

9 Zeitliche Einordnung der Bildungsprozesse

Die Altersklassifikationen, relativen und absoluten Altersbestimmungen deuten auf eine Bildungsaktivität von Erosionsrinnen auf dem Mars unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen in den zurückliegenden 10 Millionen Jahren hin. Eine mögliche Erklärung und Zusammenführung der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit würde die Theorie von rezenten Klimaschwankungen auf dem Mars, bedingt durch Schwankungen in der Schiefe der Marsachse ergeben (siehe auch Kapitel 2.5.5). Abbildung 93 zeigt die modellierten Schwankungen der Marsachse der vergangenen 10 Millionen Jahre nach *Laskar et al.* (2004) und die zeitliche Einordnung der Erosionsrinnen aus den Ergebnissen der Arbeit.

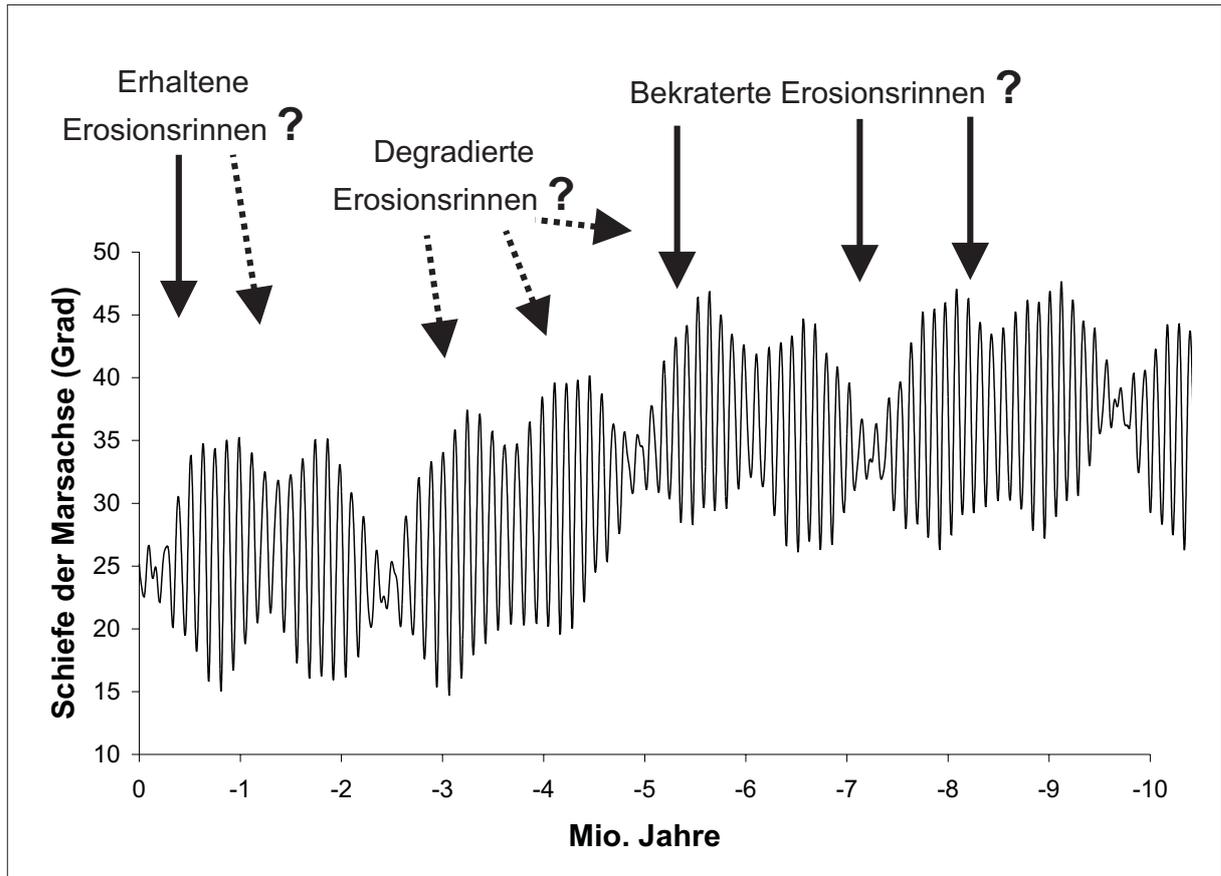


Abb. 93: Modellierte Schwankungen der Neigung der Rotationsachse des Mars nach *Laskar et al.* (2004) und mögliche Entstehungszeiten von Erosionsrinnen aus Altersbestimmungen (schwarze Pfeile) und Abschätzungen (gestrichelte Pfeile).

Die aus der Arbeit gewonnenen Bildungszeiten der Erosionsrinnen zeigen eine gute Übereinstimmung mit den modellierten Schwankungen der Marsachse. Die bekraterten Erosionsrinnen weisen Alter zwischen etwa 5 bis 10 Millionen Jahre auf. Zu dieser Zeit lag die mittlere Achsenneigung um die 35° mit Maxima von bis zu 45° . Schon bei Achsenneigungen von $> 30^\circ$ wird durch die höhere Sonneneinstrahlung an den Polen der Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre stark erhöht (*Toon et al.*, 1980; *Jakosky und Carr*, 1985; *Jakosky et al.*, 1995). Der höhere Feuchtigkeitsgehalt in der Atmosphäre führt zu einer Stabilität von Wassereis in äquatornäheren Breiten und näher an der Oberfläche (*Mellon und Jakosky*, 1995). Der Partialdruck von Wasser könnte nach Berechnungen von *Richardson und Wilson* (2002) bei einer Achsenneigung von 45° auf bis zu 1000 mbar zur Sommersonnenwende auf der Südhalbkugel ansteigen. Klimamodelle zeigen, daß das von den Polen verdampfte Wassereis sich in niederen Breiten ablagert und ganzjährig

überdauern kann (*Toon et al.*, 1980; *Jakosky und Carr*, 1985; *Richardson und Wilson*, 2002; *Haberle et al.*, 2003; *Mischna et al.*, 2003; *Richardson et al.*, 2003). Die bekraterten Erosionsrinnen, die nur in mittleren Breiten zwischen 30°S bis 50°S vorkommen, weisen durch ihre Exposition an den wärmeren äquatorzugewandten Hängen darauf hin, daß oberflächennahes Wassereis in mittleren Breiten zu ihrer Bildungszeit, unabhängig von der Exposition (wahrscheinliche Überprägung der bekraterten Formen an polzugewandten Hängen durch jüngere Erosionsrinnen), stabil gewesen ist. Die Höhenlage der bekraterten Erosionsrinnen weist auf höhere Wasserdampfgehalte in der Atmosphäre hin. Die bestimmten Alter der bekraterten Erosionsrinnen sind zum einen in guter Übereinstimmung mit den modellierten Schwankungen der Marsachse und die Breitengradlage, Exposition wie auch Höhenlage mit der daraus resultierenden Stabilität von Wassereis und Erhöhung der Wasserdampfgehalte in der Atmosphäre aus Klimamodellen.

Die polnähere Verbreitung bis zu Breitengradbereichen von 60° und die niedrigere mittlere Höhenlage der degradierten Erosionsrinnen im Gegensatz zu den bekraterten Formen, deutet darauf hin, daß diese jünger sind und zeitlich ungefähr zwischen den bekraterten und erhaltenen Erosionsrinnen einzuordnen sind. Die Verbreitung und Höhenlage deutet zudem auf einen breitengradabhängigen Rückzug der Eisstabilität von niedrigeren zu höheren Breiten und einer atmosphärischen Druckabnahme hin. Dies ist in Übereinstimmung mit einer stetigen Abnahme der Marsachsenneigung von $\sim 35^\circ$ vor etwa 5 Millionen Jahren zu durchschnittlich $\sim 25^\circ$ vor etwa 3 Millionen Jahren. Die Abnahme der durchschnittlichen Achsenneigung hätte zur Folge, daß die Insolation an den Polen abnimmt. Dadurch würden die hohen Wasserdampfmenngen wieder an den Polkappen gebunden und zu einer Abnahme der Wasserdampfgehalte in der Atmosphäre führen und in einer zunehmenden Instabilität von Wassereis in niederen Breiten und einer Druckabnahme resultieren.

Die relative Altersbestimmung der erhaltenen Erosionsrinnen im Nirgal Vallis zeigt, daß diese jünger als 3 Millionen Jahre sein müssen. Die erhaltenen Erosionsrinnen in mittleren Breiten wurden daher sehr wahrscheinlich während der letzten Schwankungsphasen der Marsachsenneigung gebildet. Der mittlere Wert der Marsachsenneigung betrug etwa 25° mit Maximalwerten von bis zu 35° . Die erhaltenen Erosionsrinnen in mittleren Breiten zeigen eine deutliche Expositionslage an den kälteren, polzugewandten Hängen, die konsistent wäre mit einer bevorzugten Ablagerung von Wassereis an den geschützteren Hängen, da die verfügbaren Wasserdampfmenngen relativ gering im Gegensatz zur Bildungszeit der degradierten und bekraterten Erosionsrinnen bei höheren Achsenneigungen wären. Die dazu auch geringere Sublimation von Wassereis an den Polen hätte ebenso zur Folge, daß die atmosphärische Druckerhöhung geringer ausfallen würde. Darauf weist die geringere topographische Höhenlage der erhaltenen Erosionsrinnen im Gegensatz zu den degradierten und bekraterten Erosionsrinnen hin.

Die Bildungszeit der erhaltenen Erosionsrinnen in mittleren Breiten (30°S bis 60°S) korreliert mit vielen Beobachtungen, die durch die MGS-Mission gemacht wurden und mit einem rezenten Klimawandel bzw. Eiszeiten auf dem Mars in Verbindung gebracht werden (*Head et al.*, 2003). Analysen der Rauigkeit mit Hilfe hochauflösender topographischer MOLA-Daten zeigt eine Glättung der Marsoberfläche in Breitengradbereichen von $> 30^\circ$ in beiden Hemisphären (*Kreslavsky und Head*, 2000). Interpretiert werden diese glatten Flächen als mehrere Meter mächtige Oberflächenablagerungen, die als Mantel bezeichnet werden (*Kreslavsky und Head*, 2000, 2002, 2003). Die hochauflösenden MOC-NA Bilder zeigen zwischen der nördlichen und südlichen 30°S bis 60°S Zone ebenfalls diesen Mantel, der teilweise degradiert und diskontinuierlich ausgeprägt ist (*Mustard et al.*, 2001). Der Mantel wird als atmosphärische subaerische Oberflächenablagerung eines ehemals wasserreichen Staubmantels interpretiert, der unter heutigen Klimabedingungen einer Zergliederung und Auflösung unterliegt (*Mustard et al.*, 2001). In äquatorialen Breiten (zwischen 30°S - 30°N) ist dieser Mantel nicht vorhanden (*Mustard et al.*, 2001). Weitere Indizien für größere Wassereisablagerungen in mittleren Breiten sind polygonale Formen (*Seibert und Kargel*, 2001; *Mangold et al.*, 2002) und viskose Fließstrukturen (*Milliken*

et al., 2003; *Cabrol und Grin*, 2002) (s. auch Kapitel 2.4.3).

Die eishaltigen Mantelablagerungen scheinen sehr jung zu sein, da sie kaum von Kratern überlagert sind. *Head et al.* (2003) gehen davon aus, daß sie höchstens 10 Millionen Jahre alt, wahrscheinlich aber eher jüngeren Alters sind und in den letzten 3 Millionen Jahren bedingt durch höhere Achsenneigungen entstanden sind. Die erhaltenen Erosionsrinnen überdecken oftmals diesen Mantel und sind daher jünger. Die Altersbestimmungen im Nirgal Vallis weisen Alter von höchstens 3 Millionen Jahren auf, sind aber, bedingt durch die konservative Bestimmung des oberen Alters, wahrscheinlich jünger und wären damit auch konsistent mit der Bildungszeit dieses eishaltigen Mantelmaterials.

Theoretisch könnten unter heutigen klimatischen Bedingungen geringe Mengen von flüssigem Wasser auftreten. Auf der Nordhalbkugel liegt der Atmosphärendruck in Erosionsrinnengebieten zwar fast überall ganzjährig über 6,1 mbar, die Temperaturen erreichen jedoch nicht den Schmelzpunkt von Wasser und liegen bei einer Breite von 30° bei maximal ~260 K. Interessant ist die Höhenlage aber für die Erosionsrinnen in der südlichen Hemisphäre, die in mittleren Breiten auf Höhen um die 0 m und in polaren Breiten um die 1300 m liegen. Im südlichen Sommer fallen die höchsten Oberflächendrücke und Temperaturen von über 273 K zusammen. Temperaturen von über 273 K sind in mittleren Breiten im südlichen Sommer um die Mittagszeit normal und die Maximaltemperaturen von 273 K können bis in Breiten von ca. 73°S erreicht werden (*Haberle et al.*, 2001). Saisonal übersteigt der Oberflächendruck die 6,1 mbar-Grenze bis zu einer topographischen Höhe von etwa 1000 m. In den meisten Höhenlagen der erhaltenen Erosionsrinnen wird die 6,1 mbar-Grenze überschritten und reicht bei den polaren Erosionsrinnen an diese heran. Die Minimalvoraussetzungen (Druck und Temperatur) für flüssiges Wasser sind daher saisonal und lokal auf der Südhalbkugel gegeben. Der begrenzende Faktor hierbei sind unter heutigen Klimabedingungen die geringen Wassermengen, die sich aus der Atmosphäre als Frost in mittleren Breiten niederschlagen können und die ein Auftreten von flüssigem Wasser sehr unwahrscheinlich, wenn nicht gar unmöglich machen. In hohen Breiten, in denen saisonal Frostbildung (meist CO₂-Eis, Wassereisgehalt unbekannt) zu beobachten ist, sind geringe Mengen von flüchtigem flüssigem Wasser nicht auszuschließen. Die Bildung von Erosionsrinnen durch einen einmaligen Prozeß ist durch die geringen Mengen jedoch auszuschließen. Ein langsamer episodischer oder saisonaler Prozeß oder ein Überformen vormals eingeschnittener Rinnen würde die erhaltenen Erosionsrinnen und ein Fehlen von degradierten und bekraterten Erosionsrinnen in hohen Breiten erklären.

Schwankungen der Exzentrizität hätten zur Folge, daß sich die Intensität der Jahreszeiten in den Hemisphären ca. alle 100 000 Jahre ändert. Dadurch würden auch in mittleren und hohen Breiten auf der Nordhalbkugel, anders als unter heutigen Klimabedingungen, Maximaltemperaturen über dem Schmelzpunkt erreicht und eine Bildung von Erosionsrinnen in Kombination mit einer höheren Achsenneigung möglich.

