

EROSIONSRINNEN AUF DEM MARS  
MORPHOLOGIE, VERBREITUNG, GENESE UND  
ZEITLICHE EINORDNUNG DER  
BILDUNGSPROZESSE

Dissertation zur Erlangung des Grades eines  
Doktors der Naturwissenschaften

vorgelegt am Fachbereich Geowissenschaften  
der Freien Universität Berlin

Dennis Reiß

Berlin, November 2005



1. Gutachter: Prof. Dr. Gerhard Neukum

2. Gutachter: PD Dr. Ralf Jaumann

Tag der Disputation: 24.11.2005



# Vorwort

Vorliegende Arbeit wurde am Institut für Planetenforschung (bis 2003: Institut für Planetenerkundung und Weltraumsensorik) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Berlin-Adlerhof erstellt. Während der Arbeit bestand eine enge Kooperation mit dem Institut für Geologische Wissenschaften der Freien Universität Berlin.

Herr Prof. Dr. G. Neukum betreute die Arbeit in seiner Eigenschaft als Mitglied der Fakultät für Geowissenschaften der Freien Universität Berlin. Ihm gilt an dieser Stelle mein besonderer Dank, nicht nur für die Bereitstellung des Arbeitsplatzes und die Nutzung der Einrichtungen der Institute, sondern auch für die Diskussionen und die Hilfestellungen, die zum Gelingen der Arbeit beitrugen.

Herrn Dr. R. Jaumann, Leiter der Abteilung Planetare Geologie am Institut für Planetenforschung des DLR, danke ich für die Bereitstellung des Arbeitsplatzes und vielen wertvollen Anregungen und Diskussionen. Sein Engagement und seine Betreuung verdienen meinen besonderen Dank.

Meinem Kollegen Herrn Dipl.-Geol. Stephan van Gasselt danke ich für die langjährige Freundschaft und die angenehme Zusammenarbeit, die zahlreiche fachliche Diskussionen und Anregungen einschloß.

Meinem Kollegen Herrn Dipl.-Geol. Ernst Hauber danke ich für die angenehme Zusammenarbeit und fachlichen Diskussionen.

Für die geduldige Unterstützung auf dem Gebiet der Datenverarbeitung möchte ich mich recht herzlich bei Dipl.-Phys. Marita Wählich und Dipl.-Ing. Frank Scholten bedanken.

Bedanken möchte ich mich auch bei Frau Ursula Wolf, die mir bei der Erstellung der Altersbestimmungen behilflich war.

Abschließend möchte ich Dipl.-Geol. R. Wagner, Dr. J. Oberst, Dipl.-Geol. K. Stephan und A. Rexin meinen Dank für die gute Zusammenarbeit aussprechen. Allen Kollegen, die durch ihre Unterstützung zum Gelingen der Arbeit beitrugen, sei hier ebenfalls gedankt.



# Erklärung

Hiermit versichere ich, daß ich die vorgelegte Dissertation selbst verfaßt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Dennis Reiß, Berlin, den 15. Januar 2006



# Präambel

Zwei veröffentlichte Artikel basieren auf Kapitel der vorliegenden Arbeit.

Kapitel 7 untersucht das relative Alter von Erosionsrinnen im Nirgal Vallis. Ein auf diesem Kapitel basierender Artikel (Reiss, D., van Gasselt, S., Neukum, G. and Jaumann, R., Absolute dune ages and implications for the time of formation of gullies in Nirgal Vallis, Mars) erschien 2004 im Journal of Geophysical Research (Vol. 109, E06007, doi:10.1029/2004JE002251). Als Erstautor machte ich die Auswertung, schrieb das Manuskript und entwarf die Abbildungen. S. van Gasselt schrieb die Software für die Auswertung der Kraterzählungen und kommentierte das Manuskript. G. Neukum diskutierte Methoden und Ergebnisse. R. Jaumann diskutierte Ergebnisse und kommentierte das Manuskript.

Kapitel 8 beschreibt und untersucht Erosionsrinnen im Russell Krater Dünenfeld. Ein auf diesem Kapitel basierender Artikel (Reiss, D. and Jaumann, R., Recent debris flows on Mars: Seasonal observations of the Russell Crater dune field) erschien 2003 im Geophysical Research Letters (Vol. 30, 1321, doi:10.1029/2002GL016704). Als Erstautor machte ich die Auswertung, schrieb das Manuskript und entwarf die Abbildungen. R. Jaumann diskutierte Ergebnisse und kommentierte das Manuskript.



Es sagte, ihm sei das ganze Geheimnis bekannt ...  
Es sah die beiden Himmelsbewohner vom Kopf bis zu den  
Füßen an und erklärte ihnen, daß sie selber, ihre Monde, ihre Sonnen und  
ihre Sterne einzig und allein für den Menschen gemacht seien. Bei dieser  
Bemerkung fielen unsere beiden Reisenden einer auf den anderen.  
Sie erstickten beinah vor nicht zu unterdrückendem Lachen ...  
Voltaire, *Mikromegas*, 1752



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Planet Mars</b>	<b>3</b>
2.1	Historischer Überblick . . . . .	4
2.2	Astronomische Parameter . . . . .	5
2.3	Geologie und Topographie . . . . .	5
2.4	Morphologie . . . . .	10
2.4.1	Fluviatile Formen . . . . .	10
2.4.2	Sedimentation . . . . .	13
2.4.3	Glaziale/Periglaziale Formen . . . . .	15
2.4.4	Rampart Krater . . . . .	17
2.4.5	Polarregionen . . . . .	18
2.4.6	Äolische Prozesse . . . . .	19
2.4.7	Massenbewegungen . . . . .	25
2.5	Klima . . . . .	28
2.5.1	Atmosphäre . . . . .	29
2.5.2	Temperaturen und Drücke . . . . .	29
2.5.3	Wasser . . . . .	31
2.5.4	Kohlendioxid . . . . .	35
2.5.5	Klimawandel . . . . .	36
<b>3</b>	<b>Missionen, Datensätze und Methoden</b>	<b>37</b>
3.1	Viking-Missionen . . . . .	37
3.2	Mars Global Surveyor (MGS) . . . . .	40
3.2.1	Mars Orbiter Camera (MOC) . . . . .	40
3.2.2	Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA) . . . . .	43
3.2.3	Thermal Emission Spectrometer (TES) . . . . .	43
3.3	Verknüpfung von Datensätzen . . . . .	44
3.4	Altersbestimmung durch Kraterzählungen . . . . .	46
<b>4</b>	<b>Erosionsrinnen auf der Erde</b>	<b>49</b>
4.1	Morphologie . . . . .	51
4.2	Vorkommen . . . . .	52
4.3	Auslösende Faktoren . . . . .	53
<b>5</b>	<b>Erosionsrinnen auf dem Mars</b>	<b>57</b>
5.1	Allgemeine Merkmale . . . . .	57
5.2	Theorien zum Formationsprozess . . . . .	64
5.2.1	Wasser . . . . .	64
5.2.2	Kohlendioxid und CO <sub>2</sub> -Hydrate . . . . .	66
5.2.3	Trockenrutschungen . . . . .	66
5.3	Vorkommen . . . . .	67
5.3.1	Globale Verbreitung . . . . .	67
5.3.2	Regionale Verbreitung . . . . .	68
5.3.3	Globale Häufigkeitsverteilung . . . . .	68
5.3.4	Breitengradabhängige Häufigkeit . . . . .	69
5.3.5	Asymmetrische Hemisphärenverteilung . . . . .	71
5.3.6	Absolute Höhenlage . . . . .	72
5.3.7	Exposition . . . . .	73

5.4	Interpretation und Diskussion der Ergebnisse . . . . .	75
5.5	Schlußfolgerungen . . . . .	79
<b>6</b>	<b>Morphologische Altersklassifikation von Erosionsrinnen</b>	<b>81</b>
6.1	Morphologische Klassifikation . . . . .	81
6.1.1	Erhaltene Erosionsrinnen . . . . .	81
6.1.2	Degradierete Erosionsrinnen . . . . .	82
6.1.3	Bekraterte Erosionsrinnen . . . . .	83
6.2	Verbreitung . . . . .	85
6.3	Absolute Höhenlage . . . . .	87
6.4	Exposition . . . . .	89
6.5	Interpretation und Diskussion der Ergebnisse . . . . .	93
6.6	Schlußfolgerungen . . . . .	94
<b>7</b>	<b>Relative Altersbestimmung der Erosionsrinnen im Nirgal Vallis</b>	<b>97</b>
7.1	Lage des Untersuchungsgebiets . . . . .	97
7.2	Dünen . . . . .	98
7.3	Erosionsrinnen . . . . .	100
7.4	Methodik . . . . .	102
7.5	Ergebnisse und Unsicherheiten . . . . .	104
7.6	Diskussion . . . . .	106
7.7	Schlußfolgerungen . . . . .	107
<b>8</b>	<b>Saisonale Beobachtungen des Russell Krater Dünenfeldes</b>	<b>109</b>
8.1	Morphologie und Vorkommen . . . . .	109
8.2	Saisonale Beobachtungen . . . . .	115
8.3	Altersabschätzung des Dünenfeldes . . . . .	117
8.4	Diskussion . . . . .	120
8.5	Schlußfolgerungen . . . . .	122
<b>9</b>	<b>Zeitliche Einordnung der Bildungsprozesse</b>	<b>123</b>
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen</b>	<b>127</b>
<b>11</b>	<b>Ausblick</b>	<b>129</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>131</b>
<b>A</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>155</b>
<b>B</b>	<b>Lebenslauf</b>	<b>156</b>

## Abbildungsverzeichnis

1	Globale Ansicht des Mars . . . . .	3
2	Marszeichnung von Huygens . . . . .	4
3	Globale Karte von Schiaparelli . . . . .	5
4	Neigung des Äquators zur Bahnebene und Bahnexzentrizität des Mars . . . . .	6
5	Generalisierte stratigraphische Karte von Oberflächeneinheiten des Mars . . . . .	6
6	Digitales Höhenmodell des Mars . . . . .	7
7	Histogramm der globalen Topographie des Mars . . . . .	8
8	Stratigraphie und geologische Entwicklung des Mars . . . . .	9
9	Übergang von einer Chaos-Region in ein Ausflusstal und tränenförmige Inseln im Chryse Planitia Gebiet . . . . .	10
10	Das gestreckte Talsystem Maadim Vallis . . . . .	11
11	Dendritische Talsysteme und Hangtäler . . . . .	12
12	Sedimentation von Paleoflußtälern in Kraterbecken . . . . .	13
13	Geschichtete Sedimentablagerungen . . . . .	14
14	Mögliche Fließstrukturen an Restbergen und lineare Talfüllungen . . . . .	16
15	Mögliche Eiskeilpolygone . . . . .	17
16	Fließstrukturen von Kraterauswurfmassen . . . . .	18
17	Unterschiedliche morphologische Ausprägungen der Polkappen . . . . .	19
18	Partikelgrenzwertkurven als Funktion von Korngrößen für verschiedene Marsoberflächendrücke und -temperaturen . . . . .	20
19	Megarippel-ähnliche bzw. kleine Transversaldünen . . . . .	21
20	Dunkle Dünenformen . . . . .	22
21	Mega-Dünenfeld, Überlagerung und Induration von Dünen . . . . .	22
22	Breitengradabhängige Verteilung von Staubstürmen als Funktion der areozentrischen Länge ( $L_s$ ) . . . . .	23
23	Tornados auf dem Mars . . . . .	24
24	Steinschlagspuren an Hängen auf dem Mars . . . . .	25
25	Hangrutsche auf dem Mars . . . . .	26
26	Unterschiedliche Hangstreifen . . . . .	27
27	Bahnbewegung von Erde und Mars um die Sonne . . . . .	28
28	Mittlere Oberflächendruckschwankungen an den Viking-Landstellen im Jahresverlauf . . . . .	30
29	Untere Grenze der Wasser-Massen-Fraktion auf dem Mars . . . . .	31
30	Wassereisfrost an der Viking 2 Landestelle . . . . .	32
31	Kondensation . . . . .	33
32	Die Säulen-Häufigkeit von Wasserdampf als Funktion der areozentrischen Länge der Sonne ( $L_s$ ) und des Breitengrades . . . . .	34
33	Saisonale Frosterscheinungen . . . . .	34
34	Phasendiagramm von Wasser . . . . .	35
35	Phasendiagramm von $\text{CO}_2$ . . . . .	36
36	Technische und wissenschaftliche Instrumente des Viking Orbiter . . . . .	37
37	Anzahl der Viking-Orbiter Bilder in Relation zur Bildauflösung . . . . .	39
38	Technische und wissenschaftliche Instrumente der Mars Global Surveyor Raumsonde . . . . .	41
39	Anzahl der MOC-NA Bilder in Relation zur Auflösung und zum Breitengrad . . . . .	42
40	Bildauflösungen der MOC-NA Bilder in Relation zum Breitengrad . . . . .	42
41	Überlagerung von TES-Daten mit MOC-WA . . . . .	45
42	Überlagerung von MOLA-Daten mit MOC-NA . . . . .	45
43	Mars Krater Chronologie Modell . . . . .	48

44	Rheologische Klassifikation von Sediment-Wasser-Gemischen . . . . .	49
45	Morphologie von Erosionsrinnen . . . . .	52
46	Unterschiedliche Formen von Erosionsrinnen in den Alpen . . . . .	53
47	Vergesellschaftung typischer Formen einer Permafrost-Region . . . . .	54
48	HRSC-Luftbildaufnahme von einem Schuttfächer in den Schweizer Alpen . . . . .	55
49	Entstehung von Schuttströmen nach <i>Postma</i> (1988) . . . . .	56
50	Typische Morphologie von Erosionsrinnen auf dem Mars . . . . .	57
51	Unterschiedliche Morphologien von Erosionsrinnen auf dem Mars . . . . .	59
52	Morphologie von Formen spezieller polarer Massenbewegungen . . . . .	59
53	Details der Morphologie von Erosionsrinnen . . . . .	60
54	Morphologie von Formen trockener Massenbewegungen . . . . .	61
55	Vergesellschaftung von glazialen Formen und Erosionsrinnen . . . . .	62
56	Frostbedeckung von Erosionsrinnen im Frühjahr . . . . .	63
57	Globale Verteilung der Erosionsrinnen . . . . .	67
58	Verbreitung der Erosionsrinnen . . . . .	68
59	1 x 1 Grad Häufigkeitsverteilung von einzelnen Erosionsrinnen pro km <sup>2</sup> der abgedeckten MOC-NA Bildflächen in dem jeweiligen Eingradraaster . . . . .	69
60	Prozentuale Häufigkeitsverteilung von Erosionsrinnen in den Bilddaten in Abhängigkeit vom Breitengrad . . . . .	70
61	Anzahl von einzelnen Erosionsrinnen pro Bildfläche in Abhängigkeit vom Breitengrad . . . . .	70
62	Prozentuale Häufigkeit von Hangneigungsstärken (Dreiecke) und einzelnen Erosionsrinnen (Quadrate) gegen den Breitengrad . . . . .	72
63	Prozentuale Häufigkeit der absoluten topographischen Höhe der einzelnen Erosionsrinnen . . . . .	73
64	Azimute der Erosionsrinnen auf der Nord- und Südhalbkugel . . . . .	74
65	Erhaltene Erosionsrinnen . . . . .	81
66	Degradierete Erosionsrinnen . . . . .	83
67	Bekraterte Erosionsrinnen . . . . .	83
68	Ergebnisse der Altersabschätzungen von bekraterten Erosionsrinnen . . . . .	84
69	Globale Verbreitung von erhaltenen, degradierten und bekraterten Erosionsrinnen . . . . .	85
70	Breitengradabhängige Häufigkeit von erhaltenen, degradierten und bekraterten Erosionsrinnen . . . . .	86
71	Häufigkeit der absoluten topographischen Höhe von Quellregionen der klassifizierten Erosionsrinnen (erhalten, degradiert und bekratert) . . . . .	88
72	Azimute der klassifizierten Erosionsrinnen (erhalten, degradiert und bekratert) auf der Nord- und Südhalbkugel . . . . .	90
73	Azimute der klassifizierten Erosionsrinnen (erhalten, degradiert und bekratert) nach Breitengrad auf der Südhalbkugel . . . . .	91
74	Erhaltene und bekraterte Erosionsrinnen an unterschiedlichen Hangexpositionen in einer Lokalität . . . . .	92
75	Viking Orbiter Bildmosaik von Nirgal Vallis . . . . .	97
76	Geologische Karte der Umgebung von Nirgal Vallis . . . . .	98
77	Transversaldünen bedecken die Talsohle von Nirgal Vallis . . . . .	99
78	Kraterüberlagerung von Dünen im Nirgal Vallis . . . . .	99
79	Schwemmkegel der Erosionsrinnen überlagern die Dünen . . . . .	100
80	Austrittstiefe der Erosionsrinnen im Nirgal Vallis . . . . .	101
81	Bildflächen aller MOC-NA Bilder (Subphasen M00-R02), die das Nirgal Vallis abdecken . . . . .	102

---

82	Ergebnisse der Kratermessungen für die letzte Aktivitätsphase der Dünen im Nirgal Vallis . . . . .	105
83	Kontextbild des Russell Krater Dünenfeldes . . . . .	109
84	Morphologie der Erosionsrinnen des Russell-Dünenfeldes . . . . .	110
85	Verfüllte Erosionsrinnen an einem kleinen Dünenhang im Russell Krater . . . . .	111
86	West-gerichteter Dünenhang des Russell Krater . . . . .	112
87	Mosaik des Russell Krater Dünenfeldes . . . . .	113
88	Kartierung der Erosionsformen des Russell Krater Dünenfeldes . . . . .	114
89	Albedoverlauf des Russell Krater Dünenfeldes in MOC-WA Bildern . . . . .	115
90	Jahreszeitliche Veränderungen des Dünenfeldes anhand von TES-Daten . . . . .	116
91	Frostbedeckung des Dünenhanges im Winter und Frühling . . . . .	118
92	Bodentemperaturen zum MOC-NA Bild R07000192 . . . . .	119
93	Modellierte Schwankungen der Neigung der Rotationsachse des Mars und möglicher Entstehungszeiten von Erosionsrinnen . . . . .	123

## Tabellenverzeichnis

1	Vergleich der physikalischen Parameter von Mars und Erde . . . . .	3
2	Vergleich der astronomischen Parameter von Mars und Erde . . . . .	5
3	Dauer der Jahreszeiten auf dem Mars . . . . .	29
4	Zusammensetzung der Atmosphäre . . . . .	29
5	Vergleich der atmosphärischen Parameter für Mars und Erde. . . . .	29
6	Missionen zum Mars . . . . .	38
7	Subphasen der ausgewerteten MOC-Bilder . . . . .	41
8	Vergleich der unterschiedlichen Referenzsysteme. . . . .	44
9	Begriffe, die Schuttströme beschreiben . . . . .	50
10	Theorien zur Bildung von Erosionsrinnen auf dem Mars . . . . .	64
11	Exposition der Erosionsrinnen . . . . .	74
12	Ergebnisse der Altersabschätzungen von bekraterten Erosionsrinnen . . . . .	84
13	Mittlere Breitengradvorkommen von erhaltenen, degradierten und bekraterten Erosionsrinnen . . . . .	85
14	Mittlere Höhenlagen von erhaltenen, degradierten und bekraterten Erosionsrinnen	89
15	Zusammenfassung der hochauflösenden MOC-Bilder (Subphasen M00-R02), die das Nirgal Vallis abdecken. . . . .	104
16	Ergebnisse der Kratermessungen für die letzte Aktivitätsphase der Dünen im Nirgal Vallis . . . . .	104