



Eine Brücke – viele statische Modelle

Für jede Aufgabe findet KMP ZT-GmbH, Linz, eine Lösung in den Werkzeugen der SOFiSTiK FEM

Außergewöhnliche Tragstrukturen erfordern auch von der Statik-Software außergewöhnliche Funktionalitäten. Die architektonisch gestaltete Brücke über die Donau mit ungewöhnlichem Tragverhalten stellte die statische Bemessung vor Herausforderungen.

„Für außergewöhnliche Projekte brauchen wir auch eine Statik-Software, die auch spezielle Funktionalitäten bietet, die weit über den alltäglichen Umfang hinausgehen“, sagt Günther Mayrhofer, Projektleiter Statik bei KMP ZT-GmbH, die seit mehr als 10 Jahren auf SOFiSTiK-FEM im Brückenbau setzen. „Noch besser ist es, eine Software zu haben, die beides abdeckt: Alltag und Spezialanwendungen.“

Nach dem ersten Platz im Wettbewerb um den Ersatzneubau der Linzer Eisenbahnbrücke im Team aus Architekten und Ingenieuren stand ein solches

Projekt zur Detailbemessung an. Eine vierfeldrige Zügelgurtbrücke mit bogenförmigen, aufgelösten Zuggliedern ist keine alltägliche Tragstruktur. Zusammen mit veränderlichen, sehr schlanken Querschnitten und einer kombinierten Belastung aus Straßen-, Eisenbahn- und Fußgängerverkehr forderte dieses Projekt das Team von KMP ZT-GmbH genauso wie die Statik-Software von SOFiSTiK.

Brücke

Die Lage im innerstädtischen Bereich stellt verkehrstechnisch vielfältige Anforderungen an die Querung der Donau. Ein mehr als 30 m breiter Brückenquerschnitt deckt den Platzbedarf für Fußgänger und Radfahrer genauso wie für Straßenverkehr und lokalem Bahnverkehr.

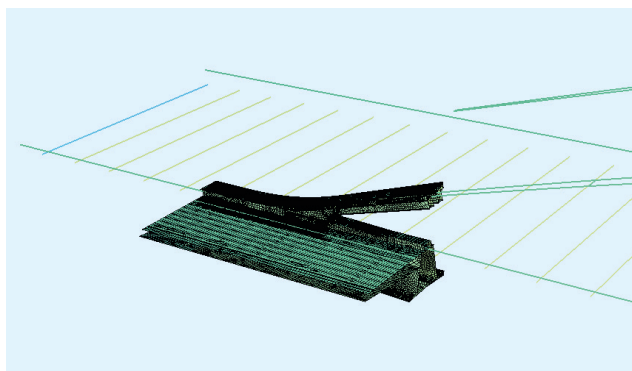
Markant sichtbar sind die über der Fahrbahn liegenden bogenförmigen Tragelemente, mit ihren

aufgelösten Querschnitten, die sich mit der Höhenlage auch sowohl in den Abmessungen als auch in der Querschnittsform verändern, um die Leichtigkeit des architektonischen Erscheinungsbildes zu unterstreichen. Gut sichtbar sind auch die V-förmigen Unterstützungen, die die Kräfte in den Lagerpunkten ableiten.

Die Haupttragelemente in Längsrichtung sind zwei mehrzellige Stahlhohlkästen, die durch die bogenförmigen Zügelgurte unterstützt werden. Die Querschnitte der Längsträger sind über die Länge veränderlich. Der 5 m breite Geh- und Radweg ist fest mit den Längsträgern verbunden und übernimmt auch Traganteile. In Querrichtung trägt eine Verbundplatte aus niedrigen Stahlquerträgern und einer Stahlbetonplatte, die auch in Längsrichtung mitträgt.

Eingaben im Team

Während der Detaildimensionierung eines so komplexen Tragmodells kommt es zwangsläufig auch am statischen Modell immer wieder zu Verfeinerungen und Änderungen. Da aufgrund der Projektgröße parallele Bearbeitungen durch mehrere Personen notwendig waren, haben wir nach einer praktikablen Möglichkeit gesucht, notwendige Änderungen einerseits nachvollziehbar machen zu können und andererseits auch in allen Detailmodellen einpflegen zu können.



Detailmodell eines Stahlknotens

Wir haben uns für die textbasierte Eingabe in SOFiSTiK entschieden. Die Erstellung des Grundmodells erfordert bei dieser Eingabe etwas mehr Überlegungen, erlaubt aber auch eine klare und nachvollziehbare Struktur der Eingabe, die auch mit Anmerkungen ergänzt werden kann. Wiederholungen, wie zum Beispiel für die 132 gleichen Querträger, können mit Schleifen einfach behandelt werden. Dies erlaubt es, Eingaben für einen Träger mit wenig Aufwand auch auf alle anderen zu übertragen. Die textbasierte Eingabe ermöglicht es aber auch Änderungen mit wenig Aufwand zwischen Projektbeteiligten auszutauschen.

Verwaltung von Detailmodellen

Für die Analyse eines Brückenobjektes dieser Größe sind mehrere statische Modelle notwendig. In einem einzigen Modell ist es praktisch nicht möglich globale und lokale Auswirkungen gemeinsam zu untersuchen. Für die globale Betrachtung haben wir zwei Modelle untersucht. Ein reines Stabmodell für die Auswirkungen auf die Stahlbauteile und ein kombiniertes Stab- und Flächenmodell für die gemeinsame Wirkung der Fahrbahnplatte mit den Stahlträgern.

Die entworfene Konstruktion bewirkt, dass die meisten Belastungen über das gesamte Tragwerk weitergeleitet werden. Daher war es notwendig, auch die lokalen Untersuchungen auf Gesamtmodellen durchzuführen. Zu untersuchen waren acht unterschiedliche Knotenmodelle. Von Vorteil war hier, dass das Tragwerk von Beginn an komplett symmetrisch geplant wurde. Die große Frage war: Wie können wir sicherstellen, dass auftretende Änderungen in allen Modellen nachgezogen werden?

Dabei war die mächtige Eingabesprache von SOFiSTiK eine große Hilfe. Diese hat es uns erlaubt, alle Modelle in einer einzigen Datei zu verwalten und mit Variablen die Modellerzeugung und Lastaufbringung so zu steuern, dass die unterschiedlichen Modelle erzeugt werden konnten. Konkret wurde in einer einzigen SSD-Datei eine Kombination aus Parametersubstitution mit `#define` und logischen Abfragen mit dem Satz `IF` verwendet. Beispielsweise wurden für das Knotenmodell über dem Auflager in diesem Bereich keine Stabelemente für die Stahlträger erzeugt, sondern stattdessen Flächenelemente für die einzelnen Bleche modelliert. Die Verkehrslasten im Bereich der Fahrbahn und die Windlasten auf die bogenförmigen Träger konnten unverändert vom Grundmodell übernommen werden. Musste eine Anpassung an den Lasten oder an den Blechstärken der Träger außerhalb des Knotenbereichs vorgenommen werden, konnten diese im Grundmodell durchgeführt werden und das Knotenmodell daraus neu erzeugt werden.

Kombination von grafischer und textbasierter Eingabe

Die Erstellung der Flächenelemente für die Knotenmodelle ist textbasiert möglich, wäre aber etwas aufwändig gewesen. Daher haben wir uns für die Modellierung in SOFiPLUS entschieden. Der modulare Aufbau von SOFiSTiK erlaubt es, die unterschiedlichen Eingabemethoden zu kombinieren. Mit der grafischen, AutoCAD-basierten Eingabe in SOFiPLUS konnte auch die anspruchsvolle, räumliche Geometrie der Knoten übersichtlich

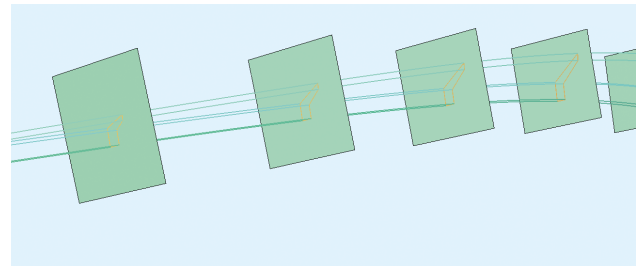
modelliert werden. Mit Hilfe der Exportfunktionen wurden aus der 3D-Zeichnung eine Texteingabe generiert, die dann in die Datei des Grundmodells eingefügt wurde. Zur Übersichtlichkeit hat hier beigetragen, dass im SSD die Eingabe in „Tasks“ aufgeteilt wird. Für jedes Knotenmodell wurde ein eigener Task verwendet, der dann einfach geändert werden konnte.

Geometrische Berechnungen mit SOFiMSHC

Die Gestaltung der Brücke vom Architektenteam von MMA und MMI erfolgte mit Freiformmodellierung in Rhino. Die Querschnitte der Hauptträger sind veränderlich in Höhe und Breite, die gebogenen Zügelgurte weisen zusätzlich noch veränderliche Winkel auf. Für die Ausführungsplanung wurden die Oberflächen der Bauteile mithilfe von Koordinaten in zahlreichen vertikalen Schnitten beschrieben. Die Herausforderung bestand darin, diese Angaben in ein statisches Modell zu übertragen. Dafür waren entlang der jeweiligen Stabachse die Querschnittswerte senkrecht zur Achse zu ermitteln und einzugeben. Diese Aufgabe hätte mit Hilfe von räumlichen Schnitten durch ein 3D-Modell in Autodesk® Revit®, AutoCAD® oder Rhino gelöst werden können, was einen großen manuellen Aufwand bedeutet hätte. Sinnvollerweise wollten wir die Querschnittswerte in den Querschottenebenen angeben, aber die genaue Austeilung stand zu diesem Zeitpunkt noch nicht fest.

Wir hatten bereits gute Erfahrungen mit dem Vernetzungs- und Geometrie-Modul SOFiMSHC gesammelt. Gekrümmte Achsen, beliebige Ebenen und die Verschneidung von Elementen sind nur einige der Werkzeuge, die das Modul bietet. Daraus entstand die Idee, die Querschnittswerte für die Stabelemente der bogenförmigen Zügelgurte mit dem Modul SOFiMSHC automatisiert berechnen zu lassen. Die Grundidee war, die Kanten der Oberflächen mit Splines nachzubilden, dies konnten die Geometrieachsen GAX erledigen. Entlang der festgelegten Stabachse wurden die Querschotten ausgeteilt. Senkrechte Ebenen sind

durch die automatische Drehung von Strukturpunkten entlang der Achsen komfortabel zu definieren. Die Verschneidung von Flächen mit Achsen ist eine der Grundfunktionen, die das Modul bietet. Die so konstruierten Schnittpunkte bildeten den Querschnitt des Stabes. Die lokalen Y- und Z-Ordinaten der Querschnittselemente wurden mit Hilfe von Strukturlinien ermittelt, deren Länge ausgelesen wurde. Damit konnten die Querschnittswerte automatisiert aus den Geometrieangaben ermittelt werden. Nach einer Änderung der Querschottausteilung konnten so per Knopfdruck die neuen Querschnittswerte ermittelt werden.



Erzeugung von räumlichen Schnitten mit SOFiMSHC zur Generierung von Querschnittsabmessungen

Kontrolle der Geometrie

Mit SIX, einem Vorgänger des SOFiSTiK Bridge + Infrastructure Modeler (SBIM), wurde die erzeugte Geometrie aus dem FEM-Modell wieder in ein 3D-Geometriemodell exportiert und mit dem Grundmodell aus der Architekturplanung auf Übereinstimmung kontrolliert.

Bemessung der Fahrbahnplatte

Auch bei der Bemessung der Fahrbahnplatte mussten die neuesten Funktionen von SOFiSTiK-FEM eingesetzt werden, um die Anforderungen umsetzen zu können. Herstellungsbedingt war eine Kombination aus Fertigteilen und Aufbeton vorgesehen. Die untere Bewehrung musste wegen der geringen Plattendicke auf Fertigteile und Aufbeton aufgeteilt werden. Dies erforderte eine Berechnung mit insgesamt sechs Bewehrungslagen. Das Bemessungsmodul BEMESS bietet seit



Die fertige Brücke



Rendering der Brücke aus dem Vorprojekt

kurzem die Möglichkeit mehrere, auch parallele, Bewehrungslagen zu berücksichtigen. Mit dieser sogenannten Layerbemessung konnte für diese hochbewehrte Platte eine wirtschaftliche Lösung gefunden werden, weil die Tragwirkung aller Bewehrungsstäbe mitberücksichtigt werden konnte. Die Fahrbahnplatte trägt vor allem die Beanspruchungen aus den lokalen Verkehrslaststellungen, aber auch aus der globalen Tragwirkung entstehen maßgebliche Beanspruchungen. Daher musste, abgesehen von der Symmetrie um die Brückenmitte, jeder Abschnitt der Fahrbahnplatte getrennt analysiert werden. Diese Anforderung brachte das FE-Modell an seine Grenzen. Zur Berücksichtigung der lokalen Effekte ist ein feines FE-Netz der Fahrbahnplatte erforderlich, zur Berechnung der globalen Effekte aber ein Gesamtmodell. Ein ausreichend

feines Netz über die gesamte Brückenlänge von 400 m hätte die Kapazitäten und Rechenzeiten der zur Verfügung stehenden Computer gesprengt. So wurden für eine Tragwerkshälfte vier getrennte Modelle verwendet, in denen nur der jeweils betrachtete Bereich verfeinert wurde. Trotzdem beanspruchte jede der Datenbanken mehr als 80 GB, um alle notwendigen Lastfälle abspeichern zu können.

Um die Auswertungen zu beschleunigen, wurde das Modul dbMerge verwendet. Damit konnte eine neue Ergebnisdatenbank erzeugt werden, die nur die bemessungsrelevanten Lastfallergebnisse sowie die Bemessungsergebnisse enthielt. Das Postprocessing funktionierte deutlich schneller, weil die Datenbankgröße auf 5 GB reduziert werden konnte.



Projektleiter Statik bei KMP ZT-GmbH
Bauingenieur Günther Mayrhofer ist zufrieden:

„Für jede Herausforderung
gab es eine Lösung.“



www.kmp.co.at



SOFISTiK AG · Flatastr. 14 · 90411 Nürnberg · Germany
info@sofistik.de · www.sofistik.de