

6

Die Brücken der Koralmbahn – technische, konstruktive Highlights

DI Julia Heidrich (Graz), DI Gerhard Oberlerchner und FH-Prof. Dr. Markus Vill (Wien)

Neben dem Herzstück des Koralmtunnels, der wohlgerneht sechstlängste Tunnel der Welt, sind Brücken das Gegenteil von Tunnelbauwerken und sowie jedes andere Infrastrukturbauewerk ein wesentlicher Landmark – nachhaltig, tragfähig, gebrauchstauglich, betriebsicher. Es sind nicht zuletzt nur Bauwerke, die den statischen Erfordernissen genügen müssen, sondern passend in das Landschaftsbild zu integrieren sind. Während man bei Überschreiten von tiefen Tälern oftmals die Brückenhöhe nicht bemerkt, so ist jedoch die Herstellung von hohen Brücken eine der größten Herausforderungen in der Bautechnik. Ohne Brücken waren diese Hindernisse oftmals nur mit stundenlangen Ausweichrouten zu überwinden, heute können wir beispielsweise eine Brückenlänge bei der Jauntalbrücke mit 430 m bei 250 km/h in nur 7 Sekunden überqueren. So übernehmen wir, als Bauherrnvertreter:innen, Planer:innen oder Ausführende eine entscheidende gesellschaftliche Rolle, die hohe technische Kompetenz, Verantwortungsbewusstsein, gestalterisches Geschick und Managementfähigkeiten voraussetzt, denn Eisenbahnbrückentragwerke sind entgegen von Linienbauwerken immer Unikate oder Prototypen, die nur in den seltensten Fällen 1:1 duplizierbar sind.

Im Rahmen der Koralmbahn wurden von der Unterführung des Eggenberger Gürtels am HBF in Graz (GW1) [1] bis zum HBF in Klagenfurt mehr als 100 Brückentragwerke als Eisenbahn-, Straßen-, Begleitweg- oder Fußgängerbrücken errichtet worden. Betrachtet man die Streckenlänge abzüglich des Koralmtunnels mit rund 33 km und die weiteren Tunnelbauwerke im Granitztal, dem Hengsbergertunnel sowie diversen Unterführungsbauwerken

unter der Autobahn in Weitendorf oder der Flughafentunnel in Graz, so befinden sich pro Bahnkilometer durchschnittlich ein bis zwei Brückentragwerke, die die Koralmbahn von Graz nach Klagenfurt verbinden.

6.1 Anforderungen an nachhaltige Brückenbauwerke für Hochleistungsstrecken

Vergleicht man herkömmliche Brückenbauwerke im Straßennetz oder auf Nebenstrecken der Bahn, so unterscheiden sich die Anforderungen bei Eisenbahnbrücken insofern, dass verstärkte Aspekte der Gebrauchstauglichkeit und Betriebssicherheit eingehalten werden müssen, um hohen Fahrkomfort und Grundlagen für die Fahrdynamik der Hochgeschwindigkeitszüge sicherzustellen. Das erfordert grundsätzlich die Einhaltung der Kriterien der Oberbauanforderungen und wird durch das Schwingungs- und Verformungsverhalten der Brücken erweitert. Grundlage hierfür bilden die Regelwerke der Technischen Spezifikationen für Interoperabilität (TSI) [2,3] die mit den Bemessungsgrundlagen der europäischen statisch konstruktiven Normen (Eurocodes) einzuhalten sind. In dem Zusammenhang sind insbesondere für Eisenbahnbrücken die Kriterien der Betriebssicherheit zu erfüllen, die nachfolgend angeführt sind:

- I Vertikale Verformung des Überbaus,
- I Verwindung des Überbaus,
- I Querverformungen und Querschwingungen des Überbaus,
- I Vertikale Beschleunigungen des Überbaus,
- I Verformungen an den Brückenenden.

Auf Basis der strikten Einhaltung dieser Kriterien, die bei Zugsüberfahrt von 250 km/h nur Verformungen von 1/1400 bis 1/2000 bezogen auf die Stützweite bei Geschwindigkeiten ermöglichen, werden die statischen Systeme, Querschnittsgeometrien und auch die Abmessungen der Bauwerke gewählt und haben grundsätzlich eine robuste Ausführung mit nicht allzu schlanker Bauform zur Folge.

6.1.1 Lebenszyklusorientiertes Planen, Bauen und Erhalten als strategisches Gesamtkonzept im Brückenbau

In dem Zusammenhang kommt allerdings auch der Aspekt der Nachhaltigkeit für dauerhafte, robuste Bauwerke speziell in den Fokus, ermöglicht somit aber gleichzeitig die Erzielung einer hohen Lebensdauer mit starkem Bezug auf geringe Lebenszykluskosten, geringe Instandhaltungsmaßnahmen und hohe Dauerhaftigkeit bzw. technische Lebensdauer. Lebenszyklusorientiertes Planen, Bauen und Erhalten sind somit zentrale strategische Konzepte, die zur Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung im Eisenbahnbrückenbau beitragen und in sämtliche Planungsgrundlagen der über 100 Brückenbauwerke eingeflossen sind.

Bei der Planung, dem Bau und der Erhaltung von Eisenbahnbrücken und anderen konstruktiven Ingenieurbauwerken ist ein lebenszyklusorientierter Ansatz von zentraler Bedeutung. Dieser Ansatz stellt sicher, dass Bauwerke nicht nur den aktuellen Anforderungen genügen, sondern auch langfristig leistungsfähig, sicher und wirtschaftlich betrieben werden können. Bereits in der frühen Planungsphase müssen daher jene Faktoren berücksichtigt werden, die Einfluss auf die Dauerhaftigkeit, Instandhaltungsfreundlichkeit und Betriebssicherheit des gesamten Bauwerks über seine gesamte Nutzungsdauer hinweg haben.

Ein wesentlicher Grundgedanke des lebenszyklusbasierten Planens ist die Verwendung dauerhafter, bewährter Materialien, deren Verhalten unter verschiedenen Umwelteinflüssen und Beanspruchungen bereits gut erprobt und vorhersehbar ist. Die Wahl geeigneter Materialien und die sorgfältige Dimensionierung sicherheitsrelevanter Komponenten tragen dazu bei, die Lebensdauer zu maximieren und zukünftige Instandhaltungsmaßnahmen zu minimieren.

Besondere Bedeutung kommt der Auswahl ausreichender Biegesteifigkeit sowie der Ausbildung schwingungsunempfindlicher Tragwerke zu. Da Eisenbahnbrücken unter Hochgeschwindigkeitsverkehr dynamischen Beanspruchungen ausgesetzt sind, muss das statische System so gewählt werden, dass es keine unerwünschten Schwingungen oder Resonanzeffekte zulässt. Gleichzeitig sollte das Tragwerk robust gegenüber außergewöhnlichen Ereignissen sein und keine Tendenz zu sprödem oder schlagartigem Versagen aufweisen. Dies wird unter anderem durch den Einsatz struktureller Redundanzen erreicht, die es ermöglichen, dass einzelne Tragglieder ausfallen können, ohne die Gesamtstandsicherheit zu gefährden. Ein weiterer zentraler Aspekt ist die optimale Abstimmung des Bauwerks auf die Eigenschaften des Baugrunds. Die Interaktion zwischen Boden und Bauwerk beeinflusst wesentlich das Trag- und Verformungsverhalten und damit auch den Erhaltungszustand der Brücke, weshalb geotechnische Rahmenbedingungen bereits im Planungsprozess umfassend analysiert werden müssen.

Darüber hinaus muss das Tragwerk so gestaltet sein, dass es möglichst erhaltungsarm ist und der Einsatz nachhaltiger Baustoffe gefördert wird. Dies betrifft sowohl die konstruktive Gestaltung als auch die Anordnung von Bauteilen, die regelmäßiger Wartung unterliegen. Teile mit kürzerer Lebensdauer sollten möglichst einfach austauschbar sein, ohne umfangreiche Eingriffe in den Betrieb zu erfordern. Insbesondere bei Eisenbahnbrücken ist es entscheidend, dass Wartungs-, Instandsetzungs- und Austauschvorgänge unter Aufrechterhaltung des Bahnbetriebes möglich sind, sofern keine Umfahrungsmöglichkeiten existieren. Konstruktive Details und Bauabläufe müssen so geplant werden, dass sie praktisch umsetzbar sind und spätere Risiken oder Verzögerungen im Bauablauf reduziert werden. Wesentlich für die langfristige Funktionsfähigkeit eines Bauwerks ist zudem ein dauerhaft

funktionierendes, wartungsarmes Entwässerungssystem. Zusammenfassend zielt lebenszyklusorientiertes Planen darauf ab, technische, wirtschaftliche und betriebliche Anforderungen über die gesamte Lebensdauer eines Bauwerks hinweg optimal zu vereinen.

6.2 Die verschiedenen Brückentypen auf der Koralmbahn

Effizienter Brückenbau hängt neben der Erfassung des statischen Systems und der konstruktiven Anforderungen noch von vielen weiteren Kriterien ab, die vordergründig auch eine ausgewogene Lösung zwischen Kosteneffizienz in der Errichtungsphase und der Betriebsphase abbilden sollen. So steht die Qualität grundsätzlich im Vordergrund für niedrige Lebenszykluskosten sowie die Herstellungsmethode in Bezug auf die Bauverfahrenstechnik im Großbrückenbau also auch das Bauen unter Aufrechterhaltung des Betriebes.



Abbildung 1 Diverse integrale Rahmenbauwerke Koralmbahn, Graz Klagenfurt, Fotocredit: Vill [1]

Der Großteil der über 100 Brückenbauwerke besteht in diesem Zusammenhang aus integralen Bauwerken in Form von Rahmentragwerken aus Stahlbeton mit Stützweiten unter 20 m, die vielfach in Kombination mit Unterführungen von Straßen in Zusammenhang stehen (vgl. Abbildung 1). Für Großbrücken kamen in erster Linie dauerhafte Spannbetonbrücken als Hohlkästen mit oberliegendem Fahrbahndeck zur Ausführung. Bei dieser Methode entstehen geringe Errichtungskosten aufgrund der lokalen Verfügbarkeit des Baumaterials Beton. Zudem kann bei heutiger Ausführungsqualität auch mit den geringsten Erhaltungskosten gerechnet werden. Bei ungünstigen Feldlängen, Schwierigkeiten beim Bauen unter Betrieb, der Aufrechterhaltung des Straßenverkehrs und kurzen Bauzeiten wurden vielfach auch Stahl-, bzw. Stahlverbundtragwerke ausgeführt. In der nachfolgenden Zusammenstellung wird auf wenige spezielle Brückentypen und deren Herausforderung bei der Planung und beim Bau eingegangen.

6.2.1 Unterführung des Eggenberger Gürtels am Südkopf des Hauptbahnhofes Graz – GW1

Bauen unter Betrieb stellt eine der komplexesten täglichen Herausforderungen beim Bau von Eisenbahnbrücken dar und ist in vielen Fällen für den Bauablauf, das vorgesehene Bauverfahren und die Wahl des Konstruktionstyps samt Material entscheidend. So wären bei Stützweiten bis zu 25 m im Regelfall auch integrale Rahmentragwerke eine Lösungsvariante um erhaltungsintensive Lager und Fahrbahnübergangskonstruktionen vermeiden zu können.



Abbildung 2 Eggenberger Unterführung am Grazer Hauptbahnhof, Fotocredit Vill [1]

Bei der Eggenberger Unterführung im Hauptbahnhof Graz kamen genau diese Bedingungen auf Basis der vorhandenen Bauphasen der Herstellung des Bahnsteigdaches, der Gleisneulagen, der beiden Personentunnel und weiterer betrieblicher Einschränkungen zu tragen. Vorgespannte Plattentragwerke für zwei bis drei Gleise kamen hier zum Einsatz. Die Eggenberger Unterführung wurde mit 2+2 Fahrspuren und seitlichen Geh- und Radwegen mit einer Stützweite von rund 25 m in Gleissperren abschnittsweise unter Betrieb hergestellt. Die Plattenstärke beträgt nur 1,40 m und konnte durch Vorspannung erzielt werden.

6.2.2 Unterführungsbauwerke unter der A9 Pyhrnautobahn bei Weitendorf – FW12

Im weiteren Verlauf der Zulaufstrecke zum Ostportal des Koralmtunnels ist im Bereich von Weitendorf eine "schleifende" Unterquerung der A9 Pyhrnautobahn auf eine Länge von rund 800 m zuzüglich Wannenbauwerke ausgeführt worden. Die Komplexität des Bauwerks wurde durch Bauzustände im Bereich der Rampen der A9 Anschlussstelle Wildon sowie die Aufrechterhaltung der Landesstraße und der Richtungsfahrbahnen hervorgerufen. Weiterhin wurde das Bauwerk für die Brandbeanspruchung eines Hochtemperaturbrandes mit 1200°C (Schutzniveau 3.1) mit einer Standdauer von 180 min und einer Sicherungszeit von 60 min ausgelegt. Dazu wurde Faserbeton verwendet sowie eine Heißbemessung für diese außergewöhnlichen Lastsituationen durchgeführt.

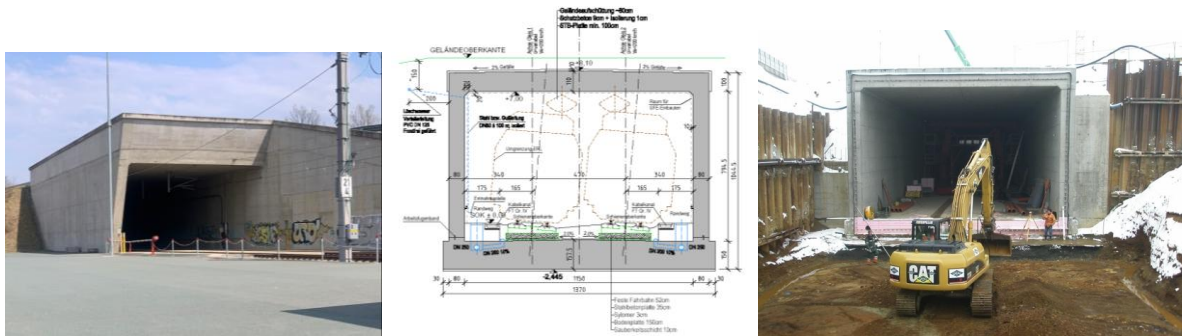


Abbildung 3 Unterföhrungsbauwerk A9, Weitendorf FW2, Fotocredit: Vill 0

6.2.3 Spannbetonbrücke über die Kainach – FW13

Im weiteren Streckenverlauf vor dem Hengsbergttunnel, welcher sowohl in offener Bauweise, Deckelbauweise als auch geschlossener Tunnelbauweise errichtet wurde, kam eine gemäß den Robustheitskriterien der Richtlinien der ÖBB-Infrastruktur AG eine 115 m lange vorgespannte Brücke zur Ausführung. Die Brücke überspannt die Kainach sowie die begleitenden Retentionsflächen und wurde aufgrund der Verbesserung der hydrologischen Anforderungen mit elliptisch geformten Pfeilergeometrien für den Hochwasserabfluss ausgebildet und architektonisch gestaltet. Die zwei vorgespannten Hohlkästen können getrennt voneinander instandgesetzt und ggf. auch unter Aufrechterhaltung des Betriebes in der Zukunft nach Ende der Lebensdauer erneuert werden. Die Kainachbrücke wurde auf klassischem Lehrgerüst mit Rüstträgern im Bereich der Kainach hergestellt.



Abbildung 4 Spannbetonbrücke über die Kainach FW13, Fotocredit: Vill [4]

6.2.4 Wildquerung WA9 bei Krottendorf an der Laßnitz

Im Bereich des Bahnhofes Weststeiermark wurde eine Wildbrücke mit seitlich freiem Streckenprofil und einer Stützweite von ca. 45 m hergestellt. Das in Gleisrichtung ca. 50 m lange Tragwerk wurde je Widerlager auf zweireihigen Großbohrpfählen gegründet. Die Herstellung erfolgte über drei Betonierabschnitte auf Lehrgerüst. Die Schalenstärke des Bogens beträgt im Scheitelbereich ca. 1,05 m und weitet sich zum Widerlager auf ca. 1,90 m auf. Der Vorteil des sehr breiten Querschnitts und die großzügige Freihaltung des Lichtraumes ist durch die aerodynamisch reduzierten Beanspruchungen gegeben.



Abbildung 6 Wildquerung bei Krottendorf an der Laßnitz, Fotocredit: Vill [4]

6.2.5 Jauntalbrücke über das Drautal bei Aich/ Bleiburg

Die Jauntalbrücke wurde als einzelliger, eingleisiger Stahlhohlkasten bereits zu Beginn der 1960er Jahre errichtet und hat eine Höhe von knapp 100 m über dem Flussbett. Die Gesamtlänge der Brücke beträgt rund 430 m mit Einzelstützweiten von etwa 78 bis 95 m. Sie ruht auf vier Betonpfeilern mit nach oben hin verjüngendem Querschnitt. Die Pfeiler sind auf Brunnen gegründet, im Bereich des Flussbettes wurde eine Senkkastengründung ausgeführt. Im Zuge des zweigleisigen Ausbaues wurden die Pfeiler und die Widerlager intensiv inspiziert, instandgesetzt und auf die neuen Anforderungen angepasst. Das neue Tragwerk ist als Verbundfachwerk mit oberliegender Fahrbahnplatte für zwei Gleise ausgeführt. Zwischen den Fachwerksebenen kann die Brücke als Geh- und Radweg genutzt werden. Die Besonderheit bei der Herstellung lag insofern darin, dass das neue Tragwerk mit dem alten Tragwerk verbunden wurde (vgl. Abbildung 7 rechts) und so materialeffizient ohne Vorbauschubel eingeschoben werden konnte. Das alte Tragwerk wurde nach dem Aus Schubvorgang zerkleinert und wurde einem Recyclingprozess zugeführt.

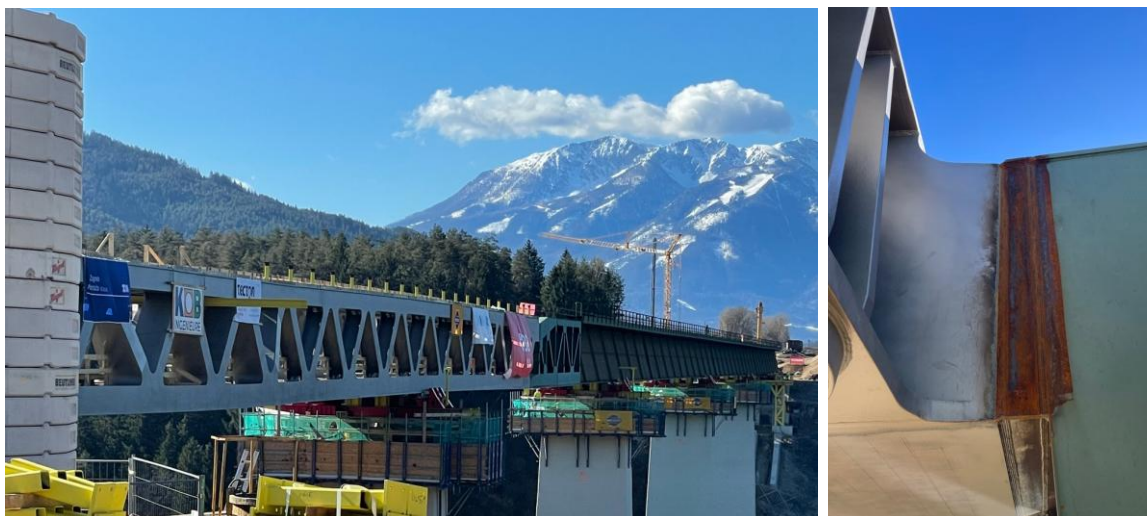


Abbildung 7 Neue und alte Jauntalbrücke beim Einschubvorgang mit Verbindungsstück bzw. Schweißnaht zwischen altem und neuem Tragwerk, Fotocredit: Vill [4]

6.2.6 Drauquerung über den Völkermarkter Stausee MA26

Die Drauquerung MA26 ist eine rund 600 m lange Spannbetonbrücke als zweigleisiger Hohlkasten und besteht aus vier Einzeltragwerken. Die Brücke befindet sich im Gleisbogen mit einem 3200 m Bogenradius und wurde im Taktschiebeverfahren bei konstanter Krümmung mit Einzelstützweiten von bis zu 70 m ohne Hilfsunterstützung erstellt. Der Hohlkastenträger hat eine Gesamthöhe von 4,74 m, eine Dicke der Fahrbahnplatte von 33 cm bis 42 cm und Stegdicken von 55 cm im Feldbereich (vgl. Abbildung 8).



Abbildung 8 Drauquerung über den Völkermarkter Stausee MA, Fotocredit: links: Revotec
zt gmbH und rechts: ZKP ZT-GmbH

6.3 Zusammenfassung

Die Herausforderungen der Eisenbahnbrücken auf der Koralmbahn haben sich durch viele Faktoren ergeben und spielten für Konzeptionierung auf Basis der Anforderungen für Hochgeschwindigkeitsstrecken, der örtlichen Gegebenheiten, des Bauverfahrens und unter den Aspekten einer hohen Lebensdauer mit großer Robustheit eine entscheidende Rolle. Weiterhin erfolgte der Entwurf der Brückenbauwerke auch unter der Berücksichtigung der Aspekte der leichten Inspizierbarkeit und Auswechselbarkeit von einzelnen Tragwerksteilen und trägt somit wesentlich zu einem modernen System Bahn bei.

Literatur

[1] Steiner, H., Vill, M., Pirker, A.: Die „Neuen“ Bahnbrückentragwerke der Eggenberger Unterführung am Grazer Hauptbahnhof, Buchpublikation Graz Hauptbahnhof 2020, 2015.

[2] VERORDNUNG (EU) Nr. 1302/2014 DER KOMMISSION vom 18. November 2014 über eine technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge — Lokomotiven und Personenwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1302>.

[3] VERORDNUNG (EU) Nr. 1299/2014 DER KOMMISSION vom 18. November 2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Infrastruktur“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union, <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1299>.

[4] Vill, M.: Eisenbahnbrücken im Zuge der Koralmbahn, Graz – Klagenfurt, Alumni Talks, TU Graz, 2008.