

Stadt Laufen

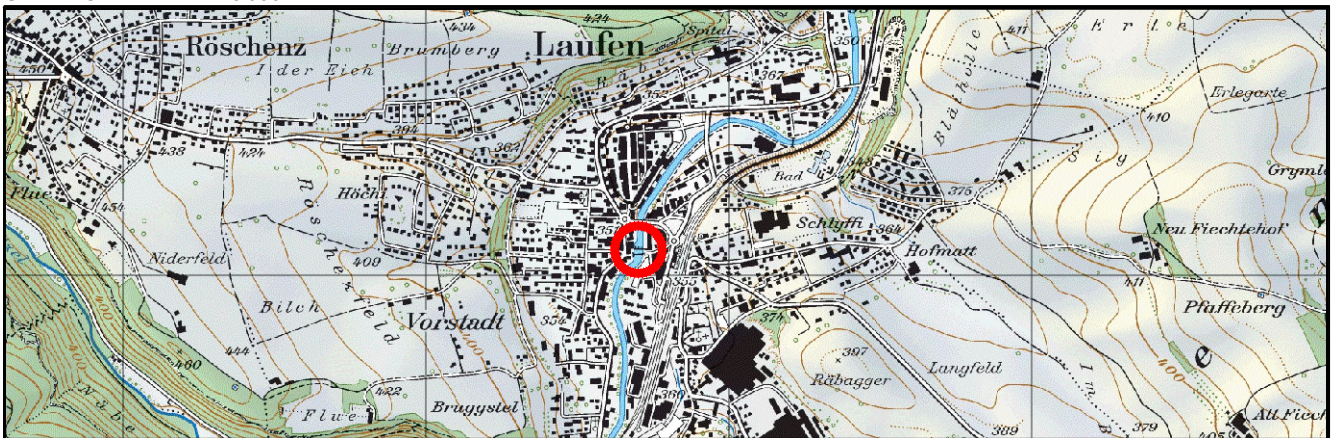
# BIRS

Hochwasserschutzkonzept

## BAUPROJEKT

### Passerelle "Wasserfall" Technischer Bericht

ÜBERSICHTSPLAN 1:25'000



CAD-SYSTEM : AutoCAD Version 2018					
PLANFORMAT : A4					
PLANNUMMER PROJEKTVERFASSER : 3752-052					
Projektverfasser  Mitarbeit 	ÄNDERUNG	ARB.	KONTR.	DATUM	
		GK	CHE	24.02.2022	
	A				
	B				
	C				
	D				

Version	Version 0	Version a	Version b
<b>Dokument</b>	Technischer Bericht		
<b>Pfad</b>	K:\MANDATS\3752_Laufen_Variantenstudium Passerelle Wasserfall\200_Technik\250_Berichte\Bauprojekt\3752 Laufen Passerelle Wasserfall_Bauprojekt_20210224.doc		
<b>Datum</b>	24.02.2022		
<b>Verfasser</b>	Alain Chevrolet		
<b>Visa</b>	Alain Chevrolet		
<b>Mitarbeit</b>	Gilles Kottelat		
<b>Zusammenarbeit:</b>			
Architektur und Heimatschutz:	Jermann Architekten und Raumplaner AG, Laufen		
Experte Stahlbaubrücken:	Ingénierie Acier, La Rippe		
Geologie:	Kiefer und Studer, Reinach		
Experte Schwingung:	Résonance Ingénieurs- Conseils SA, Carouge		
Abbrucharbeiten:	Bobaco GmbH, Laufen		
<b>Verteiler</b>	Stadt Laufen TBA BL Abt. Wasserbau		

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
1. Einleitung	3
2. Beschrieb der gewählten Brücke (Konzept)	4
3. Geometrie und statisches System der Passerelle	5
4. Widerlager	5
5. Lastannahmen	5
6. Belag	6
7. Werkleitungen	6
8. Abbruch der bestehenden Brücke	6
9. Schwingungsdämpfer	7
10. Montage	7
11. Vereinbarkeit mit dem Birs-Projekt	8
12. Kostenschätzung (+/- 10%)	9
13. Schlusswort	10
14. Anhang A – Montageskizze	11
15. Anhang B – Detaillierter Kostenvoranschlag – Stahlbau	12
16. Anhang C – Detaillierter Kostenvoranschlag – Abbruch Birsbrücke Wasserfall (Bobaco GmbH)	17
17. Anhang D – Schwingungsschutz (Résonance Ingénieurs-Conseils SA)	21

#### Anhänge (zusätzliche Dokumente)

3752-050  
3752-051

Passerelle Wasserfall - Situation / Längenprofil / Schnitt  
Passerelle Wasserfall - Freibord

## 1. Einleitung

Das Hochwasserereignis an der Birs vom 8./9. August 2007 erreichte bei der Messstelle Münchenstein den höchsten je gemessenen Abfluss seit Beginn der Messungen vor 100 Jahren. Das Gerinne der Birs vermochte über etliche Strecken das Hochwasser schadlos abzuführen. An verschiedenen Stellen des gesamten Einzugsgebietes sind jedoch sowohl in Siedlungsbereichen als auch in landwirtschaftlich genutzten Zonen Ausuferungen aufgetreten, die grosse Schäden zur Folge hatten. Die Auswirkungen des Hochwassers waren in Laufen dramatisch. Die gesamte Altstadt sowie die Gebiete Norimatt, Schliffweg, Postgarage - Bahnhof und Delsbergerstrasse standen unter Wasser.

Das Hochwasserschutzkonzept Laufen, welches im Auftrag des Tiefbauamtes des Kantons Basel-Landschaft ausgearbeitet wurde, hat die Schwachpunkte am Gerinne aufgezeigt.

Einer dieser Schwachpunkte ist die bestehende Passerelle aus dem Jahre 1970 beim Wasserfall. So fehlt ein ausreichendes Freibord und der Mittelpfeiler der Brücke kann zu Verklausungen des Durchflussprofils infolge von Schwemmholztransport führen. Das Hochwasserschutzkonzept sieht deshalb den Ersatz der Passerelle vor.

In einer ersten Phase wurde im Auftrag der Stadt Laufen ein Variantenstudium durchgeführt. Ziel des Variantenstudiums war die Überprüfung verschiedener Brückentypen und deren Integration ins Orts- und Landschaftsbild unter Berücksichtigung der hydraulischen Randbedingungen des Hochwasserschutzkonzeptes. Das Variantenstudium wurde mit der Vorstellung von 2 möglichen Brückentypen, Variante 1 „Schrägseilbrücke“ und Variante 2 „Stahlkastentragwerk“ abgeschlossen.

Die Stadt Laufen hat sich entschlossen die Variante 2 „Stahlkastentragwerk“ weiterzuverfolgen und ein Bauprojekt auszuarbeiten.

Der Projektauftrag für die Ausarbeitung des Bauprojekts wurde durch die Stadt Laufen an das Ingenieurbüro ATB SA erteilt.

## 2. Beschrieb der gewählten Brücke (Konzept)

Mit der Wahl des Stahlkastentragwerks konnte eine filigrane Brücke gewählt werden, welche sich gut ins Orts- und Landschaftsbild einfügt. Die Vorgabe des Hochwasserschutzkonzeptes eine Brücke ohne Mittelpfeiler zu planen wird erfüllt. Die Freibordhöhe von 1.00 Meter kann im Widerlagerbereich nicht eingehalten werden. Durch die leichte Krümmung der Tragkonstruktion und der Fahrbahnplatte ( $i_{\max} = 6\%$ ) wird die Freibordhöhe im Scheitel der Brücke so überschritten, dass im Mittel 1.00 Meter freie Höhe gewährleistet ist (in Absprache mit TBA BL Abt. Wasserbau).

Die Linienführung der neuen Brücke entspricht der Lage der bestehenden Brücke, allerdings wird die Brücke auf der Seite Portlandstrasse um rund 60 cm höher liegen als bisher.

Mit einer lichten Breite von 3.00 Metern kann die Passerelle gleichzeitig von Fussgängern und Velofahrern genutzt werden.

Die Werkleitungen (Gas, Wasser, Strom, TV, Telefon, etc.) werden im Innern des Stahlkastenprofils geführt.



*Ansicht von der Brücke Bahnhofstrasse.*

### 3. Geometrie und statisches System der Passerelle

Als statisches System wurde ein «einfacher Balken» mit einer Spannweite von 39.84 Meter (Achsmass zwischen den neuen Widerlagern) gewählt.

Im Vergleich zum Vorprojekt wurde die Spannweite des Bauwerks leicht erhöht. Die Gründe für diese Erhöhung werden in Kapitel 4 beschrieben.

Die Widerlager wurden in Längsrichtung mit je zwei festen (Portlandstrasse) und zwei beweglichen Topflager (Delsbergerstrasse) dimensioniert. In Querrichtung ist die Brücke zur Aufnahme der Torsionskräfte eingespannt. Auf der Seite Delsbergerstrasse ist eine Dilatationsfuge vorgesehen, um die Temperaturexpansion der Brücke aufzunehmen.

Das maximale Längsgefälle der Brücke beträgt 6% und ermöglicht auch ein Überqueren durch gehbehinderte Benutzer. Der Scheitelpunkt der Brücke liegt etwas exzentrisch zur Mitte, Seite Portlandstrasse. Ein Quergefälle ist nicht vorgesehen. Die Oberflächenentwässerung erfolgt je halbseitig in Längsrichtung.

Die gesamte Brücke wurde nach den aktuell gültigen SIA Normen dimensioniert. Sämtliche Bauteile aus Stahl werden in der Qualität S355 ausgeführt. Es sind Rippenbleche im Abstand von rund 3.80 Meter vorgesehen, welche in Längsrichtung mit drei Versteifungselementen verbunden sind.

Die Stahlkonstruktion hat ein mittleres Gewicht von 1400 kg/m<sup>1</sup>.

Die Filigranität der Brücke (Verhältnis: Spannweite / statische Höhe/ lichte Breite) ist der zentrale Punkt dieses Projektes. Das Verhältnis Länge / Höhe ist grösser als 50. Diesem Punkt wurde in der Dimensionierung des Tragwerks aus Gründen der Durchbiegung und der Vibrationen speziell Beachtung geschenkt.

### 4. Widerlager

Die im Bauprojekt vorgesehenen Widerlager befinden sich hinter der bestehenden Ufermauer. Dies wird durch eine klarere Lastabtragung, die Beseitigung des Risikos von Rissen in der bestehenden Mauer und vor allem durch die Verringerung der Inspektionskosten für die im Vorprojekt vorgesehenen Zuganker gerechtfertigt. In der Lösung des Bauprojekts sind die Zuganker nicht mehr erforderlich. Die geneigten Mikropfähle werden auf Druck belastet und im Fels verankert.

### 5. Lastannahmen

Die dem Projekt zu Grunde gelegten Lastannahmen entsprechen der SIA-Norm 261. Es wurde der Fall einer Brücke ohne motorisierten Verkehr angenommen. Die maximale Punktlast wurde für die Passerelle von 1 Tonne auf 2 Tonnen erhöht. Ein einzelnes leichtes Unterhaltsfahrzeug (Gewicht < 3.5 To.) kann somit die Brücke befahren.

## **6. Belag**

Für das Projekt wurde ein SIKA Elastomastic-Belag (Lösemittelfreier Epoxid-Polyurethan-Hybrid-Flüssigkunststoff) vorgeschlagen. Diese Art der Belag hat sich bereits in vielen anderen Projekten bewährt. Diese Belagsform ermöglicht es zudem, die Einbauhöhe und die ständigen Lasten auf das Bauwerk zu verringern. Der Belag ist in der Farbe Staubgrau (~RAL 7037) vorgesehen. Geringe Farbtonabweichungen von den aufgeführten Farbtönen sind aus rohstoffbedingten Gründen unvermeidbar. Dieser Belag dient zusätzlich als Abdichtung.

Ein Muster der Elastomastic-Beschichtung wurde der Baukommission in Laufen vorgelegt und durch diese genehmigt.

## **7. Werkleitungen**

Die Leitungen waren beim Vorprojekt in einer Blechverkleidung an der Aussenseite des Bauwerks vorgesehen. Nach der genaueren Analyse des Bauprojekts stellte sich heraus, dass die Versorgungsleitungen in den Kasten der Stahlkonstruktion integriert werden können (kein Konflikt mit dem Schwingungsdämpfer). Dies stellt eine ästhetisch bessere und kostenoptimierte Lösung dar.

## **8. Abbruch der bestehenden Brücke**

Es ist vorgesehen die bestehende Brücke in zwei Etappen zu rückzubauen. Zuerst wird die Brückenplatte abgebrochen. Der Mittelpfeiler wird in einer ersten Phase stehen gelassen und dient der Montage der neuen Stahlkastenbrücke. Nach Abschluss der Montage der neuen Passerelle wird der Mittelpfeiler definitiv abgebrochen.

## 9. Schwingungsdämpfer

Die Filigranität der Brücke (Verhältnis: Spannweite / statische Höhe) ist der zentrale Punkt dieses Projektes. Da dieser Koeffizient in diesem Projekt sehr gross ist, muss die Problematik der Vibrationen (die für die Nutzer störend sein können) sorgfältig analysiert werden.

Eine Studie wurde Ingenieurbüro «Résonance Ingénieurs-Conseils SA» durchgeführt, einem international anerkannten Spezialisten in diesem Bereich.

Der folgende Absatz fasst den Bericht der Schwingungsanalyse zusammen (der gesamte Bericht, in französischer Sprache, befindet sich im Anhang).

Die Frequenz des ersten dominant vertikaler Schwingungsform der Passerelle beträgt rund 1,47 Hz und liegt zwischen den kritischen Frequenzen 1,25 Hz und 2,3 Hz. In diesem Frequenzbereich könnte eine Fussgängerbrücke mit den Gehfrequenzen der Benutzer in Resonanz treten und Vibrationen erzeugen, welche störend wirken würden. Für die Schwingungsbewertung von Fussgängerbrücken wurden drei dynamische Belastungsszenarien definiert, die auf dem europäischen Studie JRC (2009) basieren. Für jedes Szenario wurden auf der Grundlage desselben JRC-Studie (2009) realistisch einzuhaltende Schwingungsgrenzwerte gewählt. Vereinfachte Berechnungen der Beschleunigungen in vertikaler Richtung der Brücke haben gezeigt, dass diese Schwingungsgrenzwerte eindeutig nicht eingehalten werden. Um die Vibrationen der Brücke auf ein akzeptables Level zu reduzieren, wird vorgeschlagen, einen abgestimmten dynamischen Dämpfer in der Mitte der Spannweite der Brücke zu installieren.

Der Einbau eines Schwingungsdämpfers erfordert eine Einstellung vor Ort, sobald die Brücke in Betrieb ist. Aus diesem Grund ist eine Klappe vorgesehen. Der Bodenbelag wird in einer ersten Phase so beschaffen sein, dass die Klappe geöffnet werden kann, um die Einstellungen der Schwingungsdämpfer zu ermöglichen. Wenn diese Einstellungen abgeschlossen sind, wird der Bodenbelag an dieser Stelle fugenlos ausgeführt werden (bessere Wasserdichtigkeit).

## 10. Montage

Die Passerelle soll in einem einzigen Element eingeschwenkt werden (Gesamtgewicht ~60 Tonnen). Die Passerelle muss auf einem Platz in der Nähe des Wasserfalls (z.B. Installationsplatz bei der Eishalle) zusammengebaut und vorbereitet werden (die Brücke wird mit den Geländern vorbereitet). Danach wird die Passerelle in einem Stück vom Montageort zum Wasserfall transportiert.

Ein Hauptkran hebt die Passerelle und schwenkt diese von der Seite Portlandstrasse ein. Ein zweiter Kran (kleiner, an der Delsbergstrasse vor dem Rahmenatelier Amacher stationiert) ermöglicht die Führung des Stegs und das Aufsetzen auf eine provisorische Zwischenstütze (Pfeiler der bestehenden Brücke, der später abgebaut werden soll). Anschließend heben beide Kräne die Brücke für die endgültige Platzierung an und versetzen diese auf den vorbereiteten Widerlagern.

Um den Verkehr in der Portlandstrasse nicht übermässig zu stören und die Zufahrten der Lieferanten der Migros zu garantieren, muss an einem Wochenende (Samstagabend bis Montagmorgen) gearbeitet werden



## 11. Vereinbarkeit mit dem Birs-Projekt

Die Realisierung der neuen Passerelle ist abhängig von der Realisierung der Hochwasserschutzmassnahmen an der Birs. Das Bauprojekt der Passerelle wurde mit den kantonalen Stellen (TBA BL Abt. Wasserbau) abgestimmt. Aus diesen Diskussionen ergaben sich die unteren Höhen der Brückendecke, da diese ein ausreichendes Lichtraumprofil ermöglichen müssen (siehe Plan ATB SA Nr. 3752-051). Dabei muss das Widerlager am rechten Ufer der Birs aus hydraulischen Überlegungen höher sein (Kurvenaussenseite der Birs), als das Widerlager am linken Ufer. Die Brücke ist also nicht symmetrisch. Die Brücke kann als eigenständige Baustelle unabhängig von den Bauarbeiten des Birs-Hochwasserschutzprojektes realisiert werden (es sind kaum Synergien zwischen den beiden Baustellen vorhanden).

## 12. Kostenschätzung (+/- 10%)

NPK - Kapitel		CHF	Total NPK - Kapitel
111	Regiearbeiten	CHF	10'000
112	Prüfungen	CHF	1'600
113.1	Baustelleneinrichtungen allgemein	CHF	15'000
113.2	Baustelleneinrichtungen Rückbau bestehende Brücke	CHF	31'300
113.3	Baustelleneinrichtungen Stahlbauarbeiten	CHF	56'200
116.0	Holzen und Roden	CHF	5'000
117.1	Abbrüche und Demontagen allgemein	CHF	12'000
117.2	Abbrüche und Demontagen Rückbau bestehende Brücke	CHF	164'500
151	Bauarbeiten für Werkleitungen	CHF	14'000
171	Mikropfähle	CHF	57'650
211	Baugruben und Erdbau	CHF	19'000
213	Wasserbau	CHF	8'000
221	Foundationsschichten für Verkehrsanlagen	CHF	7'300
222	Pflästerungen und Abschlüsse	CHF	9'000
223	Belagsarbeiten	CHF	11'300
237	Kanalisationen und Entwässerungen	CHF	6'500
241	Ortbetonbau	CHF	35'900
244	Lager für Brücken	CHF	17'500
321.1	Stahlbauarbeiten Brücke	CHF	287'800
321.2	Stahlbauarbeiten Geländer	CHF	60'450
321.3	Stahlbauarbeiten Schwingungsdämpfer	CHF	48'000
574	Beleuchtung	CHF	32'500
	Zwischentotal	CHF	910'500
	Diverses und Unvorhergesehenes	CHF	94'500
	Geologisches Gutachten und fachliche Begleitung	CHF	15'000
	Honorare SIA Phasen 33 - 53	CHF	130'000
	<b>Gesamtbausumme</b>	<b>CHF</b>	<b>1'150'000</b>
	Mwst 7.7%	CHF	88'600
	<b>Gesamtbausumme inkl. MwSt (Kreditsumme)</b>	<b>CHF</b>	<b>1'238'600</b>

### 13. Schlusswort

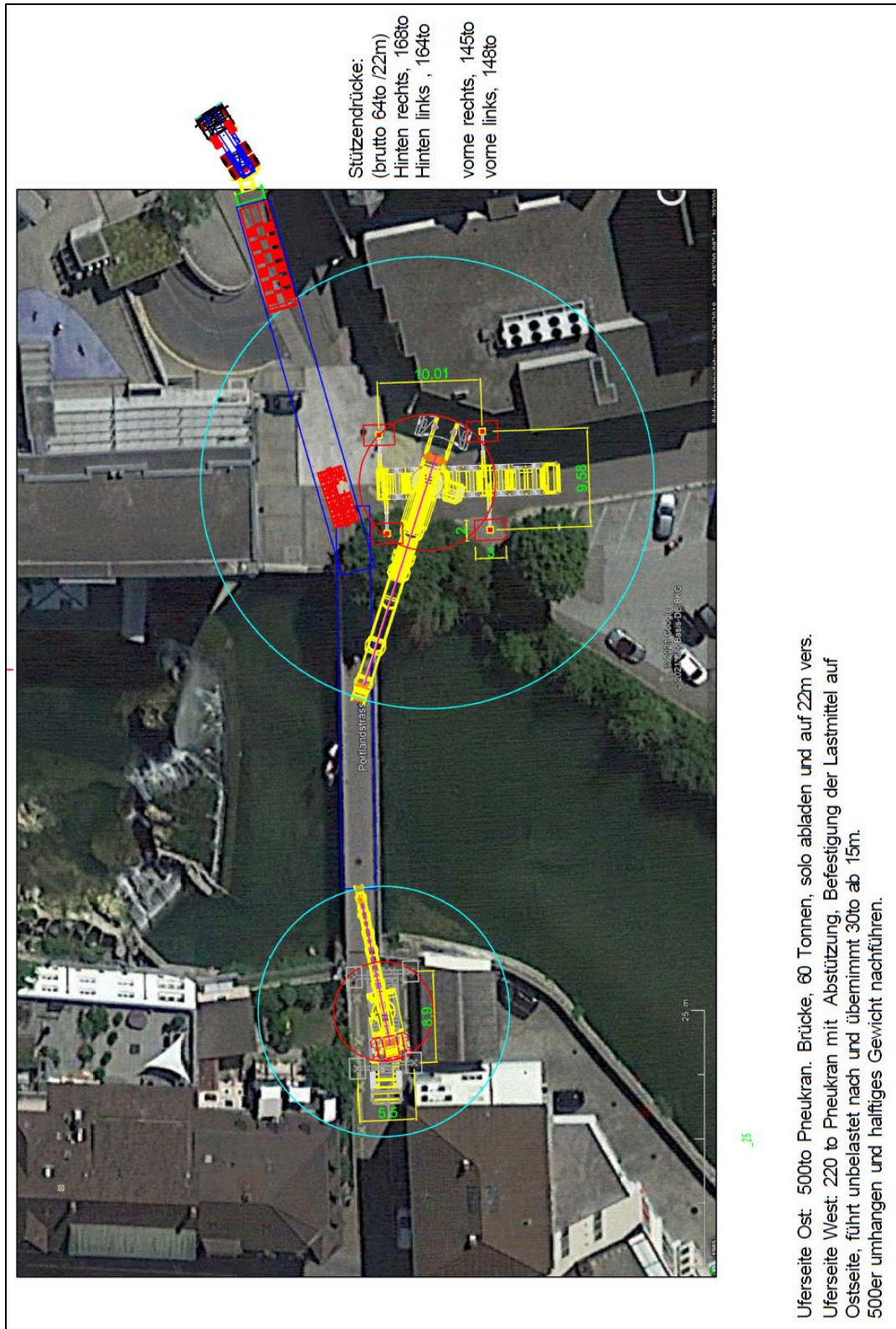
Mit dem Dossier des Bauprojekt des Neubaus der Passerelle beim Wasserfall in Laufen, besitzt die Stadt Laufen die nötigen Unterlagen für folgende weiteren Schritte:

- Kreditgenehmigung durch Einwohnergemeindeversammlung
- Öffentliche Planaufgabe
- Wasserbaupolizeiliche Genehmigung durch Kanton Basel-Landschaft
- Ausarbeitung Ausführungsprojekt
- Verhandlungen mit Werkleitungseigentümern
- Ausschreibung der Bauarbeiten in Losen (Tiefbauarbeiten, Stahlbauarbeiten, etc.)
- Anwohnerinformation
- Vorbereitung der Bauarbeiten
- Rückbau bestehende Brücke
- Tiefbauarbeiten
- Montage neue Passerelle
- Abschluss- und Anpassungsarbeiten

Laufen, den 24. Februar 2022

ATB SA

## 14. Anhang A – Montageskizze



## 15. Anhang B – Detaillierter Kostenvoranschlag – Stahlbau

Pos	Menge	Artikel / Bezeichnung	E-Preis	Total CHF
113	1.00 gl	<b>INSTALLATIONSPAUSCHALE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Werkzeug- und Personalcontainer</li> <li>• Beleuchtung Einhub</li> <li>• Schweiss- &amp; Beschichtungseinhausungen</li> </ul>	18'000.00	18'000.00
113.2	1.00 gl	<b>TRANSP. &amp; KRANARBEITEN</b> Transporte & Krane Vormontage und Einhub  <b>Hinweis</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zur Zeit ist nichts bekannt, wo Leitungen und Keller im Brückenlagerbereich verlaufen. Wir gehen von keinen Einschränkungen aus und die störenden Bäume werden vorgängig bauseits entfernt</li> <li>• Einhub gemäss Krankonzept SENN AG</li> <li>• Die für die Kraneinsätze nötigen geotechnischen Abklärungen &amp; Bemessungen sowie allfällige bauliche Untergrunds-Vorbereitungsmassnahmen werden als bauseitige Leistungen vorausgesetzt.</li> </ul>	38'200.00	38'200.00

244	1.00 Stk	<b>LAGER</b> Brückenlager Elastomer	17'500.00	17'500.00
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Stk XYZ</li> <li>• 2 Stk Z</li> <li>• 1 Stk YZ</li> </ul> <p>Liefem und Versetzen der Fahrbahnübergänge bauseits Bei einer entsprechenden Detail- und Produktspezifikation kann der Preis nachgereicht werden.</p>		
<b>10 STAHLBAU</b>		<b>Stahltragwerk</b>		
112	1.00 gl	<b>PRÜFUNGEN</b>	7'000.00	7'000.00
321.1	1.00 gl	<b>PLANUNG</b> Leistungsumfang SENN AG Planungsphase Stahlbau	40'000.00	40'000.00
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnittstellen- &amp; Montageablaufbesprechung Stahlbau / Beton / Werkleitungen / Lager / Beleuchtung / Erdung/ Brückenbelag</li> <li>• erstellen eines BIM - kompatiblen 3D-Modells (z.B. Tekla Structures - IFC) für Brücke und Geländer</li> <li>• Zusammenbauabfolge- und Schweissnahtkonzeption gemeinsam mit Projektverfasser</li> <li>• Genehmigungs- und Übersichtspläne</li> <li>• QM-Prüfplan</li> <li>• Werkstattpläne, Arbeitsvorbereitung, Stücklisten</li> <li>• Fabrikations-, Transport- &amp; Montagekonzept</li> </ul> <p><b>bauseitige Leistungen Planungs- und Ausführungsphase</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Architektur und Bauingenieurleistungen insbes. Statik &amp; Schwingungsanalyse Stahlbau</li> <li>• Werkleitungsplanung</li> <li>• Keller- und Leitungssondage, Kontrolle Leitungskathaster am Vormontageplatz und an Kranstandorten Einhub</li> <li>• Geometerleistungen Planungs- und Ausführungsphase</li> <li>• Bauleitung &amp; Koordination</li> <li>• Gerüste &amp; Geländer an den Widerlager</li> <li>• übrige Gewerke</li> <li>• Abschränkung gegenüber der Öffentlichkeit</li> <li>• ebener tragfähiger Untergrund am Vormontageplatz Eishalle für LKW, Pneukran und Gabelstapler</li> </ul>		

321.2	50.00 To	<b>MATERIAL</b>	1'650.00	82'500.00
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material inkl. Schrauben, allfällige Kopfbolzen und Schweissgut für die Brücke "Wasserfall"</li> <li>• Alles Primärtragwerksbauteile in S355 J2 inkl. Zuschnitt, Verschnitt &amp; Handling</li> <li>• Material versteht sich als Mischpreis für Walzprofile, Bleche und warmgewalzte Rechteck-Hohlprofile.</li> <li>• Das Ausmass erfolgt über das "ausgenordete" umhüllende Rechteck (kleinstes umhüllendes Rechteck</li> <li>• Teuerung gemäss KBOB Gleitpreisformel</li> <li>• Index-Stichtage = Offertdatum des Unternehmers und Bestelldatum beim Walzwerk</li> <li>• reine Materialkosten ohne Handling und Anarbeitung = CHF 1'400.-/to (nur relevant für Teuerungsabrechnung)</li> </ul>		
321.3	50.00 To	<b>FABRIKATION</b>	1'640.00	82'000.00
321.5	160.00 m <sup>2</sup>	<b>BESCHICHTUNG BRÜCKENTROG</b> Beschichtung C4 VH nach EN12944-5 Beschichtungsstoffe nach ISO 12944 (TL/TP-KOR Blatt 87 oder Blatt 97) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strahlen mit mineralischem Strahlgut, Reinheitsgrad Sa 2½ &amp; Oberflächenvergrösserung &gt; 18%</li> <li>• 1 x 2K-EP Zinkstaubgrundierung, Sollschichtdicke 60 my, SikaCor ZinkR, Grau</li> <li>• 1 x 2K-EP-Kantenbeschichtung, Sollschichtdicke 60 my, Zinkphosphat SikaCor, Rotbraun</li> <li>• 2 x 2K-EP Zwischenbeschichtung, Sollschichtdicke 2 x 80 my, SikaCor EG 1, mit Farbabstufung DB703</li> <li>• 1 x 2K-PUR Deckbeschichtung UV-beständig, Sollschichtdicke 60 my, SikaCor EG4, z.B. DB 702</li> </ul> <p><b>Total Sollschichtdicke 280 my / Mindestschichtdicke 224 my + 25 my Rauigkeitszuschlag = 249 my</b></p> <p>Schraubenhöfe bei HV-Verbindungen nach 1. Zwischenbeschichtung abkleben Schrauben und Schraubenhöfe bei der Montage mit 1 x EG 1 und 1 x EG 4 beschichten</p> <p>Werkleitungslerröhre aus Edelstahl 1.4301 werden nicht beschichtet</p> <p>QM - Massnahmen und Fremdüberwachung &amp; Begleitung durch Farbsystemlieferant (z.B. Sika) sind im Preis enthalten.</p>	75.00	12'000.00

Bei einem Beizung von SCE als Fachbauleitung Beschichtung macht der Unternehmer Mehrkosten von ca. CHF 25'000.- geltend.

321.6	160.00 m <sup>2</sup>	<p><b>DECKANSTRICH BAUSTELLE</b> Mehrpreis in CHF / m<sup>2</sup> für Deckanstrich auf der Baustelle:</p> <p>Aufgrund der zentralen Lage der Brücke Wasserfall empfehlen wir, den Deckanstrich auf der Baustelle mit dem Farbroller zu applizieren. Dadurch entsteht ein homogenes optisches Erscheinungsbild, demgegenüber der werkseitige Deckanstrich mit dem Baustellenstossausbesserung bleibend sichtbar ist.</p>	15.00	2'400.00
321.7	120.00 m <sup>2</sup>	<p><b>BESCHICHTUNG BRÜCKENFAHRBAHN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strahlen SA 2 ½ mit Oberflächenvergrößerung ≥ 18%</li> <li>• Grundbeschichtung 1 x 80my 2K EP Zinkstaub z.B. SikaCor Zink R oder HM Primer, Applikation: Vorstreichen von Ecken, Kanten und schlecht zugänglichen Stellen mit Pinsel und Roller, übrige Flächen airless gespritzt</li> <li>• Zwischenbeschichtungen 1 x 80my 2K EP-Primer z.B. SikaCor HM Primer</li> <li>• Zähelastische, rutschfeste TF-Beschichtung z.B. Sika Elastomastic TF, Applikation: Mit Zahntraufel und Nacharbeiten mit Stachelwalze, nach dem 1. Arbeitsgang abgestreut mit feinem Quarzsand, nach dem 2. Arbeitsgang mit Schmelzkammerschlacke oder Quarzsand, Gesamt-Schichtdicke ca. 5 mm</li> <li>• TF-Versiegelung 1 x 2K PU Eisenglimmer z.B. SikaCor EG 4 oder SikaFloor 359N</li> </ul>	170.00	20'400.00
321.8	1.00 gl	<p><b>MONTAGE</b> <b>Leistungsumfang SENN AG:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vormontage und Montage der Brücke inkl. Geländer auf Vormontageplatz Eisbahn</li> <li>• inkl. Hilfskonstruktionen zur Gewährleistung der Bauzustands-Stabilität</li> </ul> <p><b>bauseitige Leistungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkehrssignalisation &amp; Verkehrsregelung</li> <li>• Sämtliche Arbeitsgerüste &amp; Geländer im Wiederlagerbereich</li> <li>• Abschränkungen gegenüber der Öffentlichkeit = bauseits</li> <li>• übrige Gewerke</li> </ul>	34'000.00	34'000.00



321.51	1.00 gl	<b>AUSBESSERUNG SCHWEISSSTOSS OFS</b> Fachgerechte Nachbearbeitung der Oberflächen und Ergänzung und Instandstellung des Oberflächenschutz.		7'500.00
			<b>TOTAL Stahltragwerk</b>	<b>287'800.00</b>
<b>20 GELÄNDER</b>				
321.9	77.50 Lfm	<b>GELÄNDER</b> Herstellung und Lieferung des Staketengeländers Das Staketen-Handlaufdetail ist gemäss Zeichnung aus Sicht Oberflächenschutz eher problematisch und sollte noch diskutiert werden. Als Handlauf empfehlen wir ein UPE120 mit angefrästem Radius 3mm anstelle des Abkantprofils	780.00	60'450.00
<b>Oberflächenschutz:</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feuerverzinkt nach EN1461 &amp; staubstrahlen</li> <li>• 80my EP Grundanstrich, 80my PU Deckanstrich z.B. DB 702</li> </ul>				
Hinweis: die gewählte Korbbogenkonstruktion ist sehr teuer. Jedes Bauteil muss Plasma- oder Lasergeschnitten werden und von Hand verputzt und mit R = 2mm vesehen werden				
Das LED-Halte-Profil und die LED-Beleuchtung sind nicht Bestandteil des Angebots				
			<b>TOTAL</b>	<b>60'450.00</b>

## 16. Anhang C – Detaillierter Kostenvoranschlag – Abbruch Birsbrücke Wasserfall (Bobaco GmbH)

		<u>Abbrucharbeiten</u>				
		Rückbau der bestehenden Brücke inkl Entsorgung				
1	A	Allgemeine Installation	P	1.000	3'000.00	3'000.00
2		Zufahrtsrampe mit Belag auf Coop Parkplatz über Rabatte, inkl Rückbau	P	1.000	2'500.00	2'500.00
3		Fundamente für Baukran Potain MD 175, inkl Demontage auf Coop Parkplatz	P	1.000	2'000.00	2'000.00
4		Installation Kran wie MD 178,45m/3.4to und Demontage	P	17'000.000	1.00	17'000.00
5		Miete pro Monat	mt	1.000	6'000.00	6'000.00
6		Kranführer	Mt	13'500.000	1.00	13'500.00
7		Bautüre aus Blech. Gleiche Schlösser/Schlüssel	Stk	3.000	250.00	750.00
8		Absperrwand geschlossen Holz, Holz Höhe 2m, inkl Miete 1 Monat	m1	35.000	100.00	3'500.00
9		Abpserlatten 2 Reihig inkl Miete 1 Monat	m1	120.000	15.00	1'800.00
10		Baustromkasten 250 Amp inkl Miete und Zuleitung 60m	Mt	2.000	750.00	1'500.00
11		Verkehrsführung Personal	Std	54.000	65.00	3'510.00
12						
				Übertrag	110'120.00	110'120.00

13	Wasserinstallation ab Hydrant	p	1.000	250.00	250.00
14	Instandstellen Platz Gerster als Lagerplatz	An	1.000	3'000.00	3'000.00
15	Roden Bäume	Le	Bauseits		
B	Abbrucharbeiten inkl entsorgen und Gebühren				
16	Brücken Geländer	m1	80.000	15.00	1'200.00
17	Erstellen Auflager Joch für HEB Träger Aus Stahl. Ausladung 4.8	Stk	4.000	2'500.00	10'000.00
18	Stahlträger HEB 300 20m Längs. Auflager für Boden.	Stk	8.000	500.00	4'000.00
19	Montage Boden	m2	192.000	75.00	14'400.00
20	Geländer Gerüst	m1	80.000	18.00	1'440.00
21	PVC Folie für Schneidewasser	m2	192.000	6.00	1'152.00
22	Scheidearbeiten				
23	Instalation Schneiden	Stk	10.000	250.00	2'500.00
24	Schneiden in Etappen Horiz. u Vertikal	m2	70.000	450.00	31'500.00
25	Umstellen	Stk	80.000	25.00	2'000.00
26	Sägewasser abpumpen in Mulde	Std	135.000	10.00	1'350.00
Übertrag				145'584.00	255'704.00

27	Bedienung zu Pumpe	Std	75.000	75.00	5'625.00
28	Pumpwasser entsorgen	to	20.000	75.00	1'500.00
29	Installation Bohren	Stk	5.000	200.00	1'000.00
30	Bohren Nw100mm	cm	1'200.000	5.00	6'000.00
31	Ausbau Ausbau Konsolen 70cm Breit	m	80.000	75.00	6'000.00
	Brückenplatte oben 1.40 Breit	m	40.000	75.00	3'000.00
32	Einbau Stahlträger mitte Bodenplatte als Sicherung	m	40.000	45.00	1'800.00
33	Ausbau Element Re Li 65*30cm	m	80.000	75.00	6'000.00
34	Bodenplatte inkl Stahlträger Länge 20.m 1.4*0.16 Total 2 Teile	LE	13'000.000	1.00	13'000.00
35	Rückbau Pfeiler 2.00*0.3, Höhe 1.5m, Oberer Teil	Stk	1.000	1'500.00	1'500.00
36	Rückbau unterer Teil Mittelpfeiler. Liefern Kies zum Mittelpfeiler. Abspitzen Pfeiler inkl Fundament mit 3to Bagger. Abtransport	Le	7'500.000	1.00	7'500.00
37	Aufwand Sahlträger für Sicherungen, Lohnarbeiten	LE	1.000	15'000.00	15'000.00
Übertrag				135'850.00	391'554.00

38	Diverses	LE Bauseits	
	<b>Zusammenstellung:</b>		
	<b>Abbrucharbeiten</b>		<u>195'777.00</u>

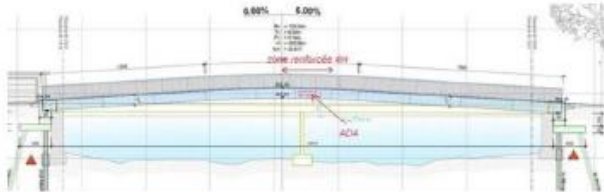
## 17. Anhang D – Schwingungsschutz (Résonance Ingénieurs-Conseils SA)

**Résonance**

Mandataire : Bureaux d'ingénieurs ATB SA et Ingénierie Acier

Passerelles piétonnes sur la Birse à Laufen

**PROTECTION VIBRATOIRE**




Rapport technique

**RÉSONANCE Ingénieurs-Conseils SA**  
21 rue Jacques Grosselin  
CH-1227 CAROUGE (Genève)

Tél. +41 22 301 02 53  
E-Mail [resonance@resonance.ch](mailto:resonance@resonance.ch)  
<https://resonance.ch>

Carouge, le 27 juillet 2021

NT-5142.01/CB/FD



**Table des matières**

<b>1. Situation initiale et objectif .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Description succincte des passerelles .....</b>	<b>2</b>
2.1 Géométrie des passerelles.....	2
2.2 Fréquences propres et déformées modales de la passerelle Wasserfall .....	3
<b>3. Scénarios de charges dynamiques de la passerelle et limites vibratoires .....</b>	<b>5</b>
3.1 Scénarios de charges dynamiques de la passerelle .....	5
3.2 Limites vibratoires.....	6
<b>4. Niveaux vibratoires calculés et solution pour réduire les vibrations .....</b>	<b>6</b>
4.1 Niveaux vibratoires calculés .....	6
4.2 Prédimensionnement des ADA.....	7
<b>5. Conclusion .....</b>	<b>8</b>
<b>6. Littérature.....</b>	<b>9</b>

Page titre : *Elévation de la passerelle Wasserfall.*

## 1. Situation initiale et objectif

Le projet de construction de passerelles piétonnes sur la Birse à Laufen comprend 2 passerelles presque identiques (passerelle Wasserfall et passerelle Eishalle) en acier d'une portée d'environ 40 m. Le projet en est au stade de projet d'ouvrage pour valider le concept des passerelles et donner une enveloppe budgétaire.

Des premiers calculs de comportement dynamique en 2016, avaient montré que la fréquence propre des passerelles était dans la plage de fréquences à éviter suivant les règles SIA 260. Ainsi, un calcul devrait être réalisé pour définir la nécessité de mettre en place un système d'atténuation des vibrations.

Dans ce cadre, les bureaux d'ingénieurs SA et Ingénierie Acier, concepteurs des passerelles, ont demandé à Résonance Ingénieurs-Conseils SA d'évaluer les vibrations sous les charges de service pour apprécier la nécessité de mettre en place un système d'atténuation des vibrations par amortisseurs dynamiques accordés (ADA) et, le cas échéant, de réaliser un prédimensionnement des ADA pour définir leur position et masse. Un ADA est un oscillateur (système de masse et de ressort) qui est amorti par un amortisseur. La fréquence du système doit être accordée à la fréquence cible de la structure de telle sorte que le mouvement de la masse soit en opposition de phase à celui de la structure. Ainsi, la masse en mouvement récupère l'énergie de la structure et la dissipe dans l'amortisseur.

Comme les passerelles sont presque identiques, seule la passerelle Wasserfall est analysée. Les conclusions peuvent être appliquées à la passerelle Eishalle. Ce rapport présente :

- la géométrie des passerelles, leurs fréquences propres et leurs déformées modales, transmises par le bureau Ingénierie Acier ;
- la définition et proposition de scénarios de charges dynamiques de la passerelle, et du référentiel de confort attendu pour les utilisateurs, suivant le guide Sétra (2006) et rapport JRC (2009) ;
- les résultats d'un calcul simplifié des niveaux d'accélération sur les passerelles pour les scénarios de charge dynamique. Ce calcul simplifié est basé sur des hypothèses prudentes pour obtenir un ordre de grandeur des accélérations. L'analyse des résultats permettent de vérifier l'utilité de la mise en place d'ADA ;
- le prédimensionnement des ADA (masse et position) pour permettre la consultation d'un fournisseur par Ingénierie Acier.

## 2. Description succincte des passerelles

### 2.1 Géométrie des passerelles

La portée de la passerelle Wasserfall est de 39.84 m. La passerelle Eishalle a une portée supérieure de 1 m environ. La largeur des passerelles est de 3 m environ. Un renfort est prévu à mi-portée des passerelles pour installer des éventuels ADA. L'élévation et une coupe typique de la passerelle Wasserfall sont présentées dans les figures 1 et 2 respectivement.



Passerelles piétonnes sur la Birse à Laufen - protection vibratoire

27.07.2021

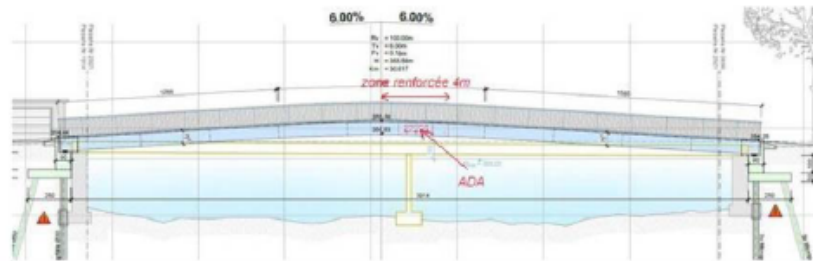


Figure 1 : Elévation de la passerelle Wasserfall.

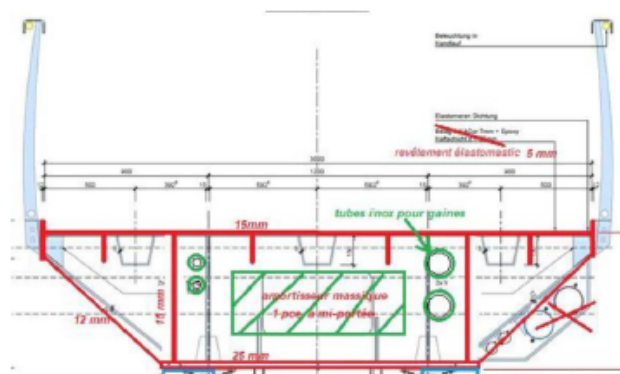


Figure 2 : Coupe typique de la passerelle Wasserfall.

## 2.2 Fréquences propres et déformées modales de la passerelle Wasserfall

Le bureau Ingénierie Acier a effectué l'analyse modale de la passerelle Wasserfall. La masse linéaire de la passerelle est de 1.42 t/m. Cette masse inclut les masses de la partie acier, du revêtement, des garde-corps, des tubes inox pour gaines canalisations. La masse linéaire pour la zone renforcée est de 1.58 t/m. Les fréquences propres et les déformées modales de trois premiers modes sont présentées dans la figure 3. Les fréquences de deux premiers modes verticaux sont de 1.47 Hz et 5.94 Hz respectivement. La fréquence du premier mode horizontal est de 3.68 Hz. Les résultats des calculs pour la passerelle Eishalle n'ont pas été communiqués par ingénierie Acier. Cependant, comme la portée de cette passerelle est supérieure de 1 m, ses fréquences devraient être légèrement plus basses.

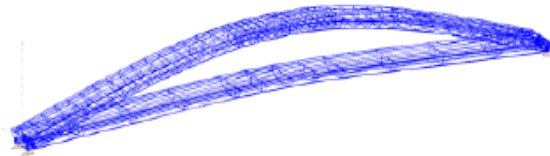
Selon le rapport JRC (2009), les fréquences propres critiques des passerelles piétonnes se situent :

- pour les modes verticaux (1<sup>er</sup> harmonique de l'excitation piéton) et longitudinaux entre 1.25 Hz et 2.3 Hz ;
- pour les modes transversaux entre 0.5 Hz et 1.2 Hz ;
- pour les modes verticaux (2<sup>e</sup> harmonique de l'excitation piéton) entre 2.5 Hz et 4.6 Hz.

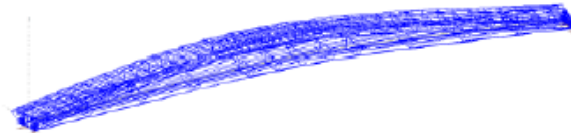
Le rapport Sétra (2006) propose des valeurs similaires pour les fréquences critiques. En effet, dans ces plages de fréquence, une passerelle pourrait entrer en résonance avec les fréquences de marche des utilisateurs et créer des vibrations susceptibles d'être gênantes.

Par conséquent, le mode critique pour les passerelles à Laufen est le premier mode vertical, parce que sa fréquence propre de 1.47 Hz environ se situe entre 1.25 Hz et 2.3 Hz. Il est à noter que selon la norme SIA 260, la plage des valeurs de fréquence à éviter pour les passerelles se situe entre 1.6 Hz et 4.5 Hz. Même si la fréquence propre de 1.47 Hz est inférieure à 1.6 Hz, cette fréquence a été calculée sans prendre en compte de la rigidité, par exemple, des garde-corps. Si la rigidité des garde-corps était considérée, la fréquence propre du premier mode vertical serait un peu plus élevée et proche du seuil de 1.6 Hz. Par conséquent, le premier mode vertical des passerelles serait également critique selon la norme SIA 260.

1<sup>er</sup> mode vertical **1,47 Hz**



1<sup>er</sup> mode transversal **3,68 Hz**



2<sup>e</sup> mode vertical **5,94 Hz**

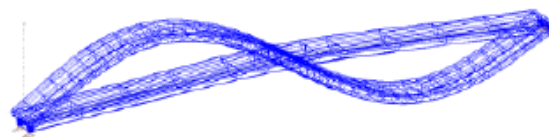


Figure 3 : Fréquences propres et déformées modales de trois premiers modes de la passerelle Wasserfall.

### 3. Scénarios de charges dynamiques de la passerelle et limites vibratoires

#### 3.1 Scénarios de charges dynamiques de la passerelle

Pour calculer les amplitudes des vibrations des passerelles, il est nécessaire de définir des scénarios de charges dynamiques des passerelles réalistes. Pour définir ces scénarios, le rapport JRC (2009) et le guide Sétra (2006) ont été consultés.

Le rapport JRC (2009) propose de considérer certains scénarios (classes de trafic avec des densités spécifiques) parmi cinq scénarios spécifiques. Le tableau 1 présente les cinq classes de trafic avec leurs caractéristiques. Le guide Sétra (2006) propose de considérer principalement certains scénarios parmi trois scénarios spécifiques. Le tableau 2 présente les trois classes de trafic avec leurs caractéristiques. Les classes de trafic I et III du guide Sétra ressemblent aux scénarios TC3 et TC4 du rapport JRC (2009). La classe de trafic II du guide Sétra (2006) se situe entre les scénarios TC3 et TC4 du rapport JRC (2009).

Tableau 1 : Présentation des classes de trafic et leurs caractéristiques selon le rapport JRC (2009).

Classe de trafic (TC = trafic class)	Densité d de la foule P = piéton	Description	Caractéristiques
TC1	Groupe de 15 piétons	Foule très fluide.	-
TC2	0.2 P/m <sup>2</sup>	Foule fluide	Marche confortable Dépassement d'autres piétons possible
TC3	0.5 P/m <sup>2</sup>	Foule dense	Marche confortable Dépassement d'autres limité
TC4	1 P/m <sup>2</sup>	Foule très dense	Liberté de mouvement limitée Marche obstruée Dépassement d'autres piétons impossible
TC5	1.5 P/m <sup>2</sup>	Foule exceptionnellement dense	Marche désagréable Le surpeuplement commence Piétons ne pouvant pas choisir leur rythme de marche

Tableau 2 : Présentation des classes de trafic et leurs caractéristiques selon le guide Sétra (2006).

Classe de trafic	Densité d de la foule P = piéton	Description	Caractéristiques
Classe III	0.5 P/m <sup>2</sup>	Foule peu dense	Calcul seulement si 1.7 Hz < f < 2.1 Hz
Classe II	0.8 P/m <sup>2</sup>	Foule dense	Calcul pour 1 Hz < f < 5 Hz
Classe I	1 P/m <sup>2</sup>	Foule très dense	Calcul pour 1 Hz < f < 5 Hz

À la suite d'une discussion avec le bureau Ingénierie Acier, les trois scénarios de charge suivants ont été choisis l'évaluation :

- TC1 : densité de piétons : 15 personnes sur toute la passerelle pour le scénario d'un groupe de personnes qui traversent la passerelle 1 fois par semaine ;
- TC2 : densité de piétons : 0.2 P/m<sup>2</sup> pour le scénario d'un groupe de personnes qui traversent la passerelle 1 fois par jour ;
- TC4 : densité de piétons : 1 P/m<sup>2</sup> pour le scénario d'un groupe de personnes qui traversent la passerelle 1 fois dans la vie de la passerelle, par exemple lors de l'inauguration.

### 3.2 Limites vibratoires

Le rapport JRC (2009) propose des limites pour le confort humain. Le tableau 3 présente les quatre classes de confort avec les limites vibratoires en accélération dans le sens vertical et transversal des passerelles. Le rapport JRC (2009) propose :

- une classe de confort CL1 pour un scénario de charge TC2 ;
- une classe de confort CL2 pour un scénario de charge TC1 et ;
- une classe de confort CL3 pour un scénario de charge TC4.

Cette proposition a été retenue pour l'évaluation vibratoire des passerelles à Laufen.

Tableau 3 : Présentation des classes de confort et limites vibratoires en accélération selon le rapport JRC (2009).

Classe de confort	Niveau de confort	Accélération dans le sens vertical	Accélération dans le sens transversal
CL1	Maximal	< 0.50 m/s <sup>2</sup>	< 0.10 m/s <sup>2</sup>
CL2	Moyen	0.50 - 1.00 m/s <sup>2</sup>	0.20 - 0.30 m/s <sup>2</sup>
CL3	Minimal	1.00 - 2.50 m/s <sup>2</sup>	0.30 - 0.80 m/s <sup>2</sup>
CL4	Pas acceptable	> 2.50 m/s <sup>2</sup>	> 0.80 m/s <sup>2</sup>

## 4. Niveaux vibratoires calculés et solution pour réduire les vibrations

### 4.1 Niveaux vibratoires calculés

Pour des passerelles simples comme celles de Laufen, les amplitudes des vibrations peuvent être calculés avec des calculs simplifiés. Les hypothèses suivantes ont été retenues pour les calculs simplifiés effectués. Pour le cas où la fréquence propre du mode vertical se situe

entre 1.25 Hz et 1.7 Hz, il faut multiplier les accélérations avec le coefficient  $\psi$ . Ce coefficient est égal à zéro pour une fréquence de 1.25 Hz et est égal au maximum à 1 pour une fréquence de 1.7 Hz. Par prudence, comme on ne peut pas exclure que la fréquence du premier mode vertical soit inférieure à 1.7 Hz, une valeur de 1 a été retenue pour le coefficient  $\psi$ . Une valeur de  $\xi = 0.4\%$  a été retenue pour l'amortissement des passerelles, qui est la valeur moyenne d'amortissement proposée par le rapport JRC (2009) à considérer pour les passerelles en acier.

Il est à noter que les piétons qui marchent sur une passerelle ne sont pas tous synchronisés. Selon le rapport JRC (2009) et le guide Sétra (2006), des études ont montré qu'une fraction du nombre maximal des piétons est synchronisé et doit être utilisé pour calculer les accélérations des passerelles. Pour les scénarios avec une densité  $d < 1 \text{ P/m}^2$ , ce nombre de piétons équivalent est égal à  $10.8 \times (\xi \times n)^{0.2} / S$ , où  $n$  est le nombre maximal des piétons qui marchent sur la passerelle et  $S$  est la surface de la passerelle. Il est égal à  $1.85 \times n^{0.2} / S$  pour les scénarios avec une densité  $d > 1 \text{ P/m}^2$ .

La masse généralisée de la passerelle Wasserfall est égale à  $m^* = 29 \text{ t}$  environ. La charge simplifiée des piétons à considérer est égale à  $P^* = 2 / \pi \times \text{charge linéaire} \times \text{longueur de la passerelle}$ . L'accélération maximale est calculée comme  $a_{\max} = P^* / m^* \times 1 / (2 \times \xi)$ . Le tableau 4 présente le nombre maximal de piétons, les accélérations maximales calculées pour chaque scénario de charge, et le contrôle des limites vibratoires. Il est clair que les accélérations maximales dépassent les limites vibratoires proposées par le rapport JRC (2009) pour les trois scénarios de charge dynamique. Le dépassement des limites pour les deux scénarios les plus défavorables est plus ou moins le même, avec un dépassement d'environ un facteur 6. Pour le scénario le plus favorable le dépassement est plus petit, de l'ordre d'un facteur 2. Il est à noter que les résultats dépendent fortement de l'amortissement de la passerelle. Si l'amortissement était deux fois plus grand, les accélérations seraient deux fois plus petites mais dépasseraient quand même les limites.

Tableau 4 : Accélérations maximales à mi-portée de la passerelle Wasserfall pour les trois scénarios de charge dynamique et comparaison avec les limites vibratoires.

Classe de trafic	Nombre maximal de piétons	$a_{\max} \text{ (m/s}^2\text{)}$	Limite à respecter	Facteur de dépassement
TC1	15	2.20	0.50 - 1.00 m/s <sup>2</sup>	2.2 / 1 = 2.2
TC2	24	2.68	< 0.50 m/s <sup>2</sup>	2.68 / 0.5 = 5.4
TC4	120	16.00	1.00 - 2.50 m/s <sup>2</sup>	16 / 2.5 = 6.4

#### 4.2 Prédimensionnement des ADA

Pour éviter un risque de gêne des utilisateurs, une solution de réduction de l'amplitude des vibrations est proposée avec l'installation d'un amortisseur dynamique accordé (ADA) au milieu de la portée de la passerelle. La figure 4 présente la configuration d'un ADA typique. Pour réduire les vibrations de  $1 - 1 / 6.4$ , soit de 85%, et pour un amortissement de 0.4% valable pour la structure initiale, il faudrait que la masse mobile de l'ADA soit de 2% de la

masse généralisée de la passerelle. Pour la passerelle Wasserfall, qui a une masse généralisée de 29 t, la masse mobile de l'ADA devrait être de 600 kg environ. La masse mobile de l'ADA pour la passerelle Eishalle devait être également de 600 kg environ. La masse totale d'un l'ADA comprend sa masse mobile et la masse de son système de support. Par expérience, la masse totale d'un ADA peut être égale à 1.4 fois sa masse mobile. Un fournisseur d'ADA devrait être consulté afin de définir la masse totale de chaque ADA. La fréquence de l'ADA devrait être prévue légèrement plus basse que la fréquence de la passerelle concernée pour une meilleur efficacité. Pour fixer sa fréquence, il faudrait d'abord mesurer la fréquence réelle de la passerelle après sa construction. Comme les fréquences des passerelles Wasserfall et Eishalle ne sont pas identiques, il se peut que les fréquences des ADA soient différentes pour chaque passerelle. Il est à noter que si l'amortissement mesuré des passerelles était plus grand que celui estimé, l'ADA serait moins efficace. Mais comme avec un amortissement plus grand, les vibrations sont plus petites, le niveau de confort atteint avec cet ADA serait similaire.

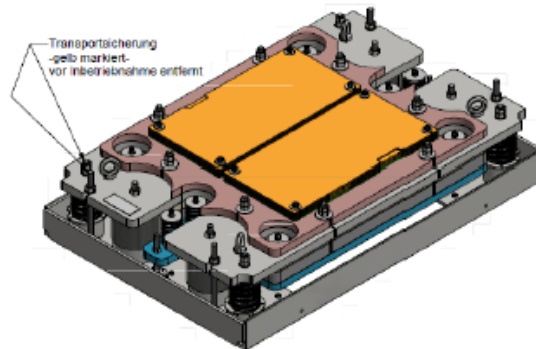


Figure 4 : Configuration d'un ADA typique. Cet ADA spécifique a une masse mobile de 1.2 t.

## 5. Conclusion

Le projet de construction de passerelles piétonnes sur la Birse à Laufen comprend 2 passerelles presque identiques (passerelle Wasserfall et passerelle Eishalle) en acier d'une portée d'environ 40 m. La fréquence du premier mode vertical des passerelles est d'environ 1.47 Hz et se situent entre les fréquences critiques 1.25 Hz et 2.3 Hz. Dans cette plage de fréquence, une passerelle pourrait entrer en résonance avec les fréquences de marche des utilisateurs et créer des vibrations susceptibles d'être gênantes.

Pour l'évaluation vibratoire des passerelles, trois scénarios de charge dynamique ont été définis sur la base du projet européen JRC (2009). Pour chaque scénario, des limites vibratoires réalistes à respecter ont été retenues sur la base du même projet JRC (2009). Des calculs simplifiés des accélérations dans le sens vertical des passerelles ont montré que ces limites vibratoires ne sont clairement pas respectées.

Afin de réduire les vibrations des passerelles à un niveau acceptable, il est proposé d'installer un amortisseur dynamiques accordé (ADA) au milieu de la portée de chaque passerelle.

Chaque ADA devrait avoir une masse mobile de 600 kg. Il est à noter, que la masse totale des ADA comprend aussi la masse de leur système de son support. L'ingénieur du projet, le bureau Ingénierie Acier, devrait consulter un fournisseur d'ADA pour connaître les caractéristiques (masse et géométrie) des ADA. La fréquence des ADA et leurs caractéristiques devrait être fixées après avoir mesuré les fréquences et amortissements réels des passerelles. En effet, il peut être observé des différences entre la modélisation et la mesure. Enfin, lors de l'installation des ADA, leur réglage fin sera a priori nécessaire avec l'aide d'un shaker afin d'optimiser leur efficacité.

## 6. Littérature

JRC Scientific and Technical Reports (2009), Design of lightweight footbridges for human induced vibrations. Background document in support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes, first edition, May 2009. Prepared under the JRC-ECCS cooperation agreement for the evolution of Eurocode 3 (program of CEN/TC 250).

Sétra (2006), Guide méthodologique : passerelles piétonnes - évaluation du comportement vibratoire sous l'action des piétons. Service d'études techniques des routes et autoroutes, mars 2006.

SIA 260 (2013), Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses ; Norme suisse SN 505 260.