



## Projektzusammenfassung

### Organisation:

Ministerium für öffentliche Bauvorhaben in Chile

### Lösung:

Brückenbau

### Standort:

Insel Chiloe, Llanquihue, Chile

### Projektziele

- Entwurf und Bereitstellung der 740 Mio. USD teuren Brücke über den Kanal von Chacao, um die Insel Chiloe mit dem Festland zu verbinden
- Durchführung einer Brückenanalyse und Bausimulation, um die strukturelle Haltbarkeit bei Erdbebentätigkeiten und Naturkatastrophen sicherzustellen.

### Verwendete Produkte:

RM Bridge, gINT

## Schnelle Fakten

- Die Brücke über den Kanal von Chacao wird die längste Hängebrücke Südamerikas sein. Die Hauptspannen mit 1055 und 1155 m erstrecken sich 50 m über dem Kanal.
- Die Software von Bentley optimierte die Evaluierung von Alternativen, die unter wechselnden Entwurfsanforderungen aufbereitet wurden, und konnte die gemeinsame Arbeit und die wechselseitigen Prüfungen zwischen den Teammitgliedern vereinfachen.

## Kapitalrendite

- Die globale Analyse mit RM Bridge sparte Zeit und reduzierte Kosten, indem der Informationsaustausch mit anderer Software vereinfacht wurde.
- Die detaillierten Windstudien, Analysen der Zeitgeschichte und seismographische Szenarien trugen dazu bei, die Qualität des Brückenentwurfs zu verbessern.
- Nach der Fertigstellung 2020 wird die Brücke über den Kanal von Chacao die Lebensqualität, die Wirtschaft und den Tourismus für die Insel Chiloe und die Hafenstadt Puerto Montt verbessern.
- Die Brücke ersetzt den unregelmäßigen Fährverkehr über den stürmischen Kanal. Die chilenische Regierung geht davon aus, dass sich daraus eine Rendite von 6 Prozent ergeben.

## RM Bridge optimiert Entwurf und Analyse für die längste Hängebrücke Südamerikas

Das Ministerium für öffentliche Bauvorhaben von Chile setzt Software von Bentley ein, um die Insel Chiloe mit dem Festland Chiles zu verbinden

### Zweifel beseitigen

Im Süden Chiles an der Küste der Provinz Llanquihue haben die Menschen auf Chiloe eine spezifische geschichtliche und traditionelle Inselkultur entwickelt. Diese isolierte Enklave ist bekannt für ihre Küstenstädte mit ihren bunten Häusern auf Stelzen, Kirchen aus dem 17. Jahrhundert, die als Weltkulturerbe der UNESCO gelten, und Nationalparks, in denen Meeresfauna und -flora geschützt werden. Um auf die Insel zu gelangen oder diese zu verlassen, mussten jedoch Einheimische und Besucher gleichermaßen eine Überfahrt auf einer unzuverlässigen Fähre buchen, um eine 45 Minuten dauernde Fahrt über den stürmischen Kanal von Chacao zu unternehmen.

Das Ministerium für öffentliche Bauvorhaben (MOP) in Chile hat in den 1990-er Jahren zum ersten Mal den Bau einer Brücke vorgeschlagen, die die Insel Chiloe mit der Hafenstadt Puerto Montt verbinden sollte. Nach mehreren Fehlstarts wurde im Februar 2014 ein Vertrag über den Entwurf und den Bau über 740 Mio. USD vergeben. Nach der Fertigstellung im Jahr 2020 wird die Brücke über den Kanal von Chacao mit einer Länge von 2,75 km die längste Hängebrücke Südamerikas sein. Die asymmetrische Struktur besitzt Hauptspannweiten von 1055 und 1155 m und drei Türme in Höhen von 157, 175 und 199 m. Die vierspurige Fahrbahn erstreckt sich 50 m über dem stürmischen Wasser des Kanals.

Als Ministerialabteilung, die für alle Aspekte der öffentlichen Infrastruktur in Chile verantwortlich ist, leitet das MOP das internationale Konsortium, das damit beauftragt ist, die entwickelungstechnischen und baulichen Herausforderungen zu bewältigen, die sich aufgrund der starken Erdbebengefahr in der Region, starker Strömungen, der Tiefe des Kanals und starker Winde ergeben. Das Konsortium, Consorcio Puente Chacao, setzt sich zusammen aus Hyundai (Südkorea), OAS (Brasilien), Aas-Jakobsen (Norwegen) und Systra (Frankreich). Die Straßenbauabteilung des MOP, die für das Straßennetz Chiles zuständig ist, ist für die Überprüfung von Entwurf, Statik und Konstruktionsfähigkeit der Brücke verantwortlich. Lokale Berater stellen eine unabhängige Entwurfsprüfung bereit.

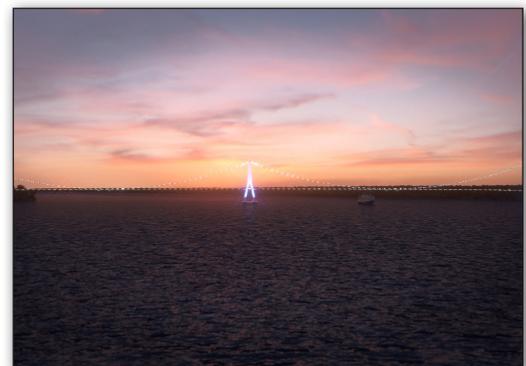
### Standorteinschränkungen überwinden

Als öffentliches Bauprojekt (PPP) von der Regierung von Chile gefördert, umfasst die Brücke über den Kanal von Chacao drei verschiedene öffentliche Bauprojekte: die Hängebrücke, die Zugangsstraßen und einen Servicebereich. Der straffe Zeitplan über 84 Monate bedingte eine schnelle Auswertung der Entwurfsalternativen,

optimierte Entwurfsstudien, einen Arbeitsablauf mit verstärkter Zusammenarbeit sowie beschleunigte Überprüfungen. MOP implementierte RM Bridge von Bentley, um Zeit zu sparen und die Kosten zu reduzieren. Die Applikation wird für den Entwurf der Brücke, Analysen und Bausimulationen verwendet, um die Widerstandsfähigkeit bei Erdbeben und Naturkatastrophen zu überprüfen. Sie optimiert die enormen Analysearbeiten und automatisiert komplexe Entwurfs- und Engineering-Funktionen.

Als die Arbeiten 2014 begannen, sah sich das Projektteam beim Entwurf der Hängebrücke mit mehreren Spannarmen über den Kanal von Chacao mit einigen gewaltigen Herausforderungen konfrontiert. Der Projektstandort befindet sich in einem entlegenen Bereich der Region Los Lagos, 1.100 Kilometer südlich von Santiago. Der Kanal trennt die 200 km lange Insel vom Festland, aber beide Landmassen gehören zu einem Küstenbereich, der für hohe Erdbebentätigkeit bekannt ist. Die Brücke befindet sich nur 80 km von der Verwerfungszone, wo ein verheerendes Erdbeben der Stärke 9,5 1960 Valdivia (Chile) erschüttert hat. 2010 gab es ein Erdbeben der Stärke 8,8 vor der Küste von Concepción, etwa 650 km nördlich. Die Erdbebengefahr war das schwierigste Entwurfskriterium für das Team.

Darüber hinaus ist der Kanal kritischen Winden von bis zu 208 km/h ausgesetzt, und die Meeresströmungen erreichen 9,7 Knoten bzw. 18 km/h mit 8 m hohen Wellen. Der tiefe Kanal reicht bis zu 120 m unter den Meeresspiegel. Mitten im Kanal gibt es eine Felsformation, die als Basis für den mittleren Stützturm dienen könnte, aber es gab Probleme durch eine Senkung.



Der Brückenentwurf besitzt 1.055 und 1.155 m lange Hauptspannen, die sich in 50 m Höhe über den Kanal von Chacao erstrecken.

„RM Bridge war ein sehr leistungsstarkes Tool für die schwierigen Entwurfsaufgaben der Brücke von Chacao. Es verbesserte den Prüfprozess und stellte die Qualität des Prozesses sicher. Die Software ist eine ausgezeichnete Plattform für Innovation.“

– Ing. Matias Valenzuela, Ph.D.,  
Ministerium für öffentliche  
Bauvorhaben in Chile

**Mehr Infos über Bentley  
finden Sie unter:  
[www.bentley.com](http://www.bentley.com)**

**Bentley kontaktieren**  
1-800-BENTLEY  
(1-800-236-8539)  
Außerhalb der  
USA +1 610-458-5000

**Liste der weltweiten  
Niederlassungen**  
[www.bentley.com/contact](http://www.bentley.com/contact)



*Die Software von Bentley hat die Auswertung von Alternativen optimiert, die unter wechselnden Entwurfsanforderungen aufbereitet wurden, und konnte die Arbeitsteilung und die gegenseitige Überprüfung zwischen den Teammitgliedern vereinfachen.*

### Schnelle, präzise Analyse

Um die Sicherheit und Einsatzbereitschaft der Brücke unter diesen Bedingungen sicherzustellen und den strengen Umweltvorgaben für den Schutz der lokalen Flora und Fauna, archäologischer Zonen und von Ureinwohnergemeinschaften zu gehorchen, führte das Projektteam eine globale Analyse und eine Zeitverlaufsanalyse mit RM Bridge durch, die auf mehreren Engineering-Studien basierte. Bei den Analysen wurden Faktoren untersucht, die sich auf lineares, nicht lineares, statisches und dynamisches Verhalten auswirken, unter anderem isobathisch, geodätisch, geologisch, geotechnisch, seismisch, topographisch und aerodynamisch. Das MOP implementierte gINT, um die Datenverwaltung zu optimieren und Berichte für die geotechnischen und georäumlichen Arbeiten bereitzustellen.

Eine Windkanalanalyse untersuchte die aerodynamische Stabilität der Brücke sowohl in Teilen (Fahrbahn, Türme, Hängkabel), als auch als Ganzes. Das MOP verwendete die fortschrittlichen Windanalysefunktionen von RM Bridge, um computergestützte Studien der Flüssigkeitsdynamik durchzuführen. Die seismische Analyse konzentrierte sich auf spezifische Reaktionskriterien für das Verhalten von Fundament und Boden. Die Krafteinwirkung der Wellen im Falle eines Tsunami musste ebenfalls berücksichtigt werden. Diese umfangreiche PSH-Analyse (Wahrscheinlichkeit einer seismischen Gefährdung) definierte die Struktur, die unter Berücksichtigung der seismischen Aktivitäten zu verwenden war.

Der bauliche Entwurf der Brücke über den Kanal von Chacao wurde durch die seismischen Entwurfskriterien vorgegeben, in Übereinstimmung mit den AASHTO LRF Bridge Design Specifications (2012) sowie chilenischen Normen (NCh), japanischen Normen und Eurocodes. Angesichts dieser ungünstigen Umgebungsbedingungen reduzierten die Funktionen für die parametrisierte Analyse von RM Bridge die Zeit für die Auswertung von Alternativen und die Überprüfung des baulichen Entwurfs. RM Bridge erwies sich als leistungsfähiges Werkzeug für die Überprüfung komplexer baulicher Entwürfe und eine schnelle Reaktion auf Bedingungen vor Ort, für die Änderungen des Entwurfs notwendig wurden.

„RM Bridge war ein sehr leistungsstarkes Tool für die schwierigen Entwurfsaufgaben der Brücke von Chacao. Es verbesserte den Prüfprozess und stellte die Qualität des Prozesses sicher“, so Matias Valenzuela, Ph.D., Ministerium für öffentliche Bauvorhaben von Chile. „Die Software ist eine hervorragende Plattform für Innovation.“

### Wirtschaftlicher Brückenentwurf

RM Bridge trug dazu bei, Probleme zu lösen, die während des Baus aufgrund ungünstiger Bedingungen auftraten. Die Brücke ist asymmetrisch und besitzt zwei Spannarme unterschiedlicher Längen, deshalb müssen die drei Pfeiler ungleiche Lasten ausgleichen. Der mittlere, 175 m hohe Turm in Form eines umgekehrten Y wurde zum Fokus intensiver Eindämmungsbemühungen, als die Senkung der Felsenformation in der Mitte des Kanals eine bauliche Schwierigkeit verursachte. Das Problem wurde unter Verwendung der fortgeschrittenen Analysefunktionen für Dynamik und Wind von RM Bridge gelöst. Eine computergestützte 3D-Analyse unterstützte die Auswertung von Alternativen und verbesserte den Entwurf des mittleren Turms.

Sobald der Bau fertig ist, übernimmt MOP die Verantwortung für den Betrieb und die Wartung der Brücke. MOP hat das Projektteam angewiesen, Effizienz und Wirtschaftlichkeit für Betrieb und Wartung beim Entwurf der Brücke zu berücksichtigen, sodass das Ministerium davon ausgeht, dass die Erhaltungskosten für diese Infrastruktur optimiert wird. Insgesamt geht das MOP davon aus, dass der hochqualitative Entwurf für diese mehrspännige Hängebrücke möglich war, weil das Team die fortschrittlichsten Engineering-Applikationen für den Brückenbau eingesetzt hat, die auf dem Markt erhältlich sind.

Mit einer Entwurfslebensdauer von 100 Jahren verbessert die Brücke über den Kanal von Chacao die Lebensqualität, die Wirtschaft und den Tourismus für die Insel Chiloe und die Hafenstadt Puerto Montt. Die Brücke ersetzt den unregelmäßigen Fährdienst über den stürmischen Kanal und verkürzt die Reisedauer auf ein paar Minuten. Ein verbesserter Zugang und Mobilität zwischen dem Festland und der Insel unterstützen das Einwirken von Fachleuten auf das Leben und die Arbeit in dieser Region. Außerdem dient die Brücke als Kanal für Wasser-, Strom- und Telekommunikationsleitungen, womit die Gelegenheit für neue Entwicklungen geschaffen wird. Letztlich wird die Brücke über den Kanal von Chacao die Insel Chiloe mit dem Autobahnssystem von Chile verbinden und die Inselgemeinschaft mit dem restlichen Land vereinigen. Die chilenische Regierung geht davon aus, dass die verbesserte Wirtschaft zu einer sozialen Rendite von 6 Prozent in der Region führen wird.

Die Brücke über den Kanal von Chacao ist ein Vorzeigeprojekt – als die erste lang gespannte Hängebrücke in Chile. Sie stellt eine Gelegenheit für den Austausch von Technologiewissen zwischen MOP und den am Konsortium beteiligten Partnern dar. Außerdem zeigt sie, dass Chile ein günstiges Geschäftsklima für die Entwicklung großer Projekte besitzt.