

A photograph of a dust devil on the surface of Mars. The dust devil is a tall, narrow column of reddish-brown dust and sand rising from the ground. The ground is a flat, reddish-brown desert landscape with some small rocks and low hills in the distance. The sky is a hazy, light brown color.

Dust Devils and Dust Storms on Planet Mars

Simulation and
Animation of
Natural Phenomena

Bachelor-Report von Anna-Lena Kramer

Anna-Lena Kramer

Digitale Medien B.Sc., Fakultät 3 – Mathematik und Informatik, Universität Bremen

Erstprüfer: Prof. Dr. Gabriel Zachmann

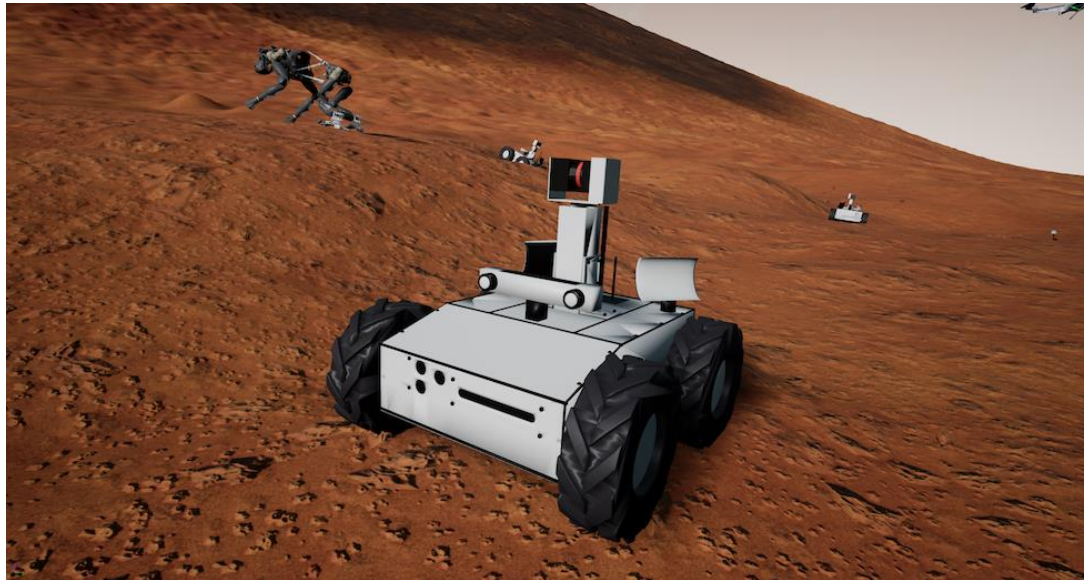
Zweitprüfer: Dr. Tim Laue

Betreuer: M.Sc. Philipp Dittmann

Agenda

- Ziel der Arbeit
- Informationen über die natürlichen Phänomene
- Details zur Umsetzung
 - Staubteufel
 - Staubstürme
 - Atmosphäre
- Nutzerstudie
 - Aufbau und Ziel
 - Ergebnisse
- Fazit
- Ausblick

Ziel der Arbeit

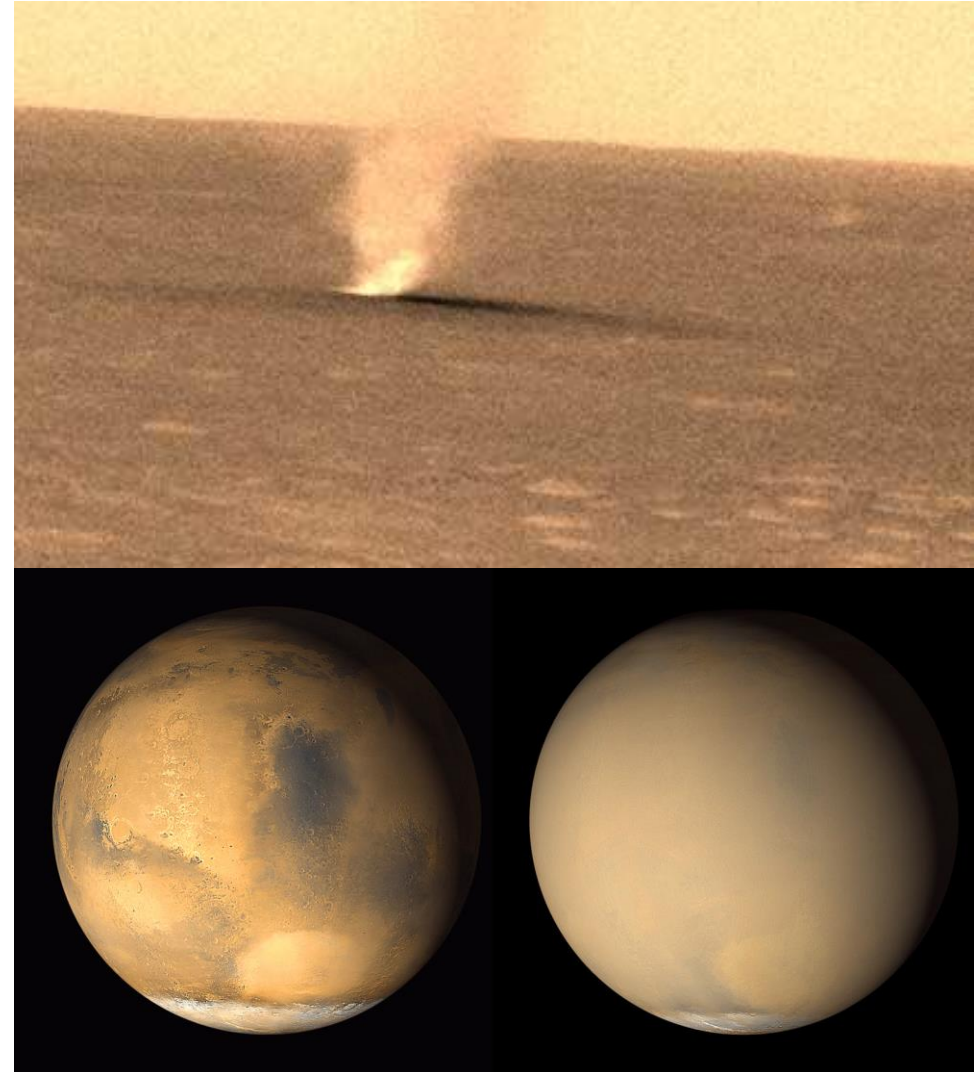


UGV im Mars Terrain, Credit: CGVR Universität Bremen - VaMEx-VTB (2020) ^[12]

- Erweiterung der Marsumgebung des VaMEx-VTB durch realistisch animierte und simulierte, natürliche Phänomene
 - Staubteufel (Dust Devils)
 - Staubstürme (Dust Storms)
 - Atmosphäre (Atmosphere)
- Bereitstellung einer größeren Auswahl an realistischen Testszenarien für das autonome, heterogene Schwarmverhalten

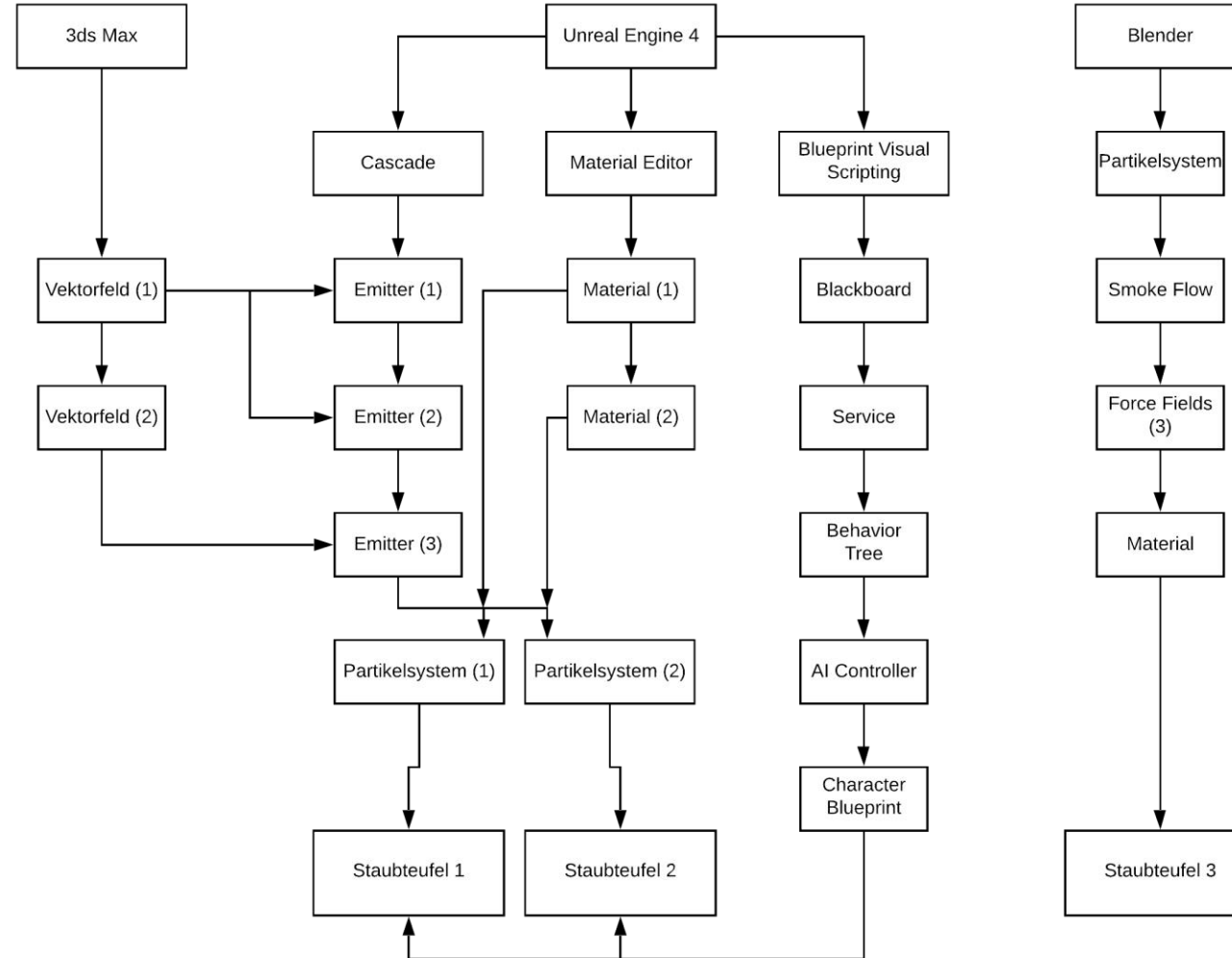
Informationen über die natürlichen Phänomene auf dem Mars

- Definition Staubteufel:^{[1],[6],[10]}
 - Durch aufgewirbelten Sand & Staub sichtbare Wirbelwinde
 - Entstehung durch das spiralförmige Aufsteigen erwärmter Luft aus Bodennähe
- Definition Staubsturm:^{[2],[3],[4],[13],[14]}
 - Sich bewegende Staubwolke
 - Entstehung durch das Aufwirbeln von losem Oberflächenmaterial in die Atmosphäre
- Definition Atmosphäre:^{[3],[7],[11]}
 - Weist eine große Menge an Staub auf ("Roter Planet")



Oberes Bild, Credit: NASA 2005 ^[8] - Unteres Bild, Credit: NASA/JPL-Caltech/MSSS 2018 ^[9]

Details zu Umsetzung: Staubteufel



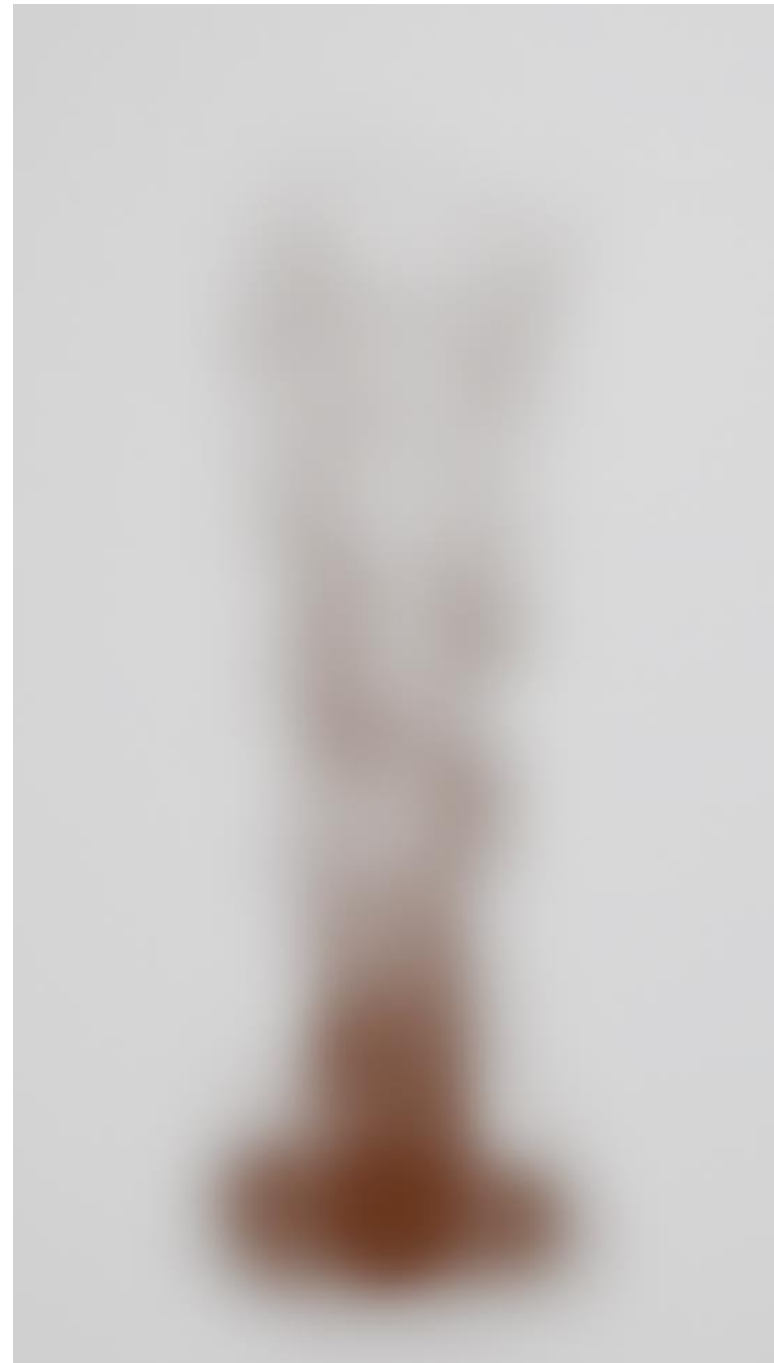
Details zur Umsetzung: Staubteufel Nr. 1

- Verwendete Software:
3ds Max & Unreal Engine 4
- Besteht aus:
 - 2 Vektorfeldern
 - 1 Material, genannt "Surface Material"
 - 1 Partikelsystem, bestehend aus 3 Emitttern
 - AI Movement, basierend auf 1 Blackboard, 1 Behavior Tree, 1 Costum Service, 1 AI Controller & 1 Character Blueprint



Details zur Umsetzung: Staubteufel Nr. 2

- Staubteufel Nr. 1 und Staubteufel Nr. 2 sind vom Aufbau beinahe identisch, bis auf das verwendete Material und einzelne Einstellungen
- Verwendete Software:
3ds Max & Unreal Engine 4
- Besteht aus:
 - 2 Vektorfeldern
 - 1 Material, genannt "Volume Material"
 - 1 Partikelsystem, bestehend aus 3 Emitttern
 - AI Movement, basierend auf 1 Blackboard, 1 Behavior Tree, 1 Costum Service, 1 AI Controller & 1 Character Blueprint





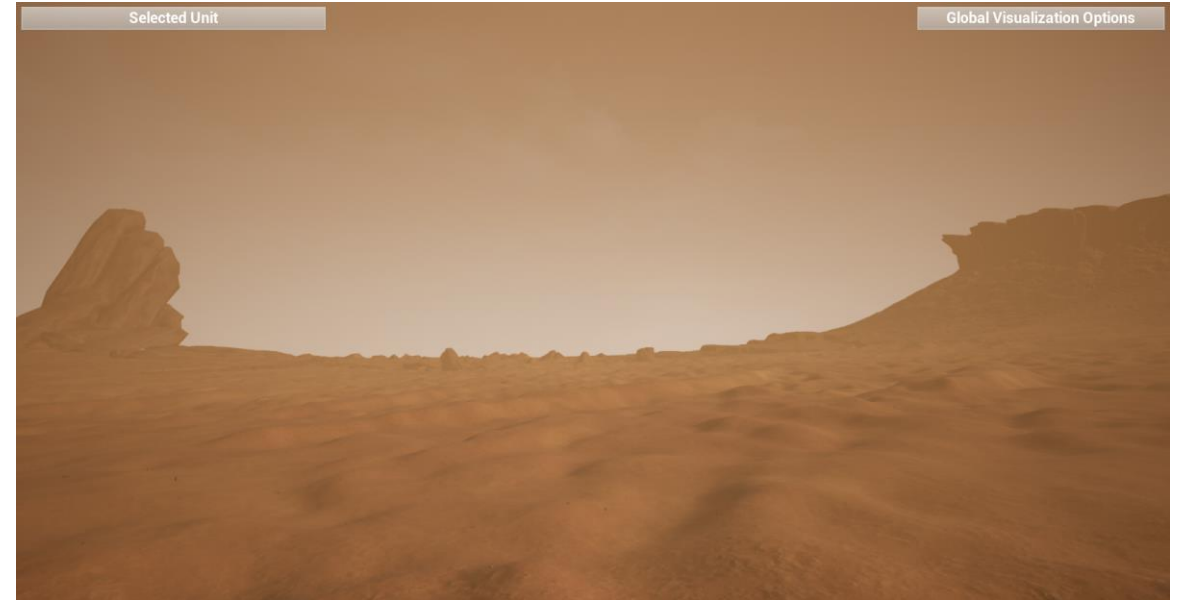
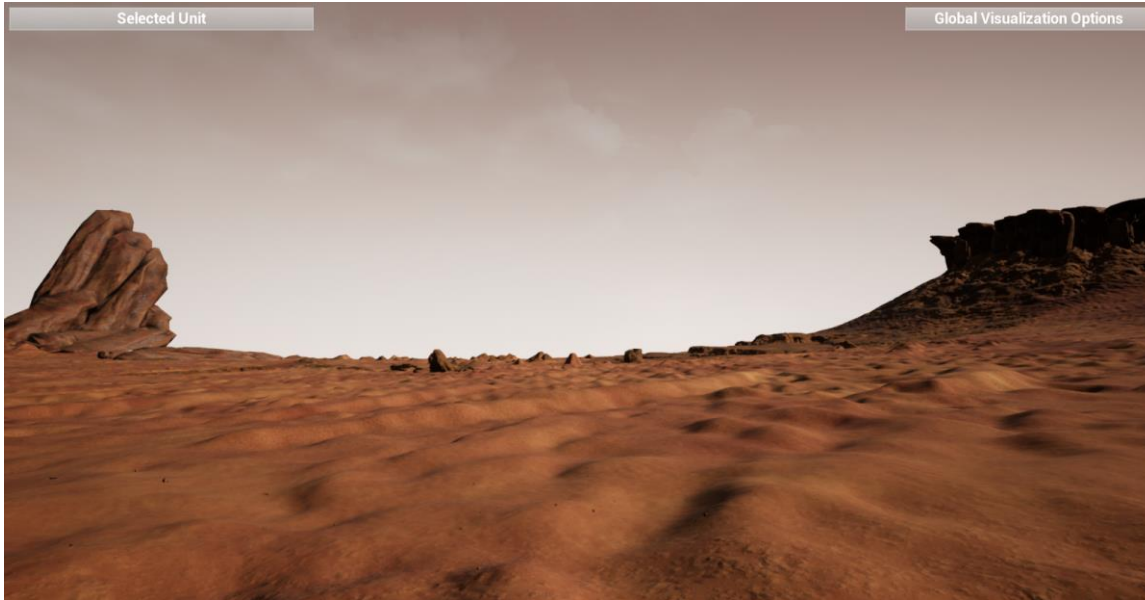


Details zur Umsetzung: Staubteufel Nr. 3

- Verwendete Software: Blender
- Besteht aus:
 - 1 Partikelsystem mit 1 Emitter
 - 3 Kraftfelder (Force Fields)
 - 1 Animation
 - Fluid Simulation (Smoke Simulation)
 - 1 Material

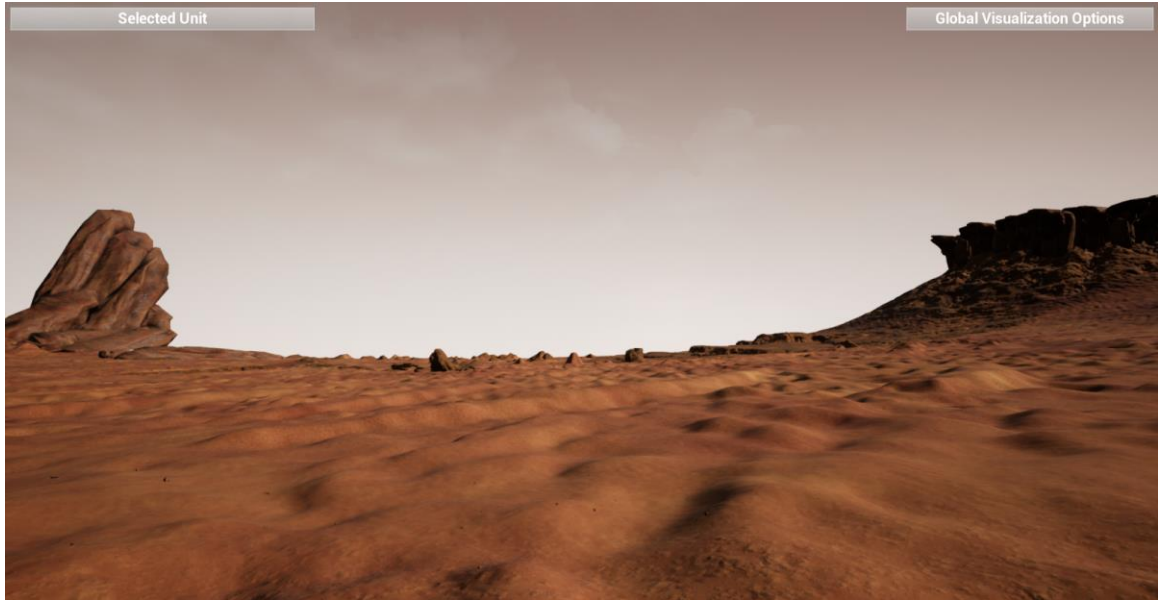


Details zur Umsetzung: große regionale & globale Staubstürme



- Verwendete Software:
Unreal Engine 4
- Nutzung von Exponential Height
Fog & Volumetric Fog

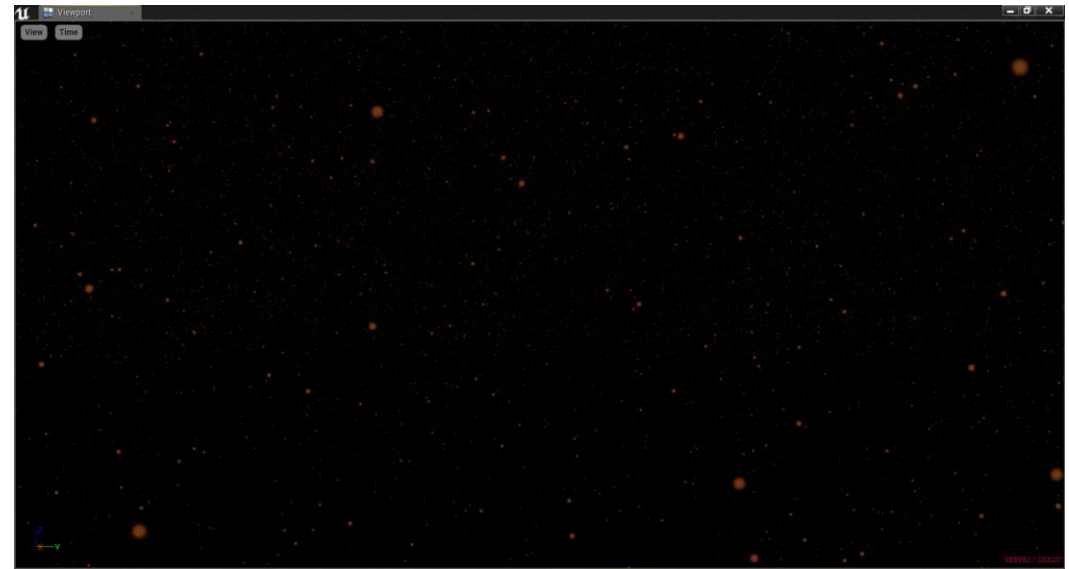
Details zur Umsetzung: lokale & kleine regionale Staubstürme



- Verwendete Software: Unreal Engine 4
- Besteht aus:
 - Exponential Height Fog & Volumetric Fog
 - 1 "Volume" Material
 - 1 Partikelsystem mit 1 Emitter
 - AI Movement, basierend auf 1 Blackboard, 1 Behavior Tree, 1 Costum Service, 1 AI Controller & 1 Character Blueprint

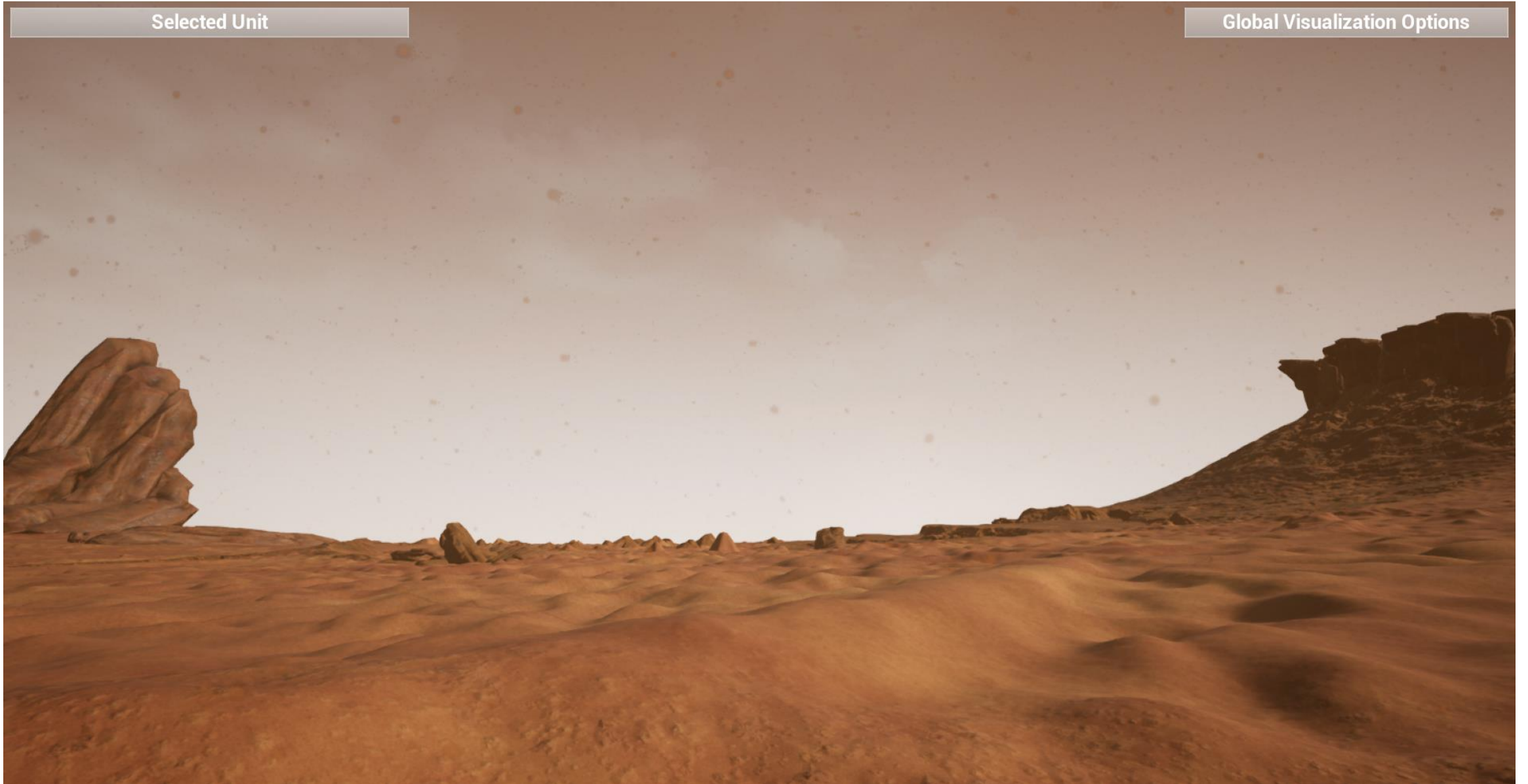
Details zur Umsetzung: Atmosphäre

- Verwendete Software:
Unreal Engine 4
- Generierung von atmosphärischem Staub zur Simulation der Atmosphäre
- Besteht aus:
 - 1 "Surface" Material
 - 1 Partikelsystem mit 1 Emitter

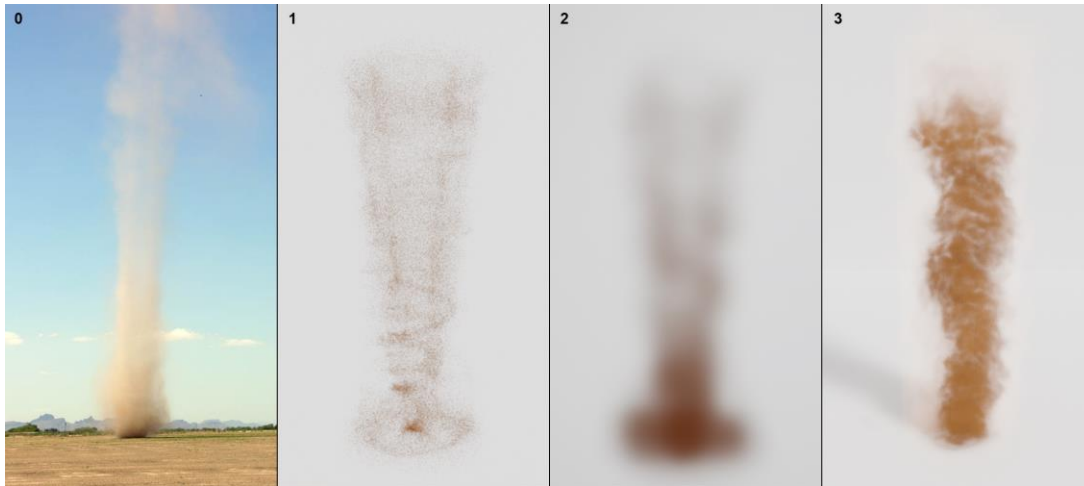


Selected Unit

Global Visualization Options



Nutzerstudie: Aufbau und Ziel



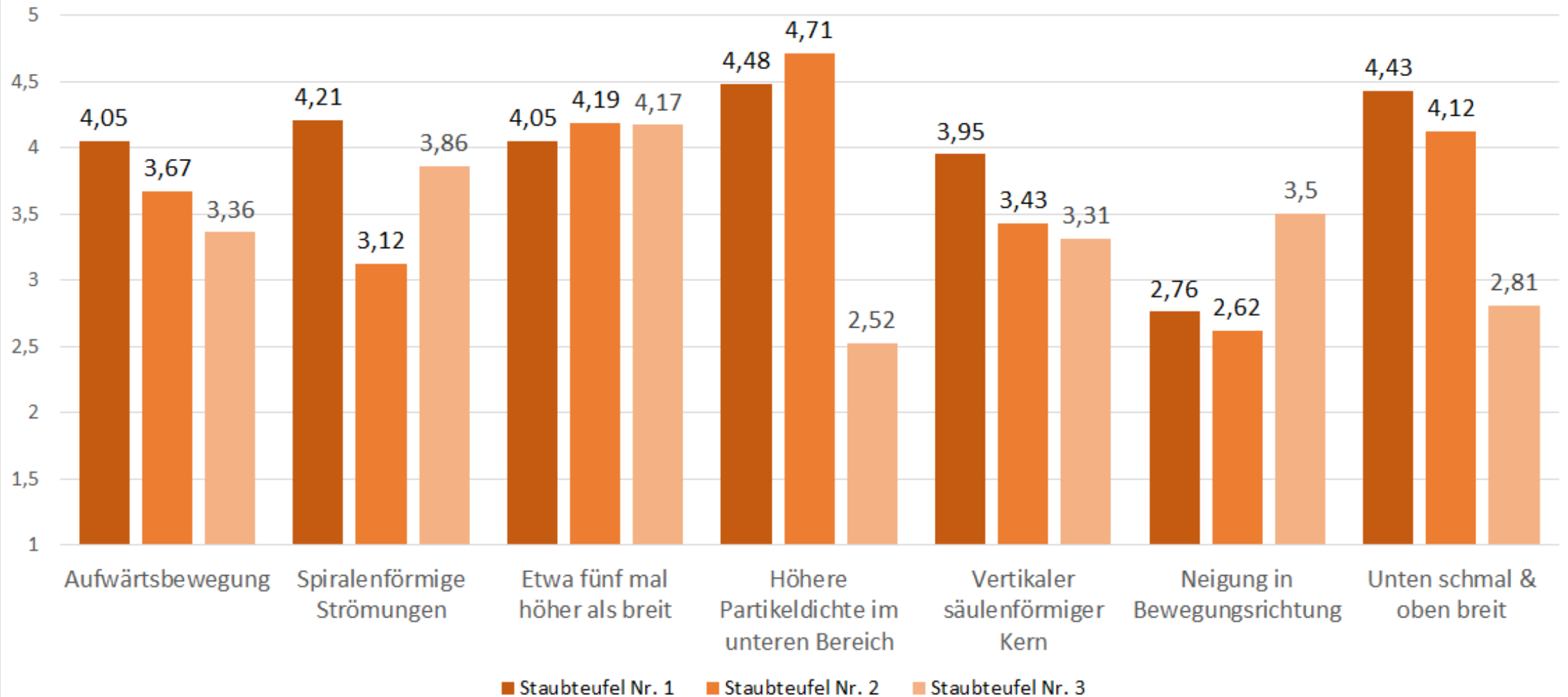
Linkes Vergleichsbild von echtem Staubteufel, Credit: NASA, 2005 [8]

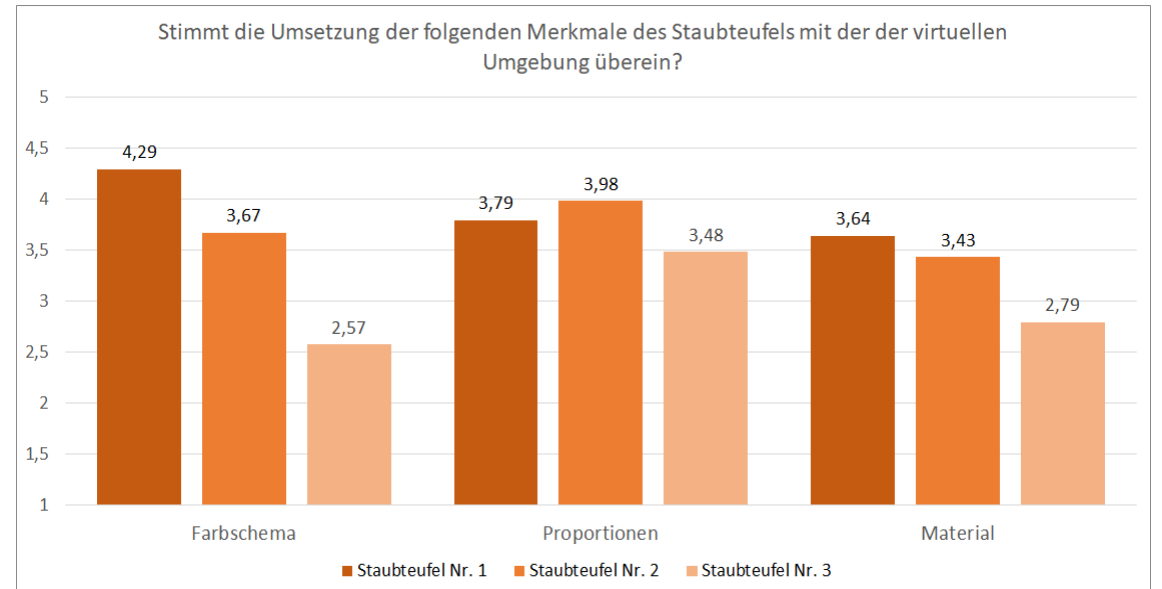
- Ziel: Bewertung der drei implementierten Staubteufel
- Aufbau:
 - Einleitung (Titel, Datenschutzerklärung, erster inhaltlicher Fragenblock, Informationen zum Studienthema)
 - Erster Teil (Zweiter inhaltlicher Fragenblock, Kontrollfrage)
 - Zweiter Teil (Dritter inhaltlicher Fragenblock, Kontrollfrage)
 - Dritter Teil (Feedback)
 - Verabschiedung

Nutzerstudie: Ergebnisse

- Staubteufel Nr. 2 zeigt insgesamt betrachtet die besten Ergebnisse
 - Staubteufel Nr. 1 befindet sich in der Gesamtwertung auf Platz 2
 - Staubteufel Nr. 3 hat die schlechteste Gesamtbewertung
-
- Die Staubteufel-Szene mit integriertem Exponential Height Fog wirkt laut den Teilnehmern*innen realistischer als die Szene ohne Exponential Height Fog

Erfüllt der hier abgebildete animierte Staubteufel die folgenden Merkmale eines echten Staubteufels?





Fazit

- Staubteufel, Staubstürme und eine Atmosphäre erweitern die virtuelle Marslandschaft des VaMEx-VTB
- Die implementierten Phänomene bilden eine Basis für neue und veränderte Testszenarien
- Staubteufel Nr. 2 bietet die vielversprechendste Lösung für die Integration von Staubteufeln in Bezug auf realitätsnahe Umsetzung und harmonischen Gesamteindruck

Ausblick

- Implementierung der Einflüsse der natürlichen Phänomene auf das Schwarmverhalten
- Variation in Form und Aussehen der Staubteufel
- Spuren von Staubteufeln
- Erdrutsche

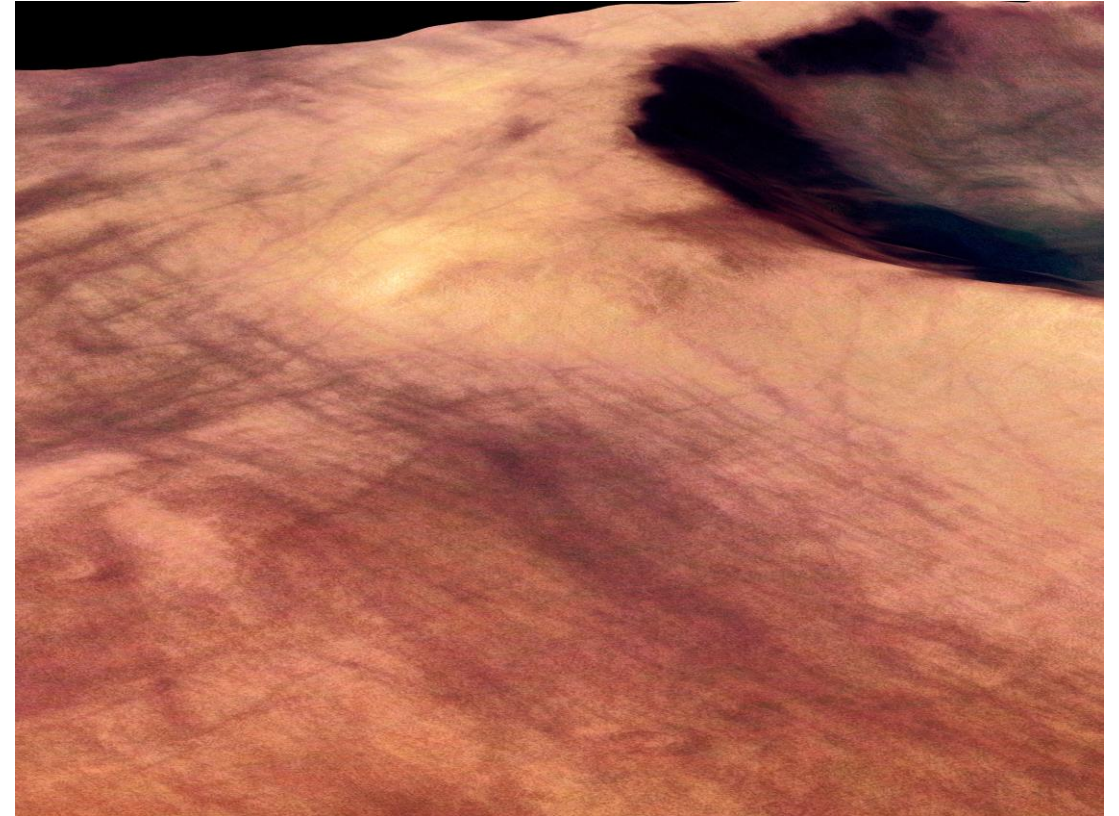


Bild von Staubteufel-Spuren – Credit: ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum) (2004) ^[5]



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Quellen:

¹ Balme, Matt and Ronald Greeley (2006). “Dust devils on Earth and Mars”. In: *Reviews of Geophysics* 44: Issue 3.

² Cantor, Bruce A. (2007). “MOC observations of the 2001 Mars planet-encircling dust storm”. In: *Icarus* 186.1, pp. 60–96.
issn: 0019-1035. doi: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2006.08.019>.

url: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019103506002855> (besucht am 07/27/2020).

³ Cantor, Bruce A., Philip B. James, Michael Caplinger, and Michael J. Wolff (2001). “Martian dust storms: 1999 Mars Orbiter Camera observations”. In: *Journal of Geophysical Research: Planets* 106.E10, pp. 23653–23687.

doi: [10.1029/2000JE001310](https://doi.org/10.1029/2000JE001310). eprint: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2000JE001310>.

url: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2000JE001310> (besucht am 07/27/2020).

⁴ Cantor, Bruce A., Nicholas B. Pickett, Michael C. Malin, Steven W. Lee, Michael J. Wolff, and Michael A. Caplinger (2018). “Martian dust storm activity near the Mars 2020 candidate landing sites: MRO-MARCI observations from Mars year 28-34”. In: *Icarus* 321, pp. 161–170.

⁵ ESA/DLR/FU Berlin, G. Neukum (2003). *Martian 'dust devil' tracks*.

url: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2004/09/Martian_dust_devil_tracks (besucht am 09/04/2020).

⁶ Horton, W., H. Mlura, O. Onishchenko, L. Couedel, C. Arnas, A. Escarguel, S. Benkadda, and V. Fedun (2016). “Dust devil dynamics”. In: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*.

⁷ Martin, Terry Z. (1994). *Mass of Dust in the Martian Atmosphere*.

⁸ NASA (2005). *Phantoms From the Sand: Tracking Dust Devils Across Earth and Mars*.

url: https://www.nasa.gov/vision/universe/solarsystem/2005_dust_devil.html (besucht am 07/08/2020).

⁹ NASA/JPL-Caltech/MSSS (2018). *The 2001 Great Dust Storms - Hellas/Syrtis Major*.

url: <https://mars.nasa.gov/resources/21448/global-dust-storm/> (besucht am 07/27/2020).

¹⁰ Singh, Ramdayal, ed. (Jan. 2019). *Martian Dust Devils Observed by Mars Colour Camera Onboard Mars Orbiter Mission*.

¹¹ Tomasko, M. G., L. R. Dose, M. Lemmon, P. H. Smith, and E. Wegryn (1999). “Properties of dust in the Martian atmosphere from the Imager on Mars Pathfinder”. In: *Journal of Geophysical Research: Planets* 104.E4, pp. 8987–9007.

doi: [10.1029/1998JE900016](https://doi.org/10.1029/1998JE900016). eprint: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/1998JE900016>.

url: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/1998JE900016> (besucht am 07/27/2020).

¹² University of Bremen - Institute for Computer Graphics and Virtual Reality (2020). *VaMEx-VTB*. url: <https://cgvr.cs.uni-bremen.de/research/vamex-vtb/> (visited on 07/27/2020).

¹³ Wang, Huiqun and Mark I. Richardson (2015). “The origin, evolution, and trajectory of large dust storms on Mars during Mars years 24–30 (1999–2011)”. In: *Icarus* 251. Dynamic Mars, pp. 112–127. issn: 0019-1035.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2013.10.033>.
url: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019103513004624> (besucht am 07/27/2020).

¹⁴ Zurek, Richard W. and Leonard J. Martin (1993). “Interannual Variability of Planet-Encircling Dust Storms on Mars”. In: *Journal of Geophysical Research* 98, pp. 3247–3259.