



Seminarfach

Exposé

Thema:	Entstehungsmechanismen und strukturelle Merkmale von Zentralbergen in Impaktkratern, Vulkanen und Äquatorialkämmen im Sonnensystem
Verfasser:	Julian Luke Mawill Baden
Fachlehrkraft und Kursbezeichnung:	ROP / SF2



Gymnasium Mellendorf
Fritz-Sennheiser-Platz 2
30900 Wedemark
Schuljahr: 2025/26

Seminarfach

Verfasser: Julian Luke Mawill Baden

Thema: Entstehungsmechanismen und strukturelle Merkmale von Zentralbergen in Impaktkratern, Vulkanen und Äquatorialkämmen im Sonnensystem

Fachlehrkraft und ROP / SF2
Kursbezeichnung:

Abgabetermin: 19.02.2026 zu Beginn der Seminarfachsitzung um 14 Uhr

Benotung:

Verfasser*in

Datum

Unterschrift der Lehrkraft



Erklärung des Verfassers

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken oder dem Internet entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Verfasser: Julian Luke Mawill Baden

Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1	Thema	1
1.1	Zentralberge	1
1.2	Vulkanismus	1
1.3	Äquatorialkämme	2
2	Fragestellung und Ziel der Arbeit	3
3	Gliederung und Methodik	3
4	Zeitplan	4

1 Thema

Die terrestrische Topographie ist durch eine große Vielfalt gekennzeichnet: so existieren auf der Erde 8.616 Gebirgszüge (Snethlage et al., 2022: S.8), sowie etwa 1,2 Millionen benannte Erhebungen mit einer vertikalen Ausdehnung von mehr als einem Meter (PeakVisor, 2020). Neben diesen tektonischen Strukturen lassen sich potentiell 1.350 vermutlich aktive Vulkane identifizieren (U.S. Geological Survey, 2025). Von diesen weisen historische Aufzeichnungen für circa 500 Vulkane Ausbrüche aus (*ebd.*).

Die Prozesse der Orogenese (Bergbildung) auf der Erde und die Mechanismen des terrestrischen Vulkanismus sind allerdings bereits seit langem Gegenstand intensiver Forschungen (Plummer et al., 2015: S.77-104, S.485-506). Auf Grundlage umfangreicher geophysikalischer und geochemischer Untersuchungen gilt daher heute das grundlegende Verständnis der zugrunde liegenden Prozesse als weitgehend etabliert (*ebd.*).

1.1 Zentralberge

Die Ausweitung dieser geologischen Betrachtung auf extraterrestrische Körper stellt einen Meilenstein in der Astronomie dar. Im Jahr 1610 publizierte der italienische Gelehrte, Astronom und Philosoph Galileo Galilei Beobachtungen, in denen er erstmals in einer wissenschaftlichen Arbeit die Existenz von Bergen auf dem Mond dokumentierte (Galilei, 1889: S.13). Damit beschrieb er als Erster Berge, Gebirge und Krater auf einem anderen Himmelskörper (*ebd.*).

Gegenwärtig besteht ein deutlich tiefgehenderes Verständnis der Prozesse der Kraterbildung. Diese werden typischerweise in drei Phasen unterteilt: die Kontakt- und Kompressionsphase, die Aushöhlungsphase (eng.: Excavation phase) sowie die Modifikationsphase (Rae, 2018: S.6-11). Das Ergebnis der ersten beiden Phasen ist eine transiente konkave Aushöhlung. Aufgrund gravitativer Kräfte kollabiert die Struktur teilweise, was zur endgültigen Kratermorphologie (Kraterform) führt und als Modifikationsphase bezeichnet wird (*ebd.* S.10). Während dieser Phase kann aufgrund von zurückfederndem Material in mittelgroßen, komplexen Kratern ein Zentralberg in der Kratermitte gebildet werden (*ebd.* S.12). Bei sehr großen Impaktstrukturen kann diese Erhebung allerdings instabil werden, wodurch nach dem Kollaps der zentralen Erhebung anstatt eines Zentralbergs ein ringförmiges Relief, ein sogenannter Zentralring, zurückbleibt (*ebd.* S.156). Ein prominentes Beispiel hierfür ist der Chicxulub-Krater auf der Yucatán Halbinsel (*ebd.*).

1.2 Vulkanismus

In der jüngeren Geschichte der Raumfahrt erweiterte sich das Wissen über den extraterrestrischen Vulkanismus stark. Die 1971 zum Mars gestartete Mariner 9 Sonde lieferte erstmals zweifelsfreie Belege für vulkanische Aktivitäten auf dem roten Planeten (McCauley et al., 1972: S.292). In diesem Zusam-

menhang wurden primär vier Schildvulkane innerhalb der Tharsis-Amazonis-Elysium-Region charakterisiert, wobei gerade die morphologische Ähnlichkeit zu terrestrischen Vulkanen angesprochen wird (*ebd.*).

Parallel dazu konnten die theoretischen Vorhersagen von Peale et al. (1979: S.894) bezüglich einer rezenten vulkanischen Aktivität des Jupitermonds Io durch Bilddaten der Voyager 1 Raumsonde bestätigt werden (Smith et al., 1979: S.961). Diese außergewöhnlich hohe Aktivität besteht vermutlich schon seit der Frühzeit des Sonnensystems vor etwa 4,57 Milliarden Jahren (Kleer et al., 2024: S.1). Infolge dessen gilt der Jupitermond heute als der vulkanisch aktivste bekannte Himmelskörper des Sonnensystems (NASA Science, 2026b).

Ein weiteres Forschungsfeld stellt die Venus dar, in deren Atmosphäre Fluktuationen in der Schwefeldioxid(SO_2)-Konzentration auf gegenwärtigen Vulkanismus hindeuten (Nimmo et al., 1998: S.30). Diese Indizien wurden durch die Analysen von Smrekar et al. (2010: S.607) untermauert, indem Lavaströme auf ein geologisches Alter von einigen hundert bis zehntausend Jahren datiert wurden. Dadurch gilt die Venus als der einzige planetare Körper abseits der Erde, der gegenwärtig aktive vulkanische Prozesse aufweist, während entsprechende Phänomene auf dem Mars und dem Merkur als erloschen gelten (Sigurdsson et al., 2015: S.687).

1.3 Äquatorialkämme

Zusätzlich zu Vulkanen und Zentralbergen in Impaktkratern weist der Saturnmond Iapetus ein im Sonnensystem einzigartiges Gebirge auf, das entlang seines Äquators verläuft. Neuere Untersuchungen von Detelich et al. (2021: S.2) gehen davon aus, dass sich der Kamm über etwa 75% des Umfangs von Iapetus erstreckt. Seine Maximale Höhe beträgt bis zu 20 km (Dombard et al., 2008: S.1). Aufgrund seiner einzigartigen Struktur im Sonnensystem wurden verschiedene Hypothesen zu seiner Entstehung vorgeschlagen, die sowohl endogene, als auch exogene Prozesse berücksichtigen (Damptz et al., 2018: S.135). Dazu zählen die Annahme von Cryovulkanismus, eine Deformation der Lithosphäre (*ebd.* S.136) sowie ein durch einen Impakt entstandenes temporäres Ringsystem (*ebd.* S.137).

Obwohl Iapetus der einzige bislang bekannte Körper im Sonnensystem ist, der sowohl durch seine Eigengravitation eine annähernd sphärische Form besitzt, als auch einen Äquatorialkamm aufweist, existieren weitere Monde mit vergleichbaren Strukturen (Quillen et al., 2021: S.1). Im Unterschied zu Iapetus wird die Entstehung der Kämme von den beiden Saturnmonden Pan und Atlas auf die Akkretion (ein Ansammeln) von Material aus Saturs Ringen zurückgeführt (*ebd.* S.2).

2 Fragestellung und Ziel der Arbeit

Mit der geplanten Arbeit soll ein systematischer und wissenschaftlich fundierter Überblick über die unterschiedlichen Berg- und Gebirgsstrukturen auf Körpern des Sonnensystems erarbeitet werden. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf ihren morphologischen Ausprägungen sowie den zugrunde liegenden Entstehungsprozessen. Ziel ist es, die strukturellen Merkmale nicht nur zu beschreiben, sondern sie in ihren geologischen und physikalischen Kontext einzuordnen.

Durch diese Forschung soll daher die Frage beantwortet werden, inwiefern physikalische und geologische Mechanismen die Ausbildung von Zentralbergen, Vulkanen und Äquatorialkämmen auf Körpern des Sonnensystems bestimmen, und welche charakteristischen strukturellen und morphologischen Merkmale sich daraus ableiten lassen.

Die Arbeit verfolgt somit das Ziel, die relevanten Mechanismen und Merkmale vergleichend zu untersuchen, um ein vertieftes Verständnis über die Orogenese und Entwicklung von Reliefstrukturen im Sonnensystem zu erlangen.

3 Gliederung und Methodik

Die geplante Seminararbeit wird thematisch, analog zum Themenabschnitt dieses Exposés, in drei Hauptkategorien aufgeteilt sein: Zentralberge in Impaktkratern, Vulkanismus und Äquatorialkämme. Diese Kategorien werden jeweils hinsichtlich ihrer Entstehungsprozesse sowie ihrer morphologischen und geologischen Merkmale systematisch untersucht. Des Weiteren soll im zweiten Teil der Arbeit eine Analyse vergleichend Gemeinsamkeiten und Unterschiede dieser Kategorien, sowie zwischen Vertretern innerhalb der Kategorien herausarbeiten.

Methodisch basiert die Arbeit auf Literaturrecherche und -auswertung. Dabei werden sowohl grundlegende Werke zur Orogenese und Vulkanforschung auf anderen Himmelskörpern, als auch aktuelle Fachartikel berücksichtigt.

Für jede dieser Kategorien sollen zunächst die theoretischen Grundlagen der Bildung auf Basis aktueller und älterer Publikationen besprochen werden. Anschließend werden die charakteristischen geometrischen, physikalischen und geologischen Eigenschaften beschrieben. Dafür sollen sowohl Daten aus Fernerkundung (beispielsweise Sondenbilder und topographische Karten), sowie moderne Modelle zur Krater-, Vulkan- und Äquatorialkammbildung verwendet werden, um ein umfassendes Bild über diese Prozesse zu liefern. Zur besseren Darstellung dieser Modelle und Daten werden Grafiken, Darstellungen und Diagramme verwendet, um eine bessere Vorstellung der beschriebenen Strukturen zu ermöglichen.

Im zweiten Teil der Arbeit soll eine vergleichende Analyse Unterschieden und Parallelen zwischen den Kategorien, sowie innerhalb ihrer Vertreter herausarbeiten, um Rückschlüsse auf ihre Entstehung und Entwicklung zu ziehen.

4 Zeitplan

Für die geplante Arbeit ist ein Bearbeitungszeitraum von sechs Wochen vorgesehen. Innerhalb dieses Zeitraums erfolgt zunächst eine vertiefende Literaturrecherche zu den drei zentralen Themenbereichen. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse werden erfasst, analysiert und in die Arbeit integriert.

Die erste Woche ist ausschließlich der intensiven Recherche gewidmet. Bereits vorhandene Quellen werden erneut detailliert gesichtet und relevante Informationen in strukturierter Form zusammengetragen. Darüber hinaus werden ergänzende Quellen recherchiert, insbesondere Beispiele zu Kratern mit Zentralbergen und dem Vulkanismus des Jupitermonds Io.

In den darauffolgenden vier Wochen wird die Arbeit auf Basis der vorher herausgearbeiteten Stichpunkte ausformuliert. Für jeden der drei thematischen Schwerpunkte, Vulkanismus, Zentralberge sowie Äquatorialkamm, ist dabei jeweils eine Woche vorgesehen. Die restliche Zeit dient dem vergleichenden Abschnitt.

Die sechste und letzte Woche ist der sprachlichen und inhaltlichen Überarbeitung vorbehalten. In diesem Zusammenhang wird der fortlaufend formulierte Text an Bekannte weitergegeben werden, die über langjährige Erfahrung im Verfassen von naturwissenschaftlichen Arbeiten sowie Expertise im Bereich der Geologie verfügen.

Quellenverzeichnis

- Damptz, A. L., Dombard, A. J. und Kirchoff, M. R. (2018). „Testing models for the formation of the equatorial ridge on Iapetus via crater counting“. In: *Icarus* 302, S. 134–144. ISSN: 0019-1035. DOI: 10.1016/j.icarus.2017.10.049.
- Detelich, C. E., Byrne, P. K., Dombard, A. J. et al. (2021). „The morphology and age of the Iapetus equatorial ridge supports an exogenic origin“. In: *Icarus* 367, S. 114559. ISSN: 0019-1035. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2021.114559>.
- Dombard, A. und Cheng, A. (2008). *Constraints on the Evolution of Iapetus from Simulations of Its Ridge and Bulge*.
- Galilei, G. (1889). *Sidereus Nuncius*. Hrsg. von A. van Helden. Original erschienen 1610; hier zitiert nach der englischen Übersetzung von 1989. University of Chicago Press. URL: <https://www.reed.edu/math-stats/wieting/mathematics537/SideriusNuncius.pdf>.
- Ivanov, M. A. und Head, J. W. (2013). „The history of volcanism on Venus“. In: *Planetary and Space Science* 84, S. 66–92. ISSN: 0032-0633. DOI: 10.1016/j.pss.2013.04.018.
- Kleer, K. de, Hughes, E. C., Nimmo, F. et al. (2024). „Isotopic evidence of long-lived volcanism on Io“. In: *Science* 384.6696, S. 682–687. DOI: 10.1126/science.adj0625.
- Lopez Garcia, E. J., Rivera-Valentin, E. G., Schenk, P. M. et al. (2014). „Topographic constraints on the origin of the equatorial ridge on Iapetus“. In: *Icarus* 237, S. 419–421. ISSN: 0019-1035. DOI: 10.1016/j.icarus.2014.04.025.
- Mason, P. J., Klidaras, A., Cirium, D. et al. (2025). „Evolution of Plume Volcanism at Atla Regio, Venus“. In: *Journal of Geophysical Research: Planets* 130.2, e2024JE008815. DOI: 10.1029/2024JE008815.
- McCauley, J., Carr, M., Cutts, J. et al. (1972). „Preliminary Mariner 9 report on the geology of Mars“. In: *Icarus* 17.2, S. 289–327. DOI: 10.1016/0019-1035(72)90003-6.
- Mouginis-Mark, P. J. und Boyce, J. M. (2012). „Tooting crater: Geology and geomorphology of the archetype large, fresh, impact crater on Mars“. In: *Geochemistry* 72.1, S. 1–23. ISSN: 0009-2819. DOI: 10.1016/j.chemer.2011.12.001.
- NASA Science (2026a). *Iapetus*. URL: <https://science.nasa.gov/saturn/moons/iapetus/> (Zugriff am 13.02.2026).
- (2026b). *Io: Facts*. URL: <https://science.nasa.gov/jupiter/jupiter-moons/io-facts/> (Zugriff am 12.02.2026).
- Nimmo, F. und McKenzie, D. (1998). „VOLCANISM AND TECTONICS ON VENUS“. In: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 26. Volume 26, S. 23–51. ISSN: 1545-4495. DOI: 10.1146/annurev.earth.26.1.23.
- PeakVisor (2020). *How many mountains are there on Earth?* PeakVisor. URL: https://peakvisor.com/en/news/how_many_mountains_on_earth.html (Zugriff am 02.02.2026).
- Peale, S. J., Cassen, P. und Reynolds, R. T. (1979). „Melting of Io by Tidal Dissipation“. In: *Science* 203.4383, S. 892–894. DOI: 10.1126/science.203.4383.892.
- Plummer, C. C., Carlson, D. H. und Hammersley, L. (2015). *Physical Geology*. 15th. New York: McGraw-Hill Higher Education.
- Quillen, A. C., Zaidouni, F., Nakajima, M. et al. (2021). „Accretion of ornamental equatorial ridges on Pan, Atlas and Daphnis“. In: *Icarus* 357, S. 114260. ISSN: 0019-1035. DOI: 10.1016/j.icarus.2020.114260.

- Rae, A. S. P. (2018). *The kinematics and dynamics of complex crater collapse*. Diss. Imperial College London. DOI: 10.25560/83669.
- Schmidt, J. F. J. (2020). *The Moon: A Translation of Der Mond*. Translated from the original German edition. Springer. DOI: 10.1007/978-3-030-37269-9.
- Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, H. et al., Hrsg. (2015). *The Encyclopedia of Volcanoes*. 2nd. Amsterdam, Netherlands: Academic Press. ISBN: 978-0-12-385938-9. DOI: 10.1016/C2015-0-00175-7.
- Smith, B. A., Soderblom, L. A., Johnson, T. V. et al. (1979). „The Jupiter System Through the Eyes of Voyager 1“. In: *Science* 204.4396, S. 951–972. DOI: 10.1126/science.204.4396.951.
- Smrekar, S. E., Stofan, E. R., Mueller, N. et al. (2010). „Recent Hotspot Volcanism on Venus from VIRTIS Emissivity Data“. In: *Science* 328.5978, S. 605–608. DOI: 10.1126/science.1186785.
- Snethlage, M. A., Geschke, J., Ranipeta, A. et al. (2022). „A hierarchical inventory of the world’s mountains for global comparative mountain science“. In: *Scientific Data* 9.1, S. 149. ISSN: 2052-4463. DOI: 10.1038/s41597-022-01256-y.
- Solomon, S. C., Smrekar, S. E., Bindschadler, D. L. et al. (1992). „Venus tectonics: An overview of Magellan observations“. In: *Journal of Geophysical Research: Planets* 97.E8, S. 13199–13255. DOI: 10.1029/92JE01418.
- U.S. Geological Survey (2025). *How many active volcanoes are there on Earth?* URL: <https://www.usgs.gov/faqs/how-many-active-volcanoes-are-there-earth> (Zugriff am 02.02.2026).