

SCHÄDIGUNG DER SPRITZBETONAUSKLEIDUNG DES BOSRUCKTUNNELS DURCH SO_4^{2-} - HÄLTIGE BERGWÄSSER UNTER BILDUNG VON SEKUNDÄREM ETTRINGIT, THAUMASIT UND GIPS

Christoph BAUER, Dietmar KLAMMER & Kurt KLIMA

Institut für Angewandte Geowissenschaften, Technische Universität Graz

Einleitung

Der Bosrucktunnel befindet sich an der Grenze Grauwackenzone/Nördliche Kalkalpen und führt von Arding am SSE Portal in Richtung Spital am Pyhrn, das nach dem NNW Portal liegt. Der Tunnel wurde als eingleisiger Eisenbahntunnel mit einer Gesamtlänge von 4,77 km von 1901 bis 1906 erbaut. Er ist teilweise mit einer Kalksteinmauer ausgekleidet. Mitte der 50er Jahre wurde die durch den Dampflokbetrieb stark verrusste Mauer gereinigt und mit einer Spritzbetonschicht versehen. Im Laufe der Jahrzehnte bildete sich an der Phasengrenze Mauerwerk – Spritzbetonauskleidung durch Mineralneubildungen eine Umwandlungszone. Dadurch wird die Festigkeit der Tunnelwand herab gesetzt und gefährdet die Betriebssicherheit, besonders im Falle einer Fortsetzung der Umwandlungs-Neubildungsprozesse. Umwandlungserscheinungen und Mineralneubildungen in Betonen treten häufig im feuchten, sulfatreichen Milieu in Form eines „Sulfatangriffs“ auf. Durch die Porosität des Zementsteins gelangt Sulfat in das Innere und es entstehen die neu gebildeten Minerale Gips, Ettringit und Thaumasit. Die Bildung von Gips und Ettringit ist hinlänglich bekannt und kann durch die Verwendung von sulfatbeständigem Zement weitestgehend verhindert werden. Allfällige Schäden, die beide Minerale hervorrufen können, entstehen durch den Druck der bei ihrer Kristallisation frei wird. Thaumasit hingegen löst die Zementmatrix auf in dem er sich aus den für die Festigkeit verantwortlichen Si-Hydrate (Alit und Belit) bildet, wobei ein weißes, kohäsionsloses Pulver, das im feuchtem Zustand pastös ist, zurück bleibt.

Zielsetzung

Ausgehend von der visuellen Beobachtung im Tunnel wurden Proben des zersetzten Materials einer mineralogischen Untersuchung unterzogen um abzuklären:

a) welche Art der Schädigung liegt vor, b) woher stammen die Komponenten, die für die Schädigung verantwortlich sind und c) handelt es sich bei der Umsetzung um einen statischen (bereits abgeschlossenen) oder einen dynamischen (noch weiter fortschreitenden) Prozess?

Untersuchungsergebnis

Das geschädigte Material im Bosrucktunnel erscheint makroskopisch entweder trocken, schalenförmig oder feucht, pastös. In beiden Fällen sind feinkristalline Einlagerungen zu beobachten. Die schadhafte Zone unterbricht die mechanisch feste Bindung zwischen Mauerwerk und Spritzbetonauskleidung. Mit Hilfe von Röntgen- und Elektronenmikroskopischer Analysen konnte an mehreren Zersetzproben von verschiedenen Stellen im Tunnel die sekundär gebildeten Sulfatminerale Ettringit, Thaumasit und Gips nachgewiesen werden. Vereinzelt tritt in den zersetzten Proben metastabiler Vaterit auf. Der Ettringit erscheint (wie in natürlichen Vorkommen) farblose mit prismatischem bis nadeligem Habitus. Im Zementstein ist zwischen primär und sekundär gebildetem Ettringit zu unterscheiden. Während die Bildung von primärem Ettringit (AFt) auf Grund seiner festigenden Eigenschaft im Beton ein Vorteil ist, ist im Gegensatz dazu die Entstehung des sekundären Ettringits wegen seiner entfestigenden Wirkung unerwünscht. Eine allfällige sekundäre Ettringitbildung kann durch einen internen oder durch einen externen Sulfatangriff

erfolgen. Ursache dafür sind zu hohe Zugaben von Gips bei der Produktion des Zementes (interner Sulfatangriff) bzw. unter anderem sulfathaltige Bergwässer, die den Schwefel durch den Porenraum des Zementsteins anliefern (sekundärer Sulfatangriff).

Das Erscheinungsbild des Thaumasits ist dem des Ettringits sehr ähnlich. Die nadeligen, prismatischen Thaumasitkristalle sind nur etwas kürzer als die des Ettringits. Der Thaumasit bildet ein feines, weißes Pulver, welches im Falle eines Wasserangebots, welches im Bosrucktunnel meistens der Fall ist, eine weiße Paste bildet, die sich zwischen der Tunnelmauerung und dem Spritzbeton anlagert. Ob sich der Thaumasit direkt aus den Calciumsilikathydratphasen (CSH-Phasen) durch Reaktion mit Calciumsulfat, Carbonat und Wasser gebildet hat, oder aus dem zuerst gebildeten Ettringit über Woodfordit (Ettringit-Thaumasit Mischkristall), den CSH-Phasen, Carbonat und CO_2 entstanden ist, kann nicht eindeutig belegt werden. Ettringit-Thaumasit Mischkristalle konnten mit Hilfe der EMS-Analyse aber nachgewiesen werden. Vereinzelt wurde auch Gips in monokliner, dicktafeliger prismatischer Ausbildung bestimmt. Er bildet sich als erstes Sulfatmineral immer dann, wenn sehr viel Wasser vorhanden ist.

Für die Bildung der o.a. Sulfatminerale ist die Frage nach der Herkunft des Sulfats von essentieller Bedeutung. Es kommen mehrere „Sulfat-Quellen“ in Frage. Zum Beispiel SO_4^{2-} -haltiges Bergwasser und/oder das SO_2 des Rauchgases aus dem Dampflockbetrieb vor Aufbringung der Spritzbetonauskleidung. Die Untersuchung von durch die Mauerung diffundierenden Bergwässern mittels ICP-OES ergaben für diese jedenfalls hohe Gehalte an SO_4^{2-} und Cl^- .

Um die Herkunft des für die Zersetzung verantwortlichen Sulfats eindeutig klären zu können wurde die $^{34}\text{S}_{\text{CD}}$ Isotopensignatur mehrerer Proben des geschädigten Spritzbetons von verschiedenen Stellen im Tunnel sowie einer im Tunnelbereich aufgefundenen Russprobe untersucht. Auf Grund der unterschiedlichen Isotopensignatur, Ruß zeigt wegen der sulfidischen Herkunft (leichter) eine andere Isotopensignatur als die Sulfate (schwerer) des anstehenden Gebirges, ist eine eindeutige Zuordnung möglich.

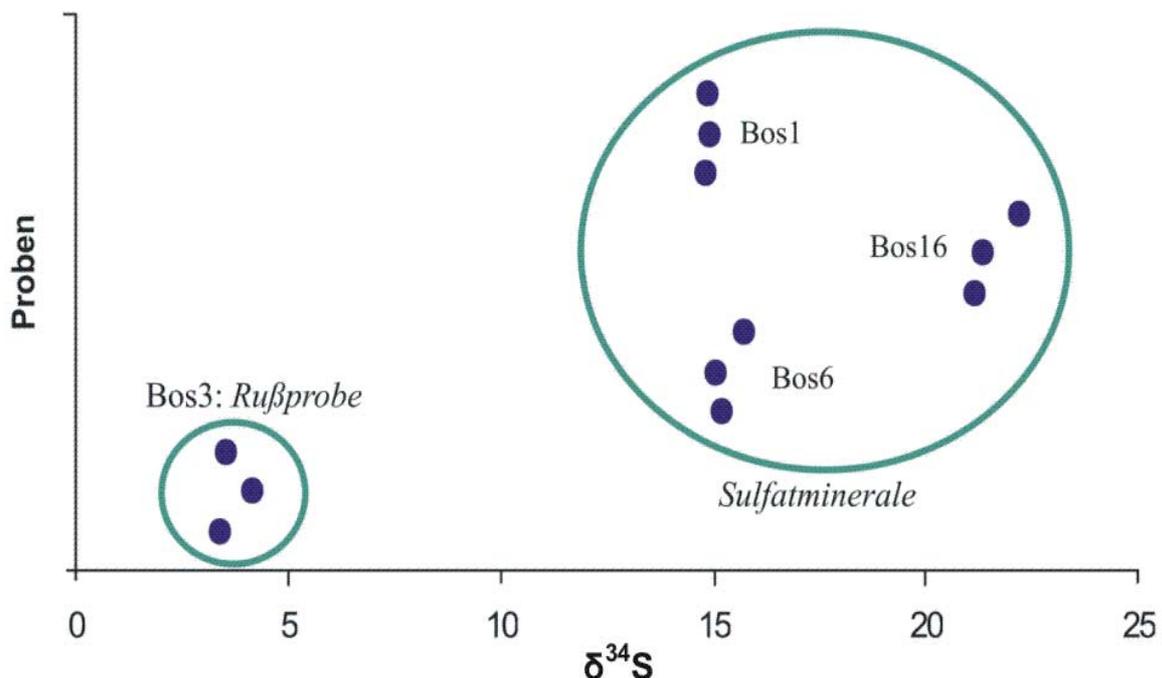


Abb. 1 : $^{34}\text{S}_{\text{CD}}$ Werte der Sulfatminerale (Bos1, 6 und 16) verglichen mit denen der Russprobe (Bos 3) aus dem Bosrucktunnel.

Wie im Diagramm (Abb. 1) zu erkennen, unterscheiden sich die Proben mit den sekundär gebildeten Sulfatmineralen in ihren $^{34}\text{S}_{\text{CD}}$ Werten deutlich von denen der Russprobe. Alle Werte für die Sulfatminerale liegen im Erwartungsbereich für Evaporite (+ 10 - +27‰), hingegen die der Russprobe in dem für Kohle (-3 - + 12‰). Die Sulfatminerale zeigen $^{34}\text{S}_{\text{CD}}$ Werten von +14,79 - +22,18‰, während die des Russes bei +3,38 - +4,12‰ liegen.

Zusammenfassung:

Die mineralogischen Untersuchungen der geschädigten Spritzbetonauskleidung des Eisenbahntunnels Bosruck haben gezeigt, dass

- a) die Schädigung durch einen Sulfatangriff unter Bildung der Sulfatminerale Ettringit, Thaumasit und Gips hervorgerufen wurde,
- b) die Komponenten einerseits von der Spritzbetonauskleidung, vom Mauerwerk und auf Grund der $^{34}\text{S}_{\text{CD}}$ Isotopensignatur von SO_4^{2-} -haltigen Bergwässern stammen (Rauchgase aus dem ehemaligem Dampflokbetrieb scheiden als Schwefelquelle aus),
- c) die Umsetzung ein dynamischer Prozess und noch nicht abgeschlossen ist und daher noch weiter fortschreiten wird.