

# Acrylatgelsicherung des Bodens zur Reparatur eines Maschinenschadens

Fred Anthes, Ulrich Barow, Jörg de Hesselle

**Eine Gebirgssicherung mit Acrylatgel hat sich bei der Reparatur eines Dichtungsschadens im Hydroschildvortrieb im Baulos 3.1 der U-Bahn-Linie 5 in Berlin als ein relativ kostengünstiges und schnelles Verfahren zur vorübergehenden Sicherung des Vortriebes gegen das Eindringen von Wasser erwiesen.**

Im Dezember 1996 wurde die Walter Bau-AG mit den Rohbauarbeiten der zwei Röhren des U-Bahn-Tunnels zwischen dem Reichstag und dem Pariser Platz inklusive des Start- und Zielbauwerkes beauftragt. Der Vortrieb ist in dem vorangegangenen Beitrag ausführlich beschrieben.

Herzstück des Projektes sind die im Schild-Vortriebsverfahren aufzufahrenden eingleisigen Tunnelröhren von ca. 480 m und 498 m Länge, mit denen das Max-Liebermann-Haus bzw. das angrenzende Brandenburger Tor unterfahren werden. Mit den Bauarbeiten wurde im März 97 begonnen. Im Dezember 98 ist die Fertigstellung geplant.

Aufgrund der Unterfahrung des Max-Liebermann-Hauses bzw. des angrenzenden Brandenburger Tores und einer historischen Brunnenanlage am Pariser Platz kam ein Vortrieb mit einem Hydroschild mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust zum Einsatz

Für die Sicherung der Tunnellaubung wurden Stahlbetontübbinge mit 1,20 m Breite und 0,35 m Dicke der Güte B 45 mit Hilfe eines Erektors eingebaut. Der Spalt zwischen Tübbingring und Boden wurde zur Erzielung der Kraftschlüssigkeit und Verminderung der Setzungen mit Zementmörtel verpreßt. Zur Abdichtung der fertig ausgebauten Tunnellaubung mit den Tübbingungen und dem Maschinenrohr wurde im Bereich des Spaltes zwischen Tunnelring und Boden bei diesem Projekt eine S1-Dichtung eingesetzt. Die S1-Dichtung besteht aus einem Neoprenprofil, das durch Kugelstangen, die am Ende des Schildschwanzes in gelenkigen Aufnahmen gehalten sind, vor gespannt und so mit einem gewissen Druck auf die Tübbingringe gepreßt wird

## Maschinenschaden

Nach der Durchfahrung von Bereichen mit bisher noch nicht eindeutig identifizierten Stahlteilen im Boden sowie eines Abschnittes mit erheblichen Grobgeschiebekonzentrationen, kam es gegen Ende der 14./Anfang der 15. Kalenderwoche 1998 zu erheblichen Mörtel- und Wasserzutritten während des Vortriebes. Bei einer daraufhin durchgeführten exakten Kontrolle der S1-Dichtung wurden im Zuge einer Endoskopie erhebliche Beschädigungen der S1-Dichtungen, die bis zum Totalverlust von einigen Segmenten reichten, festgestellt.

Das Abwägen aller derzeit verfügbaren technischen Möglichkeiten, einschl. ihrer besonderen Risiken und Gefahren und der damit verbundenen Zeit- und Kostenaufwendungen, ergab, auch unter Einbeziehung des Bauherrn, der Senatsverwaltung für Bauen, Wohnen und Verkehr, gegen Mitte der 16. Kalenderwoche folgende Entscheidung:

Die S1-Dichtung sollte nicht vollständig ersetzt bzw. in ihre alte Funktion zurückversetzt werden, sondern es wurde im Schutz einer temporären Gebirgssicherung eine zusätzliche Bürstendichtung in den Schildmantel eingebaut, wobei die restlich verbleibende S1-Dichtung nur die Funktion der hinteren Abdichtung der zweiten Fettkammer übernimmt.

Für die temporäre Gebirgssicherung wurde für die geplante Dauer der Reparaturarbeiten (4 bis 6 Wochen) eine Vergelung des außerhalb des Maschinenrohres anstehenden Sandes gewählt.

Zum Einsatz kam nicht das üblicherweise verwendete Weichgel aus Natronwasserglas (dies hatte aufgrund seiner unzureichenden Umweltverträglichkeit mehr und mehr an Bedeutung verloren), sondern ein modernes Acrylatgel.

Die Fa. Walter Bau-AG entwickelte zusammen mit dem zur Planung der Gebirgssicherung beauftragten Ingenieurbüro IBE ein Vergelungskonzept, das es ermöglichte, die Maschine innerhalb des vergelten Gebirgsringes noch 60 cm nach vorne zu fahren, um den notwendigen Platz zum Einbau der Bürstendichtung zu schaffen.

## Acrylatgele

Obwohl Acrylatgele seit Jahrzehnten für die nachträgliche Bauwerksabdichtung eingesetzt werden, sind die Applikationstechnik sowie die Materialanforderungen in keinem Regelwerk festgelegt. Die Deutsche Bahn AG, die in Deutschland Vorreiter bei der Vergelung war, hat eine Richtlinie (Hinweis 835.9201) für den Einsatz der Gele erarbeitet und auch Fachplaner ausgebildet, die Vergelungsmaßnahmen für die Deutsche Bahn AG planen dürfen. Die für die DB AG verwendeten Gele müssen ein Prüfzeugnis vorweisen können, daß sie nach STUVA-Richtlinien geprüft wurden.

Auch die WTA (Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V.) hat ein Merkblatt über die Acrylatgelinjektion erarbeitet.

Jedoch alle bisher auch in der Fachliteratur bekannten Anwendungsfälle der Acrylatgele gehen immer davon aus, daß der Baukörper keinen größeren Bewegungen als normalen Setzungen oder dergleichen ausgesetzt ist. In dem vorliegenden Falle aber sollte das Schild nach der Injektion wie oben beschrieben um 60 cm bewegt werden, und der Acrylatgelmantel durfte nicht zerreißen, was besondere Anforderungen an das Material stellte. Das Acrylatgel durfte nicht am Stahlschild haften und der nach der Injektion entstandene Acrylatgel-/Sandkörper mußte nach der Schildbewegung die Abdichtung gewährleisten.

Im Inneren des Schildschwanzes wurde beim Ausbau der vorhandenen Abweisleiste sowie beim Herstellen der 12 in Längsrichtung verlaufenden Nuten für die Fettverpreßleitungen der zukünftigen Bürstendichtungen das Maschinenrohr thermisch bearbeitet. Das bedeutete, daß das 4 cm starke Schild an der Innenseite bei Schweißarbeiten mit einer Wärme von ca. 1600 °C beaufschlagt wurde.

Die Eigenart von Acrylatgelen ist es, daß sie zu ca. 50 % aus Wasser bestehen und demnach auch austrocknen können. Beim Trocknen schrumpft das Material und wird bei Wasserbelastung wieder aufquellen. Im Normalfalle reicht die Bodenfeuchtigkeit aus, um das Austrocknen des Gels zu verhindern. Im vorliegenden Fall aber war es ungewiß, wie sich das Material bei dieser Hitze und mit 2,0 bar Wasserdruck beaufschlagt verhalten würde. Die radialen Schweißnähte waren nicht das Problem, denn die Gelschicht war stark genug; das Problem stellten vielmehr die zwölf in Längsrichtung verlaufenden Nuten dar. Aus diesem Grunde wurde von vornherein auf das Herstellen der Nuten mittels Schneidbrenner verzichtet und die aufwendigere Arbeitsweise mit dem Fugenhobel gewählt, bei der die Einwirkungszeit nicht ganz so lang ist. Zur Abschätzung der möglichen Auswirkungen auf den außen am Maschinenrohr anliegenden Gelkörper wurde ein einfacher Versuch durchgeführt. Auf eine Stahlplatte mit halber Stärke der vorhandenen Materialstärke des Maschinenrohres wurde eine ca. 10 cm dicke Acrylatgelschicht aufgebracht, anschließend auf der nicht gelbehaferten Seite der Stahlplatte sowohl eine 10 mm tiefe Nut mit einem Fugenhobel gebrannt als auch eine 8 mm Schweißnaht aufgebracht (s. Bild).

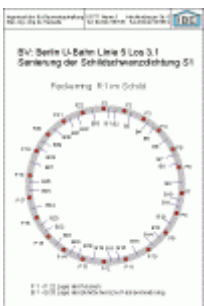


Eine Betrachtung des Schnittes an der thermisch behandelten Stelle ergab in beiden Fällen, daß das ausgehärtete Acrylatgel, obwohl es in dieser Versuchsanordnung entgegen den tatsächlichen Verhältnisse nicht unter Wasser thermisch belastet wurde, keinerlei Austrocknung zeigte und noch eine volle Haftung an die Stahlplatte aufwies (s. Bild).

Trotz dieser erfolgreich verlaufenden Versuche wurde zur Sicherheit von der Injektionsfirma (E+K Abdichtungstechnik GmbH) während der gesamten Reparaturarbeiten, die die thermische Belastung des Schildmantels betrafen, eine 24-stündige Bereitschaft mit der entsprechenden technischen Ausrüstung (Zweikomponenten-Verpreßpumpe sowie ausreichend des Material) vorgehalten, um so bei evtl. auftretenden kleinen Undichtigkeiten unverzüglich reagieren zu können und eine evtl. beginnende Erosion sofort zu unterdrücken.



## Packeranordnung



Zur Injektage des Acrylatgelgürtels wurden drei Packerringe R1, R2 und R3 radial zum Rohr angeordnet. Der erste Packerring, R1, wurde im Schild gesetzt, ca. 5cm von der Abweisleiste entfernt in Vortriebsrichtung. Der Umfang in diesem Bereich beträgt 20,74 m und die Anzahl der Packer wurde auf 33 festgelegt. Die 33 Bohrungen richteten sich nach der Anordnung der 22 Pressen, die gegen den letzten Tübbingring drückten. Zwischen den Pressen wurden abwechselnd jeweils eine bzw. zwei Bohrungen angebracht. Die Bohrungen hatten einen Durchmesser von 10 mm (s. Bild). Der zweite Packerring, R2, wurde im letzten Tübbingring gesetzt und zwar 62 cm von der Scheuerleiste entfernt gegen die Vortriebsrichtung.

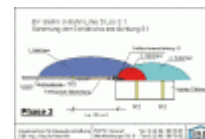
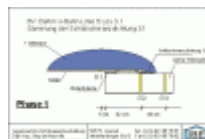
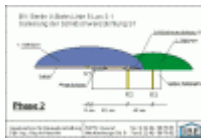
Hinter diesen Bohrungen lag genau das Gelenk der Schildschwanzdichtung S1. Der Umfang beträgt 18,06 m, und die Anzahl der Packer wurde wiederum auf 33 festgelegt. Die Bohrungen wurden im gleichen Schema wie im Packerring R1 angeordnet, nur um eine Presse versetzt. Der Durchmesser betrug auch



hier 10 mm. Der dritte Packerring, R3, wurde 1,10 m von der Scheuerleiste entfernt gegen die Vortriebsrichtung im letzten Tübbingring gesetzt. Die Anzahl der Bohrungen betrug wieder 33, und die Lage war genauso wie bei R1, also zu R2 um eine Presse versetzt. Der Durchmesser betrug 10 mm (s. Bild).

## Injektionsvorgang

Für die Injektion standen drei 2K-Injektionspumpen bereit. Mit zwei Pumpen wurde injiziert. Eine weitere Pumpe wurde zur Sicherheit betriebsbereit mit einem schnell reagierenden Injektionsgel vorgehalten für einen evtl. starken Wassereinbruch bei einem Havariefall. Die Injektion erfolgte in drei Phasen. Grundsätzlich wurde zur besseren Druckverteilung im anstehenden Gebirge jeder Ring wie folgt verpreßt: Die zwei Injektionsmaschinen begannen bei 4 und 8 Uhr und beaufschlagten jeden zweiten Packer im Uhrzeigersinn:



- in Phase 1 (s. Bild links) wurde mit der Injektion des Packerrings R1 begonnen. Das Acrylatgel gab bei der Reaktion Wärme ab von bis zu 60 °C. Da Stahl ein guter Wärmeleiter ist, kann man den Materialverlauf in eine Richtung mit einem Thermometer messen. Da man von einer gleichbleibenden Verteilung des Materials in beide Richtungen des Rohres ausgehen konnte, wurde so lange verpreßt, bis das Material die Schildschwanzdichtung S1 überschritten hatte. In der ersten Phase wurde jeder Packer möglichst mit 200 kg Material beaufschlagt. Materialverbrauch in Phase 1 ca. 6600 kg
- in Phase 2 (s. Bild mitte) wurde der Packerring R3 in der gleichen Art und Weise wie der Packerring R1 verpreßt. Die Beaufschlagung erfolgte mit etwa 100 kg Acrylatgel pro Packer. Materialverbrauch in Phase 2 ca. 3300 kg
- in Phase 3 (s. Bild rechts): Nach Abschluß der ersten beiden Phasen war der außenliegende Acrylatgürtel fertiggestellt. Nun konnte mit dem Vortrieb, der ca. 60 cm betrug, begonnen werden. Der Vortrieb wurde zentimeterweise durchgeführt. Während der Vortriebsarbeiten wurde ständig durch die Packerringe R1 und R3 nachinjiziert. Sobald die Schildschwanzdichtung S1 den Packerring R2 passiert hatte, wurde durch R2 injiziert. Die Beaufschlagung der Packer richtet sich nach der Vortriebsgeschwindigkeit. Insgesamt wurden pro Packer ca. 40 kg injiziert. Materialverbrauch in Phase 3 ca. 1320 kg.

## Materialeinstellung

Die Reaktionszeit des Acrylatgels wurde auf etwa 10 min bei 8 °C eingestellt. Die Reaktionszeit ist so gewählt worden, daß dem Material genügend Zeit verblieb, sich an der Außenseite zu verteilen, ohne daß es unkontrolliert ablaufen konnte. In Phase 3 wurde ein schneller reagierendes Acrylatgel eingesetzt, welches innerhalb einer halben Minute ausreagierte.

## Vorfahren des Schildes

Nach Abschluß der Vergelungsarbeiten, die wie vor beschrieben wurden, wurde er Schildschwanz zentimeterweise gleichmäßig gezogen. Zur stetigen Schließung des entstehenden Hohlraumes wurde ständig nachverpreßt mit einem schnell reagierenden Acrylatgel. Nachdem das Schild bei 12 Uhr seine endgültige Position erreicht hatte, begann der schwierigste Teil. Bei 6 Uhr mußte das Schild noch ca. 10 cm vorgefahren werden. Diese einseitige Belastung stellte ein kalkulierbares Risiko dar, welches in Kauf genommen werden mußte. Beim Kippen des Schildes trat dann auch ein Wasser-Sand-Gemisch in das Schild ein (ca. 4 m Sand). Ständiges Injizieren und die Selbstabdichtungswirkung durch den eintretenden Sand brachten den Einbruch bald zum Stillstand. Die noch vorhandenen Restundichtigkeiten wurden in der Nacht



vom 29. auf den 30. April abgedichtet (s. Bild). Damit die Dichtigkeit über den gesamten Zeitraum der Montage der Bürstendichtungen (ca. 3 Wochen) gewährleistet war, wurde nach dem endgültigen Stillstand der Vortriebsmaschine ein Injektionsablauf festgelegt, der den Acrylatgelschleier zwischen 8 und 4 Uhr wiederherstellte.

### **Schlußbetrachtung**

Im nachhinein hat sich die Entscheidung zur Sicherung des Gebirges durch die Acrylat-Vergelung sowie die Einschaltung eines Fachplaners als richtig erwiesen. Besonders die sehr schnelle Ausführungszeit (Gesamtdauer von Schadensfeststellung bis zur Fertigstellung der Reparatur 7 Wochen) sowie die während der Vorhaltung aus Sicherheitsgründen vorgenommene Stand-By-Regelung haben dazu geführt, daß die Gebirgssicherung mit Acrylatgel sich als ein relativ kostengünstiges und vor allen Dingen sehr schnelles Verfahren zur temporären Sicherung des Gebirges gegen das Eindringen von Wasser erwiesen hat.