




# Konzept zur KI-gestützten parametrischen Brückenmodellierung für ressourcen- und kostenoptimierte Bauwerksentwürfe

Jonas Wiederer<sup>1</sup> , Simon Höng<sup>1</sup>  and Friedrich Eder<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, Seybothstraße 2, 93053 Regensburg, Germany

E-mail(s): [jonas.wiederer@oth-regensburg.de](mailto:jonas.wiederer@oth-regensburg.de), [simon.hoeng@oth-regensburg.de](mailto:simon.hoeng@oth-regensburg.de),

[friedrich.eder@oth-regensburg.de](mailto:friedrich.eder@oth-regensburg.de)

**Abstract:** Brückenbauwerke stellen eine wesentliche Komponente einer soliden Infrastruktur dar. Wegen vernachlässigter Instandsetzungsmaßnahmen und sich verändernder Anforderungen sind für eine Vielzahl dieser Bauwerke in Deutschland Ersatzneubauten notwendig. Diese Arbeit adressiert die Herausforderungen der Ressourcenverschwendung durch wiederholten Arbeitsaufwand bei individuellen Brückenentwürfen für die angesprochenen Bauwerke. Es wird ein parametrisches Entwurfsmodells in *Siemens NX* entwickelt, um den Entwurfsprozess zu beschleunigen und eine einfache Anpassung an die entsprechenden Rahmenbedingungen zu ermöglichen. Zudem wird eine effektive Methode zur Anbindung an die Kostenermittlungssoftware *RIB iTWO* vorgestellt, die eine nachgelagerte Kostenkalkulation nach DIN 276 ermöglicht. Aufbauend darauf wird ein Optimierungsworkflow vorgestellt, welcher verschiedene Faktoren einbindet, um einen hochwertigen Bauwerksentwurf zu erzielen. Hierbei wird die Einbindung von Techniken aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz angestrebt. Die vorgestellte Methodik soll die Wirtschaftlichkeitsbewertung und Entscheidungsfindung für die Realisierung der Brückenentwürfe erleichtern und somit zu einer effizienteren Nutzung von Ressourcen im Brückenbau beitragen.

**Keywords:** Building Information Modeling (BIM), Parametric Modeling, Artificial Intelligence (AI), Industry Foundation Classes (IFC), Design Automation



Erschienen in Tagungsband 35. Forum Bauinformatik 2024, Hamburg, Deutschland, DOI: 10.15480/882.13506

© 2024 Das Copyright für diesen Beitrag liegt bei den Autoren. Verwendung erlaubt unter Creative Commons Lizenz Namensnennung 4.0 International.

## 1 Motivation

Über zehn Prozent des deutschen Bruttoinlandsprodukts werden für Bauinvestitionen verwendet<sup>1</sup>. Bei einem gesamten nominalen Bauvolumen von 565,3 Mrd. € fallen etwa 20 Prozent auf den Tiefbau im privaten und öffentlichen Sektor<sup>2</sup>. Hierzu zählen auch Brückenbauwerke, welche für die Infrastruktur von besonderer Bedeutung sind. Diese ermöglichen die Durch- und Überquerung von Bauwerken, Straßen oder auch geographischer Merkmale wie Täler und Flüsse. Aufgabe der Baubranche ist,

<sup>1</sup>[https://www.bauindustrie.de/fileadmin/user\\_upload/Bauwirtschaft-im-Zahlenbild-2023-A5\\_final.pdf](https://www.bauindustrie.de/fileadmin/user_upload/Bauwirtschaft-im-Zahlenbild-2023-A5_final.pdf)

<sup>2</sup><https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2024/ak-01-2024-dl.pdf>

diese neuralgischen Infrastrukturbauwerke in Betrieb zu halten. Durch regelmäßige Kontrollen können Schwachstellen und Mängel identifiziert und entsprechende Sanierungs- und Instandhaltungskonzepte entwickelt und schließlich umgesetzt werden. Da die Hälfte der Brücken bereits in den 1960er und 1970er Jahren gebaut wurden<sup>3</sup> kommt es nicht selten vor, dass sich eine Sanierung des betroffenen Bauwerks aus wirtschaftlichen Gründen nicht lohnt. Somit ist der Rückbau der Bestandsbrücke und der anschließende Neubau ein übliches Vorgehen. In Deutschland gibt es (Stand 2024) rund 39.500 Brückenbauwerke unterschiedlicher Ausprägung (Bauweise, Material, Gesamtlänge) auf Bundesfernstraßen; rund zwei Drittel davon weisen eine geringere Gesamtweite als 30 Meter auf.<sup>4</sup> Die Gesamtlänge einer Brücke ist ein guter Indikator zur Abschätzung des entsprechenden Planungs- und Fertigungsaufwands. Der Grund hierfür sind spezielle Bauverfahren wie beispielsweise Vorschubrüstungen oder Taktschiebeverfahren, die bei kurzen Brücken nicht üblich sind. Diese komplexeren Bauverfahren betreffen daher lediglich ein Drittel aller Brückenbauwerke. Die kürzeren Brücken sind grundsätzlich weniger komplex und damit ist auch der Planungsaufwand geringer. Hierbei kommen häufig sog. Richtzeichnungen zum Einsatz. Das bedeutet, dass viele dieser Brücken einen ähnlichen Aufbau haben, jedoch für jedes Projekt neu geplant werden müssen. Der Einsatz digitaler Werkzeuge wie Building Information Modeling (BIM), parametrische Brückenmodelle und Künstlicher Intelligenz (KI) können hier einen Beitrag zur Steigerung der Effizienz bei der Planung dieser Bauwerke leisten.

## 2 Stand der Technik

Die Erstellung von parametrischen Brückenmodellen bietet zahlreiche Vorteile wie einen effizienteren Designprozess und eine einfachere Anpassung an verschiedene Rahmenbedingungen. Die Relevanz dieser Methodik wird durch mehrere Studien in der Literatur belegt. Eine umfassende Untersuchung zu einem parametrischen BIM-Ansatz zur Brückenkonstruktion und -analyse wird in [1] präsentiert. Darin wurde ein parametrisiertes und steuerbares Brückenmodell über die visuelle Programmierstelle Rhino Grasshopper erstellt und mittels des Grasshopper-Tekla Live Link Plugins nach Tekla Structures transferiert. Der Schwerpunkt dieses Ansatzes liegt auf der Entwicklung eines flexiblen und anpassbaren Workflows zur effizienten Variantenuntersuchung. Ein umfassender Einblick in die grundlegenden Methoden und das Vorgehen bei der Erstellung eines parametrisierten und assoziativ gekoppelten Brückenmodells wird in [2] gegeben. Eine Erweiterung des IFC-Formats zur Unterstützung der Parametrik in Brückenmodellen wird in [3] vorgestellt. Dort wurde das IFC-Bridge Format durch eine semantische Beschreibung ergänzt, sodass die Parametrik der Brückenmodelle beim Datenaustausch erhalten bleibt. Dadurch wird ein mächtiger, offener und neutraler Standard zum Austausch von Brückenmodellen gefördert. Die Vorteile, die Modellierungstools aus dem Bereich des Maschinenbaus, wie *Siemens NX*, im Kontext der parametrischen Modellierung gegenüber den in der Baubranche typischerweise verwendeten Tools bieten, wurden in [4] aufgezeigt. Etablierte BIM-Autoren-Software wie Revit oder ArchiCAD fokussieren sich eher auf den Bereich des Hochbaus und eignen sich damit nur bedingt für die Erstellung parametrisch vollbestimmter Brückenbaumodelle. Um die Potenziale der parametrischen Modelle voll auszuschöpfen, ist es sinnvoll zu untersuchen, inwiefern sich diese Modelle zur Optimierung eines Bauwerks nutzen lassen. [5] präsentiert ein

<sup>3</sup><https://www.bast.de/DE/Statistik/Bruecken/Brueckenstatistik.pdf>

<sup>4</sup><https://www.bast.de/DE/Publikationen/Regelwerke/Ingenieurbau/Entwurf/RiZ-ING-Gesamt.pdf>

computergestütztes Werkzeug zur Optimierung von Brückenkonstruktionen, speziell für durchlaufende, vorgespannte Betonkastenträger-Straßenbrücken mittels des Harmony-Search-Algorithmus. Durch den Einsatz verschiedener Module werden optimale Konstruktionsparameter berechnet, die den festgelegten Anforderungen entsprechen. Der automatisierte Datenaustausch mit Fachsoftware ermöglicht eine tiefere Evaluation der Parameter. Moderne KI-Technologien erweisen sich als besonders geeignet zur Optimierung von Parametern und Modellen. Eine Arbeit zur Optimierung parametrischer Modelle mithilfe von KI wird in [6] präsentiert. Dort wurde sich mit der Anwendung von KI-Technologien zur automatisierten Verbesserung parametrischer Modelle befasst. Anhand eines parametrischen Modells für eine Stahlrahmenhalle wurden verschiedene Regressionstechnologien genutzt. Dazu wurde eine Schnittstelle zum Finite-Elemente-Programm SOFiSTiK implementiert, welches die Prädiktionen der KI bezüglich der Parameter der Stahlrahmenhallen an ein Eingabefile übergibt und die Berechnung und Bemessung anstößt. Die Arbeit zeigt, dass ein prototypischer KI-basierter Assistent zur Vorbemessung von Stahlrahmenhallen erfolgreich umgesetzt werden konnte.

In dieser Arbeit wird ein Konzept für die effizientere Planung und Bewertung von Brückenbauwerken beschrieben. Dafür werden Erkenntnisse aus den aufgeführten Arbeiten genutzt und für einen spezifischen Workflow weiterentwickelt. Die Grundlage für diesen Workflow liefert ein parametrisch-assoziatives Brückenmodell in *Siemens NX*. Im Zuge dessen wurden Ansätze entwickelt, fachfremde (Maschinenbau-)Software mit domänenspezifischer Bausoftware zu verbinden. Damit können durch nachgelagerte Prozesse das Bauwerk bewertet und Parameter angepasst werden. Inwiefern dies auch durch KI-Techniken (z.B. Reinforcement Learning) erfolgen kann, wird abschließend diskutiert. Ein solcher ganzheitlicher Workflow, der speziell für parametrische Brückenmodelle in *Siemens NX* entwickelt wurde, scheint ein bisher unveröffentlichter Ansatz zu sein.

### 3 Methodik

Die beschriebene Methodik verfolgt das Ziel, einen möglichst automatisierten Workflow von der Brückenkonstruktion bis hin zu entscheidungsrelevanten Prozessen wie Kostenermittlungen oder Tragwerksanalysen zu ermöglichen. Informationen, die in diesen nachgelagerten Prozessen gewonnen werden, lassen sich zur Optimierung des Bauwerksentwurfs verwenden, was beispielsweise durch die Berücksichtigung wirtschaftlicher oder strukturmechanischer Kenngrößen erfolgen kann. Um eine durchgängige Umsetzung einer automatisierten Optimierung zu ermöglichen, muss das Bauwerk einen möglichst hohen Parametrisierungsgrad aufweisen. Aus den im Stand der Technik aufgeführten Gründen wurden in dieser Arbeit die Modelle mit *Siemens NX* konstruiert und weiterverarbeitet. Die so entstandenen parametrischen Modelle, lassen sich in nachgelagerten Workflows von Mensch und Maschine (z.B. in Form von KI Agenten) gleichermaßen editieren. Die Integration von Algorithmen aus dem Bereich des maschinellen Lernens hat hier das Potential, sich als ein leistungsfähiges Werkzeug für den Bauwerksentwurf zu erweisen.

#### 3.1 Konzept

Ausgehend von einem konstruierten, voll-parametrischen Brückenmodell sollen nachgelagerte Prozesse (Kostenermittlung, Tragwerksanalyse etc.) möglichst automatisch angesteuert werden und damit den Entwurfsprozess verbessern. Parameterwerte (Breite, Höhe etc.) und Trassierungsinfor-

mationen (Absteckpunkte, Lageplan, Gradiente etc.) sind entsprechende Steuervariablen über die ein Brückenmodell beschrieben werden kann. Die Eingabe erfolgt über eine Produktvorlage (*Product Template*), bei der Werte und Bauteiltypen angepasst werden. Um das Modell für bauspezifische Software nutzen zu können, werden die generierten Daten im IFC-Schema abgespeichert und anschließend in unterschiedlichen Analysesoftwaren (AVA-Software, Tragwerksanalyse etc.) evaluiert. Das oben beschriebene Konzept wird durch die Bewertung der Wirtschaftlichkeit mit der 5D Software *RIB iTWO*, exemplarisch untersucht. So werden Positionen eines einmalig erstellten, generischen Leistungsverzeichnisses (LV) über sogenannte Matchkeys (bauteilbezogene Primärschlüssel) einzelnen Bauteilen zugeordnet. Die Kopplung zwischen LV-Positionen und BIM-Objekten ermöglicht somit eine objektbezogene Attributsabfrage (Geometrie, Material, Typ etc.), die dazu verwendet wird, Mengen in das verbundene LV zu übertragen. Aus den Mengen und zugehörigen Einheitspreisen (EP) kann je Bauteil(gruppe) eine Kostenschätzung erfolgen, womit sich die Kenngröße Kosten für jeden Entwurf automatisiert ermitteln lässt. Durch die jeweilige zyklische Rückgabe dieses Ergebnisses können die Parameter angepasst und eine neue Modellvariante entwickelt werden. Der neue Input kann durch die planende Person oder auch durch eine künstliche Intelligenz retrospektiv angepasst werden. Dadurch entsteht eine Optimierungsschleife, die so lange durchlaufen werden kann, bis eine oder mehrere definierte Zielfunktionen, wie beispielsweise minimale Kosten und optimale Auslastung des Tragwerkes, erreicht sind.

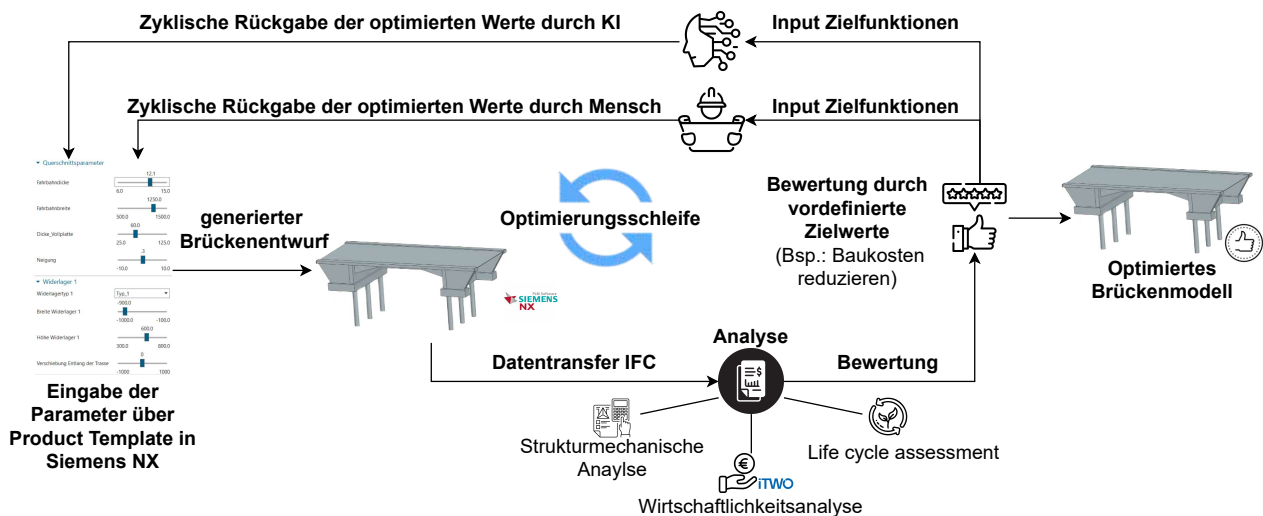


Abbildung 1: Zirkulärer Optimierungsworkflow für Brückenbauwerke

### 3.2 Aufbau des parametrischen Modells

Die Grundlage für den kompletten Workflow bildet das parametrisch aufgebaute Brückenmodell in *Siemens NX*. Für den Konstruktionsprozess wurde gemäß der Top-Down-Methode gearbeitet, da sie komplexe und fehlerfreie Änderungen präzise ermöglicht. Die Methode hat den Vorteil, dass bei der Änderung einzelner Bauteile alle abhängigen Bauteile assoziativ angepasst werden. Das Konzept baut auf vorab definierten Referenzen auf, die in übergeordneten Baugruppen abgespeichert werden und für alle weiteren Bauteile als hierarchischer Container dienen. Für das Brückenmodell werden Trasse, Widerlagertypen und Parameter (Querneigung, Steghöhe etc.) als Steuergrößen

genutzt. Die jeweiligen Koordinaten für die Führungslinie wurden als CSV-Datei über die visuelle Programmierschnittstelle (*Algorithmic Modeling*) importiert und weiterverarbeitet. Mit dieser Methode wird gewährleistet, dass unterschiedliche Koordinaten eingelesen und damit Brücken direkt und ohne manuelle Änderungen realisiert werden können. Die einzelnen Komponenten der Brücke (Widerlager, Unterbau, Oberbau, Kappen etc.) werden als rein geometrische Körper aufgebaut, anhand der Führungslinie positioniert und ausgerichtet.

### 3.3 Erzeugung der Modellinstanz über die Parameter

Um ein Modell zu erzeugen, müssen zuerst Koordinaten in Form einer CSV-Datei eingelesen werden. Nach dem Import werden alle Bauteile generiert und können anschließend für jedes Projekt modifiziert werden. Schnelle Änderungen sind durch Produktvorlagen im Product Template Studio (PTS) möglich, im Template können Anpassungen durch verschiedene Änderungsfunktionen in Echtzeit durchgeführt werden. Mit der Auswahlfunktion können unterschiedliche Bauteiltypen ohne Verzögerung aktiviert und getestet werden. Zusätzlich werden zu jedem Bauteil Informationen hinzugefügt, die ähnliche Bauteile gruppieren und jedes Bauteil zusätzlich in Form von Matchkeys eindeutig identifizieren.

### 3.4 Datenaustausch

Der IFC-basierte Datenaustausch macht es möglich, Schnittstellen zu unterschiedlichen, fachspezifischen Autorensoftwares zu nutzen. So wurde die Bewertung der Wirtschaftlichkeit in Form einer Kostenschätzung nach DIN 276 mit *RIB iTWO* durchgeführt. Zur Erstellung bauspezifischer Fachmodelle in *Siemens NX* mussten beim Konstruieren zusätzliche Schritte unternommen werden, da alle Bauteile nur als geometrische Körper ohne spezifische Metadaten gespeichert werden. Diese fehlenden semantischen Informationen werden jedoch in *RIB iTWO* benötigt, um den in Abschnitt 3.1 beschriebenen Prozess umzusetzen. Zur Umsetzung des Workflows wurden jedem Bauteil ein alphanumerischer *Matchkey* zugeordnet, der sowohl Gruppen- als auch individuelle Zuordnungen ermöglicht.

### 3.5 Verarbeitung der Daten in der Zielsoftware

Das Modell wird als IFC-Datei über den BIM Qualifier nach *RIB iTWO* importiert und die Modellqualität (bezogen auf die Verarbeitbarkeit des Datensatzes) überprüft. Für die weiteren Prozesse in der Software wird die Datei in das sog. CPIXML-Format überführt und freigegeben. Für eine automatisierte Kostenschätzung werden Mustervorlagen in *RIB iTWO* für das sog. Ausstattungsdokument, das sog. Bemusterungsdokument und das LV erstellt. Im Ausstattungsdokument werden mit sog. Quantity-Takeoff-Abfragen (QTO) die geforderten Mengen ermittelt. Die Mengen können direkt in *RIB iTWO* berechnet oder über Attributabfragen aus den vorhandenen Informationen gezogen werden. Die Verknüpfung der Bauteile zu den Abfragen funktioniert über Objektauswahlgruppen. Diese werden im Bemusterungsdokument zugeordnet. Für eine Objektauswahlgruppe werden die in *Siemens NX* erstellten Matchkeys als Connector gespeichert, die die Bauteile mit der Ausstattung verbinden. Bei Änderung des Brückenentwurfs in der Ursprungssoftware muss das Modell neu in *RIB iTWO* importiert werden. Die Verknüpfungen werden dann automatisch aktualisiert. Das Ausstattungsdokument besitzt eine ähnliche Struktur wie das LV, deswegen können Positionen und enthaltene Informationen

übernommen werden. Kosteninformationen können manuell hinzugefügt oder durch Plug-Ins direkt in *RIB iTWO* geladen werden.

### 3.6 Rückgabe der Bewertung

Die Rückgabe und Verarbeitung der Ergebnisse ermöglichen es, in weiteren Schritten den Entwurf zu modifizieren. Durch die Vorgabe von Zielfunktionen können Änderungen durchgeführt und die Parameter abgeändert werden. Im durchgeführten Validierungsbeispiel werden kostenrelevante Daten in Form einzelner Positionen eines LVs zurückgegeben, die von der planenden Person weiterverarbeitet werden können. Im Anwendungsbeispiel werden ausschließlich kostenrelevante Informationen zyklisch verarbeitet. Weitere Prozesse, beispielsweise in Form einer strukturmechanischen Analyse, können ebenfalls durchgeführt werden. Damit ist auch die Einbeziehung mehrdimensionaler Zielwerte (z.B. Ergebnisse aus Kosten und Tragwerksanalyse) in die Optimierungsschleife denkbar. Hier kann eine Bewertungsmatrix genutzt werden, die ein optimales Ergebnis für die verwendeten Analysen nutzt. Für umfangreichere Gesamtanalysen kann der Einsatz von KI gewinnbringend genutzt werden. Sobald alle Parameter ihr Optimum erreicht haben, ist das Brückenmodell fertig und kann für die nächsten Planungsschritte verwendet werden.

## 4 Anwendungsbeispiel: Automatisierter Modellaustausch für Kostenermittlung

Durch die vorliegenden Dateien ist es möglich, individuelle Brückenentwürfe durch die Eingabe von Parameterwerten zu generieren. Der Import der Koordinaten als CSV-Datei gibt die Linienführung vor, die Quantität der Punkte kann die Modellqualität erhöhen und komplexere Linienführungen nachbilden. Mit der Parametereingabe im *Product Template* werden die Dimensionen der Brücke angepasst, vor allem Querschnittswerte des Ober- und Unterbaus, und Parameter wie Kreuzungswinkel, Spannweite und Schlankheit können ebenfalls durch die Auswahlmöglichkeiten aktiviert werden. Aus der Bibliothek können unterschiedliche Widerlagertypen für den Entwurf genutzt werden. Die Brücke wird als IFC-Datei nach *RIB iTWO* exportiert und analysiert. Beim Erstellen eines Projekts in der Software müssen die gespeicherten Mustervorlagen einmalig importiert werden, sodass ein automatischer Workflow durchgeführt werden kann. Im Ausstattungsdokument sind alle Bauteile mit den jeweiligen QTO-Mengenabfragen gelistet und durch die Verknüpfung der Informationen mit den Bauteilen über Matchkeys in der Bemusterung werden die Mengen direkt berechnet. Die Verbindung zwischen dem Ausstattungsdokument mit LV-ähnlicher Struktur und dem späteren LV ermöglicht eine Kostenschätzung. Die Kosten werden durch die planende Person eingegeben oder können durch Plug-Ins eingefügt werden. Das generierte LV gibt Aufschluss über die Kosten der jeweiligen Bauteile. So können zyklisch Änderungen der jeweiligen Parameter vorgenommen und schnelle Adaptionen durchgeführt werden. Das modifizierte Modell wird daraufhin erneut in *RIB iTWO* importiert und die Kosten dafür aktualisiert.

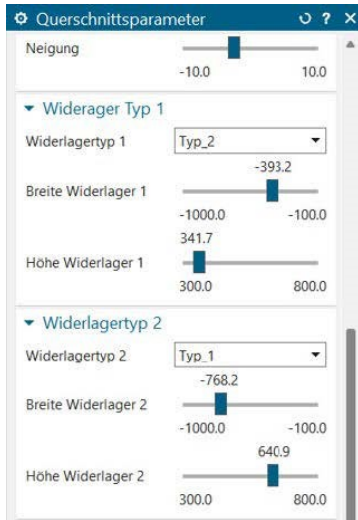


Abbildung 2: Definition der Parameterwerte

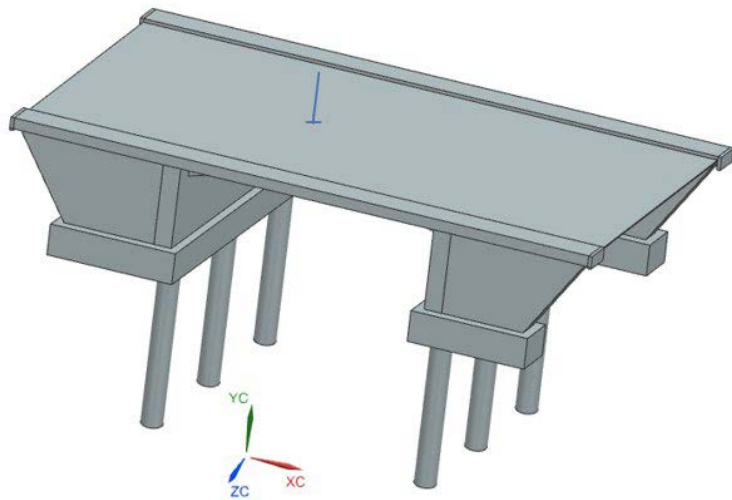


Abbildung 3: Generierter Brückenentwurf in Siemens NX

Struktur	OZ	Kurz-Info	Kurztext	Menge	ME	Einheitspreis	Gesamtbetrag	WE
	1		<b>Gesamtmodell</b>				<b>8.962,29</b>	<b>EUR</b>
	1.		Brückenmodell				8.962,29	EUR
	1.1.		Oberbau				0,00	EUR
	1.2.		Unterbau				8.962,29	EUR
	1.2.10.		Ortbeton Sauterkeitsschicht	1,716	m2	0,00	0,00	EUR
	1.2.20.		Ortbeton Fundament Widerlager auf Pfeiler	99,581	m3	90,00	8.962,29	EUR
	1.2.30.		Ortbeton Flügel	37,089	m3	0,00	0,00	EUR
	1.2.40.		Ortbeton Kammerwand mit Aufagerbank	76,274	m3	0,00	0,00	EUR
	1.3.		Gründung					

Abbildung 4: Beispielhaftes LV mit Kostenschätzung in RIB iTWO

## 5 Diskussion und Fazit

Mit der Integration eines parametrisch-assoziativen Brückenmodells in die Prozesse der modellbasierten Kostenermittlung wurde die Grundlage für das in der Methodik beschriebene Konzept geschaffen. In einem nachgelagerten Prozess wurden die Kosten als evaluierendes Beispiel berechnet. Für die Modellierung in *Siemens NX* konnte aufgezeigt werden, dass die Integration domänenspezifischer, semantischer Informationen (Bauteiltypen, Kostengruppen etc.) in ein generisches parametrisches Modell für den korrekten Datentransfer notwendig ist. Der erzeugte Modellentwurf ist aufgrund seiner Parametrik flexibel einsetzbar und kann durch den Import neuer Koordinaten für unterschiedliche Projekte verwendet werden. Mithilfe von angelegten Vorlagen und Bibliotheken werden Bauteile automatisch zugeordnet und Analysen in unterschiedlichen Bereichen ermöglicht. Dies hängt vor allem davon ab, welche Konnektoren (strukturmechanische Analyse, Kosten, Life Cycle Assessment etc.) für die Optimierungsschleife(n) integriert werden sollen und welchen Einfluss diese auf den Entwurf haben. Für die Bewertung des Modellentwurfs kann die Optimierungsschleife mit KI-Techniken wie dem Machine Learning effizienter durchgeführt werden. Eine Möglichkeit bietet hierfür der im Brückenbau von [5] erfolgreich angewandte Harmony-Search-Algorithmus. Der Algorithmus erzeugt

dabei neue Parameterwerte und vergleicht die generierten Modelle nach bestimmten Zielwerten miteinander. Die planende Person kann für die Entwürfe individuelle Zielwerte, wie maximale Gesamtkosten, vorgeben und bis zum Trennungskriterium die Optimierungsschleife durchführen. Da das Modell komplett parametrisch aufgebaut ist, sind Varianten durch einen Algorithmus leicht zu generieren. Insgesamt stellt die beschriebene Methode einen vielversprechenden Ansatz zur Verringerung des Planungsaufwandes von Brückenbauwerken dar. Insbesondere durch die detaillierte Ausarbeitung der beschriebenen automatisierten und KI-basierten Feedback-Schleife soll das Potential dieses Ansatzes in künftiger Forschung genauer evaluiert werden.

## Acknowledgements

Diese Veröffentlichung wurde im Rahmen des KIFa Projekts vom BMWK auf Basis einer Entscheidung des Deutschen Bundestages gefördert.

Zudem danken wir Prof. Dr. Michael Kraus für die Kooperation im Rahmen dieses Forschungsthemas.

## Literatur

- [1] V. Boretti, L. Bohórquez, P. Palumbo, R. Asso und D. Masera, »A Parametric BIM Approach for Bridge Design and Analysis«, in *Shell and Spatial Structures*, S. Gabriele, A. Manuello Bertetto, F. Marmo und A. Micheletti, Hrsg., Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, S. 609–618. DOI: 10.1007/978-3-031-44328-2\_63.
- [2] M. Obergrießer, *Digitale Werkzeuge zur integrierten Infrastrukturbauwerksplanung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2017. DOI: 10.1007/978-3-658-16782-0.
- [3] Y. Ji, A. Borrmann, J. Beetz und M. Obergrießer, »Exchange of Parametric Bridge Models Using a Neutral Data Format«, *Journal of Computing in Civil Engineering*, Jg. 27, Nr. 6, S. 593–606, Nov. 2013. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000286.
- [4] K. Lukas, Y. Ji, M. Obergriesser und A. Borrmann, »Parametrische Modellierung von Brückenbauwerken«, in *Tagungsband Des 20. Forum Bauinformatik*, 2008.
- [5] T. García-Segura, V. Yepes und J. Alcalá, »Computer-support tool to optimize bridges automatically«, *International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements*, Jg. 5, Nr. 2, S. 171–178, März 2017. DOI: 10.2495/CMEM-V5-N2-171-178.
- [6] R. Fisch, E. Stecker und M. A. Kraus, »Maschinelles Lernen beim Entwurf und der Bemessung von Stahlrahmenhallen«, *Stahlbau*, Jg. 92, Nr. 6, S. 332–344, 2023. DOI: 10.1002/stab.202200054.