experimentellen Ergebnisse zeigen klare, quantifizierbare Abhängigkeiten der Kratergröße von den Targeteigenschaften. So bewirkt offener Porenraum in Sandsteinen eine Kraterverkleinerung im Vergleich zu nichtporösen Medien, während mit Wasser gefüllte Porenräume die Kratergröße wieder erhöhen. Mesoskalige numerische Modelle können dieses Verhalten nachbilden und zeigen im Detail, wie z.B. die Schließung offener Porenräume den Impaktprozess dämpft. Die Kompaktierung des Porenraums sowie die Bruchdeformation im Krateruntergrund werden mikrostrukturell untersucht und elektronenmikroskopisch bzw. mithilfe von Mikrocomputertomografie (μ CT)

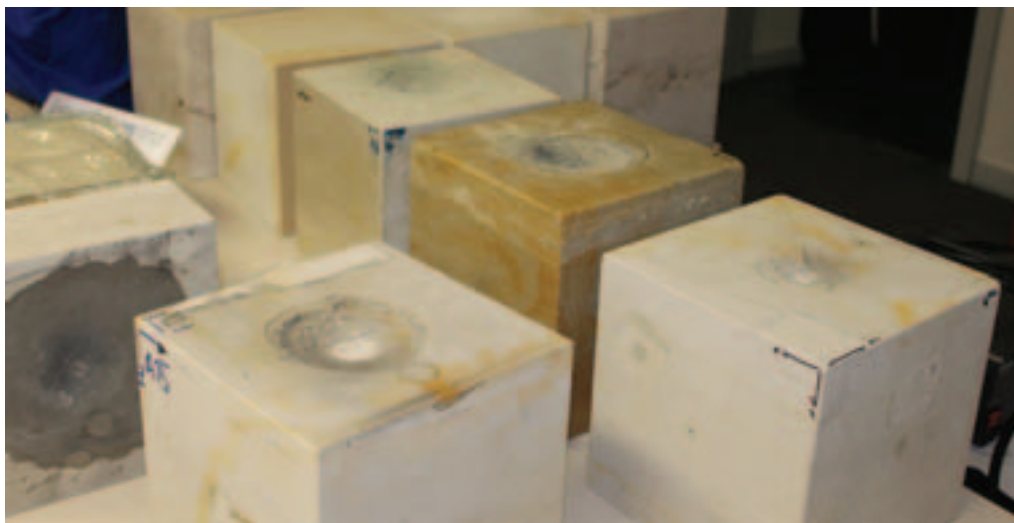


Abb. 8: Experimentelle Krater, die je nach Porensättigung und Impaktenergie unterschiedlich ausgebildet sind, warten auf ihre weitere Bearbeitung. Kantenlänge 20 cm.

quantifiziert, und die Daten fließen wiederum in die numerischen Modelle ein. In-situ-Messungen mit neuentwickelten Ultraschallsensoren konnten in Echtzeit Rissbildungen im Target lokalisieren und geben so weitere Einblicke in die Dynamik der Kraterbildung.

Die Filmaufnahmen in Kombination mit den neu entwickelten Auswurfsfängern konnten deutlich Prozesse wie Kraterwachstum quantifizieren und Auswirkungen von Porenraum und Porenraumfüllung auf den Auswurf verdeutlichen (Abb. 7). Hochgeschockte Partikel aus den Auswurfsfängern geben Aufschluss über die Drücke und Temperaturen, die beim Impakt herrschen und werden auf chemische Fraktionierungsprozesse zwischen Projektil und Target untersucht.

Motivation – Resultate

Kraterexperimente wie oben skizziert sind teuer und technisch anspruchsvoll, die Auswertung der Daten ist äußerst arbeitsintensiv. Dies hat zur Konsequenz, dass bei einer Studie wie für das MEMIN-Projekt vorgeschlagen, eine sehr

gründliche Auswahl des Untersuchungsmaterials und der Impaktparameter erfolgen muss. In den bislang publizierten Kraterexperimenten wurden meist aufgrund technischer Beschränkungen Projektile aus Aluminium bzw. Lexan und Targets aus losem Material wie Sand verwendet. Das MEMIN-Projekt hingegen konzentriert sich auf poröse Gesteine, insbesondere Sandsteine. Grund dafür ist, dass in den bisherigen Studien zur Einschlagsdynamik häufig Porosität und Wassergehalt des Gesteins vernachlässigt worden sind. Doch gerade Gesteine nahe der Erdoberfläche sind oft porös, klüftig und durchfeuchtet. Zudem bilden Sedimente und Sedimentgesteine wichtige Targetlithologien auf der Erde: Von den >175 bekannten terrestrischen Impaktstrukturen besteht bei ~60 das Target aus kristallinen und sedimentären Lithologien, weitere ~65 Impaktkrater haben ein ausschließlich aus Sedimenten und Sedimentgesteinen bestehendes Target. Auch auf der Oberfläche anderer planetarer Körper finden sich weit verbreitet poröse Lithologien, wie z.B. der Regolith. Dieser ist zwar am



Abb. 9: Ein Vergleich zwischen cm-großen Labor-Impaktexperimenten, m-großen Explosionskratern und dem 1,2 km großen Meteorokrater zeigt, dass bei der Skalierung die Schwerkraft berücksichtigt werden muss.

Erdmond in Ermangelung von Wasser stets trocken, der Porenraum oberflächennaher Sedimentgesteine auf der Erde oder dem Nachbarplaneten Mars kann jedoch mit Wasser oder Wassereis gefüllt sein. Der MEMIN-Studie kommt somit eine planetare Bedeutung zu. Die im MEMIN verwendeten Projektile aus dotiertem Stahl und Eisenmeteoriten entsprechen sehr gut dem Projektilmaterial, welches reliktsch um Impaktkrater wie Wabar in Saudi-Arabien oder dem Meteorokrater in Arizona zu finden ist. Dadurch ist eine gute Vergleichbarkeit der experimentellen Resultate mit Beobachtungen an terrestrischen Kratern gegeben.

Fazit – Ausblick

Ziel des MEMIN-Projektes ist ein besseres Verständnis der Kratermechanik in der Natur. Dies erfordert die Extrapolation der experimentellen Ergebnisse auf natürliche Krater, d.h., eine

Skalierung über einige Größenordnungen (Abb. 9). Diese Zusammenführung von Naturbeobachtungen und experimentellen Daten mit numerischen Modellen zur Kratermechanik stellt eine große Herausforderung dar. Notwendig sind neben der Implementierung komplizierter Materialparameter wie Porosität die Verwendung verbesserter Zustandsgleichungen und von 3D-Modellen. Wir planen für die zweite Projektphase eine Überprüfung der skalierten Modelle in einer Geländestudie mit geophysikalischer Erkundung an einem einfachen schüsselförmigen Krater, der in Sandstein entstanden ist. Das MEMIN-Projekt zeigt nicht nur, wie erfolgreich interdisziplinäre Impaktforschung sein kann, sondern auch, dass geowissenschaftliche Spitzenforschung in Deutschland auch im weltweiten Vergleich „Spitze“ ist. Weitere Informationen unter www.mem.in.de/.

Literatur

Kenkmann, T., Artemieva, N.A., Wünnemann, K., Poelchau, M.H., Elbeshausen, D. & Nuñez del Prado, H. (2009): *The Carancas meteorite impact crater, Peru: geologic surveying and modeling of crater formation and atmospheric passage. Meteoritics and Planetary Science* **44**, 985–1000.

Kenkmann, T., Wünnemann, K., Deutsch, A., Poelchau, M. H., Schäfer, F. & Thoma, K. (2011): *Impact cratering in sandstone: the MEMIN pilot study on the effect of pore water. Meteoritics and Planetary Science* **46**, 890–902.

Schulte, P., Deutsch, A. and 39 authors (2010): *The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary. Science* **327**, 1214–1218.

* Alexander Deutsch (Co-Sprecher der Forschergruppe), Institut für Planetologie, WWU Münster Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster
deutschca@uni-muenster.de

Michael Poelchau (Koordinator), Thomas Kenkmann (Sprecher), Institut für Geowissenschaften – Geologie, ALU Freiburg, Albertstr. 23b 79104 Freiburg
michael.poelchau@geologie.uni-freiburg.de

Anzeigenpreisliste und Mediadaten für 2011

Erscheinungstermine: März, Juni, September, Dezember

Anzeigenschluss: 10. Februar, 10. Mai, 10. August und 10. November

Auflage: 9.000 Exemplare • Heftformat: DIN A 5 • Druckverfahren: Offset

Anzeigen werden nur bei Lieferung einer druckfertigen Vorlage entgegengenommen.

Format

Ganze Seite: 13,4 cm breit, 18,1 cm hoch schwarz-weiß:

1 Zusatzfarbe (= zweifarbig):

2 Zusatzfarben (= dreifarbig):

3 Zusatzfarben (= vierfarbig):

halbe Seite quer: 13,4 cm breit, 9,0 cm hoch schwarz-weiß:

halbe Seite hoch: 6,45 cm breit, 18,1 cm hoch schwarz-weiß:

1 Zusatzfarbe (= zweifarbig):

2 Zusatzfarben (= dreifarbig):

3 Zusatzfarben (= vierfarbig):

viertel Seite quer: 6,45 cm breit, 9,0 cm hoch schwarz-weiß:

viertel Seite hoch: 13,4 cm breit, 4,5 cm hoch schwarz-weiß:

1 Zusatzfarbe (= zweifarbig):

2 Zusatzfarben (= dreifarbig):

3 Zusatzfarben (= vierfarbig):

Preis einer Beilage: 600,- €

Preis

450,- €

500,- €

550,- €

650,- €

300,- €

300,- €

350,- €

400,- €

450,- €

200,- €

200,- €

250,- €

300,- €

350,- €

Die Beilage darf ein Gesamtgewicht von 20 g pro Beilage nicht übersteigen und muß kleiner sein als die äußeren Ausmaße von DIN A 5. Die Beilage wird in der Woche vor Versand in der erforderlichen Auflage vom Auftraggeber in fertigem Zustand an das Versandunternehmen geschickt.

Alle o.g. Preise beziehen sich auf eine Ausgabe und beinhalten noch nicht die gesetzliche Mehrwertsteuer von zur Zeit 19 %. Mitglieder der an GMIT beteiligten Gesellschaften erhalten einen Preisnachlaß von 20 %. Nichtmitglieder, die Anzeigen für alle Ausgaben eines Jahres in Auftrag gegeben, erhalten einen Preisnachlaß von 10 %.

Auskunft erteilt die BDG-Geschäftsstelle, Lessenicher Straße 1, 53123 Bonn

Tel.: 0228/ 696601, Fax: 0228/696603; E-Mail: BDG@geoberuf.de; www.geoberuf.de