

# Untersuchungen der Schäden am Tuffstein des Charlottenburger Tors in Berlin

## Baugeschichte und Motivation

- 1904-09: Errichtung der Toranlage aus Ettringer Tuffstein (Eifel) im Rahmen eines Brückenneubaus (Abb. 1)
  - 1937-39: Vollständige Abtragung und Wiederaufbau (Verzicht auf Verblechung)
  - Beschädigungen im 2. Weltkrieg; Notsicherung in Nachkriegszeit
  - 1968-70: Grundrestaurierung
  - 1986: Hochdruckwasserstrahlreinigung und Hydrophobierung (Silikonharz) der Fassade; Austausch des Fugenmörtels
  - Vermehrtes Auftreten von Oberflächenschäden in Form von Schalenbildung und Rückverwitterung durch Schalenverlust (Abb. 2);  
⇒ Gefahr für Fußgänger durch herabfallende Tuffsteinfragmente
- Ziel: Klärung der Schadensursachen für ein Sanierungskonzept**



Abb. 1: Charlottenburger Tor im Jahr 1910 (Bild Landesarchiv Berlin)



Abb. 2: Rückverwitterung durch Schalenbildung.

## Methodischer Ansatz

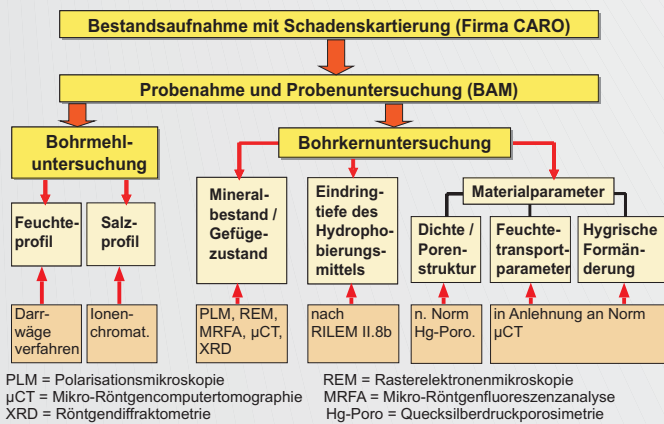


Abb. 3: Untersuchungsprogramm

## Ergebnisse

- Ermittlung von Bereichen mit und ohne hydrophobierter Randzone im Tuffstein; unterschiedliche Wirksamkeit der Hydrophobierung in der Randzone über die Tiefe (Abb. 4)
- Ermittlung stark erhöhter Feuchtegehalte im Tuffstein (10 - 15 M-%) hinter hydrophobierter Randzone
- Anreicherung von Schwefel hinter der hydrophobierten Randzone in Form von Gips (Abb. 5, 6)
- Hohe hygrische Verformung des Tuffsteins bei vollständiger Wasserlagerung (ca. 1,8 mm/m)
- Nachweis hoher Inhomogenität und Kapillarität des Tuffsteins mit der µCT; Auffälligkeit: Bimskörner haben eine deutlich verzögerte kapillare Wasseraufnahme (Abb. 8)

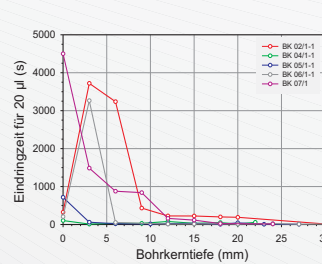


Abb. 4: Tröpfchentest zur Bestimmung der Hydrophobierungstiefe. Je länger die Eindringzeit des Wassertropfens, desto wirksamer ist das Hydrophobierungsmittel.

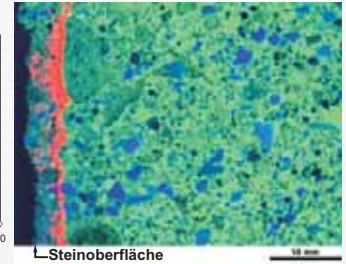


Abb. 5: Elementverteilungsbilder eines Bohrkernprofils von Schwefel (rot), Kalium (grün) und Silizium (blau). MRFA.

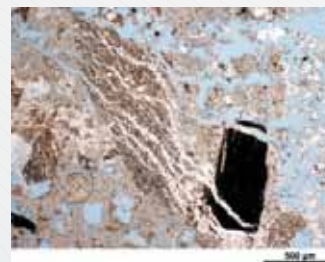


Abb. 6: Mikroskopbild von Gipseinlagerungen (weiße Adern) in verschiedenen Kornkomponenten des Tuffsteins (Porenraum blau eingefärbt, Durchlicht).

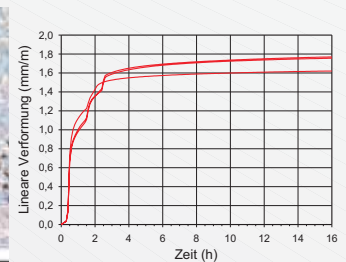


Abb. 7: Hygrische Formänderung von drei zylindrischen Probenkörpern bei Wasserlagerung.

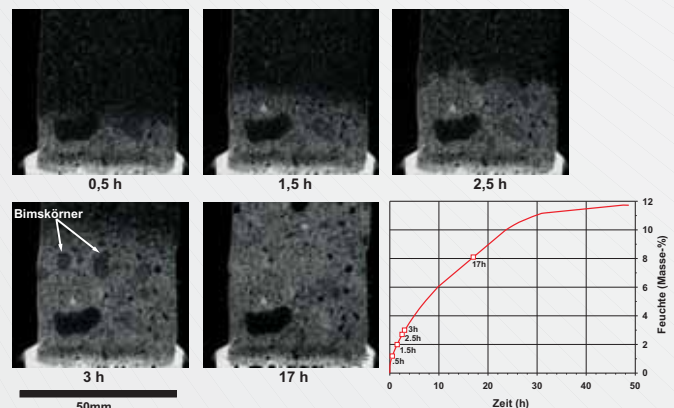


Abb. 8: Mit CT ermittelte Feuchteverteilungen im Tuffstein während des kapillaren Saugens.

## Schlussfolgerungen

Hauptschadensursache: Hydrophobierung des Tuffsteins:

- Behinderung kapillarer Wasseraufnahme
  - Hinterwanderung der hydrophobierten Randzone durch Wassereintrag über Risse, defekte Fugen oder nicht-hydrophobierte Bereiche
  - Verlagerung des Austrocknungsprozesses in hydrophobierte Randzone durch Unterbindung des kapillaren Feuchte-transportes
- Folgerscheinungen: Gefügestörung in Form von Schalenbildung durch:
- unterschiedliche hygrische Dehnung im hydrophobierten und nicht-hydrophobierten Bereich
  - Behinderung hygrothermischer Formänderung des Tuffsteins durch starren Fugenmörtel
  - Kristallisation von Salzen hinter der hydrophobierten Randzone während der Austrocknung
  - Eisbildung hinter der hydrophobierten Randzone im stark durchfeuchteten Tuffstein bei Frost und Frost-Tauwechsel