

Zeitschrift für das gesamte System Bahn

September 2021



Potenziale zur Minderung der CO₂ Emissionen von Bestands-Dieseltriebwagen

Potential for Reduction of CO₂ Emission in Existing Diesel Multiple Units



Magnetic Odometry – New Method for Velocity Determination of Rolling Stock



Chancen und Hürden im Rahmen des neuen europäischen Zulassungsverfahrens von Schienenfahrzeugen

Opportunities and hurdles within the framework of the new European homologation process for rolling stock



Oberbauerneuerung und In-situ-Messungen auf der höchsten Eisenbahnbrücke in der Schweiz

Renovation of Superstructure and Field Measurements on Switzerland's Highest Railway Bridge

Instandhaltungsstrategie "ferngesteuerte Instandhaltung Cityjet"

Maintenance Strategy "Remote Controlled Maintenance Cityjet"

Organ der DMG 145. Jahrgang www.zevrail.de

Oberbauerneuerung und In-situ-Messungen auf der höchsten Eisenbahnbrücke in der Schweiz

Renovation of Superstructure and Field Measurements on Switzerland's Highest Railway Bridge

Dipl.-Ing. Martin Quirchmair, Bürs (Österreich), Dipl.-Ing. Stefan Werner, Zürich (Schweiz), Dipl. Ing. ETH Beat Burgherr, Herisau (Schweiz), Dr. Harald Loy, Innsbruck (Österreich)

Zusammenfassung

Am Viadukt Sittertobel der Schweizerischen Südostbahn AG wurde der Eisenbahnoberbau, im Rahmen der von 2019 bis 2021 am gesamten Bauwerk durchgeführten Sanierungsarbeiten, komplett erneuert und modernisiert. Dabei wurde unter anderem die Übergangssituation zwischen offener Fahrbahn und Schotteroberbau, inklusive Schienenauszugsvorrichtung, neugestaltet. Vergleichende In-situ-Messungen wurden vor und nach dem Umbau durchgeführt, um die Verbesserungen zu verifizieren. Der folgende Artikel beschreibt die Planung und rechnerische Auslegung des neuen Oberbaudesigns, mit Fokus auf den eingebauten elastischen Elementen. Anschließend werden die Gleismessungen beschrieben, die daraus resultierenden Erkenntnisse vorgestellt und das Ergebnis bewertet.

Abstract

At the viaduct Sittertobel of the Schweizerische Südostbahn AG restoration was done in 2019 and 2020. Part of this project was a total retrofit and upgrading of the railway superstructure. The transition zone between open deck and ballasted track, including the expansion joint, was newly designed. In-situ measurements before and after reconstruction were used to verify the improvements.

This article describes the planning and technical design of the superstructure, focusing on its elastic elements. Furthermore, it includes a description of the measurement itself as well as the findings and evaluations.

1 Das Viadukt Sittertobel

Das Viadukt Sittertobel der Schweizerischen Südostbahn AG (SOB) ist eines der beeindruckendsten Eisenbahnbauwerke des 20. Jahrhunderts im Alpenraum. Das 1910 fertiggestellte Bauwerk ist mit einer Höhe von 99 m die höchste Eisenbahnbrücke der Schweiz und stellte nicht nur für Ingenieure, sondern auch für Bauunternehmen, eine besondere Herausforderung dar.

Das Viadukt setzt sich aus zwei Vorlandbrücken und einem 120 m langen, bis zu 12 m hohen, stählernen Einzelfachwerkträger, dem ca. 920 t schweren "Fischbauch", zusammen (*Bild 1*).

Die Hauptinspektionen der letzten Jahre zeigten natürliche Alterungserscheinungen an den Vorlandbrücken, als auch am Fischbauch. Durch die hohe Bedeutung des Viadukt Sittertobel im Netz der SOB und da es zudem Bestandteil des Kulturschutzgüterinventars ist, wurde der Erhalt und eine Nutzung für weitere 50 Jahre angestrebt [1]. Umfangreiche Analysen im Vorfeld bekräftigten, dass eine Instandsetzung technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll war. Neben Sanierungen am Bauwerk selbst, wurde der gesam-

te Oberbau des Viadukts erneuert und die Übergangssituation zwischen offener Fahrbahn und Schotteroberbau, inklusive Schienenauszugsvorrichtung, neugestaltet (*Bild 1*).

2 Ausgangslage

Die Vorlandbrücken des Viadukt Sittertobel sind mit einem Schotteroberbau ausgestattet, welcher vor Umbau aus einem Schottertrog mit Holzschwellen bestand. Aufgrund der Tragfähigkeit des Einzelfachwerkträgers wird am Fischbauch eine deutlich masseärmere offene Fahr-

bahn verwendet. Diese war mit Brückenholzern, inklusive Füllschwellen, ausgerüstet [1]. Die Brückenhölzer waren auf Gummiplatten gelagert, welche der Fahrbahn zusätzliche Elastizität gaben. Speziell der Bereich der Schienenauszugsvorrichtung, deren Zentrum sich vor Umbau 4 m vom Fischbauch entfernt befand, zeigte starke Hohllagenbildung mit Verschleißerscheinungen, wie Schotterzerstörung und verkürzten Wartungsintervallen. Ein Hauptaugenmerk der Oberbausanierung wurde deshalb auf die Problemstelle Schienenauszug gelegt.

3 Oberbaudesign

Die Neugestaltung des Oberbaus wurde federführend durch das Kompetenzzentrum Fahrbahn AG (KPZ) übernommen. Durch die geforderte hohe Langlebigkeit des Oberbaus, in Kombination mit der Schwierigkeit des Schwellentausches am Fischbauch, wurde entschieden von Holzschwellen abzusehen und stattdessen witterungsbeständige FFU (Fiber reinforced Foamed Urethane) Schwellen einzusetzen. Für den Anschluss an das Regelgleis, welches mit Betonschwellen ausgestattet ist, wurden zusätzlich Weichenschwellen verwendet. Um die Übergangssituation in Kombination mit der Schienenauszugsvorrichtung zu entschärfen wurden die Problemstellen räumlich getrennt. Das Zentrum des neuen Schienenauszugs wurde im Abstand von 14 m zum Anschluss Fischbauch zu Vorlandbrücke vorgesehen. Am Fischbauch selbst wurden elastische Stützpunkte (Delkor) verwendet, um die Oberbausteifigkeit der offenen Fahrbahn an den Schotteroberbau anpassen zu können. Ein Vergleich der Oberbaukonfigurationen vor und nach Sanierung ist in Bild 2 zu finden.

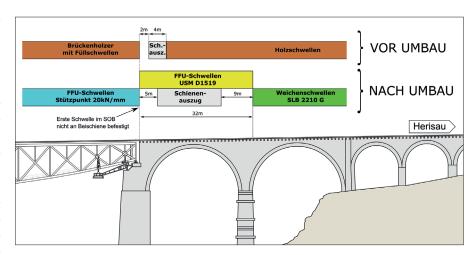
4 Schienenauszug

Schienenauszugsvorrichtungen finden vor allem bei Übergangskonstruktionen auf langen Brücken im Bereich der Bewegungsfuge Anwendung. Sie sind in der Lage Schienenlängsbewegungen zu kompensieren und verhindern unzulässig große Schienenspannungen aufgrund von thermischen Längenänderungen und dynamischen Belastungen.

In der Schweiz werden die Anforderungen an die Fahrbahn auf Brücken unter anderem im Regelwerk I-22068 der SBB



Bild 1: Das Viadukt Sittertobel überspannt eine Gesamtlänge von 365 m



I Bild 2: Oberbaukonfiguration vor und nach Sanierung

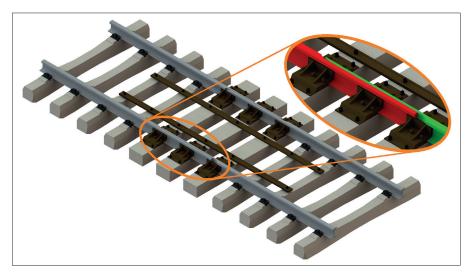


Bild 3: Grundprinzip der Schienenauszugsvorrichtung. Zungen- (grün) und Backenschiene (rot) sind mittels Stützbacken aneinandergepresst und können Längsbewegungen ausgleichen

beschrieben. Dieses Regelwerk beschreibt ebenso die Verwendung von Schienenauszugsvorrichtungen abhängig von der Länge und Art der Brücke [2]. Das Prinzip des Schienenauszugs ist in *Bild 3* dargestellt.

Im Zentrum der Vorrichtung ist die Schiene in Zungen- und Backenschienen geteilt



Bild 4: Vorlandbrücke nach Sanierung. Die Beischienen erstrecken sich über das gesamte Viadukt Sittertobel

und wird mithilfe von Stützbacken formschlüssig aneinandergepresst. Die Schienenenden können aneinander gleiten und die Bewegungen der Brücke kompensieren. Moderne Schienenauszüge besitzen hierbei Auszugslängen von 1.200 mm und mehr.

Wie andere Sonderkonstruktionen im Gleis verursacht auch die Schienenauszugsvorrichtung eine lokale Änderung der Oberbaueigenschaften, welche bei dynamischer Beanspruchung zu Belastungsspitzen führen kann. Nicht ohne Grund sind im Bereich von Schienenauszügen verstärkt Verschleißerscheinungen wie Schotterzerstörung und Hohllagen zu finden, welche in weiterer Folge zu erhöhtem Wartungsaufwand führen.

5 Steifigkeitsoptimierung mit elastischen Elementen

Die Anpassung der Steifigkeiten am Übergang Fischbauch zu Vorlandbrücke wurde mit Hilfe von FEM-Rechenmodellen durchgeführt. Das Konzept des Oberbaudesigns war bereits durch das KPZ gemacht worden, sodass nun die Optimierung der Elastizität des Fahrwegs vorgenommen werden konnte.

Auf Basis von Berechnungen unterschiedlicher Produktkombinationen, wurde die in *Bild 2* dargestellte Konfiguration als am besten geeignet beurteilt. Die Stützpunkte

der offenen Fahrbahn wurden mit einer Steifigkeit von 20 kN/mm festgelegt. Im Schotteroberbau der Vorlandbrücke wurde im Bereich der Schienenauszugsvorrichtung, welcher mit FFU-Schwellen ausgestattet wurde, eine Unterschottermatte vom Typ D1519, mit einer Bettungssteifigkeit von 0,15 N/mm³, verlegt. Die Weichenschwellen, welche den Anschluss an den Regeloberbau bilden, sind mit elastoplastischen Schwellensohlen der Type SLB 2210 G ausgestattet und somit für die Konservierung der Gleislage, sowie zur Schotterschonung optimiert. Bild 4 zeigt den sanierten Oberbau der Vorlandbrücke des Viadukt Sittertobel auf der Seite Herisau.

Es ist zu erkennen, dass neben der Schiene 54E2 zusätzlich Beischienen befestigt sind, welche sich über die gesamte Länge der Brücke erstrecken. Diese fungieren am Viadukt Sittertobel als Fangschienen und verhindern das Abirren eines entgleisten Zugs an den Brückenrand. Aus technischer Sicht werden Beischienen auch zur Steifigkeitsanpassung in Übergangsbereichen verwendet. Diese Vorgehensweise ist jedoch oft mit Folgeproblemen behaftet, da sie Einfluss auf die mechanische Beanspruchung der Oberbaukomponenten haben.

Beischienen mussten somit in der Berechnung der Übergangssituation Beachtung finden. Speziell am Anschluss des Fischbauchs an die Vorlandbrücken treten auf-

grund der versteifenden Wirkung erhöhte Kräfte auf, welche auch im berechneten Einsenkungsverlauf zu erkennen sind. Der Grund für dieses Verhalten liegt darin, dass die Beischienen auf der offenen Fahrbahn de facto keinen Einfluss auf die Fahrwegsteifigkeit haben. Diese wird am Fischbauch durch die weichen Stützpunkte dominiert, welche auf den starr gelagerten FFU-Schwellen sitzen und die Schiene von der Beischiene fasst vollständig entkoppeln. Im Schotteroberbau wird deren versteifende Wirkung aktiv. Speziell die erste Schwelle im Schotteroberbau wird durch die Fixierung der Beischienen auf der offenen Fahrbahn festgehalten, was sich in der Rechnung durch verminderte Einsenkung widerspiegelt und eine Störstelle im Gleis generiert. Eine einfache Maßnahme diesen Effekt zu verringern, ist das Lösen der Beischienen von der ersten FFU-Schwelle im Schotteroberbau. Das Modell zeigt, dass diese Lösung in einer deutlich homogeneren Einsenkung im Anschlussbereich resultiert, was wiederum direkt in die wirkenden Kräfte eingeht. Das rechnerische Ergebnis dieser Adaptierung ist in Bild 5 zu finden und wurde in der Planung der Umbauten berücksichtigt [3].

6 Messtechnische Begleitung

Zur Verifizierung der Verbesserungen aufgrund der Oberbausanierung wurden Messungen im Gleis vor, im Mai 2019, und nach Umbau, im September 2020, durchgeführt. Die Planung und Durchführung wurde von der Railway Division der Firma Getzner Werkstoffe übernommen.

6.1 Messquerschnitte

Um die Gleislage im Übergangsbereich von Fischbauch zu Vorlandbrücke inklusive Schienenauszugsvorrichtung zu bewerten, wurde der Fokus auf Schieneneinsenkungsmessungen gelegt. Entsprechend des neuen Oberbaudesigns wurden vier Messquerschnitte (M1 bis M4) definiert, welche schematisch in *Bild* 6 zu finden sind.

Messquerschnitt M1 befand sich am Fischbauch und maß die Einsenkungen der offenen Fahrbahn. Die Auslenkung am Schienenauszug wurde am Messpunkt M2 bestimmt. Hier war zu beachten, dass die Position des Zentrums des

Schienenauszugs durch die Sanierung verschoben wurde. Dies wurde in *Bild 6* mit den Zusätzen "2019" und "2020" vermerkt. Die Messquerschnitte M3 und M4 bestimmten die Einsenkung der FFU-Schwellen und der besohlten Weichenschwellen. Beide Messquerschnitte befanden sich am Anfang eines Gleisbogens mit einem Radius von ca. 350 m.

Zur qualitativen Beurteilung der Gleislage kann die Schwellenbiegung herangezogen werden. Hierbei wird an drei Punkten der Schwelle, den Schwellenköpfen und der Schwellenmitte, die Einsenkung relativ zum Schotter bestimmt. Es wird eine mögliche Biegung der Schwelle bei Überfahrt festgestellt, welche für gewöhnlich durch mittiges Aufreiten hervorgerufen wird. Diese Messung wurde an den Messpunkten M5 und M6 durchgeführt. M5 befand sich an der zweiten Schwelle im Schotteroberbau. M6 war eine Schwelle im Bereich des Zentrums des Schienenauszugs und änderte somit die Position analog zu Messquerschnitt M2.

Vibrationen am Bauwerk wurden am Messpunkt "M7" aufgenommen. Die Vibrationen waren in diesem Zusammenhang rein als Maß der dynamischen Belastung bei Überfahrt zu sehen. Können diese reduziert werden ist die Beanspruchung des Oberbaus und in weiterer Folge des Bauwerks selbst verringert.

6.2 Messprinzip

Für die Schieneneinsenkungsmessung, an den Messquerschnitten M1, M3 und M4, wurde aufgrund der Bedingungen vor Ort das in *Bild 7* dargestellte Messprinzip verwendet.

Unter der Annahme, dass die Verkippung der Schiene φ gering und die Bewegung in y-Richtung vernachlässigbar klein ist, kann über eine einfache geometrische Beziehung (Formel 1) die Einsenkung Δz in Schienenfußmitte und in analoger Weise die Einsenkungen am Schienenfußrand ($SF_{\rm innen}$ und $SF_{\rm außen}$) rückgerechnet werden.

$$\Delta z = \Delta I + b \cdot \tan(\varphi) = \Delta I + b \frac{\Delta I - \Delta A}{d}$$
 (1)

Bei den zu erwartenden Auslenkungen wurde der maximale Fehler mit kleiner drei Prozent abgeschätzt, was für diese Einsenkungsmessungen als ausreichend genau erachtet wurde.

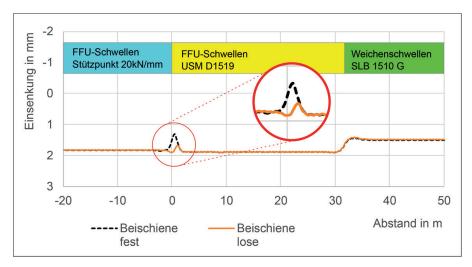
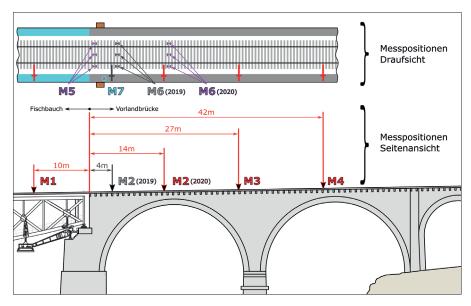


Bild 5: Berechneter Einsenkungsverlauf am Übergang Fischbauch auf Vorlandbrücke. Die Beischiene ist an der ersten Schwelle im Schotteroberbau befestigt bzw. gelöst



l Bild 6: Messaufbau am Viadukt Sittertobel. "2019" entspricht der Messung vor Umbau. "2020" entspricht der Messung nach Umbau

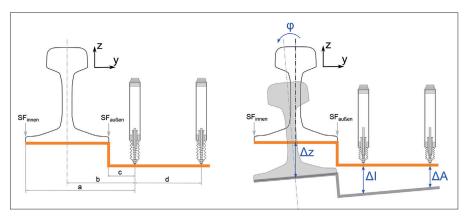


Bild 7: Messprinzip der Einsenkungsmessung an den Punkten M1, M3 und M4

Im Zentrum der Schienenauszugsvorrichtung (Messpunkt M2) ist die Schiene in Zungen- und Backenschiene geteilt. Die Messung musste somit direkt am Schienenfuß erfolgen und die beobachteten

Auslenkungen konnten ohne Transformation in die Auswertung einfließen. Zusätzlich zu den Schieneneinsenkungen wurden die Schwellenbiegungen an den Positionen M5 und M6 bestimmt.



Bild 8: Messaufbau im Feld vor Sanierung. M2, M3 und M4 sind Einsenkungsmessungen. M5 und M6 dienen zur Bestimmung der Schwellenbiegung. Der "Trigger" dient zum automatischen Starten der Messung

Die Messung erfolgte mit Hilfe von Wegaufnehmern, welche an im Schotter eingeschäumten Basen befestigt waren und die Einsenkung der Schwelle relativ zum Schotter gemessen haben. Der Messaufbau im Feld ist in *Bild 8* am Beispiel der Messung vor Umbau zu sehen.

Vibrationen wurden am Messpunkt M7 gemessen. Der Beschleunigungsaufnehmer wurde am Granitsockel, direkt am Anschluss Fischbauch zu Vorlandbrücke, aufgeklebt.

Da die Messungen nur am Anfang direkt vor Ort begleitet werden konnten, wurde eine Auslösung per Pre-Trigger gewählt. Der Beschleunigungssensor, welcher das Trigger-Signal lieferte, wurde auf einer Schwelle des Fischbauchs platziert (*Bild 8*). Somit konnten sowohl bei der Vormessung, als auch bei Nachmessung je rund 15 Stunden an Regelbetrieb aufgezeichnet werden.

6.3 Auswertung

Am Viadukt Sittertobel verkehren drei verschiedene Gattungen von Personenzügen:

- Flirt
- GTW Thurbo
- Voralpenexpress (Mitte 2019 erneuert durch Traverso)

Im Jahr 2019 wurde der klassische Voralpenexpress (VAE) durch den moderne-

ren Traverso ersetzt. Die Vormessungen im Jahr 2019 fanden somit noch mit dem klassischen Voralpenexpress statt, die Nachmessungen im Jahr 2020 bereits mit dem neuen Traverso.

Aufgrund der Sanierungsarbeiten am Oberbau und am Viadukt selbst, war zu den Zeitpunkten der Messungen eine Langsamfahrstelle eingerichtet. Die Züge verkehrten nicht mit den im Regelbetrieb vorgesehenen 80 km/h, sondern mit einer reduzierten Geschwindigkeit von 50 km/h.

Für die Messquerschnitte M1, M3 und M4 wurde die Einsenkung in Schienenfußmitte berechnet und zur Auswertung herangezogen. Beim Schienenauszug (Messposition M2) konnte die Einsenkung aufgrund der Teilung der Schiene nicht in Schienenfußmitte gemessen oder sinnvoll berechnet werden. Auf Basis der Messergebnisse der Vormessungen aus dem Jahr 2019, wurde entschieden zur Bewertung die außenliegende Backenschiene zu verwenden, da diese am Punkt M2 bereits den Großteil der Last getragen hat.

Die so gemessenen maximalen Schieneneinsenkungen (M1 bis M4) und Schwellenbiegungen (M5 und M6), der am stärksten belasteten Achsen (Antriebsachsen) wurden zu einem gemittelten Wert je Zug und Messpunkt zusammengefasst. Für jede Zugtype wurden vier Vorbeifahrten in die Auswertung miteinbezogen, welche wiederum zu einem repräsentativen, gemittelten Wert zusammen-

gefasst wurden. Auf diese Weise konnte für die Vor- und Nachmessung ein zur Bewertung geeigneter Wert der Einsenkung gewonnen werden.

Die Vibrationen am Punkt M7 wurden für dieselben vier Zugsvorbeifahrten je Zugtype ausgewertet, wobei hier das Verfahren Max-Hold zum Einsatz kam.

7 Messergebnisse

Die Personenzüge GTW Thurbo, Flirt und Voralpenexpress, als auch der in 2019 eingeführte Traverso, zeigten bei den Einsenkungs-, Schwellenbiegungs- und Vibrationsmessungen Ergebnisse in vergleichbarer Größenordnung und Charakteristik. Aus diesem Grund werden an dieser Stelle die gemittelten Ergebnisse aller Zugüberfahrten vor bzw. nach Sanierung zur Diskussion der verbesserten Gleislage herangezogen. Die Charakteristik ("Form") der Signale an den Messquerschnitten M1 bis M4 wird am Beispiel einer Zugüberfahrt des Typs Flirt, welcher in Richtung Herisau verkehrte, diskutiert. Für eine detaillierte Aufarbeitung der Messergebnisse wird an dieser Stelle an den dem KPZ und der SOB vorliegenden Messbericht verwiesen [4].

7.1 Schieneneinsenkungen

Bild 9 zeigt die Einsenkungsverläufe für eine Überfahrt der Zugtype Flirt in Richtung Herisau vor ("2019") und nach Sanierung ("2020").

Messquerschnitt M1 am Fischbauch zeigte in beiden Fällen gleichmäßige Einsenkung, ohne Verkippung der Schiene. Vor der Sanierung wurde die Einsenkung vor allem durch die Gummiplatten unter den Brückenhölzern bestimmt. Nach dem Umbau ist die nötige Elastizität durch die elastischen Stützpunkte gegeben.

Die Schienenauszugsvorrichtung wurde an Position M2 gemessen. Hier sind deutliche Unterschiede nach dem Umbau zu erkennen, wobei sich auch die neue Position des Schienenauszugs im Zeitsignal wiederfindet. Bei der ersten Messung wurden große Verformungen bei Überfahrt beobachtet, was im Graphen speziell an der Backenschiene ("außen") zu erkennen ist. Diese zeigte signifikant mehr Einsenkung als die Zungenschiene ("innen"). Die Einsenkung war mit mehr als 4 mm im Vergleich zum restlichen Gleis signifikant erhöht. Nach dem Umbau war

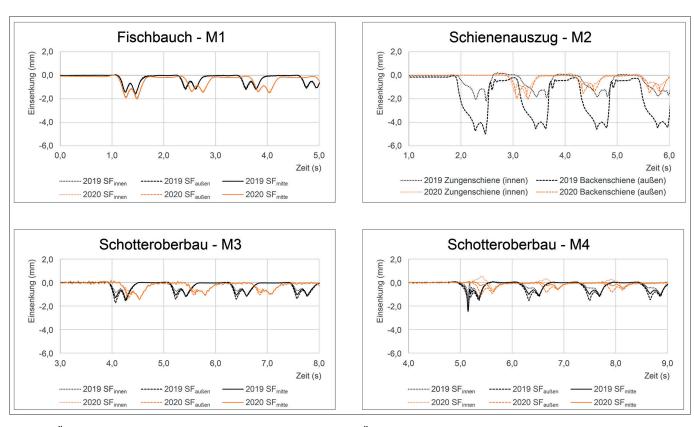


Bild 9: Übersicht der Messsignale an den Positionen M1 bis M4 für eine Überfahrt des Zugtyp Flirt. SF_{innen}, SF_{außen} und SF_{mitte} stehen hierbei für die Positionen am Schienenfuß.

die Einsenkung von Zungen- und Backenschiene annähernd ident und am zeitlichen Versatz der beiden Messsignale kann erkannt werden, wie die Zungenschiene die Radlast an die Backenschiene übergibt (*Bild 10*). Mit rund 2 mm Einsenkung ist der Schienenauszug sehr gut an das Regelgleis angepasst.

Die Messpunkte M3 und M4 zeigten etwas reduzierte Schieneneinsenkungen. Speziell am Punkt M4 fällt auf, dass die Schiene stark verkippte. M4 befand sich bereits deutlich im Gleisbogen (r = 350 m) und die Außenschiene war deutlich überhöht. Da zum Zeitpunkt der Messung die Züge mit einer reduzierten Geschwindigkeit von 50 km/h, anstatt der vorgesehenen 80 km/h, fuhren, wird vermutet, dass der Zug im Bogen Richtung Zentrum rutschte und der Schienenkopf nach bogeninnen gedrückt wurde. Es war somit eine erhöhte Rotation der Schiene zu erwarten mit möglicher Verschiebung in y-Richtung. Ist dies der Fall, wäre am Punkt M4 eventuell auch ein größerer Messfehler als abgeschätzt zu erwarten gewesen. Es ist somit nicht unwahrscheinlich, dass man am Punkt M4 bei Normalgeschwindigkeit leicht unterschiedliche Einsenkungen beobachtet hätte.

Nach Mittelung aller ausgewerteten Zugüberfahrten zeigte das neue Oberbaudesign einen deutlich homogeneren Einsenkungsverlauf, wie in *Bild 11* zu sehen ist. Der Übergang, inklusive Schienenauszugsvorrichtung, wurde somit betreffend Schieneneinsenkung deutlich verbessert.



 Bild 10: Die Übergabe der Radlast von Zungen- auf Backenschiene findet sich im Zeitverlauf der Messsignale nach Sanierung wieder

7.2 Schwellenbiegungen

Wie bereits beschrieben wurden die Schwellenbiegungen relativ zum Schotter gemessen. Da das Widerlager (Metallbügel) im Schotter der angrenzenden Schwellenfächer der zu messenden Schwelle festgeklebt wurde, konnte eine Bewegung des Schotters, und somit des Widerlagers selbst, bei Zugsüberfahrt nicht ausgeschlossen werden. Die gemessenen Werte sind somit als Qualitätskriterium zu sehen und die Absolutwerte sind mit den Unsicherheiten der Schotterbewegung behaftet. Die Ergebnisse finden sich in *Bild 12*.

Die zweite Schwelle im Schotteroberbau (M5) zeigte vor der Sanierung eine hohe Auslenkung und Biegung. Dies entspricht der Wahrnehmung vor Ort, bei der die Hohllagen im Übergangsbereich Fischbauch zu Vorlandbrücken deutlich erkennbar waren. Nach dem Umbau waren die Auslenkungen deutlich geringer. Es schien jedoch nach wie vor eine Hohllage direkt am Übergang vorhan-

den gewesen zu sein. Die Situation sollte sich jedoch durch die zum Zeitpunkt der Messung noch ausstehende Sauberkeitsstopfung nochmals verbessert haben. Wichtig ist hier nochmals anzumerken, dass durch die Verbindung der Schwelle mit den Beischienen, der Mittelteil der Schwelle bei Überfahrt nach oben festgehalten wird. Die in der Messung ersichtliche geringere Auslenkung in Schwellenmitte resultierte somit nicht zwingend vom mittigen Aufreiten der Schwelle, sondern mit hoher Wahrscheinlichkeit vom versteifenden Effekt der Beischienen.

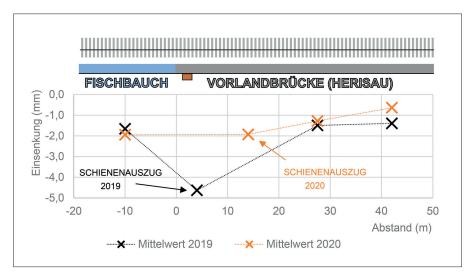
Die Schwelle an der Schienenauszugsvorrichtung (Messpunkt M6) zeigte bei der Vormessung ein leichtes Aufreiten. Nach Neulage lag die Schwelle satt im Schotter und zeigte keinerlei Biegung.

7.3 Vibrationen

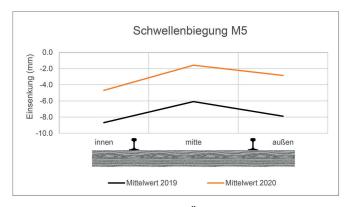
Um die Homogenität des Übergangs im Sinne der Energieübertragung an das Bauwerk zu bewerten, wurden am Punkt M7, direkt am Anschluss Fischbauch zu Vorlandbrücke, Schwingungsmessungen durchgeführt. Die bei Zugüberfahrt auf das Viadukt übertragene kinetische Energie, ist ein Maß für die Gleichmäßigkeit der Gleislage beim Oberbauwechsel und den folglich auftretenden Kraftspitzen. Es handelt sich hier also nicht um den klassischen Schwingungsschutz, bei welchem die dominierende Anregung des Zugs im Bereich von 63 Hz reduziert werden soll. Vielmehr ist das gemessene Spektrum in seiner Gesamtheit zu bewerten, da Schläge durch Störstellen im Oberbau in der Regel zu breitbandigen Anregungen führen. Der Vorher-Nachher-Vergleich in Bild 13 zeigt das gemessene Terzspektrum. Das Streuband definiert sich durch die Minimal- und Maximalwerte aller aus-

gewerteten Zugüberfahrten.

Es scheint im ersten Blick überraschend, dass im Bereich von 31,5 bis 63 Hz keine Verbesserung zu erkennen war. Der Grund hierfür liegt sehr wahrscheinlich in der Auswahl der elastischen Komponenten, welche nach dem Gesichtspunkt der Optimierung des Übergangs inklusive Schienenauszugsvorrichtung dimensioniert wurden. Schätzt man die Eigenfrequenzen des Fischbauchs mit elastischen Stützpunkten, sowie des Schotteroberbaus mit steifer Unterschottermatte ab, so liegen diese im Bereich vom 30 bis 40 Hz. Nach dem einfachen Modell des Einmassenschwingers wäre somit eine Verstärkung bis annähernd 60 Hz möglich, wobei für eine saubere Betrachtung auch die Eigenfrequenzen vor Sanierung betrachtet werden müssten. Eine grobe Abschätzung ist hier jedoch ausreichend, da durch den Wechsel von Einzelfachwerkträger auf Steingewölbe, mit entsprechendem Oberbauwechsel, die Randbedingungen im Übergangsbereich zunehmend unde-



I Bild 11: Gemittelte Schieneneinsenkungen vor (2019) und nach (2020) Sanierung



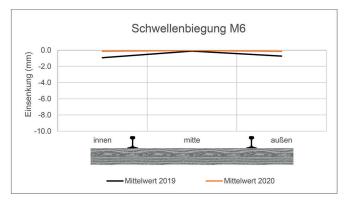


Bild 12: Schwellenbiegungen bei Überfahrt. M5 ist die zweite Schwelle im Schotteroberbau. M6 im Zentrum der Schienenauszugsvorrichtung

finiert werden und der Vertrauensbereich der analytischen Rechnung im Grunde nicht mehr gegeben ist.

Nichtsdestoweniger zeigte die Messung im Mittel eine Verminderung der ins Viadukt eingeleiteten Schwingungen von rund 5 dB, bei gleichbleibenden Pegeln in den für die Resonanz als kritisch abgeschätzten Frequenzbändern. Die Schwingungsmessungen bekräftigen den in den Einsenkungsmessungen beobachteten homogeneren Übergangsverlauf.

8 Fazit

Am Viadukt Sittertobel der Schweizerischen Südostbahn AG wurde im Rahmen der Generalsanierung der Oberbau inklusive Schienenauszug erneuert. Hierbei wurde mit modernen Komponenten und modellbasierter Steifigkeitsoptimierung ein wartungsarmer Übergang gestaltet.

Der Wechsel zwischen unterschiedlichen Unter- und Oberbauformen stellt hohe Herausforderungen an das Oberbaudesign. Speziell auf großen Brücken kommt hierbei durch die, für den Ausgleich der thermischen Längenänderung notwendige, Schienenauszugsvorrichtung, eine zusätzlich zu beachtende Störstelle ins Spiel.

Zur Verifikation der Verbesserungen am Viadukt Sittertobel wurden In-situ-Messungen vor und nach Sanierung durchgeführt. Hierbei konnte gezeigt werden, dass die Schieneneinsenkung im gesamten Übergangsbereich inklusive Schienenauszug deutlich homogenisiert wurde. Der steifigkeitsoptimierte Übergang zwischen offener Fahrbahn und Schotteroberbau spiegelt sich ebenso in den verminderten Vibrationen wider, was für die Reduktion der dynamischen Kräfte bei Überfahrt spricht.

Mit den durchgeführten Sanierungsarbeiten am Viadukt selbst und dem modernen Oberbaudesign ist der Betrieb für weitere Jahrzehnte gesichert.

#730_A5

(Bildnachweis: 1 bis 13, Verfasser)

Literatur

- Wagner, R.: Instandsetzung des Sitterviadukts; 19. Symposium Brückenbau in Leipzig; Ausgabe 1/2 2019; ISSN 1867-643X.
- [2] SBB; Regelwerk I-22068: Anforderungen der Fahrbahn an Brücken und oberbautechnische Massnahmen im Einflussbereich der Brücken; 01.03.2015.

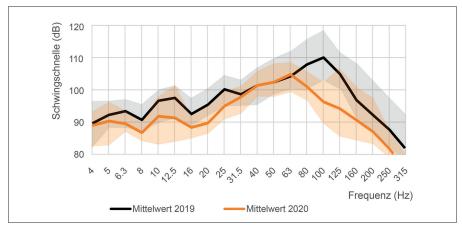


Bild 13: Vibrationsmessung am Übergang Fischbauch zu Vorlandbrücke. Bezugswert ($v_0 = 10^{-9}$ m/s)

- 3] SOB; Plan Nr.: 1392.3302; 09.04.2018.
- [4] Getzner Werkstoffe; Bericht 2020-086-REV3: Gleismessungen am Sitterviadukt im Gleisnetz der Schweizerischen Südostbahn AG; Internal Report, Bürs, 2020 (n.v.).



Dipl.-Ing. Martin Quirchmair (37). Studium der Technischen Physik an der Technischen Universität Wien. Seit 2013 Entwicklungsingenieur bei Getzner Werkstoffe GmbH mit Schwerpunkt Oberbauoptimierung und Schwingungsredukti-

on im Eisenbahnoberbau mittels Elastomeren. Von 2015 bis 2017 Projektmanager Railway für Getzner USA Inc. in Charlotte, North Carolina. Seit 2018 Entwicklungsingenieur in der Railway Division und u.a. Verantwortlicher für internationale Forschungsprojekte (z. B. Horizon 2020 – Shift2Rail), Fahrweg-Simulationen, Messungen im Gleis, Koordinator von Laboruntersuchungen und die Produktgruppe Schwellenlager.

Anschrift: Getzner Werkstoffe GmbH, Herrenau 5, 6706 Bürs, Österreich. E-Mail: martin.guirchmair@getzner.com



Dipl.-Ing. Stefan Werner (45). Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität München. Executive MBA FHO St. Gallen. Seit 2013 Fachexperte Fahrbahn bei KPZ Fahrbahn AG. Forschungsprojekte im Auftrag der Eidgenossen: "Ei-

senbahnlärm Infrastruktur 2017, Schlupfwellen in engen Bögen", "Hochdämpfende Zwischenlagen, 2020", Geschäftsfeld Forschung und Entwicklung.

Anschrift: KPZ Fahrbahn AG, Schützengasse 3, 8001 Zürich, Schweiz.

E-Mail: stefan.werner@kpz-fahrbahn.ch



Dipl. Ing. ETH Beat Burgherr (62). Studium des Bauingenieurwesens an der Eidgenössichen Techischen Hochschule in Zürich mit Diplom 1984. Bis 1997 Ingenieurtätigkeit in Ingenieurbüro für Hoch- und Tiefbau. 1997 bis 2006 Leiter Hochbauabtei-

lung und Leiter Qualitätsmanagement in Ingenieurbüro für Hoch- und Tiefbau und Umwelt in St. Gallen. 2006-2012 Projektleiter Brückenbau beim Projektmanagement SBB Region Ost. Seit 2012 Fachexperte und Senior Projektleiter Ingenieurbau beim Projektmanagement der SOB Infrastruktur in Herisau.

Anschrift: SOB Infrastruktur, Projektmanagement, Bahnhofplatz 3, 9100 Herisau, Schweiz. E-Mail: beat.burgherr@sob.ch



Dr. Harald Loy (46). Bauingenieurstudium an der Technischen Universität München, später Promotion an der Universität Innsbruck mit Auszeichnung. Ab 2000 Technischer Berater in München. Seit 2005 Entwicklungsingenieur bei Getz-

ner Werkstoffe GmbH im Bereich Forschung & Entwicklung. Von 2007 bis 2011 parallele Anstellung als Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Universität Innsbruck und derzeit Postdoc am Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme. Schwerpunkte in den Bereichen Simulation, Laborprüftechnik und In-Situ-Messungen. 2014 Nominierung für den Staatspreis für Innovation, Übernahme der Verantwortung als Leiter Team Systementwicklung. Seit 2018 Head of R&D Railway Division. Anschriften: Getzner Werkstoffe GmbH,

Herrenau 5, 6706 Bürs, Österreich.

Universität Innsbruck, Institut für Infrastruktur, Intelligente Verkehrssysteme, Technikerstr. 13, 6020 Innsbruck, Österreich.

E-Mail: harald.loy@getzner.com oder harald.loy@uibk.ac.at