

Monitoring integraler und semi-integraler Brücken anhand ausgeführter Beispiele: Seitenhafenbrücke / Traismauer

Einleitung

Integrale Brücken sind durch ihre Randbedingungen statisch unbestimmt gelagert, sodass Temperaturänderungen, zeitabhängiges Betonverhalten, Vorspannung und Auflagerverschiebungen in der Regel unerwünschte Zwangsschnittkräfte zur Folge haben. Bei zunehmender Bauwerkslänge können die aus Zwängen entstehenden Beanspruchungen eine maßgebliche Größenordnung erreichen und bemessungsrelevant sein. Der Einsatz von Monitoring ist daher in diesem Falle besonders sinnvoll, um einen Vergleich des tatsächlichen Bauwerksverhaltens mit Annahmen der statischen Berechnung zu ermöglichen und damit auch abgesicherte Erfahrungswerte für die künftige Projektierung solcher Bauwerke zu sammeln.

In den letzten Jahren wurden daher mehrere integrale bzw. semi-integrale Bauwerke einem umfangreichen Messprogramm unterzogen wobei im Vortrag zwei ausgewählte – besonders interessante - Brückenobjekte gezeigt werden sollen.

B0245 Seitenhafenbrücke

Im Zuge des Neubaus der Freudenauer Hafestraße B 14 wurde eine Donaukanalquerung in Form eines Brückenbauwerks B 0245 für Straßen-, Fuß- und Radwegverkehr erforderlich. Die Gesamtlänge der Brücke beträgt 128,693 m. Diese wird in Einzelspannweiten von 32,00 m + 64,693 m + 32,00 m unterteilt und als semi-integrales Bauwerk ausgebildet.



Dabei wurde das Konzept des flexiblen Widerlagers umgesetzt, welches durch eine Weicheinlage zwischen einem eigenstandfestem Erdkörper und Widerlager im Jahreszeitlichen Verlauf keine Beanspruchungen aus dem Erddruck in das Bauwerk einleiten soll.

Da es sich bei diesem Bauwerk um die derzeit größte integrale Brücke in Österreich handelt wurde bereits in der Planungsphase durch den Bauherrn (MA 29 Brückenbau und Grundbau) beschlossen, das realisierte Tragwerks mit einem Monitoringsystem zu überwachen.

Dabei sollten die Messungen unmittelbar nach Fertigstellung des Bauwerks beginnen um neben dem jahreszeitlichen Verhalten auch das zeitabhängige Betonverhalten erfassen zu können. Aufgabenstellung für die Auslegung des Messsystems waren folgende Punkte:

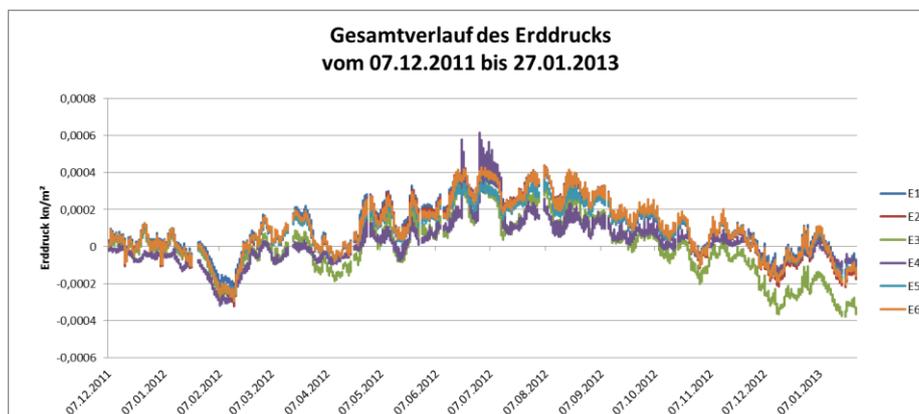
- Ermittlung der Bauwerkstemperatur über den jahreszeitlichen Verlauf als Grundlage für die Interpretation aller anderen Messparameter.
- Überprüfung der Ansätze für das Konzept des „flexiblen Widerlagers“ mit elastischen Zwischenschichten hinter dem Widerlager mit textilibewehrten und eigenstandsicherem Erdkörper. Dazu wurden hinter einem Widerlager Erddrucksensoren eingebaut.
- Durchführung von Messungen der Längenänderung des Tragwerks mit Laser um die Ergebnisse des Erddruckes, sowie der vertikalen Tragwerksverformung zu korrelieren.

- Ermittlung der statischen Verformungen (vertikal) des Bauwerks über den jahreszeitlichen Verlauf an ausgewählten Punkten und Vergleich mit den Annahmen der statischen Berechnung mit Schlauchwaagen.
- Verhalten der flexiblen Stahlstützen über den jahreszeitlichen Verlauf, insbesondere deren Lageveränderungen durch Messung der Neigung.
- Automatische Datensicherung durch eine Messstation am Brückenobjekt.
- Datenübertragung über eine Internetverbindung mit schneller Möglichkeit der Ergebnisdarstellung auch ohne aufwändige Spezialprogramme.
- Laufende Berichterstattung über die gemessenen Ergebnisse und Vergleich zu den Annahmen der statischen Berechnung

Auf Basis dieser Festlegungen wurde ein maßgeschneidertes Monitoringsystem konzipiert, welches auf bewährte Komponenten zurückgreift. Nach Fertigstellung des Bauwerks und Installation des Monitoringsystems wurden Messungen ab dem 07.12.2011 – bisher ohne Unterbrechungen – aufgezeichnet und während dieser rund 1,5 Jahren Beobachtungsdauer folgende Ergebnisse erzielt:

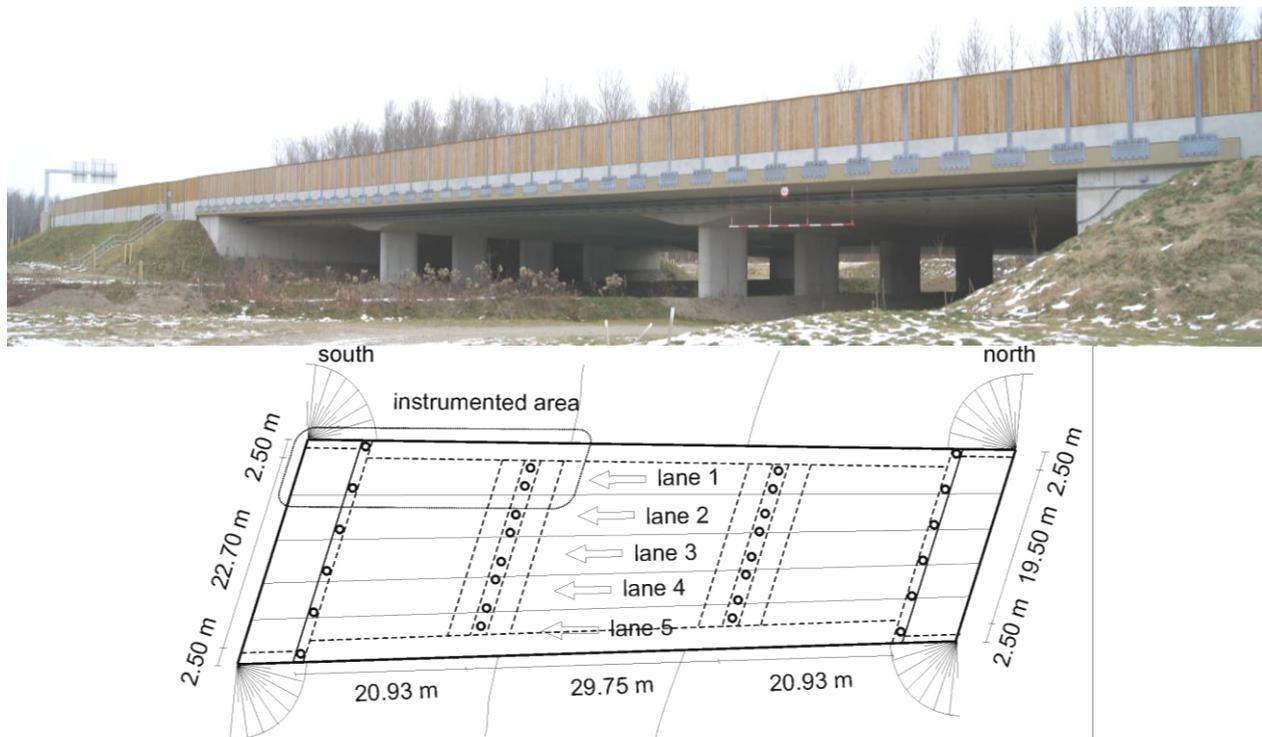
- Temperatur: Die bisher stärkste Erwärmung wurde mit etwas über 32°C Anfang Juli 2012 gemessen. Die bisher tiefste gemessene Temperatur trat Anfang Februar 2012 in einer starken Kälteperiode auf und betrug etwas mehr als 11°C unter Null (Vgl. statische Berechnung mit +39°C und -18°C für das Betontragwerk).
- Längenänderung der Brücke: Die Messung der Längenänderung im Vergleich mit der Temperatur hat gezeigt, dass der Dehnweg des Brückentragwerkes mit den Temperaturänderungen korreliert, wobei durch Langzeiteffekte eine Zunahme der Verkürzung zu beobachten war. Die Grenzwerte aus der Statik wurden noch nicht bis zur Hälfte erreicht, obwohl bereits die gesamte Bandbreite der Temperaturänderungen von Winter bis Sommer gemessen wurde. Die zyklisch auftretenden Längenänderungen werden sich erst nach Abklingen der Kriech- und Schwindverformungen zeigen.
- Erddruck an Widerlagerwand: Der bis jetzt gemessene Erddruck bewegt sich in minimalen Größenordnungen. Die Grenzwerte aus der statischen Berechnung wurden bisher nicht annähernd erreicht (gemessener Erddruck bei rund 2% des statisch ermittelten Erddruckes). Aus derzeitiger Sicht funktioniert daher das Konzept des flexiblen Widerlagers sehr gut.
- Vertikale Verformung: Die bisher gemessenen Durchbiegungen bewegen sich laut statischer Berechnung noch im angenommenen Rahmen (Temperaturschwankungen, Berücksichtigung der Verformungen auf Grund von Schwinden und Kriechen). Die Verformungen korrelieren grundsätzlich gut mit den Temperaturänderungen. Die statisch ermittelten Maximalwerte wurden jedoch schon fast zur Gänze erreicht.
- Neigung an Stahlstützen und Widerlagerwand: der Trend der Neigungen entspricht dem erwarteten Verlauf und liegen innerhalb der Prognosewerte der Berechnung.

Während der bisherigen Beobachtungsdauer wurden bei keinem der überwachten Parameter die statisch ermittelten Grenzwerte überschritten. Die Verformungen, Neigungen und Erddrücke korrelieren sehr gut mit den gemessenen Temperaturänderungen. Aktuell überlagern noch die Einflüsse aus Kriechen und Schwinden die rein temperaturbedingten Messwerte. Durch die künftige Überwachung des Objektes können jedoch Daten zu den zyklischen Veränderungen der Messparameter erfasst und gemeinsam mit der statischen Berechnung analysiert werden.



Die Marktwasserbrücke S33.24

Im Zuge des Straßenforschungsprojekts mit dem Titel „Monitoringbasierte Analyse der Integralen Brücke S33.24“ (Laufzeit Dezember 2008 bis Juni 2011) wurde im Auftrag der ASFINAG und des BMVIT von RED Bernard in Zusammenarbeit mit der BOKU Wien ein umfangreiches Monitoringprogramm zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit der realisierten integralen Ausführung des Objekts Marktwasserbrücke auf der S33 in der Nähe von Traismauer erfolgreich entwickelt und umgesetzt. Hauptziel des Projekts war die Messung und Bewertung der ausgeführten Schleppplattenlösung im Hinblick auf Erzielung von minimalen Dehnungsgrößen auf Asphaltebene. In der Abbildung 1 ist eine Ansicht der Marktwasserbrücke und eine Grundriss dargestellt.



Die Marktwasserbrücke S33.24 ist eine integrale Stahlbetonbrücke mit dreifeldriger Plattenstruktur mit einer größten Randfeld- und Mittelfeldspannweite von 20,93m und 29,75m. Die Gesamtlänge der Brücke beträgt 71,61m und bei dieser Länge sind mit einem angenommenen Sommer-Winter Temperaturdelta von $\Delta T = 60K$ und $\alpha_T = 1,2e-5$ Widerlagerverschiebungen von $\Delta L = \frac{1}{2} \cdot \alpha_T \cdot \Delta T \cdot L = 25,8mm$ zu erwarten. Über das untersuchte Tragwerk führt die Richtungsfahrbahn in fünf Fahrbahnen nach Krems-St.Pölten. Die Widerlagerstimflächen des Tragwerks sind in Bezug auf die Tragwerkslängsachse um einen Winkel von 74° geneigt. Die gesamte Struktur ist auf vier Reihen von Bohrpfehlen mit einer Länge von 12,00m in den Widerlagerachsen bzw. einer Länge 19,50m in den Pfeilerachsen gegründet.

Bei der Marktwasserbrücke wurden 4 unterschiedliche Monitoringsystemen installiert, welche zum Teil eine redundante Analyse der Ergebnisse erlauben:

Das primäre Monitoring-System 1 ist ein Faseroptisches Sensor (FOS) System, welches aus zwei Strängen mit je 6 FOS zur Dehnungsaufnahme und 4 FOS zur Temperatureaufnahme der Brückendeckplatte des südlichen Randfeldes besteht. Diese Sensoren wurden direkt in das Brückendeck mit einbetoniert.

Für die Erfassung der Interaktion zwischen dem Tragwerk und am Widerlager anstehenden Bodenkörper sind ein 9,0m und ein 1,0m langes Stangenextensometer (Monitoring-System 2) in einer Tiefe von 2,0m unter der Tragwerksoberkante eingebaut worden. Beide Extensometer verlaufen rechtwinkelig auf die Widerlagerwand in den Hinterfüllbereich. Ihre zeitabhängigen Bewegungen werden über Wegaufnehmer an der Widerlagerluftseite überwacht.

Die Funktionalität der ausgeführten Schleppplattenlösung wurde mittels in Vliese eingewobenen FOS (Monitoring-System 3) und mit auf verstärkenden Geotextilien applizierten Dehnmessstreifen (Monitoring-System 4) verifiziert.

Sämtliche Ergebnisse dieser 4 installierten Monitoringsysteme liefern eine permanente Information über das tatsächliche Verhalten des integralen Brückenbauwerks, welche die Eingangsgrößen für eine effektive Anpassung des begleitend erstellten numerischen Modells erlauben.

Nachfolgend werden auszugsweise wichtige Erkenntnisse des Projekts gelistet:

- Die tatsächlichen jahreszeitlich gemessenen Widerlagerbewegungen liegen mit $\Delta U_M = 6\text{mm}$ weit unterhalb der gemäß Eurocode anzusetzenden Bemessungswerte ($\Delta U_{\text{Bemessung}} = 60\text{mm!}$)
- Aufgrund der geringen Widerlagerbewegungen kommt es zu sehr geringen Dehnungen/Spannungen im Bereich oberhalb der Schleppplatte bis hin zum Asphalt
- Die tatsächlichen jahreszeitlich gemessenen Temperaturschwankungen des Tragwerks $\Delta T_M = 6\text{mm}$ liegen weit unterhalb der gemäß Eurocode anzusetzenden Werte ($\Delta T_{\text{Bemessung}} = 150\text{K}$)
- Bei der Aufbringung des Asphalts am Tragwerk wurden nur sehr geringe Temperaturänderungen des Tragwerks gemessen. Der Temperaturgradient war sehr hoch, jedoch ist dieser für das Tragwerk unbedenklich
- Die maximal während der Probelastung mit drei 40-to LKWs aufgetretenen Dehnungen in der Tragwerksplatte liegen mit rund 0,015 ‰ deutlich unter der Grenze für Rissbildung mit 0,092 ‰

Schlußfolgerungen

Die Planung und Ausführung von integralen Brücken hat in den letzten Jahren zugenommen und diese Bauwerke weisen aus Sicht der Brückenerhalter eine Vielzahl von Vorteilen auf. Die wartungsintensiven Lager- und Fahrbahnübergangskonstruktionen fallen weg und dadurch wird neben der Reduktion der Erhaltungskosten auch eine erhöhte Brückenlebensdauer erreicht.

Mit dem heutigen Stand der Technik können Integralbrücken bis 100m Länge ohne Probleme ausgeführt werden. Die Kenntnis der Grenzlänge ist jedoch noch ausständig. Bei Längen >100m besteht aufgrund der großen Dehnwege eine Unsicherheit bzgl. Rissbildung im Asphaltbelag. Die jahreszeitlich stattfindenden Prozesse des „Shakedown“ und „Ratcheting“ können bei Längen >100m zu Gebrauchstauglichkeitsproblemen für die Fahrwegnutzer führen.

Durch die Anwendung von Monitoringsystemen bei integralen Brücken kann das tatsächliche Tragwerks- und Boden-Bauwerks-Interaktionsverhalten gemessen und für die Kalibration von theoretischen numerischen Modellen herangezogen werden. Mit kalibrierten numerischen Modellen können in weiterer Folge Extrapolationen der Brückenlängen bis zur ausführbaren Grenzlänge vorgenommen werden. Das Langzeitmonitoring von integralen Brücken ist somit ein wertvolles Instrument zur Verifikation von Berechnungsergebnissen und zur Ermittlung von Rechenparametern die mit großen Streuungen behaftet sind (Stichwort Bodenparameter). Die Funktionalität der ausgeführten integralen Bauwerke und hier insbesondere der Schleppplattenlösungen ist überprüfbar und Optimierungen für zukünftige verbesserte Lösungen können durchgeführt werden.

CV Geier

Studienabschluss 1998 sowie Abschluss des berufsbegleitenden Doktoratstudiums an der Technischen Universität Wien im Jahr 2004. Seit 1997 ist Roman Geier in unterschiedlichen Ingenieurbüros tätig gewesen. Seit 2005 bei Schimetta Consult als Leiter der Wiener Niederlassung und für die Gesamtgesellschaft als Prokurist tätig.

CV Reiterer

Studienabschluss Bauingenieurwesen 2001 an der TU Wien. Universitätsassistent an der TU Wien von 2001 bis 2004. Abschluss Doktorat über Schwingungsdämpfung von Brücken 2004. Von 2005 bis 2008 war Michael Reiterer bei Bernard Ingenieure im Bereich Brückenbau und Bauwerksmonitoring tätig. Seit 2009 ist Michael Reiterer Geschäftsführer bei der RED Bernard GmbH (Research & Development) und leitet die Niederlassung Wien.