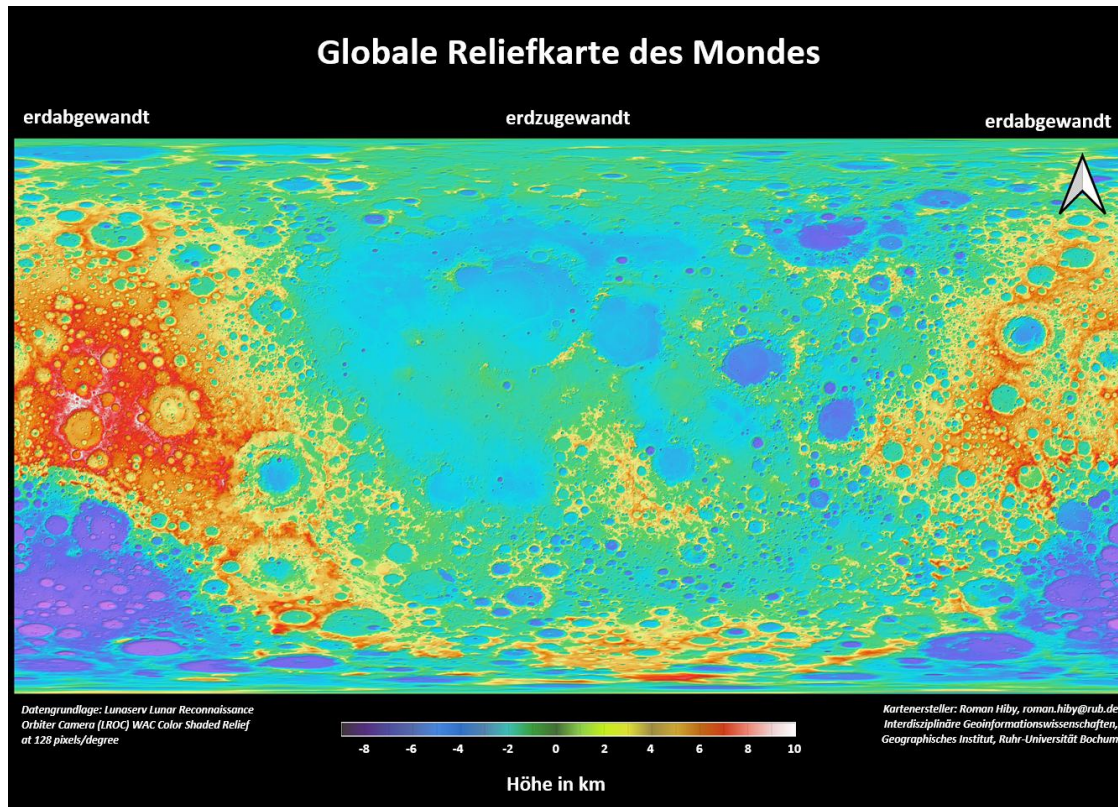


## Erläuterung zu Lunaserv-Karten

Mit diesem Dokument soll Aufklärung darüber geleistet werden, um welche Produkte es sich bei dem vorliegenden aus Lunaserv gewonnenen Kartenmaterial handelt, wie diese zu interpretieren sind und inwieweit sie das Potential aufweisen, in eine oder mehrere der vorliegenden Unterrichtsmaterialien eingebunden zu werden. Wichtig ist es, anzumerken, dass diese Karten und die daraus gewonnenen Informationen ohne die Satellitendatengewinnung aus dem lunaren Orbit nicht zustande kommen könnten. Eine globale Analyse von lunaren Parametern ist aus bodengestützten Daten auf dem Mond, schlichtweg durch die zu geringe Stichprobenzahl, nicht möglich. Deshalb sind die gegebenen Datenquellen in Form von Satelliten auf dem Mond von hoher Relevanz. Die Nutzung von lunaren Beobachtungssatelliten bietet zudem durch die nicht vorhandene Atmosphäre und damit ausbleibenden Wetterphänomenen sowie durch die geringere Gravitationskraft des Mondes sehr viel bessere Möglichkeiten als die Satellitenbeobachtung der Erde. Die aufgelisteten Karteninhalte können zudem über die Augmented Reality App „Columbus Eye“ eingesehen und interaktiv genutzt werden.

### Globale Reliefkarte des Mondes:



In der App:





Die Globale Reliefkarte des Mondes entstammt aus Daten der Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) Wide Angle Camera (WAC). Als Grundlage für die Erstellung der Reliefkarte wurde das Global Lunar Digital Terrain Model mit einer Auflösung von 100m/Pixel und das Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA) 30m Digital Terrain Model (auf 100m/Pixel heruntergerechnet) genutzt.

Die vorliegende Karte zeigt das Relief und damit die Höhendaten der globalen Mondoberfläche. Als Nullpunkt ist dabei der durchschnittliche Radius des Mondes festgelegt. 34 Farben wurden für die Farbskala ausgewählt, um die Einteilung der Senken und Erhebungen global möglichst eindeutig zu differenzieren. Farblich sind die tiefen Senken des Mondes blau bis lila codiert und erreichen eine Tiefe von -9 km (Bsp. Antoniadi-Krater nahe des Südpols auf erdabgewandter Seite). Grün eingefärbt ist das Gelände, welches sich rund um den Nullpunkt ansiedelt. Die Hochebenen werden rot bis weiß visualisiert und können eine Höhe von bis zu 10,75 km erreichen (Bsp. Rand des Engelhardt-Kraters nahe des Äquators auf erdabgewandter Seite).

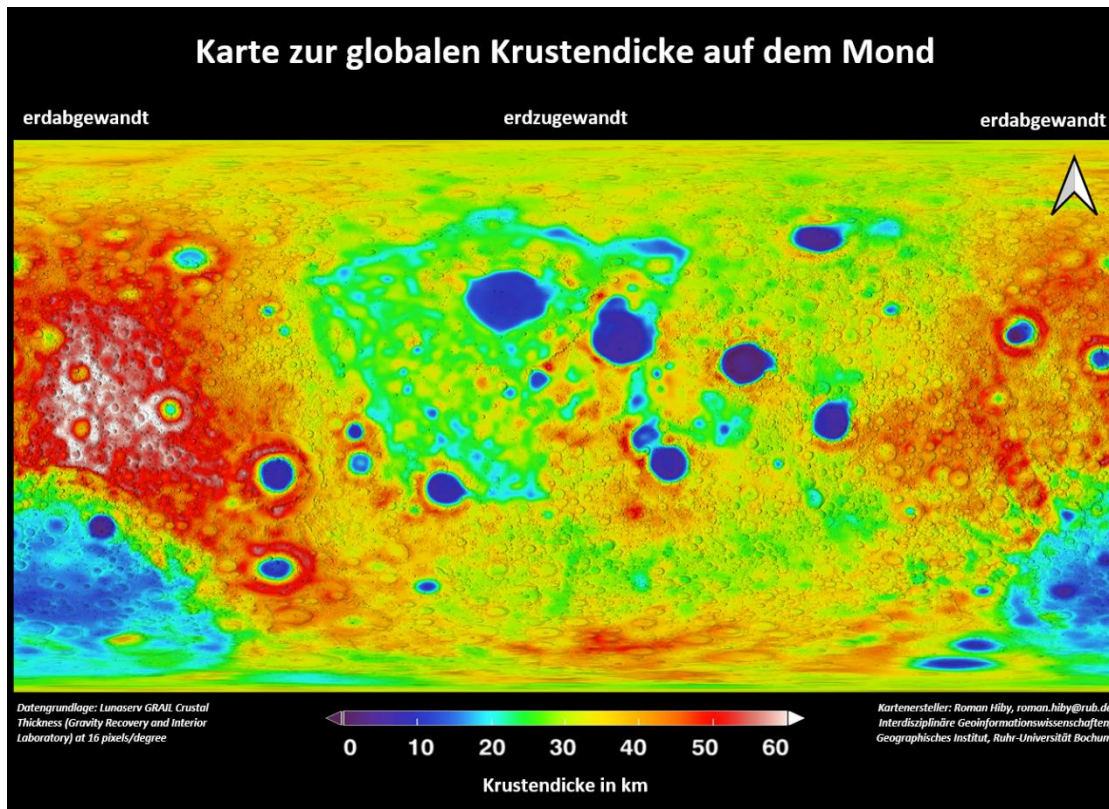
Bei Betrachtung des globalen Reliefs des Mondes fällt auf, dass die erd zugewandte Seite durch die ausgebildeten Mare-Täler meist unter 0 km Höhe liegt. Die Hochländer der erdabgewandten Seite sind auch auf der Reliefkarte zu erkennen, da die Gebiete meist deutlich über 0 km Höhe liegen. Zudem siedeln sich die tiefsten Gebiete des Mondes südlich der Hochländer auf der erdabgewandten Seite an.

Die vorliegende Globale Reliefkarte des Mondes kann potentiell für Unterrichtsmaterial 1, 2 und 3 genutzt werden. In Bezug auf die Entstehung des Mondes und dessen Geologie kann die Karte unterstützend zur Erklärung der geologischen Disparität zwischen erd zugewandter und erdabgewandter Seite genutzt werden sowie die Entstehung des Mondes besser erklären. In Bezug auf die Standortfaktoren können die vorliegenden Reliefstrukturen genutzt werden, um passende und weniger passende Gebiete für eine menschliche Besiedelung herauszuarbeiten. Auch für Unterrichtsmaterial 3 zur Gravitation kann die vorliegende Karte genutzt werden, da die Mare auf der erd zugewandten Seite sowie die Hochländer auf der erdabgewandten Seite dazu dienen, den starken gravitativen Einfluss der Erde in der frühen Entstehung des Mondes zu erklären. Durch die Zentrifugalkraft hat sich das Relief auf der erdabgewandten Seite sehr viel stärker ausgeprägt.

Weitere Informationen finden Sie in der zugrundeliegenden Quelle: [https://pds.lroc.asu.edu/data/LRO-L-LROC-5-RDR-V1.0/LROLRC\\_2001/DATA/SDP/WAC\\_CSHADE/WAC\\_CSHADE\\_README.TXT](https://pds.lroc.asu.edu/data/LRO-L-LROC-5-RDR-V1.0/LROLRC_2001/DATA/SDP/WAC_CSHADE/WAC_CSHADE_README.TXT) [15:26, 05.01.2023]



## Karte zur globalen Krustendicke auf dem Mond:



In der App:



Die Karte zur globalen Krustendicke auf dem Mond bildet sich aus den Daten des Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL) und liegt bei einer Auflösung von 16 ppp („pixels per degree“). Die Karte zeigt dabei auf, welche Krustendicke in welchen Gebieten auf der Mondoberfläche gegeben ist. Eine geringe Krustendicke von 0-10 km wird dabei in lila bis blau und eine hohe Krustendicke von 50-60 km wird in rot bis weiß dargestellt.

Bei genauerer Betrachtung der globalen Krustendicke auf dem Mond fällt auf, dass insbesondere die Mare auf der erdabgewandten Seite sowie die südlichen Gebiete auf der erdabgewandten Seite die geringste Krustendicke aufweisen. Die Hochländer der erdabgewandten Seite zeigen wiederum die höchste Krustendicke des Mondes auf.

Auf dem Mond gehen Krustendicke und lokale Gravitationsunterschiede einher. Dies bedeutet, dass die Gravitationskraft in den Regionen mit einer geringeren Krustendicke stärker ist, als beispielsweise in den Hochländern, wo die höchste Krustendicke auf dem Mond vorliegt. Dies hängt unter anderem mit der damit einhergehenden Topographie und der Entfernung zum Masseschwerpunkt, allerdings auch mit der Dichte des Mondgesteins zusammen.



Die geringe Krustendicke geht aus zahlreichen heftigen Einschlägen hervor, die die Mare auf der erdzugewandten Seite des Mondes gebildet haben. Teilweise liegt dort die Mondoberfläche direkt auf dem Mantelgestein auf, wodurch in besagten Maren kaum Kruste vorhanden ist. Die Mare „Moscoviense“ und „Crisium“ weisen dabei mit fast 0 km die geringste Krustendicke auf dem Mond auf. Dies hat zur Folge, dass das Mondgestein in den besagten Regionen eine hohe Dichte besitzt und die Gravitation verstärkt.

Demnach kann man festhalten, dass sich die Gravitationsanomalien auf dem Mond genau entgegengesetzt zur Krustendicke verhalten. In Regionen mit der geringsten Krustendicke herrscht die höchste Gravitationskraft und umgekehrt.

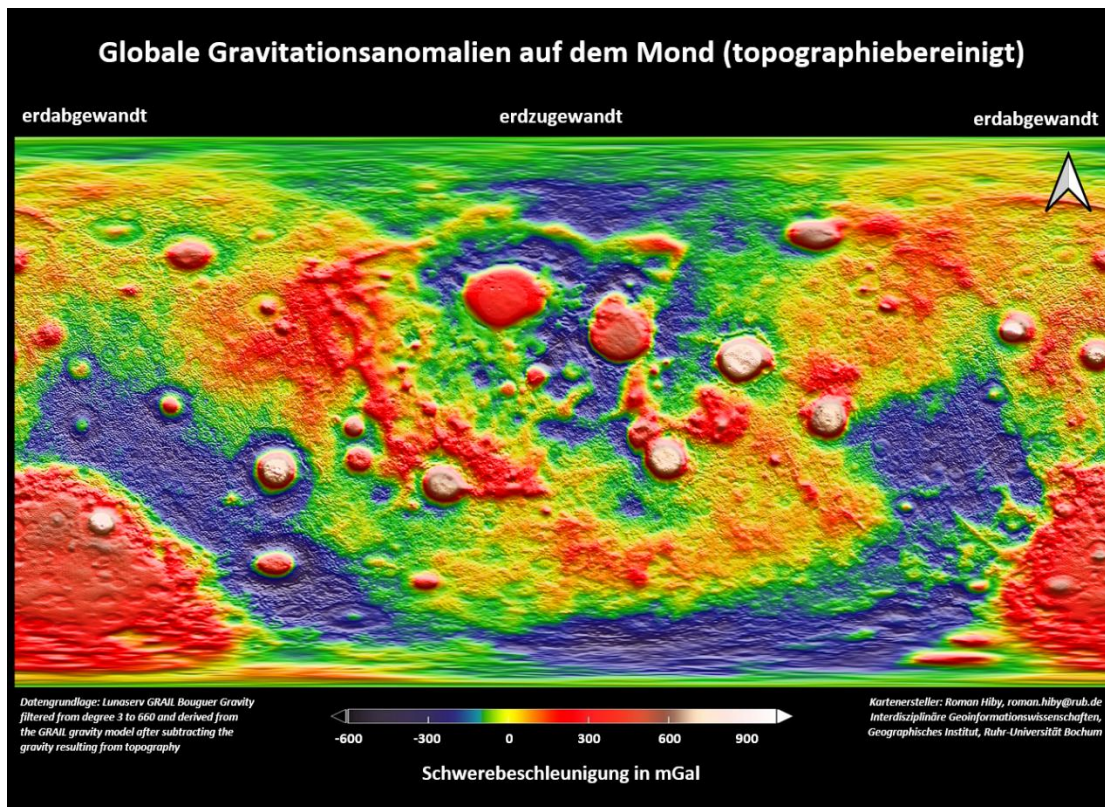
Die vorliegende Karte zur globalen Krustendicke des Mondes kann potentiell für Unterrichtsmaterial 1 und 3 genutzt werden. In Bezug auf die Entstehung des Mondes und dessen Geologie kann die Karte unterstützend zur Erklärung der geologischen Disparität zwischen erdzugewandter und erdabgewandter Seite genutzt werden sowie die Entstehung des Mondes besser erklären. Auch für Unterrichtsmaterial 3 zur Gravitation kann die vorliegende Karte verwendet werden, da die Mare auf der erdzugewandten Seite sowie die Hochländer auf der erdabgewandten Seite dazu dienen, den starken gravitativen Einfluss der Erde in der frühen Entstehung des Mondes zu erklären und auch mondeigene Gravitationsanomalien zu erklären.

Unterstützend kann die Karte auch in Kombination mit der Reliefkarte für Unterrichtsmaterial 2 verwendet werden, um topographische Standortfaktoren zu den einzelnen Regionen auf dem Mond herauszuarbeiten.

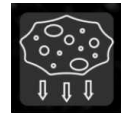
Weitere Informationen finden Sie in der zugrundeliegenden Quelle: Wieczorek, M., Neumann, G., Nimmo, F., Kiefer, W., Taylor, G., Melosh, H., Phillips, R., Solomon, S., Andrews-Hanna, J., Asmar, S., Konopliv, A., Lemoine, F., Smith, D., Watkins, M., Williams, J., Zuber, M. (2013). The Crust of the Moon as Seen by GRAIL. *Science*, 339 (6120), 671-675.



## Globale Gravitationsanomalien auf dem Mond (topographiebereinigt):



In der App:



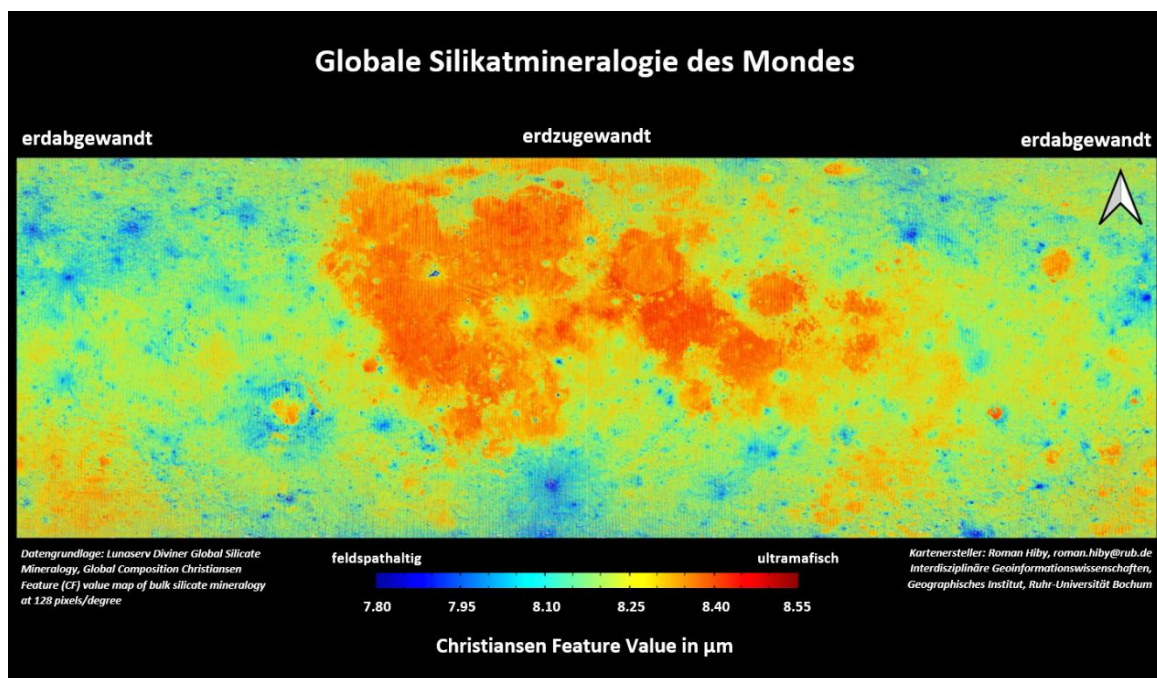
Die Karte zu den globalen Gravitationsanomalien auf dem Mond entstammt aus Daten des „GRAIL GRGM900C gravity model“. Die Besonderheit ist dabei, dass die Gravitationsanomalien abzüglich der Topographieauswirkungen berechnet wurden. Wie bei der Karte zur globalen Krustendicke bereits erklärt, wirkt sich die Topographie und die Krustendicke und -dichte auf die mondeigene Gravitation aus, da die tieferliegende und verdichtete Oberfläche des Mondes eine höhere Gravitation aufweist als die Hochländer. Die vorliegende Karte zeigt wiederum an, wo sich die Gravitationsanomalien topographiebereinigt lokalisieren lassen. Dies lässt beispielsweise Rückschlüsse auf die genaue Dichte der Mondoberfläche zu. Die Anomalien der Schwerebeschleunigung (Gravitation) werden bei den vorliegenden Daten in mGal (Milligal, benannt nach Galileo Galilei) angegeben und je nach Wertebereich farblich visualisiert. 1.000 mgal entsprechen  $1 \text{ cm/s}^2$ . Negative Gravitationsanomalien werden auf der Karte dunkelgrün bis blau visualisiert, während positive Gravitationsanomalien in rot bis weiß dargestellt werden. Die Spanne reicht dabei von ca. -600 mGal bis ca. +1.000 mGal. Die höchsten Werte sind hierbei an den großen verdichteten Einschlagkratern, einerseits in den Maren der erdzugewandten Seite, andererseits teils auch an der erdabgewandten Seite zu finden.



Die vorliegende Karte zu den topographiebereinigten Gravitationsanomalien auf dem Mond kann potentiell für Unterrichtsmaterial 3 genutzt werden. Sie dient zur Erläuterung der mondeigenen Gravitationskraft und damit einhergehenden Anomalien nach der Topographiebereinigung. Unter Hinzunahme der Karten zur globalen Krustendicke und zum Relief kann auch der Einfluss von Topographie auf die mondeigene Gravitation herausgearbeitet werden.

Weitere Informationen finden Sie in der zugrundeliegenden Quelle: Zuber, M., Smith, D., Watkins, M., Asmar, S., Konopliv, A., Lemoine, F., Melosh, H., Neumann, G., Phillips, R., Solomon, S., Wicczorek, M., Williams, J., Goossens, S., Kruizinga, G., Mazarico, E., Park, R., Yuan, D. (2013). Gravity Field of the Moon from the Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL) Mission. Science, 339 (6120), 668-671.

### Globale Silikatmineralogie des Mondes:



Die Karte zur Globalen Silikatmineralogie des Mondes entstammt aus Daten des Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) Diviner Lunar Radiometer mit Hilfe von multispektraler Wärmeemissionskartierung und hebt die Variabilität der Zusammensetzung von gewöhnlichem Mondgelände mit ungewöhnlichen Zusammensetzungen in den Farben Blau (mindestens bei 7,80  $\mu\text{m}$ ) und Rot (maximal 8,55  $\mu\text{m}$ ) hervor.

Die vorliegenden multispektralen thermischen Emissionsdaten haben eine hohe räumliche Auflösung, eine nahezu globale Abdeckung und weisen eine hohe Sensitivität für die relevante eisenarme Mineralogie auf dem Mond auf.



Der Wertebereich wird mit Hilfe des Christiansen Feature (CF) charakterisiert. Dies ist ein Indikator, der bereits bei zahlreichen silikatmineralogischen Analysen angewendet wurde. Bei dem genutzten Wertebereich von CF zeigen sich feldspathaltige Mineralien bei kürzeren Wellenlängen von unter 8  $\mu\text{m}$  (hell bis dunkelblau gekennzeichnet). Dabei handelt es sich um eher hellere Minerale aus dem Mondgestein. Mafische und ultramafische Gesteine sind dunkle Minerale aus magmatischem Gestein, wie bspw. Olivin, die bei über 8,4  $\mu\text{m}$  Wellenlänge auftreten (orange bis dunkelrot gekennzeichnet). Um den Wertebereich von CF zu bestätigen, mussten Gesteine auf der Erde in einer mondähnlichen Umgebung untersucht werden, da ansonsten abweichende Werte festgestellt wurden.

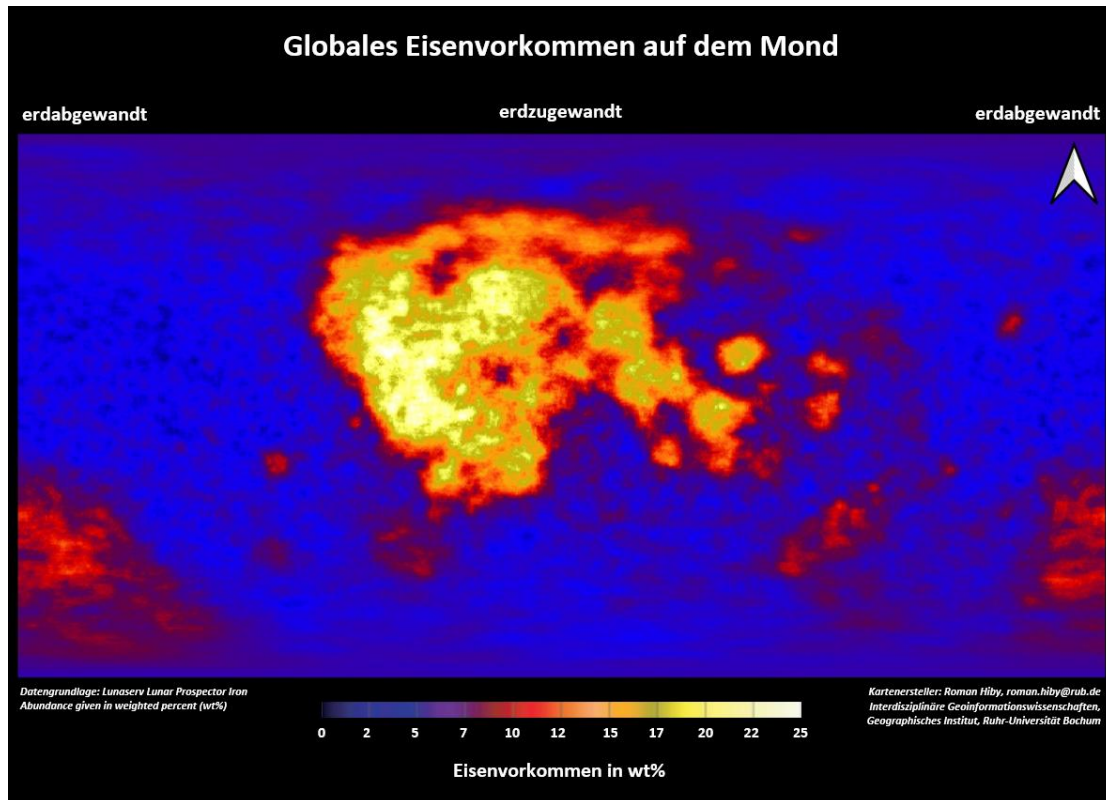
Über 90% des lunaren Oberflächengesteins liegt zwischen 8,04 und 8,36  $\mu\text{m}$ . In diesem Wertebereich siedeln sich insbesondere Pyroxene an. Die erdzugewandte Seite, die aus zahlreichen Maria-Tälern besteht, wird durch dunkle und basaltische Minerale dominiert und zeigt vorwiegend mafische Ausprägungen. Die erdabgewandte Seite ist mit ihren Hochländern klar dem helleren Feldspat zuzuordnen. Diese Erkenntnisse konnten ebenfalls aus den Gesteinsproben der Apollo-Missionen bestätigt werden.

Die vorliegende Karte zur globalen Silikatmineralogie auf dem Mond kann potentiell für Unterrichtsmaterial 1 und 2 genutzt werden. In Bezug auf die Entstehung des Mondes und dessen Geologie kann die Karte unterstützend zur Erklärung der geologischen Disparität zwischen erdzugewandter und erdabgewandter Seite genutzt werden sowie die Entstehung des Mondes besser erklären. In Bezug auf die Standortfaktoren können geologische Erkenntnisse zum Oberflächengestein genutzt werden, um geeignete und weniger geeignete Standorte für eine Mondbesiedelung auszumachen.

Weitere Informationen finden Sie in der zugrundeliegenden Quelle: Greenhagen, B. T., Lucey, P. G., Wyatt, M. B., Glotch, T. D., Allen, C. C., Arnold, J. A., Bandfield, J. L., Bowles, N. E., Hanna, K. L. D. Hayne, P. O., & Song, E. (2010). Globale Silikatmineralogie des Mondes mit dem Diviner Lunar Radiometer. *Science*, 329(5998), 1507-1509.



## Globales Eisenvorkommen auf dem Mond:



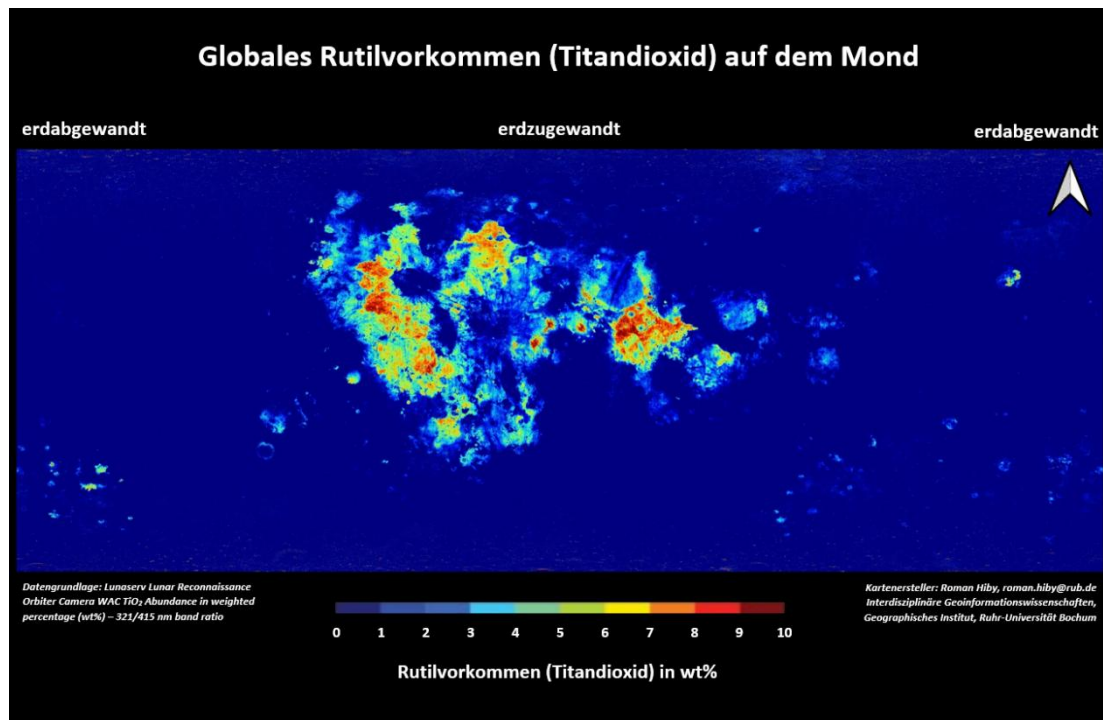
Die Karte zum globalen Eisenvorkommen auf dem Mond ergibt sich aus Daten des Lunar Prospector (LP) Gammastrahlungsspektrometers (GRS) und Neutronenspektrometers (NS). Das absolute Eisenvorkommen wird dabei in "weighted percentage" (wt%), also gewichteten Prozentsen, angegeben. Der Wertebereich erstreckt sich von 0 wt% Eisenvorkommen in dunkelblau über 10-15 wt% in rot/orange bis zu 25 wt% in weiß. Die Karte zeigt ein starkes Vorkommen von Eisen im Oberflächengestein der erdzugewandten Seite des Mondes, insbesondere in den Mare-Tälern. Am stärksten ausgeprägt ist das Eisenvorkommen in den westlich gelegenen Maren (>22 wt%). In den Hochländern der erdbegewandten Seite besteht wiederum nur ein recht geringes Eisenvorkommen in der Mondoberfläche (<5 wt%).

Die vorliegende Karte zum globalen Eisenvorkommen auf dem Mond kann potentiell für Unterrichtsmaterial 1 und 2 genutzt werden. In Bezug auf die Entstehung des Mondes und dessen Geologie kann die Karte unterstützend zur Erklärung der geologischen Disparität zwischen erdzugewandter und erdbegewandter Seite genutzt werden sowie die Entstehung des Mondes besser erklären. In Bezug auf die Standortfaktoren können geologische Erkenntnisse zum Oberflächengestein, wie in diesem Fall das Eisenvorkommen, genutzt werden, um geeignete und weniger geeignete Standorte für eine Mondbesiedelung auszumachen.



Weitere Informationen finden Sie in der zugrundeliegenden Quelle: D. J., W. C. Feldman, R. C. Elphic, R. C. Little, T. H. Prettyman, S. Maurice, P. G. Lucey, and A. B. Binder (2002). Iron abundances on the lunar surface as measured by the Lunar Prospector gamma ray and neutron spectrometers. Journal of Geophysical Research: Planets, 107(E12). <https://doi.org/10.1029/2001JE001530>

## Globales Rutilvorkommen auf dem Mond:



Die Karte zum globalen Rutilvorkommen (auch Titandioxid/TiO<sub>2</sub>) auf dem Mond ergibt sich aus den multispektralen 321/415nm Bändern der Wide-Angle Camera (WAC) des Lunar Reconnaissance Orbiters (LRO) und wird in „weighted percentage“ (wt%), also gewichteten Prozenten, angegeben. Zur Validierung wurden echte Mondbodenproben mit den jeweiligen Werten der 321/415 nm Bänder an den jeweiligen Standorten miteinander verglichen.

Der Wertebereich erstreckt sich von 0 wt% Rutilvorkommen, visualisiert in dunkelblau, bis zu 10 wt% Rutilvorkommen, visualisiert in dunkelrot. Allgemein beschränkt sich das Vorkommen von TiO<sub>2</sub> nahezu ausschließlich auf die Mare der erdzugewandten Mondseite. Die erdabgewandte Seite liegt bis auf wenige Ausnahmen dauerhaft unterhalb 2 wt% an TiO<sub>2</sub>.



Die vorliegende Karte zum globalen Rutilvorkommen (auch Titandioxid/ $\text{TiO}_2$ ) auf dem Mond kann potentiell für Unterrichtsmaterial 1 und 2 genutzt werden. In Bezug auf die Entstehung des Mondes und dessen Geologie kann die Karte unterstützend zur Erklärung der geologischen Disparität zwischen erd zugewandter und erd abgewandter Seite genutzt werden sowie die Entstehung des Mondes besser erklären. In Bezug auf die Standortfaktoren können geologische Erkenntnisse zum Oberflächengestein, wie in diesem Fall das Rutil, genutzt werden, um geeignete und weniger geeignete Standorte für eine Mondbesiedelung auszumachen.

Weitere Informationen finden Sie in der zugrundeliegenden Quelle: Sato, H., Robinson, M.S., Lawrence, S.J., Denevi, B.W., Hapke, H., Jolliff, B.L., Hiesinger, H. (2017) Lunar Mare  $\text{TiO}_2$  Abundances Estimated from UV/Vis Reflectance, *Icarus*, doi:10.1016/j.icarus.2017.06.013.