

ConDef – Verformungszunahme von Freivorbaubrücken aus Spannbeton

Projektteam ConDef: TU Graz Institut für Betonbau | VCE ZT GmbH | ASFiNAG

Vortragender: Dirk Schlicke

Der Freivorbau ist ein wirtschaftliches Bauverfahren für Spannbetonbrücken mit großen Spannweiten und bei anspruchsvoller Geländetopografie. Als Querschnitt werden in der Regel Hohlkästen verwendet, deren Abmessungen entlang der Überbauachse stark variieren. In Österreich, aber auch international, wurde im Rahmen der Erhaltung festgestellt, dass bei nicht wenigen Freivorbaubrücken zum einen die tatsächliche Verformung deutlich größer als die im Zuge der Planung prognostizierte Verformung ist; und zum anderen gibt es auch Fälle, bei denen die Verformungszunahme entgegen den Erwartungen keinen Endwert anstrebt.

Im Forschungsvorhaben Condef wurde dieses spezielle Bauwerkverhalten am Beispiel der Verformungszunahme des Talübergangs Schottwien eingehend untersucht. Mit einer Spannweite des Hauptfelds von 240 m und einer scheinbar nahezu linearen Verformungszunahme über die letzten 30 Jahre ist diese Freivorbaubrücke nicht nur ein sehr geeignetes Bauwerk, um die bis dato nicht restlos geklärten Ursachen für die unerwartete Verformungszunahme von Freivorbaubrücken aus Spannbeton nachzugehen; im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen auch Hinweise und Empfehlungen für das Erhaltungsmanagement dieser speziellen Brücke erarbeitet werden.

Das Forschungsprojekt beinhaltet verschiedene Arbeitspakete, die sich mit der Schaffung von Grundlagen für die eingehende Analyse, einem Verformungsmonitoring am Bauwerk, Probenentnahme und Kriechversuchen von altem Bauwerksbeton, vertieften rechnerischen Untersuchungen mittels 3D-FE-Volumenmodell sowie einer eingehenden Ursachenfindung unter Berücksichtigung der Bauwerkseigenschaften, wie statisches System, Schlankheit, Spannweite, Querschnittgeometrie, Vorspanngrad, Bauablauf, etc.

Die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Literaturstudie zeigt vergleichbare Fälle, wobei für einen ursachengerechten Vergleich dieser Bauwerke stets zwischen Fällen mit übermäßiger Verformung und Fällen mit unerwartetem zeitlichem Verlauf der Verformungszunahme (wenngleich die absolute Verformung durchaus noch im akzeptablen Bereich liegt) unterschieden werden sollte. Das Vorhandensein eines Gelenks in Feldmitte versus semi-integrale Bauweise wird in den Analysen oftmals hervorgehoben und als Ursache für eine übermäßige bzw. unerwartete Verformungszunahme diskutiert. In der Gesamtheit der betrachteten Fälle lassen sich aus dieser Bauwerkseigenschaft allerdings keine eindeutigen Gründe für eine unerwartete Verformungszunahme ableiten.

- Hinsichtlich der Materialmodelle für das Schwinden und Kriechen wurden die normativen Modelle in EC2, MC2010 und prEC2 sowie der wissenschaftliche Ansatz B4 näher betrachtet. Die Analyse dieser Modelle zeigt im Falle des untersuchten TÜ Schottwiens (C40/50, Zementart N, $RH = 65...80\%$ und $h_{0,gesamt} \sim 1000\text{ mm}$), keine nennenswerten Unterschiede für den Zeitraum zwischen Brückenschluss bis heute ($\Delta t \sim 30$ Jahre). Einzige Ausnahme ist die Kriechzahl gemäß B4, welche in diesem Zeitraum fast doppelt so groß ausgewiesen wird, wie nach EC2, MC2010 und prEC2. Ungeachtet der vergleichbaren Werte in diesem Fall sei aber angemerkt, dass sich die einzelnen Ansätze zum Schwinden und Kriechen in EC2, MC2010 und prEC2 stark unterscheiden. Insbesondere wird das Kriechen in MC2010 und prEC2 über einen additiven Ansatz abgebildet, bei dem im Gegensatz zum Produktansatz in EC2 ein Weiterkriechen weit über 30 Jahre hinaus prognostiziert wird. Für die weitere Betrachtung im Forschungsvorhaben wurden die Ansätze nach EC2 und MC2010 verwendet. Das Modell B4 schied an dieser Stelle aus, da dessen Verwendung aufgrund der sehr großen Kriechzahl eine deutlich größere Verformung ausweisen würde, die weder im Falle des TÜ Schottwiens vorliegt, noch mit Blick auf den gesamten Brückenbestand gerechtfertigt werden kann. Demgegenüber wurde der Ansatz nach prEC2 nicht angewendet, da er zur Zeit der Projektbearbeitung noch nicht verfügbar war. Aus dem derzeitigen Verständnis heraus kann aber gesagt werden, dass der Ansatz nach prEC2 im vorliegenden Fall keine grundlegenden Änderungen zu den Berechnungsergebnissen gemäß EC2 und MC2010 erwarten lässt.
- Eine praxisübliche Verformungsberechnung mit gewöhnlichem Balkenmodell unter Berücksichtigung des mittleren Querschnittsschwindens und -kriechens bringt keine zufriedenstellenden Ergebnisse.
- Eine detaillierte Simulation der Verformungshistorie mittels 3D-FE-Volumenmodell, in der das zeitliche Betonverhalten elementweise und unter Berücksichtigung der Spannungsgeschichte explizit implementiert ist, bringt im Falle des TÜ Schottwiens keine signifikante Verbesserung in der rechnerischen Verformungsprognose. Die Wechselwirkung zwischen Ober- und Untergurt durch unterschiedlich schnelles Trocknungsschwinden je nach wirksamen Dicken der Teilquerschnitte sowie die Aktivierung neuen Kriechpotenzials infolge Spannungsumlagerung über die Querschnittsbreite werden im Modell zwar abgebildet, jedoch leiten sich hieraus keine signifikanten Änderungen der Verformungszunahme im Nutzungszeitraum ab – weder im Zeitverlauf noch in der absoluten Größe. An dieser Stelle sei aber angemerkt, dass die genannten Effekte sehr wohl einen großen Einfluss auf die Verformungsänderung im Bauzustand bis zum Brückenschluss haben, der im vorliegenden Fall bei ca. 1 Jahr liegt.
- Im Rahmen des F+E-Projekts ConDef wurde vom Projektteam ein Bauwerkmonitoring für den TÜ Schottwien konzipiert und von der VCE ZT GmbH installiert und betrieben. Hierbei werden in ausgewählten Messquerschnitten punktuelle Temperatur- und Dehnungsmessungen (letzteres mit SMARTEC MuST FBG Strain Sensor auf FBG-Basis) im Zeitverlauf durchgeführt sowie eine Änderung der Verformung im Hauptfeld mittels Schlauchwaage aufgezeichnet. Auf Basis dieser Messergebnisse wurden einerseits die Temperatureinwirkungen entlang des Überbaus bestimmt und andererseits die bleibende Verformung des Hauptfelds im Beobachtungszeitraum abgeleitet. Hierbei zeigt sich, dass insbesondere die Temperaturgradienten einen signifikanten Einfluss auf das

Verformungsverhalten des T \ddot{U} Schottwiens besitzt, der allerdings nicht mit den normativen Berechnungsempfehlungen zutreffend erfasst werden kann. Darüber hinaus wurde im Beobachtungszeitraum eine bleibende Verformungszunahme von ca. 1 cm / Jahr festgestellt.

- Am T \ddot{U} Lavant wurden Proben für Kriechuntersuchungen an altem Bauwerkbeton mit und ohne Langzeitbelastung entnommen. Die standardmäßige Auswertung dieser Versuche lässt zunächst den Schluss zu, dass eine Langzeitbeanspruchung zu einer deutlichen Reduktion des Kriechpotenzials führt. Werden die Proben allerdings mit Blick auf unterschiedliche Austrocknungsgrade ausgewertet, die sich aufgrund unterschiedlicher wirksamer Bauteildicken an den einzelnen Entnahmestellen stark unterscheiden, so kann kein nennenswerter Einfluss der Langzeitbeanspruchung auf das Kriechpotenzial gefunden werden.
- Insgesamt konnten die Ursachen für die unerwartete Verformungszunahme des T \ddot{U} Schottwiens weder mit den Erklärungsansätzen in der Literatur in Kombination mit einem 3D-FE-Volumenmodell mit orts- und zeitdiskreter Implementierung der Materialmodelle zum Schwinden und Kriechen, noch mit Bauwerksmessungen gefunden werden. Aus diesem Grund wurden weitere Überlegungen zum Verformungsverhalten angestellt. Zunächst wurde die geodätische Messkurve von 1989 bis heute temperaturbereinigt, was eine gewisse Formänderung im Zeitverlauf bringt, aber bei weitem noch nicht zu einer akzeptablen Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung führt. Im Anschluss daran wurden die einzelnen Anteile der Verformungsänderung nochmals dezidiert im Zeitverlauf analysiert. Im Vergleich zur temperaturbereinigten geodätischen Messkurve hat sich dann gezeigt, dass es im Anfangsbereich bis ca. 8 Jahren eine gute Übereinstimmung gibt. Außerdem sind die späteren Verläufe von Messkurve und Berechnung zwischen 14 Jahren bis heute annähernd parallel. Nur im Bereich zwischen 8 und 14 Jahren nimmt die Verformung überproportional zu, was mit der allgemein anerkannten Theorie zum Schwinden und Kriechen (beides nimmt im Zeitverlauf ab) nicht erklärt werden kann. Aus diesem Grund wurden weitere Betrachtungen zum Einfluss lokal erhöhter Zugspannungen angestellt. Diese zeigten in der seltenen Einwirkungskombination ein Erreichen der Zugfestigkeit im Anschnitt der Kragarme an. Mittels Steifigkeitsmodifikationen des Berechnungsmodells gemäß der Abnahme des E-Moduls bei hohen Zugspannungen, tertiärem Kriechen sowie dem Einfluss der tatsächlichen Verbundsteifigkeit in diesem Bereich konnte gezeigt werden, dass der unerwartete Verlauf der geodätischen Messkurve sehr plausibel über eine Kombination aus der Verformungszunahme infolge Schwindens und Kriechens und einer punktuellen Verformungszunahme aus erhöhter Lastbeanspruchung erklärt werden kann.

Basierend auf diesen Ergebnissen werden nun Empfehlungen in Form von Grenzwerten für die Erhaltung von bestehenden Bauwerken sowie gerechtfertigte Bemessungsannahmen und konstruktive Regeln für die Planung hergeleitet.