

Peter Kirsch und Hermann Hintringer

Umfahrung Enns – ein Wettbewerb der Bauweisen

Spannbeton- und Verbundtragwerke für die Ennsquerung und die Hafentrassen

9

Baurat h.c. DI Peter Kirsch und DI Hermann Hintringer

KMP – Zivilingenieure für Bauwesen, Kirsch–Muchsich & Partner, Linz

Durch die Abstimmung der Eisenbahn-Hochleistungsstrecken AG (HL-AG) mit den Landesstraßenverwaltungen von Nieder- und Oberösterreich, die notwendige Umfahrung von Enns gemeinsam auf eng benachbarten Trassen zu projektieren und im Bereich der Ennsquerung auch gemeinsam zu bauen, ergab sich die seltene Gelegenheit, bei gleichen Randbedingungen sowohl Eisenbahnbrücken als auch Straßenbrücken zu entwerfen. Darüber hinaus führte der weitsichtige Entschluss der Bauträger, für alle vier Brückenobjekte sowohl einen Spannbetonentwurf als auch eine Lösung in Verbundbauweise ausarbeiten zu lassen und zusammen auszuschreiben, zu interessanten Lösungen und wirtschaftlichen Vergleichen. Mit dieser Art der Ausschreibung konnte für beide Bauweisen besser ein vergleichbares, hohes Qualitätsniveau vorgegeben werden, als es über Wahlenbote zu erwarten gewesen wäre.

1. Allgemeines

Die Trassen der Westbahn- und B1-Umfahrung verlaufen nördlich der Stadt Enns, und zwar so, dass die Querung der Enns knapp oberhalb des Ennschafensbeckens erfolgt. Dabei liegt die HL-Trasse auf der OW-Seite (südlich) und die Trasse der Bundesstraße B1 auf der UW-Seite (nördlich). Die Enns ist dort als Tosbecken ausgebaut, da der Wasserstand im Ennschafen weitgehend von der Donau dominiert wird, und allfällig höhere Wasserstände der Enns energievernichtend abgebaut werden müssen.

Dies führte zu der Auflage, dass Gründungen im Fluss nicht zulässig sind, und auch im Uferbereich Rücksicht auf die wasserbaulichen Erfordernisse zu nehmen ist. Somit ergaben sich für die Ennsquerung große Hauptstützweiten von ca. 120 m – für eine Straßenbrücke noch eher üblich als für eine zweigleisige Eisenbahnbrücke.

In der Hafenzone – am linken oberösterreichischen Ufer – waren diverse Zufahrten und Hafengleise zu beachten, sodass sich folgerichtig die Fortsetzung der Flussbrücken mit Vorlandtragwerken ergab, deren Bauhöhe von Lichtraumerfordernissen mitbestimmt wurde.

2. Ausschreibungsprojekte

Wie erwähnt, wurden für beide Verkehrsträger sowohl Spannbeton- als auch Verbundbrücken zur Ausschreibung vorbereitet, insgesamt somit $2 \times 2 \times 2 = 8$ Tragwerke. Beide Bauweisen verwenden bei der HL-Strecke wie auch bei der B1 die gleichen Stützweiten und eine Unterteilung in Ennsbrücke, Trennpfeiler und Hafentrassen. Sie benützen jeweils die gleichen Uferpfeiler und sind hinsichtlich der Konstruktionshöhe und dem Voutenverlauf nahezu gleich. (Bild 1)

Bild 1: Längsschnitte mit Stützweiten

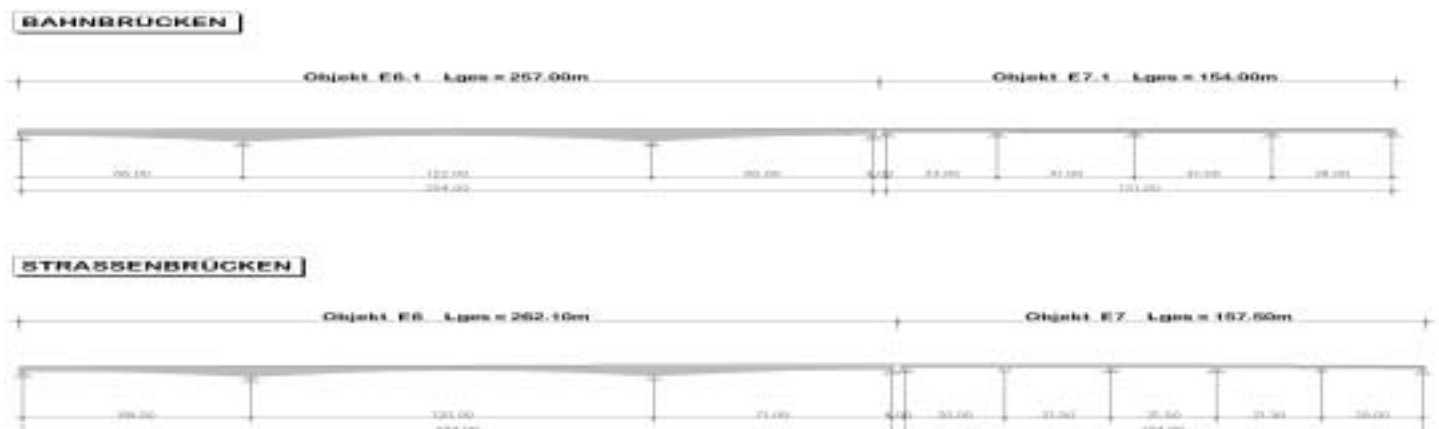




Bild 2: Flussbrücke der Straße –
Objekt E 6, Juni 2003 Foto: KMP

Für die zweigleisigen Eisenbahnbrücken beträgt dabei die Brückenbreite von außen zu außen – ohne Lärmschutz – 12,90 m, für die zweispurige Bundesstraße wird eine Brückenbreite von 12,00 m benötigt.

2.1 Spannbetontragwerke

In Abstimmung mit den Auftraggebern wurde versucht, die Ansprüche nach einer wirtschaftlichen Herstellung, nach Ästhetik, Dauerhaftigkeit und Erhaltungsfreundlichkeit bestmöglich abzudecken. Dies führte für die Flussbrücken zu gevouteten Hohlkastenträgern, geeignet für eine Herstellung im Freivorbau nach dem Waagebalkenprinzip. Naturgemäß konnte mit einer Konstruktionshöhe von 2,90 m, angevoutet auf 6,40 m, die Straßenbrücke deutlich schlanker entworfen werden als die Eisenbahnbrücke, die bei 2 m größerer Hauptstützweite mit den gewählten Konstruktionshöhen von 4,25 m bis 7,50 m gerade noch ausgeführt werden kann.

Für die Vorspannung wurde bei beiden Verkehrsträgern ein Mischsystem gewählt: Verbundvorspannung im Wesentlichen für die Bauzustände und Ausbaulasten, ergänzt durch nachträglich eingebaute externe Vorspannung zur Ertüchtigung für die Verkehrs-

lasten. Diese externe Vorspannung könnte in Zukunft für allfällig geänderte Nutzung durch weitere Spannglieder ergänzt werden.

Bei den Vorlandbrücken wurde für die Bahnbrücke E7.1 ein Hohlkastenquerschnitt mit 2,32 m Konstruktionshöhe gewählt, der mit konventioneller Verbundvorspannung in feldweisen Bauabschnitten hergestellt werden sollte.

Unter dem Eindruck der Schadensfälle bei älteren Spannbetonbrücken durch Spannungsrissskorrosion bei den Spannstahlarten „Neptun“ und „Sigma oval“ verlangte die Abteilung Brückenbau des Landes Oberösterreich als Auftraggeber für die Hafenbrücke der B1 (Objekt E7) einen Entwurf höchster Qualität unter Anwendung der inspizierbaren und allenfalls auch austauschbaren externen Vorspannung. Die Lösung war ein schlanker Vollquerschnitt mit nur 1,30 m Konstruktionshöhe, der nach Anforderungsklasse D (ÖNORM B 4750, Tab. 1) mit nachträglich eingezogenen, ungestoßenen externen Spanngliedern vorgespannt wird. Dabei wurden die Spannbänder in Untergurtnischen frei geführt und bei den Stützen über Spannkanäle in eine obere Lage geführt. Für die Herstellung in Feldtakten sollte die schlaffe Bewehrung allein ausreichen.

2.2 Verbundtragwerke

Für das Flusstragwerk der Bahn (Objekt E6.1) wurde ein einzelliger Trapezkasten gewählt. Zusammen mit der 0,50 m starken Fahrbahnplatte war die Konstruktionshöhe zwischen 7,20 m und 4,00 m gegeben. Die Wahl von Doppelverbund mit einer Untergurtplatte, die in den Randfeldern durchläuft, sorgt für ausreichende Steifigkeit und Abhebesicherheit bei den Endlagern.

Das Konzept für die Flussbrücke der B1 war sehr ähnlich, jedoch konnte die Konstruktionshöhe mit 3,00 bis 6,00 m etwas geringer gewählt werden. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit war ebenfalls Doppelverbund bei den Uferstützen und Teilen der Randfelder vorgesehen.

Für die Herstellung der Flusstragwerke war an eine Kombination aus Lancieren und Freivorbau gedacht, wobei bei der Stahlmontage ab einer bestimmten Kragarmlänge die Untergurtverstärkung durch die untere Verbundplatte einzuplanen war.

Deutlich einfachere Tragwerke konnten für die Hafenbrücken gewählt werden. Das Tragwerk E7.1 der HL-AG wurde als Plattenbalken mit zwei Hauptträgern entworfen, jeder Hauptträger als geschlossener torsionssteifer Stahlhohlkasten mit 1,98 m Höhe und

Tabelle 1: Angebotsergebnisse – Nettopreise, Nachlässe berücksichtigt, in Mio. Euro

	Einzelobjekte	Bauweise	Bieter 1	Bieter 2	Bieter 3	Bieter 4	Bieter 5	Bieter 6
HL-AG Brücken	von der Bauweise unabhängige Kosten	∅	0,087	0,060	0,062	0,104	0,106	0,112
	Flussbrücke Objekt E 6.1 Brückenfläche 3.315 m ²	Spannbeton Verbund	4,605 —	4,278 6,803	4,481 7,224	4,787 7,170	4,966 7,734	4,967 —
	Hafenbrücke Objekt E 7.1 Brückenfläche 1.987 m ²	Spannbeton Verbund	2,012 —	1,972 1,961	2,057 2,075	2,053 2,050	1,966 2,056	1,972 —
Brücken der B 1	von der Bauweise unabhängige Kosten	∅	0,973	0,966	0,930	0,941	0,949	1,012
	Flussbrücke Objekt E 6 Brückenfläche 3.145 m ²	Spannbeton Verbund	2,619 —	2,321 3,314	2,365 3,601	2,593 4,187	2,481 3,751	2,814 —
	Hafenbrücke Objekt E 7 Brückenfläche 1.890 m ²	Spannbeton Verbund	0,893 —	0,927 0,891	1,095 0,983	0,991 0,934	0,997 0,889	0,956 —
	Allgemeine Kosten der Baustelle		2,262	1,670	2,106	1,934	2,216	2,164
	Günstigster Gesamtpreis		13,451	12,147	12,984	13,343	13,573	13,997

1,40 bis 1,80 m Breite, überbaut mit einer 36 cm starken Verbundplatte. Wegen der hohen Torsionssteifigkeit der Hauptträger konnte auf Feldquerträger verzichtet werden. Ein ähnliches Konzept wurde auch für die Hafenbrücke E7 der Bundesstraße in leichter Ausführung gewählt: Stahlhohlbalken mit einer Höhe von 1,60 m und einer Breite von 0,80 m bilden hier die beiden Hauptträger und sind mit einer Verbundplatte auf 2,00 m Konstruktionshöhe ergänzt. Auch hier werden nur Stützquerträger benötigt. Beide Hafenbrücken können vom ebenen Gelände weg, ohne Rüstung mit Hilfe von Autokränen montiert werden. Die Verbundplatten werden anschließend mit Schalwagen gefertigt.

3. Angebotsergebnis

Es wurden sechs Angebote abgegeben, von denen vier alle acht Brücken enthielten. Zwei Bieter hatten nur die Spannbetonlösungen angeboten, offenbar weil ihnen diese am gün-

stigsten erschienen. (Tab. 1) Wie Tabelle 1 zeigt, ging „Bieter 2“ als Bestbieter hervor. Er wurde bei den Flussbrücken mit Spannbetontragwerken und bei den Hafenbrücken mit Stahlverbundtragwerken beauftragt.

Insgesamt zeigt sich ein recht einheitliches Preisbild ohne größere Preisunterschiede, woraus sich ein harter Wettbewerb ableiten lässt. Aus dem Angebotsergebnis können folgende Rückschlüsse gezogen werden:

(1) Bei den Flusstragwerken ist die Verbundbauweise im Mittel mehr als 50 % teurer als die Spannbetonbauweise. Dies liegt wohl weniger am Materialaufwand als an der Herstellungsweise. Der nahezu rüstungslose Spannbetonfreivorbau braucht seine Vorbauwagen nur zum Teil auf dieser Baustelle abzuschreiben, die Veränderlichkeit des Querschnittes durch die Voutung spielt praktisch keine Rolle.

Beim Verbundbau ergeben sich Aufwände für das Lancieren, die Vorbaukräne und die Schalwagen der Verbundplatte – nicht zu vergessen ist der höhere Werkstatt- und Montageaufwand infolge der gevouteten Tragwerksgeometrie.

- (2) Bei den Hafenbrücken ergibt sich bei der Bahnbrücke ein nahezu gleiches Preisniveau und bei der Bundesstraße ein Preisvorteil von ca. 8 % zu Gunsten des Verbundbaues. Dieser erklärt sich aus der Querschnittswahl, dem leichten Verbundtragwerk ($g = 98 \text{ kN/m}$) steht der schlanke, aber schwerere Vollquerschnitt der Spannbetonbauweise ($g = 230 \text{ kN/m}$) gegenüber.
- (3) Des Weiteren lässt sich ablesen, dass bei gleicher Bauweise eine Eisenbahnbrücke nahezu doppelt soviel kostet wie eine Straßenbrücke, eine Erfahrung, die sich auch im Bewehrungsaufwand widerspiegelt und durch den nachfolgenden Lastvergleich erklärt werden kann.

Tabelle 2: Lastvergleich zwischen Bahnbrücke und Straßenbrücke

Nutzlasten		Größtes Stützmoment (kNm)	Max. Feldmoment (kNm)
E 6.1 Eisenbahnbrücke $L_{\max} = 122 \text{ m}$	Ständige Last	- 259.310	94.428
	Verkehr	- 311.621	141.683
	ΣB	- 570.931	236.111
E 6 Straßenbrücke $L_{\max} = 120 \text{ m}$	Ständige Last	- 86.218	24.026
	Verkehr	- 83.883	33.528
	ΣS	- 170.101	57.554
Bahn / Straße		3,36	4,10

Tabelle 3: Vergleich der horizontalen Längskräfte

Horizontalkräfte - längs	Lastfall	H Längs (kN)
E 6.1 Eisenbahnbrücke $L_{\text{ges}} = 257,00 \text{ m}$	Bremsen	12.420
	Nebenlastfälle	1.055
	ΣHB	13.475
E 6 Straßenbrücke $L_{\text{ges}} = 262,10 \text{ m}$	Bremsen	380
	Lagerreibung	1.350
	ΣHS	1.730
Bahn / Straße		7,8

Bild 3: Vergleich der Pfeilerköpfe, März 2003, links Bahnbrücke, rechts Straßenbrücke



4. Bahnbrücke – Straßenbrücke

Die beiden Flussbrücken gestatten einen interessanten Schnittkraftvergleich jener Lasten, die von der Tragkonstruktion aufgenommen werden müssen. Die wesentlichen Nutzlasten sind dabei die ständige Auflast (Ausbaulasten) und die Verkehrslasten. Dazu ist anzumerken, dass die Lasten für die Bahnbrücken nach ENV 1991-3, Ausgabe 2001-02-01, für $\alpha = 1,21$ – das entspricht nach ÖNORM B 4003 Klasse +2/SW – angesetzt wurden, während für die Straßenbrücken Brückenklasse I nach ÖNORM B 4002, Ausgabe 1970, in Verbindung mit RVS 15.114 anzuwenden war. Die Biegemomente dieser Lasten für das große Flussfeld sind einander in Tabelle 2 gegenübergestellt.

Man sieht, dass eine Bahnbrücke bis zu viermal soviel „leisten“ muss wie eine Straßenbrücke und daher eine erheblich stärkere Tragwerkskonstruktion erfordert. Diese Anforderung schlägt sich naturgemäß in einer geringeren Schlankheit, einem kräftigeren Brückenquerschnitt und erheblich höherem Spannstahl- und Bewehrungsaufwand nieder.

Weiters ist es eine bekannte Tatsache, dass eine Bahnbrücke wesentlich höhere Bremskräfte als eine Straßenbrücke übernehmen muss. Den Vergleich zeigt Tabelle 3.

Im gegenständlichen Projekt konnte bei den Bahnbrücken diese große, längsorientierte Horizontalkraft nicht mehr von Brückenträgern mit Festhaltung übernommen werden. Es wurde deshalb eine zug- und druckfeste Rückverankerung zum besonders massiv ausgebildeten Trennpfeiler mit einbetonierten Stahlschwertern ausgebildet.

5. Planung und Baudurchführung

Die Baudurchführung ist durch ein sehr enges Terminkorsett gekennzeichnet, das vorrangig durch den Ausführenden vorgegeben ist. Sein günstiger Anbotspreis ist an einen exakt geplanten Einsatz von Arbeitspartien, Gerätschaft und zwei Vorbauwagen gebunden. Nach dem Baubeginn im August 2002 wurde schon Ende Juni 2003 der Freivorbau der Straßenbrücke geschlossen. Auch der Rohbau der E7 ist fertig gestellt. Bei den Bahnbrücken stehen die Pfeilerköpfe zum Freivorbauansatz bereit und ebenso die schwierigen Endstücke mit den Verankerungsblöcken für die externe Vorspannung und die Horizontalfesthaltung. Dies bedeutet, dass die Detailprojekte beider Flussbrücken in kurzer Zeit und nahezu gleichzeitig bearbeitet werden mussten. Die Hafenerbrücke E7.1 ist stahlbaumäßig montiert, und die Herstellung der Verbundplatte hat im Juni 2003 begonnen.

Bild 4:
Baustellenübersicht, Juni 2003



Während in letzter Zeit die ausführenden Firmen die Bauabwicklung durch geschickten Mannschafts- und Geräteeinsatz immer weiter optimieren, geht dies häufig zu Lasten der Projektanten, die nicht dem logischen Ablauf ihrer Planungsaufgabe folgen können, sondern oft nach Bedarf die Anforderungen der Baustelle erfüllen müssen. Zudem erfordern hochtechnisierte Bauverfahren eine weite Planervorschau und Arbeitsvorbereitung. Die Ennsbrücken sind dazu ein typisches Beispiel. So mussten für die Pfahlrost der Uferpfeiler bereits Details der Tragwerksvorspannung und Vorbauwagenverankerung bekannt sein, damit die im Pfahlrost einbetonierte Jochniederhängung durch die Fahrbahnplatte konfliktfrei an die Tragwerksobenseite geführt werden konnte.

Eine weitere Belastung der Planer stellen die neuen Euro-Normen für Bahnbrücken dar, die eine Unzahl gegeneinander abzuwägender Lastkombinationen und viele einander überschneidende konstruktive Nachweise erfordern, die nicht nur die Detailarbeit erheblich vermehren, sondern vor allem die klar nachvollziehbare Linie einer Berechnung verwischen. Eine der praktischen Tagesarbeit besser angepasste Normenlage auf EN-Basis wäre dringend zu fordern.

Baubeteiligte:

Auftraggeber:
Eisenbahn-Hochleistungsstrecken AG (HL-AG), Projektleitung Westbahn West
Amt der OÖ Landesregierung, Abteilung Brückenbau

Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung Brückenbau

Projektanten: Kirsch-Muchitsch und Partner, Linz – Spannbeton und Unterbauten

DI Matthias Parzer, Linz – Verbundtragwerk der Hafenerbrücke E7.1

Baumann-Obholzer, Innsbruck – Verbundtragwerk der Hafenerbrücke E7

Prüfingenieur: Büro Wicke-Stranninger, Innsbruck – Prüfung der Bahnbrücken

Ausführung: Fa. Massivbau, Klagenfurt mit Subunternehmer Raffl (Stahlbau)

Bild 5: Hafenerbrücken in Verbundbauweise, Juni 2003

Fotos: KMP

