

Walter Lukas, Christoph Niederegger, Dietmar Tomaseth und Rolf Brandenberger

Praxistauglichkeit zementgebundener, auf-spritzbarer Dichtschichten für Tunnelbauwerke

Univ.-Prof. Dr. Walter Lukas

Institut für Betonbau, Baustoffe und Bauphysik, Universität Innsbruck

DI Dr. Christoph Niederegger

Institut für Betonbau, Baustoffe und Bauphysik, Universität Innsbruck

DI Dr. Dietmar Tomaseth

Institut für Betonbau, Baustoffe und Bauphysik, Universität Innsbruck

Rolf Brandenberger

DEGUSSA Construction Chemicals UGC-International, Schweiz

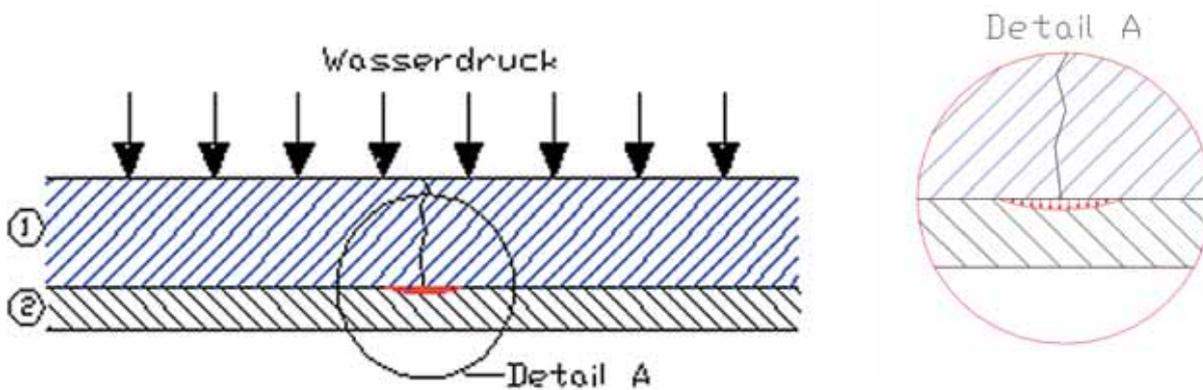


Abb. 1: Außenschale – dünne Innenschale

Alle Fotos und Grafiken: © Institut für Betonbau, Baustoffe und Bauphysik | Universität Innsbruck

Allgemeines

Zur Ermittlung der Praxistauglichkeit zementgebundener Dichtschichten, in diesem speziellen Fall des Produktes MASTERSEAL 345 der Firma DEGUSSA Construction Chemicals UGC-International, Schweiz, führte das Institut für Betonbau, Baustoffe und Bauphysik der Universität Innsbruck eine Reihe von Untersuchungen durch, die sowohl Labor- als auch Praxisversuche umfassten.

Im Praxisversuch wurde das Produkt auf eine bestehende, gerissene Tunnelinnenschale appliziert und die Dichtfunktion, Haftzugfestigkeit, Rissverschlussfähigkeit sowie das Arbeitsvermögen als Endauskleidung ohne stützende Innenschale überprüft. Im Labor wurde die in der Praxis angewendete Sandwichbauweise nachgestellt und das System Lang- und Kurzzeitversuchen unterzogen.

Der Ausführung und Rechtfertigung dieser Versuche ging folgende Idee voraus:

Zu Beginn wirkt nur der Gebirgsdruck auf die Außenschale. Dieser wird im Rahmen des Baufortschritts bzw. nach Fertigstellung des Baus vom Verbundsystem (Außen- und Innenschale) abgetragen. Kommt es infolge von Wasserdruck zu einer zusätzlichen Belastung, dringt das Wasser durch die Außenschale zur Innenschale durch, da die Außenschale meist aus Beton minderer Qualität besteht bzw. nach einer gewissen Zeit wassergesättigt ist. Das Wasser und der Druck können sich ungehindert zwischen Innen- und Außenschale ausbreiten und belasten, falls keine Ableitung bzw. Drainage möglich ist (Versinterung), ausschließlich die Innenschale. Bei Verwendung einer PE-Dichtfolie zwischen den beiden Schichten wäre der gleiche Effekt gegeben.

Folglich konnte der Außenschale bisher keine abtragende Wirkung für Belastungen durch Wassereinwirkung zugeschrieben werden. Demnach musste die Innenschale auf Belastungen durch Berg- und Wasserdruck dimensioniert werden. Dünne Innenschalen kamen daher meist nicht in Frage.

Bei den vom Institut für Betonbau, Baustoffe und Bauphysik der Universität Innsbruck durchgeführten Untersuchungen konnte der Wasserdruck im Großversuch durch die gerissene Innenschale (simuliert eine Außenschale) und im Laborversuch durch eingebaute Installationen auf die Dichtschicht wirken. Betrachtet man die Beziehung $\text{Kraft} = \text{Druck} \times \text{Fläche}$ und geht man von einem konstanten Druck aus, sieht man, dass sich mit zunehmender Ausbreitung des Wassers die Fläche und infolgedessen die Kraft vergrößert, die auf die Innenschale



Abb. 2: Versuchsplatten in Sandwichbauweise – Laborversuch

wirkt. Könnte hingegen die Dichtschicht den Riss über den Haftverbund mit der Außenschale begrenzen bzw. verschließen, bliebe der Parameter Fläche klein und die Kraft auf die Innenschale minimal bzw. begrenzt. Die Außenschale würde demnach durch Wasserdruck bedingte Lasten abtragen, was eine Reduzierung der Stärke der Innenschale rechtfertigen würde.

Ziel ist es also, die Ausbreitung des Wassers durch die Dichtschicht mittels eines Haftverschlusses der Risse zu verhindern. Auf diese Weise könnte das einschalige System möglichst wirtschaftlich gestaltet werden. Darüber hinaus wäre aufgrund absoluter Dichtheit Praxisauglichkeit erreicht. Die Dichtschicht sollte das System folglich nicht nur abdichten können, sondern auch in der Lage sein, eventuelle Risse kraftschlüssig zu verschließen und Schubkräfte zu übertragen.

Ein Maß für die Ablösung der Dichtschicht ist die Haftzugfestigkeit, die im Labor in der Sandwichbauweise ermittelt wird. Im Großversuch wird die Dichtschicht als Endauskleidung ohne stützende Innenschale ausgeführt, die Belastung des Tunnels erfolgt nur einseitig. Die gewonnenen Werte stellen also die untere Belastungsgrenze dar.

Laborversuche

Im Labor werden Belastungen auf die Tunnelschale simuliert. Zu diesem Zweck werden zwei Platten (1,20 x 1,20 x 0,264 m) für den Kurz- bzw. Langzeitversuch hergestellt. Die ca. 4 mm dicke und mittels Trockenspritzten aufgetragene Dichtschicht befindet sich aufgrund der Sandwichbau-

weise direkt in der Mitte. Als Ergebnis der Prüfung sollten die maximale Haftzugfestigkeit und der Haftverbund zwischen Außenschale und Dichtschicht bei von außen drückendem Bergwasser hervorgehen. Weiters sollten die Verformung sowie die Ausbreitung des Wasserdruckes in der Fuge zwischen Außenschale und Dichtschicht bei Ablösung derselben gemessen werden.

In einer ersten Phase wurden mithilfe der Platten ein Lang- und ein Kurzzeitversuch durchgeführt. Der Wasserdruck wird in der Mitte der Platte über ein eingeklebtes $\frac{1}{2}$ "-Rohr inklusive Muffe und angeschlossener Handpumpe in 0,5 bar-Schritten erzeugt. Über installierte Manometer und Kraftmessdosen werden die Verformung und die Wasserausbreitung ersichtlich gemacht.

Ergebnisse Langzeitversuch

Im Langzeitversuch konnten an den Manometern keine Ausschläge festgestellt werden. Daraus folgt, dass sämtlichen Anforderungen entsprochen wurde. Demnach war die Dichtschicht durch den Verbund mit der Außenschale in der Lage, den Riss zu verschließen und die Belastung durch den Wasserdruck von der Innenschale fern zu halten.

Ergebnisse Kurzzeitversuch

Anders als beim Langzeitversuch wurden hier an zwei ausgewählten Baueisen jeweils Kraftmessdosen installiert, um so die Gesamtverformung am Rand feststellen zu können. Die Drucksteigerung wurde ebenfalls mit 0,5 bar (für jeweils 5 Minuten) festgelegt, wobei bei einem Wert von 2 bar

begonnen wurde. Anschließend erfolgte die Ermittlung der maximal möglichen Beanspruchung der Versuchsplatte.

In diesem Fall war bei einem Druck von 6 bar der erste Ausschlag eines Manometers zu beobachten. Ab 8 bar trat an der Seite Wasser aus, weshalb der Druck nicht mehr konstant gehalten werden konnte. Die Fortsetzung des Versuchs erwies sich somit als hinfällig.

Das Wasser konnte sich ausbreiten, weil sich der Haftverbund zwischen Außenschale und Dichtschicht teilweise aufgelöst hatte oder aber weil es sich einen Weg durch die Betonaußenschale bahnen hatte können, ohne den Haftverbund zwischen Außen-

Abb. 3: Wasseraustritt zwischen Außen- und Innenschale



schale und Dichtschicht aufzulösen. Letztere Annahme ist insofern nicht auszuschließen, als es anfangs zu einem nicht radialen Ausbreiten des Wassers kam. Dies ist durch den einseitigen Manometerausschlag zu Beginn des Versuches dokumentiert.

Wie auf Abbildung 3 zu erkennen ist, trat das Wasser direkt zwischen der Dicht- und Spritzbetonschicht aus, ohne diese zu



Abb. 4: Blasenbildung bei 10 bar Wasserdruckbelastung – Praxisversuch

durchdringen. Die Dichtschicht war also zu jeder Zeit absolut undurchlässig, selbst wenn sich der Haftverbund möglicherweise zum Teil aufgelöst hatte.

Die Schlussfolgerung wäre also, dass die Dichtschicht Risse bis zu einer Belastung von 6 bis 8 bar kraftschlüssig verschließt. Weiters war zu beobachten, dass kein Ausschlag der Kraftmessdose stattfand. Die Baueisen am Rand waren demnach keiner Belastung ausgesetzt. Der Druck blieb vielmehr kleinflächig begrenzt und konnte sich ab einer Stärke von 8 bar über eine Austrittsstelle abbauen. Die Außenbereiche wiesen somit keine Verformungen auf.

Praxisversuch

In einem Großversuch erfolgte die Überprüfung der Praxistauglichkeit der Dichtschicht in einem Maßstab von 1:1 als Endauskleidung ohne stützende Innenschale – die ungünstigste Belastung des Systems. Die Dichtschicht wurde auf eine Tunnelwandung, die im Zuge früherer Versuche Risse erlitten hatte und daher nicht mehr wasserdicht war, im Trockenspritzverfahren aufgetragen. Nach einer Wartezeit von 28 Tagen wurde die Schicht mit Wasser beaufschlagt. Um Parallelen zu den Laborversuchen herstellen bzw. deren Ergebnisse vergleichen zu können, gliederten sich die Untersuchungen ebenfalls in einen Lang- und Kurzzeitversuche.

Ergebnisse Langzeitversuch

Für den Langzeitversuch wurde das System über einen Zeitraum von drei Stunden mit einem Druck von 0,5 bar beaufschlagt. Mit Hilfe des Wasserzählers war der Wasserdurchsatz feststellbar. Dieser ging praktisch gegen null. Der Haftverbund löste sich nicht und das System war vollkommen dicht.

Ergebnisse Kurzzeitversuche

In den Kurzzeitversuchen wurden die Drücke kontinuierlich gesteigert und für zehn Minuten konstant gehalten. So sollten die Maximalbelastung für den Haftverbund, die Dichtigkeit und das Arbeitsvermögen der Dichtschicht ermittelt werden. Die ersten undichten Stellen traten bei einem Druck von 1,8 bar auf.

Bei einer Steigerung auf 2,0 bar waren erste Blasenbildungen erkennbar. Diese „Blasen“ mit einem Durchmesser von ca. 4 cm wiesen darauf hin, dass sich der Haftverbund zwischen der Außenschale und der Dichtschicht teilweise löste. Bei einer weiteren Drucksteigerung erhöhte sich beinahe proportional dazu der Wasserdurchsatz. Analog dazu stieg auch die Anzahl der Blasenbildungen.

Auffällig war, dass sich bei der Aufbringung eines maximalen Druckes von 10 bar die Blasen zwar vermehrten, aber nicht zerplatzten. Dies lässt sich auf das ausgezeichnete Arbeitsvermögen der Dichtschicht zurückführen. Die Fehlstellen weiteten sich

nicht aus, der austretende Wasserstrahl blieb somit gebündelt. Der Druck konnte auch bei 10 bar noch problemlos gehalten werden, und es setzte keine Delamination der Gesamtmembrane ein.

Erkenntnisse und Bewertung

Obwohl die im Praxisversuch erhaltenen Werte deutlich unter den im Labor ermittelten Resultaten liegen, bestätigen die gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Haftzugfestigkeit bei teilweiser Auflösung des Verbundes sowie hinsichtlich des Arbeitsvermögens und der Dichtigkeit die Ergebnisse aus den Laborversuchen. Dies ist auf die Prüfung der Dichtschicht als Endauskleidung ohne stützende Innenschale bei einseitiger Belastung zurückzuführen. In der Praxis würde ein derartiges Belastungsszenario jedoch nie auftreten. Bei fehlerfreiem Spritzen der Dichtschicht ohne Spritzschatten würden die Werte noch erheblich höher liegen.

Zusammenfassung

Im Rahmen einer Studie wurde eine zementgebundene, aufspritzbare Dichtschicht, in diesem speziellen Fall MASTERSEAL 345 der Firma DEGUSSA Construction Chemicals UGC-International, Schweiz, auf ihre Praxistauglichkeit hin geprüft.

Laborversuche führten zu den Ergebnissen:

- ausreichende Druckfestigkeit und Haftzugfestigkeit des Verbundsystems
- ausreichende Rissverschlussfähigkeit der aufspritzbaren Dichtschicht im Verbundsystem
- geforderte Wasserundurchlässigkeit
- hohes Arbeitsvermögen.

Die Praxisversuche bestätigten aufgrund der nicht erfolgten Delamination der Gesamtmembran bis zu einem Maximaldruck von 10 bar das hohe Arbeitsvermögen und die Dichtigkeit des Produktes. Die Praxistauglichkeit der verwendeten Dichtschicht ist in vollem Umfang gegeben. Sämtlichen Anforderungen wurde vollständig entsprochen. Dadurch kann das gesamte einschalige System in Bezug auf die Reduktion der Schalendicken sowie im Hinblick auf seine Sicherheit und Wirtschaftlichkeit optimiert werden.