

Forschungsvorhaben

Selbstverdichtender Beton mit erhöhter Brandbeständigkeit und Helligkeit

Zusammenfassung

Allgemeines

Bei Erhaltungsmaßnahmen von Tunnelbauwerken ist wesentlich, dass die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer gegeben ist und die Erhaltungs- und Instandsetzungskosten für den Tunnelbetreiber optimiert werden. Oftmalige und längere Tunnelsperren bzw. Teilsperren erhöhen nicht nur das Unfallrisiko für die Verkehrsteilnehmer sondern auch die Kosten (z.B. Staukosten, Mautentfall). Erfahrungen mit den derzeit verwendeten Tunnelanstrichsystemen zeigen, dass Schäden häufig auftreten und aufwendige, kostenintensive Instandsetzungsmaßnahmen entsprechend oft gesetzt werden müssen.

In letzter Zeit traten vermehrt Schäden an Anstrichsystemen, teilweise schon wenige Wochen nach Verkehrsfreigabe, auf. Hierbei kommt es oftmals zu einem Ablösen des Anstrichs. Dies führt wegen der Verminderung der Oberflächenqualität zu einer Reduzierung der Sicherheit der Verkehrsteilnehmer. Durch das Auftreten dieser Schäden hat bereits kurze Zeit nach Fertigstellung der Arbeiten eine erneute Sperre des Tunnelbauwerkes zu erfolgen, um die notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen zu treffen.

Das vorliegende Forschungsvorhaben entstand daher aus der Überlegung, die hohen Ansprüche an die Oberfläche einer Tunnelinnenschale mit selbstverdichtendem Beton (SCC) mit erhöhter Brandbeständigkeit und Helligkeit ohne Anstrich zu erfüllen.

Zusammenfassung und Ergebnisbeurteilung

Nachfolgend werden die wesentlichen Ergebnisse des vom Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (VÖZFI) durchgeführten und vom Österreichischen Verkehrssicherheitsfonds (VSF) im Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie bzw. der ASFINAG finanzierten Forschungsvorhabens „Selbstverdichtender Beton mit erhöhter Brandbeständigkeit und Helligkeit“ zusammengefasst.

- Beurteilung einer möglichen brandschutztechnischen Ertüchtigung bestehender Tunnelbauwerke und Beurteilung hinsichtlich eines Einsatzes von hellem SCC für den Neubau von Tunnelinnenschalen

Neben dem Nachweis der Eignung durch Materialprüfungen konnte mittels baupraktischer Simulation (Erstellung eines Betonierobjektes unter Baustellenbedingungen) nachgewiesen werden, dass mit einer optimalen SCC-Zusammensetzung trotz Zugabe von Polypropylenfasern dünne Bauteile zielsicher herstellbar sind. Da die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens entwickelte Betonzusammensetzung bei schwierigen Einbaubedingungen (dünne Bauteile, mehrfache Unterbrechung der Betoneinbringung) sehr gute Ergebnisse hinsichtlich Verarbeitbarkeit und Einhaltung der relevanten Normvorgaben lieferte, ist davon

auszugehen, dass dies auch für den Neubau von Tunnelinnenschalen gilt. Der wesentliche Unterschied zwischen nachträglicher brandschutztechnischer Ertüchtigung und dem Tunnelinnenschalenneubau ist die Bauteildicke. Eine Berechnung des Temperaturanstiegs für die entwickelte Betonzusammensetzung bei einer angenommenen Bauteildicke von 30 cm zeigte ein Temperaturmaximum von 28 °C in Bauteilmitte. Dieses Ergebnis lässt den Schluss zu, dass auch der Neubau von Tunnelinnenschalen mit Mindestdicken von 40 cm unter Einhaltung der relevanten derzeit gültigen Vorgaben mit SCC möglich ist.

- Erzielung der vom Infrastrukturbetreiber geforderten Oberflächeneigenschaften

- Nachweis der Herstellung eines möglichst hellen Innenschalenbetons

Durch die Auswahl geeigneter Ausgangsstoffe sowie deren Anteil in der Betonzusammensetzung können die Helligkeitseigenschaften stark beeinflusst werden. Es zeigte sich, dass mit regional vorhandenen Bindemitteln adäquate Hellbezugswerte (L) erreichbar sind. Das Betonierobjekt wies höhere Hellbezugswerte (L) als die untersuchten Laborprobekörper auf. Dieser Unterschied dürfte auf die verwendete Kombination Schalhaut und Trennmittel zurückzuführen sein. Weiters ist festzuhalten, dass diese lichttechnischen Eigenschaften mit lokalen Ausgangsstoffen (Zement und Gesteinskörnung) erzielt werden konnten. Die Verwendung lokaler Ressourcen führt zu einer Reduktion der Baukosten aufgrund geringerer Transportweiten und zu einer Verminderung der ökologischen Auswirkungen durch eine Reduktion der Verkehrsemissionen.

- Nachweis der Ausführbarkeit einer dauerhaften und möglichst glatten Oberfläche und Nachweis einer mehrmaligen Reinigungsfähigkeit der Betonoberfläche bei Bewahrung einer ausreichenden Helligkeit bzw. ohne Zerstörung der glatten Oberflächenstruktur

Mit der Erstellung des Betonierobjektes konnte der Nachweis der Herstellung einer möglichst glatten Oberfläche auch unter Praxisbedingungen geführt werden. Weiters war der Nachweis der Forderung des Infrastrukturbetreibers einer mehrmaligen Reinigungsfähigkeit bei Bewahrung einer adäquaten Helligkeit ohne Beeinträchtigung der glatten Oberflächenstruktur mit Hilfe von Verschmutzungs- und Reinigungsversuchen möglich.

Ein geringer Verlust der Helligkeitseigenschaften ist einerseits auf die Wirkung der Oberflächenvergütung zurückzuführen und andererseits wesentlich von den Oberflächeneigenschaften des Betons abhängig. Die Betonoberfläche ist demgemäß möglichst glatt und lunkenfrei herzustellen. Nur durch optimale Abstimmung der beeinflussenden Parameter (Schalhautmaterial, Trennmittel und Nachbehandlungsmittel) sind diese guten Ergebnisse in der Bauausführung umsetzbar.

- Nachweis der betontechnologischen Eignung eines selbstverdichtenden Betons (SCCs) mit erhöhter Brandbeständigkeit und Helligkeit

Nachstehende Beurteilungen wurden durchgeführt:

- Bestimmung der Stabilität (Wasserumlagerung) mittels Druckpresstopf
- Bestimmung der Verarbeitbarkeit mittels Beton-Rheometer
- Optische Beurteilung des Ausbreit- bzw. Fließkuchens
- Beurteilung der Entmischungsneigung und Selbstverdichtung

Die für eine Praxisausführung empfohlene Betonzusammensetzung zeigte bei allen angeführten Nachweisverfahren ein positives Ergebnis. Es konnte demgemäß im vorliegenden Forschungsvorhaben eine robuste, ausreichend stabile SCC-Rezeptur entwickelt werden.

- Abstimmung der Betonausgangsstoffe zur Erzielung einer möglichst hellen Oberfläche

Die Fragestellung der erforderlichen Zugabemenge an Weißpigment ist aufgrund der damit verbundenen Kostenproblematik von großer Bedeutung. Eine Rahmenbedingung des Teiles „Rezepturenentwicklung Helligkeit“ im vorliegenden Bericht war die Optimierung bzw. Minimierung des Anteils an Weißpigment für die Betonherstellung. Neben der Sicherstellung aller Anforderungen, welche sich aus den Umweltbedingungen (Expositionsklassen) ergeben, ist dies die zweite wesentliche Aufgabe für die Entwicklung des SCCs mit erhöhter Brandbeständigkeit und Helligkeit. Basierend auf der Verwendung von zwei Zementen mit sehr guten Hellbezugswerten wurden drei unterschiedliche Weißpigmentdosierungen (20 kg/m³, 30 kg/m³ und 40 kg/m³) für die Betonherstellung im Labor verwendet und die damit erzeugten Probekörper einer Beurteilung unterzogen. Sehr gute Hellbezugswerte lieferten bereits Mischungsverhältnisse mit 20 kg/m³ Weißpigment, wobei eine Verbesserung der Hellbezugswerte durch Erhöhung der Weißpigmentdosierung (auf 30 kg/m³ bzw. 40 kg/m³) bei den geprüften Betonzusammensetzungen nicht festgestellt werden konnte.

Gemäß den resultierenden Hellbezugswerten zeigte sich eine Abweichung von maximal etwa 2 % vom gemeinsamen Mittel aller 4 Betonzusammensetzungen (MV HE1, MV HE2, MV HE3 und MV HE4).

Für die verwendeten, vorab auf ihren „Ausgangshellbezugswert“ beurteilten und basierend auf diesen Untersuchungen ausgewählten Ausgangsstoffe lieferte eine Weißpigmentdosierung von 20 kg/m³ die besten Ergebnisse bei der Beurteilung mittels Bestimmung des Hellbezugswertes am Beton.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigten einerseits die Erfordernis, vor Baudurchführung eine fundierte Beurteilung der möglichen Ausgangsstoffe durchzuführen, und andererseits die Notwendigkeit der Beigabe von Weißpigment, welches zur Erreichung adäquater Hellbezugswerte und für die Einhaltung der lichttechnischen Kennwerte insbesondere des mittleren Leuchtdichtkoeffizienten (q_0 -Wert) erforderlich ist.

Zusätzlich zu der Beurteilung der Hellbezugswerte an Betonoberflächen wurden Untersuchungen an Mörtelprismen (Folien- und Luftlagerung) sowie an den losen/ungebundenen Ausgangsstoffen selbst durchgeführt. Hierbei war festzustellen, dass bei Luftlagerung der Prismen die Bauwerksbedingungen realitätsnäher simuliert werden und die ermittelten Hellbezugswerte ähnliche Größenordnungen mit jenen der Bestimmungen an den Betonoberflächen aufweisen.

Die Ergebnisse der Einzelbindemittelprüfungen an Mörtelprismen bei Luftlagerung bestätigen die Ergebnisse der Beurteilung der lichttechnischen Kennwerte an den losen/ungebundenen Ausgangsstoffen.

Generell haben die Untersuchungen gezeigt, dass die Beurteilung der Eignung von Ausgangsstoffkombinationen (Zement, Zusatzstoffe und Gesteinskörnung) zur Erzielung eines entsprechenden Hellbezugswertes, berücksichtigend die vorliegenden Ergebnisse aller Bestimmungsmethoden, an Betonprobekörpern zu erfolgen hat. Als Screening-Methoden zur einfachen und schnellen Vorauswahl bzw. groben Einteilung können

Untersuchungen an den Ausgangsstoffen (im losen/ungebundenen Zustand) und an Mörtelprismen (Luftlagerung) vor den Betonbeurteilungen angewandt werden. Die Ergebnisse der Einzelbindemittelprüfungen an Mörtelprismen bei Luftlagerung bestätigen die Ergebnisse der Beurteilung der lichttechnischen Kennwerte an den Ausgangsstoffen.

- Beurteilung der unter den gegebenen Rahmenbedingungen erzielbaren Eigenschaften hinsichtlich der bestehenden Anforderungen an Tunnelinnenschalen

Eines der Hauptziele des Betonkonzeptes der ÖVBB-Richtlinie „Innenschalenbeton“ ist die Minimierung der Rissneigung. Als wesentliche Anforderungen zur Erreichung dieses Zieles werden nachstehende Parameter angesehen:

- Frischbetontemperatur
- Temperaturentwicklung des Betons

Die Frischbetontemperatur ist bauseits gemäß den Vorgaben der Richtlinie einzustellen. Für die Temperaturentwicklung des Betons bestehen neben Vorgaben an die Ausgangsstoffe bestimmte Nachweisverfahren, die vorab bzw. im Zuge der Bauabwicklung geführt werden müssen.

Sowohl die Eigenschaften der verwendeten Ausgangsstoffe als auch die Ergebnisse der Betonversuche erfüllen die Anforderungen der ÖVBB-Richtlinie „Innenschalenbeton“.

- Beurteilung der Eigenschaften hinsichtlich der in der Praxis auf das Bauwerk einwirkenden Expositionsklassen

Das als optimal angesehene Mischungsverhältnis MV HE4 MF erfüllte die Anforderung einer gleichwertigen Beständigkeit für die Frostklasse XF4 (hohe Wassersättigung und direkter Taumittelauftrag). Der Nachweis der Expositionsklasse XF4 am Festbeton ist gemäß ÖVBB-Richtlinie „Innenschalenbeton“ für Gewölbebeton mit Taumittelangriff ohne Tunnelanstriche (IGT) zwingend vorgeschrieben.

Der Nachweis der Expositionsklasse XC4 am Festbeton (Wasserbauten und dichte Betonbauwerke, die hohem Wasserdruck [Wasserdruckhöhe >10 m] ausgesetzt sind) wurde ebenfalls eingehalten. Die ÖVBB-Richtlinie „Innenschalenbeton“ sieht diesen Nachweis zwingend vor für Innenschalen mit Taumittelangriff ohne Tunnelanstriche (IGT) und wasserdichte Innenschalen (WDI) als Nachweis eines besonders dichten Gefüges.

Der Nachweis einer adäquaten Faserverteilung und einer entsprechenden Wiederfindungsrate der Fasern im Beton konnte erbracht werden. Diese Bestimmungen sind für Beton der Faserbetonklasse BBG erforderlich. Der Nachweis einer adäquaten Faserverteilung und der Einhaltung des erforderlichen Fasergehaltes erfolgte sowohl am angelieferten Spritzbeton als auch an aus dem Bauwerk entnommenen Proben. Es wurden Proben sowohl aus dem oberen als auch aus dem unteren Bereich des Bauwerkes entnommen. Diese Vorgangsweise wurde gewählt, um eine realistische Beurteilung der Faserverteilung im Bauwerk zu ermöglichen. Die resultierenden Werte bestätigen die Einhaltung der Anforderung an die Faserverteilung. Es konnte demgemäß kein negativer Einfluss aufgrund der Art der Einbringung (mittels Betonpumpe), der Konsistenz des SCC oder durch den Transport bzw. die Bewegung des Betons im Betonierobjekt auf die Faserverteilung festgestellt werden.

Die Bestimmung der LP-Kennwerte an aus dem Bauwerk entnommenen Probekörpern zeigte ebenfalls, dass keine Beeinträchtigung aufgrund der Art der Einbringung (mittels

Betonpumpe), der Konsistenz des SCC oder durch den Transport bzw. die Bewegung des Betons im Betonierobjekt der Luftporenverteilung festzustellen war.

- Abschätzung des Baustelleneinflusses mittels einer Probebetonierung

Im Rahmen des gegenständlichen Forschungsvorhabens wurde ein Betonierobjekt mit dem als geeignet angesehenen Mischungsverhältnis hergestellt. Bei Durchführung der Betonierarbeiten erfolgten begleitende Untersuchungen durch das VÖZFI. Neben den Frisch- und Festbetonkennwertbestimmungen wurden sowohl Fasergehalte- und Faserverteilungen als auch Hellbezugswertbestimmungen durchgeführt. Alle Frischbeton- und Festbetonkennwerte entsprechen den gestellten Vorgaben (Beurteilung aufgrund Identitätskriterien gemäß ÖNORM B 4710-1 und ONR 23301) und stimmen mit jenen der Laborprüfungen überein. Ein eventuell vorhandener negativer Einfluss aufgrund der Art der Betoneinbringung (mittels Betonpumpe) oder durch den Transport bzw. die Bewegung des Betons im Betonierobjekt auf die Faserverteilung oder LP-Kennwerte konnte nicht festgestellt werden.

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen im Rahmen der Herstellung des Betonierobjektes und der Gegenüberstellung mit den Ergebnissen der Laboruntersuchungen ist die Herstellung und der Einbau eines SCC möglich. Darüber hinaus haben diese Versuche gezeigt, dass eine Herstellung eines SCC in einem Transportbetonwerk möglich ist. Es konnte der Nachweis der Sicherstellung der Verarbeitbarkeit über den geforderten Zeitraum geführt werden, d.h. durch die benötigte Transportzeit kommt es zu keiner Qualitätsverminderung und demgemäß ist ein Betonwerk auf der Baustelle nicht zwingend notwendig.