

SWISS SCIENCE CENTER TECHNORAMA, WINTERTHUR

Technorama Park

Projektleiter: Gianfranco Bronzini | Conzett Bronzini Partner AG, Chur

Referent: Tino Rizzi | Conzett Bronzini Partner AG, Chur

1 Einleitung

Das Swiss Science Center Technorama in Winterthur hat im April 2021 ihre neue Parkanlage eröffnet. Die Conzett Bronzini Partner AG war Teil des Projektteams und hatte unterem anderem die Aufgabe drei Brücke im Park zu konzipieren / planen und die Bauausführungen der Brückenobjekte zu leiten.

Die drei Brücken, namentlich die Wunderbrücke, die Hängebrücke und die Parkbrücke, haben verschiedene Funktionen. So wird die Parkbrücke als Verbindung zwischen den beiden, durch den Riedbach getrennten, Parkteilen verwendet. Die Wunderbrücke bildet eine grosse Plattform für Exponate und Höhenexperimente. Die Hängebrücke ist ein Exponat in sich, da durch spezielle Mechanismen die Brücke verstellt werden kann und die Schwingungen einer klassischen Hängebrücke spür- und erlebbar gemacht werden können.

In folgendem Bericht wird näher auf die Wunderbrücke und die Hängebrücke eingegangen.



Abbildung 1: Technorama Park mit der Wunderbrücke im Hintergrund. (Rendering)

Der Technorama Park bestand bereits vor dem Umbau und wurde als Raum für verschiedene Exponate genutzt. Das Ziel des Projektes «Technorama Park» war, dass der Park nach einem einheitlichen Konzept gestaltet wird und das Angebot für die Besucher vergrössert werden kann.

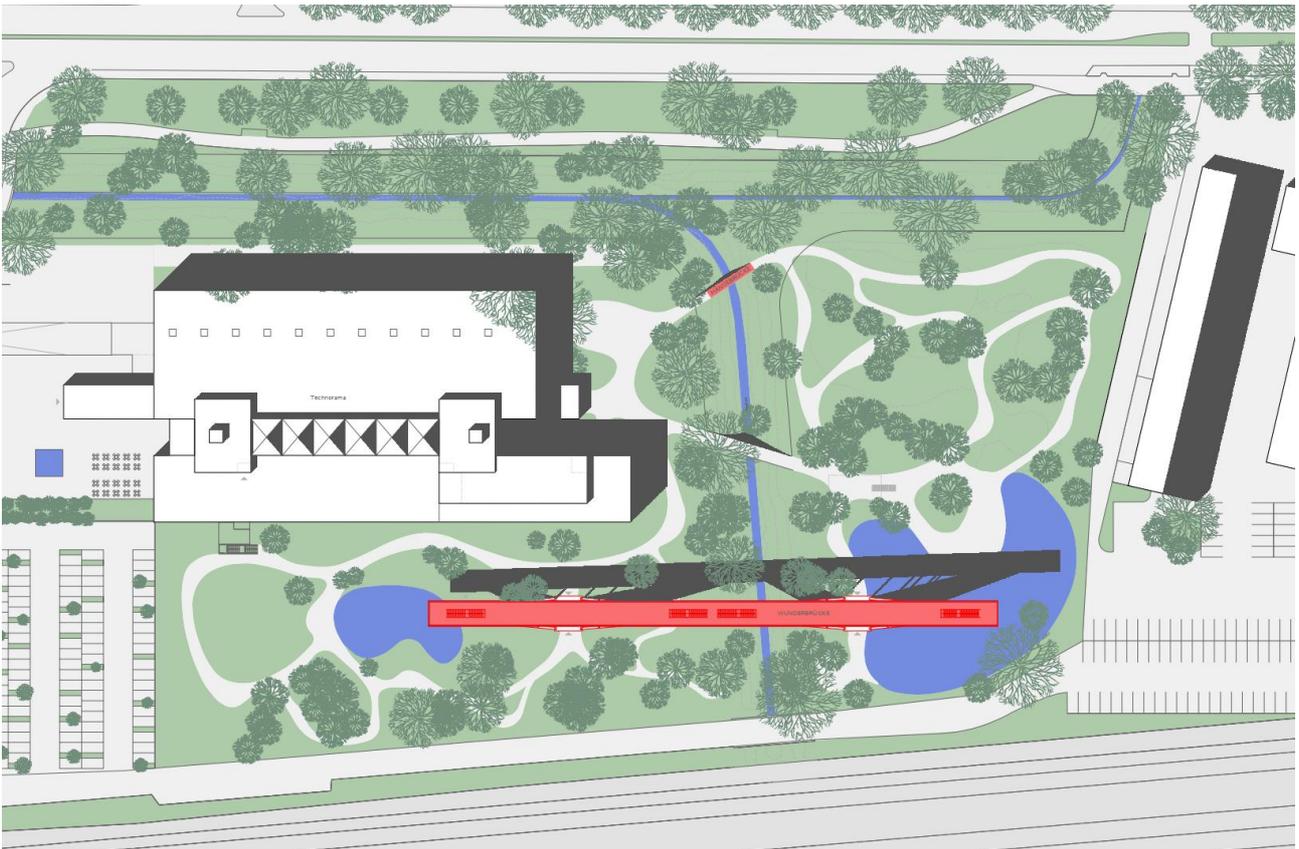


Abbildung 2: Swiss Science Center Technorama Winterthur, Technorama Park, Situation.

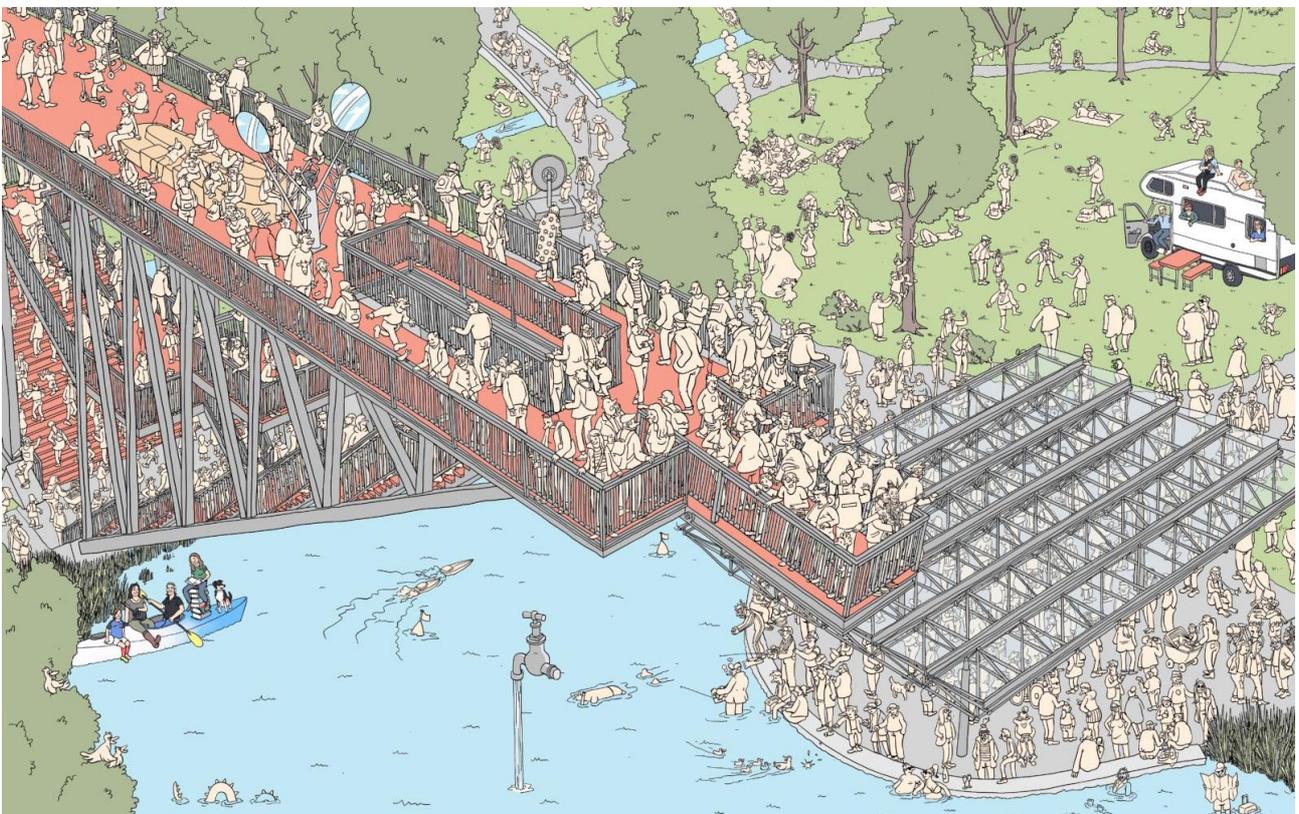


Abbildung 3: Künstlerische Darstellung der Wunderbrücke und dem Pavillon aus dem "Wimmelbuch Winterthur" [1].

2 Wunderbrücke

2.1 Beschrieb der Brücke

Die Wunderbrücke bildet eine 130 m lange Plattform in einer Höhe von 10.5 – 17 m, welche Platz für verschiedene Exponate, Erlebnisse und Erholung bietet. Die aussergewöhnliche Höhe im Park, meistens über den Bäumen, erlaubt die Sicht in die entfernten Berge und bietet einen Überblick über den Technorama Park.

Der Zugang auf die Plattform erfolgt über zwei Zugänge am Fundament der Brücke. Ausgehend von den Fundamenten führen total 4 Treppen und ein Lift in der Tragstruktur nach oben auf die Plattform. Die Treppen besitzen verschiedene Steigungen, welche von der Fachwerkstruktur ausgehend definiert sind.

Die 5.9 m breite Plattform kann mit verschiedenen Exponaten ausgestattet werden und bietet der Bauherrin, dem Technorama, einen Raum für Experimente, welche insbesondere viel Platz oder den Höheneffekt benötigen. So wurde direkt in die Brücke und dessen Tragstruktur ein Wasserexponat integriert. Das sogenannte «fallende Wasser» besteht aus einer Druckleitung, welche im Liftschacht nach oben und unter dem Geländer bis zum höchsten Punkt geführt wird. An diesem Punkt wird das Wasser mithilfe eines Umlenkbauwerks an die Oberfläche geleitet. Das Wasser fliesst dann infolge der Neigung der Plattform bis an den untersten Punkt. Am unteren Ende wird das Wasser in einem Behälter gesammelt und in einem Intervall von ca. 20 Minuten entleert. Die Entleerung erfolgt plötzlich und die Wassermasse fällt, mehr oder weniger kompakt, in die darunterliegende «Halfpipe». In dieser Konstruktion wird die Wassermasse umgelenkt und die Masse vermischt sich mit der umgebenden Luft. Dadurch entsteht eine Art «Gischt», welche wieder über die Brücke nach oben schiesst.



Abbildung 4: unteres Ende der Brücke mit dem Exponat "fallendes Wasser".

Die Tragstruktur der Wunderbrücke besteht aus einem Stahlfachwerk, welches auf zwei Fundamenten besteht. Das Fachwerk bildet ein «W». Der Ober- und Untergurt des Fachwerks fallen jeweils am oberen und unteren Ende und im Scheitel zusammen. Zwischen dem Ober- und Untergurt werden Druckpfosten und Zugdiagonalen angeordnet, welche dann das klassische Fachwerk bilden.

Der Baustoff Stahl wurde bewusst gewählt, um die schweizerische Baukultur der Eisenbahnbrücke zu repräsentieren. Die Plattform und die Treppen wurden mit Lärchenholzbohlen beplankt.

Im Innern des Fachwerks wurden Plattformen aus feuerverzinkten Gitterrosten montiert. Dadurch kann die Konstruktion, insbesondere die Knoten und die Untersicht des Obergurtes aus nächster Nähe betrachtet werden.



Abbildung 5: Oberes Ende der Brücke mit integrierter Plattformen.

2.2 Tragstruktur und dynamisches Verhalten.

Die Wunderbrücke besteht aus einem Megafachwerk, welches mit einem horizontalen Vierendeelträger verbunden ist. Die schrägstellenden Druckposten in Verbindung mit dem Vierendeelträger steifen die Brücke in horizontaler Richtung aus. Zudem wurde unter den Treppen ein Windverband installiert, damit der Untergurt ebenfalls gegenüber horizontalen Einwirkungen stabilisiert wird. Die gesamte Haupttragstruktur besteht aus Stahl, welche auf zwei Betonsockel gelagert ist. Die Betonsockel wurden auf je vier Grossbohrpfählen fundiert, da die oberen Baugrundsichten für die auftretenden Lasten nicht geeignet sind.

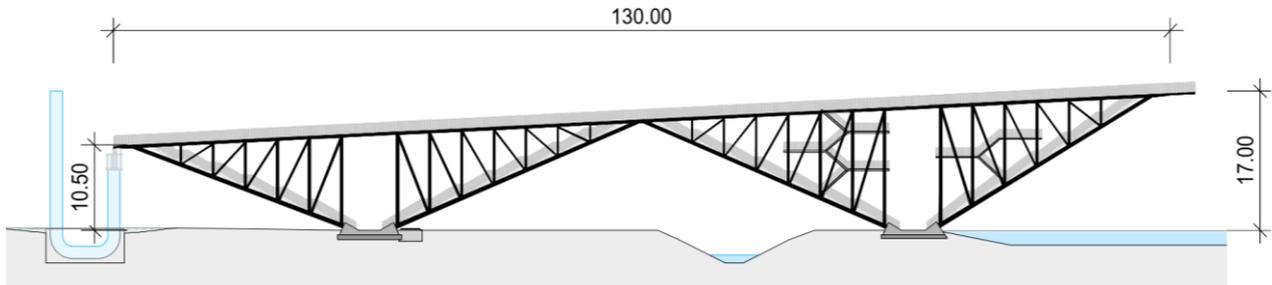


Abbildung 6: Ansicht der Wunderbrücke mit schematischer Darstellung des Exponats "fallendes Wasser".

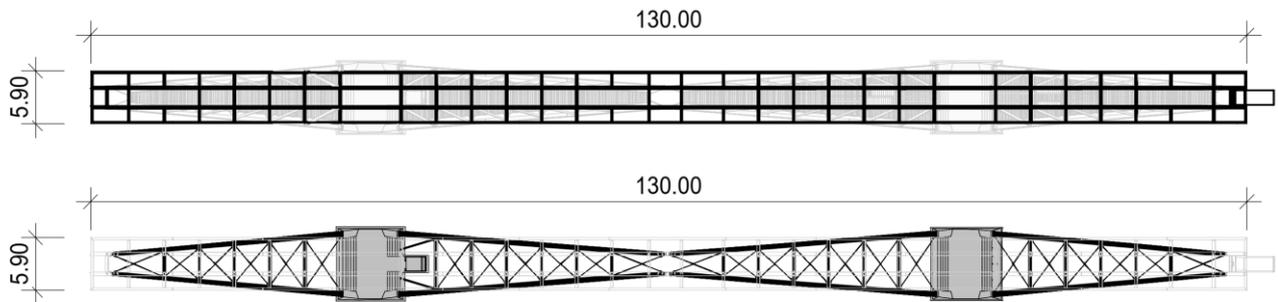


Abbildung 7: Grundriss der Wunderbrücke. Oben: Obergurt als Vierendeelträger, unten: Untergurt mit Windverbänden.



Abbildung 8: Fachwerk mit integriertem Aufzugsschacht.

Die Brücke besitzt eine Eigenfrequenz in Querrichtung von 1.48 Hz. Vertikal liegt die Eigenfrequenz bei 3.07 Hz. Grundsätzlich sind diese Werte nicht aussergewöhnlich. Das Spezielle am dynamischen Verhalten

der Brücke ist jedoch, dass durch das Exponat «fallendes Wasser» eine externe Kraft vorhanden ist, welche sich in einem Intervall von ca. 20 Minuten verändert und die Brücke in Schwingung versetzt.

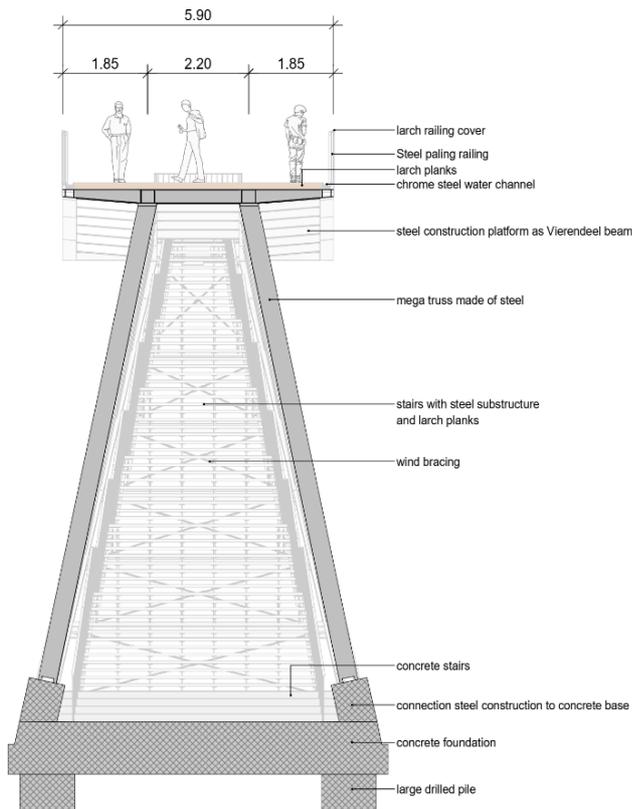


Abbildung 9: Querschnitt der Brücke.



Abbildung 10: Innenansicht der Brücke.

Der Behälter, in welchem das Wasser gesammelt wird, befindet sich am unteren Ende der Brücke. Die Auskragung an diesem Ort ist ca. 25 m. Kurz bevor der Wasserbehälter geöffnet wird, wird die Brücke durch die Wassermassen mit 50 kN belastet, dies entspricht 5 m³ bzw. 5'000 Liter Wasser. Die Brücke deformiert sich zu diesem Zeitpunkt im Bereich des Behälters um 8 mm. Wird der Behälter nun geöffnet bewegt sich die Brücke um diese 8 mm nach oben bzw. die Brücke wird um 50 kN entlastet. Die Messungen der Ziegler Consultants AG haben ergeben, dass die anfängliche Beschleunigung bei der Entlastung zwischen 12 und 18 m/s² beträgt. Die daraus erzeugte Schwingung wird jedoch sehr schnell gedämpft, sodass bereits nach 0.5s die Beschleunigung unter 2.5 m/s² fällt.

In der Projektierungsphase wurden Schwingungsdämpfer eingeplant, auf diese wurde jedoch verzichtet, da die Beschleunigung bzw. die Schwingung, ausgelöst durch das «fallende Wasser», die Trag- und Ermüdungssicherheit nicht beeinträchtigt. Die Gebrauchstauglichkeit ist gemäss den HIVOSS Standards nicht erfüllt, da es sich aber um ein Exponat handelt wurde jedoch auf eine Einschränkung der Beschleunigung verzichtet.

2.3 Der Bau der Wunderbrücke

Die Brücke wurde von April 2019 bis Juni 2020 gebaut. Für die Stahlkonstruktion wurden 256.7 Tonnen Stahl verwendet. Die Fundamente bestehen aus 286 m³ Beton und 41 Tonnen Bewehrung. Um die Holzplattformen und die Treppen zu erstellen wurden 89.4 m³ Schweizer Lärchenholz bzw. 10'000 m¹ Lärchenbohlen verbaut. Das Gesamtgewicht der Brücke beträgt 996 Tonnen und sie besitzt Total 390 Stufen.



Abbildung 11: Montage eines Elementes des Vierendeelträgers.

Die Stahlkonstruktion wurde mehrheitlich vorgefertigt. Aufgrund der bereits ausgereizten Bauteilgrösse mussten einige Baustellen-schweissungen beim Vierendeel Träger bzw. dem Untergurt vorgenommen werden. Die Fachwerkstäbe und die restlichen sekundären Bauteile wurden mit Schraubverbindungen befestigt.



Abbildung 12: Blick von unten auf den Scheitel.



Abbildung 13: Plattformen im Innern und Unterkonstruktion der Treppe.

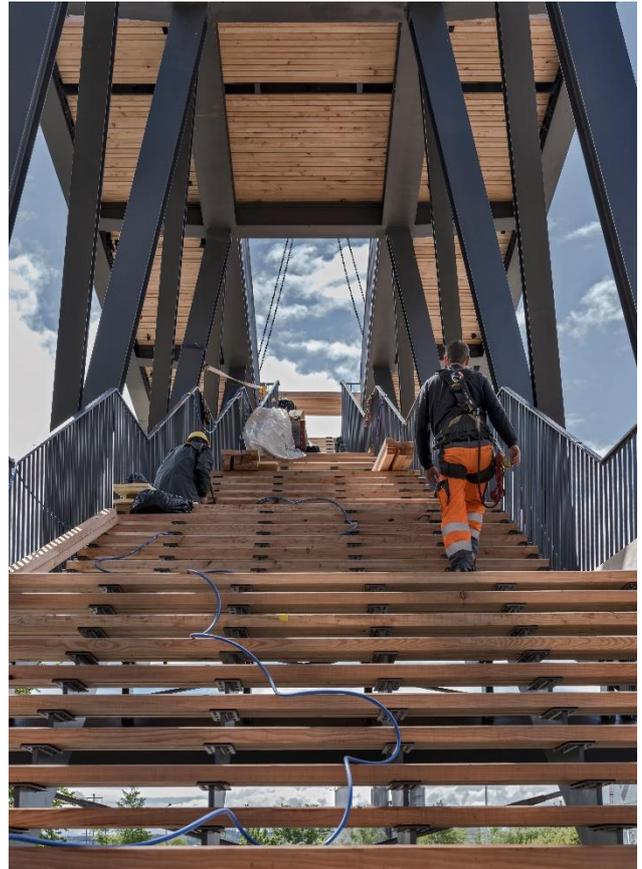


Abbildung 14: Montage der Holzbohlen.



Abbildung 15: Kragbühne am oberen Ende der Brücke.

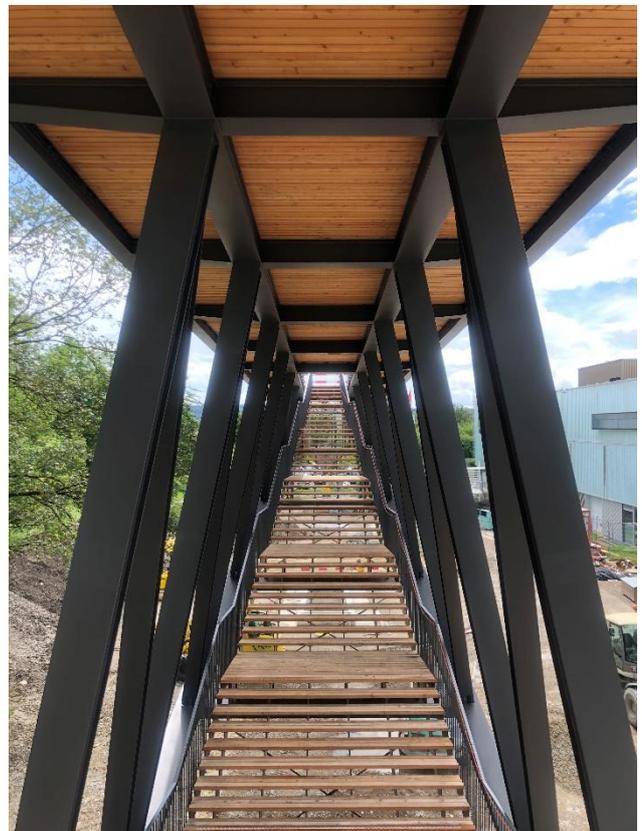


Abbildung 16: Treppe und Deckuntersicht.

3 Hängebrücke

3.1 Beschrieb der Hängebrücke

Die Hängebrücke überspannt den Riedbach. Sie besteht aus zwei obenliegenden Spannkabeln, dessen Spannweite 17.8 m beträgt. Der Gehweg wurde mit einer Kette aus Betonbrettern erstellt, welche mit Gelenken untereinander verbunden sind. Die Kette wird an einem Ende horizontal gehalten und am anderen Ende frei gelassen. Dadurch hat der Gehweg, ausgenommen das Eigengewicht, keinen Einfluss auf das Schwingverhalten der Tragseile.

Die Brücke dient nicht in erster Linie den Bach zu überwinden, sondern sie soll die Schwingungen einer Hängebrücke für die Besucher erleb- und spürbar machen. An einem Ende der Brücke wurden zu diesem Zweck elektrische Motoren und ein Spindelhubgetriebe, in welchem die Tragseile eingespannt sind, installiert. Dadurch kann auf Knopfdruck die Spannung in den Seilen verändert werden. Infolge der Spannkraftveränderung ändert sich der Durchhang in Feldmitte und folglich auch die Eigenfrequenz der Brücke.

Die Brücke wurde bewusst so konzipiert bzw. dimensioniert, dass in der oberen Lage (Hochlage), mit einem Durchhang von 300 mm die 1. Eigenform und in der unteren Lage (Tieflage), mit einem Durchhang von 500 mm, die 2. Eigenform durch blosses Begehen der Brücke angeregt werden kann.

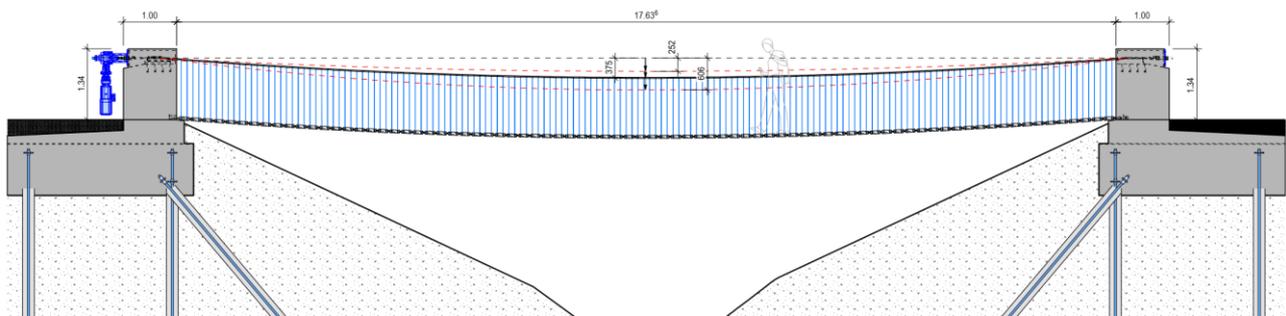


Abbildung 17: Ansicht der Brücke.



Abbildung 18: Ansicht der fertiggestellten Brücke.

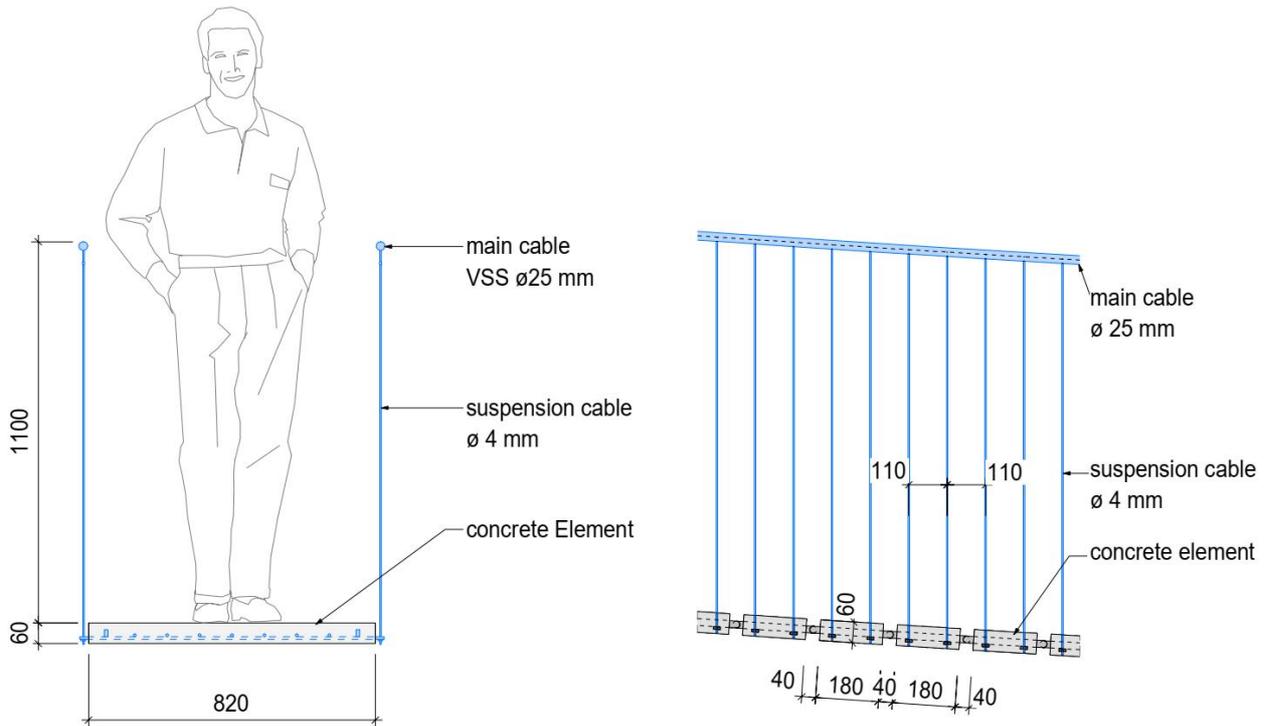


Abbildung 19: Schnitt und Ansicht des Gehwegs.

3.2 Schwingungsverhalten

Während der Projektierung wurden bereits diverse Berechnungen vorgenommen um die Eigenfrequenz der verschiedenen Eigenformen je nach Durchhang und Seilkraft zu bestimmen.

Im Folgenden werden verschiedene Zustände der Brücke gezeigt. Die Eigenfrequenzen wurden nach der Theorie von Strasky [2] berechnet.

Tabelle 1: Resultate nach der Theorie von Strasky [2].

Zustand	Durchhang (mm)	Seilkraft (kN)	1. Eigenform (Hz)	2. Eigenform (Hz)	3. Eigenform (Hz)
Tieflage	500	43.4	2.14	1.58	2.37
Mittellage	400	54.2	1.82	1.77	2.65
Hochlage	300	72.4	1.57	2.04	3.06

Wenn nun die Besucher mit einer typischen Lauffrequenz von 1.6 Hz über die Brücke laufen, dann werden sie in Tieflage die 2. Eigenform und in Hochlage die 1. Eigenform auslösen.

Die verschiedenen Eigenformen werden in der nächsten Abbildung dargestellt.

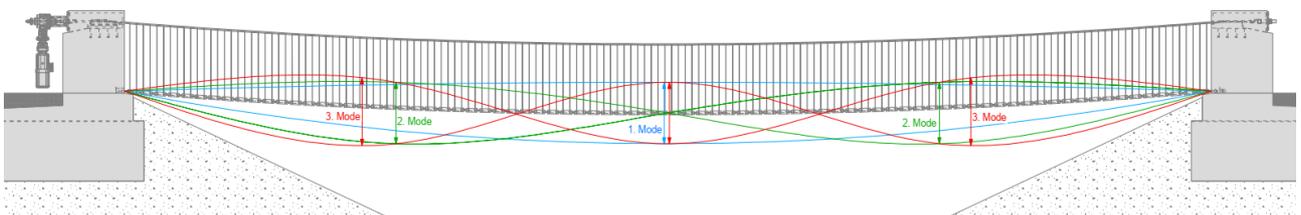


Abbildung 20: Eigenformen.

In der Zwischenzeit wurde die Brücke gebaut und es wurden Messungen direkt an der Brücke durchgeführt. Dadurch konnten die Werte verifiziert und die Feineinstellung der Lagen vorgenommen werden.

Die Ziegler Consultants AG führte die Messungen analog zur Wunderbrücke durch. Bei der ersten Messung wurde nur der Durchhang gemessen. Die Seilkraft wurde nicht explizit gemessen. Konnte jedoch aufgrund der gegebenen Geometrie berechnet werden. Die Resultate der Messungen sind wie folgt:

Tabelle 2: Resultate der ersten Messung.

Zustand	Durchhang (mm)	1. Eigenform (Hz)	2. Eigenform (Hz)	3. Eigenform (Hz)
Tieflage	500	1.99	1.45	2.83
Mittellage	400	1.82	1.76	-
Hochlage	300	1.54	2.13	3.23

Die gemessenen Werte stimmen gut mit den berechneten Werten überein.

3.3 Weitere Erkenntnisse

Während den Messungen wurden Beschleunigungsmessungen durchgeführt. Dabei wurde beobachtet, dass die Beschleunigungen um ein Vielfaches höher als erwartet sind. So wurden während dem Test des Vandalenfalls (bewusste Anregung der Brücke in dessen Eigenfrequenz) Beschleunigungen zwischen 20 und 30 m/s² (2g bis 3g) gemessen. Da man sich gut an der Brücke festhalten kann und das Verhältnis des Eigengewichts der Brücke zur einwirkenden Kraft relativ klein ist, bekommt die Testperson während dem Test keine Angst bzw. bricht den Test nicht ab.

Aus diesen Erkenntnissen traten folgende konzeptionelle Probleme auf. Durch die Höhe Beschleunigung (über 1g) überwindet der Gehweg die Erdanziehungskraft und die Betonelemente heben ab. Weiter birgt die hohe Beschleunigung eine Verletzungsgefahr für unbeteiligt dritte auf der Brücke (Schlag in die Knie).

Damit die Brücke auf solche Werte beschleunigt werden kann, benötigt es aus rein physikalischen Gründen auch einen gewissen Weg bzw. der Durchhang nimmt stark zu. Daraus resultiert bei einer hohen Beschleunigung eine hohe Spannungsdifferenz während eines Zyklus. Die hohe Spannungsdifferenz mit der hohen zu erwarteten Häufigkeit der Spannungswechsel ergibt eine hohe Belastung bezüglich Ermüdung der Tragseile und dessen Komponenten.

Deshalb wurden zusammen mit einigen Spezialisten, darunter Dr. D. Gsell von der Ziegler Consultants AG, Dr. Prof. A. Goldack von der Universität Wuppertal und Herrn Dr. Chr. Meinhardt der Firma Gerb-Vibration Control einige Lösungsansätze diskutiert und ausgearbeitet.

Die nun vorgesehenen Massnahmen für die Begrenzung der Beschleunigung auf der Brücke befinden sich im Moment in der Planungsphase. Für den Umbau der Brücke wurden unter anderem Schwingungstilger entwickelt, Elastomer Dämpfer zwischen den Gehwegelementen eingeplant und Monitoring Massnahmen definiert.

3.4 Bau der Hängebrücke

Die Hängebrücke wurde zeitgleich mit der Wunderbrücke erstellt. Aufgrund der im vorigen Kapitel erwähnten Erkenntnisse bezüglich deren Schwingungsverhalten wurde sie aber noch nicht für das Publikum eröffnet.



Abbildung 21: Hängebrücke mit Pylon (links) und Gehweg (rechts).



Abbildung 22: Mechanismus und elektrischer Motor.



Abbildung 23: Messungen auf der Hängebrücke.

4 Zusammenfassung

Das Swiss Science Center Technorama in Winterthur erbaute auf einer Fläche von 15.000 m² einen neuen Wissenschaftspark mit völlig neuen Wegen, Vegetations- und Wasserflächen und schafft Raum für zahlreiche neue Exponate, Kunstwerke und Experimentiermöglichkeiten.

Initialzündler des gesamten Projektes und Herzstück des neuen Parks ist die vom SIA als Nachwuchsprojekt entwickelte "Wunderbrücke" als große Experimentierplattform mit ungewöhnlichen ingenieurtechnischen Qualitäten.

Weiter wurde eine weitere Brücke, die "Hängebrücke", im Park realisiert. Das Besondere an dieser Brücke sind die verstellbaren Seilkräfte über einen Mechanismus, damit das unterschiedliche Schwingungsverhalten je nach Seillage veranschaulicht werden kann.

«Wunderbrücke»

Die "Wunderbrücke" verbindet die zwei Parkhälften über den Riedbach und bildet eine 130 m lange Plattform in einer Höhe von 10.5 - 17 m, die großzügigen Raum für Ausstellungen, Erlebnisse und Entspannung bietet. Diese außergewöhnliche Höhe, meist über den Bäumen, öffnet den Blick auf die Umgebung und ermöglicht eine Vielzahl von Erfahrungen. Der Zugang ist von zwei Stellen im Park möglich. Vier breite Treppen mit unterschiedlichen Steigungen führen die Besucher hinauf zur Plattform. Mit Hilfe eines Aufzuges ist auch die oberste Ebene hindernisfrei zu erreichen.

Die 5.9 m breite Plattform kann flexibel mit unterschiedlichsten Ausstellungen bestückt werden. Eine bewegliche Kragbühne und ein Glasboden ermöglichen den Besuchern ein intensives Höherlebnis. Ein Wasserkreislauf führt Wasser zum höchsten Punkt der Plattform und lässt es in zwei seitlich angeordneten offenen Rinnen zum unteren Plattformende hinunterfließen. Dort wird es in einem Behälter gespeichert. Alle 20 Minuten öffnet sich plötzlich der Boden des Behälters und 5 Tonnen Wasser stürzen in ein speziell geformtes Becken (Halfpipe) im Park hinab und erzeugen so einen steigenden Wasserfall bis hoch über die Plattform.

Die Stahlkonstruktion der "Wunderbrücke" nimmt Bezug auf die Schweizer Baukultur mit ihren vielen eisenen Eisenbahnbrücken. Darüber hinaus schafft sie Ingenieurbaukunst zum Berühren und ein einzigartiges Raumgefüge, dass von nah und fern, von innen und außen erlebt werden kann.

«Hängebrücke»

Die «Hängebrücke» überspannt ebenfalls den Riedbach, sie besitzt 2 obenliegende Tragseile und besitzt eine Spannweite von ca. 17 m. Mit der Brücke wird den Besuchern das Schwingungsverhalten einer klassischen Hängebrücke erlebbar und spürbar gemacht. Damit die verschiedenen Eigenformen erzeugt werden können, kann das Tragseil mit einem Mechanismus, welcher mit einem elektrischen Motor angetrieben wird, gespannt oder entlastet werden. Dadurch ändert sich die Seillage bzw. der Stich in Brückenmitte und schlussendlich auch die Eigenfrequenzen der verschiedenen Schwingformen.

5 Referenzen

- [1] SAMUEL SCHUMACHER and ANITA BÄTTIG, Wimmelbuch Winterthur, 2020
[2] JIRI STRASKY, Stress ribbon and cable-supported pedestrian bridges, ICE Publishing, 2005

6 Bildnachweis

Autor	Abbildungen
Conzett Bronzini Partner AG	Nr. 1 / 2 / 6 / 7 / 12 / 15 / 17 / 18 / 19 / 20 / 21 / 22 / 23
René Dürr Architekturfotografie, Zürich	Nr. 4 / 5 / 8 / 9 / 10 / 11 / 13 / 14 / 16
Samuel Schuhmacher und Anita Bättig, Wimmelbuch Winterthur	Nr. 3