

Chemie von planetaren Oberflächen: Vorort-Messungen mit dem APXS

Johannes Brückner, Max-Planck-Institut f. Chemie, Postfach 3060, D-55020 Mainz

Im Juli 1997 landete die amerikanische Sonde „Mars Pathfinder“ in einem vermeintlichen alten Flußtal, dem Ares Vallis, auf dem Mars. Der kleine Rover Sojourner (Gewicht 10 kg) hatte ein Instrument an Bord, das APXS (Alpha-Proton-Röntgen[X-ray]-Spektrometer, mit dem die chemischen Zusammensetzung von Proben bestimmt werden konnte. Der Rover fuhr zu vorbestimmten Stellen und setzte das APXS entweder auf den Staubboden oder gegen einen Stein. Auf diese Weise wurde zum ersten Mal die chemische Zusammensetzung von Steinen auf dem Mars bestimmt. Bisher war es bei den Viking-Missionen in den siebziger Jahren nur gelungen, mit einem Greifarm Staubproben aufzusammeln und zu analysieren.



Fig. 1: Rover Sojourner unterwegs auf der Mars-Oberfläche. Links das APXS (Pfeil).

Der Pathfinder-Rover lieferte die erforderliche Mobilität, um die Landestelle großräumig zu untersuchen und Steine anzufahren, was „Barnacle Bill“ zum ersten Mars-Stein machte, dessen chemische Zusammensetzung bestimmt wurde (Fig. 1). Erst der Ausfall der Rover-Batterien nach ungefähr zwei Monaten beendete die APXS-Meßkampagne, denn der Röntgen-Detektor brauchte die niedrigen Temperaturen von unter $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ und die Dunkelheit der Marsnacht, um rauscharme Spektren aufnehmen zu können.

Das APXS ist ein sehr kleines Instrument: sein Meßkopf hat einen Durchmesser von 52 mm und eine Länge von 80 mm, das Gesamtgewicht (Kopf plus Elektronik)

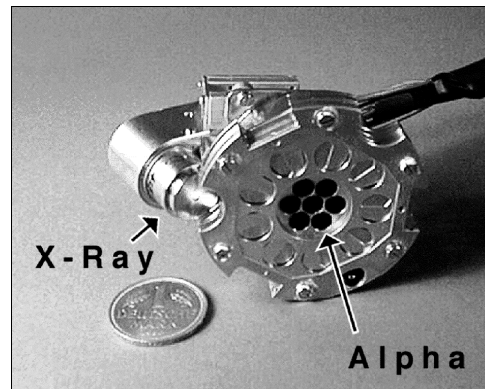


Fig. 2: Meßkopf des APXS mit Röntgen-Detektor (links) und Alpha-Detektor (hinter Kollimator, mitte).

beträgt 600 g und es werden 400 mW verbraucht (Fig. 2). Der Meßkopf befand sich am Heck des Rovers Sojourner und war in einem Winkelbereich von 0° bis 90° beweglich, so daß der Kopf waagrecht auf Staub und senkrecht an Gesteinswände gepreßt werden konnte (Fig. 3).

Das APXS benutzt zwei Verfahren, um die chemische Zusammensetzung einer Probe bestimmen zu können: 1. die Alpha- und Röntgen-induzierte Röntgen-Emission (Röntgen-Kanal) und 2. die Rutherford-Alpha-Rückstreuung (Alpha-Kanal). Die Oberfläche der Probe (Durchmesser 5 cm) wird von 6 MeV-Alpha-Teilchen und Röntgenstrahlung einer Curium-244-Quelle bombardiert (Fig. 4). Die induzierte Röntgenstrahlung wird mit einer Silizium-PIN-Diode detektiert, die eine Energieauflösung von ca. 260 eV bei



Fig. 3: APXS auf Marsboden für eine Messung.

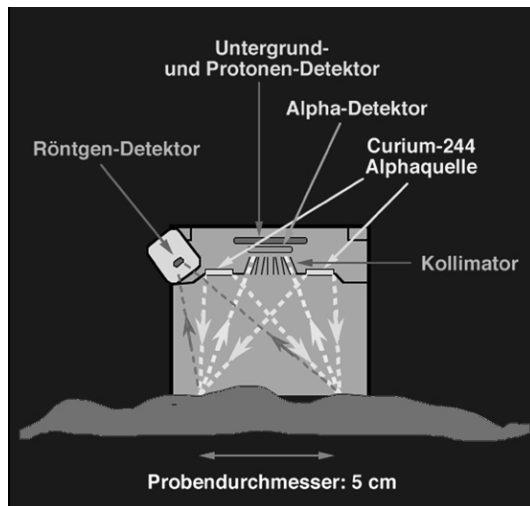


Fig. 4: APXS Funktionsprinzip

6.4 keV bei Temperaturen von $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ hatte. Die rückgestreuten Alphateilchen werden mit einem dünnen Alpha-Detektor gemessen, der in Antikoinzidenz mit einem Detektor für geladene Teilchen arbeitet. Der Röntgenkanal ist empfindlich für die Hauptelemente Na, Mg, Al, Si, K, Ca und Fe und die Nebenelemente P, S, Cl, Ti, Cr und Mn, während der Alpha-Kanal sehr empfindlich für C und O und Elementgruppen mit höherem Atomgewicht im Vakuum ist. Jedoch gibt es auf dem Mars eine Störung der Elemente C und O durch die dünne Marsatmosphäre, die hauptsächlich aus CO_2 besteht, und wofür im Alpha-Spektrum korrigiert werden muß. Die Bestrahlungstiefe und damit die erfaßte Probentiefe beträgt etwa $10\text{ }\mu\text{m}$, wobei die Nachweisgrenze, je nach Element, zwischen 0.2 und 1 Gewichtsprozent liegt. Die APXS-Messungen sind weitgehend unempfindlich gegenüber der Geometrie der Probe (Topographie der Oberfläche), weil alle Haupt- und Nebenelemente gemessen werden und deren Summe 100 % ergeben.

Die Röntgenspektren wurden von den Si- und Fe-Peaks dominiert, die fast um zwei Größenordnungen höher waren, als die Peaks der Nebenelemente (Fig. 5). Die gute Energieauflösung ist an der Trennung der beiden Fe-Peaks abzulesen. Ebenso kann man den Unterschied im Schwefelgehalt sehen: der Boden hat einen viel höheren Peak als der Stein.

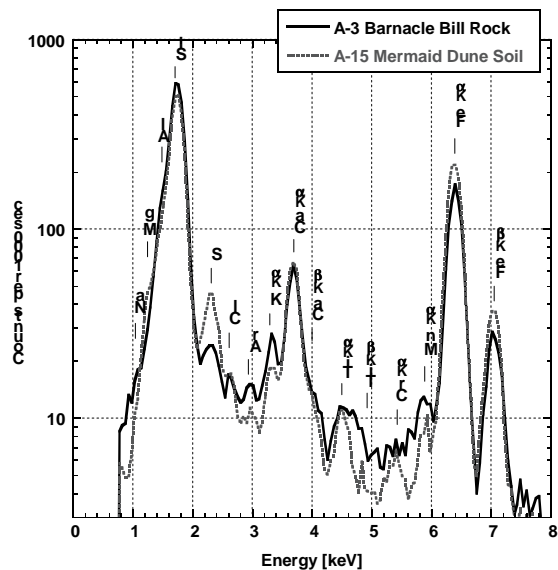


Fig. 5: APXS-Röntgen-Spektren in logarithmischer Darstellung. Durchgezogene Linie ist Stein Barnacle Bill, gestrichelte Düne Mermaid.

Auch die APXS-Messungen bestätigten, daß die Steine mit Flugstaub bedeckt sind. Der Staub hat eine höhere Konzentration von Schwefel als die Steine. Magmatische Gesteine jedoch enthalten kaum Schwefel. Die Pathfinder-Steine zeigen einen unterschiedlichen Gehalt von S, der jedoch mit anderen Elementen, wie z. B. Si und Mg, korreliert ist (Fig. 6). Unter der Annahme, daß die Steine eine ähnliche Zusammensetzung haben, kann man auf Grund der guten S-Korrelation die Konzentration der Elemente für einen S-Gehalt von Null berechnen. Damit erhält man die Zusammensetzung eines „staub-freien Steins“.

Eine immer wieder gestellt Frage war, ob die Steine Kohlenstoff enthielten. Hier können nur die Alpha-Spektren Auskunft geben. Wie schon erwähnt, gibt es einen Störpeak von dem CO_2 -Gas der Atmosphäre, der gut im Spektrum von Stein Wedge gesehen werden kann (Fig. 7). Sollte C in einer Probe vorhanden sein, so müßte das im schraffierten Bereich (links vom Fuß des Marsgas-Peaks) zu finden sein. Bei der Nachkalibrierung des APXS, bei der der Einfluß der Marsatmosphäre auf die Spektren untersucht wurde, wurden auch Proben mit unterschiedlichem C-Gehalt gemessen. Daraus wurde eine Nachweisgrenze von etwa 0.7 Gewichts-% C ermittelt. Eine eingehende Analyse der Alpha-Spektren der Steine ergab, daß keine C-Signatur gefunden wurde, was

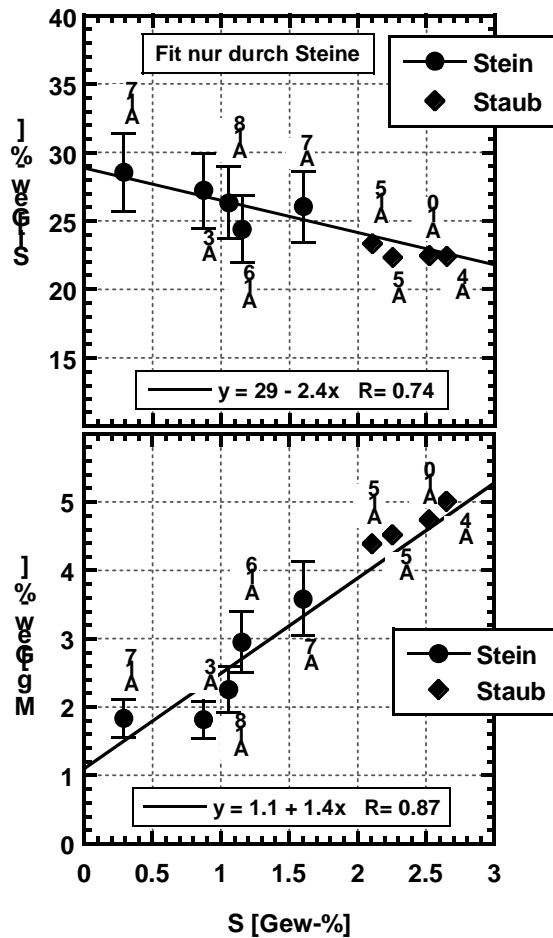


Fig. 6: Element-Korrelationen von Si und Mg mit S der Steine. Die Staubproben liegen auf der Geraden und zeigen dadurch an, daß die Steine mit Staub bedeckt sind.

heißt, daß weniger als 0.7 % C in den Steinen enthalten ist. Ebenso wurde auch in den verschiedenen Staubproben kein C entdeckt.

Die Analysen der Steine und Staubproben ergaben kurz zusammengefaßt folgendes:

- Die Steine sind chemisch anders zusammengesetzt als der Staub. Sie haben niedrige Gehalte an Magnesium, aber hohe Gehalte an Silizium und Kalium. Sie sind irdischen Krustengesteinen sehr ähnlich (z. B. bestimmten Andesiten), aber ein Sedimentsprung kann auch nicht ausgeschlossen werden. Weiter Studien sind nötig.
- Der Staub in Ares Vallis hat die gleiche Zusammensetzung wie der bei den beiden Viking-Landstellen. Alle Steine sind mit Staub bedeckt, der von lokalen Windturbulenzen und globalen Staubstürmen transportiert wird. Im Staub wurden hohe Schwefel- und Chlorgehalte gefunden, die wahrscheinlich vulkanischer Herkunft sind.

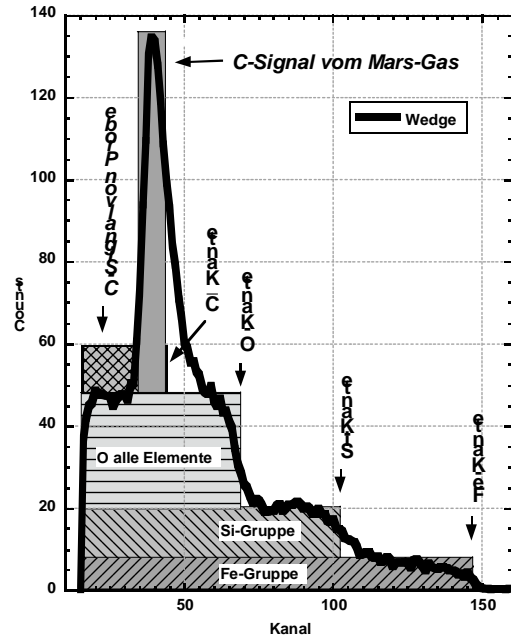


Fig. 7: APXS-Alpha-Spektrum vom Stein Wedge. Kreuzweise Schraffur: mögliches C-Signal.

Im Jahr 2001 wird es wieder eine Mars-Landemission mit einem kleinen Rover geben, der ein modifiziertes APXS an Bord haben wird. Die Modifikationen beziehen sich auf eine Verringerung des C-Störpeaks im Alpha-Spektrum, die etwa 40 % beträgt. Nach umfangreicher Eichung wurde das APXS bereits in den Rover „Marie Curie“ integriert.

Für weitere Mars-Landemissionen in 2003 und 2005 soll ein neu entwickeltes APXS zum Einsatz kommen, das noch etwas kleiner und leistungsfähiger sein wird. Dieses neue APXS wird auch mit der ESA-Mission Rosetta fliegen, die einen Lander auf einem Kometen absetzen wird. Dort soll u.a. die chemische Zusammensetzung der Kometenoberfläche bestimmt werden.