

Diplomarbeit

# Entscheidungshilfe für die Auswahl von Behelfsbrückensystemen bei großen Flüssen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grads

Diplom-Ingenieur

eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

---

Diploma Thesis

## Flowchart for the selection of modular bridging systems for large rivers

submitted in satisfaction of the requirements for the degree

Diplom-Ingenieur

of the TU Wien, Faculty of Civil and Environmental Engineering

**Michael Kernstock, BSc**

Matr.Nr.: 01225986

Betreuung: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Gerald Goger**  
Univ.-Ass. Dipl.-Ing. **Bettina Chylik**  
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft  
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik  
Technische Universität Wien  
Karlsplatz 13/235-1, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Februar 2023

---



# Kurzfassung

Schlagwörter: Systembrücke, Behelfsbrücke, temporärer Brückenbau, Stahlfachwerkbrücken, technische Analyse, Kostenmodell, Entscheidungsmatrix

Im zivilen Bereich werden temporäre Brücken meist bei der Instandsetzung bestehender Brücken sowie im Katastrophenfall eingesetzt. Sie ermöglichen, Verkehrswege vor Unterbrechungen zu schützen beziehungsweise diese rasch wieder herzustellen. Diese Arbeit stellt derzeit verwendete temporäre Brückensysteme vor und vergleicht sie miteinander, um eine Informationsbasis für zukünftige Projekte zu generieren.

Zu Beginn der Arbeit wird ein Überblick über die unterschiedlichen im Brückenbau vorkommenden Tragwerke, Unterbauten, Bauverfahren und Verbindungstechniken gegeben. Unter allen im Brückenbau eingesetzten Tragwerken werden Tragwerke, welche sich für den temporären Brückenbau eignen, identifiziert sowie die Unterschiede zwischen temporärem und konventionellem Brückenbau beschrieben. Durch die Notwendigkeit die Einzelteile der Brückensysteme für den Transport und die Montage so klein wie möglich zu halten sowie diese als eine Art Bausatz montieren zu können, folgen Limitationen bei der Leistungsfähigkeit von Brückensystemen. Wo die Grenzen der analysierten Tragwerke im Bezug auf ihre Spannweite liegen, wird in Kapitel 3 erörtert. Dabei werden Tragwerke mit Einzelspannweiten von 40 m bis 100 m der relevanten Brückensysteme gelistet. Die angegebenen Spannweiten der Tragwerke können zwar nicht auf alle Situationen angewendet werden, sie werden jedoch mit Experten auf dem Gebiet des temporären Brückenbaus und unter Berücksichtigung der zur Zeit dieser Arbeit aktuellen Norm als Richtwerte erarbeitet. Kapitel 4 beschreibt die Erstellung eines Kostenmodells und die Analyse der Kosten einzelner Tragwerke. Das Kostenmodell geht davon aus, dass das in der technischen Analyse ermittelte Gewicht der Tragwerke ausschlaggebend für die Kosten und damit für den Preis der Brücke ist. Um eine Abschätzung des Preises für ein konkretes Projekt zu ermöglichen, wird ein Preis pro Tonne unabhängig vom geplanten Tragwerk ermittelt. An einem konkreten Beispiel, dem Brückenprojekt Stein-Mautern, werden Anforderungen, die an temporäre Brücken gestellt werden können und deren Einfluss auf die Auswahl des Systems erörtert. Aus der Kombination der gewonnenen Daten wird eine Entscheidungsmatrix erstellt, mit deren Hilfe eine Empfehlung für ein passendes Tragwerk auf Basis der Anforderungen abgeleitet werden kann. Diese stellt die wichtigen Entscheidungen, die zur Auswahl eines Systems relevant sind, dar. Weil jedes Projekt andere Anforderungen hat, ist die Entscheidungsmatrix möglichst allgemein formuliert, um die Entscheidungsfindung bei neuen Projekten zu erleichtern. Durch die Anwendung der Entscheidungsmatrix wird bezogen auf die Baukosten ein möglichst wirtschaftliches System entsprechend den vorhandenen Projektrahmenbedingungen empfohlen.



# Abstract

Keywords: modular bridging systems, temporary bridges, steel truss bridges, technical analysis, cost analysis, flowchart

This paper proposes a flowchart for selecting modular bridging systems for large rivers. Its goal is to collect, present, and compare information about the temporary bridges currently used in Europe and, on this basis, provide a guide for future projects. The paper begins by listing all modern bridge structures, including a short overview of their history, their field of use, and their capabilities to be able to find a structure suitable for temporary construction. Furthermore, the construction techniques and joint techniques are discussed. The findings of this work demonstrate that very few bridge formworks offer the necessary properties to be considered for a temporary construction. The bridge formworks that are produced and sold in Europe are presented in detail in chapter 3. By drawing on case studies and comparing manuals and their underlying standards for construction, this chapter aims to determine the maximum free spans of the available formworks. Furthermore, the weight of the formworks is calculated to allow for a comparison of the systems in the subsequent economic analysis. The economic analysis in chapter 4 uses the fact that the material cost of steel accounts for the largest share of the costs of steel truss bridges. This cost is directly proportional to the weight of the bridge without distinguishing between different formwork systems. With that in mind, a fixed cost per metric ton of bridge is calculated for production and construction of the bridge. To be able to get a rough estimate of the cost of a completed bridge, cost per metric ton of bridge may be used when multiplied with the weight of the completed bridge. Drawing on the aforementioned findings, the formworks of the different companies are compared to create a flowchart in chapter 5 to help with the decision-making process. The application of this flowchart is demonstrated through the project requirements of the ongoing bridge project „Stein - Mautern“. As project requirements can be very diverse, the flowchart attempts to cover a broad variety of possibilities without losing too much accuracy. As a result, extraordinary circumstances are not accounted for in the flowchart. When followed, the flowchart leads its reader to the most economic formwork available.

# Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>                             | <b>9</b>  |
| 1.1      | Problemstellung und Motivation . . . . .      | 9         |
| 1.2      | Forschungsfragen und Zielsetzung . . . . .    | 10        |
| 1.3      | Methodik und Aufbau . . . . .                 | 10        |
| 1.4      | Begriffe und Definitionen . . . . .           | 12        |
| <b>2</b> | <b>Grundlagen des Brückenbaus</b>             | <b>15</b> |
| 2.1      | Haupttragwerke im Überblick . . . . .         | 15        |
| 2.1.1    | Plattenbrücken . . . . .                      | 16        |
| 2.1.2    | Balkenbrücken . . . . .                       | 17        |
| 2.1.3    | Rahmenbrücken . . . . .                       | 20        |
| 2.1.4    | Bogenbrücken . . . . .                        | 22        |
| 2.1.5    | Schrägseilbrücken . . . . .                   | 24        |
| 2.1.6    | Hängebrücken . . . . .                        | 25        |
| 2.2      | Unterbauten . . . . .                         | 28        |
| 2.2.1    | Widerlager . . . . .                          | 28        |
| 2.2.2    | Stützen und Pfeiler . . . . .                 | 28        |
| 2.2.3    | Gründungen . . . . .                          | 29        |
| 2.3      | Brückenbauverfahren im Überblick . . . . .    | 29        |
| 2.3.1    | Lehrgerüst . . . . .                          | 30        |
| 2.3.2    | Vorschubrüstung . . . . .                     | 30        |
| 2.3.3    | Freivorbau . . . . .                          | 31        |
| 2.3.4    | Taktschiebeverfahren . . . . .                | 34        |
| 2.3.5    | Einheben mit Kran . . . . .                   | 37        |
| 2.3.6    | Segmentbauweise . . . . .                     | 37        |
| 2.3.7    | Querverschub . . . . .                        | 38        |
| 2.4      | Verbindungstechnik bei Stahlbrücken . . . . . | 38        |
| 2.4.1    | Schweißen . . . . .                           | 38        |
| 2.4.2    | Schrauben und Bolzen . . . . .                | 39        |
| 2.5      | Einordnung von temporären Brücken . . . . .   | 40        |
| 2.5.1    | Das Haupttragwerk bei Systembrücken . . . . . | 40        |
| 2.5.2    | Unterbauten bei temporären Brücken . . . . .  | 42        |
| 2.5.3    | Bauverfahren bei temporären Brücken . . . . . | 43        |
| 2.5.4    | Verbindungstechnik . . . . .                  | 43        |
| 2.5.5    | Wartung . . . . .                             | 43        |
| 2.5.6    | Demontage . . . . .                           | 43        |
| 2.6      | Miete und Kauf von Systembrücken . . . . .    | 44        |
| 2.6.1    | Die Miete der Brücke . . . . .                | 44        |
| 2.6.2    | Der Kauf der Brücke . . . . .                 | 44        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>3</b> | <b>Technische Analyse des temporären Brückenbaus in Europa</b>  | <b>45</b> |
| 3.1      | Allgemeine technische Grenzen . . . . .   | 45        |
| 3.1.1    | Materialermüdung . . . . .  | 46        |
| 3.1.2    | Durchbiegung . . . . .  | 46        |
| 3.2      | Berechnungsnormen . . . . .   | 46        |
| 3.2.1    | ÖNORM EN 1991-2 (Eurocode 1) . . . . .  | 46        |
| 3.2.2    | ÖNORM B 4002 . . . . .  | 47        |
| 3.2.3    | American Association of State Highway and Transportation Officials . . . . .                              | 47        |
| 3.2.4    | BS5400-2 . . . . .  | 47        |
| 3.2.5    | DIN1072 . . . . .   | 48        |
| 3.2.6    | Normenvergleich . . . . .   | 48        |
| 3.3      | Systembrücken . . . . .   | 48        |
| 3.3.1    | Paneelbrücken . . . . .   | 49        |
| 3.3.2    | Fachwerkbrückensysteme . . . . .  | 57        |
| 3.3.3    | Aktuell in Österreich im Einsatz befindliche Behelfsbrückensysteme . . . . .                              | 62        |
| 3.3.4    | Maximale Spannweiten der Systeme nach LM1 $\alpha = 0,7$ . . . . .  | 63        |
| 3.3.5    | Laufmetergewicht . . . . .  | 63        |
| 3.3.6    | Zusammenfassung . . . . .   | 67        |
| <b>4</b> | <b>Kostenanalyse</b>  | <b>71</b> |
| 4.1      | Kostenpositionen einer Balkenbrücke . . . . .   | 71        |
| 4.2      | Bestandteile des Kostenmodells . . . . .  | 73        |
| 4.2.1    | Baustelleneinrichtung . . . . .   | 73        |
| 4.2.2    | Fertigungspreis . . . . .   | 74        |
| 4.2.3    | Transportpreis . . . . .  | 74        |
| 4.2.4    | Montagepreis . . . . .  | 74        |
| 4.2.5    | Unterbau und Gründung . . . . .   | 81        |
| 4.2.6    | Ausbau . . . . .  | 81        |
| 4.3      | Zusammenfassung in ein Kostenmodell . . . . .   | 81        |
| 4.3.1    | Anwendung des Kostenmodells . . . . .   | 82        |
| <b>5</b> | <b>Anforderungen, Vergleich und Bewertung der Brückensysteme zur Erstellung einer Entscheidungsmatrix</b> | <b>85</b> |
| 5.1      | Vorgaben und Anforderungen an Brückenbauwerke und ihr Einfluss auf das Tragwerk                           | 85        |
| 5.1.1    | Bauwerkspezifische, verkehrstechnische Vorgaben . . . . .   | 86        |
| 5.1.2    | Ortspezifische Randbedingungen . . . . .  | 86        |
| 5.1.3    | Bauzeit, lokale Bautechnik und umfeldbezogene Aspekte . . . . .   | 87        |
| 5.1.4    | Allgemein funktionale Anforderungen . . . . .   | 87        |
| 5.1.5    | Ökonomische Anforderung . . . . .   | 87        |
| 5.2      | Vergleich der Systeme . . . . .   | 88        |
| 5.3      | Entscheidungsmatrix . . . . .   | 91        |
| 5.3.1    | Allgemeine Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der Matrix . . . . .                                     | 92        |
| 5.3.2    | Fahrbahnbreite . . . . .  | 92        |
| 5.3.3    | Feldlänge allgemein . . . . .   | 93        |
| 5.3.4    | Feldlängen bei einspurigen Brücken . . . . .  | 94        |
| 5.3.5    | Feldlänge bei zweispuriger Ausführung . . . . .   | 95        |
| 5.3.6    | Miete oder Kauf . . . . .   | 97        |
| 5.3.7    | Zusammenfassung zu einer Entscheidungsmatrix . . . . .  | 97        |

---

|  |            |
|--|------------|
| <b>6 Anwendung der Entscheidungsmatrix am Beispiel Donaubrücke Stein-Mautern</b> | <b>101</b> |
| 6.1 Rahmenbedingungen für die Entscheidungsmatrix . . . . .                      | 101        |
| 6.2 Ausführung der Entscheidungsmatrix . . . . .                                 | 103        |
| <b>7 Fazit</b>   | <b>107</b> |
| 7.1 Beantwortung der Forschungsfragen . . . . .                                  | 107        |
| 7.2 Ausblick . . . . .   | 109        |
| <b>Abkürzungen</b>   | <b>110</b> |
| <b>A Fragebogen und Fachgespräche</b>  | <b>120</b> |

# Kapitel 1

## Einleitung

Der Brückenbau ist einer jener Bereiche des Bauingenieurwesens, die einen hohen Grad an öffentlicher und medialer Aufmerksamkeit besitzen. Jedes Infrastrukturprojekt beinhaltet durch den Einfluss auf die Öffentlichkeit große Risiken für das Projektteam. Denn jeder Eingriff in den Verkehr durch Instandsetzungen und sonstige Arbeiten verursacht unter Umständen einen enormen volkswirtschaftlichen Schaden in Form von Stau-, Betriebs- und Unfallkosten [56]. Gewöhnlicherweise werden Brücken projektspezifisch geplant und gebaut, da viele Details nicht von Projekt zu Projekt übertragbar sind.

Die Variation der Anforderungen im Brückenbau stellt den Einsatz von Systembauweisen vor große Herausforderungen. Deshalb müssen Tabellen, die Leistungen der Systembrücken angeben, auf die projektspezifischen Parameter umgelegt werden. Systembrücken bestehen aus vorgefertigten normierten Teilen, welche wie ein Baukastensystem zusammengesetzt werden. Dies steht im Gegensatz zu regulären Brücken, bei denen im Regelfall die Teile projektspezifisch hergestellt und montiert werden. Die starke Dominanz des Tragwerks prägt das Bild von Brückenbauwerken und verlangt von dem planenden Ingenieur oder der planenden Ingenieurin<sup>1</sup> ein Höchstmaß an Kompetenz, um eine hinsichtlich Technik, Gestaltung und Wirtschaftlichkeit optimale Konstruktion entwerfen zu können.

Behelfsbrücken oder temporäre Systembrücken kombinieren die Anforderungen an Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von permanenten Brücken mit der Bedingung, dass alle oder fast alle Teile wiederverwendbar beziehungsweise demontierbar sein müssen. Temporäre Brücken können eine Nutzungsdauer von wenigen Monaten bis einigen Jahren haben und die Zeit, die vom Planungs- bis zum Montagebeginn zur Verfügung steht, kann stark variieren. Nicht nur der Überbau, sondern auch der Unterbau muss bei dieser Art von Brücke demontierbar sein. Die heute in Verwendung befindlichen Systeme reichen von Weiterentwicklungen des im 2. Weltkrieg entwickelten Bailey-Brückensystems bis zu modernen, geschweißten Deck- und Fachwerksystemen. [68]

### 1.1 Problemstellung und Motivation

Informationen über temporäre Brückensysteme sind im Besitz der Herstellerfirmen, die diese einsetzen. Es gibt nur wenige Experten und Expertinnen auf dem Gebiet des temporären Brückenbaus und wenige Projekte, die der zu untersuchenden Größenordnung von Flüssen wie der Donau entsprechen. Gemäß einer Schätzung der Firma Unegg GmbH [31] – einer österreichischen Behelfsbrückenvermietungsfirma – weisen ca. 90 % der sich im Einsatz befindenden Systembrücken Spannweiten unter 40 m auf. Dies ist weit entfernt von der Breite von Flüssen wie der Donau mit über 300 m. Einen Überblick, welche Brückensysteme am Markt sind, beziehungsweise ob und welche sich für ein solches Bauvorhaben eignen, gibt es nicht. Dies macht eine Bewertung von

<sup>1</sup>Genderhinweis: Der Autor legt großen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung. Im Sinne der besseren Lesbarkeit wurde jedoch oftmals entweder die maskuline oder feminine Form gewählt. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung des jeweils anderen Geschlechts.

Angeboten und eine Einschätzung der Kosten für geplante Projekte dementsprechend schwierig. Da sich die geometrischen und funktionalen Anforderung an Brücken stark unterscheiden, werden allgemeine Aussagen, welches Tragwerk sich für ein Projekt eignen sollte, gemacht. Die Daten zur Leistungsfähigkeit, die über diese Systeme zu finden sind, sind nicht standardisiert und basieren auf unterschiedlichen nationalen und internationalen Normen. Die Arbeit kann als Informationsquelle über verschiedene Systembrücken oder für grundlegende Projektüberlegungen verwendet werden. Sie soll einen Überblick über Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der modernen Systembrücken geben, die Entscheidung erleichtern sowie eine erste Kostenschätzung für einen Überbau von Projekten mit Hilfe von temporären Brücken ermöglichen. Neben einer Analyse der am Markt befindlichen Systeme und ihrer Kosten behandelt diese Arbeit eine Methode zum Vergleich der unterschiedlichen Systeme. Die Wirtschaftlichkeit eines System wird als relative Wirtschaftlichkeit zwischen den Systemen im Sinne des Wirtschaftlichkeitsprinzip nach Kropik [38] untersucht. Für den Vergleich der Systeme wird das Wirtschaftlichkeitsprinzip als Minimalprinzip formuliert. Dabei soll ein vorgegebenes Ziel mit dem geringsten Mitteleinsatz erreicht werden. Das wirtschaftlichste System ist damit jenes System, das mit den geringsten Baukosten die vorgegebenen Projektrahmenbedingungen erfüllen kann. Der zusätzliche volkswirtschaftliche Nutzen durch die Aufnahme von höherem Verkehrsaufkommen beim Bau größerer Brücken wurde aufgrund der vielen projektabhängigen Variablen nicht untersucht. In folgendem Abschnitt werden die zu diesen Themen relevanten Fragen gestellt.

## 1.2 Forschungsfragen und Zielsetzung

Beauftragt durch das Land Niederösterreich ist das Ziel dieser Diplomarbeit, mittels Analyse von Methoden des Behelfsbrückenbaus für die Überspannung großer Flüsse einen Überblick und Vergleich der technischen Eigenschaften, der Aufwendungen und der Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit von ausgewählten Rahmenbedingungen zu bieten. Außerdem wird eine Entscheidungsmatrix erstellt, die bei zukünftigen Bauprojekten mit ähnlichen Rahmenbedingungen zur Auswahl des Brückensystems dienen kann. Der Arbeit werden folgende Forschungsfragen zugrunde gelegt:

1. Welche Systembrücken gibt es und welche Systeme sind in Österreich verfügbar? Welche technischen Eigenschaften weisen diese auf?
2. Wie können die einzelnen Systembrücken untereinander verglichen werden und welche Systeme sind wirtschaftlich vertretbar?
3. Wie kann bezogen auf die Baukosten das wirtschaftlichste System in Abhängigkeit von bestimmten Projektrahmenbedingungen gewählt werden?
4. Welche Annahmen und Einschränkungen müssen getroffen werden, um eine Entscheidungsmatrix für Brücken über große Flüsse zu erstellen?

## 1.3 Methodik und Aufbau

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden unterschiedliche Methoden angewendet. Zunächst wurde mit Hilfe einer umfangreichen Literaturrecherche in Kapitel 2 ein erster Überblick über die Tragwerke moderner Brücken, ihre Bauweise und die verwendeten Materialien gegeben. Unter den angeführten Haupttragwerken können auch temporäre Systeme gefunden werden, welche sich die Vorteile von bestimmten Tragwerksarten, Materialien und Verbindungstechniken zu Nutze machen. Weil temporäre Brücken für die militärische Nutzung entwickelt wurden, wurden zuerst zwei

Kasernen besucht, um mit dem Österreichisches Bundesheer über das Thema der Verwendung von Systembrücken für eine zivile Nutzung zu sprechen. Mit der Hilfe des Österreichisches Bundesheer konnten weitere Kontakte zu Experten auf diesem Gebiet hergestellt werden. Was temporäre Systeme von permanenten Brücken unterscheidet, wurde dann im Gespräch mit Experten auf dem Gebiet des temporären Brückenbaus näher untersucht und die wesentlichen Unterschiede erfasst.

Kapitel 3 beschreibt die in Österreich verfügbaren oder im Einsatz befindlichen temporären Systeme auf Basis der von Experten, Firmen und dem ÖBH zur Verfügung gestellten Informationen. Die technische Analyse befasst sich dabei mit den Überbau der Brücke. Der notwendige Unterbau inklusive der Gründungen müssen projektspezifisch ermittelt und berechnet werden. Potentielle Ausführungen des Unterbaus wurden jedoch im Zuge der Gespräche mit Experten auf dem Gebiet des temporären Brückenbaus besprochen und sind in Kapitel 2 beschrieben. In dieser Arbeit werden nur Brückensysteme mit einer potentiellen Mindesteinzelspannweite von über 40 m behandelt. Die technische Beschreibung umfasst die technischen Eigenschaften sowie die Bestandteile der Brückensysteme. Die Leistungsfähigkeit, welche unter anderem die maximale Spannweite, die Tragkraft sowie die Anzahl der Fahrspuren umfasst, wird aus Tabellenwerten und Erfahrungswerten der Experten hergeleitet. Weil sich die europäischen Normen, welche den Tabellenwerten zu Grunde liegen, maßgeblich voneinander unterscheiden, können die Tabellenwerte nicht ohne Umrechnung übernommen werden. Daher beginnt Kapitel 3 mit einem Vergleich verschiedener nationaler und internationaler Normen. Dies geschieht teilweise unter Zuhilfenahme bereits publizierter Arbeiten, da ältere internationale Normen nicht zugänglich sind und ein Vergleich als Teil dieser Arbeit zu umfangreich wäre. Eine statische Berechnung der Tragwerke wird nicht durchgeführt, weil diese von den konkreten Anforderungen bei einem Projekt abhängig ist. Kapitel 3 gibt einen Überblick über die Leistungsgrenzen der beschriebenen Systeme und Bauformen. Weiters wird das Gewicht pro Tonne der einzelnen Tragwerke mit Hilfe von Bauteillisten, Referenzprojekten und Tabellenwerten ermittelt, um dies für die Kostenanalyse beziehungsweise zum Vergleich der Tragwerke heranziehen zu können.

Nach der technischen Analyse wird die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Systeme in Kapitel 4 untersucht. Es beginnt mit einer Erläuterung der wichtigsten Kostenfaktoren im konventionellen Brückenbau. Auf Basis von Experteninterviews wird ein Kostenmodell erstellt, welches dem einfachen Vergleich der Brückensysteme dient. Dafür wird ein systemunabhängiger Preis pro Tonne Brücke mit Hilfe von Referenzprojekten, Literatur sowie Erfahrungswerten von Fachexperten ermittelt. Da der Unterbau und der Ausbau sowie die Projektgemeinkosten nicht Teil der technischen Analyse sind, wird ihr Einfluss auf die Kosten prozentual auf die Überbaukosten umgelegt. Den Abschluss bildet die Anwendung des Kostenmodells auf ein Beispielprojekt.

Zu Beginn des Kapitel 5 werden die Anforderungen an Brücken näher betrachtet und die Frage erörtert, welchen Einfluss sie auf die Entscheidungsfindung haben. Diese Anforderungen stammen teilweise aus den Gesprächen mit Fachexperten, der Brückenabteilung des Land Niederösterreich sowie der Literatur. Anhand der technischen Analyse und der Kostenanalyse werden dann ausgewählte Tragwerke miteinander verglichen. Absolute Preise werden, trotz der Veränderlichkeit der Rohstoffpreise und Lohnkosten, zum Zweck der Anschaulichkeit dargestellt. Der wirtschaftliche Unterschied der Systeme kann jedoch auch durch den Faktor des Laufmetergewichts beschrieben werden. Anhand des Vergleichs wird eine Entscheidungsmatrix erstellt, welche nach dem Durchlaufen der projektspezifischen Anforderungen zu einem technisch und wirtschaftlich vertretbaren System führt. Die in der Entscheidungsmatrix zu beantwortenden Fragen wurden so gewählt, dass die technischen Anforderungen Priorität haben. Dies wurde im Bewusstsein gewählt, dass sowohl bei technischen als auch wirtschaftlichen Entscheidungen Kompromisse im Sinne der gesamten Projektdurchführung gemacht werden können.

Das letzte Kapitel befasst sich mit der Anwendung der Entscheidungsmatrix auf ein Brückenbauprojekt über die Donau zwischen Stein und Mautern zur Darstellung der Funktionsweise der Entscheidungsmatrix.

## 1.4 Begriffe und Definitionen

In diesem Abschnitt werden grundlegende Abkürzungen sowie Begriffe im Sinne eines einheitlichen Sprachgebrauchs und zur besseren Verständlichkeit beschrieben. Die englische Übersetzung wurde einem technischen Wörterbuch [87] entnommen.

**Baugerät:** *technisches Hilfsmittel, das zur Ausführung von Bauleistungen aller Art oder zur Gewinnung und Aufbereitung von Baumaterialien verwendet wird* [63, S. 5].

**Brücke (bridge):** *Ingenieurbauwerk, das natürliche Hindernisse oder Transportwege für Verkehr oder Fußgänger überbrückt* [66, S. 11].

**Brückenfeld (span):** *Ein Brückenfeld überbrückt die Öffnung zwischen zwei Auflagern. Wenn es mehrere Auflager gibt – also Pfeiler als Zwischenunterstützung – sprechen wir von Mehrfeldbrücken* [86, S. 24].

**Durchlaufträger (continuous beam):** *Ein Träger, welcher bei innenliegenden Auflagern kein Gelenk besitzt und daher Momente über dem Auflagerbereich übertragen kann* [86, S. 24].

**Eindeckung:** *Unter Eindeckung der Brücke im Systembrückenbau versteht man die Fahrbahnplatte (Deck), Spezialschrauben für die Fahrbahnplatte (Screw-Deck Clamp + Nut Deck Screw), Schrammborde (Kerbs + Bolt Bracing), ggf. Leitschienen und deren Befestigungen (Crash-Barrier / Flexbeam + Fixing)* [4, S. 9].

**Fertigung/Produktion:** *Prozess der zielgerichteten Kombination von Produktionsfaktoren (Input) und deren Transformation in Produkte (Erzeugnisse, Output)* [83].

**Fertigungsgemeinkosten:** *Gemeinkosten einer Vorfertigung, die nicht durch den allgemeinen Betrieb der Baustelle anfallen* [63, S. 5].

**Gradiente (vertical alignment):** *Die Gradiente beschreibt im Straßenbau den Höhenverlauf einer Trasse im Bezug zum Streckenverlauf (Achse). Die Gradiente setzt sich aus geneigten Geraden (Längsneigung) sowie Kuppen- und Wannenausrundungen zusammen und wird im Höhenplan dargestellt* [80, S. 7].

**Hauptträger (supporting beam)** gemäß Fink [14, S. 1.2/4]: *Sie dienen der Lastabtragung in Längsrichtung in die Auflager der Brücke. Die Querträger werden auf ihnen befestigt.*

**Kosten:** *monetär bewerteter Einsatz oder Verbrauch von Produktionsfaktoren wie Güter und Dienstleistungen* [63, S. 6].

**Lager (bearing):** *Tragelement, das sich zwischen dem Brückenüberbau und dem Widerlager oder Pfeiler befindet und Lasten vom Überbau überträgt* [66, S. 11].

**Lichtraumhöhe (structure gauge hight):** *die dem Verkehr zu Verfügung stehende freie Durchfahrts Höhe* [66, S. 11].

**Lieferung:** *Verschaffung der Verfügungsmacht über einen Gegenstand, d. h. eine Leistung eines Unternehmers, durch die dieser (oder ein von ihm beauftragter Dritter) den Abnehmer oder eine von diesem beauftragte dritte Person befähigt, im eigenen Namen über einen Gegenstand zu verfügen [81].*

**Material:** *Werkstoff der für die Errichtung eines Bauwerks eingesetzt oder bei der Errichtung verbraucht wird [63, S. 6].*

**Montage:** *Zusammensetzen vorgefertigter Teile und Baugruppen zum fertigen Enderzeugnis [82].*

**Nutzungsdauer (lifetime):** *Als Nutzungsdauer ist in der Regel der Zeitraum festzulegen, in dem die Brücke mit normaler Wartung ohne größere Instandsetzungsarbeiten genutzt wird [66, S. 11].*

**Oberbau (superstructure/pavement):** *Die Befestigung einer Verkehrsfläche. Der Oberbau besteht meist aus mehreren Tragschichten und der Decke. Während die Tragschichten Lasten gleichmäßig auf den Untergrund verteilen und aufsteigendes Wasser sperren, sorgt die Decke für eine ebene und verschleißfeste Oberfläche [80, S. 11].*

**Pfeiler/Stütze (pillar):** *Zwischenunterstützung einer Brücke unterhalb des Überbaus [66, S. 11].*

**Querträger (crossbeam/-girder/-truss/-bar)** gemäß Fink [14, S. 1.2/4]: *Verbindung der Längsträger und Lastabtragung der Fahrbahn in Querrichtung in die Hauptträger.*

**Schrammbord (kerb/curb)** *bezeichnet eine bauliche Trennung am Fahrbahnrand, welche eine radabweisende Wirkung hat [66, S. 11].*

**Sekundäre Konstruktionselemente (secondary construction element):** *Konstruktionselemente, die nicht zum eigentlichen Tragwerk der Brücke gehören. Anmerkung: Sekundäre Konstruktionselemente sind für die Funktion erforderlich, z. B. Schutzplanken, Geländer, Leitern [66, S. 11].*

**Spannweite (span) (gebräuchlich ist auch der Begriff Stützweite):** *Sie beschreibt die Entfernung zwischen den Auflagern der Brücke [86, S. 5].*

**Überbau und Unterbau (Brücke) (superstructure and substructure):** *Der Überbau einer Brücke besteht aus der Fahrbahnplatte, den Hauptträgern sowie etwaigen Kragarmen und Querträgern. Der Überbau trägt die Lasten zu den Unterbauten der Brücke ab. Die Unterbauten einer Brücke bestehen aus den Widerlagern und, wenn erforderlich, aus den Pfeilern. Die Unterbauten nehmen die Lasten des Überbaus auf und leiten diese in die Gründung ab [80, S. 11].*

**Vorspannung (pre-tensioning and post-tensioning):** *Durch kontrollierte Kräfte und/oder kontrollierte Verformungen eingepprägter innerer Spannungszustand eines Tragwerks [66, S. 11].*

**Widerlager (abutment):** *Bauwerk für die Brückenauflagerung [66, S. 11].*



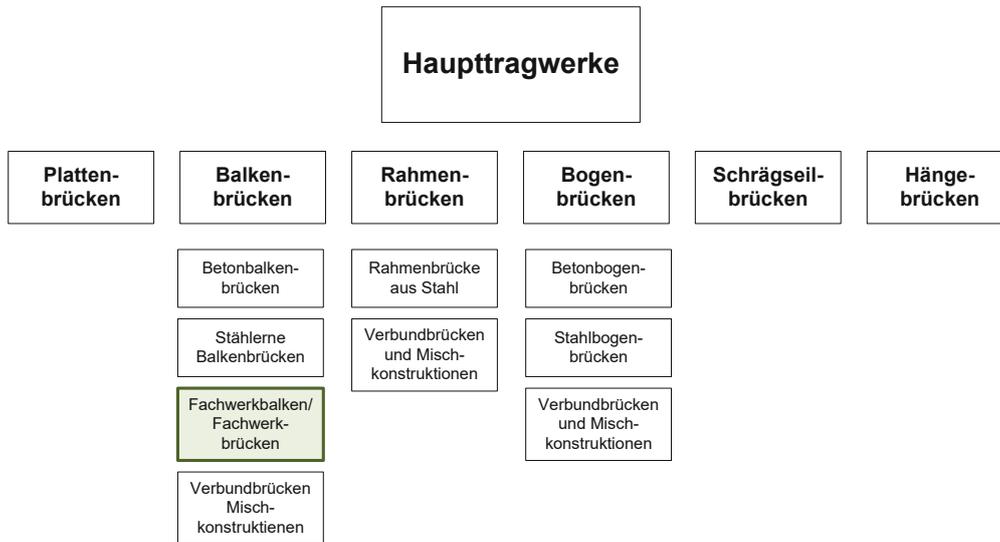
## Kapitel 2

# Grundlagen des Brückenbaus

Als Behelfsbrücke wird eine Brücke bezeichnet, die nur vorübergehend beziehungsweise für einen kurzen Zeitraum errichtet wird. Professionelle Behelfsbrückensysteme wurden in größerem Stil vor allem in Kriegszeiten entwickelt, um möglichst rasch Flüsse überspannen zu können. Sie waren und sind jedoch seit jeher auch im zivilen Bereich im Einsatz. Im zivilen Einsatz werden sie als „Systembrücken“ bezeichnet und laut Vizeleutnant Martschin [29] sowohl für temporäre als auch für permanente Brückenkonstruktionen eingesetzt. Nicht alle Brückensysteme eignen sich zum Einsatz als Behelfsbrücke beziehungsweise können in Form eines Systembauverfahrens errichtet werden. Mehlhorn bezeichnet in seinem *Handbuch Brücken* [56, S. 174] die Unterscheidungsmerkmale von Brücken als Entwurfselemente. Diese Entwurfselemente gliedern eine Brücke in den Unterbau, welcher die Gründungen, Widerlager und Pfeiler beinhaltet, und in das Haupttragwerk der Überbauten, die ein maßgebliches, prägendes Unterscheidungsmerkmal sind und daher auch die Bezeichnung einer Brücke als Hängebrücke, Balkenbrücke etc. bestimmen. Dazu kommen die Herstellungsmethoden und die Baustoffe, die zum Bau der Brücke eingesetzt werden, und zuletzt die Lagerung und Brückenausrüstung, welche Elemente wie den Fahrbahnbelag und die Leiteinrichtungen beinhalten. In der heutigen Zeit gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichen Materialien und Tragwerken, die zum Überspannen von Flüssen und Tälern eingesetzt werden können, sowie einige Montagemethoden. Die verschiedenen Tragwerksarten sowie die Arten der Montage, Gründungen und Verbindungstechniken werden auf den folgenden Seiten kurz beschrieben. Weiters wird die Einordnung von heute in Benutzung befindlichen Systembrücken erläutert. Danach werden Strategien zum Kauf und Bau temporärer Brücken vorgestellt und die Unterschiede des temporären und permanenten Brückenbaus näher betrachtet.

### 2.1 Haupttragwerke im Überblick

Der Überbau einer Brücke verbindet die Fahrbahn mit den Brückenpfeilern, wobei das Haupttragwerk des Überbaus für die Lastabtragung der einwirkenden Kräfte verantwortlich ist. Je nach Anforderung des Projektes unterscheiden sich die Haupttragwerke in Form und Größe und werden in die Tragwerksarten Plattenbrücken, Balkenbrücken, Rahmenbrücken, Bogenbrücken und Hängebrücken unterteilt. Diese Auflistung beinhaltet eine nach Mehlhorn [56, S. 174] heutzutage häufig eingesetzte Auswahl an Tragwerken, aufsteigend nach ihrer maximalen Spannweite geordnet, weil dies in der Regel das Hauptkriterium für die Wahl eines jeden Brückensystems darstellt. Alle Haupttragwerke sind in Abb. 2.1 mit ihren Unterkategorien in Anlehnung an die Gliederung der Brücken nach Mehlhorn [56] dargestellt. Vorgreifend wurde bereits jene Unterkategorie farbig hervorgehoben, in welcher die meisten Behelfsbrückensysteme zu finden sind. Das Tragwerkskonzept bestimmt vorrangig die Kosten der Brücke. Die Auswahl des für die Anforderungen passenden Tragwerkskonzepts ist damit wesentlich wichtiger als die Optimierung durch zusätzliche Berechnungen. Das bedeutet, wird ein unpassendes Tragwerk für die Projektanforderungen gewählt, kann es selbst mit zusätzlicher Optimierung nicht die Wirtschaftlichkeit



**Abb. 2.1:** Übersicht Haupttragwerke (in Anlehnung an Mehlhorn [56])

eines passenderen Tragwerks erreichen [56]. Die einzelnen Tragwerke werden in den anschließenden Abschnitten näher beschrieben.

### 2.1.1 Plattenbrücken

Gemäß Mehlhorn [56] gehören Plattenbrücken neben den Balkenbrücken zu den am häufigsten angewendeten Formen von Betonbrücken. Sie wurden durch den Einsatz von bewehrtem Beton im 19. Jahrhundert ermöglicht. Solche Brücken können für kleinere Spannweiten in Form von bewehrten Betonplatten und für mittlere Spannweiten als bewehrte Betonplattenbalken ausgeführt werden. Ihre Leistungsfähigkeit wurde durch die Entwicklung der Vorspannung am Ende des dritten Jahrzehnts des 20. Jahrhundert stark gesteigert. Typische Querschnittsformen sind in Abb. 2.2 dargestellt. Wie dort ersichtlich ist, werden Plattenbrücken heutzutage als Vollplatte beziehungsweise Massivplatte oder als Hohlkasten ausgeführt. Zur Zeit wird in Österreich auch an einer Methode zum Einsatz von Segmenten aus hohlkastenförmigen Halbfertigteilen zum Bau von Plattenbrücken geforscht, um auf diese Weise die Montagezeit und Kosten zu reduzieren. In der heutigen Umsetzung dieser Tragwerksart ordnet man zur besseren Gewichtsverteilung und für ein optisch schlankeres Erscheinungsbild meist konsolenartig auskragende Platten an. Die Plattendicke selbst ist in erster Linie von der zu überbrückenden Spannweite abhängig. Die übliche Dicke bewegt sich zwischen 60 cm und 100 cm. Durch die flexible Gestaltung, die der Beton ermöglicht, kann der Planer die Dicke der Platten an die Belastung anpassen. Häufig bedeutet das eine Verstärkung der Platten im Bereich der Stützen. Solche Erhöhungen der Plattendicke werden Vouten genannt. Ein auf diese Art verstärkter Durchlaufträger kann in den Innenfeldern Spannweiten von 35 m erreichen. Durch Vorspannung der Platten kann die Plattendicke um einiges reduziert und die Brücke wesentlich schlanker und leichter konstruiert werden.

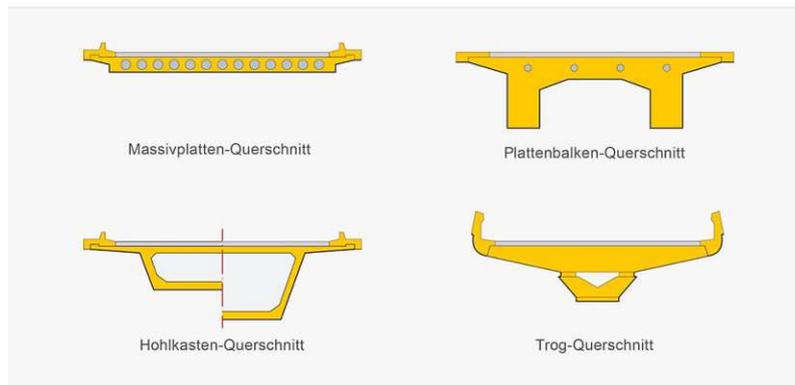


Abb. 2.2: Querschnittsformen von Beton-Plattenbrücken [71]

### 2.1.2 Balkenbrücken

Eine Balkenbrücke ist wohl die älteste Art eine Brücke zu bauen. Einen Baumstamm über einen Fluss zu legen, verkörpert bereits das Prinzip einer Balkenbrücke. Aufgrund der Limitierung der Spannweite – einerseits durch die Länge der Baumstämme und andererseits durch das Gewicht des Balkens – wurden laut Nebel [58] ab dem 16. Jahrhundert die ersten Fachwerkbrücken aus Holz konstruiert und gebaut. Fachwerkbalken reduzieren den Materialaufwand und ermöglichen die Ausbildung von größeren Spannweiten. Mit der Entwicklung der Stahlindustrie und der Verbindungstechnik wurden im Bestreben, möglichst materialeffizient zu bauen die Holzfachwerke zuerst von Stahlröhren-, Stahlgitter- und später von Stahlfachwerkträgern abgelöst. Erst mit der Entwicklung der vorgespannten Betonbalken und der Erfindung des Schweißens konnten wieder andere Formen als Fachwerkträger für den Bau von Brücken dieser Art verwendet werden.

Die Gestaltung des Hauptträgers, welcher die Fahrbahnlasten entweder direkt oder über Längs- und Querträger in die Auflager leitet, ist die prägende Struktur der Balkenbrücke [56]. Diese Hauptträger können unterschiedliche Formen annehmen und an die einwirkenden Kräfte angepasst werden, wobei sie für das Erscheinungsbild der Brücke verantwortlich sind. Je nach Art können Balkenbrücken als Trog- oder Deckbrücken ausgeführt werden. Bei Deckbrücken befindet sich das Tragwerk unterhalb der Fahrbahn, bei Trogbrücken zum größten Teil oberhalb. Beide Bauformen haben Vor- und Nachteile. Weil die Position der Haupttragelemente bei Deckbrücken frei gewählt werden kann, kann sie optimal an die Lastabtragung angepasst werden. Der Nachteil der Positionierung der Träger unter der Fahrbahnebene ist jedoch die Auswirkung auf den Lichtraum unter der Brücke. Hohe Spannweiten fordern entsprechende Trägerhöhen, was projektabhängig zu Platzproblemen führen kann. Da bei Trogbrücken der Fahrbahnbereich freigehalten werden muss, ist die Anpassung an die Lasten nur eingeschränkt möglich, der Lichtraum unter der Brücke wird jedoch durch größere Spannweiten nicht beziehungsweise nur gering reduziert [13].

#### 2.1.2.1 Betonbalkenbrücke

Bei dieser Brückenform bestehen die Hauptträger aus Beton. Solche Brücken werden üblicherweise als Deckbrücken ausgeführt, wobei die Balken symmetrisch unter der Fahrbahn angeordnet werden. Nicht vorgespannte Betonbalkenbrücken werden aufgrund der geringen Leistung im Vergleich mit Stahlbalkenbrücken bei größeren Spannweiten nicht mehr ausgeführt [56]. Die längste Brücke dieser Art ist die Seinebrücke bei Villeneuve mit 78 m Spannweite. Durch die Vorspannung wird eine Druckspannung im Beton induziert, welche von den äußeren Lasten abgebaut wird. Dadurch sind



**Abb. 2.3:** Stolma-Brücke über die Stolmen zwischen den Inseln Stolmen und Selbjørn [54]

größere Lasten aufnehmbar bevor es zu Rissen im Beton kommt. Dies ermöglicht die Ausbildung von wesentlich größeren Spannweiten. Meist werden solche Brücken als Durchlaufträger ausgeführt, wobei der Spannstahlverlauf an die Momentenlinie angepasst wird. Bei den Spannverfahren wird zwischen Vorspannung ohne Verbund, Vorspannung mit sofortigem Verbund, Vorspannung mit nachträglichem Verbund und Vorspannung als Mischbauweise unterschieden. Der Vorteil der Spannverfahren mit nachträglichem Verbund und mit internen Spanngliedern ohne Verbund ist, dass sie eine weitgehend freie Vorspannführung ermöglichen. Damit kann sie flexibel an die Anforderungen des Projekts angepasst werden. Die Vorteile einer externen Vorspannung liegen in der Wartung, Nachspannbarkeit, Berechnung der Reibungsverluste und in der möglichen Reduktion der Betonquerschnittsgröße. Solche extern angebrachten Vorspannungen befinden sich meist in einem Hohlkasten. Die Brücke mit der längsten auf diese Weise erzielten Spannweite ist die in Abb. 2.3 dargestellte Stolma-Brücke in Norwegen mit einer Spannweite von 301 m. Wirtschaftlich lassen sich mit dieser Tragwerksform lt. Mehlhorn [56] Spannweiten bis 200 m erzielen.

### 2.1.2.2 Stählerne Balkenbrücken

Stahl hat im Vergleich zu Stahlbeton oder Holz bei gleichem Gewicht eine höhere Tragfähigkeit. Damit können höhere Einzelspannweiten und eine größere Schlankheit erreicht werden. Stählerne Brücken mit vollwandigen Hauptträgern werden lt. Mehlhorn [56] als Deckbrücken ausgeführt. Durch die Wahl des Querschnitts des Steges und der Gurte sowie die Wahl von Blechen mit höheren Festigkeiten kann der Träger an die Schnittgrößen angepasst werden. Bei Strombrücken, damit sind Brücken gemeint, die einen Fluss überspannen, werden die Hauptträger meist gevoutet ausgeführt. Die bei Strombrücken oft geforderte große Mittelöffnung kann mit einem Durchlaufträger aufgrund der geringen Momente in Feldmitte sehr schlank überbrückt werden. Die Randfelder sollten dabei jedoch etwa halb so groß wie das Mittelfeld oder die Mittelfelder sein, um einen günstigen Momentenverlauf zu schaffen. Bei solch einer Ausführung sind Schlankheiten in Feldmitte von  $l/h = 1/70$  und im Stützbereich von  $l/h = 1/20$  erreichbar. Laut Mehlhorn [56] gelten Schlankheiten ab  $l/h = 30$  oder – bei unbeschränkter Konstruktionshöhe – Spannweiten ab 120 m bei Straßenbrücken gegenüber Spannbeton-Balkenbrücken als wirtschaftlich konkurrenzfähig. Der stählerne Träger und die hohen Stützmomente durch den Durchlaufträger bieten Möglichkeiten



**Abb. 2.4:** Mittleres Tragwerk der neuen Eisenbahnbrücke über die Donau in Linz mit einer Länge von 120 m [84]

für interessante Konstruktionen. Ein Beispiel dafür ist die neue Donaubrücke in Linz, welche dem ersten Anschein nach einer Bogenbrücke ähnelt. Der Bogen wird jedoch nicht – so wie in Abschnitt 2.1.4 beschrieben – auf Druck belastet, sondern dient der Aufnahme der Stützmomente als auf Zug belasteter Obergurt, vergleichbar mit einem gevouteten Träger. Dies ist in Abb. 2.4 ersichtlich.

### 2.1.2.3 Fachwerkbalken/Fachwerkbrücken

Fachwerkbalken bilden die Hauptträger moderner temporärer Brückensysteme. Sie bestehen aus einzelnen geraden Stäben, die mit Gelenken verbunden sind. Mithilfe eines Fachwerks kann bei ähnlicher Leistung die Menge an Material und damit die Kosten und das Gewicht erheblich reduziert werden. Im Gegensatz zu einem idealen Fachwerk werden aus konstruktionsgründen die Knoten nicht als reibungsfreie Gelenke ausgeführt und die Lastenleitung kann nicht nur in den Knoten erfolgen.

Die Ausbildung eines Fachwerks anstelle eines Vollwandquerschnitts hat noch weitere Vorteile. Der größte Vorteil lt. Mehlhorn [56] ist die Möglichkeit, aufgrund ihrer geringen Blickdichte die Hauptträger oberhalb der Fahrbahn zu positionieren und sie somit als Trogbrücke zu bauen. Die Konstruktionsunterkante liegt dadurch nur wenig unter der Fahrbahnoberfläche. Damit kann die Fahrbahnhöhe gehalten werden, ohne die Durchfahrtshöhe einzuschränken. Deshalb wurde ein Fachwerkbalken häufig als Träger bei Hängebrücken eingesetzt. Bei den üblichen Fachwerkbrücken ist die Systemhöhe circa 1/10 der Stützweite. Nachteile des Ausbildens eines Fachwerks sind die erhöhte Montagedauer und der Wartungsaufwand, denn es müssen wesentlich mehr Verbindungen hergestellt und gewartet werden.

Generell gibt es verschiedene Arten von Fachwerken, welche sich in Neigung und Anordnung der Streben unterscheiden. Die Streben sind jedoch grundsätzlich im Winkel von  $45^\circ$  und  $60^\circ$  zur Horizontalen angeordnet. Der Fachwerkträger soll pro Feld bevorzugt aus 10 Gefachen, beziehungsweise das größte Feld bei Durchlaufträgern aus 12 Gefachen, bestehen. Im Stahlbau werden verschiedene Stahlprofile eingesetzt. Die verwendeten Profile werden genau an die notwendigen



**Abb. 2.5:** Rheinbrücke Germersheim [12]

Anforderungen angepasst und dimensioniert. Aufgrund der hohen Steifigkeit und der geringen, gegen Korrosion zu schützenden Oberfläche werden Kastenquerschnitte als Obergurt der Brücke bevorzugt. Das Profil des Untergurts des Fachwerkträgers ist Teil der Fahrbahnplatten und wird mit einwandigen oder zweiwandigen Stegen ausgebildet. Kastenprofile finden bei großen Fachwerken als Druckdiagonalen Anwendung, wobei für die Zugdiagonalen sowie für kleinere Fachwerke H-Profile verwendet werden. Um den Anschluss an die Gurte zu erleichtern, können die Stege von Kastenprofilen an den Enden abgebogen und auf ein Stegblech zusammengeführt werden. Bei großen Gefachen mit Längen von mehr als 5 m werden Querträger nicht nur in den Knoten eingebracht, sondern auch in der Mitte des Gefaches.[56] Ein Beispiel für eine moderne Fachwerkbrücke ist die Rheinbrücke Germersheim in Abb. 2.5. Laut Nebel [58] werden Fachwerkbalken bei langen Brücken durch die Aneinanderreihung vieler kürzerer Einzelfelder wirtschaftlich rentabel.

#### 2.1.2.4 Verbundbrücken oder Mischkonstruktionen

Vollwandbrücken als Verbundbrücken bestehen aus Stahlträgern, welche als Hauptträger unter der Stahlbeton-Fahrbahnplatte verlaufen. Die Vorteile dieses Systems sind der einfache Aufbau und – in Abhängigkeit des möglichen Vorfertigungsgrades – die schnelle Montage. Dies senkt die anteilmäßig wachsenden Lohnkosten im Projekt und ermöglicht eine teilweise Kompensation von schlechter Materialauslastung. Diese Brückenart ist bei Einzelspannweiten von 30 m bis 60 m wirtschaftlich, wobei Spannweiten von 100 m bei der Ausbildung eines Durchlaufträgers möglich sind. Die Träger können auch gevoutet ausgeführt werden. Das reduziert das relativ hohe Gewicht der Brücke und kann die Spannweite der Brücke stark erhöhen. Wie bei allen Deckbrücken ist der erforderliche Lichtraum zu beachten, der die Bauhöhe unter Umständen stark beeinflussen kann.[56]

#### 2.1.3 Rahmenbrücken

Rahmenbrücken werden lt. Mehlhorn [56] seit dem Anfang des 21. Jahrhunderts gebaut. Die am häufigsten ausgebildete Variante der Rahmenbrücke ist der Zweigelenrahmen wie in Abb. 2.6

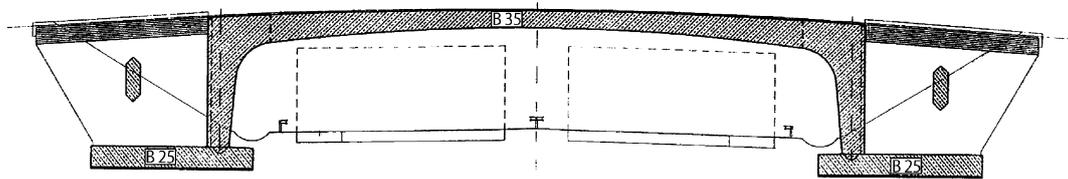


Abb. 2.6: Zweigelenrahmen mit lotrechten Rahmenstielen [56]

dargestellt. Solche Brücken gleichen in ihrer Erscheinung den Balkenbrücken, zeichnen sich jedoch durch eine biegesteife Verbindung des Unterbaus mit dem Überbau aus. Da sich an diesen Stellen bei anderen Brückenarten Gelenke befinden, fallen hier die Stützmomente größer, die Feldmomente jedoch kleiner aus. Dadurch wird die Ausbildung von schlanken Feldern mit geringer Bauhöhe ermöglicht. Der Zweigelenrahmen weist die Ausbildung der Gelenke in Fundermentnähe auf. Die Höhe des Hauptträgers, welcher den Rahmenriegel bildet, wird dem Momenterverlauf angepasst. Der Nachteil dieser Bauart ist die aufwendige Gründung beziehungsweise die Abhängigkeit vom Baugrund. Bei schlechtem Baugrund muss ein Zugband zur Aufnahme der horizontalen Kräfte ausgebildet werden.

### 2.1.3.1 Rahmenbrücken aus Stahl

Laut Mehlhorn [56] werden Rahmenbrücken aus Stahl aufgrund ihrer aufwendigen Montage und Knotenausbildung nur selten eingesetzt. Die Stiele müssen im Montagezustand unterstützt werden und die Verbindung zum Balken muss Biegemomente und Querkräfte, wie bei einer Rahmenecke üblich, übertragen können. Ein Beispiel für eine große Brücke dieser Art ist die in Abb. 2.7 dargestellte, 234 m lange Großherzogin-Charlotte Brücke in Luxemburg.



Abb. 2.7: Großherzogin-Charlotte Brücke in Luxemburg [20]

### 2.1.3.2 Rahmenbrücken als Verbund- und Mischkonstruktionen

Bei der Bauweise als Mischkonstruktion werden die Stiele und Knoten aus Beton hergestellt und die Hauptträger als Stahlprofil der zu überbrückenden Spannweite angepasst. Zur Ausbildung der Rahmenecke werden die Hauptträger mit Spannstäben, die durch eine Kopfplatte geführt werden, eingespannt. Vor allem für Spannweitenbereiche um 25 m sind dabei Stahlträger durch die einfache Montage sehr wirtschaftlich. Die Verbundbauweise wird deshalb auch am häufigsten bei Über- und Unterführungen eingesetzt. Neben der geringen Bauhöhe und der dadurch möglichen Schaffung eines größtmöglichen Lichtraumprofils sowie geringer Anrampung, ist das Entfallen der Fugen im Bereich der Widerlager ein weiterer Vorteil. Beachtet werden muss die Ermöglichung von zwängungsfreien Verformungen aufgrund von Temperatur, Kriechen und Schwinden. [56]

### 2.1.4 Bogenbrücken

Die Bogenbrücke ist eine der ältesten Brückenformen in Europa. Halbkreisförmige Bögen zeichnen sich dadurch aus, dass sie Lasten rein durch Druckspannungen übertragen. Weil damals meistens mit Stein gebaut wurde und dieser im Verbund nur Druckspannungen aufnehmen kann, hat sich die Bogenform nicht nur für die Errichtung von Toren und Fenstern, sondern auch für Brücken als nützlich erwiesen. Bogenbrücken können auf unterschiedliche Arten ausgeführt werden, die einerseits von der Lage der Fahrbahn und andererseits von der Lastabtragung bestimmt sind [59]. Das Aussehen einer Bogenbrücke kann stark variieren, weil sich die Fahrbahn entweder aufgeständert oberhalb des Bogens befinden kann, in der Mitte des Bogens oder abgehängt als unten liegende Fahrbahn. Unterschieden wird auch nach Art der Lastabtragung zwischen den echten Bogenbrücken, welche die Lasten rein über die Tragwirkung des Bogens in den Boden leiten, und unechten Bogenbrücken oder auch Stabbogenbrücken. Diese werden nach dem österreichischen Ingenieur Josef Langer auch „Langer’scher Balken“ genannt. Sie sind vergleichbar mit Balkenbrücken mit Hauptträgern in Bogenform, welche die Horizontallasten mithilfe der Fahrbahnträger als Zugband ableiten. In Abb. 2.8 sind diese beiden Formen dargestellt. Der Vorteil der Bogenbrücke ist, dass durch die Ableitung der Kräfte fast ausschließlich Normalspannungen entstehen und dadurch eine schlanke Konstruktion ermöglicht wird. Stabbogenbrücken sind wesentlich steifer. Durch die Aufnahme der Horizontallasten im Zugband werden nur vertikale Lasten in den Boden eingeleitet, was die Gründung vereinfacht. Sie haben außerdem den Vorteil, dass die Kraftabtragung nicht erst nach vollständiger Herstellung des Bogens funktioniert. Daher werden bei der Montage weniger zusätzliche Hilfskonstruktionen benötigt [56].

#### 2.1.4.1 Stahlbetonbogenbrücken

Aufgrund der hohen Druckfestigkeit eignet sich Beton besonders gut zur Konstruktion von Bogenbrücken, weil die Bogenform dank der Ähnlichkeit zur Stützlinie die Fähigkeit besitzt, den Großteil der Lasten mit Normalkräften abzutragen. Im Falle von Bogenbrücken führt das zu einer nahezu reinen Druckbelastung des Baustoffes. Betonbogenbrücken besitzen meist eine obenliegende Fahrbahn, die auf Betonstützen aufgeständert wird. Moderne Betonbogenbrücken wie zum Beispiel die Krk-Brücke werden mittels Spannstahl bewehrt. Sie können Spannweiten von 450 m erreichen, wobei in Europa die größte Einzelspannweite dieser Art die in Abb. 2.9 dargestellte Krk-Brücke mit 390 m aufweist [19].

#### 2.1.4.2 Stahlbogenbrücken

Stahlbogenbrücken bestehen meist aus Stahlträgern, die bogenförmig auf den Auflagern gestützt werden, und einer mit Stahlseilen abgehängten Fahrbahn. Seltener bestehen sie aus einer Fach-

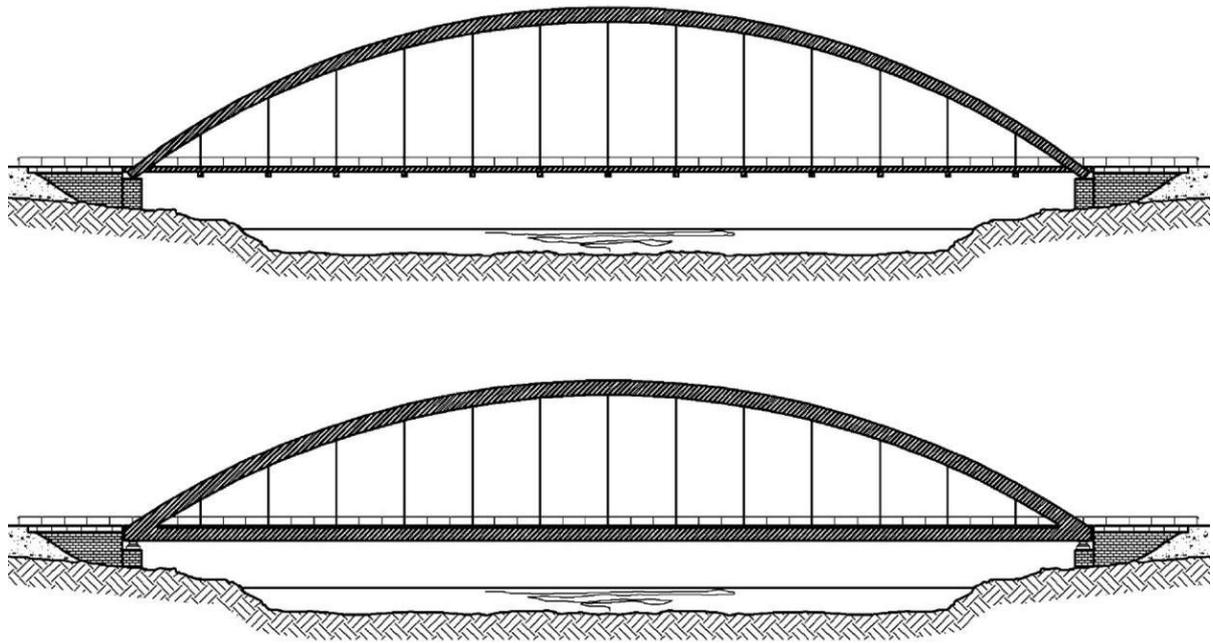


Abb. 2.8: Echte Bogenbrücke oben und Stabbogenbrücke unten [56]



Abb. 2.9: Krk-Brücke, Kroatien, Größter Bogen [90]

werkkonstruktion, die den Bogen, das Ständerwerk und den Fahrbahnträger bilden, wie zum Beispiel bei der 518 m langen Fayetteville-Brücke in den USA. Stahlbogenbrücken werden seit den Anfängen des Stahlbaus gebaut, verlieren jedoch im Bereich größerer Stützweiten im Vergleich zu Schrägseilbrücken an Bedeutung. Laut Mehlhorn [56] sind Stahlbogenbrücken durch eine Fertigung auf einem Vormontageplatz und die Möglichkeit des Einschwimmens von fertigen Brückenfeldern mit Längen von 50 m bis 150 m sehr wirtschaftlich.

### 2.1.4.3 Verbund- und Mischkonstruktionen

Verbundbogenbrücken werden als Stabbogenbrücken ausgeführt. Bewährt hat sich ein System, das aus einer Stahlkonstruktion als Bogen und einer Stahlbetonverbundplatte oder einer orthotropen, also mit Blechen ausgesteiften Stahlfahrbahn besteht. Diese Bauart bietet den Vorteil einer niedrigen Bauhöhe unter der Fahrbahn und somit einer großen lichten Durchfahrts Höhe bei relativ großen Spannweiten von 60 m bis 100 m. Diese geringe Bauhöhe erfordert außerdem nur flache Anrampungen. Zu beachten gilt jedoch, dass die asymmetrischen Einwirkungen durch den Verkehr zu hohen Einzelbiegemomenten führt, welche der Fahrbahnträger aufnehmen muss. Laut Mehlhorn [56] liegt die typische Geometrie dieser Art von Brücke bei einem Verhältnis von Bogenhöhe zu Spannweite von  $1/7$  bis  $1/8$ .

### 2.1.5 Schrägseilbrücken

Die erste Idee einer Schrägseilbrücke oder Schrägkabelbrücke stammt bereits aus dem 16. Jahrhundert und entwickelte sich aus der Hängebrücke. Aufgrund der Schwierigkeit exakt gleich lange Seile herzustellen und damit der ungewollten Ausbildung statisch unbestimmter Systeme, wurden reine Schrägseilbrücken jedoch erst im 20. Jahrhundert realisiert. Erst nach dem 2. Weltkrieg wurden sie als brauchbare Alternative zu Hängebrücken gesehen [60]. Mehlhorn [56] beschreibt drei Tragelemente von Schrägseilbrücken:

- Der **Streckträger** übernimmt die Funktion des Hauptträgers, leitet jedoch die Kräfte nicht unmittelbar in den Unterbau, sondern in die Tragkabel. Er muss daher die Lasten zwischen den Kabel aufnehmen und konzentrierte Lasten über mehrere Kabeln verteilen können. Aufgrund der relativ geringen Abstände der Kabel zwischen 5 m und 25 m kann der Streckträger jedoch sehr schlank ausgeführt werden. Weiters ist der Streckträger – ähnlich wie der Träger einer Hängebrücke – für die Steifigkeit des Systems verantwortlich.
- Die **Tragkabel** werden zwischen Streckträger und Pylonen gespannt und je nach Traglast unterschiedlich hergestellt. Die Verbindung mit den Pylonen kann auf drei verschiedene Arten ausgeführt werden. Beim Bündelsystem werden alle Kabel in einen Punkt, der Pylonenachse, geführt und dort verankert. Da laut Nebel [60] moderne Schrägseilbrücken mit einer großen Anzahl an Kabel konstruiert werden, um die Momente in den Streckträgern möglichst gering zu halten und somit eine schlanke Konstruktion zu ermöglichen, führt dies allerdings zu Platzproblemen am Pylonenkopf. Vorteil des Bündelsystems ist jedoch die reine Normalbelastung des Pylons. Das Harfensystem besteht aus Kabeln, die über die gesamte Höhe des Pylons im gleichen Abstand verankerte sind. Das führt zu parallelverlaufenden Kabeln, auf die eine jeweils gleich große Zugkraft einwirkt. Der Pylon erfährt jedoch dadurch eine Momentenbelastung. Das Fächersystem ist das neueste System unter den dreien. Es versucht, die Vorteile der beiden älteren Systeme zu verbinden, indem viele Kabel am oberen Ende des Pylons verankert werden, jedoch mit einem Abstand zueinander, damit es zu keinem Platzmangel kommt. Damit können mehr Kabel ausgeführt und die Momentenbelastung auf den Pylon reduziert werden. Zudem können die Kabel so gewählt

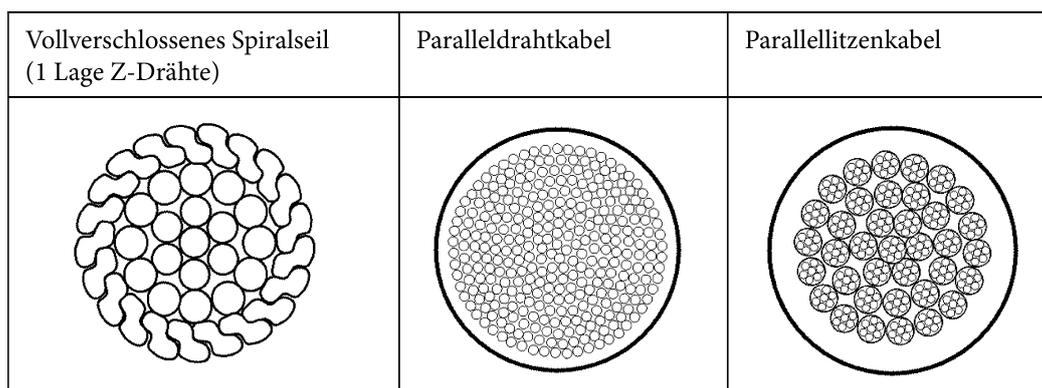


Abb. 2.10: Seilarten für Tragkabel bei Schrägseilbrücken [56]

werden, dass beim Freivorbau keine besonderen Hilfseinrichtungen erforderlich sind und der Austausch einzelner Kabel unter Verkehrslast möglich ist. Die Tragkabel bestehen entweder aus vollverschlossenen Spiralseilen, Paralleldrahtseilen oder Parallellitzenseilen, wie in Abb. 2.10 dargestellt.

- Die **Pylone** dienen zur Verankerung der Kabel und leiten die Kräfte in die Fundamente der Brücke ein. Sie können als freitragende Türme, A-Pylone oder H- und Portalpylone ausgeführt werden. Die Vorteile der A-Pylone sind die hohe Torsionssteifigkeit und die geringere Masse. Weiters ist nur eine Kabelmontageeinrichtung notwendig. Gemäß Mehlhorn [56] ist ihre Ausbildung bei einem Verhältnis von Breite zu Höhe von 0,7 möglich. Pylone mit zwei lotrechten Stielen haben im Gegensatz zu A-Pylonen den Vorteil, dass die Verankerung leichter wird, weil die Kabel nur in einer Ebene geneigt sind und mehr Platz für die Spannpresse besteht, da sie auf zwei separate Stiele verteilt werden. Die Herstellung von lotrechten Türmen ist außerdem technisch einfacher.

Nebel [60] merkt an, dass Schrägseilbrücken durch die wesentlich einfachere Montage im Vergleich zu Hängebrücken und durch die wesentlich höhere Leistungsfähigkeit gegenüber Balkenbrücken besonderes im Spannweitenbereich von 200 m bis 800 m wirtschaftlich sind. Aufgrund der steigenden Personalkosten könnten Hängebrücken gegenüber Schrägseilbrücken jedoch auch für größere Spannweiten an Attraktivität verlieren. Weiters erlaubt der Fortschritt in Material und Montagetechniken bei Schrägseilbrücken im Vergleich zu Hängebrücken deutlich mehr architektonische Freiheiten, wie sich an Bauten wie der Assut de l'Or Brücke in Valencia zeigt (siehe Abb. 2.11).

### 2.1.6 Hängebrücken

Obwohl die Hängebrücke nicht das jüngste System ist, werden mit ihm die höchsten Spannweiten erreicht. Nachdem in Europa bis zur Weiterentwicklung der Stahlbaustoffe hauptsächlich auf Druck belastbare Baumaterialien eingesetzt wurden, setzten sich permanente Hängebrücken hier erst ab Ende des 19. Jahrhunderts durch. Das Konzept der Hängebrücke stammt vermutlich aus Asien. Meistens werden bei der Planung von Hängebrücken wie bei Schrägseilbrücken in Brückenlängsrichtung zwei Tragebenen gewählt. Sie bestehen aus Pylonen, Tragkabeln, Hängern, Trägern und Verankerungsblöcken, welche im Folgenden näher beschrieben werden.

- **Traggkabel** sind die prägenden Tragelemente einer Hängebrücke. Diese können Drahtseile sein oder aus Ketten bestehen. Die Ketten werden aus Flachstahlstäben als Glieder,



**Abb. 2.11:** Pont l'Assut de l'Or, Valencia, Schrägseilbrücke mit Harfensystem [25]

die zu beiden Enden mit Ösen versehen sind, hergestellt und mit Bolzen miteinander verbunden. Ein Beispiel für eine solche Kettenbrücke war die in Abb. 2.12 dargestellte und 1976 eingestürzte Wiener Reichsbrücke. Vor der Erfindung des Luftspinnverfahrens, welches eine Fertigung des Tragkabels aus Drahtseilen vor Ort direkt während der Montage ermöglicht, wurden Tragkabel hauptsächlich als Ketten hergestellt. Durch das Einsetzen des Luftspinnverfahrens und die Verbesserung des Korrosionsschutzes werden heutzutage fast ausschließlich Drahtseilbrücken konstruiert. Der Korrosionsschutz spielt bei Hängebrücken eine besondere Bedeutung, weil die Tragkabel nicht mehr ausgetauscht werden können und durch die Zusammensetzung aus einzelnen Drähten die zu schützende Oberfläche relativ hoch ist. Die so gespannten Drähte bilden ein Paralleldrahtseil. Ebenso können die Haupttragseile mit Hilfe vorgefertigter Litzen als Parallellitzen-seile ausgeführt werden.

- Um die Vertikal- sowie die Horizontalkräfte aus den Tragkabeln aufzunehmen, benötigen Hängebrücken **Verankerungsblöcke**, die an den beiden Ufern hergestellt werden müssen. Ist dies aus grundbautechnischen Gründen nicht möglich, werden sogenannte unechte Hängebrücken, wie zum Beispiel die bereits erwähnte alte Wiener Reichsbrücke, konstruiert. Bei dieser wurden die Tragseile in den Hauptträgern der Fahrbahn rückverankert. Damit ähnelt diese Brückenform sehr stark einer Schrägseilbrücke und wurde durch diese im modernen Brückenbau auch abgelöst.
- Die **Hänger** verbinden das Tragseil mit dem Träger. Sie bestehen aus vollverschlossenen Seilen oder aus Litzenbündeln, welche so dimensioniert werden, dass sie im Betrieb aus-



Abb. 2.12: Alte Reichsbrücke über die Donau, Wien [94]

tauschbar sind. Die Hänger können entweder vertikal oder schräg fachwerkartig angeordnet werden. Zweiteres ist wesentlich aufwendiger, erhöht jedoch die ansonsten sehr geringe Systemsteifigkeit.

- Der **Träger** ist für die Aufnahme der Verkehrslasten verantwortlich und auch für die Systemsteifigkeit maßgeblich. Da das System sehr biegeweich ist, muss er neben der Aufnahme der Zwischenmomente auch die Horizontalkräfte aus der Windlast entsprechend ableiten. Der Träger kann dafür entweder als Durchlaufträger durch die Pylone oder als Einfeldträger ausgeführt werden und wird meistens als Vollwand- oder als Fachwerkträger hergestellt. Der Versuch in der Vergangenheit immer schlankere Brücken zu bauen und damit einhergehend die sinkende Steifigkeit des Systems führte dazu, dass durch vom Wind angeregte Schwingungen die sogenannte aerodynamische Stabilität des Tragwerks gefährdet wurde. Das führte in manchen Fällen zum Versagen von Hängebrücken. Heutzutage kann jedoch mit Hilfe von Computersimulationen ein aerodynamisch stabiler Trägerquerschnitt berechnet und gewählt werden.
- Die **Pylone** der Brücke ähneln jener einer Spannseilbrücke und dienen zur Ableitung der Vertikalkräfte aus dem Tragkabel. Sie werden daher nur auf Normalkraft belastet, jedoch selten A-förmig ausgebildet. Die Höhe der Pylone ist von der Spannweite des Mittelfelds abhängig, da dieses den Stich des Tragkabels bestimmt. Sie können mit einer Höhe von  $1/8$  bis  $1/12$  dimensioniert und als zweistielige Rahmen mit Kastenquerschnitt ausgeführt werden. Im Gegensatz zu Spannseilbrücken, bei denen die Tragseile in den Pylonen verankert werden, werden diese bei Hängebrücken nur umgelenkt. Der Umlenkradius wird dabei von der Art und dem Durchmesser der für das Kabel verwendeten Elemente bestimmt.

Mit Hängebrücken können Spannweiten überbrückt werden, die mit anderen Systemen nicht möglich sind. Das ist auch notwendig, weil der Aufwand für den Bau einer Hängebrücke den von anderen Brückensystemen wie etwa der Schrägeilbrücke weit übersteigt. Das Luftspinnverfahren bei der 2737 m langen Golden-Gate-Bridge hat beispielsweise über sechs Monate gedauert. Die Hängebrücke mit der größten Spannweite ist die in Japan gebaute Akashi Kaiyko Brücke mit etwa 2000 m und einer Gesamtlänge von 3911 m, welche in Abb. 2.13 dargestellt ist.

## 2.2 Unterbauten

Gemäß Mehlhorn [56] besteht der Unterbau einer Brücke aus jenen Bauteilen, die für die Lagerung des Überbaus und die Weiterleitung der Kräfte aus dem Überbau verantwortlich sind. Der Unterbau umfasst die Widerlager, Stützen, Pfeiler sowie ihre Gründungen. Die Art des Unterbaus wird maßgebend durch die Wahl des Brückentragwerks bestimmt. So ist zum Beispiel bei Bogenbrücken mit aufgeständerter Fahrbahn – wie in Abschnitt 2.1.4 beschrieben – der Bogen Teil des Unterbaus. Brücken Gründungen und Brückenpfeiler in Flüssen stellen durch die aufwändige Wasserhaltung eine besondere Herausforderung dar. Um einen Überblick über die Funktionen der einzelnen Bauteile eines Unterbaus zu bekommen, werden diese in den folgenden Abschnitten kurz beschrieben.

### 2.2.1 Widerlager

Mehlhorn [56] beschreibt Widerlager als Bauteile, welche sich auf beiden Enden der Brücke befinden und als letztes Auflager sowohl Kräfte aufnehmen als auch den Übergang der Brücke zum weiterführenden Verkehrsdamm bilden müssen. Das Design der Widerlager wird an diese zwei Funktionen angepasst. Widerlager werden im Regelfall aus Stahlbeton hergestellt. Vor allem bei Eisenbahnbrücken müssen diese sehr große Horizontalkräfte aufnehmen können.

### 2.2.2 Stützen und Pfeiler

Als Stützen und Pfeiler werden die Unterstützungen bei mehrfeldrigen Brücken bezeichnet. Der Unterschied zwischen Stützen und Pfeilern ist laut Mehlhorn [56] nicht klar definiert. Als Stützen werden eher schmalere Unterstützungen, also mit Breiten, die kleiner als die Überbaubreite sind, bezeichnet. Pfeiler besitzen demnach – relativ zum Überbau – größere Abmessungen und werden daher bei Strombrücken eingesetzt. Die Anordnung von Strompfeilern in Strombrücken wird durch die Schifffahrt und die hydrologischen Verhältnisse bestimmt. Typische Formen sind vom Rechteck abgewandelte Hohl Pfeiler, Massivpfeiler oder Strukturpfeiler. Bei der Herstellung von Brückenpfeilern wird vorrangig Stahlbeton eingesetzt. Stahlbetonfertigteile oder Stahlstützen kommen manchmal bei kleineren Bauwerken zum Einsatz. Strompfeiler werden dabei meistens als Massivpfeiler ausgeführt, wobei besonders ein möglicher Schiffsanprall einberechnet werden muss. Diese zu berücksichtigende Stoßlast wird in der ÖNORM EN 1991-1-7 Tabelle C.3 [62] in Abhängigkeit der für den konkreten Fluss von der European Conference of Ministers of Transport (ECMT) angegebenen Schiffsklasse vorgegeben. In Deutschland kann gemäß Merkblatt der Bundesanstalt für Wasserbau [7] dieser Wert bei bestehenden Brücken in Abhängigkeit der Restnutzungsdauer der Brücke im Extremfall auf 40 % reduziert werden. Brückenpfeiler können auch konstruktiv mit sogenannten Schiffsabweisern geschützt werden. Diese werden in Form von, mit Steinen gefüllten Spundwänden – Dolphins oder Pfahlgruppen, auch Dalben genannt – vor den entsprechenden Brückenpfeilern montiert. Sie sollen das Schiff vor dem Erreichen des

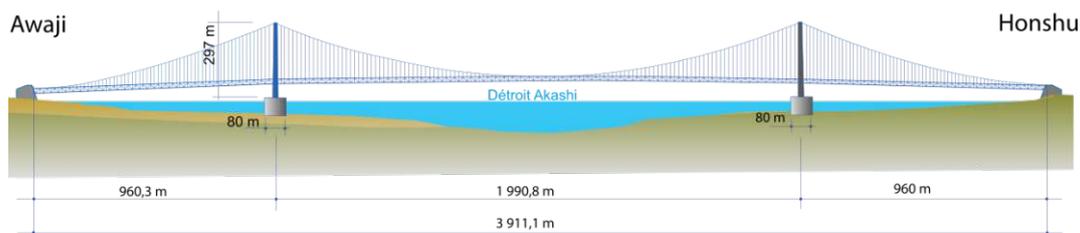


Abb. 2.13: Akashi-Kaikyo-Brücke [77]

Pfeilern durch ihre Masse beziehungsweise Steifigkeit stoppen. Eine weitere Lösung ist der Einsatz von schwimmenden Schiffsabweisern, welche aus dreieckigen Schwimmkörpern bestehen, die mit Ketten am Grund verankert werden. Sie werden in größerem Abstand zu den Pfeilern befestigt und sollen Schiffe langsam bremsen oder ablenken. Pylone sind Bestandteil des Haupttragwerksystems von Schrägkabel- und Hängebrücken und damit keine Unterbauten, jedoch ist die Funktion aufgrund der ähnlichen Tragwirkung die Gleiche wie die von Pfeilern und Stützen.

### 2.2.3 Gründungen

Die Art der Gründung wird projektspezifisch anhand der Größe der Belastung und des Baugrundgutachtens bestimmt. Es gibt verschiedene Gründungsarten, die sich grundsätzlich nicht von denen im Hochbau unterscheiden. Mehlhorn [56] beschreibt mit Flachgründung, Brunnengründung, Senkkasten, Rammpfähle und Bohrpfählen fünf übliche Gründungsarten, wobei Flachgründungen bedingt und Brunnengründungen nicht für Strombrücken geeignet sind.

## 2.3 Brückenbauverfahren im Überblick

Brücken können auf unterschiedliche Arten hergestellt und montiert werden. Je nach Brückenform steht eine mehr oder weniger große Auswahl an Herstellungs- und Montagethoden zur Verfügung. Folgende Auflistung beinhaltet gemäß Mehlhorn [56] die häufigsten Verfahren, mit denen fast alle Brückentragwerke hergestellt werden können:

- Lehrgerüst
- Vorschubrüstung
- Freivorbau
- Taktschiebeverfahren

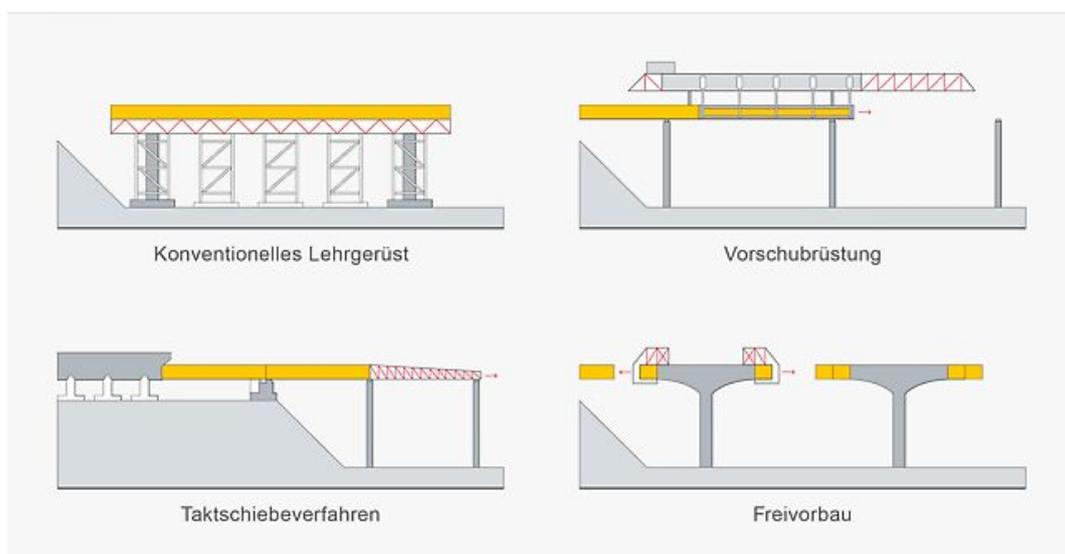


Abb. 2.14: Häufige Verfahren im Brückenbau lt. PERI [71]

Neben diesen gibt es noch speziell entwickelte Verfahren für bestimmte Brückentragwerke. Sie sind oft an ein bestimmtes Brückentragwerk angepasst, um einen wirtschaftlichen Vorteil zu erreichen. Dazu zählen laut Mehlhorn [56] unter anderem folgende Verfahren:

- Einheben mit Kran
- Segmentbauweise
- Querverschub

Die genannten Verfahren können für einen Großteil der Haupttragwerksarten eingesetzt werden, wobei an Haupttragwerke angepasste Verfahren anzustreben sind. Die Auswahl dieser wird jedoch wesentlich von den projektspezifischen Rahmenbedingungen bestimmt. Die Verfahren werden in den folgenden Abschnitten kurz beschrieben und ihre Einsatzgebiete erläutert.

### 2.3.1 Lehrgerüst

Die Herstellung eines Lehrgerüst ist lt. Mehlhorn [56] das älteste Verfahren, um Brücken herzustellen. Lehrgerüste dienen der Aufnahme der Kräfte bis zum Ausschalen. Hierfür muss der Beton ausreichend erhärtet sein. Ihr Einsatzgebiet ist damit vor allem der Betonbrückenbau. Ein Lehrgerüst ähnelt in der Funktionsweise der Schalung inklusive Stützen des konventionellen Stahlbeton-Hochbaus. Es muss jedoch durch die sich zeitlich verändernden Belastungen durch Betonage, Vorspannung und Setzungen weitaus größeren Anforderung entsprechen. Daher werden Lehrgerüste auch als Ingenieurbauwerke berechnet und konstruiert.

Aufgrund ihrer kurzen Standzeiten und meist großer Einsatzhäufigkeit erleiden die Einzelteile der Lehrgerüste häufig Verformungen und unter Umständen auch Beschädigungen. Lehrgerüste werden bis zu einer Höhe von etwa 15 m und bei passenden Untergrundverhältnissen hergestellt. Man unterscheidet zwischen stationären und umsetzbaren oder verschieblichen Lehrgerüsten. Stationäre Lehrgerüste setzt man für Brücken ein, die aus einem bis zu drei Feldern langem Durchlaufträger oder einer komplizierten Geometrie bestehen. Verschiebliche Lehrgerüste nutzen die Möglichkeit der abschnittswisen Betonage bei gleichbleibender oder ähnliche Geometrie, um Material und Zeit zu sparen. Sie werden verschoben oder nur teilweise demontiert, um einen neuen Abschnitt betonieren zu können. Dies kann sowohl feldweise in Längsrichtung als auch – bei breiten Brücken – in Querrichtung erfolgen.

Strombrücken werden selten mit Hilfe von Lehrgerüsten errichtet. Eine Ausnahme ist die Murbrücke der S35 bei Frohnleiten. Lehrgerüste können auch bei Bogenbrücken über Flüsse und Täler eingesetzt werden. Sie werden dann, wie in Abb. 2.15 ersichtlich, als ein freitragendes Lehrgerüst hergestellt. Dieses wird von beiden Seiten eingeklappt und kann für Spannweiten von bis zu 200 m verwendet werden. Aufgrund der Werkstattfertigung einzelner Segmente und dem Vorteil, dass alle Teile sofort voll tragfähig sind, sind Lehrgerüste beim Stahlbrückenbau nicht notwendig [56].

### 2.3.2 Vorschubrüstung

Vorschubrüstungen funktionieren nach einem ähnlichem Prinzip wie Lehrgerüste. Sie stützen sich jedoch nicht am Boden ab, sondern an den Pfeilern der Brücke, an Hilfsstützen oder an bereits fertiggestellten Teilen des Überbaus. Ist der betonierte Abschnitt der Brücke selbsttragend, wird die Vorschubrüstung gelöst und zum nächsten Abschnitt geschoben. Vorschubrüstungen können effektiv bis zu einer Stützweite von knapp über 60 m eingesetzt werden. Darüber hinaus müssen Hilfsstützen zum Einsatz kommen. Die Vorteile dieses Verfahrens sind die Unabhängigkeit vom unter der Brücke liegendem Gelände, die hohe Baugeschwindigkeit und Qualität sowie die



**Abb. 2.15:** Bogenlehrgerüst nach dem Cruciani System für die Herstellung der Pfaffenbergbrücke in Österreich [17]

Einsparung von Lohnkosten durch die Mechanisierung der Schalungsarbeiten. Vorschubrüstungen können aus Stahl oder vorgespanntem Beton hergestellt werden. Vor allem für einmalige Einsätze kann eine Vorschubrüstung aus Beton wirtschaftlich sein. In Abb. 2.16 ist eine Prinzipskizze einer Stahlvorschubrüstung der Deutschen Bahn, welche zum Bau der Filstalbrücke verwendet wurde, dargestellt. Ihre Funktionsweise zeigt Abb. 2.17. Man erkennt, in Blau dargestellt, die Traverse der Vorbaurüstung und, in Rot dargestellt, die Schalung. Nach Fertigstellung eines Segments der Brücke wird die Schalung abgesenkt und in eine neue Position gebracht. Der montierte Vorbausehnabel stützt sich dabei auf einer am nächsten Brückenpfeiler angebrachten Hilfskonstruktion ab. Die Schalung wird in der neuen Position angehoben und eingerichtet. Der nächste Abschnitt des Überbaus kann damit betoniert werden.[56]

### 2.3.3 Freivorbau

Bei einem Freivorbau wird ähnlich der Vorschubrüstung die Brücke segmentweise hergestellt. Mit dieser Methode können Balken-, Bogen- und Spannseilbrücken errichtet werden. Zur Anwendung kommt dieses Verfahren bei Brücken mit Spannweiten zwischen ca. 70 m und 250 m, bei denen kein Lehrgerüst hergestellt werden kann, oder wo breite Hindernisse stützenfrei überspannt werden müssen [56]. Die gegenüber der Vorschubrüstung kleineren Segmente sind wesentlich kürzer als die Feldlänge und werden in Takten mithilfe eines Freivorbauwagens betoniert. Mit diesem Prinzip können sowohl Beton- als auch Stahlbrücken hergestellt werden. Die Form des Vorbauwagens unterscheidet sich jedoch bei diesen beiden Tragwerkstypen stark. Beide Verfahren werden in den nun folgenden Abschnitten kurz beschrieben.

#### Freivorbau im Betonbrückenbau

Der Freivorbauwagen der Firma PERI GmbH ermöglicht zum Beispiel Abschnittslängen von bis zu 5,75 m [69]. Der Freivorbauwagen wird zu Beginn an einem Pfeiler der Brücke und in weiterer Folge am zuletzt betonierten Abschnitt des Überbaus befestigt. Die Komponenten am Beispiel einer Spannseilbrücke stellen sich wie folgt dar: Zwei Vorschubträger sind verantwortlich für die Verankerung des Vorbauwagens auf dem betonierten Abschnitt und ermöglichen das Verschieben des Vorbauwagens. Auf den Längs- und Querträger des Fachwerks werden Hebe- und Senkpressen für die Rüstträger montiert. Mit ihnen wird die Schalung angehoben und nach dem Aushärten des Betons wieder abgesenkt. Die Schalung wird auf den Rüstträgern befestigt und kann individuell an die Ansprüche der Brücke angepasst werden.

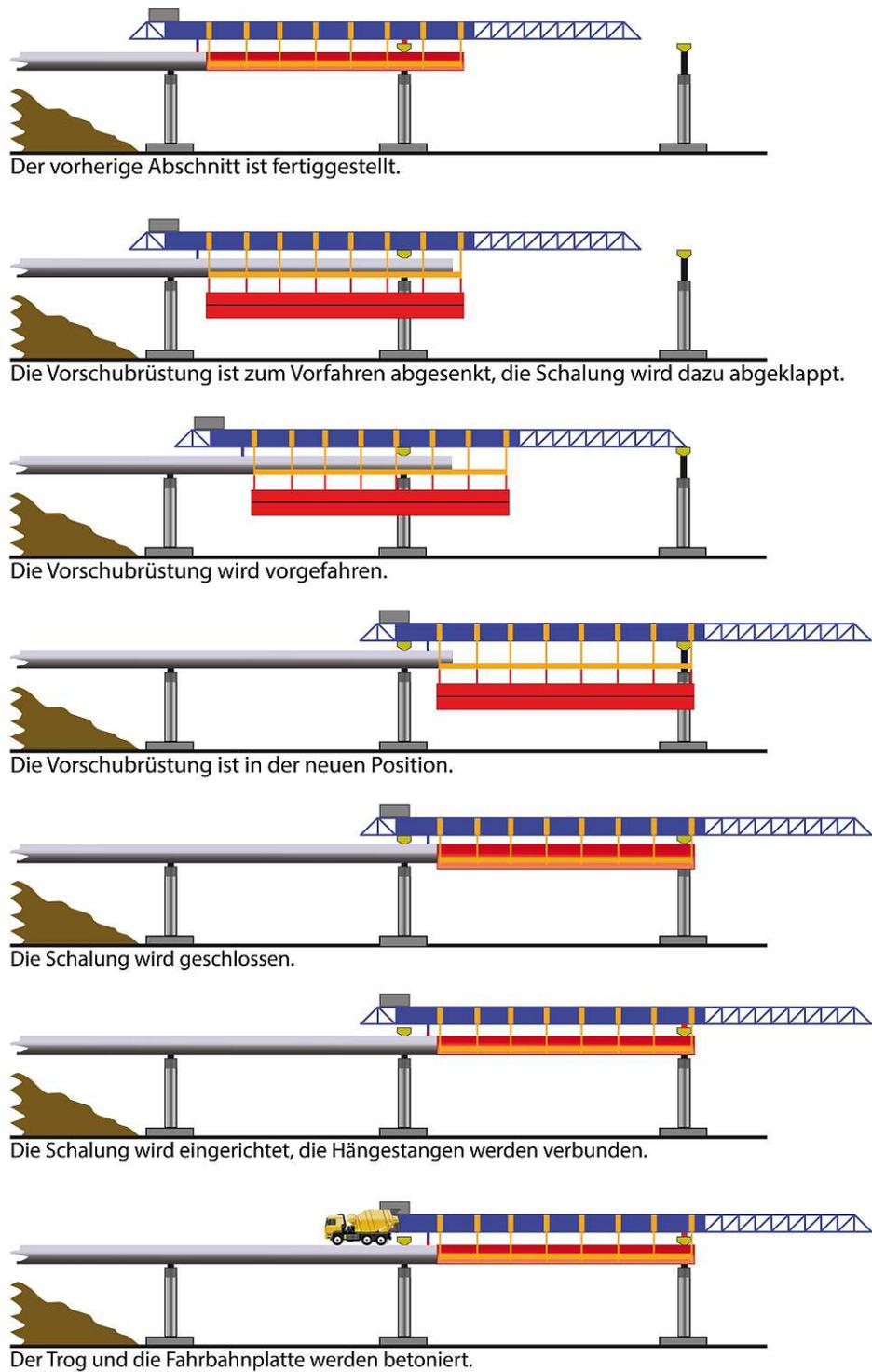


Abb. 2.16: Darstellung des Bauverfahrens mit stählerner Vorschubrüstung mit Trogschalung [8]

Das Verfahren wird gemäß PERI GmbH [70] in sieben Schritten beschrieben, deren Durchführung in sieben Tagen möglich ist. Sie bestehen aus Ausrichten, Bewehren, Betonieren, Aushärten, Vorspannen, Ausschalen und Verahren. Sobald der Beton hart genug für das Ausschalen ist, wird die Bewehrung vorgespannt und die Vorschubträger in der neuen Position am neu betonierten Abschnitt verankert, damit der Vorbauwagen zum nächsten Abschnitt geschoben werden kann. Im Regelfall werden zwei Vorbauwagen gleichzeitig eingesetzt und – von der gleichen Stütze startend – in beide Richtungen der Brücke bewegt. Dadurch entsteht ein Waagebalken, welcher eine Momentenbelastung des Pfeilers verhindert, wie in Abb. 2.18 dargestellt.

### Freivorbau im Stahlbrückenbau

Der Vorbauwagen beim Freivorbau von Stahlbrücken ähnelt einem Kran, der entsprechend der Brückengröße dimensioniert ist und auf den Hauptträgern befestigt und verschoben werden kann. Die Teile werden über die vorhandenen Hauptträger zum auskragendem Ende der Brücke gebracht oder von Schiffen eingehoben und dann mithilfe des Vorbauwagens an die richtige Position gehoben. Je nach Bauteil werden sie entweder mit Laschen und Passschrauben oder mittels Schweißnaht verbunden. Je nach Größe der Fachwerkbalken können bei Fachwerkbrücken ganze Segmente oder die Fachwerke stabweise montiert werden. Der Freivorbau kann entweder von einem Ende, von beiden Enden oder von einer Stütze in Brückenmitte aus hergestellt werden. Aufgrund der vielen Anschlüsse ist die Geometrie der Brücke ständig zu kontrollieren, um Abweichungen, die zum Beispiel durch das Schrumpfen der Schweißnähte entstehen, auszugleichen. Aufgrund der Durchbiegung des Kragarms muss dieser beim Erreichen der nächsten Stütze angehoben oder bereits überhöht ausgeführt werden.[56]

Mithilfe des Freivorbaus können neben den Vollwand- und Fachwerkbalkenbrücken auch die Hauptträger von Schrägkabelbrücken und Hängebrücken sehr effizient hergestellt werden. Bei Schrägkabelbrücken eignet sich diese Bauweise ebenfalls hervorragend, wenn eine Seite mit Hilfsunterstützungen hergestellt werden kann. Die zweite Seite kann nach Herstellung des Pylons mit Kabelunterstützung montiert werden. Bei Hängebrücken können die über Pontons eingeschwommene Teile mithilfe des Tragkabels aufgezogen werden.[56]

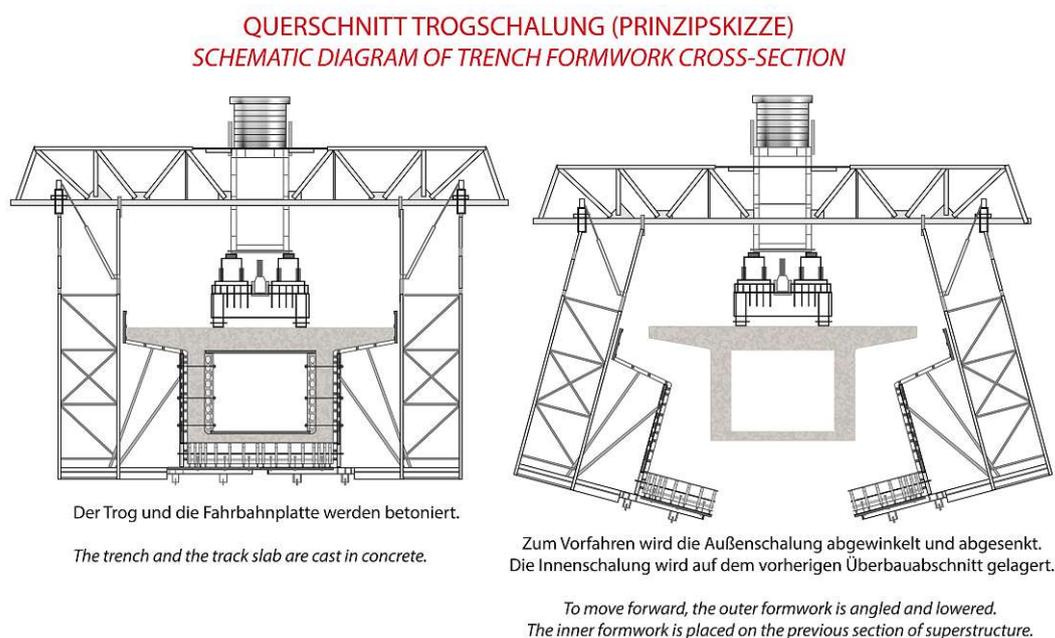


Abb. 2.17: Darstellung einer Trogschalung und Funktionsweise [9]



**Abb. 2.18:** Darstellung des Bauverfahrens mit Vorbauwagen und Ausbildung eines Waagebalkens [72]

### 2.3.4 Taktschiebverfahren

Beim Taktschiebverfahren wird die Brücke nicht mithilfe eines Gerüsts, sondern an einem oder beiden Enden der Brücke hinter den Widerlagern auf sogenannten Vormontageplätzen hergestellt. Die fertigen Teile werden dann über die Pfeiler und, wenn notwendig, mit Hilfsstützen zur anderen Seite geschoben. Die Größe der Abschnitte variiert und wird an den Brückenquerschnitt und an die zu überbrückende Spannweite angepasst.

#### Taktschiebverfahren im Betonbrückenbau

Bedingt durch die Aushärtezeiten des Betons sollte gemäß Mehlhorn [56] die Herstellung eines Brückenabschnitts nicht länger als eine Woche dauern. Die Praxis zeigt, dass dies bei einer Brückenbreite von 20 m einer Länge von etwa 30 m entspricht. Am häufigsten wird dieses Bauverfahren bei Balkenbrücken angewendet. Weil die Herstellung der einzelnen Abschnitte an einem Ort erfolgt, können bessere Herstellungsbedingungen geschaffen werden, wenn eine Art Produktionshalle errichtet wird. Es können Brückengesamtlängen von 100 m bis 1000 m wirtschaftlich hergestellt werden. Dabei sollten die Feldlängen möglichst konstant sein, damit die Fugen in den Momenten-Null-Punkten zu liegen kommen. Die Einzelspannweiten befinden sich üblicherweise zwischen 30 m und 55 m, können jedoch bis zu 140 m reichen. Bei diesen großen Spannweiten müssen allerdings Hilfsstützen zum Einsatz kommen. Beim Taktschiebverfahren kommt ein sogenannter Vorbauschub zum Einsatz. Dieser wird an das ansonsten frei auskragende Brückende montiert und besteht meist aus einer Stahlfachwerkstruktur. Diese wird so dimensioniert, dass der Vorbauschub den nächsten Pfeiler erreicht, bevor die Kräfte durch die Auskragung zu Schäden an der Brücke führen. Erkennbar ist dies in Abb. 2.19. Die Unterstützung des Vorschubvorgangs kann auch durch Hilfspylone und durch eine temporäre Seilabspannung erfolgen.

#### Taktschiebverfahren bei Stahlfachwerkbrücken (Freier Vorschub)

Das Taktschiebverfahren kann auch für Balkenbrücken aus Stahlfachwerken herangezogen werden. Hier ist es auch unter der Bezeichnung „Freier Vorschub“ oder „Vorschub mittels Vorbauschub“ bekannt und basiert auf dem gleichen Prinzip. Abschnitte der Fachwerkbalken und der Fahrbahnträger werden hinter einem Brückende montiert und dann über Gleitlager oder

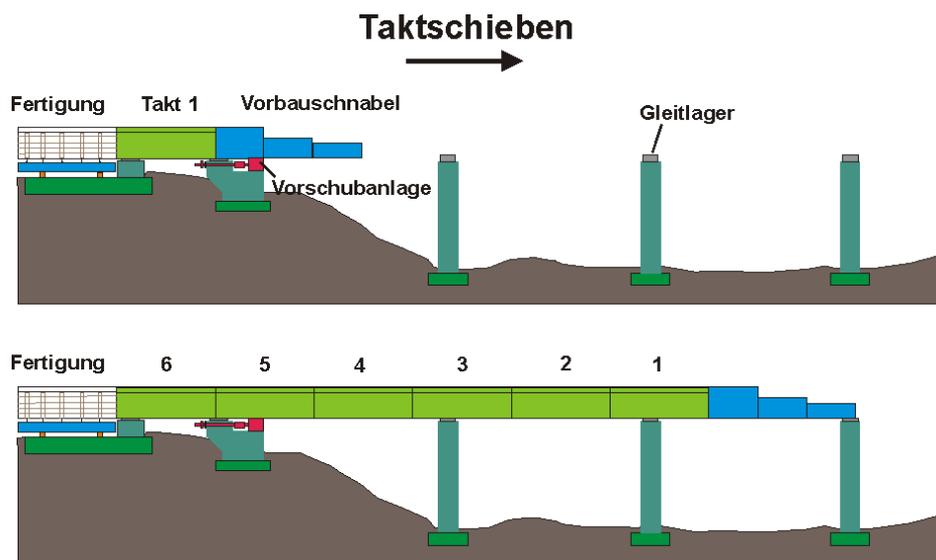


Abb. 2.19: Skizze des Taktschiebeverfahrens [85]

Rolllager auf die Stützen geschoben. Der freie Vorschub der Brücke mit Vorbauschubel – Brücke als Ballast – ist das standardisierte Bauverfahren (Regelbauweise) beim Bau von Systembrücken. In diesem Anwendungsbereich wird das Taktschiebeverfahren laut Unegg GmbH [31] bei allen Brückengrößen eingesetzt, vorrangig jedoch bei größeren Brücken ab 40 m. Dies ist jedoch stark von den Platzverhältnissen am Ufer abhängig.

Die Bauplatzgröße wird an die Länge der Brückenfelder angepasst, welche auch die Größe des Fachwerkbalkens bestimmt. Laut *Vorschubhandbuch des Österreichischen Bundesheers* von Teply [74, S. 110] soll die Länge hinter dem Widerlager mindestens 60 Prozent der geplanten Stützweite entsprechen, um einen zügigen Baufortschritt zu ermöglichen. Um die Vorschubplanung zu vereinfachen, soll der Ballastarm, also jener Teil der Brücke hinter dem Auflager, immer wenigstens 1 Feld länger sein als der Kragarm. In Abb. 2.20 ist ein Teil des Montageplans zum Bau der Behelfsbrücke Echelsbach zu sehen. Die Montage wird in unterschiedliche Phasen, mit genauen Anweisungen wie viele Elemente montiert werden müssen und wie weit die Brücke vorzuschieben ist, eingeteilt.

Das Tragwerk von Fachwerkbalken ist wesentlich leichter als jenes im Betonbrückenbau. Daher kann bei eingeschränkter Bauplatzgröße mit einem beweglichen Ballast auf der Fahrbahndecke (oder auf einem Ballastwagen auf dem Obergurt der Hauptträgerwände) die Länge des Vormontageplatzes reduziert werden. Durch den Bau von Zwischenunterstützungen kann die Stützweite herabgesetzt bzw. die Gesamtbrückenlänge erhöht werden. Dadurch können auch kleinere Fachwerke bei gleicher Belastbarkeit ausgeführt werden. Beim Einsatz von Hilfsunterstützungen für den Vorschub wird die freie Auskraglänge herabgesetzt und die Ballastarmlänge bzw. der aufzubringende Ballast reduziert. Hilfsunterstützungen sind temporäre Zwischenstützen für den Vorschub und werden nach Fertigstellung der Brücke wieder abgebaut. [74] Die durch den Vorschub induzierte Reibung des Überbaus auf den Auflagern kann eine signifikante Belastungen auf die Stützen darstellen und ein limitierender Faktor für die Anwendbarkeit des Taktschiebeverfahrens sein [28].

### Lanzierter Bau mit Kran (Kranvorschub)

Beim Taktschiebeverfahren entsteht eine hohe Momentenbelastung im Kragarm, bevor der Vorbauschubel die Stütze erreicht und einen Träger auf zwei Stützen bildet. Die dabei erreichbare freie Auskraglänge ist im Allgemeinen geringer als die Grenzspannweite des Brückensystems. Zur

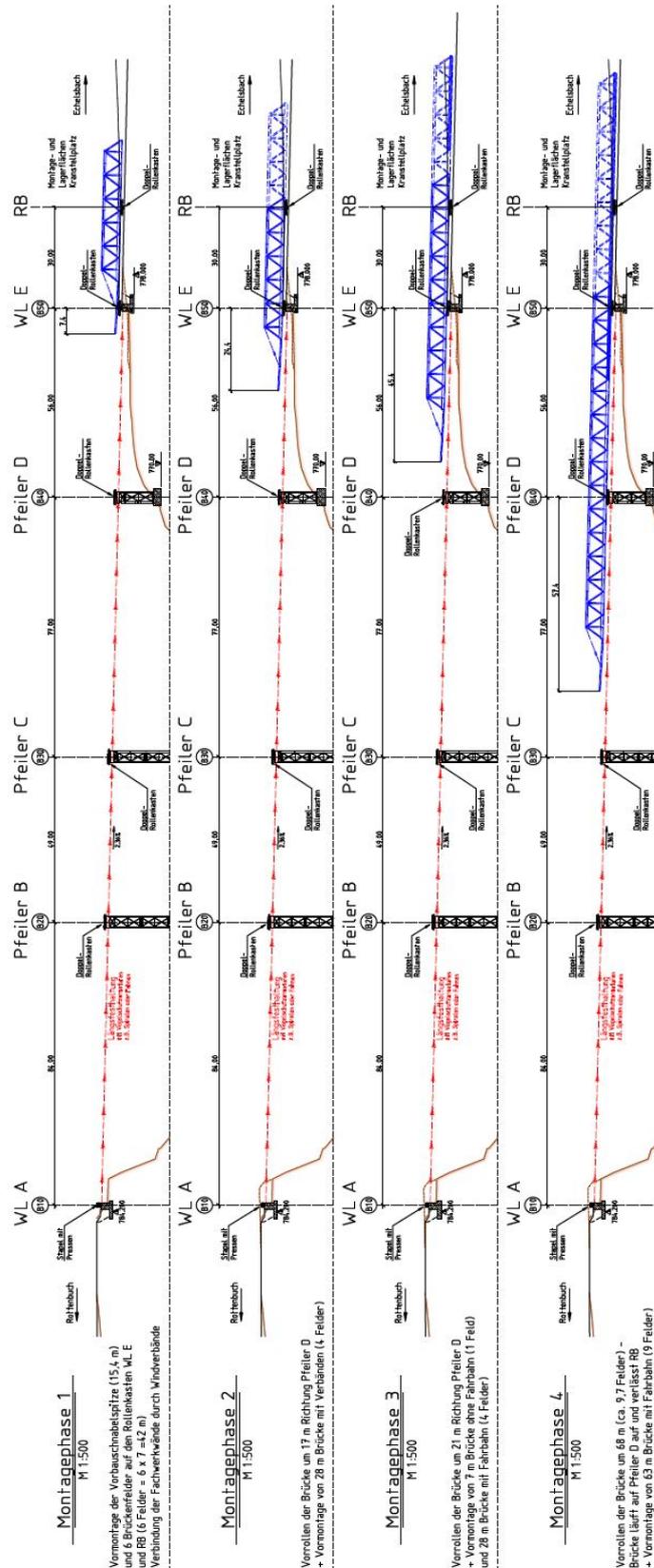
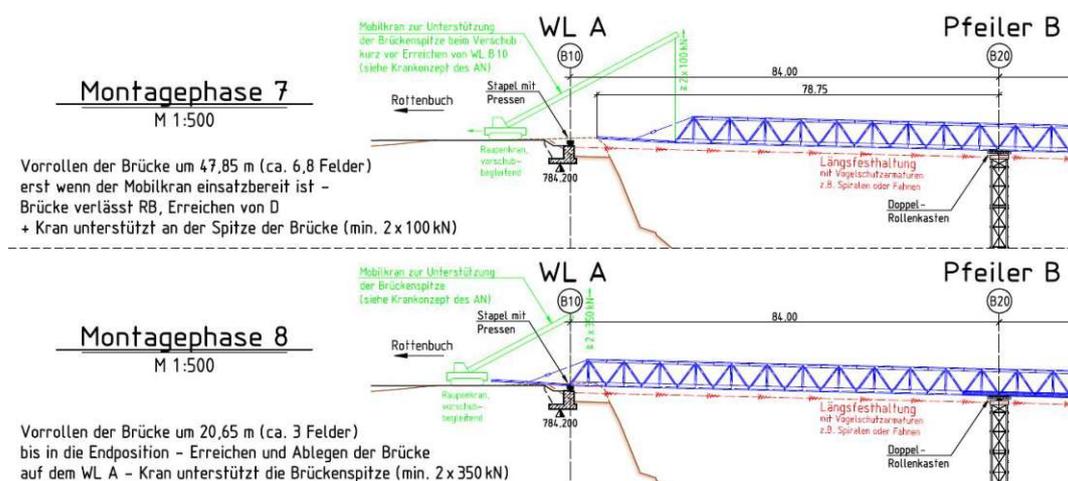


Abb. 2.20: Ausschnitt aus dem Montageplan zum Bau der Behelfsbrücke Echelsbach [55]



**Abb. 2.21:** Ausschnitt aus dem Montageplan zum Bau der Behelfsbrücke Echelsbach, Kranunterstützt [55]

Unterstützung des Kragarms wird ein Kran eingesetzt, der einen Teil des Momentes, welches durch das Eigengewicht der Brücke entsteht, aufnimmt. Diese Variante des Taktvorschubes nennt man auch „Lanzierter Bau mit Kran“ oder „Kranvorschub“. Diese Montageart wird von der Kranleistung und der Aufstellfläche begrenzt. Genauer beschrieben wird der „lanzierter Bau mit Kran“ in den Handbüchern des ÖBH [74]. Hier wird die Brücke über Pendelrollen vorgeschoben und das erforderliche Stützmoment ganz oder teilweise durch die Hubkraft eines Krans erbracht. Dadurch kann die Ausbildung eines Vorbauschnebels teilweise oder ganz entfallen. Dieses Bauverfahren setzt voraus, dass beide Uferseiten als Baustellen eingerichtet werden können, da die Kranaufstellung am Ufer erfolgen muss. In der Planung der Platzanordnung der Baustelleneinrichtung sollte der Aufstellort – sofern möglich – in der Brückenachse gewählt werden. Der Kranvorschub wird lt. Unegg GmbH. [31] meist bei Spannweiten zwischen 20 m und 40 m eingesetzt oder wenn der Platzbedarf an den Ufern für einen freien Vorschub nicht ausreichend ist. Wie in Abb. 2.21 ersichtlich, ist eine Kombination des freien Vorschubs und des Kranvorschubs möglich.

### 2.3.5 Einheben mit Kran

Bei dieser Baumethode werden die Brückenfelder vorgefertigt und feldweise eingehoben. Für kleinere Brücken kann die ganze Brücke auf diese Art montiert werden, für größere Brücken nur das Tragwerk. Wie bereits in Abschnitt 2.1.4 angemerkt ist vor allem bei Stahlbogenbrücken mit einer Spannweite von 50 m bis 150 m das Einschwimmen von vorgefertigten Brückenfeldern sehr wirtschaftlich.

Gemäß Unegg [31] wird bei Systembrücken diese Methode für kleinere Spannweiten bis zu 20 m eingesetzt, da sie von der Leistung des Krans beschränkt wird und das Taktschiebeverfahren bei größeren Systembrücken meist wirtschaftlicher ist. Die Planung der Bauplatzdimensionierung und der Bauplatzanordnung muss auf den verwendeten Kran abgestimmt sein.

### 2.3.6 Segmentbauweise

Mehlhorn beschreibt im Handbuch für Brücken [56] die moderne Segmentbauweise sehr detailliert. Dieses Bauverfahren wird nur für Betonbrücken mit Hohlkastenquerschnitt und extern verlegter Bewehrung eingesetzt. Vor allem in Amerika und Frankreich ist diese Art des Betonbrückenbaus

beliebt. Die Herstellung der Segmente geschieht in einem Fertigteilwerk. Sie werden entweder mit Hilfe eines Verlegegerüsts oder mit Kränen in Position gebracht und gehalten. Danach wird der Spannstahl verlegt, vorgespannt und die Fugen zwischen den Segmenten geschlossen. Durch das Zusammenpressen der Elemente mit Hilfe der Vorspannung kann man die Segmente vom Gerüst lösen und zum nächsten Brückenfeld verschieben, ähnlich einer Vorschubrüstung. Die Verbesserungen im Korrosionsschutz, der durch das Freiliegen der Bewehrung notwendig ist, machen dieses Bauverfahren wirtschaftlich. Denn eine freiliegende Bewehrung bringt einige Vorteile in der Herstellung und Wartung der Brücke mit sich. Weiters werden die Fertigungsvorgänge stark vereinfacht und eine einfache Kontrolle sowie das Nachspannen der Bewehrung ist möglich. Laut Mehlhorn [56] ist diese Methode bei großen Brückenbauwerken mit geringen Einzelfeldlängen von etwa 50 m oder bei günstiger Lage eines Fertigteilwerks wirtschaftlich.

### 2.3.7 Querverschub

Der Querverschub gehört zu den Sonderverfahren, welche beim Ersatz von alten Tragwerken durch neue angewendet werden. Es ermöglicht, die Verkehrseinschränkung so gering wie möglich zu halten. Im Gegensatz zum Vorschub der Brücke in Brückenlängsrichtung wird die Brücke in Querrichtung verschoben. Je nach Verfahren kann dabei der Unterbau der Bestandsbrücke beibehalten werden. Mehlhorn [56] unterscheidet vier Verfahren. Dabei kann entweder das alte Tragwerk verschoben und nach dem Bau der neuen Brücke abgebrochen werden. Oder das neue Tragwerk kann parallel zum alten Tragwerk errichtet werden und nach Abbruch des alten Tragwerks in dessen Position verschoben werden. Bei beiden Verfahren ist es möglich, den gesamten Unterbau zu erneuern. Weitere Verfahren sind das Herstellen der neuen Brücke und der gleichzeitige Querverschub beider Brücken sowie der simultane Auf- und Abbau der beiden Brücken mit der Unterstützung von beiden Tragwerke.

## 2.4 Verbindungstechnik bei Stahlbrücken

Stahlbrücken sind aufgrund der Vorfertigung von Stahlträgern im Werk immer Fertigteilbrücken. Die Bauteile, bei denen es sich bei Fachwerkbrücken entweder um einzelne Stäbe oder Vollquerschnittsträger handelt, müssen möglichst verformungs- und ermüdungsarm sowie wirtschaftlich verbunden werden. Im modernen Brückenbau werden drei Arten an Verbindungstechniken eingesetzt. Bei diesen handelt es sich um Schweißverbindungen, Schraubverbindungen und Bolzenverbindungen. In den folgenden Abschnitten werden sie näher beschrieben.

### 2.4.1 Schweißen

Beim Schweißen werden laut Definition von Fink [15] zwei Werkstoffe mit gleichem oder ähnlichem Schmelzpunkt mit Hilfe von Wärme verbunden. Obwohl Schweißen vorrangig in der Werkstattfertigung zur Anwendung kommt, können bestimmte Methoden auch auf der Baustelle eingesetzt werden. Das meist verwendete Verfahren ist das Lichtbogenschweißen. Die drei Hauptschweißverfahren des Lichtbogenschweißens sind die Elektrodenhandschweißung (E-Schweißung), Metall-Aktivgas-Schweißung (MAG-Schweißung) und Unterpulver-Schweißung (UP-Schweißung) [15].

**E-Handschiweißung** Beim E-Handschiweißens wird die Elektrode, bestehend aus einem umhüllten Kerndraht, per Hand mittels Zange zugeführt. Die Umhüllung dient dazu, die Leitfähigkeit der Lichtbogenstrecke zu verbessern, einen Gasstrom und eine Schlacke zu bilden, sowie desoxidierend und/oder auflegend zu wirken. Es ist laut Fink [15] das flexibelste Verfahren und kann fast

immer eingesetzt werden. Im Brückenbau kommt diese Methode bei der Montage vor Ort zum Einsatz, wenn die Verbindungsmethode mittels Schrauben nicht möglich oder unpraktisch ist.

**MAG-Schweißung** Die Metall-Aktivgas-Schweißung ist die meist verbreitete Art der Schweißung. Hierbei wird die Drahtelektrode von einer Trommel aus automatisch zugeführt. Der Lichtbogen wird durch ein Gas – bestehend aus Kohlenstoffdioxid oder einer Mischung aus Argon, Kohlenstoffdioxid und Sauerstoff – geschützt. Der einzige Nachteil dieser Art der Schweißung ist ihre Windanfälligkeit, weil der Wind die Schutzgasglocke verwehen kann.

**UP-Schweißung** Das Unterpulverschweißen ist ein vollautomatisches Schweißverfahren. Hierbei brennt der Lichtbogen unter einem Pulver, welches gleichzeitig die Schlacke bildet. Das überschüssige Pulver wird abgesaugt und wiederverwendet. Dieses Verfahren wird vor allem in der Fließband oder Werkstattfertigung eingesetzt, wo kontrollierte Umweltbedingungen herrschen.

### 2.4.2 Schrauben und Bolzen

Schraubenverbindungen werden aufgrund ihrer Flexibilität in allen Bereichen der Technik eingesetzt. Im Brückenbau kommen je nach Anforderungen verschiedene Typen von Schraubenverbindungen zum Einsatz. Die Verbindungen unterscheiden sich in der Art der Kraftübertragung, der Passgenauigkeit und der Oberflächenvorbereitung. Folgende Verbindungen werden in den weiteren Paragraphen genauer beschrieben.

- HV-Verbindung/SV-Verbindung
- GV-Verbindung
- Bolzen-Verbindung
- Passverbindung

**HV-Verbindung/SL-Verbindung** „HV“ ist die Kennzeichnung einer Verbindung mit hochfesten Schrauben [24]. Dies beschreibt die Materialqualität der Schraube. Früher wurde diese Verbindung immer vorgespannt ausgeführt, daher das „V“ in HV-Verbindung. Heute werden 90% der Schraubenverbindungen im Stahlhochbau nicht oder nur teilweise vorgespannt. Ihr Einsatzgebiet beschränkt sich jedoch auf Bauteile unter vorwiegend ruhender Belastungen, da die Ermüdungsfestigkeit dieser Verbindung geringer ist als jener von vorgespannten Verbindungen. Die Kraftübertragung erfolgt erst beim Kontakt des Schraubenschafts mit der Leibung quer zur Schraubenachse durch den Anpressdruck (Lochleibungsdruck). Das Versagen kann durch Abscheren der Schraube, Aufreißen des Loches oder Flachpressung des Lochrandes (Leibung) erfolgen. Daher wird die Verbindung auch Scher-Lochleibungsverbindung (SL-Verbindung) genannt. Diese kann auch vorgespannt ohne gleitfeste Oberfläche hergestellt werden. Man spricht dann von einer SLV-Verbindung.

**GV-Verbindung** Bei dynamischer Beanspruchung muss die Verbindung planmäßig vorgespannt werden. Die Kraftübertragung beginnt bei vorgespannten Verbindungen schon nach Erfolgen der Vorspannung durch die Reibung zwischen den gleitfest vorbereiteten Verbindungen. Dadurch entsteht eine gleitfeste Verbindung (GV-Verbindung). Zugkräfte in Richtung der Schraubenachse reduzieren dabei die Vorspannkraft. Bei Überschreitung der Vorspannkraft wird das System wie bei einer Scher-Lochleibungsverbindungen beansprucht. Die durch die Vorspannung reduzierte Spannungsschwingbreite im Schraubenschaft erhöht die Ermüdungsfestigkeit und macht den Einsatz bei dynamischen Beanspruchungen möglich.

**Bolzen-Verbindung** Eine weitere Verbindungsmethode ist der Einsatz von Bolzen. Bolzen werden im Allgemeinen zur Bildung von Gelenken eingesetzt und finden für die Herstellung von Knotenverbindungen im konventionellen Brückenbau keine Verwendung. Nachdem sie jedoch eine einfache und wieder lösbare Verbindungsmöglichkeit darstellen, werden sie bei temporären Systembrücken eingesetzt. Sie wirken wie eine Verbindung mit hochfesten Schrauben, können jedoch nur durch die Lochleibung Kräfte aufnehmen.[15]

**Passverbindung** Alle oben genannten Verbindungen können mit sogenannten Passschrauben beziehungsweise Passbolzen ausgeführt werden. Im Brückenbau müssen laut Fink [15] die Toleranzen der Loch- und Schaftdurchmesser den Toleranzfeldern H11/h11 nach ISO 286-2 [67] entsprechen. Passverbindungen haben ein geringeres Lochspiel, was Verformungen reduziert. Dies ist vor allem bei Brücken durch ihre besonders hohen Ansprüche an die maximalen Durchbiegungen wichtig. Der Aufwand bei der Herstellung der Schrauben ist jedoch wesentlich größer.

## 2.5 Einordnung von temporären Brücken

Die Anforderungen an temporäre Brücken unterscheiden sich von permanenten Brücken vor allem in der Nutzungsdauer. Diese ist üblicherweise bei temporären Brücken auf das Projekt abgestimmt und auf wenige Monate bis Jahre beschränkt [31]. Für permanente Brücken empfiehlt der Eurocode 3 [66, S. 13] hingegen eine Nutzungsdauer von 100 Jahren.

Die Bauteile einer Brücke werden auf eine bestimmte Anzahl an Lastwechsel ausgelegt. Der Nachweis gegen Ermüdung wird laut Eurocode [66, S. 44] über die Nutzungsdauer der Teile entsprechend berechnet, welche im temporären Brückenbau jedoch nicht auf ein Projekt begrenzt sein muss. Im Gegensatz zu permanenten Brücken werden durch das Baukastensystem einzelne Bauteile der Brücke im Laufe ihrer Nutzung bei unterschiedlichen Bauvorhaben an unterschiedlicher Position eingesetzt. Somit erfahren die Einzelteile des Bausatzes projektübergreifend unterschiedlich hohe Belastungen. Die Ermüdung verteilt sich statistisch gesehen auf alle Bauteile gleich, weil die Aufnahme der höchsten Spannungsschwingbreiten – welche maßgebend für die Ermüdung ist – bei jedem Projekt durch andere Bauteile erfolgt. Daher ist das Auftreten eines Ermüdungsbruch bei Systembrücken in der klassischen Anwendung als temporäres Bauwerk praktisch nicht gegeben [32]. Die von England zurückgelassenen Bailey Brücken kommen, wenn auch eingeschränkt, immer noch zum Einsatz[86]. Bauteile sollen jedoch gemäß Waagner Biro [28] nach dem Erreichen der, der Belastung entsprechenden Anzahl an Lastwechsel getauscht werden. Dies verlangt die genaue Protokollierung der Einzelteile. Sollte in Bauteilen hohe Spannungsschwingbreiten während eines Projektes auftreten, ist ein Versagen durch Ermüdung auch nach relativ kurzer Zeit möglich.

Es ergeben sich durch die verkürzte Nutzungsdauer neben der Ermüdungsberechnung aus der aktuellen Normung keine anderen Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Brücke. In der Schweiz wird ein technisches Merkblatt für den Behelfsbrückenbau verwendet, welches die kurze Nutzungsdauer berücksichtigt und bei Unverhältnismäßigkeit entsprechende Vereinfachungen ermöglicht. Gemäß *Schweizer Technisches Merkblatt Bauteile Bauhilfsmaßnahmen – Hilfsbrücken* [11] kann die Intensität von klimabedingten Einwirkungen reduziert werden, indem die Wiederkehrperioden an die Projekt/Nutzungsdauer angepasst wird. Die Grenzwerte sind in Abb. 2.22 dargestellt. In Österreich konnte keine vergleichbare Regelung gefunden werden.

### 2.5.1 Das Haupttragwerk bei Systembrücken

Durch die kurze Nutzungsdauer haben Transportabilität sowie Einfachheit der Montage und Demontage oberste Priorität und bestimmen daher das Haupttragwerk. Der Einsatz von vielen

| Zeitdauer                  | Wiederkehrperiode (Jahre) |
|----------------------------|---------------------------|
| ≤ 3 Tage                   | 2 <sup>a</sup>            |
| ≤ 3 Monate (aber > 3 Tage) | 5 <sup>b</sup>            |
| ≤ 1 Jahr (aber > 3 Monate) | 10                        |
| > 1 Jahr                   | 50                        |

<sup>a</sup> Eine nominelle Dauer von 3 Tagen, zu wählen für kurze Bauzustände, gehört zu einer zuverlässigen meteorologischen Vorhersage für den Ort der Baustelle. Diese Wahl darf für einen etwas längeren Bauzustand beibehalten werden, wenn entsprechende organisatorische Maßnahmen berücksichtigt werden. Das Verfahren mit mittleren Wiederkehrperioden ist im allgemeinen nicht für kurze Zeitspannen angemessen.

<sup>b</sup> Für eine nominelle Dauer von 3 Monaten dürfen Einwirkungen unter Berücksichtigung von angemessenen jahreszeitlichen und kurzfristigen meteorologischen klimatischen Veränderungen bestimmt werden. Zum Beispiel, hängt die Größe der Strömung eines Flusses von der betrachteten Jahreszeit ab.

Abb. 2.22: Schweizer Technisches Merkblatt für Behelfsbrücken [11]

gleichen Teilen ermöglicht einen schnellen und wirtschaftlichen Bau. Um die Montagegeschwindigkeit zu erhöhen, muss das System aus möglichst wenigen Einzelteilen bestehen, aber dennoch leicht zu transportieren sein. Die Möglichkeit, das Brückensystem mit LKW zu transportieren, muss bei einem temporären Brückensystem gegeben sein. [68] Durch die Notwendigkeit der Demontage scheidet Stahlbeton – welcher als Fertigteile oder Teilfertigteile für den Hochbau immer öfter zum Einsatz kommt – für die Verwendung bei temporären Brücken aus. Dadurch werden fast alle Haupttragwerke bis auf Fachwerkbalkenbrücken ausgeschlossen und es kommen nur die Materialien Holz und Stahl für den Überbau in Frage. Fachwerke ermöglichen einen Überbau komplett aus vorgefertigten Einzelteilen. Bedingt durch die erheblich höhere Belastbarkeit von Stahl bestehen alle temporären Brückensysteme, welche zur Überspannung größerer Flüsse verwendet werden, aus einer Form von Stahlfachwerkbalken.

Nach diesen Anforderungen wurden von einigen wenigen Firmen spezielle Brückensysteme entwickelt, welche als Bausatz zum Einsatz kommen. Obwohl für einen temporären Gebrauch entworfen, können die Systeme auch als „gewöhnliche Stahlfachwerkbrücke“ für eine permanente Nutzung eingesetzt werden, wie das Beispiel der 24m langen Stranigbachbrücke in Kärnten zeigt [32]. Andererseits können Stahlfachwerkbrücken auch für eine temporäre Nutzung für ein spezifisches Projekt geplant werden, wie die beim Einsturz der Reichsbrücke 1976 gebaute Ersatzbrücken zeigt [29]. Nach dem österreichischen Vertreter der Firma Mabey Ltd. und Geschäftsführer der Unegg GmbH [31] sind die Teile speziell an die Größe von 40 ft Containern für den weltweiten Warentransport angepasst. Im Gegensatz zur relativ lokalen Beschaffung der Baumaterialien beim konventionellen Brückenbau müssen Systembrücken aufgrund der geringen Anzahl an Herstellern teilweise weltweit transportiert werden. Die größten Anbieter Europas befinden sich in England, Österreich, Deutschland und der Niederlande. Durch den hohen Vorfertigungsgrad kann das Tragwerk laut Pallett und Filip [68] nur bedingt an die Projektbedingungen angepasst werden. Brücken ohne besondere Anforderung an Gradienten oder Spannweiten können sehr schnell und wirtschaftlich errichtet werden, da Planung und Statik des Tragwerks für das System bereits erfolgt sind. Sobald komplexere Aufgabenstellungen den Einsatz einer Standardbauform nicht möglich machen oder diese an ihre Grenzen gebracht werden, können vorgefertigte Systeme nicht oder erst nach projektspezifischer Planung und

statischer Berechnung eingesetzt werden [32]. Die jeweiligen Standardbauformen der einzelnen Brückensysteme werden im Abschnitt 3.3 beschrieben.

### 2.5.2 Unterbauten bei temporären Brücken

Beim temporären Brückenbau muss der Unterbau nach Abbau des Überbaus wieder entfernt werden. Laut einem Fachexperten im temporären Brückenbau [28] kommt es beim Taktschiebeverfahren sowie bei einem Schiffsanprall zu hohen horizontalen Belastungen. Diese horizontale Belastungen müssen bei der Planung des Unterbaus berücksichtigt werden oder es muss ein anderes Bauverfahren gewählt werden und der Schutz gegen Anprall durch weitere bauliche Maßnahmen erfolgen. Der Abbau von konventionellen Brückenpfeilern aus Stahlbeton, welche kraftschlüssig mit der Gründung verbunden sind, ist nicht wirtschaftlich. Daher können die in Abschnitt 2.2 beschriebenen Unterbauten nicht oder nur bedingt angewendet werden. Mit einem Vizeleutnant des ÖBH [29] wurden deshalb alternative Lösungen besprochen, die in den folgenden Abschnitten kurz erläutert werden.

#### Fachwerkstützen

Dieses System entspricht am ehesten einer konventionellen Lösung. Als Gründung werden Pfähle beziehungsweise die gesamte Stütze in den Boden gerammt, welche den vorliegenden Belastungen standhalten müssen. Damit ähnelt das System konventionellen Rammpfählen. Es muss jedoch möglich sein, diese wieder aus dem Untergrund zu ziehen. Die Stützen können laut Hauptmann Wagner [34] als Systemfachwerkstützen ausgeführt werden. Bei dieser Art werden Brückenpaneele von Systembrücken verwendet und vertikal angeordnet. Sie können jedoch auch wie in Abb. 2.23 dargestellt aus einfachen Stahlfachwerken bestehen.

#### Pontonbrücke mit Schiffsöffnung

Für temporäre Brücken mit kurzer Einsatzdauer kann eine Pontonbrücke verwendet werden. Ihre Montage ist bei geringem KFZ- sowie Schiffsverkehr eine kostengünstige Methode. Aufgrund der schnellen Einsatzfähigkeit ist sie besonders für Notfälle geeignet. Durch die Notwendigkeit einer



Abb. 2.23: D-Brücke auf temporären Stützen der Firma SEH Engineering GmbH [79]

ständigen Kontrolle der Brücke und des Verkehrs sowie der Bedienung der Schiffsöffnung ist diese Art des Unterbaus für längere Einsätze unwirtschaftlich.

### **Schwimmende Stützen mit Systembrücken-Oberbau**

Ähnlich wie bei einer Pontonbrücke werden bei dieser Art des Unterbaus auch Pontons eingesetzt. Die Pontons bilden dabei schwimmende Auflager, auf denen die Systembrücke befestigt wird. Die Folgen sind ein starreres System als jenes einer Pontonbrücke, wodurch höhere Geschwindigkeiten zulässig sind. Wie bei einer reinen Pontonbrücke muss der Verkehr auf dieser jedoch ebenfalls ununterbrochen kontrolliert und eine Schiffsöffnung betrieben werden. Dieses System entfaltet ihr Potential bei einer kurze Einsatzdauer mit höherem Verkehrsaufkommen in einem ruhigen Gewässer.

### **2.5.3 Bauverfahren bei temporären Brücken**

Unter Anleitung der produzierenden Firma muss das System – welches einem Bausatz gleicht – auf dem Vormontageplatz an einem der beiden Uferseiten zusammengebaut werden. Die drei beim temporären Brückenbau möglichen Bauverfahren beziehungsweise Montagearten „Einheben der Brücke mit Kran“, „Lanzierter Bau mit Kran“ und „Freier Vorschub (Taktschiebverfahren)“ unterscheiden sich dann nicht wesentlich von den beim permanenten Brückenbau üblichen Montagearten und werden auch dementsprechend bemessen. Diese sind in Abschnitt 2.3.5 näher beschrieben. Die Montage des Tragwerks und der Fahrbahn wird jedoch durch die Systembauweise stark beschleunigt. Wie schon in Abschnitt 2.5.2 erwähnt ist eine mögliche Ausführung des Taktschiebverfahrens auch abhängig von der entstehenden horizontalen Belastung sowie der Unterbauplanung.

### **2.5.4 Verbindungstechnik**

Aus der praktischen Anwendung geht hervor, dass Verbindungstechniken, die permanente Veränderungen des Materials mit sich ziehen, für den temporären Brückenbau nicht geeignet sind. Damit werden Schweißverbindungen und gleitfeste Schraubverbindungen ausgeschlossen. Aufgrund der einfachen Handhabung benutzen viele Systeme Bolzenverbindungen, wobei aber auch Schraubverbindungen zum Einsatz kommen.

### **2.5.5 Wartung**

Der Aufwand der Wartung ist durch den im Vergleich kurzen Einsatz des Tragwerks geringer als beim konventionellen Brückenbau. Die Wartung findet lt. Unegg [31] und Waagner Biro [28] im Fall einer Miete der Brücke bei einer kurzen Einsatzdauer werksseitig statt. Bei längeren Einsätzen muss mit Wartungskosten gerechnet werden, da die Brücke je nach Belastung jährlich oder halbjährlich gewartet werden muss [32][30].

### **2.5.6 Demontage**

Die Demontage bringt Kosten mit sich, die beim konventionellen Brückenbau nicht auftreten. Die Kosten ergeben sich aus dem Personal- und Geräteeinsatz bei der Demontage. Falls eine Wiederverwendung nach dem Kauf vorgesehen ist, müssen die Teile entsprechend gesäubert, gewartet, instandgesetzt und zu Lagern transportiert werden. Große temporäre Brücken beinhalten die Teile für viele kleinere Brückenbauwerke, die nach Demontage für diverse Zwecke eingesetzt werden können.

## 2.6 Miete und Kauf von Systembrücken

Bei den Expertengesprächen mit unter anderem Herrn Unegg [31] und dem Land Niederösterreich [27] wurde die Wichtigkeit der dem Projekt zugrunde liegenden Strategie besprochen. Durch die Möglichkeit der Nachnutzung eines temporären Brückensystems kann – wie beim Mieten oder Kaufen eines Baugeräts – die Langzeitstrategie des Nutzers eine große Rolle in der Bewertung der Kosten spielen. Folgende Möglichkeiten gilt es bei der Miete oder dem Kauf von Systembrücken zu berücksichtigen.

### 2.6.1 Die Miete der Brücke

Bei der Miete der Brücke stellt die entsprechende Firma ihr System für die geplante Nutzungsdauer gegen eine monatliche Gebühr zur Verfügung. Die Systeme werden im gewarteten Zustand von der entsprechenden Firma zum Einsatzort geliefert und dort gemäß der Montageanleitung zusammengebaut. Der An- und Abtransport der Systemteile wird von der Herstellerfirma übernommen. Bei gemieteten Systemen werden teilweise gebrauchte Teile aus den Lagerbeständen der Firmen benutzt. Ab welcher Projektdauer die Miete nicht mehr wirtschaftlich ist, hängt gemäß Waagner Biro [28] mit der zu erwartenden Belastung der Brücke ab, da der Restwert von der Bauteilermüdung und daher von der Anzahl der Lastwechsel und der Spannungsschwingbreite abhängig ist. Buchhalterisch können die Einzelteile wie bei Baugeräten abgeschrieben werden. Da sich die Art der Teile stark unterscheidet, befindet sich die Dauer der Abschreibung für Abnutzung in etwa zwischen 5 und 20 Jahren. Dies kann ausschlaggebend für die Kaufentscheidung sein. Eine allgemeine Aussage bis wann eine Miete des gesamten Tragwerks mit Berücksichtigung des Restwerts sinnvoll ist, ist daher nicht möglich. Ohne die Berücksichtigung des Restwerts oder weiteren Strategien ist ab einer Projektdauer von etwa 4 bis 5 Jahren das Anmieten des Systems lt. Unegg [33] nicht mehr wirtschaftlich. Die Miete der Brücke beinhaltet immer das Material, die Anlieferung sowie den Abtransport. Die Montage, Demontage und Wartung kann pauschaliert sein. Sie müssen nicht vom Vermieter durchgeführt werden, sondern können gesondert beauftragt werden. Kosten für die Einschulung und die Überwachung der Montage durch einen Fachexperten des entsprechenden Systems sind zu berücksichtigen. Zu beachten ist, dass sich bereits mietbare Brückensysteme im Besitz des ÖBH befinden. In Kapitel 3 werden die im Besitz des ÖBH befindlichen Systeme beschrieben.

### 2.6.2 Der Kauf der Brücke

Beim Kauf des Systems werden in der Regel neue Teile der entsprechenden Systemanbieter gekauft [28]. Die Lieferung der Teile ist lt. Unegg [31] in der Regel beim Kauf inkludiert. Den Aufwand für Abtransport und die weitere Wartung oder Lagerung muss der Besitzer der Brücke jedoch berücksichtigen. Da die Nutzungsdauer der Einzelteile gemäß Waagner Biro [28] ein Vielfaches der Projektdauer sein kann, ist mit einem Restwert von Einzelteilen zu rechnen. Zu beachten ist auch, dass eine potenzielle Nachnutzung zum Katastrophenschutz nur möglich ist, wenn das ÖBH für die Montage des Systems ausgebildet wird oder bereits für das System ausgebildet ist [34]. Bei einem Kauf kann außerdem berücksichtigt werden, dass Systeme, die aus einer größeren Anzahl an Elementen bestehen, flexibler eingesetzt werden können. Wie viele der Teile wiederverwendet werden können und wie groß die Lager- und Transportkosten sowie die Lagermöglichkeiten sind, ist vom Käufer abhängig. Weil dies von Projekt zu Projekt unterschiedlich ist, kann dies im späteren Vergleich der Brücken nicht berücksichtigt werden. Daher wird keine allgemein Kaufempfehlung unter Berücksichtigung einer Nachnutzung gemacht.

# Kapitel 3

## Technische Analyse des temporären Brückenbaus in Europa

Der Inhalt des folgenden Kapitels befasst sich zunächst mit der Beschreibung der Systeme, Gründungen und Projekte des temporären Brückenbaus in Europa. Die Anforderungen des temporären Brückenbaus geben großteils das Material und die Verbindungstechniken des Überbaus vor. Ein großer Fokus dieses Kapitels liegt auf der Ermittlung der Grenzen der Systeme und der einzelnen Bauformen sowie der Ermittlung des Laufmetergewichts der Brücken. Insbesondere diese zwei Parameter werden im Zuge der restlichen Arbeit für den technischen und wirtschaftlichen Vergleich der Brückensysteme herangezogen.

### 3.1 Allgemeine technische Grenzen

Unabhängig von der Systemwahl existieren technische Parameter, welche es bei Systembrücken zu beachten gilt. In erster Linie muss die Brücke auf die Möglichkeit einer einfachen Demontage ausgelegt werden. Daher sind, um nur eine Voraussetzung zu nennen, nur Steck- und Schraubverbindungen möglich. Die Demontage muss an die Projektverhältnisse angepasst sein. Sowohl die Länge als auch die Breite der Brücke ist auf ein Vielfaches der Bauteillängen (Paneellängen) beziehungsweise -breiten eingeschränkt. Sonderlängen oder -breiten sind nicht vorgesehen.

Die Schlankheit der Brücke ist aufgrund der aufzunehmenden Windlasten ebenfalls eingeschränkt. Für deren Vorbemessung kann nach Angaben von Herrn Unegg [31] ein einzuhaltendes Verhältnis von Länge zu Breite von 1/14 angenommen werden. Eine Aussteifung in horizontaler Richtung ist bei zu schlanken Brücken nicht mehr möglich. Sollte die Brücke breiter als die 1,5-fache Höhe des Fachwerks sein, wird laut Fink [14] empfohlen, auf den oberen Windverband zu verzichten und die Fachwerkstäbe breiter zu gestalten, damit sie durch Einspannung in den Querträger den Obergurt halten können. Da es sich bei den heute im Einsatz befindlichen Systembrücken zur Überspannung größerer Stützweiten um Trogbrücken handelt und sich die Hauptträger nur außen befinden, ist deren Breite durch die Tragkraft der Querträger beschränkt. Diese bestehen bei Stahlfachwerkbrücken aus modifizierten I-Querschnitten und ermöglichen Fahrbahnbreiten bis 10,5 m [32]. Laut Oberstleutnant Suez [86] können Systembrücken grundsätzlich als mehrfeldrige Brücken eingesetzt werden. Zu beachten ist hier ein setzungsarmes Verhalten der Zwischenstützen. Kann dies angenommen werden, ist eventuell eine Erhöhung der Tragkraft durch die Durchlaufwirkung möglich. Weil die Materialermüdung sowie die Durchbiegung im Brückenbau aufgrund der dynamischen Belastung sowie der hohen Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit eine große Rolle spielen, werden diese beiden Parameter näher beschrieben.

### 3.1.1 Materialermüdung

Wie bereits in Abschnitt 2.5 beschrieben, ist ein Versagen durch Ermüdung bei Systembrücken bei einer temporären Nutzung unwahrscheinlich. Werden die dynamischen Einwirkungen jedoch unterschätzt, kann dies schnell zum Versagen des Tragwerks führen. Die Materialermüdung ist laut Fink abhängig vom maßgebenden (geringsten) Kerbfall, welcher durch die Verbindungsart, der Anzahl der Lastwechsel und den lokal auftretenden Spannungsschwingbreiten beeinflusst wird [66, S. 16]. Weil die Verbindungen typische Schwachstellen in der Konstruktion darstellen (niedrigster Kerbfall), müssen diese vor allem bei nicht vorgespannten Verbindungen – wie Bolzen – besondere Aufmerksamkeit erhalten. [66].

### 3.1.2 Durchbiegung

Die Durchbiegung der Brücke wird von zwei maßgebenden Größen bestimmt: der elastischen Verformung des Stahls und der Verschiebung der Gelenke, bedingt durch die Bewegung der Schrauben oder Bolzen im Lochspiel. In Abhängigkeit von der Verbindungsart treten unterschiedlich große Verformungen auf. Die Durchbiegung hat großen Einfluss bei der Montage von Brücken mit großer Spannweite. Obwohl das Lochspiel bei Passbolzen sehr gering ist hat die Firma Waagner Biro [91, S. 27] für die Durchbiegung ihrer Paneelbrücke durch das Lochspiel eine eigene Formel in ihrem Manual aufgestellt. Um das Lochspiel zu reduzieren, kommen im Brückenbau bevorzugt Passschrauben zum Einsatz. Sie sind jedoch laut Fink [15, S. 4] aufwändiger und teurer in der Herstellung. Wie bereits in Abschnitt 2.4 beschrieben reduzieren vorgespannte Verbindungen die Bewegung in den Verbindungen, weil die Kräfte nicht nur über Abscheren und die Lochleibung übertragen werden, sondern auch über die Reibung [15, S. 10].

## 3.2 Berechnungsnormen

Die in diesem Abschnitt verwendeten Werte für die Stützweiten der Brückensysteme beruhen auf den Tabellenwerten der jeweiligen Firmen. Weil die angegebene Leistung der einzelnen Brückensysteme durch ihr Alter auf unterschiedlichen europäischen Normen basiert, werden die Belastungsansätze dieser Normen kurz zusammengefasst und miteinander verglichen. Um die anzusetzenden Lasten einfacher mit einander vergleichen zu können, werden Vereinfachungen – wie das Zusammenlegen einzelner Achsen oder Spuren – gemacht. Dabei wird jedoch nur die Lastverteilung und nicht die Gesamtlast gegenüber den Normen verändert. Die Anpassung der Tabellenwerte erfolgt bei der Beschreibung der Brücken, um den Anforderungen der ÖNORM EN 1991-2 [65] zu entsprechen. Durch den Umfang der unterschiedlichen Normen wird auf Richtwerte aus bereits bestehenden Analysen dieser Normen zurückgegriffen.

### 3.2.1 ÖNORM EN 1991-2 (Eurocode 1)

Der Eurocode 1 [65] sieht vier verschiedene Lastmodelle vor, wobei Lastmodell 1 (LM 1) eine auf zwei Achsen verteilte Last und eine über die gesamte Fahrbahn verteilte Last darstellt. Da dieses Lastmodell für die Bauformtabelle des ÖBH[2] herangezogen wird und für globale Tragwerksnachweise notwendig ist, wird dieses als ausschlaggebend angenommen. Die Punktlast nach ÖNORM EN 1991-2 LM1 ist 600 kN oder 60 to für die erste Spur und 400 kN bzw. 40 to für die zweite Spur. Zusätzlich wird der erste Fahrstreifen mit einer Gleichlast von 9,00 kN/m<sup>2</sup> beziehungsweise 900 kg/m<sup>2</sup> und jeder weitere Fahrstreifen mit 2,50 kN/m<sup>2</sup> belastet. Zur Vereinfachung des Vergleichs der Normen wird die Gleichlast in Tabelle 3.1 mit dem Durchschnitt der beiden Werte mit 5,75 kN/m<sup>2</sup> angegeben. Diese Norm führt Anpassungsfaktoren  $\alpha$  ein, welche den zu erwartenden Verkehr abschätzen sollen und die Einwirkungen dementsprechend reduzieren

oder erhöhen. Dieser wird gemäß [30] projektabhängig gewählt und kann auch von der Norm abweichen. Der nationale Anhang ÖNORM B 1991-2 sieht  $\alpha = 1$  für die Bemessung aller in Österreich gebauten Brücken vor. Bei geringem Verkehrsaufkommen oder starker Einschränkung des Verkehrs durch Geschwindigkeits- und Lastbegrenzungen kann dieser Wert angepasst werden. Um kleinere Systeme in der Entscheidungsmatrix berücksichtigen zu können, wurden diese Werte in Abstimmung mit der Vorschrift des Österreichischen Bundesheeres [2] mit  $\alpha = 0,7$  [33] angenommen. Da der Verkehr über temporäre Brücken entweder ganz oder teilweise eingeschränkt werden kann, wird dieser Wert lt. Unegg [33] auch häufig für den Bau von Brücken bei Landesstraßen in Kärnten vorgegeben. Da die gesamten Einwirkungen mit diesen Werten multipliziert werden, handelt es hier sich um eine signifikante Reduktion der Einwirkungen. In Deutschland wurde lt. Experten [30] eine Studie zur Empfehlung von  $\alpha$  bei Behelfsbrücken gemacht.

### 3.2.2 ÖNORM B 4002

Die ÖNORM B 4002 [64] wurde durch die ÖNORM B 1991-2 [61] beziehungsweise durch die ÖNORM EN 1991-2 [65] abgelöst und hat die benötigte Traglast für Brücken bis zum Jahr 2004 definiert. Brückenklasse 1 (BrKl.1) belastet die Brücke mit einem 25 to LKW je Spur und 500 kg/m<sup>2</sup> Gleichlast auf der restlichen Fläche. Brückenklasse 2 (BrKl.2) belastet die Brücke mit einem 16 to LKW je Spur und 400 kg/m<sup>2</sup> Gleichlast [86]. Laut Abramovicz [1] sind die Belastungen der BrKl.1 verglichen mit dem Lastmodell 1 (LM1) der ÖNORM EN 1991-2, um mindestens 20 % geringer. Die ÖNORM B 4002 wird in der Praxis noch oft als Ausschreibungsgrundlage für Projekte herangezogen.

### 3.2.3 American Association of State Highway and Transportation Officials

Die durch die American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) vorgegebene Belastung HS25-44 ist die Standard-Spezifikation für Highway-Brücken in den USA. Hierbei wird die Fahrbahn mit einem 40 to LKW oder einer Einzellast und einer Gleichlast belastet. Die Einzellast beträgt 100,1 kN oder 144,6 kN. Die Gleichlast wird mit 11,68 kN/m bezogen auf eine Spur angegeben. Das entspricht bei einer Spurbreite von ca. 3 m einer Belastung von 3,76 kN/m<sup>2</sup>. Hierzu kommt ein „Impact factor“ von maximal 1,3, der die dynamischen Schwingungs- und Stoßbelastungen berücksichtigen soll, was die Einzellast auf ca. 230 kN und die Gleichlast auf ca. 4,9 kN/m<sup>2</sup> erhöht [91]. Aus den Tabellenwerten des Waagner-Biro-Manual [91] wird ersichtlich, dass die AASHTO, verglichen mit einer Berechnung nach LM 1 der ÖNORM EN 1991-2, um 15% höhere maximale Spannweiten ermöglicht.

### 3.2.4 BS5400-2

Die BS5400-2[5] ist die britische Normung für die Anwendung von Belastungsfällen auf Brücken. Die aus ihr hervorgehende sogenannte H.A. Belastung besteht aus einer Einzellast mit 12 to und einer Gleichlast mit 30 kN/m bezogen auf eine Spur. Das entspricht bei eine 3 m breiten Spur einer Belastung von 10 kN/m<sup>2</sup> [91, S. 28]. Die britische Normung ähnelt lt. der Arbeit von de Lima Monteverde [57, S. 96] der ÖNORM EN 1991-2, wobei die Tragfähigkeit unterschätzt wird. Dadurch liegen die Tabellenwerte der Brückensysteme, welche nach der BS5400 ermittelt wurden, auf der sicheren Seite. Obwohl die Belastungen des Eurocode höher angesetzt werden, sind die Widerstände ebenso höher. Die Tabellenwerte aus den entsprechenden Handbüchern werden daher nicht abgemindert.

| Norm                | EN 1991-2              | ÖNORM B 4002           | AASHTO                | BS5400                  | DIN1072                |
|---------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|
| <b>Einzellast 1</b> | 600 kN                 | 250 kN                 | 230 kN                | 120 kN                  | 300 kN                 |
| <b>Einzellast 2</b> | 400 kN                 | 250 kN                 | 230 kN                | 120 kN                  | 300 kN                 |
| <b>Gleichlast*</b>  | 5,75 kN/m <sup>2</sup> | 5,00 kN/m <sup>2</sup> | 3,9 kN/m <sup>2</sup> | 10,00 kN/m <sup>2</sup> | 5,00 kN/m <sup>2</sup> |

\*bei Annahme von 3 m Spurbreite

**Tab. 3.1:** Angesetzte Belastungen im Vergleich

### 3.2.5 DIN1072

Brückenklasse 30 der DIN1072 [10] besteht aus einer 300 kN Einzellast und einer 5 kN/m<sup>2</sup> Gleichlast je Spur beziehungsweise einem 30 to LKW und 500 kg/m<sup>2</sup> je Spur. Sie ist lt. Unegg [33] vergleichbar mit dem LM 1 der ÖNORM EN 1991-2 bei  $\alpha = 0,7$ .

### 3.2.6 Normenvergleich

Ein Vergleich der einzelnen Normen ist sehr aufwendig und nur bedingt auf die statischen Berechnungen, auf denen die für diese Arbeit herangezogenen Tabellenwerte der einzelnen Firmen basieren, anwendbar. Einen Überblick über die Belastungsmodelle bietet Tabelle 3.1. Es zeigt die relativ hohen Einzeleinwirkungen der ÖNORM EN 1991-2 und Gleichlasten der BS5400. Sinnvoll wäre eine komplette statische Berechnung der Brückensysteme nach der neuen ÖNORM EN 1991-2. Weil dies jedoch das Ausmaß dieser Arbeit sprengt, werden die den Tabellen entnommenen Grenzspannweiten anhand von 3 Faktoren abgemindert: von den ihnen zugrunde liegenden normativen Belastungen, von vorangegangenen wissenschaftlichen Arbeiten sowie von Erfahrungen aus der Praxis. Außerdem werden die Tabellenwerte von den Firmen nicht mehr veröffentlicht, denn die Benutzung der Spannweitentabellen ohne Beachtung der ihnen zugrunde liegenden Annahmen kann zu einer falschen Einschätzung der Leistungsfähigkeit der Brücken führen. Welche Spannweiten bei den einzelnen Systemen zu erwarten sind, wird in Abschnitt 3.3 erläutert.

## 3.3 Systembrücken

Systembrücken bestehen aus vorgefertigten Elementen, welche – wie ein Bausatz – mit Hilfe einer Bauanleitung zu einer Brücke zusammengebaut werden. Die Elemente und Verbindungstechniken bei Systembrücken können sich je nach System unterscheiden. Systembrücken zeichnen sich vor allem durch die Benutzung von wenigen unterschiedlichen, sich wiederholenden Elementen aus. Weiters werden Systembrücken nicht projektspezifisch, sondern vom Hersteller allgemein auf ihre technischen und statischen Eigenschaften geprüft. Die Eigenschaften der Systeme werden in diesem Kapitel beschrieben und sind den Angaben der Firmen entnommen. Unter ihrer Berücksichtigung können Systeme in ihren Standardbauformen für Projekte mit entsprechenden Anforderungen erworben oder gemietet werden. Abweichungen von Standardanwendungen – das inkludiert externe Gehwege, besondere topografische Verhältnisse, niedrige Temperaturen, hohe Windbelastungen und seismische Aktivitäten – müssen projektspezifisch nach aktueller Norm (ÖNORM EN 1993-2) berechnet beziehungsweise geprüft werden [32]. In den folgenden Abschnitten sind daher die angeführten Werte der Tragfähigkeit nur als Richtwerte zu sehen. Die zur Verfügung gestellten Tabellenwerte wurden, wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, anhand der unterschiedlichen Normung und der Erfahrungswerte aus der Praxis entsprechend angepasst. Die zugrunde liegenden Normen oder Vorschriften der Berechnungen der Standardbauformen

sind bei den entsprechenden Brückensystemen angeführt und dementsprechend in der Analyse berücksichtigt.

Nach der Fertigstellung der Fundamente müssen die Stützen, Widerlager und Auflager errichtet werden. Die Montage von Systembrücken erfolgt auf einem Vormontageplatz. Ist der Bau mit Taktschiebeverfahren geplant, befindet sich der Vormontageplatz in der Brückenachse auf einer der beiden Uferseiten. Je nach System und Feldlänge muss der entsprechende Platz im Baustelleneinrichtungsplan berücksichtigt werden. Die Montage des Überbaus wird in Montageabschnitte geteilt. Vor Beginn der Montage müssen die Rollkästen für den Vorschub aufgebaut werden. Beim Taktschiebeverfahren werden zuerst die Teile zur Errichtung des Vorbauschnabels benötigt. Je nach Lagermöglichkeiten und System können die Teile für einen oder mehrere Montageabschnitte geliefert werden. Abhängig vom System kann zudem die Anzahl der benötigten Komponenten und Werkzeuge stark variieren. Der Einsatz eines Krans beschleunigt die Montagezeit erheblich. Dieser wird bei zweispurigen Brücken meist zwischen den Hauptträgern in der Brückenachse positioniert. Im Allgemeinen werden die Hauptträger in dem System entsprechenden Längen vormontiert und aufgestellt. Die zwei Hauptträger werden mit den Querträgern abschnittsweise verbunden, wobei die Querträger meist auf den Untergurten der Hauptträger aufliegen. Der Vorschub erfolgt gemäß Montageplan, in welchem die genaue Anzahl an Feldern, die Vorschubkraft, die Rückhaltekraft, der Windzustand sowie sonstige Voraussetzungen und Hinweise für den Vorschub festgelegt sind. Nach Vollendung des Vorschubs findet das Abstapeln und der Ausbau der Rollkästen und der Einbau der Lager statt. Die Fahrbahnplatten werden erst montiert, wenn das Tragwerk in der Endposition angelangt ist.

Die in Europa verfügbaren Systeme werden in Paneelsysteme und Fachwerksysteme eingeteilt. Die Paneelsysteme inkludieren die Systeme *Compact 200* und *Universal* der Firma Mabey Bridge Ltd. sowie das ältere *Bailey-Gerät* und das System der Firma Waagner Biro GmbH, genannt *Power Panel 30*. Ein ähnliches Paneelsystem bietet auch die Firma Janson Bridging GmbH an. Als Fachwerkbrücke kommen die Mabey *Delta Brücke*, die Fachwerkbrücke von Janson Bridging GmbH, das *D-Brückengerät* und die deutsche *SS-80 Brücke* sowie *SKB Brücke* der Firma SEH Engineering in Europa zum Einsatz. Da keine genauen Informationen zu den Brücken der Firma Janson Bridging und SEH Engineering verfügbar waren, werden sie nicht in der technischen Analyse aufgenommen. Die übrigen Systeme werden in den anschließenden Abschnitten näher erläutert.

### 3.3.1 Paneelbrücken

Um die in Abschnitt 2.5 beschriebenen Anforderungen an die Brücke zu erfüllen, wurden sogenannte Paneelbrücken entwickelt. Obwohl sich diese im Laufe der Zeit weiterentwickelt haben und sich Maße und Profile voneinander unterscheiden können, besitzen sie grundsätzlich alle die folgende Eigenschaft: Sie sind Trogbriicken mit unterliegender Fahrbahn. Die Hauptträger bestehen dabei aus einzelnen Paneele, welche in Standard-Schiffscontainern – 20 feet oder 40 feet – transportiert werden können. Die einzelnen Paneele werden mit Bolzen verbunden, was eine einfache händische Montage und Demontage ermöglicht. Durch die Aneinanderreihung der Paneele kann die Brückenlänge in Schritten, die der Paneellänge entsprechen, variiert werden. Die Träger können statisch verstärkt werden, indem je nach System bis zu vier Paneele pro Träger nebeneinander und bis zu vier Paneele übereinander gereiht werden. Die Tragfähigkeit kann durch Verstärkung des Ober- und Untergurts mit angeschraubten Stahl-Trägern erhöht werden [92]. Je nach System ergeben sich, wie in Abb. 3.1 dargestellt, Bauformen von Einwandig-Einstöckig (Single-Single) bis zu Sonderanfertigungen Vierwandig-Vierstöckig (Quadruple-Quadruple).

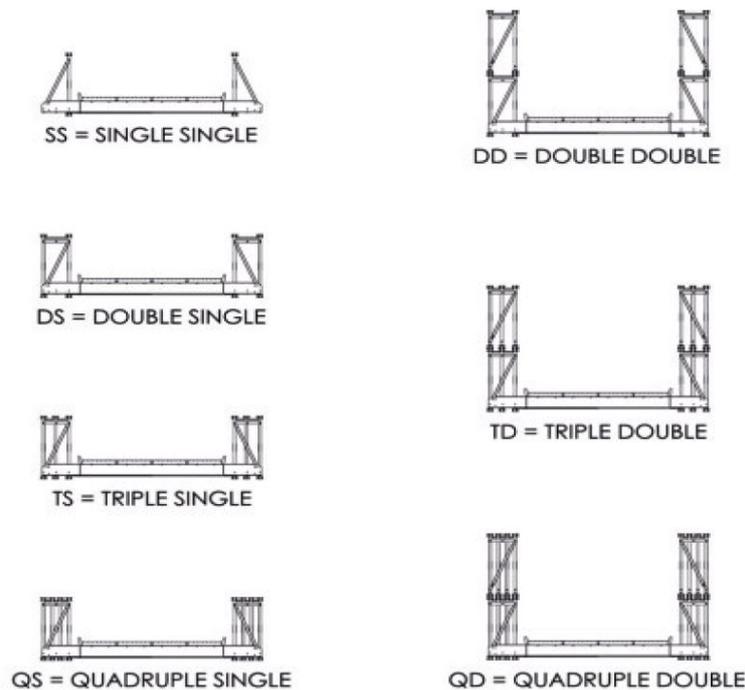


Abb. 3.1: Bauformen eines Paneelsystems bis Vierwandig - Zweistöckig [92]

Stahlfahrbahnsysteme sind, abgesehen von der Bailey-Brücke, der Standard. Sie bestehen aus Tränenblech-Stahlelementen und können mit einer rutschfester Beschichtung geliefert werden. Ein ein- oder beidseitiger Gehweg kann entweder intern mit einer entsprechenden mobilen baulichen Trennung erfolgen oder extern außerhalb der Hauptträger montiert werden. Die Paneele der einzelnen Anbieter unterscheiden sich in Querschnitten und Verstärkungen, basieren aber auf dem gleichen System. In der Regel können Paneelbrücken als Einfeldträgerbrücke (bis zu max. 80 m) gebaut werden. Es können auch längere Durchlauftragwerke bzw. Einfeldträgerketten ausgeführt werden, wenn Zwischenunterstützungen möglich sind. Hat man bei einem Brückenprojekt die Möglichkeit, Zwischenunterstützungen zu errichten, ist es oftmals wirtschaftlicher, mehrfeldrige Brücken zu bauen. Für solche mehrfeldrigen Brücken gibt es drei Möglichkeiten: Es wird erstens nur der untere Bolzen zur Verbindung zweier Paneele montiert und dadurch ein echtes Gelenk ausgebildet. Durch Anordnung eines Lastverteilungsbalkens kann man zweitens ein Durchlauftragwerk ausbilden, um dadurch eine günstigere Schnittgrößenverteilung zu erhalten. Oder es kann drittens eine Einfeldträgerkette ausgebildet werden, wobei die einzelnen Spannweiten durch spezielle Bauteile gelenkig verbunden werden. [92]

### Bailey-Brücke

Die Bailey-Brücke ist ein britisches System und wurde 1940 von Sir Donald Bailey entwickelt.[86] Sie ist somit heute ca. 80 Jahre alt. Das Bailey-System wurde seit dem zweiten Weltkrieg von der Firma Mabey und Johnson stetig weiterentwickelt. Die Firma, heute unter dem Namen Mabey Bridge Ltd. bekannt, versorgt seit nunmehr über 60 Jahren nach wie vor in aller Welt die Besitzer von Bailey-Systemen mit Ersatzteilen. Nach Suez [86] entsprang das Bailey-System den damaligen Erfordernissen für 35-Tonnen-Panzer und wurde in großer Stückzahl mit etwa 320 km Brückenlänge hergestellt. Die Brücke besteht aus einzelnen Paneelen mit einer Länge von 3,05 m und einer Höhe von 1,45 m [76].

Das System wird, wie in Tabelle 3.2 angeführt, in drei verschiedene Bauarten eingeteilt, welche sich durch unterschiedliche Fahrbahnbreiten unterscheiden. Die dadurch sehr beschränkte

maximale Durchfahrtsbreite von 4,76 m macht eine 2-spurige Benutzung für moderne Autos nur bedingt möglich. In Tabelle 3.3 sind die technischen Grenzen der Standardsysteme dargestellt. Die gesammelten Angaben stammen von dem Systembrückenvermieter Unegg GmbH [88]. Die Bauformen reichen von Einwandig-Einstöckig, bezeichnet als Single-Single mit der Abkürzung „SS“ bis Dreiwandig-Dreistöckig verstärkt „TTR“. Das System in seine tragfähigsten Ausführung „TTR“ ist in einspuriger Bauweise auf die Brückenklasse 1 BrKl.1, mit Sonderlasten bis 120 to geprüft und erreicht eine Spannweite von 51,85 m mit 17 Paneelen. Bei einer Reduktion der Nutzlast auf 40 to kann eine Stützweite von 61 m erreicht werden. Für Konstruktionen darüber hinaus ist das System nicht ausgelegt. Die Fahrbahn selbst besteht aus Holz und ist daher entsprechend aufwändig herzustellen. Für den Personenverkehr können Gehwege intern oder extern und ein- oder beidseitig mit einer Breite von 0,8 m installiert werden. Einseitige Gehwege führen zu einer exzentrisch anzusetzenden Belastung und haben einen großen Einfluss auf die Tragfähigkeit der Brücke. Sie sind bei den genannten erreichbaren Spannweiten nicht berücksichtigt. Das übliche Montagepersonal besteht aus 2 bis 8 Mann. Die Montage erfolgt mittels Freier Vorschub (Taktschiebeverfahren) oder Einheben mit Kran.

**Bailey-Brücke des Österreichischen Bundesheeres** In Österreich wird das Bailey-System zum Einsatz als Behelfsbrücke vom ÖBH benutzt. Für die Anwendung des auch als Brückengerät bezeichneten Systems wurde vom Bundesministerium für Landesverteidigung eine eigene Vorschrift (2434.09) herausgegeben. Die auf Basis der Vorschrift angefertigten Merkblätter beschreiben das Bailey-System sowie seine Bauplanung und den Bauablauf. Sie werden zur Ausbildung an dem Gerät und für Einsätze herangezogen. Den Merkblättern zufolge wird die Bailey-Brücke in drei Typen M1, M2 und M3 unterteilt, welche sich durch ihre Fahrbahnbreite unterscheiden. Zu erwähnen ist, dass dem ÖBH wenige bis gar keine Systeme des Typs M2 und M3 zur Verfügung stehen. Die Standardbauformen der Bailey-Brücke nach Vorschrift 2434.09b [75] reichen von Doppelwandig-Einstöckig „D-E“ bis Dreiwandig-Dreistöckig „DR-DR“ und werden für den zivilen Verkehr nach ÖNORM EN 1991-2 bzw. ÖNORM B 4002 bemessen. Die größte Grenzspannweite in BrKl.2 erreicht das System Dreiwandig-Zweistöckig-verstärkt „DR-Dv“ mit 16 Feldern und 48,8 m Länge. Die Fahrbahnbreite des Typs M1 ist 3,28 m mit einer lichten Weite von 3,76 m. Weiters sollte nach Vorschrift 2434.09b [75, S. 105] eine maximale Längsneigung von 1/30 eingehalten werden. Das Alter der in Österreich lagernden Geräte bedingt eine Herabsetzung der Grenzspannweiten beziehungsweise einen Tragfähigkeitsabschlag. Nach einem Gutachten, welches für das ÖBH durchgeführt und von Suez zusammengefasst wurde [86], muss bei dem lagernden Bailey-Gerät berücksichtigt werden dass:

- dieses Gerät vor Gebrauch auf Korrosionsschäden überprüft werden muss,
- das Gerät nur für Provisorien verwendet werden darf und bei einem dauernden Einsatz von mehr als einem Jahr eine Brückeninspektion durchzuführen ist,
- die Bailey-Brücke nur als zwei- oder mehrwandiges Brückensystem ausgeführt werden darf,

| Bauart                   | M1     | M2     | M3     |
|--------------------------|--------|--------|--------|
| Fahrbahnbreite           | 3,30 m | 3,80 m | 4,20 m |
| Lichte Durchfahrtsbreite | 3,76 m | 4,34 m | 4,76 m |
| Gesamtbreite             | 5,50 m | 6,10 m | 6,10 m |

Tab. 3.2: Mögliche Breiten Bailey-Brücke [88]

| System                                     | Bailey Paneelbrücke                                   |
|--|---|
| <b>Bauform</b>                             | SS bis TTR  |
| <b>Fahrbahnbreite</b>                      | 3,30 m bis 4,20 m                                     |
| <b>Lichte Durchfahrtsbreite</b>            | 3,76 m bis 4,76 m                                     |
| <b>Gesamtbreite</b>                        | 4,97 m bis 6,10 m                                     |
| <b>geprüfte Nutzlast</b>                   | LM1, ÖN BrKl.1 (60 to), Sonderlast bis 120 to         |
| <b>max. Stützweite einspurig bei 60 to</b> | 51,85 m   |
| <b>max. Stützweite einspurig bei 40 to</b> | 61,00 m   |
| <b>Stützweite</b>                          | variabel alle: 3,048 m                                |
| <b>Fahrbahn</b>                            | Holz  |
| <b>Gehweg</b>                              | extern ein- oder beidseitig möglich, 0,8 m breit      |
| <b>Montagepersonal</b>                     | 2 bis 8 Mann  |
| <b>Montage</b>                             | Einheben mit Kran, Kranvorschub, Taktschiebeverfahren |

**Tab. 3.3:** Technische Daten Bailey-Brücke im Überblick [88]

- hinsichtlich der Belastbarkeit eine Begrenzung mit Brückenklasse II (16 to LKW) vorzunehmen ist,
- die Geschwindigkeit auf der Brücke mit 30 km/h zu begrenzen ist sowie
- die Bauteile vor dem Einbau auf Anrisse im Bereich der Schweißnähte zu überprüfen sind.

### Mabey Compact 200

Die Systembrücke Mabey Compact 200 wurde in den 90er Jahren als Weiterentwicklung des Bailey-Systems entworfen und wird aus einzelnen 3,048 m langen und 2,140 m hohen Stahl-Paneelen hergestellt [86]. Standardbauformen reichen von „Single Single (SS)“ – jeder Träger besteht aus einer Paneelreihe in einstöckiger Bauweise (Einwandig-Einstöckig) – bis zu „TRIPLE TRIPLE REINFORCED DREI (TThR3h)“, bei welchem jeder Träger aus drei Paneelreihen in dreistöckiger Bauweise mit je einer Gurtverstärkung zusammengesetzt ist. Gurtverstärkungen sind U-Profile, welche oben und unten an allen drei Paneelen jedes Hauptträgers angebracht sind. Das System in seiner zweiwandigen Bauform ist in Abb. 3.2 dargestellt.

Durch die Verwendung von neuen Paneelen und von verschiedenen Querträgerlängen konnte die Breite, die Tragfähigkeit und die Spannweite im Vergleich zum Bailey-System erhöht werden. Je nach Anforderung kann die Breite der Mabey Compact 200 gemäß Tabelle 3.4 gewählt werden, wobei Sonderbreiten möglich sind. Längere Querträger ermöglichen Fahrbahnbreiten bis zu 7,35 m bei Gesamtbreiten von 9,17 m und machen daher eine zweispurige Benutzung mit innenliegendem Fußweg möglich. Die in Tabelle 3.5 gelisteten Grenzen des Systems können in der Standardbauform erreicht werden. Somit kann das System bei einer Breite von 4,20 m Einzelspannweiten bis 61 m erreichen. Bemessen ist diese Grenzspannweite mit Lastklasse LM1 gemäß ÖNORM EN 1991-2 und ÖNORM 4002 BrKl.1 (60 to) mit Sonderlasten bis 150 to. Im Gegensatz zu anderen Paneelsystemen benutzt Mabey für die Stäbe ihrer Paneele ein speziell für die Paneelbrücke angefertigtes C-Stahlprofil. Dies wird im Kurznamen mit dem Buchstaben „h“ oder „H“ gekennzeichnet. Im Sinne der Lesbarkeit wird bei der Kurzform in dieser Arbeit „h“ gewählt. Extern angebrachte Gehwege können eine Breite von 1,00 m oder 1,50 m aufweisen. Das übliche Montagepersonal besteht aus 2 bis 4 Mann und die Montage erfolgt durch Einheben mit Kran, Kranvorschub oder Taktschiebeverfahren. Außerhalb der Standardsysteme kann das Mabey

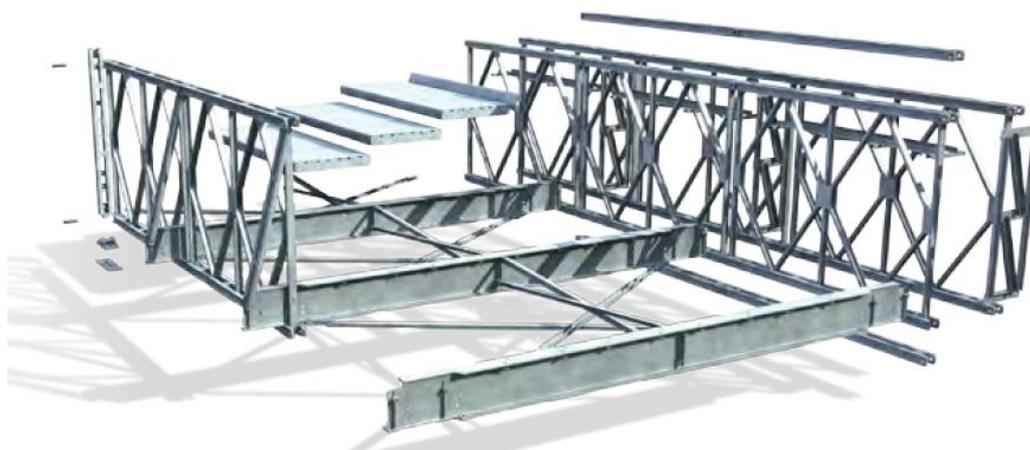


Abb. 3.2: Mabey Compact 200 [88]

---

**Mabey Compact 200 Paneelbrücke**


---

|                                 |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Fahrbahnbreite</b>           | 2,10 m | 2,62 m | 3,15 m | 4,20 m | 5,25 m | 7,35 m |
| <b>Lichte Durchfahrtsbreite</b> | 2,26 m | 2,79 m | 3,76 m | 4,76 m | 5,95 m | 7,80 m |
| <b>Gesamtbreite</b>             | 3,47 m | 4,07 m | 4,97 m | 6,02 m | 7,70 m | 9,17 m |

---

Tab. 3.4: Breiten der Standardbauformen Mabey Compact 200

Compact 200 System bis zu Vierwandig-Vierstöckig ausgeführt werden, um die Tragfähigkeit oder die Spannweite zu erhöhen. Die Lagerung der Brücke kann in einzelnen Paneelen oder in bereits teilmontiertem Zustand erfolgen [32].

Die in Tabelle 3.5 beschriebenen Grenzspannweiten sind auf eine einstöckige Bauweise bezogen. Mehrstöckige Bauweisen und eine genauere Einteilung der Bauformen werden in Abb. 3.8 zusammengefasst. Ein Beispiel für eine am unteren Ende der untersuchten Einzelspannweiten befindliche Bauform bieten zwei für die Österreichischen Bundesbahnen errichtete Brücken in Parndorf, welche in einspuriger Bauweise ca. 40 m überspannten. Für diese Anforderung sind zwei Zweiwandige-Einstöckige 2-fach verstärkte Bauformen (DShR2h) zur Anwendung gekommen [34]. Kleinere Bauformen sind bei einspurigen Brücken über diese Spannweite nicht üblich [33].

Um größere Spannweiten zu überbrücken, muss eine weitere – dritte – Paneelreihe hinzugefügt werden. Die Bauform Dreiwandig-Einstöckig 3-fach verstärkt (TShR3h) kann gemäß ÖBH unter Anwendung der Vorschrift des ÖBH [4], welche unter anderem die LM 1 gemäß ÖNORM EN 1991-2:2003 mit einem Faktor  $\alpha = 0,7$  heranzieht, eine Stützweite von 45,72 m erreichen. Die Anwendung derselben Vorschrift [4], aber der Militärlastklasse 40, ermöglicht Stützweiten von 57,91 m. Bei einem Projekt in Unzmarkt konnte eine einspurige Brücke mit dieser Bauform (TShR3h) über 61 m gespannt werden. Diese Spannweite entspräche auch dem Wert in Tabelle 3.5. Um in Abb. 3.8 einen konservativen Richtwert für die Bauform mit einer maximalen Spannweite von 50 m des Mabey Compact 200 Systems zu finden, wird die Bauform Dreiwandig-Einstöckig 2-fach verstärkt TShR2h gewählt.

Von der Unegg GmbH [31] wurden Entwürfe der Firma Maybe Bridge Ltd. zur Verfügung gestellt. Sie zeigen die Ausführung der Mabey Compact 200 Brücke mit einer Fahrbahnbreite von 4,2 m in der Bauform Dreiwandig-Zweistöckig 3-fach verstärkt (TDhR3h) mit einer Einzelspannweite von 76,20 m. Für den Richtwert der maximalen Spannweite von 60 m wird daher die

| System                                      | Mabey Compact 200 Paneelbrücke                        |
|---|---|
| <b>Bauform</b>                              | SS bis TShR3  |
| <b>Fahrbahnbreite</b>                       | 2,10 m bis 7,35 m                                     |
| <b>Lichte Durchfahrtsbreite</b>             | 2,26 m bis 7,80 m                                     |
| <b>Gesamtbreite</b>                         | 3,47 m bis 9,17 m                                     |
| <b>geprüfte Nutzlast</b>                    | LM1, ÖN BrKl.1 (60 to), Sonderlast bis 150 to         |
| <b>max. Stützweite einspurig bei 60 to</b>  | 61 m (oder 76 m bei 57 to im Alleingang)              |
| <b>max. Stützweite zweispurig bei 60 to</b> | 40 m  |
| <b>Stützweite</b>                           | variabel alle: 3,048 m                                |
| <b>Fahrbahn</b>                             | Stahl mit Gripbelag                                   |
| <b>Gehweg</b>                               | extern ein- oder beidseitig, 1 m oder 1,5 m breit     |
| <b>Montagepersonal</b>                      | 2 bis 4 Mann  |
| <b>Montage</b>                              | Einheben mit Kran, Kranvorschub, Taktschiebeverfahren |

**Tab. 3.5:** Technische Daten Mabey Compact 200 im Überblick

schwächere zweiwandige Bauform (DDhR3h) gewählt und für die maximale Spannweite von 70 m die im Entwurf dargestellte Bauform (TDhR3h).

Für den Bereich bis 80 m wird die stärkere vierwandige Bauform als passende Ausführung angenommen. Anzumerken ist jedoch, dass diese Spannweite selbst mit starker Einschränkung des Verkehrs bereits an der Grenze der Möglichkeiten des Systems liegen. Laut einer Anfrage an die Firma Mabey Bridge Ltd. der Unegg GmbH [33] ist die Ausführung einer Mabey Compact 200 über 80 m nicht vorgesehen.

Für die zweispurige Ausführung des Systems wird eine Reduktion der maximalen Spannweiten durch die schwereren Querträger und durch die Erhöhung der Anzahl der Fahrbahnplatten erwartet. Aufgrund mangelnder Projekte von zweispurigen Mabey Compact 200 Brücken wurden die Bauformen mit der Unegg GmbH [33] direkt abgestimmt, beziehungsweise wurden Richtwerte aus dem Manual der ähnlich konstruierten Waagner Biro PP 30 Paneelbrücke [91] herangezogen. Wie in Tabelle 3.4 dargestellt kann in der zweispurigen Ausführung mit der einstöckigen Bauweise „TShR3h“ eine Spannweite von 40 m erreicht werden.

Ein Projekt, bei welchem eine zweispurige zweistöckige Compact 200 Brücke zum Einsatz gekommen ist, befindet sich bei Swarkestone im Vereinigten Königreich [51]. Eine Brücke der Bauform „DDhR2h“ wurde mit einer Spannweite von ca. 52 m gebaut, welche über 25 Jahre lang den Materialtransport aus den dort befindlichen Mienen sicherstellen soll. Aufgrund der mit 5,20 m schmälere Fahrbahnbreite wird für die maximale Stützweite von 50 m jedoch die stärkere Bauform „TDhR3h“ gewählt.

Bis 60 m wird ebenso die zweistöckige Bauform „TDhR3h“ als ausreichend angenommen. Bestätigt wird diese Annahme durch ein Projekt in Guatemala [52], bei welchem die Bauform „QDhR3h“ für eine permanente Nutzung über eine Spannweite von 60 m eingesetzt wurde. Aufgrund der permanenten Nutzung wird in Abb. 3.8 die schwächere Bauform TDhR3h angegeben. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass die verwendete Bauform QDhR3h bei einem klassischen – temporären – Einsatz für Spannweiten bis 70 m ausreichend ist.

Laut der Unegg GmbH [33] ist für zweispurige Brücken der Einsatz des System Mabey Compact 200 auf eine Einzelspannweite von 70 m begrenzt. Wenn jedoch die Projektrahmenbedingun-

gen zulassen, die Nutzlasten beziehungsweise das Eigengewicht stark zu reduzieren, wird für Stützweiten von 80 m die dreistöckige Bauform „QThR3h“ als mögliche Variante angenommen.

**Mabey Compact 200 des Österreichischen Bundesheeres** Die Mabey Compact 200 wird in der militärischen Nutzung als Logistic Support Bridge (LSB) bezeichnet und in Kärnten unter eigener Vorschrift (siehe auch Abschnitt 3.3.1) verwendet. Das Österreichische Bundesheer wird gemäß dieser Vorschrift für das Gerät ausgebildet. Die Logistic Support Bridge ist zudem das Standard System der NATO. Die Vorschrift 2434.10a [4] umfasst Bauformen, die von „SINGLE SINGLE (SS)“ – Einwandig-Einstöckig – bis zu „TRIPLE SINGLE REINFORCED DREI (TShR3h)“ – Dreiwandig-Einstöckig 3-fach verstärkt reichen. Die Grenzspannweite der größten Bauform nach Vorschrift 2434.10 beinhaltet 19 Paneele und hat dadurch eine Gesamtlänge von 57,91 m in einspuriger Bauweise. Ein außen montierter Gehweg führt, wie bei allen Brücken, zu einer Verringerung der Traglast. Gemäß Österreichischem Bundesheer [2] beträgt bei einer Fahrbahnbreite von 4,20 m die benötigte Auflagebreite 7 m. Für die Montage wird eine Montageplatzlänge hinter dem Widerlager von 30 m beziehungsweise mindestens 60 % der Brückenlänge benötigt. Weiters wird angegeben, dass die Längsneigung einen Wert von maximal 5 % nicht überschreiten sollte.

#### Mabey Universal

Beim Mabey Universal-System handelt es sich laut ÖBH [34] um eine Brücke zur rein zivilen Anwendung, da die Elemente zu schwer für eine rein händische Montage sind. Laut Unegg GmbH [32] wird die Mabey Universal nicht mehr produziert. Weil jedoch die Wiederaufnahme der Produktion für ein Großprojekt möglicherweise veranlassbar ist und es noch Restbestände gibt, werden die Grenzen ihrer Standardbauformen gemäß Katalog der Firma Unegg GmbH [88] in Tabelle 3.6 aus Gründen der Vollständigkeit dennoch aufgeführt.



Abb. 3.3: Mabey Universal Tragwerkkonzept[43]

Die Mabey Universal Brücke basiert wie in Abb. 3.3 dargestellt auf einem ähnlichen Paneelsystem wie die zuvor beschriebene Mabey Compact 200 Brücke. Die Unterschiede bestehen in der Anzahl der Querträger und der Größe der Paneele. Diese sind gemäß Mabey Bridge Ltd. [53] 4,50 m lang und ca. 2,49 m hoch. Daher muss die Errichtung mit einem Kran erfolgen. Außerdem

werden doppelt so viele Querträger pro Paneel – zwei anstelle von einem – verbaut. Dadurch kann sie größere Lasten aufnehmen als die Mabey Compact 200.

| System                           | Mabey Universal Paneelbrücke                          |
|----------------------------------|---|
| <b>Bauformen</b>                 | SS bis TShR3h   |
| <b>Fahrbahnbreite</b>            | 3,15 m bis 10,50 m                                    |
| <b>Lichte Durchfahrtsbreite</b>  | 3,76 m bis 11,10 m                                    |
| <b>Nutzlast</b>                  | LM1, ÖN BrKl.1 (60 to), Sonderlast bis 400 to         |
| <b>max. Stützweite bei 60 to</b> | 81 m  |
| <b>Stützweite</b>                | variabel alle: 4,50 m (bzw. 2,25 m mit halbem Paneel) |
| <b>Fahrbahn</b>                  | Stahl mit Gripbelag                                   |
| <b>Gehweg</b>                    | extern ein- oder beidseitig, 1 m oder 1,5 m breit     |
| <b>Montagepersonal</b>           | 2 bis 6 Mann  |
| <b>Montage</b>                   | Einheben mit Kran, Kranvorschub, Taktschiebeverfahren |

**Tab. 3.6:** Technische Daten Mabey Universal [53]

Für den Einsatz mit 2-spuriger Fahrbahn wurden in Abb. 3.8 die Bauformen der Mabey Universal Brücke mit Hilfe folgender Projekte gewählt. Anhand eines Projektes in der Rep. Kongo [49] wird bei einer maximale Spannweite von 60 m die Bauform „TShR3h“ eingesetzt. Die 3-Feldbrücke mit einer Gesamtlänge von 103,50 m wurde dort als permanente Lösung zur Überquerung des Niari Flusses verwendet. Für die Ausbildung einer Spannweite bis 80 m muss die Mabey Universal Brücke mindestens zweistöckig in der Bauform „TDhR3h“ ausgeführt werden. Dies zeigt ein erfolgreich abgeschlossenes Projekt in Vermont [95]. Für Spannweiten bis 40 m ist lt. Unegg GmbH [33] die Bauform mit „DShR2h“ ausreichend.

### Waagner Biro Paneelbrücke

Wie in Abb. 3.4 ersichtlich handelt es sich bei der Waagner Biro Paneelbrücke ebenso um eine Weiterentwicklung der Bailey-Brücke. Damit entspricht das Tragsystem dem einer klassischen Trogbrücke mit untenliegender Fahrbahn. Die Bezeichnung für die von der Firma Waagner Biro hergestellte Paneelbrücke lautet Power Panel 30 (PP 30). Waagner Biro bietet die Paneelbrücke entweder mit Stahl- oder mit Holzfahrbahn und in drei verschiedenen Fahrbahnbreiten an. Die Fahrbahnbreite ist die lichte Breite zwischen den Schrammborden und wird in die Breiten 3,15 m, 4,20 m und 7,35 m unterteilt. Auf speziellen Kundenwunsch hin können auch Zwischengrößen geliefert werden. Zu den Standardbauformen gehören „Single Single“ bis „Triple Double“ Konfigurationen. „Quadrupel Single“ bis „Quadrupel Double“ sind keine Standardbauformen, werden jedoch so wie weitere Sonderkonfigurationen fallweise ausgearbeitet. Waagner Birus Paneelbrücke kann, wie vergleichbare Brücken, auch mit Verstärkungsgurten ausgestattet werden. Diese können in ihrer Stärke variieren und werden als Leicht „L“, Mittel „M“ und Schwer „S“ bezeichnet. In Tabelle 3.7 sind die technischen Daten des Systems zusammengefasst.

Die Bauformen zur Erreichung der Spannweiten in Abb. 3.8 mit der Waagner Biro PP 30 sind ähnlich jener der Mabey Compact 200 und entsprechen den Werten, die aus dem Manual der PP 30 Brücke [91] hervorgehen. Die Bauformen, deren Größe über die Standardbauformen hinaus geht, wurden aufgrund der Ähnlichkeit der beiden Systeme ident zu jenen der Mabey Compact 200 gewählt. Die größte Bauform des Systems PP 30 mit der Bauform „TQR3L“ spannt über ca. 67 m in Algerien und wurde für die permanente Nutzung mit Schwerverkehr sowie Sonderlasten ausgelegt [28]. Dies veranschaulicht erneut die starke Abhängigkeit der maximalen Spannweiten von der Art der zu erwartenden Belastung sowie von der Nutzungsdauer.

| System                     | Wagner Biro Paneelbrücke                             |
|----------------------------|--|
| Bauform                    | SS bis TDR3  |
| Fahrbahnbreite             | 3,15 m bis 7,35 m                                    |
| Lichte Durchfahrtsbreite   | 3,74 m bis 7,60 m                                    |
| Gesamtbreite               | 5,63 m bis 9,54 m                                    |
| geprüfte Nutzlast          | B.S. 5400, Part 2                                    |
| max. Stützweite einspurig  | ca. 76 m   |
| max. Stützweite zweispurig | ca. 64 m   |
| Stützweite                 | variabel alle: 3,048 m                               |
| Fahrbahn                   | Stahl mit Gripbelag                                  |
| Gehweg                     | extern ein- oder beidseitig, 1 m oder 1,5 m breit    |
| Montagepersonal            | 2 bis 4 Mann   |
| Montage                    | Einheben mit Kran, Kranvorschub, Taktschiebverfahren |

Tab. 3.7: Technische Daten Wagner Biro Paneelbrücke im Überblick

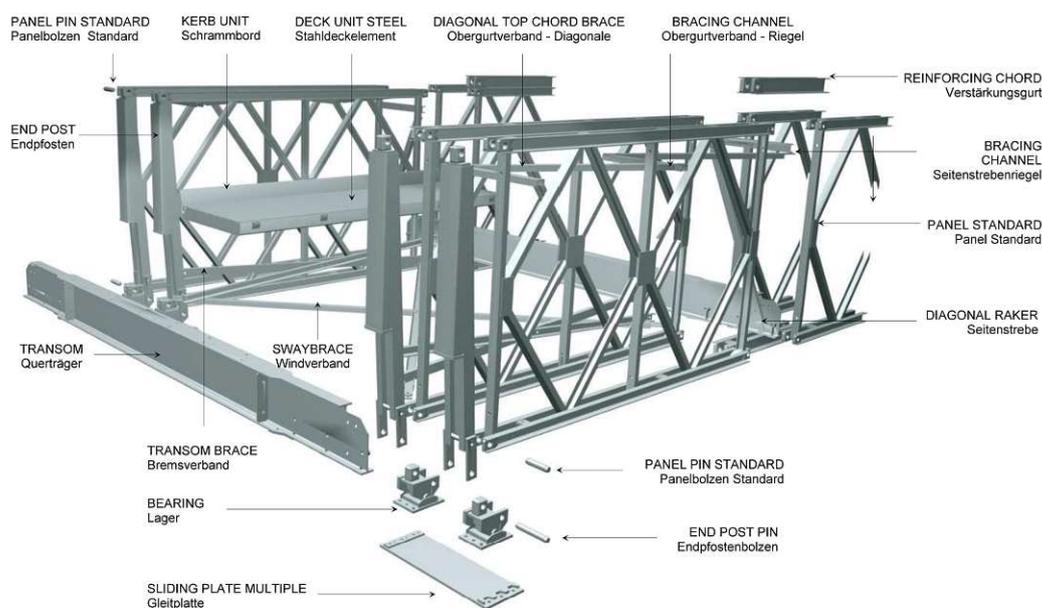


Abb. 3.4: Wagner Biro Paneelbrücke Power Panel 30 [91]

### 3.3.2 Fachwerkbrückensysteme

Paneele sind nicht die einzige Art, temporäre Brückensysteme herzustellen. Reguläre Fachwerkbalkenbrücken bestehen ebenso aus vielen gleichartigen Teilen, die miteinander verbunden werden. Ist es möglich, die Verbindung wieder zu lösen, ohne dabei einen Schaden an den Elementen zu verursachen, kann die Brücke wieder demontiert werden. Die Systeme Mabey *Delta*, die *D-Brücke* und die deutsche *SS-80 Brücke* sowie *SKB Brücke* machen sich dies zunutze.

### Mabey Delta Brücke

Die Mabey Delta Brücke ist im Jahr 2003 vorgestellt worden und damit die neueste Konstruktion der Firma Mabey Bridge Ltd. [89]. Sie ist ein modulares Fachwerksystem, das sich, wie in Abb. 3.5 ersichtlich, klar von den, aus der Bailey-Brücke entwickelten Paneelsystemen unterscheidet. Die Mabey Delta Brücke wurde für eine permanente Nutzung entwickelt. Sie kann jedoch bis auf die Schrauben zerstörungsfrei rückgebaut werden. Im Gegensatz zu den anderen Brücken wird sie nach Österreich nur verkauft und nicht vermietet.



**Abb. 3.5:** Mabey Delta Brücke Tragwerk [43]

Die Paneele der Deltabrücke sind 4,50 m lang und mit ca. 4,30 m doppelt so hoch wie jene der Compact 200. Die Delta-Paneele bilden dabei das Fachwerk des Trägers, wobei die Ober- und Untergurte aus I-Trägern mit einer Länge von 4,50 m bis 9,00 m bestehen. Spannweiten von 36 m bis 100 m mit Fahrbahnbreiten von 4,20 m bis 10,50 m können lt. Mabey Bridge Ltd. [89] erreicht werden. Wie bei den Standard-Paneelsystemen können die Fachwerke der Delta-Brücke mit Standard-Containern transportiert werden. Die Errichtung muss mit einem Kran erfolgen. Von Mabey Bridge Ltd. wird ein Kran mit einer Leistung von 10 to auf 10 m empfohlen, wobei eine Minimalleistung von 35 to gefordert wird. Das Personal für die Errichtung sollte sich aus 6 bis 15 Arbeitern zusammensetzen. Durch die Höhe und die notwendige Verschraubung müssen Arbeitsgerüste für die Installation der Obergurte und für die Fahrbahninstallation unter der Brücke errichtet werden. Die Montage mittels Taktschiebverfahren ist die häufigste Methode. Als Vorbau-Schnabel der Delta-Brücke werden die Mabey Universal-Paneele verwendet, denn zwei Universal-Paneele sind so hoch wie ein Delta-Paneel. Die Brücke ist nach der US-Amerikanischen Normung „AASHTO“ geprüft worden. Die einzelnen Komponenten werden durch Bolzen und durch hochfeste, vorgespannte Schraubverbindungen (eng. HSFG) verbunden. Sie werden mithilfe eines pneumatischen Werkzeugs angezogen. Da die Schraubverbindungen nicht zerstörungsfrei gelöst werden können, können sie nicht wiederverwendet werden [33]. Weiters wird laut Herrn Unegg [32] die Delta Brücke mit einer Überhöhung konstruiert, um einer Durchbiegung der Felder entgegen zu wirken. Ein Projekt in Pakistan namens „Skarku Bridge Programme“, bei welchem eine 45 m lange Delta Brücke errichtet wurde, gibt die geforderte Vormontagelänge für diese Brückenlänge mit 30 m vor. Unter der Voraussetzung, dass diese sich direkt proportional zur Brückenlänge verhält, muss 66 % der Spannweite für die Vormontage bereitgestellt werden, falls die Errichtung von temporären Unterstüzungen nicht möglich ist. In Tabelle 3.8 sind die technischen Daten des Systems zusammengefasst.

| System                               | Mabey Delta Fachwerkbrücke                            |
|--------------------------------------|---|
| <b>Bauformen</b>                     | -   |
| <b>Fahrbahnbreite</b>                | 4,20 m bis 10,50 m                                    |
| <b>Nutzlast</b>                      | gemäß AASHTO  |
| <b>max. Stützweite<br/>einspurig</b> | ca. 100 m   |
| <b>Stützweite</b>                    | variabel alle: 4,50 m                                 |
| <b>Fahrbahn</b>                      | Stahl mit Gripbelag oder Asphalt                      |
| <b>Gehweg</b>                        | extern ein- oder beidseitig, 1 m oder 1,5 m breit     |
| <b>Montagepersonal</b>               | 6 bis 15 Mann   |
| <b>Montage</b>                       | Einheben mit Kran, Kranvorschub, Taktschiebeverfahren |

**Tab. 3.8:** Technische Daten Mabey Delta Brücke [89]

In einem von der Unegg GmbH [31] zur Verfügung gestellten Brückenentwurf der Firma Mabey Bridge Ltd. von einer 54 m langen Mabey Delta Brücke ist ersichtlich, dass für die Gurtträger Stahlprofile ähnlich eines HE-Träger verwendet werden. Es wird angenommen, dass die verschiedenen Bauformen sich durch die zur Verwendung kommenden Gurtträger unterscheiden. Es gab dies bezüglich jedoch keine Rückmeldung der Firma, um es zu bestätigen. Aus einer Vordimensionierung einer 80 m langen, zweispurigen Delta Brücke ergibt sich ein notwendiger Gurtquerschnitt eines HEB600 Trägers. Ähnlich diesem wird der notwendige Gurtträger für eine 2-spurige Brücke angenommen. Das statische Modell ist ein Träger auf zwei Stützen, welcher mit den Einwirkungen gemäß LM 1 der ÖNORM EN 1991-2 mit  $\alpha = 0,7$  belastet wird. Weitergehend wird ein ideales Fachwerk angenommen, bei dem das Moment ausschließlich über die zwei Gurtträger aufgenommen wird. Für die in Abb. 3.8 dargestellten Spannweiten 1- und 2-spuriger Brücken von 40 m bis 100 m wurden ebenso die notwendigen Querschnittsflächen ermittelt. Je nach Spannweite und Fahrbahnbreiten reichen die notwendigen Profile von HEA600 bis HEM600.

Einige Projekte zeigen die Leistungsfähigkeit des Brückensystems. Bei den internationalen Projektbeispielen muss allerdings berücksichtigt werden, dass diese nach den jeweils länderspezifischen Normen errichtet wurden. Eines der wenigen zentraleuropäischen Projekte befindet sich in der Schweiz. [46] Hier wurde eine einspurige Mabey Delta Brücke für das Schweizer Verteidigungsministerium gebaut. Diese hat eine Breite von 4,2 m und eine Länge von 90 m. Sie hat die Militärische Lasteinstufung MLC 40, welche es Fahrzeugen mit einem maximalen Bruttogewicht von ca. 40 t im Abstand von mindestens 30 m ermöglicht, die Brücke zu passieren [73]. Das entspricht aber lt. Suez [86] nicht der BrKl.1 der ÖNORM B4002. Besonders erwähnt wird, dass ein Abbau der Brücke ohne bleibende sichtbare Einwirkungen auf die Natur möglich ist. Auf der Isle of Lewis in Schottland wurde eine einspurige 4,20 m breite und 99 m lange Delta Brücke errichtet [44]. Sie wurde ebenso für eine permanente Nutzung ausgelegt und ist in Abb. 3.6 dargestellt. Eine Mehrfeldbrücken dieses Systems wurde 2012 in Pakistan errichtet. Die gesamte zweispurige Brücke hat eine Länge von 328,50 m sowie einen externen Gehweg. Die einzelnen Stützweiten betragen ungefähr 65 m. [48] Ein weiteres Projekt wurde in Quebec, Kanada umgesetzt. Dabei handelt es sich um eine 8,00 m breite und 67 m lange Delta Brücke, die mit einer Asphaltfahrbahn ausgestattet wurde. Diese Brücke wurde jedoch gekauft und soll für 2 Jahre als Behelfsbrücke dienen, bis eine permanente Brücke fertiggestellt wird. Lt. Angaben der Firma MBL beträgt ihr minimale Nutzungsdauer 25 Jahre mit der Fähigkeit 13.000 Autos pro Tag, mit einer Geschwindigkeit von 70 km/h aufnehmen zu können. Im gleichen Bericht wird die



**Abb. 3.6:** 99 m lange Mabey Delta Brücke auf den Isles of Lewis [44]

maximale Brückenlänge mit 90 m bezeichnet. [47] Da bereits Delta Brücken – wie im Projekt auf den Isle of Lewis – mit einer Einzelspannweite von 100 m errichtet wurden, wird 90 m als Limit des Systems in Abb. 3.8 für die zweispurige Ausführung herangezogen. In Trinidad & Tobago wurde eine zweispurige, 81 m lange Brücke über den Caroni Fluss errichtet. Auch diese wurde zur permanenten Nutzung mit einer Asphaltfahrbahn ausgestattet [45].

### D-Brücke

In den 60er-Jahren hat die deutsche Firma Krupp [16] das D-Brücken-Gerät („D“ steht für Dreiecksträger) entwickelt. Die D-Brücken-Teile werden im Unterschied zur Bailey-Brücke (und anderen Paneelsystemen) ausschließlich verschraubt. Dadurch wird die Brücke sehr starr verbunden, weist wenig Durchhang auf und eignet sich sehr gut für längere Einsätze. Sie kann daher sowohl temporär als auch permanent eingesetzt werden. Die D-Brücke ist eine von der Firma Krupp hergestellte Systembrücke, welche für den schnellen Ersatz zerstörter oder nicht genügend tragfähiger Brücken entwickelt wurde. Die Einzelemente sind untereinander uneingeschränkt austauschbar und nach Demontage der Brücke wieder verwendbar. Die Lebensdauer ist mit einer normalen permanenten Brückenkonstruktion vergleichbar. Die D-Brücke wird in den Standardbauformen über ein- oder mehrfeldrige Öffnungen eingesetzt. Der größte Vermieter von D-Brücken in Europa ist die deutsche Firma „SEH ENGINEERING GmbH“.

Die Brücke kann in unterschiedlichen Bauformen errichtet werden. Gemäß Krupp [16] umfassen die Bauformen Breiten von 3,5 m bis 6 m und Einstöckig – Einwandig bis Dreistöckig – Zweiwandig mit 3. Gurt und Gurtverstärkung. Standardbauformen sind bis Zweistöckig möglich. Einspurig ist für eine Spannweite von ca. 40 m eine mit einem 3. Gurt ausgebildete einstöckige Bauweise ausreichend. Für zwei Spuren muss das System lt. Suez [86] zweistöckig ausgeführt werden. In Abb. 3.7 ist einer der Hauptträger einer 60 m langen D-Brücke abgebildet.

Die Tabellenwerte der Firma Krupp für den zivilen Verkehr basieren gemäß Brückenklasse 30 auf der DIN 1072. Daher müssen – gemäß der in der Seminararbeit von Herrn Suez [86]

| System                       | D-Brücke  |
|------------------------------|---|
| <b>Bauform</b>               | E1-eN bis Z3-zN   |
| <b>Fahrbahnbreite</b>        | 3,50 m bis 6,00 m   |
| <b>geprüfte Nutzlast</b>     | DIN 1072 Brückenklasse 30 (Annahmen EN mit $\alpha = 0,7$ ) |
| <b>Stützweite einspurig</b>  | 61 m  |
| <b>Stützweite zweispurig</b> | 46 m  |
| <b>Stützweite</b>            | variabel alle: 3,048 m                                      |
| <b>Fahrbahn</b>              | Stahl   |
| <b>Gehweg</b>                | extern ein- oder beidseitig möglich, 1 m oder 1,5 m breit   |
| <b>Montagepersonal</b>       | 8 bis 10 Mann   |
| <b>Montage</b>               | Einheben mit Kran, Kranvorschub, Taktschiebeverfahren       |

**Tab. 3.9:** Technische Daten D-Brücke im Überblick [16]

zusammengefassten Analyse – in Folge der Änderung der Normen zu der derzeit gültigen ÖNORM EN 1991-2 größere Lasten berücksichtigt und die maximalen Spannweiten dementsprechend angepasst werden. Nachdem diese Daten in Deutschland teilweise unter Verschluss stehen, werden Grenzspannweiten anhand der oben genannten Seminararbeit und dem Vergleich der beiden Normen herangezogen. Dies wird in den angegebenen Werten von Tabelle 3.9 berücksichtigt.

Um die verschiedenen Merkmale der möglichen Bauformen in Kurzform kennzeichnen zu können, wurde von Krupp [16] Kürzel eingeführt. Dabei steht „E“ für Einstöckig, „Z“ und „D“ für Zwei- bzw. Dreistöckig. Die Ziffern „1“ und „2“ stehen für die Anzahl der Wände. Eine „3“ oder/und ein angehängtes „V“ bedeutet einen 3. Gurt oder/und eine Gurtverstärkung. Abschließend folgt ein „e“ oder „z“ für ein- oder zweispurig und der Fahrbahntyp Normal, Flach oder Holz. In Tabelle 3.9 werden nur Normalfahrbahnen und Standardbauformen betrachtet.

Mehrfeldbrücken werden wie eine Zusammensetzung von Einzelbrücken beurteilt und berechnet. Eine Erhöhung der Tragfähigkeit, bedingt durch die Durchlaufträger, wird aus Sicherheitsgründen nicht berücksichtigt.[16] Angepasst an die geltende Norm wird angenommen, dass mit Standardbauformen bei einspurigen Brücken Spannweiten von 61 m und bei zweispurigen Brücken Spannweiten von 46 m erreicht werden können. Diese Spannweiten berücksichtigen die Seminararbeit von Suez [86] und den Belastungsunterschied zwischen der deutschen Norm DIN 1072 und des Eurocode 1. Als Basiswert für die maximalen Spannweiten wurden die Tabellenwerte aus dem D-Brücken Handbuch der Firma Krupp [16] herangezogen. Zu beachten ist, dass die Firma SEH ENGINEERING GMBH [79] eine maximale Einzelspannweite der D-Brücke von 72 m angibt. Da jedoch die Information unter welchen Voraussetzungen diese Spannweite erreicht werden kann, nicht zugänglich war, wird sie nicht in Abb. 3.8 berücksichtigt.

**D-Brücke des Österreichischen Bundesheers** Die D-Brücke – beim ÖBH als D-Brückengerät bezeichnet – wurde bereits bei unzähligen Hilfsleistungen durch das ÖBH eingesetzt. Einerseits, weil es ein militärisches Brückengerät ist und andererseits, weil es von sehr vielen Landesregionen als Katastrophengerät beschafft und dem Österreichischen Bundesheer zu diesem Zwecke mittels Übereinkommen übergeben wurde. Daher gibt es über die D-Brücke Merkblätter für das Bundesheer, die von der Pioniertruppenschule in Zusammenarbeit mit der Rüstungsdirektion/Amt für Rüstung und Wehrtechnik verfasst wurden. Sie beinhalten verbindliche Anhalte für den Bau dieser Brücke. Mit dem in Österreich bereits vorhandenen D-Brücken-Gerät war 2002 lt. Suez [86] die BrKl.2 und MLC50 erreichbar. Zur Leistungssteigerung auf BrKl.1 wurde 2003 ein Angebot der damaligen Firma Krupp an das Land Niederösterreich gelegt und geprüft. Dies beinhaltet



Abb. 3.7: D-Brückenträger mit 60 m Länge [78]

unter anderem die Umarbeitung von 70 Hauptträgern des D-Brücken-Geräts. Gemäß der Aussage des Leiters des Niederösterreichischen Straßendienstes [26] wurden diese Verstärkungsmaßnahmen durchgeführt.

### SS-80 und SKB Brücke

Die SS-80 Brücke sowie die SKB Brücke sind deutsche Brückensysteme. Detaillierte Informationen über die beiden Brückensysteme konnte nach Anfrage nicht gegeben werden. Da nicht bestätigt werden konnte, dass man die Systeme in Österreich erwerben kann, werden sie auch in dieser Arbeit nicht näher beschrieben. Es handelt sich um zwei sehr leistungsstarke Systeme. Die Grenzspannweite der SS-80 Brücke beträgt ca. 80 m, die der SKB Brücke ca. 120 m. [30]

### 3.3.3 Aktuell in Österreich im Einsatz befindliche Behelfsbrückensysteme

Um zu erfassen, welche Brückensysteme in Österreich einsatzbereit wären, muss der Zustand der alten Brückensysteme evaluiert und eventuell an die europäische Normung angepasst werden. Nach der letzten Analyse des Österreichischen Bundesheers aus dem Jahr 2003 von Suez [86] – durchgeführt aufgrund des Hochwassers 2002 in Niederösterreich – betrug der Fehlbestand 180 lfm der Brückenklasse 1. Daraufhin gab es eine Empfehlung des Österreichischen Bundesheers an das Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, welche lautet: *Umarbeitung/Leistungssteigerung von 107 lfm D-Brückenklasse I und Beschaffung von 73 lfm Mabey-Brücke oder Waagner-Biro Brücke, um eine ausreichend leistungsfähige Gerätekonfiguration für die Bewältigung künftiger Katastropheneinsätze zur Verfügung zu haben.*[86, S. 32] Laufmeter bezieht sich auf eine Standardbauform. Bei der D-Brücke ist es die Bauweise Einstöckig-Einwandig verstärkt (E1v), bei Panelbrücken die Bauform Zweiwandig-Einstöckig verstärkt (DSR)[86].

### 3.3.4 Maximale Spannweiten der Systeme nach LM1 $\alpha = 0,7$

Unter der Voraussetzung, dass die durch den Verkehr entstehenden Einwirkungen durch Verkehrsbeschränkungen derart begrenzt werden können, dass das Erreichen der Anpassungsfaktoren  $\alpha = 0,7$  realistisch ist, stellen die folgenden Tabellen in Abb. 3.8 die zu erwartenden maximalen Spannweiten der in Abschnitt 3.3 beschriebenen Systeme dar. Neben der Verkehrslast ist der größte Einflussfaktor auf die maximale Spannweite die Breite der Brücke. Daher werden die Spannweiten in einspuriger und zweispuriger Ausführung angegeben. Aufgrund der geringen Leistungsfähigkeit, des Alters und des stark variierenden Zustandes des Bailey-Systems wird es in Abb. 3.8 nicht angegeben.

### 3.3.5 Laufmetergewicht

Das Laufmetergewicht der Systeme wird durch die Systemart und die Bauform bestimmt. Es spiegelt den Materialaufwand des Systems wieder und ist damit ein wichtiger Indikator der Kosten. Deshalb bildet es auch die Grundlage des in Kapitel 4 aufgestellten Kostenmodells. Durch den hohen Einfluss des Gewichts auf die Kosten von Stahlkonstruktionen kann die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Systeme nur anhand des Laufmetergewichts qualitativ bewertet werden. Das Laufmetergewicht der einzelnen Systeme kann entweder aus Teilelisten oder vergangenen Projekten bestimmt werden. Dies wird für die Bauformen der einzelnen Systeme nachfolgend vorgenommen.

#### Mabey Compact 200

Das Laufmetergewicht der Mabey Compact 200 ist abhängig von der Bauform, welche durch die geforderte Stützweite vorgegeben ist. Die Ermittlung erfolgt mit Hilfe des Bauteilkatalogs des ÖBH [3]. Das Laufmetergewicht der in der Vorschrift 2434.10 beschriebenen tragfähigsten Standardbauform „TShR3h“ entspricht 13,7 kN also 1,37 to ohne Eindeckung. Das Merkblatt zur Vorschrift beschreibt im Detail die für die Konstruktion des Systems benötigten Bauelemente mit ihrem Gewicht. Mit diesen Werten wurden die Laufmetergewichte aller Bauformen der Mabey Compact 200 kalkuliert. Die angegebenen Einzelgewichte können für alle Bauformen der Mabey Compact 200 Brücke herangezogen werden. Aus kalkulatorischen Gründen werden bestimmte Vereinfachungen getroffen. Zum Beispiel wurden hochschubsteife Paneele sowie Teile für die Sonderausführungen der Endfelder nicht berücksichtigt. Daher handelt es sich nicht um genaue Werte, sondern um Richtwerte für die Abschätzung des Gewichts ganzer Brücken.

#### Berechnung der Anzahl notwendiger Teile der Mabey Compact 200

Gemäß Teileliste des ÖBH wurde eine vereinfachte Formel für die Berechnung der Anzahl an notwendigen Teilen für die Bauformen der Mabey Compact 200 Brücke erstellt. Ausgenommen ist hierbei das einwandige-einstöckige System, da hierfür unterschiedliche Teile zum Einsatz kommen.

Anzahl Superpaneele = Anzahl Paneelwände x Anzahl Stöcke x Anzahl Träger

Anzahl Querträger = 1

Anzahl Vertikalrahmen = Anzahl Stöcke x Anzahl Träger

Anzahl Verstrebrahmen = Anzahl Stöcke x Anzahl Träger

Einspurige Brücken unter ÖNORM EN 1991-2 LM1 ( $\alpha=0,7$ )

| System            | Bauform  | Bauform Kurz | max. Spannweite [m] |
|-------------------|--|--------------|---------------------|
| Mabey Compact 200 | Zweiwandig-Einstöckig 2-fach verstärkt         | DShR2h       | 40                  |
|                   | Dreiwandig-Einstöckig 2-fach verstärkt         | TShR2h       | 50                  |
|                   | Zweiwandig-Zweistöckig 2-fach verstärkt        | DDhR2h       | 60                  |
|                   | Dreiwandig-Zweistöckig 3-fach verstärkt        | TDhR3h       | 70                  |
|                   | Vierwandig-Zweistöckig 3-fach verstärkt        | QDhR3h       | 80                  |
| Mabey Delta       | Gurte ähnlich HEA 600                          | A 600        | 40                  |
|                   | Gurte ähnlich HEA 600                          | A 600        | 50                  |
|                   | Gurte ähnlich HEA 600                          | A 600        | 60                  |
|                   | Gurte ähnlich HEA 600                          | A 600        | 70                  |
|                   | Gurte ähnlich HEA 600                          | A 600        | 80                  |
|                   | Gurte ähnlich HEB 600                          | B 600        | 90                  |
| Waagner Biro PP30 | Zweiwandig-Einstöckig 2-fach verstärkt Mittel  | DSR2M        | 40                  |
|                   | Dreiwandig-Einstöckig 2-fach verstärkt Mittel  | TSR2M        | 50                  |
|                   | Zweiwandig-Zweistöckig 2-fach verstärkt Mittel | DDR2M        | 60                  |
|                   | Dreiwandig-Zweistöckig 3-fach verstärkt Mittel | TDR3M        | 70                  |
|                   | Vierwandig-Zweistöckig 3-fach verstärkt Mittel | QDR3M        | 80                  |
| D-Brücke          | Einstöckig-Zweiwandig verstärkt                | E2V-eF       | 40                  |
|                   | Zweistöckig-Zweiwandig verstärkt               | Z2V-eF       | 50                  |
|                   | Zweistöckig-Zweiwandig verstärkt mit 3. Gurt   | Z2V3-eF      | 60                  |
|                   | nicht ausführbar                               | -            | 70                  |
|                   | nicht ausführbar                               | -            | 80                  |

Zweispurige Brücken unter ÖNORM EN 1991-2 LM1 ( $\alpha=0,7$ )

| System            | Bauform  | Bauform Kurz | max. Spannweite [m] |
|-------------------|--|--------------|---------------------|
| Mabey Compact 200 | Dreiwandig-Einstöckig 3-fach verstärkt         | TShR3h       | 30                  |
|                   | Dreiwandig-Einstöckig 3-fach verstärkt         | TShR3h       | 40                  |
|                   | Dreiwandig-Zweistöckig 3-fach verstärkt        | TDhR3h       | 50                  |
|                   | Dreiwandig-Zweistöckig 3-fach verstärkt        | TDhR3h       | 60                  |
|                   | Vierwandig-Zweistöckig 3-fach verstärkt        | QDhR3h       | 70                  |
|                   | Vierwandig-Dreistöckig 3-fach verstärkt*       | QThR3h*      | 80*                 |
| Mabey Universal   | Zweiwandig-Einstöckig 2-fach verstärkt         | DShR2h       | 40                  |
|                   | Dreiwandig-Einstöckig 3-fach verstärkt         | TShR3h       | 60                  |
|                   | Dreiwandig-Zweistöckig 3-fach verstärkt        | TDhR3h       | 80                  |
| Mabey Delta       | Gurte ähnlich HEA 600                          | A 600        | 40                  |
|                   | Gurte ähnlich HEA 600                          | A 600        | 50                  |
|                   | Gurte ähnlich HEA 600                          | A 600        | 60                  |
|                   | Gurte ähnlich HEA 600                          | A 600        | 70                  |
|                   | Gurte ähnlich HEB 600                          | B 600        | 80                  |
| Waagner Biro PP30 | Dreiwandig-Einstöckig 3-fach verstärkt Mittel  | TSR3M        | 40                  |
|                   | Dreiwandig-Zweistöckig 3-fach verstärkt Leicht | TDR3L        | 50                  |
|                   | Dreiwandig-Zweistöckig 3-fach verstärkt Schwer | TDR3H        | 60                  |
|                   | Vierwandig-Zweistöckig 3-fach verstärkt Schwer | QDR3H        | 70                  |
|                   | Vierwandig-Dreistöckig 3-fach verstärkt Schwer | QTR3H        | 80                  |
| D-Brücke          | Zweistöckig-Zweiwandig verstärkt               | Z2V-zF       | 40                  |
|                   | Zweistöckig-Zweiwandig verstärkt mit 3. Gurt   | Z2V3-zF      | 50                  |
|                   | nicht ausführbar                               | -            | 60                  |
|                   | nicht ausführbar                               | -            | 70                  |

\* Lt. Unegg [35] nur bedingt ausführbar

Abb. 3.8: Auflistung der maximalen Spannweite ein- und zweispuriger Brücken

$$\text{Anzahl Windverbände} = \text{Anzahl Stöcke} \times \text{Anzahl Träger}$$

$$\text{Anzahl Paneelbolzen} = 8 \times \text{Anzahl Paneelwände} \times \text{Anzahl Stöcke} \times \text{Anzahl Träger} \times \text{Anzahl Verstärkungen}$$

$$\text{Anzahl Gurtverstärkungen} = \text{Anzahl Verstärkungen}$$

In Tabelle 3.10 ist die Aufstellung der Bauteile der Bauform „TShR3h“ inklusive des Einzel- und Gesamtgewichts dargestellt. Indem das Gewicht der einzelnen Bauteile mit ihrer benötigten Anzahl für die einzelnen Systeme summiert und durch die Paneellänge dividiert wird, ergibt sich das Laufmetergewicht.

Dieses Ergebnis stimmt mit den Werten aus dem Merkblatt des ÖBH überein. In der in Tabelle 3.10 angegebenen Aufstellung an Teilen fehlen die Fahrbahnplatten und Schrammborde. Das Gewicht der Fahrbahnplatten mit einer Länge von ca. 3,048 lfm ist im Merkblatt des ÖBH [2] mit 516,8 kg angegeben. Es handelt sich dabei um die „schwere“ Ausführung, welche lt. Unegg GmbH [33] für die zivile Nutzung verwendet werden. Fahrbahnplatten für den militärischen Gebrauch sind mit 320 kg/Stk lt. Unegg GmbH [33] wesentlich leichter. Die 2 benötigten Schrammborde haben ein Gesamtgewicht von 72 kg. Die Gewichts Differenz zwischen einspuriger und zweispuriger Ausführung entsteht durch die unterschiedliche Anzahl an Fahrbahnplatten der Eindeckung sowie der Gewichts Differenz der zum Einsatz kommenden Querträger. Die Gewichts Differenz der Eindeckung beträgt wie in der Berechnung dargestellt 508 kg/lfm. Aufgrund der Ähnlichkeit des Systems mit jenem der Firma Waagner Biro wird das Gewicht der 7,35 m langen Querträger gemäß Waagner Biro GmbH [28] mit 1100 kg angenommen. Damit erhöht sich das Gewicht des Querträgers im Vergleich zum 4,2 m langen Querträger um etwa 214 kg/lfm. Das ergibt eine Gesamterhöhung des Gewichts von zweispurigen Brücken um ca. 722 kg/lfm.

#### Berechnung der Gewichts Differenz zwischen einspurigen und zweispurigen Brücken

Zur Berechnung des Gesamtgewichts zweispuriger Brücken wird das zusätzliche Gewicht der Eindeckung durch die Erhöhung der Fahrbahnplatten und des Querträgers durch die längere Ausführung herangezogen.

- Länge der Fahrbahnplatte: 3,048 m

| Bezeichnung                | Anzahl  | Einzelgewicht [kg] | Gesamtgewicht [kg] |
|----------------------------|---------|--------------------|--------------------|
| Superpaneele               | 6 Stk.  | 342                | 2052               |
| Querträger                 | 1 Stk.  | 448                | 448                |
| Vertikalrahmen             | 2 Stk.  | 56                 | 111                |
| Verstrebungsrahmen         | 2 Stk.  | 52                 | 104                |
| Windverbände               | 2 Stk.  | 43                 | 86                 |
| Paneelbolzen               | 24 Stk. | 3                  | 63                 |
| Gurtverstärkungen          | 12 Stk. | 108                | 1296               |
| <b>Summe pro Feld</b>      |         |                    | <b>4190</b>        |
| <b>Summe pro Laufmeter</b> |         |                    | <b>1375</b>        |

Tab. 3.10: Teile Mabey Compact 200 TShR3h mit Gewicht

| Bezeichnung                   | TShR3h  | QThR4h  |
|-------------------------------|---------|---------|
| Superpaneel                   | 6 Stk.  | 24 Stk. |
| Querträger                    | 1 Stk.  | 1 Stk.  |
| Vertikalrahmen                | 2 Stk.  | 6 Stk.  |
| Verstrebungsrahmen            | 2 Stk.  | 6 Stk.  |
| Windverband                   | 2 Stk.  | 6 Stk.  |
| Paneelbolzen                  | 24 Stk. | 64 Stk. |
| Verstärkungsurte              | 12 Stk. | 16 Stk. |
| Zusatzgewicht Querträger      | 0       | 1       |
| Deck Zivil                    | 4 Stk.  | 7 Stk.  |
| <b>Gesamtgewicht pro Feld</b> | 6,3 to  | 15,9 to |
| <b>Gesamtgewicht pro Lfm</b>  | 2,1 to  | 5,2 to  |

**Tab. 3.11:** Vergleich der Teile und des Gewichts der Bauformen TShR3h und QThR4h des Systems Mabey Compact 200

- Gewicht der schweren Fahrbahnplatte: 516,8 kg
- Gewicht der Schrammborde: 72 kg
- Gewicht 4,2 m langer Querträger: 448 kg
- Gewicht 7,35 m langer Querträger: 1100 kg

$$\text{Gewicht Eindeckung einspurig} = \frac{4 \text{ Stk} \cdot 516,8 \text{ kg/Stk} + 72 \text{ kg/Stk}}{3,048 \text{ lfm}} = 702 \text{ kg/lfm}$$

$$\text{Gewicht Eindeckung zweispurig} = \frac{7 \text{ Stk} \cdot 516,8 \text{ kg/Stk} + 72 \text{ kg/Stk}}{3,048 \text{ lfm}} = 1210 \text{ kg/lfm}$$

$$\text{Gewichtsdifferenz der Eindeckung} = 1210 \text{ kg/lfm} - 702 \text{ kg/lfm} = 508 \text{ kg/lfm}$$

$$\text{Gewichtsdifferenz der Querträger} = \frac{1100 \text{ kg} - 448 \text{ kg}}{3,048 \text{ lfm}} = 214 \text{ kg/lfm}$$

$$\text{Gewichtsdifferenz Gesamt} = 508 \text{ kg/lfm} + 214 \text{ kg/lfm} = 722 \text{ kg/lfm}$$

Um größere Bauformen als die im Merkblatt größte Bauform – „TShR3h“ – zu berechnen, wird die Anzahl der Einzelteile entsprechend erhöht. Erhöht man die Wandanzahl, erhöhen sich auch die Anzahl der Paneele und Bolzen. Erhöht man die Stockanzahl, werden ebenso die Rahmen und Verbände erhöht. Bei einer Fahrbahnverbreiterung wird die Anzahl der Fahrbahnplatten sowie das Gewicht des Querträgers entsprechend erhöht. Die Tabelle 3.11 zeigt einen Vergleich der Teileanzahl der Standardbauform „TShR3h“ mit einer auf diese Weise extrapolierten Bauform „QThR4h“. Die Anzahl der Teile wird dann mit ihrem jeweiligen Gewicht multipliziert und so das Gewicht pro Paneelfeld und Laufmeter berechnet. Da für die Bauform single-single, also einwandig-einstöckig teilweise andere Teile verwendet werden müssen, fällt diese Bauform aus der Berechnung. Das Laufmetergewicht für die ausgewählten Bauformen zwischen 40 m und 80 m ist in Abb. 3.9 dargestellt.

### Mabey Universal

Das Laufmetergewicht der Mabey Universal Brücke wird anhand eines durchgeführten Projektes in Vermont USA im Jahre 2011 ermittelt. Laut dem Artikel der Zeitschrift Roads and Bridges [95] von 2016 wurde eine 2-spurige und 7,35 m breite Mabey Universal Brücke mit einer Gesamtlänge von ca. 120 m und einer größten Einzelspannweite von 80 m errichtet. Das Gewicht des 80 m Feldes betrug ca. 363 000 kg. Damit ergibt sich ein Laufmetergewicht von 4537 kg. Aus den dem Artikel beigefügten Fotos ist ersichtlich, dass es sich um eine dreiwandige-zweistöckige Brücke handelt. Das macht sie um etwa 800 kg/lfm schwerer als eine äquivalente Bauform des Systems Compact 200, bei welcher ebenso ein zusätzlicher Querträger mit eingerechnet wurde. Es wird angenommen, dass das zusätzliche Gewicht großteils aus den schwereren Paneelen kommt. Bei 12 Paneelen für diese Bauform ergibt dies eine Schätzung der Gewichtszunahme von etwa 66 kg pro Paneel und Laufmeter. Damit lassen sich die Laufmetergewichte der anderen in Abb. 3.9 dargestellten Bauformen des Systems Mabey Universal berechnen.

### Waagner Biro PP30

Das Laufmetergewicht wurde aus einem, von Waagner Biro zur Verfügung gestellten Manual [91] entnommen. Im Manual wird nur das Gewicht der leichten Fahrbahnplatten angegeben. Um das Laufmetergewicht der Brücke vergleichbar zu machen und um eine Unterschätzung des Gewichts zu vermeiden, wird für die Darstellung in Abb. 3.9 das Gewicht der schweren Fahrbahnplatten mit 517 kg gewählt. Aufgrund der Ähnlichkeit des System entsprechen die dargestellten Werte in etwa den Werten der Mabey Compact 200, wobei leichte, mittlere und schwere Verstärkungsurte eingesetzt werden können. Die Unterschiede der Gurtwahl wirken sich je nach Anzahl der Verstärkungen mit etwa 100 kg auf das Laufmetergewicht aus. Für Bauformen außerhalb der Standardbauformen und damit nicht im Manual der Firma Waagner Biro [91] angegeben, wurden die Werte des Systems Compact 200 gewählt.

### Mabey Delta

Das Laufmetergewicht der Delta Brücke wurde mit der Unegg GmbH [31] anhand eines Angebots der Firma Mabey Bridge Ltd. ermittelt. Diese Ermittlung ergab einen Laufmeterwert von etwa 2700 kg. Die 54 lfm spannende, 1-spurige Brücke des Angebots gilt als Basiswert und enthält Gurtträger, vergleichbar mit einem HEA600. Da unterschiedliche Stützweiten offenbar durch größere Gurtträger erreicht werden, wird nur dieser zur Variation des Laufmetergewichts herangezogen. Berechnungen mit unterschiedlichen Gurtträgern – HEB600 oder HEM600 – führen zu Erhöhung des Laufmetergewichts. Aus Tabellenwerten für Stahlbauträger [35] wird das Gewicht der unterschiedlichen Träger übernommen. Für einen HEA600 ist dieses mit 180 kg/lfm angegeben. Für einen HEB600 mit 212 kg/lfm. Die Differenz beträgt 32 kg/lfm pro Träger. Die Summe der 4 Träger ergibt 128 kg/lfm – 2 Gurte pro Träger und 2 Träger pro Brücke. Sie wird zum Basiswert addiert und die Ergebnisse in Abb. 3.9 dargestellt. Das Laufmetergewicht 2-spuriger Brücken wird ident mit jenem der Compact 200 um 748 kg/lfm erhöht. Dies ergibt ein Laufmetergewicht der 2-spurigen Mabey Delta Brücke von ca. 3,5 to/lfm

### D-Brücke

Das Laufmetergewicht ist aus den Tabellenwerten des Krupp Handbuch [16] für die D-Brücke entnommen und befindet sich zwischen ca. 1,60 to/lfm und 2,50 to/lfm je nach Bauform.

### 3.3.6 Zusammenfassung

Alle Systembrücken funktionieren nach dem Bausatzprinzip. Die Bausätze können an bestimmte Projektparameter, wie zum Beispiel die zu erreichende Feldlänge oder die geforderte Breite, innerhalb ihrer Grenzen angepasst werden. Systembrücken können in Paneelsysteme und Fach-

werksysteme eingeteilt werden. Die Paneelsysteme inkludieren die Systeme *Compact 200* und *Universal* der Firma Mabey Bridge Ltd. sowie das ältere *Bailey-Gerät* und das System der Firma Waagner Biro GmbH, genannt *Power Panel 30*. Ein ähnliches Paneelsystem bietet auch die Firma Janson Bridging GmbH an. Als Fachwerkbrücke kommen unter anderem die *Mabey Delta Brücke*, die Fachwerkbrücke von Janson Bridging GmbH, das *D-Brückengerät* und die deutsche *SS-80 Brücke* sowie *SKB Brücke* der Firma SEH Engineering in Europa zum Einsatz. Die Bausätze der einzelnen Systeme unterscheiden sich in ihren Grenzen. Alle Systeme sind unter anderem durch die Vorgabe limitiert transportabel und demontierbar zu sein. Vorgegeben sind eine Maximalgröße mit den Abmessungen eines 40 ft Containers sowie der Einsatz trennbarer Verbindungsmittel wie Schrauben oder Bolzen. Die mit diesen Limitationen erreichbare maximalen Spannweiten liegen bei 120 m der SKB Brücke und bei 100 m der Mabey Delta Brücke. Die restlichen Systeme finden ihr Einsatzgebiet bei Brücken mit Feldlängen bis maximal 80 m beziehungsweise bei der D-Brücke bis 50 m.

Um die Systeme vergleichen zu können, wurde ihr Laufmetergewicht ermittelt. Das Gewicht der Brücke wird als ausschlaggebend für den Preis angenommen. Unabhängig von projektspezifischen Parametern wird vorausgesetzt, dass eine Brücke um so teurer wird, je schwerer sie ist. Einen Überblick der Laufmetergewichte der in Abschnitt 3.3 ausgewählten Bauformen der einzelnen Systeme bietet Abb. 3.9. Die Werte im Überblick sind Richtwerte. Die Grundlage dieser bilden aus der Literatur ermittelte Gewichte der Einzelteile, Tabellenwerte der Brückentragwerke und teilweise das Gewicht von gesamten Überbauten. Sie wurden nach der Umrechnung auf die einzelnen Bauformen auf eine Kommastelle genau gerundet. Wie bereits bei der Betrachtung der maximalen Spannweiten in Abb. 3.8 werden die ausgewählten Brücken in ein- und zweispurige Ausführung eingeteilt. Das Gewicht der für eine zweispurige Ausführungen benötigten Fahrbahnpfannen sowie Querträger, welches konstant für alle Bauformen ist, hat mit ca. 730 kg/lfm großen Einfluss auf das Laufmetergewicht. Sowohl für einspurige als auch zweispurige Ausführungen ist die leichteste Bauform ein Tragwerk der D-Brücke, welche sich bis zu Feldlängen von 40 m eignet und die schwerste Bauform jene der größten betrachteten Mabey Compact 200 Brücke mit einer maximalen Spannweite von 80 m. Für einspurige Brücken bewegt sich dies zwischen 1,6 to/lfm und 3,3 to/lfm und für zweispurige Brücken zwischen 2,4 to/lfm und 5,1 to/lfm. Mit diesen Laufmetergewichten werden in den folgenden Kapitel die Preise der Brücken ermittelt und miteinander verglichen.

Einspurige Brücken unter ÖNORM EN 1991-2 LM1 ( $\alpha=0,7$ )

| System                   | Bauform Kurz | max. Spannweite [m] | Gewicht/lfm [t/lfm] |
|--------------------------|--------------|---------------------|---------------------|
| <b>Mabey Compact 200</b> | DShR2h       | 40                  | 1,7                 |
|                          | TShR2h       | 50                  | 2,0                 |
|                          | DDhR2h       | 60                  | 2,3                 |
|                          | TDhR3h       | 70                  | 2,8                 |
|                          | QDhR3h       | 80                  | 3,3                 |
| <b>Mabey Delta</b>       | A 600        | 40                  | 2,7                 |
|                          | A 600        | 50                  | 2,7                 |
|                          | A 600        | 60                  | 2,7                 |
|                          | A 600        | 70                  | 2,7                 |
|                          | A 600        | 80                  | 2,7                 |
|                          | B 600        | 90                  | 2,9                 |
|                          | M 600        | 100                 | 3,2                 |
| <b>Wagner Biro PP30</b>  | DSR2M        | 40                  | 1,7                 |
|                          | TSR2M        | 50                  | 2,0                 |
|                          | DDR2M        | 60                  | 2,2                 |
|                          | TDR3M        | 70                  | 2,8                 |
|                          | QDR3M        | 80                  | 3,3                 |
| <b>D-Brücke</b>          | E2V-eF       | 40                  | 1,6                 |
|                          | Z2V-eF       | 50                  | 1,9                 |
|                          | Z2V3-eF      | 60                  | 2,1                 |
|                          | -            | 70                  | -                   |
|                          | -            | 80                  | -                   |

Zweispurige Brücken unter ÖNORM EN 1991-2 LM1 ( $\alpha=0,7$ )

| System                   | Bauform Kurz | max. Spannweite [m] | Gewicht/lfm [t/lfm] |
|--------------------------|--------------|---------------------|---------------------|
| <b>Mabey Compact 200</b> | TShR3h       | 30                  | 2,8                 |
|                          | TShR3h       | 40                  | 2,8                 |
|                          | TDhR3h       | 50                  | 3,6                 |
|                          | TDhR3h       | 60                  | 3,6                 |
|                          | QDhR3h       | 70                  | 4,1                 |
|                          | QThR3h*      | 80*                 | 5,1                 |
| <b>Mabey Universal</b>   | DShR2h       | 40                  | 2,9                 |
|                          | TShR3h       | 60                  | 3,4                 |
|                          | TDhR3h       | 80                  | 4,5                 |
| <b>Mabey Delta</b>       | A 600        | 40                  | 3,5                 |
|                          | A 600        | 50                  | 3,5                 |
|                          | A 600        | 60                  | 3,5                 |
|                          | A 600        | 70                  | 3,5                 |
|                          | B 600        | 80                  | 3,7                 |
|                          | M 600        | 90                  | 3,9                 |
| <b>Wagner Biro PP30</b>  | TSR3M        | 40                  | 2,9                 |
|                          | TDR3L        | 50                  | 3,5                 |
|                          | TDR3H        | 60                  | 3,7                 |
|                          | QDR3H        | 70                  | 4,1                 |
|                          | QTR3H        | 80                  | 5,1                 |
| <b>D-Brücke</b>          | Z2V-zF       | 40                  | 2,4                 |
|                          | Z2V3-zF      | 50                  | 2,6                 |
|                          | -            | 60                  | -                   |
|                          | -            | 70                  | -                   |

\* Lt. Unegg [35] nur bedingt ausführbar

Abb. 3.9: Auflistung des Laufmetergewichts ein- und zweispuriger Brücken



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# Kapitel 4

## Kostenanalyse

Die Kostenanalyse beschäftigt sich damit die Kostenpositionen von Systembrücken zu analysieren und ein Kostenmodell aufzustellen, mit dem die unterschiedlichen Systembrückentragwerke im Bezug auf ihre Wirtschaftlichkeit verglichen werden können. Die Wirtschaftlichkeit eines System wird als relative Wirtschaftlichkeit zwischen den Systemen im Sinne des Wirtschaftlichkeitsprinzip nach Kropik [38] untersucht. Für den Vergleich der Systeme wird das Wirtschaftlichkeitsprinzip als Minimalprinzip formuliert. Dabei soll ein vorgegebenes Ziel mit dem geringsten Mitteleinsatz erreicht werden. Das wirtschaftlichste System ist damit jenes System, das mit den geringsten Baukosten die vorgegebenen Projektrahmenbedingungen erfüllen kann. Hierzu werden aus der Literatur entnommene Analysen, Expertengespräche sowie Daten von vergangenen Projekten herangezogen. Der Fokus der Kostenanalyse liegt auf dem Überbau. Denn hierfür gibt es eine feste Auswahl an möglichen Systemen. Die Rahmenbedingungen, die zur Auswahl des Systems führen, können im Gegensatz zum Unterbau allgemein definiert werden. Das Ziel ist es damit eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Systeme treffen zu können sowie unter Berücksichtigung der veränderlichen Rohstoffpreise eine Schätzung des Preises eines Systembrückenüberbaus zu ermöglichen.

### 4.1 Kostenpositionen einer Balkenbrücke

Wie in Abschnitt 2.5.1 beschrieben handelt es sich bei größeren Systembrücken immer um eine Form der Fachwerkbalkenbrücke. Daher wird eine bereits durchgeführte Analyse von Mehlhorn [56, S. 203] zu Betonbalkenbrücken – also ein ähnliches Tragwerksystem – als Ausgangsbasis für die Erstellung eines Kostenmodells für Systembrücken herangezogen. Die Kosten einer Balkenbrücke sind gemäß Mehlhorn [56] in folgende Hauptpositionen gegliedert:

- Baustelleneinrichtung
- Unterbau
- Überbau
  - Schalung, Lehrgerüst/Montage
  - Beton
  - Stahl
- Ausbau

Im Brückenhandbuch von Mehlhorn [56] wurden die Baukosten von 20 mittelgroßen Balkenbrücken gemäß dieser Positionen analysiert. Daraus wurde ein Mittelwert berechnet. Diese durchschnittlichen Kosten der 20 analysierten Brücken und die Aufteilung auf die Hauptpositionen in Prozent der Gesamtkosten zeigt Tabelle 4.1. Die Baustelleneinrichtung wird mit 8 %

der Gesamtkosten bewertet. Der Rohbau, gebildet durch den Unterbau mit 23,5 % und den Überbau mit 54,5 %, hat einen Anteil von 78 % an den Gesamtkosten. Der Überbau teilt sich weitergehend in Schalung, Lehrgerüst/Montage mit 20 % und Material mit 34,5 %. Die übrigen 14 % belaufen sich auf den Ausbau. Die Kosten des Unterbaus können laut Mehlhorn [56] aufgrund der stark projektabhängigen Untergrundverhältnisse stärker variieren als die sonstigen Kosten. Seine Analyse [56, S. 203] zeigt jedoch, dass bei einer Brücke mit 50 m Spannweite und einer sehr aufwendigen Gründung die Kosten maximal 50 % der Überbaukosten erreichen. Diese Einteilung berücksichtigt keine Demontage der Brücke. Des Weiteren ist die Aufteilung des Überbaus in Schalung, Lehrgerüst/Montage und in Material ungeeignet für Systembrücken, da vorgefertigte Stahlfachwerkbrücken weder Schalung noch ein Lehrgerüst benötigen. Deshalb erfolgt für die Kostenanalyse in dieser Arbeit eine Aufteilung in folgende Positionen:

**Fertigungskosten:** Die Kosten der Fertigung sind jene Kosten, die entstehen, wenn die Teile der Brücke von den jeweiligen Produzenten für den Kunden hergestellt werden. Das inkludiert sämtliche Aufwendungen der Fachfirmen zur Herstellung der Brückenteile, wie zum Beispiel das Material und die Leistung der Arbeiter in der Fabrik. Diese Kosten können je nach Weltwirtschaftslage stark variieren und sind von vielen firmeninternen sowie externen Parametern abhängig. Der Stahlpreis ist der ausschlaggebendste Faktor. Da es für diese Position in der Analyse nach Mehlhorn [56] kein direktes Gegenüber gibt, ersetzt diese Position im Kostenmodell die Stahl- und Betonposition nach Mehlhorn.

**Transportkosten:** Systembauweisen sind darauf ausgelegt, mit Standardtransportmethoden angeliefert zu werden (LKW, Container). Dies inkludiert alle damit verbundenen Kosten. Nachdem diese Kosten stark von der Transportdistanz abhängig sind, werden nur zwei unterschiedliche Szenarien behandelt. Bei außergewöhnlichen Lieferungsbedingungen – Einschränkung bei Anlieferung mit LKW – verursachen die von der Distanz abhängigen Kosten relativ gesehen einen kleineren Teil der Gesamttransportkosten. Die Position Lieferkosten ist nach Mehlhorn [56] in den Materialkosten inkludiert und wird gemäß Unegg GmbH [32] auch üblicherweise von Systembrückenlieferanten in die Fertigungskosten miteingerechnet. Zur Vereinfachung des Kostenmodells wird in dieser Arbeit ebenso vorgegangen.

| Position                     | Unterposition                | Anteil | Gesamt |
|------------------------------|------------------------------|--------|--------|
| <b>Baustelleneinrichtung</b> |                              |        | 8 %    |
| <b>Unterbau</b>              |                              |        | 23,5 % |
|                              | Fundament                    | 18 %   |        |
|                              | Pfeiler und Widerlager       | 5,5 %  |        |
| <b>Überbau</b>               |                              |        | 54,5 % |
|                              | Schalung, Lehrgerüst/Montage | 20 %   |        |
|                              | Material (Stahl und Beton)   | 34,5 % |        |
| <b>Ausbau</b>                |                              |        | 14 %   |
| <b>Gesamtbaukosten</b>       |                              |        | 100 %  |

Tab. 4.1: Verteilung der Kosten auf die Positionen nach Mehlhorn [56]

**Montage- und Demontagekosten:** Montagekosten inkludieren alle Lohnkosten und Gerätekosten, die beim Bau der Brücke anfallen. Es gibt verschiedene Montagemethoden, welche unterschiedlichen Aufwand mit sich bringen. Weil bei großen Systembrücken lt. Unegg GmbH [31] das Taktschiebverfahren mit Vorbauschnabel am häufigsten angewendet wird, wird dieses Verfahren für die Ermittlung der Kosten aller Systembrücken festgelegt. Zuzufolge der Unegg GmbH [32] entsprechen die Demontagekosten in etwa den Montagekosten und inkludieren die Aufbereitung und Wartung des Systems für einen erneuten Einsatz.

Eine Verteilung dieser Kosten (Fertigung, Lieferung und Montage) auf die Unterpositionen des Überbaus von Systembrücken erfolgt nach Erstellung eines passenden Kostenmodells in Abschnitt 4.2.

## 4.2 Bestandteile des Kostenmodells

Ziel des Kostenmodells ist die Möglichkeit, auf einfache Art und Weise die in der technischen Analyse im Abschnitt 3.3 beschriebenen Systeme zu vergleichen. Sowohl der Stahlpreis, welcher erfahrungsgemäß den größten Einzelkostenfaktor im Stahlbau darstellt, als auch die Fertigungskosten, welche nach Angaben der Unegg GmbH [31] die größte Kostenposition ist, sind nur vom Gewicht der Systembrücke abhängig. Deshalb werden die Preise aller Systeme qualitativ über nur einen Faktor, nämlich das Laufmetergewicht, bestimmt und so vergleichbar gemacht. Dabei stellen alle Preise Nettopreise dar. Dieses Kapitel beschäftigt sich jedoch nicht nur mit der Aufstellung der Kosten und Preise im Bezug auf diesen Faktor und deren Anwendbarkeit, sondern auch mit der Verteilung der Kosten auf einzelne Kostenpositionen. Um eine Summe aus den einzelnen Preisen der Kostenpositionen bilden zu können, werden die Preise auf Euro pro Tonne umgerechnet. Dies erfolgt im ersten Schritt für die Positionen Fertigungskosten, Transportkosten und Montagekosten sowie durch Umlage für Baustelleneinrichtung, Unterbau, Gründung und Ausbau. Anschließend verbindet das Kostenmodell die aus der technischen Analyse ermittelten Tonnen pro Laufmeter Brücke mit der Summe der einzelnen Positionspreise. Weil es dadurch zur Angabe eines einzigen Preises pro Tonne kommt, sind die Preise für alle Systeme direkt proportional zu den Laufmetergewichten. Daraus folgt, dass das System mit dem geringsten Gewicht pro Laufmeter, welches die technischen Anforderungen erfüllt, auch das wirtschaftlichste System ist. Gleichzeitig werden die ermittelten Preise prozentual mit den von Mehlhorn in Tabelle 4.1 ermittelten Werten verglichen, um die Unterschiede zu konventionellen Balkenbrücken darzustellen. Die anschließenden Abschnitte zeigen die Vorgehensweisen für die Ermittlung der Positionspreise.

### 4.2.1 Baustelleneinrichtung

Die Baustelleneinrichtung und der vorhandene Platz beeinflussen die Montagebedingungen maßgeblich. Teurere, aber platzsparende Methoden sind aus diesen Gründen oft die einzige Möglichkeit. Sie können jedoch nur projektspezifisch betrachtet und daher in dieser Arbeit nicht im Detail berücksichtigt werden. Es wird daher davon ausgegangen, dass genug Platz für das Taktschiebverfahren beziehungsweise für eine Unterstützung mit dem für die Montage ohnehin benötigten Kran möglich ist. Weil Baustelleneinrichtungskosten durch die Miete des benötigten Platzes sowie der Container einen großen Anteil an zeitgebundenen Kosten aufweisen, ist anzunehmen, dass diese beim Bau von Systembrücken geringer ausfallen. Für das Kostenmodell wird jedoch aufgrund fehlender Daten die Baustelleneinrichtung ident mit jenem, aus der Analyse nach Mehlhorn [56] hervorgehendem Anteil an den Gesamtkosten von 8 % herangezogen.

### 4.2.2 Fertigungspreis

Der Preis für die Fertigung wird durch die produzierenden Firmen angegeben. Laut Angaben der Firma Unegg GmbH [31] sowie der Firma Waagner Biro [28] kann eine Systembrücke für ca. 3.000 €/to bis 4.000 €/to erworben werden. Nachdem der Stahlpreis derzeit großen Schwankungen ausgesetzt ist, wird an dieser Stelle hervorgehoben, dass dieser Preis im Sommer 2021 erhoben wurde. Für diese Arbeit wird ein Preis für die Fertigung von 4.000 €/to gewählt. Dies dient vor allem als Richtwert für den Vergleich der Brückensysteme miteinander. Angebote von Firmen werden lt. Unegg GmbH [32] bei Projekten in der Praxis auch anhand des Gewichts der Brücken erstellt und können für konkrete Projekte bei den Herstellerfirmen eingeholt werden.

### 4.2.3 Transportpreis

Obwohl die Firmen bei Bestellung einer Systembrücke lt. Unegg GmbH [31] die Transportkosten meist im Fertigungspreis inkludieren, folgt vollständigkeitshalber eine kurze Aufstellung der möglichen Transportkosten unter der Voraussetzung, dass der Großteil der LKW mit der Last von 24 to beladen werden kann. Ein Artikel der BMEnet GmbH [41] weist darauf hin, dass die internationalen Transportpreise pro Kilometer relativ konstant mit zunehmender Entfernung abnehmen, ganz so wie bei den nationalen Frachtraten. 2021 betrug der Frachtpreis in Deutschland auf nationaler Ebene 1,87 €/km und 1,60 €/km auf internationaler Ebene. Anzumerken ist, dass die mittleren Frachtraten erheblich durch länderspezifische Faktoren wie Lohn-, Maut- und Treibstoffkosten beeinflusst werden. Als Beispiel wird ein Transport innerhalb Österreichs von etwa 400 km mit Kosten von 1,87 €/km und ein Transport aus England mit 1500 km und 1,60 €/km herangezogen. Bei einem LKW, der mit 24 to Brückenteilen beladen ist, belaufen sich daher die Kosten innerhalb von Österreich auf 31,16 €/to<sup>1</sup> und von England auf 100,00 €/to<sup>2</sup>.

### 4.2.4 Montagepreis

Die Montagekosten werden durch den Aufwandswert, welcher die benötigten Stunden pro Mann und Laufmeter Brücke beschreibt, die Kosten der Arbeiter sowie die Kosten der benötigten Geräte bestimmt. Unabhängig von der Spannweite der Brücke sind lt. Angaben des ÖBH [34] für einstöckige Systembrücken 4 bis 6 Arbeiter, 1 Richtmeister und 1 Kran für die Montage und Demontage eines Standardsystems sinnvoll. Die Aufwendungen zur Herstellung einiger einstöckiger Paneelbrücken wurden vom ÖBH [34, 86] erfasst und in Tabelle 4.2 dargestellt. Weiters wurden Daten aus zwei vergangenen internationalen Projekt mit 2-spurigen Mabey Delta Brücken [45] [48] für die Aufwendungen von größeren Brückenbauprojekten herangezogen. Anhand dieser Beispiele erfolgt eine Nachkalkulation der Montagepreise. Wurden in den Aufzeichnungen die Baudauer als Arbeitstage angegeben, wurde diese mit der Annahme von 8 h pro Arbeitstag umgerechnet. Weiters wird die Montage mittels Taktschiebeverfahren und unter Einsatz eines Mobilkrans angenommen.

In erster Linie ist in Tabelle 4.2 zu erkennen, dass die Systeme Compact 200 (DShR2h) der Firma Mabey Bridge Ltd. und Power Panel 30 (DSR2M) der Firma Waagner Biro bei gleicher Bauart einen ähnlichen Aufwand aufweisen – Vergleich Zeile 2 und Zeile 3. Weiters ist zumindest ab 10 Arbeitern der negative Einfluss auf die Effizienz bei zusätzlicher Disposition von Arbeitern zu erkennen. Der Aufwandswert bei einer Verdoppelung der Arbeiter steigt bei der betrachteten Bauart um 28 %<sup>3</sup>. Dem Projekt in Zeile 5 ist ein zusätzlicher Kran zur Verfügung gestanden. Mit Hilfe eines zweiten Kranes kann eine weitere Arbeiterpartie beim Aufbau der Brücke mitwirken.

<sup>1</sup>(1,87 €/km · 400 km)/24 to = 31,16 €/to

<sup>2</sup>(1,60 €/km · 1500 km)/24 to = 100,00 €/to

<sup>3</sup>(8,00/6,25 – 1) · 100 = 28 %

| Bauart  | Länge<br>[lfm] | Arbeiter<br>[Ma] | Bauzeit<br>[h] | Aufwand<br>[h/lfm] |
|---------|----------------|------------------|----------------|--------------------|
| SShRh   | 40             | 6                | 16             | 2,40               |
| DShR2h  | 40             | 5                | 40             | 5,00               |
| DSR2M   | 40             | 10               | 25             | 6,25               |
| DSR2M   | 40             | 20               | 16             | 8,00               |
| DShR2h* | 40             | 14               | 10             | 3,50               |
| TShR3h  | 61             | 7                | 72             | 8,26               |
| Delta 1 | 81             | 22               | 150            | 40,74              |
| Delta 2 | 328,5          | 24               | 448            | 32,73              |

\*bei diesem Projekt wurden 2 Kräne verwendet

Tab. 4.2: Aufwandswert zur Montage von 1 Laufmeter Brücke [34]

Dadurch reduziert sich der Aufwandswert pro Laufmeter um 30 %<sup>4</sup> – Vergleich Zeile 2 und Zeile 5. Die Tabelle 4.2 veranschaulicht auch den Mehraufwand bei größeren Systemen. Der Aufwand zur Montage einer Mabey Delta Brücke (Delta 1 und Delta 2) ist aufgrund der größeren und schwereren Bauteile um einiges höher. Zu beachten gilt jedoch, dass diese Projekte international ausgeführt wurden und daher sowohl die Ausbildung der Arbeiter als auch die zur Verfügung stehende Ausrüstung nicht bekannt ist. Bei den Projekten ist ein Mobilkran zur Verfügung gestanden, wobei beim Brückenbau in Pakistan (Delta 2) von Mabey Bridge Ltd. [48] besonders angemerkt wurde, dass die Ausrüstung vor Ort limitiert war.

### Mittellohnpreis

Zur Kalkulation des Mittellohnpreises wurde mit dem Kalkulationstool von Weber [93] ein K3 Blatt erstellt. Dieses kalkuliert eine Partiestärke von 7 Mann, entlohnt nach dem Kollektivvertrag für Bauindustrie und Baugewerbe (Arbeiter) und repräsentativen Schätzungen des außerkollektivvertraglichen Entgelts von 15 % sowie der branchenüblichen Zulagen. Des Weiteren wurde die produktive Arbeitszeit des Vizepoliere bei 35 %<sup>5</sup> angesetzt. Da keine Überstunden vorgesehen sind, wird nur die Zeitausgleichstunde berücksichtigt. Personalgemeinkosten sind mit 6,87 % angesetzt. Dies inkludiert Kleinwerkzeug und Sicherheitsausrüstung. Der Gesamtzuschlag wurde in Anlehnung an Kropik[38] mit Geschäftsgemeinkosten von 15 % angesetzt. Finanzierungskosten wurden für die erwartungsgemäß eher kurzen Projekte mit 3 % angenommen. Für das Wagnis wird ebenso 3 % angenommen und für den Gewinn 5 %. Dies ergibt einen Gesamtzuschlag von 27,92 % wie in Abb. 4.1 dargestellt und entspricht in etwa dem von Kropik [37, S. 8] angegebenen Wert. Der so ermittelte Mittellohnpreis beträgt 58,88 €.

In Tabelle 4.3 sind die Preise des Personals pro Laufmeter Brücke dargestellt. Um eine Summe mit allen Kostenpositionen bilden zu können, werden die Preise mithilfe des Laufmetergewichts aus der technischen Analyse, Abschnitt 3.3, auf die Einheit €/to umgerechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.3 zusammengefasst. Beispielhaft wird der Rechenweg für die Zeile 6 näher erläutert. Die Berechnung des Preises pro Laufmeter sowie des Preises pro Tonne erfolgt dabei mit der Montagedauer für die ausgewählte Bauform sowie der Partiestärke und der Länge der Brücke. Mit diesen Parametern kann der Aufwandswert (8,26 h/lfm) ermittelt werden. Dieser wird verwendet, um mit dem Mittellohnpreis (58,88 €/h) den Preis pro Laufmeter (486 €/lfm)

<sup>4</sup> $(3,50/5,00 - 1) \cdot 100 = -30 \%$

<sup>5</sup>Geringer Anteil an produktiver Zeit als Folge des logistisch anspruchsvollen Arbeitsablaufs beim Brückenbau und dem damit verbundenen erhöhten Zeitaufwand für Koordinations- und Aufsichtstätigkeiten.

| K3 Personalpreis   |  | Projekt:                          |        | Diplomarbeit Systembrückenbau     |                               |          |         |
|--|--|-----------------------------------|--------|-----------------------------------|-------------------------------|----------|---------|
| Bezeichnung / Betriebsmittelnr.                                    |  | Bezeichnung: 1A Betriebsmittelnr. |        | Unternehmen                       |                               |          |         |
| Gz UN: 12345   |  | Gz AG: 4321                       |        | Musterunternehmen                 |                               |          |         |
| LOHN X   |  | FÜR MONTAGE X                     |        | Erstellt am: 09.07.2022           |                               |          |         |
| GEHALT   |  | FÜR VORFERT.                      |        |                                   |                               |          |         |
| FÜR REGIE  |  |                                   |        |                                   |                               |          |         |
| KV-Bez.: KV - Bauindustrie & Baugewerbe                            |  | KV-Datum: 01.05.2022              |        | Preisbasis lt. Angebotsunterlagen |                               |          |         |
| Gruppe & Bezeichnung   |  | KV-Entgelt                        | Anteil | gewicht. Wert                     | KV - Wochenarbeitszeit:       | 39,0 h   |         |
| 1a   | I. Vizepolier  | 18,08 €                           | 6%     | 1,00 €                            | Mehrarbeit bzw. Überstd.:     | Zuschlag | Stunden |
| 1b   | IIa. Facharbeiter - Vorarbeiter                                    | 17,59 €                           | 16%    | 2,77 €                            | Zeitausgleichsstd. iVmF       | 0%       | 1,0 h   |
| 1c   | IIb. Facharbeiter - Facharbeiter                                   | 16,02 €                           | 16%    | 2,52 €                            | Überstunde 50%                | 50%      | 0,0 h   |
| 1d   | IIIa. Angelernte Bauarbeiter                                       | 16,01 €                           | 0%     | - €                               | Überstunde 100%               | 100%     | 0,0 h   |
| 1e   | IIIb. Angelernt. Bauarbeiter                                       | 15,64 €                           | 0%     | - €                               | Überstunde zw 5 - 20 Uhr      | 50%      | 0,0 h   |
| 1f   | IIIc. Angelernt. Bauarbeiter                                       | 15,29 €                           | 31%    | 4,82 €                            | Überstunde zw 20 - 5 Uhr      | 100%     | 0,0 h   |
| 1g   | IIId. Angelernt. Bauarbeiter                                       | 14,89 €                           | 0%     | - €                               | Überstunde nach Nachtschicht  | 100%     | 0,0 h   |
| 1h   | IIIe. Angelernt. Bauarbeiter                                       | 14,36 €                           | 0%     | - €                               | 0                             | 0%       | 0,0 h   |
| 1i   | IV. Bauhilfsarbeiter   | 13,64 €                           | 31%    | 4,30 €                            | 0                             | 0%       | 0,0 h   |
| 1j   | V. Sonstiges Hilfspersonal   | 12,50 €                           | 0%     | - €                               |                               |          |         |
| 2  | Gewichtetes kollektivvertragliches Entgelt                         |                                   | 100%   | 15,41 €                           | Kalkulierte Wochenarbeitszeit |          | 40,0 h  |
|  |  |                                   |        |                                   |                               | A        | B       |
| 3  | <b>Gewichtetes kollektivvertragliches Entgelt</b>                  |                                   |        |                                   |                               |          | 15,41 € |
| 4  | Anteil für unproduktive Zeiten                                     | % auf B3                          | 12,01% |                                   |                               |          | 1,85 €  |
| 5  | <b>KV-Entgelt inkl. unprodukt. Zeiten</b>                          | Summe B3 bis B4                   |        |                                   |                               |          | 17,26 € |
| 6  | Außerkollektivvertragliches Entgelt                                |                                   |        |                                   |                               |          | 2,60 €  |
| 7  | Zulagen z.B. für Erschwernisse                                     |                                   |        |                                   |                               |          | 0,49 €  |
| 8  | Arbeitszeitzuschläge z.B. für Überstunden                          |                                   |        |                                   |                               |          | - €     |
| 9  | Abgabepflichtige Aufwandsentschädigungen z.B. für Wegzeitvergütung |                                   |        |                                   |                               |          | - €     |
| 10   | <b>Abgabepflichtige Personalkosten</b>                             | Summe B5 bis B9                   |        |                                   |                               |          | 20,35 € |
| 11   | Nicht abgabepflichtige Personalkosten z.B. für Taggeld             |                                   |        |                                   |                               |          | - €     |
| 12   | Direkte Personalnebenkosten  | in % auf B10                      | 29,11% |                                   |                               |          | 5,92 €  |
| 13   | Umgelegte Personalnebenkosten                                      | in % auf B10                      | 82,52% |                                   |                               |          | 16,79 € |
| 14   | Weitere Personalnebenkosten  |                                   |        |                                   |                               |          | - €     |
| 15   | <b>Personalkosten vor Zurechnungen</b>                             | Summe B10 bis B14                 |        |                                   |                               |          | 43,07 € |
| 16   | Personalgemeinkosten   | in % auf B15                      | 6,87%  |                                   |                               |          | 2,96 €  |
| 17a  | Umlage von Kosten in Euro für:                                     |                                   |        |                                   |                               | - €      |         |
| 17b  | Umlage von Kosten in Euro für:                                     |                                   |        |                                   |                               | - €      |         |
| 17c  | Umlage von Kosten in Euro für:                                     |                                   |        |                                   |                               | - €      |         |
| 17d  | Umlage von Kosten in Euro für:                                     |                                   |        |                                   |                               | - €      |         |
| 18   | <b>Kosten (Umlagen bzw. Personal)</b>                              | Summe aller A17 bzw. B15 + B16    |        |                                   |                               | - €      | 46,03 € |
| 19   | <b>Personalkosten gesamt</b>                                       | A18 + B18                         |        |                                   |                               |          | 46,03 € |
|  | <b>Mittelohn - Mittelgehalt - Regielohn - Regiegehalt - Kosten</b> |                                   |        |                                   |                               |          |         |
| 20   | Gesamtzuschlag gem. Formblatt K2                                   | in % auf A18                      | 0,00%  | in % auf B18                      | 27,92%                        | - €      | 12,85 € |
| 21   | <b>Preise (Umlagen bzw. Personal)</b>                              | A18 + A20; B18 + B20              |        |                                   |                               | - €      | 58,88 € |
| 22   | <b>Personalpreis gesamt</b>  | A21 + B21                         |        |                                   |                               |          | 58,88 € |
|  | <b>Mittelohn - Mittelgehalt - Regielohn - Regiegehalt - Preis</b>  |                                   |        |                                   |                               |          |         |
| Es bedeutet: Gz Geschäftszahl<br>UN Unternehmen<br>AG Auftraggeber |  |                                   |        |                                   |                               |          |         |

Abb. 4.1: K3 Blatt zur Ermittlung des Mittelohnpreises [93]

zu ermitteln. Anschließend kann daraus mit dem in Kapitel 3 festgelegten Laufmetergewicht der Preis pro Tonne wie folgt berechnet (243 €/to) werden:

#### Berechnung Zeile 6 der Tabelle 4.2 und Tabelle 4.3

Gemäß den Angaben des ÖBH [34] sind für die Montage einer Brücke der Bauform TShR3h folgende Aufwendungen und Kosten zu berücksichtigen:

- Länge der Brücke: 61 lfm
- Montagedauer in Arbeitstagen: 9 AT
- Stunden pro Arbeitstag: 8 h/AT
- Partiestärke: 7 Ma
- Mittellohnpreis: 58,88 €/h
- Laufmetergewicht: 2,0 to/lfm

$$\text{Aufandswert} = \frac{9 \text{ AT} \cdot 8 \text{ h/AT} \cdot 7 \text{ Ma}}{61 \text{ lfm}} = 8,26 \text{ h/lfm}$$

$$\text{Preis pro Laufmeter} = 8,26 \text{ h/lfm} \cdot 58,88 \text{ €/h} = 486 \text{ €/lfm}$$

$$\text{Preis pro Tonne} = \frac{486 \text{ €/lfm}}{2 \text{ to/lfm}} = 243 \text{ €/to}$$

Aus Tabelle 4.3 geht hervor, dass der Preis pro Tonne sogar innerhalb eines Systems zwischen unterschiedlichen Bauformen nicht proportional zum Gewicht pro Laufmeter ansteigt. Damit der Preis größerer Brückensysteme nicht unterschätzt und jener kleinerer Systeme nicht überschätzt wird, müsste der Preis pro Tonne bei allen Systemen unter der Voraussetzung ähnlicher Partiestärken und von ähnlichem Geräteinsatz gleich bleiben. Die Ursache der steigenden Preise bei größeren Tragwerken ist lt. Unegg [33] die größere Anzahl an Verbindungen und das Arbeiten auf engerem Raum bei der Erhöhung der Paneelanzahl innerhalb eines Trägers. Die Montagekosten von 121 €/to bis 685 €/to machen gegenüber den angenommenen Fertigungskosten von 4,000 €/to, 3 % bis 17 % aus. Die Tonnenpreise inklusive der Fertigungskosten sind in Tabelle 4.4 dargestellt. Das zeigt den geringen Anteil der Personalkosten an den Gesamtkosten. Aufgrund der sehr

| Bauart  | Brückenlänge<br>[lfm] | Aufwand<br>[h/lfm] | Laufmetergewicht<br>[to/lfm] | Preis/lfm<br>[€/lfm] | Preis/to<br>[€/to] |
|---------|-----------------------|--------------------|------------------------------|----------------------|--------------------|
| SShRh   | 40                    | 2,40               | 1,0                          | 141                  | 141                |
| DShR2h  | 40                    | 5,00               | 1,7                          | 294                  | 173                |
| DSR2M   | 40                    | 6,25               | 1,7                          | 368                  | 216                |
| DSR2M   | 40                    | 8,00               | 1,7                          | 471                  | 277                |
| DShR2h* | 40                    | 3,50               | 1,7                          | 206                  | 121                |
| TShR3h  | 61                    | 8,26               | 2,0                          | 486                  | 243                |
| Delta 1 | 81                    | 40,74              | 3,5                          | 2.399                | 685                |
| Delta 2 | 328,5                 | 32,73              | 3,5                          | 1.927                | 551                |

\*bei diesem Projekt wurden 2 Kräne verwendet

**Tab. 4.3:** Personalpreis pro Tonne Brücke mit einem Mittellohnpreis pro Stunde von 58,88 €/h

| Bauart         | Einzelspannweite<br>[lfm] | Lfmgewicht<br>[to/lfm] | Personal<br>[€/to] | Fertigung<br>[€/to] | Gesamt<br>[€/to] |
|----------------|---------------------------|------------------------|--------------------|---------------------|------------------|
| <b>SShRh</b>   | 40                        | 1,0                    | 141                | 4.000               | 4.141            |
| <b>DShR2h</b>  | 40                        | 1,7                    | 173                | 4.000               | 4.173            |
| <b>DSR2M</b>   | 40                        | 1,7                    | 216                | 4.000               | 4.216            |
| <b>DSR2M</b>   | 40                        | 1,7                    | 277                | 4.000               | 4.277            |
| <b>DShR2h*</b> | 40                        | 1,7                    | 121                | 4.000               | 4.121            |
| <b>TShR3h</b>  | 61                        | 2,0                    | 243                | 4.000               | 4.243            |
| <b>Delta 1</b> | 81                        | 3,5                    | 685                | 4.000               | 4.685            |
| <b>Delta 2</b> | 61                        | 3,5                    | 551                | 4.000               | 4.551            |

\*bei diesem Projekt wurden 2 Kräne verwendet

**Tab. 4.4:** Summe Personal- und Fertigungspreis pro Tonne Brücke

begrenzten Anzahl an Projekten wird davon ausgegangen, dass sich der Preis für das Personal für alle Systembrücken zwischen 121 €/to bis 685 €/to bewegt.

### Krankkalkulation

Nach Abstimmung mit Experten der Fachfirmen für Systembrücken [33] wurde ein 90 tm Mobilkran zur Kalkulation der Gerätekosten für das Kostenmodell herangezogen. Dieser ist in der Lage, die schwersten Teile einer Mabey Delta Brücke, welche lt. einem Medienbericht der Hemming Group Ltd. [23] knapp über 4 to haben können, mit einer Ausladung von ca. 16 m zu heben [42]. In der aktuellen Baugeräteliste werden für den Mobilkran C.2.01.0090 monatliche Abschreibungs- und Verzinsungskosten von 5.750 € sowie Reparaturkosten von 3.950 € angegeben. Bei Betriebsstunden von 145 h/VM belaufen sich die Kosten, welche zur Vereinfachung nicht in Lohn und Sonstiges geteilt werden, auf 66,90 €/h. Es wird eine Leistung von 150 kW in der Baugeräteliste [22] angegeben. Zudem wird ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,30 angenommen. Unter Annahme eines durchschnittlichen Verbrauchs und Dieselposten in Anlehnung an die Ausführung von Goger[18] sowie sonstiger Betriebsmittel werden die Kosten pro Stunde berechnet (12,62 €/h). Der Kranfahrer ist gemäß Preisliste einer Baufirma mit 50,22 €/h ohne Gesamtzuschlag zu berücksichtigen. Mit 20 % Gesamtzuschlag auf die Gerätekosten wurde ein Wert zwischen einer Annahme von Lang und Wolkerstorfer [40] mit 15,92 % und jener von Kropik [36] mit 24,96 % gewählt. Der Preis des Mobilkrans beläuft sich bei einem Gesamtzuschlag von 20 % somit auf 155,69 €/h.

#### Kostenberechnung für den Mobilkran C.2.01.0090

Gemäß Baugeräteliste [22] sind für den ausgewählten Mobilkran mit 90 tm folgende Kosten zu berücksichtigen:

- Abschreibungs- und Verzinsungskosten: 5.750,00 €/Mo
- Reparaturkosten: 3.950,00 €/Mo
- Betriebsstunden je Monat: 145 h/VM

$$\text{Krankkosten pro Monat} = 5750,00 \text{ €/Mo} + 3950,00 \text{ €/Mo} = 9700,00 \text{ €/Mo}$$

$$\text{Krankkosten pro Stunde} = \frac{9700,00 \text{ €/Mo}}{145 \text{ h/VM}} = 66,90 \text{ €/h}$$

Kalkulation der Betriebsmittel:

- Leistung (mit Gleichzeitigkeitsfaktor 30%):  $150 \text{ kW} \cdot 0,30 = 45 \text{ kW}$
- Verbrauch:  $0,151/\text{kW}$
- Preis Diesel:  $1,40 \text{ €/l}$
- Sonst. Betriebsmittel: 10%

$$\text{Betriebsmittelkosten} = (45 \text{ kW} \cdot 0,151/\text{kW} \cdot 1,40 \text{ €/l}) \cdot 1,10 = 10,40 \text{ €/h}$$

Kalkulation Preis pro Stunde:

- Kranfahrer:  $50,23 \text{ €/h}$
- Gesamtzuschlag: 20%

$$\text{Preis Mobilkran} = (66,90 \text{ €/h} + 10,40 \text{ €/h} + 50,23 \text{ €/h}) \cdot 1,20 = 153,02 \text{ €/h}$$

Für die Umrechnung zur Verwendung im Kostenmodell auf die Einheit €/to werden erneut die in diesem Abschnitt bereits genannten Projekte verwendet. Zuerst werden jedoch mit Hilfe der Bauzeit bzw. Kranstunden und der Gesamtkosten für die Montage die Preise pro Laufmeter Brücke berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.5 dargestellt. Nachdem nicht aufgezeichnet wurde, wie lange sich der Kran auf den jeweiligen Projekten befunden hat, wird davon ausgegangen, dass er die komplette Montage unterstützt hat. Anzumerken ist auch, dass die kleineren Tragwerke einen kleineren Kran benutzt haben und daher deren Kosten überschätzt werden. Da es sich jedoch um die Analyse von Brücken über große Flüsse handelt, wird keine Rücksicht auf die Benutzung von kleineren Kränen genommen und der Kranpreis für alle Tragwerke gleich hoch angesetzt.

#### Berechnung des Kranpreises der Tabelle 4.5

Beispielhaft wird Preis eines Krans für eine 81 m lange Delta Brücke (Tabelle 4.5 Zeile 7) berechnet:

- Länge der Brücke: 61 lfm
- Kranpreis:  $153 \text{ €/h}$
- Kranstunden: 150 h
- Laufmetergewicht:  $2,0 \text{ to/lfm}$

$$\text{Gesamtpreis} = 153,00 \text{ €/h} \cdot 150 \text{ h} = 22\,952,98 \text{ €}$$

$$\text{Preis pro Laufmeter} = \frac{22\,952,98 \text{ €}}{81 \text{ lfm}} = 283,37 \text{ €/lfm}$$

$$\text{Preis pro Tonne} = \frac{283,37 \text{ €/lfm}}{3,5 \text{ to/lfm}} = 80,96 \text{ €/to}$$

#### Montagepreis

Anhand des Mittellohnpreises sowie des Gerätepreises aus der Krankalkulation lässt sich der Montagepreis für alle Projekte in Tabelle 4.6 ermitteln. Obwohl der Montagepreis bei größeren

| Bauart         | Länge<br>[lfm] | Kranstunden<br>[h] | Kranpreis<br>[€] | Preis/lfm<br>[€/lfm] | Gewicht/lfm<br>[to/lfm] | Preis/to<br>[€/to] |
|----------------|----------------|--------------------|------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|
| <b>SShRh</b>   | 40             | 16                 | 2.448            | 61                   | 1,0                     | 61                 |
| <b>DShR2h</b>  | 40             | 40                 | 6.121            | 153                  | 1,7                     | 90                 |
| <b>DSR2M</b>   | 40             | 25                 | 3.826            | 96                   | 1,7                     | 56                 |
| <b>DSR2M</b>   | 40             | 16                 | 2.448            | 61                   | 1,7                     | 36                 |
| <b>DShR2h*</b> | 40             | 20                 | 3.060            | 77                   | 1,7                     | 45                 |
| <b>TShR3h</b>  | 61             | 72                 | 11.017           | 181                  | 2,0                     | 90                 |
| <b>Delta 1</b> | 81             | 150                | 23.254           | 283                  | 3,5                     | 81                 |
| <b>Delta 2</b> | 328,5          | 448                | 69.750           | 209                  | 3,5                     | 60                 |

\*bei diesem Projekt wurden 2 Kräne verwendet

**Tab. 4.5:** Kranpreis pro Tonne Brücke mit einem Kranpreis pro Stunde von 153€

| Bauart         | Einzelspannweite ( $w$ )<br>[to/lfm] | Personal<br>[€/to] | Kran<br>[€/to] | Montage ( $x$ )<br>[€/to] |
|----------------|--------------------------------------|--------------------|----------------|---------------------------|
| <b>SShRh</b>   | 40                                   | 61                 | 141            | 202                       |
| <b>DShR2h</b>  | 40                                   | 90                 | 173            | 263                       |
| <b>DSR2M</b>   | 40                                   | 56                 | 216            | 272                       |
| <b>DSR2M</b>   | 40                                   | 36                 | 277            | 313                       |
| <b>DShR2h*</b> | 40                                   | 45                 | 121            | 166                       |
| <b>TShR3h</b>  | 61                                   | 90                 | 243            | 333                       |
| <b>Delta 1</b> | 81                                   | 81                 | 685            | 766                       |
| <b>Delta 2</b> | 61                                   | 60                 | 551            | 611                       |

\*bei diesem Projekt wurden 2 Kräne verwendet

**Tab. 4.6:** Preis inklusive Montage von 1 Tonne Brücke

Tragwerken stark zunimmt, beträgt die Differenz vom kleinsten zum größten Tragwerk unter Berücksichtigung des gesamten Überbaupreises inklusive Fertigung nur etwa 14%<sup>6</sup>.

Da im Kostenmodell nach Möglichkeit nur ein Wert für den Montagepreis angegeben werden soll, soll dieser alle Tragwerke abdecken. Dadurch, dass bei Brücken über große Flüsse größere Tragwerke zum Einsatz kommen, wird der arithmetische Mittelwert nach der Einzelspannweite des jeweiligen Tragwerks gewichtet. Der gewichtete Mittelwert ( $\bar{x}$ ) wird aus der Summe des Produktes der Einzelspannweite ( $w$ ) mit dem Montagepreis pro Tonne ( $x$ ) und der Summe der Einzelspannweiten ( $w$ ) wie folgt gebildet:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^8 w_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^8 w_i} \quad (4.1)$$

Die Berechnung über die in Tabelle 4.6 gelisteten Systeme ergibt einen Wert von 418€/to<sup>7</sup>. Dieser Wert zur Berechnung unterschiedlicher Tragwerke wird daher mit 418€/to angenommen. Zur Prüfung dieses Wertes wurde er mit Daten, welche von der Unegg GmbH [33] zu einem konkreten Projekt zur Verfügung gestellt wurden, verglichen. Montage und Demontagekosten

<sup>6</sup> $((4766 - 4166)/4166) \cdot 100 = 14\%$

<sup>7</sup> $\bar{x} = \frac{40 \cdot 202 + 40 \cdot 263 + 40 \cdot 272 + 40 \cdot 313 + 40 \cdot 166 + 61 \cdot 333 + 81 \cdot 766 + 61 \cdot 611}{40 + 40 + 40 + 40 + 40 + 61 + 81 + 61} = 418 \text{ €/to}$

werden wie in Abschnitt 4.1 erklärt in gleicher Höhe bewertet. Daraus folgt ein Preis von  $2 \cdot 418 \text{ €/to} = 836 \text{ €/to}$  für das komplette Bauvorhaben.

#### 4.2.5 Unterbau und Gründung

Für den Unterbau und die Gründung wird von einem Pfahlssystem ausgegangen. Anhaltspunkt dieser Kostenposition bietet auch hier die Analyse nach Mehlhorn [56]. Daraus gehen die Kosten für den Unterbau inklusive Gründungen mit 23,5 % der Gesamtkosten oder etwa 43 % der Überbaukosten hervor. Weiters wird bei einer Brücke mit Spannweiten von 50 m, Pfeilerhöhen von bis zu 80 m und einer bis zu 70 m tiefen Gründung festgestellt, dass die Unterbaukosten maximal 50 % der Überbaukosten ausmachen. Gründungskosten können jedoch stark variieren, wie ein Projekt in Vorarlberg [33] zeigt, bei dem die Gründung inkl. Pfeiler einer Systembrücke etwa 200 % der Überbaukosten ausgemacht hat. Diese Kosten für Gründungen sind lt. Herrn Unegg selbst bei schlechten Untergrundbedingungen ungewöhnlich. In dieser Arbeit wird daher, angelehnt an Mehlhorn, von 50 % des Überbaupreises beziehungsweise 27 % des Gesamtpreises ausgegangen.

#### 4.2.6 Ausbau

Der Ausbau beinhaltet nach Mehlhorn [56] Lager, Fugen, Entwässerung, Eindeckung sowie Fahrbahnabdichtung und Belag. Da die Gesamtkosten des Projektes 100 % ergeben müssen und die Gründung mit einem höheren Prozentsatz der Gesamtkosten angenommen wurde, bleiben im Gegensatz zu Mehlhorn für den Ausbau noch 11 %<sup>8</sup>. Dieser geringere Wert kann damit begründet werden, dass der Belag sowie die Eindeckung in den Fertigungskosten einer Systembrücke inkludiert sind.

### 4.3 Zusammenfassung in ein Kostenmodell

Da keine detaillierten Berichte über zweistöckige Paneelbrücken verfügbar waren, beschränkt sich die Menge an Beispielprojekten mit Ausnahme der Mabey Delta Brücken auf kleinere Tragwerke. Als Basis für die Preisaufstellung dient der aus dem Fertigungspreis sowie dem arithmetischen Mittelwert der Montagepreise kalkulierte Überbaupreis. Dieser ergibt durch die Addition der beiden Preise  $4836 \text{ €/to}$ <sup>9</sup>. Das bedeutet, dass die Kosten durch die Montage und Demontage etwas mehr als 17 % des gesamten Überbaupreises von  $4836 \text{ €/to}$  ausmachen wie in Tabelle 4.7 dargestellt. Damit kann der Preis für jedes Systembrückentragwerk ermittelt werden.

| Position | Unterposition         | Preis/to   | Anteil |
|----------|-----------------------|------------|--------|
| Überbau  |                       | 4.836 €/to | 100 %  |
|          | Montage und Demontage | 836 €/to   | 17 %   |
|          | Fertigung             | 4.000 €/to | 83 %   |

**Tab. 4.7:** Verteilung des Preises in der Position Überbau

Nach der Bewertung von Mehlhorn [56] betragen die Überbaukosten einer Balkenbrücke etwa 54 % der Gesamtkosten. Diese Aufteilung wird auf den Baupreis der Systembrücke umgelegt und damit der Gesamtpreis mit  $8.956 \text{ €/to}$  ermittelt. Die Aufteilung auf die restlichen Kostenstellen

<sup>8</sup>Gesamtkosten (100 %) - Baustelleneinrichtung (8 %) - Unterbau (27 %) - Überbau (54 %) = Ausbau (11 %)

<sup>9</sup> $4000 \text{ €/to} + 836 \text{ €/to} = 4836 \text{ €/to}$

mittels prozentuellen Anteilen am Gesamtpreis ist in Tabelle 4.8 dargestellt. Die Ermittlung der Prozentwerte ist in Abschnitt 4.2 erklärt.

| Position                     | Unterposition         | Anteil    | Preis      |
|------------------------------|-----------------------|-----------|------------|
| <b>Baustelleneinrichtung</b> |                       | 8 %       | 716 €/to   |
| <b>Unterbau</b>              |                       | 27 %      | 2.418 €/to |
| <b>Überbau</b>               |                       | 54 %      | 4.836 €/to |
|                              | Montage und Demontage | 836 €/to  |            |
|                              | Fertigung             | 4000 €/to |            |
| <b>Ausbau</b>                |                       | 11 %      | 985 €/to   |
| <b>Gesamtpreis</b>           |                       | 100 %     | 8.956 €/to |

**Tab. 4.8:** Verteilung der Kosten auf die Positionen Systembrückenbau inklusive der Preise pro Tonne für das Kostenmodell [56]

Um den Preis eines Brückensystems festzustellen, muss der im Kostenmodell ermittelte Preis pro Tonne mit der Länge der Brücke und dem Laufmetergewicht multipliziert werden. Mithilfe der Tabelle 4.8 kann auch der Preis der einzelnen Positionen ermittelt werden. Im folgenden Abschnitt wird anschließend die Anwendung des Kostenmodells auf Beispielbrücken veranschaulicht.

### 4.3.1 Anwendung des Kostenmodells

Für eine zweispurige, mehrfeldrige Brücke mit einer Gesamtlänge von 80 lfm wird ein dreiwandiges, einstöckiges Paneelbrückensystem gewählt, weil die Feldlänge unter der geforderten maximalen Spannweite des Tragwerks liegt. Das Laufmetergewicht des Systems, zum Beispiel "Compact 200 TShR3h", ist laut Abb. 3.9 in Abschnitt 3.3 ca. 2,8 to/lfm. Bei einem Preis des Überbaus von 4.836 €/to ergibt dies einen Laufmeterpreis von 13.541 €/lfm und einen Gesamtpreis des Überbaus von 1.083.264 €.

#### Berechnung einer Beispielbrücke gemäß Kostenmodell

Gemäß Kostenmodell ist für die Kostenschätzung der Überbaukosten bei Systembrücken folgendermaßen vorzugehen:

- Länge der Brücke: 80 lfm
- Laufmetergewicht: 2,8 to/lfm
- Preis des Überbaus: 4.836,00 €/to

$$\text{Preis der Systembrücke} = 2,8 \text{ to/lfm} \cdot 4836,00 \text{ €/to} \cdot 80 \text{ lfm} = 1\,083\,264 \text{ €}$$

Vollständigkeitshalber wird die Berechnung des Gesamtpreises ebenso angegeben. Dieser ist jedoch sehr projektabhängig und kann stark variieren. Der Gesamtpreis der Brücke inklusive Baustelleneinrichtung, Unterbau und Ausbau wird mit Hilfe des Preis pro Tonne aus Tabelle 4.8 von 8.956 € und ebenso dem Laufmetergewicht der Bauform berechnet. Unter Anwendung der gleichen Methodik erhält man einen Laufmeterpreis von 25.077 €/lfm und einen Gesamtpreis von 2.004.352 €.

#### Berechnung einer Beispielbrücke gemäß Kostenmodell

Gemäß Kostenmodell ist für die Schätzung der Gesamtkosten bei Systembrücken folgendermaßen vorzugehen:

- Länge der Brücke: 80 lfm
- Laufmetergewicht: 2,8 to/lfm
- Gesamtpreis: 8.956,00 €/to

$$\text{Preis der Systembrücke} = 2,8 \text{ to/lfm} \cdot 8956,00 \text{ €/to} \cdot 80 \text{ lfm} = 2\,006\,144 \text{ €}$$

Durch den hohen Anteil des Fertigungspreises von fast 45 % des Gesamtpreises, welcher nur vom Gewicht abhängig ist, wurde ein Preis pro Tonne ermittelt. Dieser Preis dient dazu beim Vergleich der Brücken die Preise der Tragwerke einschätzen zu können. Um die unterschiedlichen Tragwerke vergleichen zu können, wird in erster Linie das Gewicht der Brücke herangezogen. Der Vergleich der Systeme und Bauformen wird im nächsten Kapitel veranschaulicht.



## Kapitel 5

# Anforderungen, Vergleich und Bewertung der Brückensysteme zur Erstellung einer Entscheidungsmatrix

Auf Basis der Ergebnisse aus der technischen Analyse und Kostenanalyse wird in den nachfolgenden Abschnitten eine Entscheidungsmatrix entwickelt. Sie dient als Grundlage für die Auswahl eines Tragwerks bei festgelegten Randbedingungen. Weil projektspezifische Anforderungen vielfältig sind, werden die Fragestellungen, die zur Entscheidungsfindung führten, möglichst allgemein formuliert. Dennoch liefert diese Entscheidungshilfe ein den Anforderungen entsprechendes und möglichst wirtschaftliches Tragwerk. Die Ausführbarkeit dieses Tragwerks muss dann auf Basis der projektspezifischen Parameter geprüft werden. Ein Tragwerk besteht aus dem System (Paneel, D-Brücke, Mabey Delta etc.) und der Bauform (z. B. Dreiwandig-Zweistöckig). Zu Beginn werden verschiedene Projektanforderungen und ihr Einfluss auf das Tragwerk untersucht.

### 5.1 Vorgaben und Anforderungen an Brückenbauwerke und ihr Einfluss auf das Tragwerk

Nach Mehlhorn [56] gliedern sich die Vorgaben, Randbedingungen und Anforderung, welche grundsätzlich bei der Auswahl eines Brückentragwerks berücksichtigt werden müssen, in folgende Kategorien. Diese wurden für Systembrücken angepasst und ohne besondere Reihenfolge gelistet:

- Bauwerkspezifische, verkehrstechnische Vorgaben:
  - Verkehrsart
  - Linienführung
  - Nutzungsquerschnitt
- Ortspezifischen Randbedingungen:
  - Topographie, Geologie und Hydrologie
  - verbindliche Lichtraumprofile
- Bauzeit, lokale Bautechnik und umfeldbezogene Aspekte:
  - Landschaft, angrenzende Bausubstanz und zeitliches Umfeld
  - Exposition des Brückenstandorts
  - Lärmemissionen
  - Wasser
- Allgemein funktionale Anforderungen:

- Tragsicherheit
- Gebrauchstauglichkeit
- Dauerhaftigkeit
- Ökonomische Anforderungen:
  - Wirtschaftlichkeit

Diese Punkte werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert. Je nach Projekt haben die einzelnen Punkte unterschiedlich großen Einfluss auf die Entscheidungsfindung und die Projektdurchführung. Eine besondere Herausforderung bei temporären Bauten ist, dass manche projektspezifischen Anforderungen – wie die Nutzungsdauer – vorab nicht unbedingt festgelegt werden. Es ist auch nicht ausgeschlossen, dass sich Anforderungen im Projektverlauf ändern, sodass Kompromisse gefunden und wirtschaftliche Anforderungen noch stärker als sonst berücksichtigt werden müssen, während z. B. ästhetische Aspekte in den Hintergrund treten.

### 5.1.1 Bauwerkspezifische, verkehrstechnische Vorgaben

Die Verkehrsart bestimmt die Einwirkungen und hat damit einen großen Einfluss auf die Wahl des Tragwerks. In der ÖNORM EN 1991-2 [65] wird versucht, dies durch die Faktoren  $\alpha$  zu berücksichtigen. Werden im LM 1 die Werte  $\alpha = 1$  angenommen, dann repräsentiert dies einen Verkehr mit einer hohen Anzahl an LKW. Der nationale Anhang ÖNORM B 1991-2 sieht  $\alpha = 1$  für die Bemessung aller in Österreich gebauten Brücken vor. Bei geringem Verkehrsaufkommen oder starker Einschränkung des Verkehrs durch Geschwindigkeits- und Lastbegrenzungen kann dieser Wert angepasst werden. Um kleinere Systeme in der Entscheidungsmatrix berücksichtigen zu können, wurden diese Werte in Abstimmung mit der Vorschrift des Österreichischen Bundesheeres [2] mit  $\alpha = 0,7$  [33] angenommen. Da die gesamten Einwirkungen mit diesen Werten multipliziert werden, handelt es hier sich um eine signifikante Reduktion der Einwirkungen. Rahmenbedingungen, um die Faktoren  $\alpha = 0,7$  realistisch erreichen zu können, müssen beim Projekt gegeben sein, um die Entscheidungsmatrix anwenden zu können. Das Verkehrsaufkommen darf unter keinen Umständen unterschätzt werden, da zu hohe dynamische Einwirkungen schnell zur Ermüdung und zum Versagen des Tragwerks führen können. Einen großen Einfluss auf das Laufmetergewicht hat auch der Nutzungsquerschnitt und damit die Fahrbahnbreite. Er soll so klein wie möglich und so groß wie notwendig gewählt werden, weil er einen großen Einfluss auf das Laufmetergewicht und damit auf die Kosten hat. Die Fahrbahnbreite ist wie in Kapitel 3 beschrieben bei modernen Systembrücken bis 7,35 m in 1,05 m Schritten wählbar. Außenliegende Gehwege haben einen größeren Einfluss auf die erreichbaren Spannweiten als die Verbreiterung der Brücke [31]. Die Linienführung ist bei Systembrücken auf Geraden beschränkt. Ist dies nicht möglich, müssen Sonderkonstruktionen angefertigt werden.

### 5.1.2 Ortspezifische Randbedingungen

Topographie, Geologie und Hydrologie haben einen großen Einfluss auf den Unterbau einer Brücke und auf dessen Kosten. Die Unterbaukosten können wie in Kapitel 4 erläutert stark variieren. Bekannt sind Beispiele mit ca. 40 % [56] bis 200 % [33] der Überbaukosten. Die ortsspezifischen Randbedingungen, welche in der Regel unveränderbar sind, können je nach Projekt den Pfeilerabstand vorgeben, welcher die notwendigen Spannweiten bestimmt. Da es sich um die Betrachtung von Brücken über große Flüsse handelt, wird außerdem von Schiffsverkehr auf dem Wasser ausgegangen. Dieser wird durch die Österreichische Schifffahrtsanlagenverordnung (SchAVO) reguliert und bestimmt unter anderem das notwendige Lichtraumprofil. Nach §25

(1) SchAVO muss die nutzbare Breite von für die Schifffahrt bestimmten Durchfahrtsöffnungen bei Brücken über die Fahrrinne von Wasserstraßen 100 m betragen. Falls dies nicht eingehalten werden kann, müssen Brücken gemäß §25 (3) SchAVO mehrere, für die Schifffahrt bestimmte Durchfahrtsöffnungen aufweisen. Zusätzlich muss durch schifffahrtspolizeiliche Maßnahmen sichergestellt werden, dass dadurch weder die Sicherheit der Schifffahrt noch die Flüssigkeit des Verkehrs der gewerbsmäßigen Schifffahrt beeinträchtigt werden. Dies gilt es in erster Linie bei der Wahl des Pfeilerabstands zu klären. Beim Bau einer Systembrücke neben einer bestehenden Brücke kann der Pfeilerabstand durch die Bestandsbrücke bereits vorgegeben sein.

### 5.1.3 Bauzeit, lokale Bautechnik und umfeldbezogene Aspekte

Verglichen mit einer permanenten Brücke ist die Bauzeit von Systembrücken wesentlich geringer. In Pakistan [48] wurde beispielsweise eine über 300 m lange Systembrücke in 56 Tagen errichtet. Das und die meist beschränkten Platzverhältnisse machen die Logistik lt. Experten [33] zur größten Herausforderung beim Systembrückenbau. Dies gilt jedoch für alle Systembrücken und hat daher nur einen geringen Einfluss auf die Auswahl eines speziellen Tragwerks. Weil die lokale Bautechnik und umfeldbezogene Aspekte projektspezifisch sind, haben sie ebenfalls keinen Einfluss auf die Auswahl des Tragwerkssystem. Die Systeme unterscheiden sich im Taktschiebverfahren, in der notwendigen Baustelleneinrichtung und dem damit einhergehenden Platzbedarf wenig. Die Länge für des Vormontageplatzes muss etwa 60 % [76] beziehungsweise 66 % [50] der größten Spannweite betragen. Ist dies nicht möglich, müssen Zusatzmaßnahmen ergriffen werden oder die Brücke mittels Kran eingehoben werden. Schiffskräne beziehungsweise Großraumschubleichter (Frachtschiffe) mit aufgesetzten Kränen sind dann eine mögliche Option [39]. Im Bezug auf die Lärmentwicklung ist anzumerken, dass die Fahrbahnplatten von Systembrücken bei Überfahung in der Regel eine höhere Schallemission abgeben als eine Asphaltfahrbahn [31]. Bei Projekten in der Nähe von Ortsgebieten ist deshalb zu prüfen, ob Lärmschutzmaßnahmen notwendig sind. Der bei der Schifffahrt zu berücksichtigende Anprall bei der Berechnung der Stützen hat keinen direkten Einfluss auf die Auswahl des Tragwerks.

### 5.1.4 Allgemein funktionale Anforderungen

Die allgemein funktionalen Anforderungen wurden in Kapitel 3 dieser Arbeit bereits behandelt. Genaue Berechnungen der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Tragwerke erfolgen projektspezifisch. Einen Überblick bietet Abb. 3.8 in Kapitel 3. Die Dauerhaftigkeit hat bei der klassischen – temporären – Nutzung nur wenig Bedeutung, wenn die Einzelteile unter ihrer Dauerfestigkeit belastet werden. Es muss jedoch eine eventuelle Nachnutzung in Betracht gezogen werden. Der Kauf eines Systems kann die wirtschaftlichste Möglichkeit sein, wenn je nach Belastung entweder die Projektdauer mehrere Jahre beträgt [33] oder eine Nachnutzung an anderer Stelle möglich ist. Weil jedoch diese strategische Entscheidung der Nachnutzung nicht Teil der Diplomarbeit ist, wird sie nicht näher erläutert und beeinflusst die Auswahl des Tragwerks nicht.

### 5.1.5 Ökonomische Anforderung

Die Wirtschaftlichkeit stellt eine der wichtigsten Anforderungen bei fast jedem Bauprojekt dar. Ziel ist es, mit möglichst geringen Mitteln das Projektziel zu erreichen. Je präziser das Projekt und seine Anforderungen sowie die Randbedingungen definiert sind, umso genauer können die voraussichtlichen Kosten und damit das wirtschaftlichste System ermittelt werden.

## 5.2 Vergleich der Systeme

Um die Wirtschaftlichkeit der Tragwerke zu vergleichen, wurde in Kapitel 4 ein Kostenmodell erstellt, welches den Fokus auf das Laufmetergewicht der einzelnen Tragwerke legt, da das Gewicht der Brücke mit mindestens 45 % des Gesamtpreises und 83 % des Überbaupreises der größte Kostenfaktor ist. Weil das Kostenmodell nur vom Laufmetergewicht abhängig ist, können die Systeme relativ schnell miteinander verglichen werden. Mithilfe des in Kapitel 4 ermittelten Preises pro Tonne und des Laufmetergewichts wurde nun wie in Abschnitt 4.3.1 beschrieben der Laufmeterpreis der einzelnen Tragwerke ermittelt. Das Ergebnis wurde in Abb. 5.1 und Abb. 5.2 eingetragen. Da der Preis pro Tonne konstant über alle Tragwerke angenommen wird, ist der Laufmeterpreis zum Vergleichen der Tragwerke untereinander nicht erforderlich, wird jedoch aus Gründen der Anschaulichkeit dargestellt.

Grundsätzlich ist die Auswahl all jener Tragwerke zulässig, welche die projektspezifischen Anforderungen erfüllen und dem §25 (1) der Schifffahrtsanlagenverordnung (SchAVO) entsprechen. Weitergehend kann aus Kompatibilitätsgründen eine Kombination aus mehreren unterschiedlichen Systemen nicht empfohlen werden. Daher wird davon ausgegangen, dass die gesamte Brücke in einem System hergestellt wird. Bei unterschiedlichen Feldlängen werden in der Praxis nach Möglichkeit unterschiedliche Bauformen des gleichen Systems zur Kostenoptimierung empfohlen [33].

Die Laufmeterpreise werden in Abb. 5.3 und Abb. 5.4 in Form eines Liniendiagramms verglichen. Panelbrücken können zur Überspannung von großen Spannweiten erweitert werden, indem Stöcke und Paneelwände hinzugefügt werden. Dies wird spätestens dann unwirtschaftlich, wenn das Gewicht pro Laufmeter jenes eines anderen Systems übersteigt. Bei jeder Aufstockung des

**Einspurige Brücken unter ÖNORM EN 1991-2 LM1 ( $\alpha=0,7$ )**

| System                   | Bauform Kurz | max. Spannweite [m] | Gewicht/lfm [t/lfm] | Preis/lfm Überbau [€/lfm] |
|--------------------------|--------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| <b>Mabey Compact 200</b> | DShR2h       | 40                  | 1,7                 | 8.221 €                   |
|                          | TShR2h       | 50                  | 2,0                 | 9.672 €                   |
|                          | DDhR2h       | 60                  | 2,3                 | 11.123 €                  |
|                          | TDhR3h       | 70                  | 2,8                 | 13.541 €                  |
|                          | QDhR3h       | 80                  | 3,3                 | 15.959 €                  |
| <b>Mabey Delta</b>       | A 600        | 40                  | 2,7                 | 13.057 €                  |
|                          | A 600        | 50                  | 2,7                 | 13.057 €                  |
|                          | A 600        | 60                  | 2,7                 | 13.057 €                  |
|                          | A 600        | 70                  | 2,7                 | 13.057 €                  |
|                          | A 600        | 80                  | 2,7                 | 13.057 €                  |
|                          | B 600        | 90                  | 2,9                 | 14.024 €                  |
|                          | M 600        | 100                 | 3,2                 | 15.475 €                  |
| <b>Wagner Biro PP30</b>  | DSR2M        | 40                  | 1,7                 | 8.221 €                   |
|                          | TSR2M        | 50                  | 2,0                 | 9.672 €                   |
|                          | DDR2M        | 60                  | 2,2                 | 10.639 €                  |
|                          | TDR3M        | 70                  | 2,8                 | 13.541 €                  |
|                          | QDR3M        | 80                  | 3,3                 | 15.959 €                  |
| <b>D-Brücke</b>          | E2V-eF       | 40                  | 1,6                 | 7.738 €                   |
|                          | Z2V-eF       | 50                  | 1,9                 | 9.188 €                   |
|                          | Z2V3-eF      | 60                  | 2,1                 | 10.156 €                  |
|                          | -            | 70                  | -                   | -                         |
|                          | -            | 80                  | -                   | -                         |

**Abb. 5.1:** Laufmetergewicht und Laufmeterpreis einspuriger Systembrücken

Zweispurige Brücken unter ÖNORM EN 1991-2 LM1 ( $\alpha=0,7$ )

| System                   | Bauform Kurz | max. Spannweite [m] | Gewicht/lfm [t/lfm] | Preis/lfm Überbau [€/lfm] |
|--------------------------|--------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| <b>Mabey Compact 200</b> | TShR3h       | 30                  | 2,8                 | 13.541 €                  |
|                          | TShR3h       | 40                  | 2,8                 | 13.541 €                  |
|                          | TDhR3h       | 50                  | 3,6                 | 17.410 €                  |
|                          | TDhR3h       | 60                  | 3,6                 | 17.410 €                  |
|                          | QDhR3h       | 70                  | 4,1                 | 19.828 €                  |
|                          | QThR3h*      | 80*                 | 5,1                 | 24.664 €                  |
| <b>Mabey Universal</b>   | DShR2h       | 40                  | 2,9                 | 14.024 €                  |
|                          | TShR3h       | 60                  | 3,4                 | 16.442 €                  |
|                          | TDhR3h       | 80                  | 4,5                 | 21.762 €                  |
| <b>Mabey Delta</b>       | A 600        | 40                  | 3,5                 | 16.926 €                  |
|                          | A 600        | 50                  | 3,5                 | 16.926 €                  |
|                          | A 600        | 60                  | 3,5                 | 16.926 €                  |
|                          | A 600        | 70                  | 3,5                 | 16.926 €                  |
|                          | B 600        | 80                  | 3,7                 | 17.893 €                  |
|                          | M 600        | 90                  | 3,9                 | 18.860 €                  |
| <b>Waagner Biro PP30</b> | TSR3M        | 40                  | 2,9                 | 14.024 €                  |
|                          | TDR3L        | 50                  | 3,5                 | 16.926 €                  |
|                          | TDR3H        | 60                  | 3,7                 | 17.893 €                  |
|                          | QDR3H        | 70                  | 4,1                 | 19.828 €                  |
|                          | QTR3H        | 80                  | 5,1                 | 24.664 €                  |
| <b>D-Brücke</b>          | Z2V-zF       | 40                  | 2,4                 | 11.606 €                  |
|                          | Z2V3-zF      | 50                  | 2,6                 | 12.574 €                  |
|                          | -            | 60                  | -                   | -                         |
|                          | -            | 70                  | -                   | -                         |

Abb. 5.2: Laufmetergewicht und Laufmeterpreis zweispuriger Systembrücken

Paneelsystems vergrößert sich die statische Nutzhöhe und das Gewicht der Träger gleichermaßen. Dadurch vergrößert sich die gesamte Tragfähigkeit nur wenig und selbst die größten Tragwerke können nicht mehr als 80 m überspannen. Die Baustelleneinrichtung und der Transport bei einer Montage von einer vierwandigen vierstöckigen Paneelbrücke mit 80 m Länge und knapp 800 Paneelen ist zu berücksichtigen. In Abb. 5.3 sind die relativ ähnlichen Kosten der D-Brücke, Compact 200 und PP30 zu erkennen. Eine Ausnahme bildet die Mabey Delta Brücke, bei welcher die Kosten beinahe konstant bleiben, weil sie bei größeren Spannweiten nicht in ihrer Paneelanzahl erweitert wird. Beim Vergleich der einspurigen Brücken in Abb. 5.3 zeigt sich, dass zu Beginn die zweistöckigen Bauweisen der Paneelbrücken günstiger sind. Ab 60 m und 70 m ist zu erkennen, dass das Fachwerkssystem Mabey Delta als Ausführungsoption günstiger wird als die alternativen Paneelbrücken. In diesem Bereich kann die D-Brücke technisch nicht die notwendige Leistung erbringen. Größere Spannweiten als 80 m kann nur noch das neue Fachwerkssystem Mabey Delta erreichen. Bei 2-spurigen Brücken (siehe Abb. 5.4) sind die Preise aller Systeme bis 60 m ähnlich. Wie bei einspurigen Brücken steigt der Preis der Paneelbrücken stark an, sobald eine 2-stöckige Ausführung notwendig wird.

Aus der Kostenanalyse geht weiters hervor, dass aus wirtschaftlicher Sicht der Pfeilerabstand so weit verringert werden sollte, dass der Bau einstöckiger Paneelbrücken technisch möglich ist. Dies reduziert die Überbaukosten maßgeblich. Bei bekannten Gründungskosten und der Gesamtbrückenlänge sollte dies angepasst werden. Ein Beispiel einer solchen Mehrfeldbrücke, bei der der Stützenabstand gewählt werden konnte, befindet sich in Pakistan [48]. Bei diesem Projekt wurde eine Mabey Delta Brücke mit Stützenabständen von ca. 60 m errichtet. Es handelt

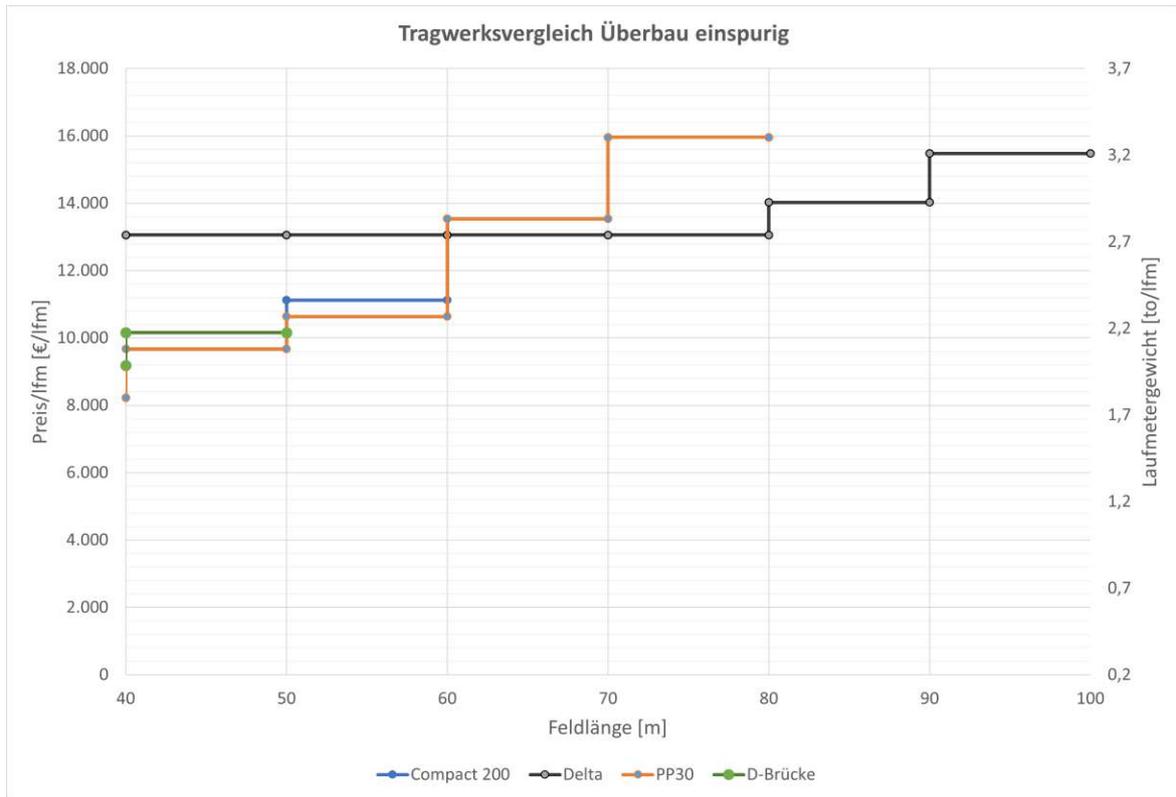


Abb. 5.3: Vergleich des Laufmeterpreises einspuriger Systembrücken

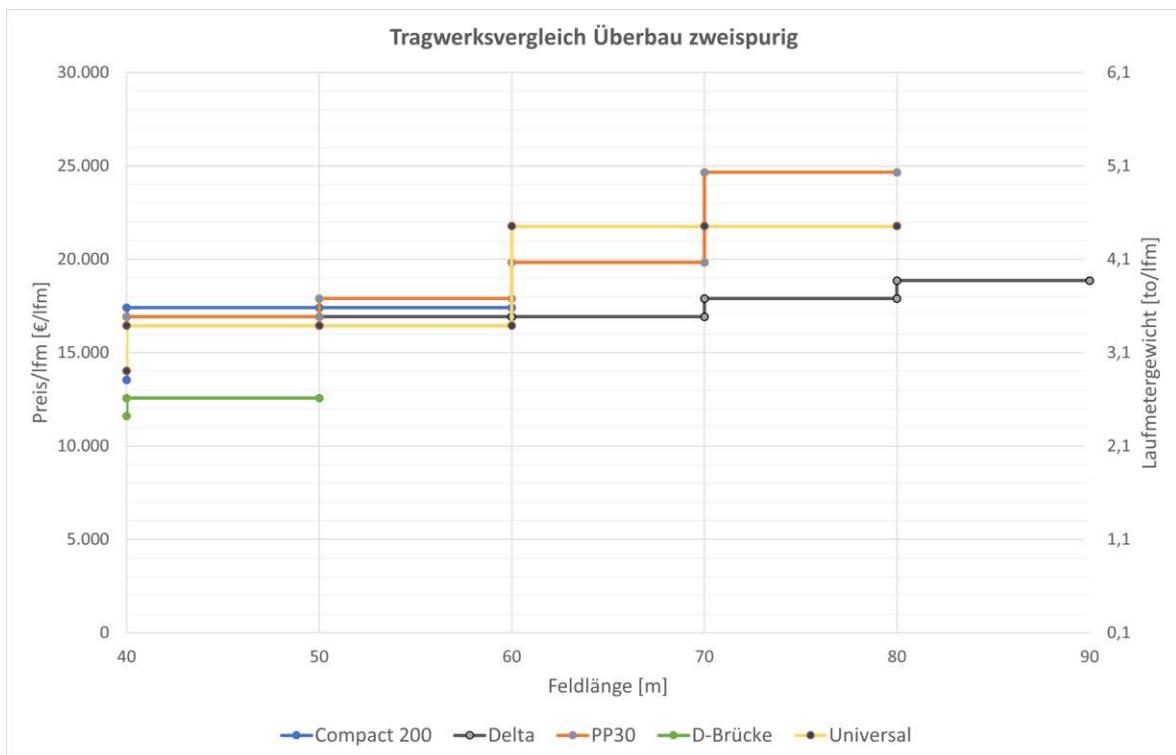


Abb. 5.4: Vergleich des Laufmeterpreises zweispuriger Systembrücken

sich um eine permanente Brücke. Bei der Senderbrücke in Vorarlberg[33] wurde ein Abstand von ca. 25 m durch die Bestandsbrücke vorgegeben. Eine Erhöhung der Einzelspannweite auf 50 m und damit die Einsparung eines Pfeilers erschien offenbar für dieses Projekt im Vorhinein nicht wirtschaftlich. Eine nachträgliche Analyse mithilfe des Kostenmodells ergibt, dass bei zusätzlichen Unterbaukosten von weniger als 290.160 € die kürzere Feldlänge zu bevorzugen ist.

#### Berechnung der Preisdifferenz des Überbaus zweier Tragwerke

Anwendung des Kostenmodells zur Berechnung der Preisdifferenz des Überbaus bei der Senderbrücke in Vorarlberg zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit durch Einsparung eines Brückenpfeilers inklusive Gründung. Zur Auswahl stehen die beiden Tragwerke „TSh“ und „TDh3h“ der Firma Mabey:

- Laufmetergewicht TSh: 2,4 to/lfm
- Laufmetergewicht TDhR3h: 3,6 to/lfm
- Preis des Überbaus: 4.836,00 €/to
- Länge der Brücke: 50 m

$$\text{Differenz des Laufmetergewichts} = 3,6 \text{ to/lfm} - 2,4 \text{ to/lfm} = 1,2 \text{ to/lfm}$$

$$\text{Preisdifferenz der Tragwerke} = 4836,00 \text{ €/to} \cdot 1,2 \text{ to/lfm} \cdot 50 \text{ lfm} = 290 \text{ 160 €}$$

Wenn beim Bau der Senderbrücke eine freie Auswahl der Pfeiler möglich gewesen wäre, hätte jedoch lt. Herrn Unegg [33] ein zusätzlicher Pfeiler und dadurch Feldlängen von 41 m für die insgesamt 82 m langen Brücke die wirtschaftlichste Option bedeutet. Daraus geht hervor, dass für die Optimierung der Gesamtkosten der Pfeilerabstand für zweispurige Brücken nach Möglichkeit auf 30 m bis 40 m reduziert werden sollte. Mit den in den vorhergehenden Kapiteln dargelegten Informationen kann nun eine Entscheidungsmatrix erstellt werden, welche zur Auswahl eines passenden Tragwerks für die vorgegebenen Anforderungen führt.

### 5.3 Entscheidungsmatrix

Die Entscheidungsmatrix in Abb. 5.6 bietet einen Überblick, welches System beziehungsweise welche Systeme den vorgegebenen, allgemeinen Projektrandbedingungen am besten entsprechen. Auf Basis der vorangegangenen Analysen werden jene Tragwerke empfohlen die eine möglichst wirtschaftliche Lösung im Bezug auf die Überbaukosten darstellen. Die Fragen der Entscheidungsmatrix sind möglichst allgemein formuliert, was unweigerlich die Genauigkeit einschränkt. Sie geben jedoch vor, welche Tragwerke im Detail näher berücksichtigt werden sollten. Die Entscheidungsmatrix besteht daher nur aus den möglichst restriktiven Projektrandbedingungen. Der Anwender oder die Anwenderin der Entscheidungsmatrix muss mit dem zu untersuchenden Projekt und technischen Vorgaben in dem Maße vertraut sein, dass die Fragen zu den allgemeinen Voraussetzungen beantwortet werden können. Dafür ist unter anderem Kenntnis über die anzuwendenden Normen, die Verkehrsbelastung sowie die Schifffahrtsverordnung notwendig. Die Auswahl erfolgt durch die Beantwortung von Fragen mit ja oder nein. Es wird jedoch nicht dargestellt, welche in Abschnitt 5.1 erläuterten Randbedingungen zum Vorschlag oder Ausschluss eines Tragwerks führt. Mit dem Durchlaufen der allgemeinen Voraussetzungen und der starken Abhängigkeit der Entscheidungsmatrix von den Projektrahmenbedingungen kann vermieden

werden, dass ein Wunschergebnis abgebildet wird. Werden die Projektrahmenbedingungen im Zuge der Überprüfung der allgemeinen Voraussetzungen zugunsten ausgewählter Systeme verändert, kann das Ergebnis entsprechend beeinflusst werden. Die Entscheidungsmatrix wird in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert.

### 5.3.1 Allgemeine Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der Matrix

Die Entscheidungsmatrix kann nur eine allgemeine Entscheidungshilfe bieten. Projektabhängig müssen immer projektspezifische Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Sie wurde für temporäre Brücken mit großer Gesamtlänge erstellt. Daher werden nur Systeme, welche Einzelspannweiten von über 40 m erreichen können, in der Entscheidungsfindung berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass es durch die temporäre Nutzung der Brücke keine besonderen Anforderungen an die optische Gestaltung gibt. Temporäre Brücken müssen im Allgemeinen nicht optisch an das Landschaftsbild oder die bauliche Umgebung angepasst sein. Außerdem darf keine sonstige architektonische Anforderung an das Material gestellt werden. Weiters wird von einem geraden Brückenverlauf ausgegangen. Alle Systembrückentragwerke, welche sich zur Überspannung von großen Flüssen eignen, sind Formen von Stahlfachwerkbalkentragwerken. Denn wie in Kapitel 3 erläutert bietet nur Stahl die Verbindungsmöglichkeiten für eine rasche Montage und Demontage sowie die notwendigen Festigkeiten. Alle Tabellenwerte, die der Entscheidungsmatrix zugrunde liegen, gehen davon aus, dass keine überdurchschnittlichen Wind-, Schnee- oder Verkehrslasten und keine außen liegenden Gehwege berücksichtigt werden müssen. Die erreichbaren Spannweiten gehen von der Belastung nach ÖNORM EN 1991-2 [65] mit  $\alpha = 0,7$  aus. Demnach ist der Verkehr zu beschränken. Für einen uneingeschränkten Verkehr kann die Entscheidungsmatrix nur bei Straßen mit einem geringen Verkehrsaufkommen verwendet werden. Ob die Anpassungswerte erreicht werden können, muss projektspezifisch ermittelt werden. Es sind immer projektspezifische statische Berechnungen notwendig [31]. Es wird davon ausgegangen, dass die Teile ohne besondere Erschwernisse zum Projektstandort transportiert werden können. Als Montageform wird das Taktschiebverfahren ohne Zusatzmaßnahmen angenommen. Die unterschiedliche Anzahl an Teilen je nach System und der entsprechende logistische Aufwand wird nicht berücksichtigt. Die Feldlänge, welche durch die maximale Einzelspannweite der Tragwerke limitiert ist, ist bei einspurigen Brücken auf maximal 100 m bzw. bei zweispurigen Brücken auf 80 m beschränkt. Es wird angenommen, dass diese maximalen Feldlängen bei den Projekten nicht überschritten werden. In Flüssen mit Schifffahrt gilt in Österreich die Schifffahrtsanlagenverordnung, welche die Breite von Schifffahrtsstraßen und damit die Pfeilerabstände regelt. Die Einhaltung dieser gesetzlichen Bestimmungen wird vorausgesetzt. Diese allgemeinen Voraussetzungen werden in Abb. 5.5 zusammengefasst. Vor der Verwendung der Entscheidungsmatrix müssen diese Fragen beantwortet werden. Die weitere Anwendung der Entscheidungsmatrix ist grundsätzlich nur dann möglich, wenn alle Fragen mit „Ja“ beantwortet wurden.

### 5.3.2 Fahrbahnbreite

In Kapitel 3 – Technische Analyse – wird zwischen ein- und zweispurigen Brücken unterschieden, weil dies einen großen Einfluss auf die maximale Spannweite der Tragwerke hat. Nach den allgemeinen Voraussetzungen wurde deshalb die Frage gewählt, ob die Brücke ein- oder zweispurig ausgeführt werden soll. Aufgrund des großen Einflusses ist ein Betrachten der Vor- und Nachteile beider Optionen sinnvoll. Sowohl in Kapitel 3 als auch in Kapitel 4 wurden die Tabellen für die untersuchten Tragwerke in die ein- und zweispurige Ausführungen getrennt. Nach der Beantwortung der Frage, ob die Brücke zweispurig ausgeführt werden muss, können die entsprechenden Tabellen zum näheren Vergleich herangezogen werden. Die Fahrbahnbreite

| Prüfung der allgemeinen Voraussetzungen der Entscheidungsmatrix |            |      |
|---|------------|------|
| Projekt:  | Trifft zu? |      |
| Projektrandbedingungen  | Ja         | Nein |
| Verkehrsbelastung lässt Anpassungswerte $\alpha=0,7$ zu.        |            |      |
| Feldlänge von 40 m bis 100 m.                                   |            |      |
| Maximale Fahrbahnbreite von 7,35 m.                             |            |      |
| Keine Anforderung an die optische Gestaltung.                   |            |      |
| Keine architektonische Anforderung an die Materialien.          |            |      |
| Gerader Brückenverlauf.   |            |      |
| Längsneigung maximal 3 %.                                       |            |      |
| Keine außergewöhnlichen Windlasten.                             |            |      |
| Keine außergewöhnlichen Schneelasten.                           |            |      |
| LKW Transport zur Baustelle möglich.                            |            |      |
| Montageform Taktschiebeverfahren möglich.                       |            |      |
| Einhaltung der Schifffahrtsverordnung.                          |            |      |

Abb. 5.5: Prüfblatt zur Anwendung der Entscheidungsmatrix

ist in der Regel aufgrund des voraussichtlichen Verkehrsaufkommens vorgegeben. Das Gewicht pro Laufmeter steigt bei zweispuriger Ausführung deutlich an. Das Gewicht der Fahrbahn mit Querträger verdoppelt sich von ca. 700 kg auf 1400 kg. Bei größeren Brücken hat dies prozentual eine geringere Auswirkung als bei kleineren. Der Entscheidungsmatrix sowie den Tabellenwerten liegt eine Fahrbahnbreite von 4,20 m beziehungsweise 7,35 m zugrunde. Die Breite bei einspurigen Fahrbahnen von 4,20 m ermöglicht einen innenliegenden Gehweg und entspricht der Standardbrückenbreiten aller Systeme. Bei zweispurigen Brücken ist die maximale Breite 7,35 m. Lt. Herrn Unegg [31] ist eine 7,35 m breite Fahrbahn mit einem innenliegenden Gehweg statisch einer 6,30 m breiten Fahrbahn mit einem außenliegenden Gehweg vorzuziehen. Die größere Dimensionierung ermöglichen auch einen ungestörten Verkehrsfluss für Lastkraftwagen.

### 5.3.3 Feldlänge allgemein

Ein weiteres wichtiges Kriterium im Entscheidungsprozess ist die maximale Feldlänge. Denn sie definiert die Mindestgröße des Tragwerks. Bei manchen Projekten ist sie vorgegeben, weil die bestehenden Pfeiler oder der Hochwasserschutz beachtet werden müssen. Am häufigsten kommen Behelfsbrücken mit Tragwerkslängen unter 40 m zum Einsatz, bei denen grundsätzlich alle Brückensysteme angewendet werden können. Für die Entscheidungsmatrix wurden als Kriterium unterschiedliche Feldlängenbereiche gewählt. Diese Bereiche wurden entsprechend der Ergebnisse aus Abb. 5.3 und Abb. 5.4 so gewählt, dass Empfehlungen zu Tragwerken gemacht werden können. Sollte die Feldlänge frei gewählt werden können, müssen die Kosten des Unterbaus erfasst werden. Die Unterbaukosten werden benötigt, um die Feldlänge so zu wählen, dass

die Gesamtbrückenkosten so gering wie möglich gehalten werden. Erfahrungsgemäß ist die Einschätzung von Gründungskosten schwierig, weil der Boden meist nur punktuell untersucht werden kann. Außerdem sind Gründungen in Flüssen schwieriger und kostenintensiver als jene am Land, da der Baugrund ohne bauliche Maßnahmen unzugänglich ist. In dieser Arbeit werden die Unterbaukosten mit 50 % der Überbaukosten abgeschätzt. Daher führt einer Reduktion der Feldlänge immer zu einer Reduktion der Gesamtkosten. Da dies in der Praxis jedoch nicht unbegrenzt der Fall ist, kann das Kostenmodell nicht für die Ermittlung der idealen Feldlänge genutzt werden und ist ausschließlich für größere Spannweiten anwendbar. Gemäß der Kostenanalyse erhöhen sich die Kosten aller Paneelsysteme bei Vergrößerung der Feldlänge gleichermaßen, weil die Tragwerke verstärkt werden müssen. Ab einer bestimmten Feldlänge wird durch die Art der Verstärkung die Stahlanteil im Träger so groß, dass die Ausführung nicht mehr wirtschaftlich ist. Die Delta-Brücke muss als einzige Brücke nur gering verstärkt werden, daher steigen ihre Kosten wesentlich langsamer an als bei den anderen Systemen. Aus diesem Grund werden in den folgenden Fragen die unterschiedlichen Feldlängen näher untersucht.

### 5.3.4 Feldlängen bei einspurigen Brücken

Bei der genaueren Betrachtung der Feldlängen werden zuerst die einspurigen Brücken mit Feldlängen von 40 m untersucht. Bei einer Spannweite von 40 m können grundsätzlich alle Systeme eingesetzt werden. Das Auswahlkriterium stellt dabei lediglich der Preis dar. In diesem Fall ist erstmals die Verfügbarkeit für die Empfehlung des Tragwerks ausschlaggebend. Da es bereits einen Bestand an Brückentragwerken in Österreich gibt, muss die Frage gestellt werden ob dies im erforderlichen Ausmaß, verfügbar sind und eingesetzt werden können.

**Einsatz des ÖBH möglich** Das ÖBH ist für zwei Brückensysteme ausgebildet: Einerseits für die D-Brücke und andererseits die Mabey-Compact 200. Bei beiden Systemen ist es möglich, Feldlängen bis zu 40 m zu errichten. Brücken, die große Flüsse wie die Donau überspannen, wurden lt. ÖBH [30] noch nicht gebaut. Der Einsatz von vorhandenen Tragwerken ist wirtschaftlich sinnvoll und wird grundsätzlich empfohlen. Nachdem Brücken mit größerer Länge und über eine große Baudauer sehr viel Material binden, jedoch Kapazitäten für den Katastrophenschutz zur Verfügung stehen müssen, ist diese Möglichkeit aber stark beschränkt. Der Unterschied zwischen den beiden Systemen ist laut den Ergebnissen der Kostenanalyse sehr gering. Daher ist kein bestimmtes Tragwerk zu bevorzugen.

Die Kostenanalyse schließt jedoch das Mabey Delta Tragwerk aus, da dieses bei einer kurzen Spannweite zu schwer und somit zu teuer ist. Ist der Einsatz von in Österreich bereits vorhandenem Brückentragwerk nicht möglich, sollten daher Angebote privater Anbieter eingeholt werden. Brücken mit 40 m Spannweite sind bei vielen verschiedenen Anbietern in Europa verfügbar. Diese Anbieter sind zum Beispiel:

- Waagner Biro GmbH (Power Panel 30)
- Mabey Bridge Ltd. (Compact 200)
- Retro Bridge GmbH (RHB-Brücke)
- Janson Bridging GmbH (JPB-T)
- Unegg GmbH (Compact 200)

Aus der Kostenanalyse geht kein System als wirtschaftlich signifikant günstiger hervor und daher wird kein System vorrangig empfohlen. Soll die Feldlänge mehr als 40 m betragen muss die nächste Frage betrachtet werden.

**Feldlängen von 40 m bis 60 m** Der Feldlängenbereich zwischen 40 m und 60 m wurde gewählt, weil je nach Belastung der Brücke die Tragwerke von Paneelbrücken in einspuriger Ausführung als zweistöckige oder noch als einstöckige Bauformen ausgeführt werden können. Die zweistöckigen Tragwerke nähern sich dem Laufmetergewicht der Mabey Delta Brücke an und verlieren damit ihren wirtschaftlichen Vorteil. Da sich die möglichen Paneeltragwerke mit 2,0 to/lfm bis 2,3 to/lfm noch unter dem Gewicht eines Mabey Delta Tragwerks befinden, ist die Empfehlung für diese Feldlänge dennoch die Wahl einer Paneelbrücke. Diese ist gegenüber der D-Brücke moderner und einfacher zu montieren, weil sie komplett aus Bolzenverbindungen besteht. Weiters ist die Fahrbahnbreite mit 3,5 m oder 6 m geringer als die einer modernen Paneelbrücke, was keinen innenliegenden Gehweg ermöglicht. Die Bauformen von Paneelbrücken, welche diesen Feldlängenbereich abdecken, bewegen sich zwischen dreiwandig-einstöckig und zweiwandig-zweistöckig-verstärkt. Anbieter dieser Brückentragwerke sind:

- Waagner Biro GmbH (Power Panel 30)
- Mabey Bridge Ltd. (Compact 200)
- Janson Bridging GmbH (JPB-T)
- Unegg GmbH (Compact 200)

Im mittleren Feldbereich sollte besonders auf die Unterbaukosten geachtet werden. Bei schwierigen Untergrundverhältnissen kann eine Erhöhung der Feldlänge und damit Reduktion der Pfeiler wirtschaftlich optimal sein. Wenn die Feldlänge im Bereich von 40 m bis 60 m gewählt werden muss, ist gemäß Kostenmodell eine moderne Paneelbrücke das wirtschaftlichste System. Darüber hinaus verlieren Paneelbrücken aufgrund des hohen Gewichts ihren wirtschaftlichen Vorteil.

**Feldlängen über 60 m** Ist die Feldlänge nicht im Bereich von 40 m bis 60 m, sondern darüber, dann geht aus der Kostenanalyse hervor, dass die Mabey Delta Brücke die wirtschaftlichste Option ist. Es ist durch die größere statische Nutzhöhe ersichtlich, dass die Mabey Delta Brücke darauf ausgelegt ist, größere Spannweiten zu überbrücken. Sie wurde schon mehrfach bei Projekten über 60 m Feldlänge eingesetzt. Ihr Gewichtsvorteil, welcher aufgrund des Stahlpreises den größten Einfluss auf die Kosten der Brücke hat, wird durch den effizienteren Einsatz der Bauteile erklärt. Im Paneelsystem werden durch die Verdoppelung aller Bauteile zur Erreichung größerer Spannweiten die einzelnen Bauteile nicht mehr effizient genutzt. Dies zeigt auch das Kostenmodell, wonach eine 80 m lange einspurige Paneelbrücke ca. 22 %<sup>1</sup> teurer als eine äquivalente Delta-Brücke ist. Die Mabey Delta Brücke wird nur von folgender Firma angeboten:

- Mabey Bridge Ltd. (Delta)

### 5.3.5 Feldlänge bei zweispuriger Ausführung

Nachdem die entscheidenden Spannweitenbereiche einspuriger Brücken abgedeckt wurden, werden nun zweispurige Brücken betrachtet. Den Beginn bildet hier erneut die Betrachtung der Feldlängen von 40 m. Auch bei zweispurigen Fahrbahnen sind die gewünschten Feldlängen wichtige Anhaltspunkte für die Wahl des Tragwerks. Eine Feldlänge von 40 m kann von allen untersuchten Brückensystemen erreicht werden. Der Unterschied zur einspurigen Brücke ist, dass die D-Brücke nur in zweistöckiger Ausführung anwendbar ist. In Österreich steht ein Tragwerk dieser Form

---

<sup>1</sup>  $\frac{15,959 \text{ €/lfm}}{13,057 \text{ €/lfm}} - 1 = 22 \%$

nicht zur Verfügung. Weiters inkludiert die für das ÖBH erstellte Vorschrift der Mabey Compact 200 nicht die Ausführung als zweispurige Brücke. Die Verfügbarkeit der Brücke ist damit auf private Anbieter beschränkt. Diese sind unter anderem:

- Waagner Biro GmbH (Power Panel 30)
- Mabey Bridge Ltd. (Compact 200)
- Retro Bridge GmbH (RHB-Brücke)
- Janson Bridging GmbH (JPB-T)
- Unegg GmbH (Compact 200)

**Feldlängen von 40 m bis 50 m** Beim Vergleich der Laufmetergewichte für Feldlängen zwischen 40 m und 50 m ist die D-Brücke leichter als andere Brückensysteme. Damit ist sie gemäß Kostenmodell das günstigste Tragwerk. Wie bereits bei den einspurigen Brücken erwähnt, hat sie jedoch auch einige Nachteile. Die D-Brücke kann aufgrund ihres Alters heutzutage nicht uneingeschränkt empfohlen werden. Paneelbrücken können grundsätzlich in dieser Feldlänge in einstöckiger Bauform ausgeführt werden. Kann dies umgesetzt werden, dann ist eine Paneelbrücke mit einem Laufmetergewicht gemäß technische Analyse von 2,8 to/lfm um ca. 20%<sup>2</sup> günstiger als die 3,5 to/lfm schwere Mabey Delta Brücke. Hier sind Bauformen von „TSR3“ mit 2,8 to/lfm bis „DDR2“ mit 3,0 to/lfm wirtschaftlich. Paneelbrücken dieser Bauform werden unter anderem von folgenden Anbietern hergestellt:

- Waagner Biro GmbH (Power Panel 30)
- Mabey Bridge Ltd. (Compact 200)
- Unegg GmbH (Compact 200)
- Janson Bridging GmbH (JPB-T)

Auch bei dieser Feldlänge sollte wenn möglich untersucht werden, ob aufgrund der Unterbaukosten eine Erhöhung des Stützenabstands zu geringeren Gesamtkosten führen könnte. Wird die Frage, ob die Feldlänge innerhalb von 40 m und 50 m ist, in der Entscheidungsmatrix mit „Ja“ beantworten, wird eines der oben gelisteten Systeme empfohlen. Wird die Frage mit „Nein“ beantwortet, wird der nächst größere Feldlängenbereich betrachtet.

**Feldlängen von 50 m bis 60 m** Wie bereits bei einspurigen Brücken erläutert wird das Verstärken bei Paneelsystemen aufgrund des ineffizienten Stahleinsatzes unwirtschaftlich. Zwischen 50 m und 60 m gleicht das Gewicht der Paneelbrücke und damit die Kosten nach Kostenmodell jenem der Mabey Delta Brücke. Eine klare Entscheidung nur auf Basis des Kostenmodells kann daher nicht getroffen werden. Sowohl moderne Paneelsysteme als auch die Mabey Delta Brücke kann für diesen Feldlängenbereich eingesetzt werden. Aufgrund der geringeren Anzahl an Bauteilen ist bei einer großen Gesamtbrückenlänge die Mabey Delta Brücke zu bevorzugen.

---

<sup>2</sup> $1 - \frac{2,8 \text{ to/lfm}}{3,5 \text{ to/lfm}} = 20 \%$

**Feldlängen über 60 m** Ab einer Feldlänge von 60 m geht aus dem Kostenmodell hervor, dass das Aufstocken der Paneelsystem unwirtschaftlich wird. Daher lautet die Empfehlung für zweispurige Brücken das System Mabey Delta des folgenden Anbieters für alle Feldlängen größer als 60 m heranzuziehen.

- Mabey Bridge Ltd. (Delta)

Wenn möglich soll die Feldlänge bis an die Gebrauchstauglichkeitsgrenze des Delta-Tragwerks angepasst werden, um die Gesamtkosten zu reduzieren. Diese liegt bei zweispuriger Ausführung je nach Einwirkung bei 70 m bis 90 m.

### 5.3.6 Miete oder Kauf

Die letzte Entscheidung betrifft die Frage, ob ein Behelfsbrückensystem gemietet oder gekauft werden soll. Die unterschiedlichen Argumente wurden bereits in Kapitel 2 erläutert. Diese Entscheidung kann nicht projektunabhängig getroffen werden und ist daher auch nicht Teil der Entscheidungsmatrix.

### 5.3.7 Zusammenfassung zu einer Entscheidungsmatrix

Die Entscheidungsmatrix in Abb. 5.6 besteht aus einzelnen Fragen welche mit „Ja“ oder „Nein“ beantwortet werden können. Die Beantwortung der Fragen führt zur Empfehlung eines oder mehreren Brückensystemen. Sie wird generell von oben nach unten durchlaufen. Die Fragen sind in rechteckigen Fenstern dargestellt. Jede Frage führt zu einem mit einer Raute dargestellten Entscheidungspunkt. Trifft die Projektanforderung auf die zuvor gestellte Frage zu, muss dem Pfad welcher mit „Ja“ beschrieben ist, zur nächsten Frage oder zu einem Ergebnis gefolgt werden. Ergebnisse sind in runden Feldern dargestellt. Diese enden den Pfad.

Gestartet wird mit einem Katalog an Voraussetzungen, die erfüllt sein müssen, damit die Entscheidungsmatrix sinnvoll angewendet werden kann. Dieser ist vor der Anwendung auszufüllen. Sollten diese Voraussetzungen teilweise nicht zutreffen, kann versucht werden, die Rahmenbedingungen des Projektes zu ändern oder es muss bei der Anwendung der Entscheidungsmatrix die Nichteinhaltung der Voraussetzungen berücksichtigt werden. Werden die allgemeinen Voraussetzungen erfüllt, kommt es zu den technischen Anforderungen des Projektes. Die erste Frage befasst sich mit der Anzahl an Fahrstreifen. Durch den großen Einfluss der Breite der Brücke auf das Gewicht und die Kosten muss diese Frage zu Beginn beantwortet werden. Sowohl eine Antwort mit „Ja“ als auch mit „Nein“ führt zur Betrachtung der vorgeschriebenen Feldlängen. Da für einspurige Brücken bis 40 m Systeme auch vom Österreichisches Bundesheer verwendet werden, muss ermittelt werden ob diese für das Projekt verfügbar sind. Sind diese verfügbar, endet die Entscheidungsmatrix mit der Empfehlung des Einsatzes eines der zwei Systeme<sup>3</sup>. Ist eine Benutzung der Systeme des ÖBH nicht im geforderten Ausmaß verfügbar, kann unter Ausschluss der Mabey Delta Brücke ein beliebiges System gewählt werden. Werden Feldlängen von über 40 m für das Projekt benötigt und damit die vorhergehende Frage mit „Nein“ beantwortet, wird gefragt, ob sich die geforderte Feldlänge zwischen 40 m bis 60 m befindet. Befindet sich die Anforderung an die Feldlänge in diesem Bereich wird eine moderne Paneelbrücke empfohlen. Wenn möglich sollte versucht werden, eine einstöckige Bauweise zu erzielen. Für Feldlängen über 60 m ist die wirtschaftlichste Lösung der Einsatz der Mabey Delta Brücke. Mit der Beantwortung dieser Frage hat die Entscheidungsmatrix für jede Feldlänge einspuriger Brücken zu einem oder mehreren Systemen geführt.

<sup>3</sup>Mabey Compact 200 oder D-Brücke

Für zweispurige Brücken muss die 2. Frage der Entscheidungsmatrix mit „Ja“ beantwortet werden. Ist eine zweispurige Brücke geplant, muss ebenso wie bei einspurigen Brücken die Frage beantwortet werden, ob eine Feldlänge von 40 m gefordert ist. Ist dies der Fall, führt die Entscheidungsmatrix sofort zur Empfehlung des Einsatzes eines beliebigen Systems unter Ausschluss der Mabey Delta Brücke. Wird die Frage mit „Nein“ beantwortet und daher eine Feldlänge von 40 m bis 50 m gefordert, ist die Empfehlung eine moderne Paneelbrücke. Die entsprechenden Bauformen von Paneelbrücken, die für eine solche Feldlänge zum Einsatz kommen können, sind in der technischen Analyse dargestellt. Zwischen 50 m bis 60 m ist das wirtschaftlichste System nicht eindeutig. Mit Hilfe der Daten aus der technischen Analyse müssen die Vor- und Nachteile der Systeme projektspezifisch abgewogen werden. Ab 60 m gibt das Kostenmodell die Mabey Delta Brücke als wirtschaftlichstes System an. Dieses wird daher empfohlen, wenn eine zweispurige Brücke mit einer Feldlänge von über 60 m geplant ist.

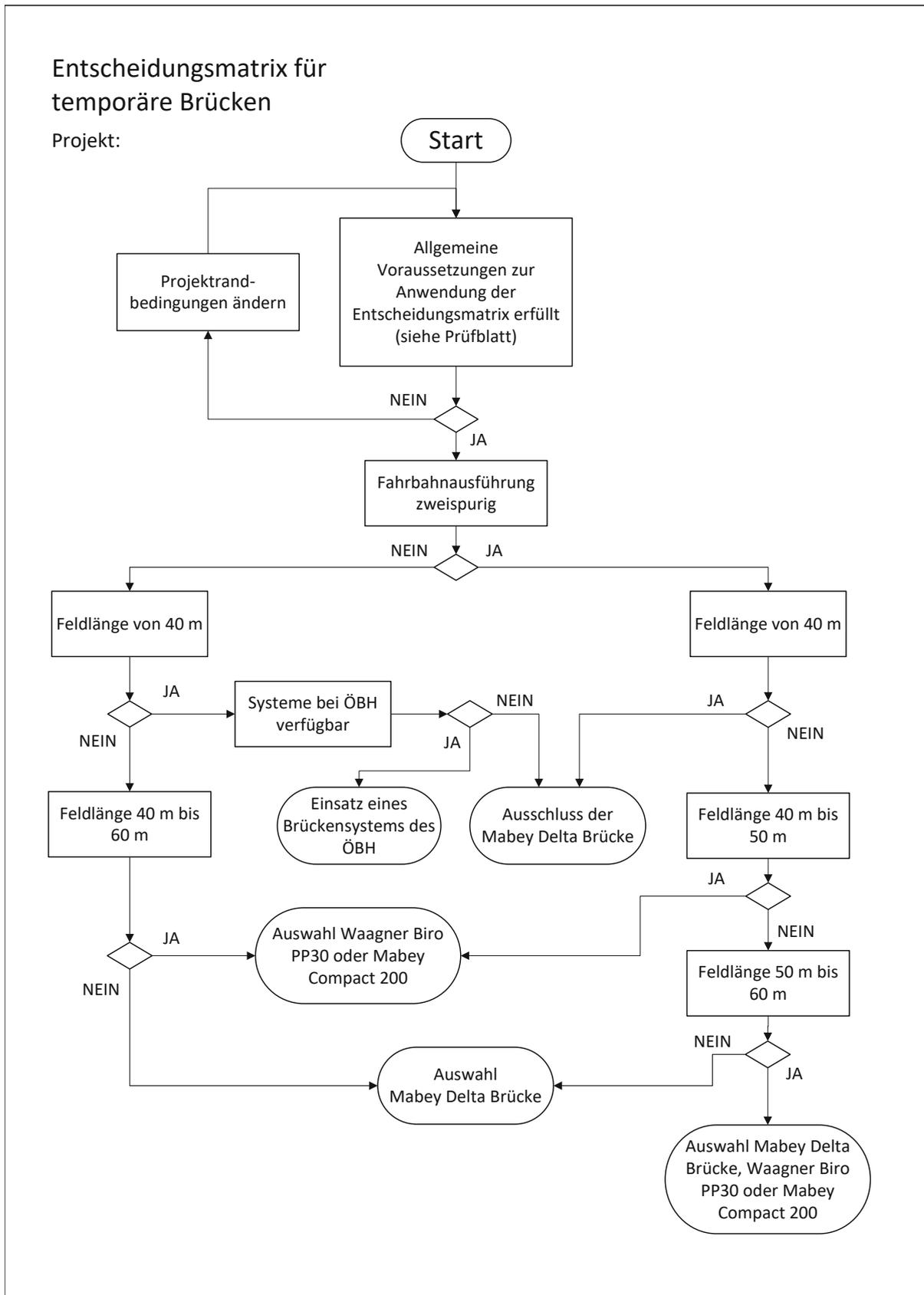


Abb. 5.6: Entscheidungsmatrix für die Auswahl temporärer Brücken



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## Kapitel 6

# Anwendung der Entscheidungsmatrix am Beispiel Donaubrücke Stein-Mautern

Dieses Kapitel befasst sich mit den Rahmenbedingungen eines Instandsetzungs- und Verstärkungsprojektes und dient als praktisches Beispiel für die Anforderungen an Brückensysteme und Anwendung der Entscheidungsmatrix. Die bestehende Brücke, welche die Gemeinden Stein und Mautern in Niederösterreich bei Krems verbindet, wurde im Jahr 1895 erbaut [21]. Es handelt sich um eine Stahlfachwerkbalkenbrücke. Durch die zahlreichen Roststellen ist das fortgeschrittene Alter der Brücke ersichtlich. Aus Sicherheitsgründen wurde das erlaubte Maximalgewicht, mit der die Brücke befahren werden darf, auf 5 to beschränkt und wie in Abb. 6.1 erkennbar für Fußgänger ein Provisorium vor dem Brückengeländer angebracht. Um eine Befahrung der Brücke mit 16 to zu ermöglichen, muss die Brücke inklusive ihres Unterbaus in Stand gesetzt werden. Für die Instandsetzung und Verstärkung wird die alte Brücke abgebaut und für diese Zeit eine Ersatzbrücke hergestellt. Die in Stand gesetzte Brücke soll dann wieder aufgebaut und die Ersatzbrücke komplett demontiert werden. Die folgenden Abschnitte beschreiben die Anforderungen der Ersatzbrücke als Rahmenbedingungen für die Anwendung der Entscheidungsmatrix sowie das Ausführen der Entscheidungsmatrix am Beispielprojekt „Stein-Mautern“. Die Angaben basieren auf einem E-Mail eines Angestellten der NÖ Landesregierung, Leiter des Projektteams Donaubrücke Stein-Mautern [6] beziehungsweise nach Rücksprache mit der Abteilung Brückenbau [27].

### 6.1 Rahmenbedingungen für die Entscheidungsmatrix

Die derzeitige Brücke überspannt die Donau zwischen den Gemeinden Stein und Mautern. Aus den Lageplänen ist ersichtlich, dass das Ufer auf beiden Seiten der Brücke bebaut ist. Die Breite der Donau an diesem Standort beträgt etwa 328 m. Die Anforderungen, welche die temporäre Brücke Stein-Mautern erfüllen muss, und die mit ihnen einhergehenden Auswirkungen auf das zu wählende Brückensystem werden in folgender Auflistung beschrieben:

- Spannweite, Wasserraum, Lichtraum

Die Stützweiten der derzeitigen Brücke (Originaltragwerk) betragen bei Brückenfeld 1 bis 4 jeweils 82,0 m und bei Brückenfeld 5 41,5 m. Dabei überspannen die Felder 1 bis 4 die Donau und Feld 5 eine Landesstraße. Damit befinden sich insgesamt 3 Pfeiler in der Donau. Eine Änderung des Wasserraums soll unbedingt vermieden werden. Die Pfeiler müssen sich somit an der gleichen Position wie jetzt stromaufwärts versetzt befinden, weil nach §25 (1) Schifffahrtsanlagenverordnung – SchAVO die nutzbare Breite der für die Schifffahrt bestimmten Durchfahrtsöffnungen von Brücken über die Fahrrinne von Wasserstraßen 100 m betragen muss oder nicht weiter als auf die Bestandsbreite eingeschränkt werden darf. Dies gibt eine Einzelspannweite von 82 m vor. Die Bestandsbrücke hat eine Gesamtlänge von 374 m. Eine Schifffahrtsöffnung befindet sich in Feld 3 mit einer Lichtraumhöhe von ca.



Abb. 6.1: Brücke Stein-Mautern [25]

7,60 m. Die derzeitigen Durchfahrtshöhe muss weiterhin für die Schifffahrt sichergestellt werden.

- Belastung

Die Ausgangsbasis ist eine Belastung von maximal 16 to. Wie auf Abb. 6.2 zu erkennen befindet sich derzeit eine Last einschränkung von 5 to auf der Brücke. Der Gehwegbereich ist vorerst mit  $400 \text{ kg/m}^2$  zu belasten.

- Geschwindigkeit und Fahrdynamik

Es ist vorerst von einer Fahrgeschwindigkeit von 30 km/h auszugehen.

- Trassierung im Grundriss

Die Trassierung im Grundriss ist gerade zu wählen.

- Gradient im Aufriss

Das Längsgefälle im Bereich der Schifffahrt entspricht 0%. Ansonsten ist es zu den Widerlagern abfallend auszuführen. Da die Planung noch nicht abgeschlossen ist, ist eine genaue Angabe des Gefälles noch ausständig.

- Breite

Die Bestandsbrücke ist zweispurig mit einer Fahrbahnbreite von 5,45 m und einen Gehweg mit ca. 1,50 m. Dies soll – wenn technisch möglich – erhalten bleiben. Das verlangt den Bau einer zweispurigen Systembrücke mit den gleichen Breiten. Zudem ist eine bauliche Trennung zwischen Fahrbahn und Gehwegbereich erforderlich. Wenn der Gehweg außen montiert



Abb. 6.2: Last einschränkung auf der Brücke Stein-Mautern [25]

wird, ist eine bauliche Trennung bereits erfüllt. Bei innenliegendem Gehweg muss mittels mobiler Leitwände für eine solche gesorgt werden. Bei obenliegender Tragkonstruktion ist eine Leitkonstruktion zur Verhinderung eines direkten Anpralls erforderlich. Mit der Standardbreite von 7,35 m bieten einige Systeme die Möglichkeit, alle Anforderung mit einem innenliegenden Gehweg zu erfüllen.

- Montage

Durch die Bebauung auf beiden Uferseiten sind die Platzverhältnisse eingeschränkt. Nach Rücksprache mit dem Land Niederösterreich [27] ist mittels zusätzlicher Maßnahme wie z. B. einem Schutzgerüst über die B33 eine Montage mittels Taktschiebverfahren möglich. Für eine Vormontage in Uferlängsrichtung ist augenscheinlich genügend Platz vorhanden. Durch die geringe Wassertiefe können keine Schwimmkräne zufahren. Die eingeschränkte Vormontagefläche betrifft alle Systeme, daher ist ihre Auswirkung für den Vergleich der Systeme gering.

- Nutzungsdauer

Die Ersatzbrücke soll für die gesamte Instandsetzungsdauer der alten Brücke den Verkehr aufnehmen können. Da die projizierte Renovierungsdauer 3 Jahre beträgt, wird mit diesem Zeitraum als Nutzungsdauer für die Ersatzbrücke gerechnet. Die Nutzungsdauer beeinflusst vor allem die Entscheidung, ob die Brücke gemietet oder gekauft werden sollte. Sie hat auch einen Einfluss auf die Kosten der Wartung, Inspektion und Kontrolle der Brücke.

## 6.2 Ausführung der Entscheidungsmatrix

Um die Entscheidungsmatrix anwenden zu können, müssen zunächst die allgemeinen Voraussetzungen aus Kapitel 5 erfüllt sein. Das Prüfblatt zur Verwendung der Entscheidungsmatrix,

| Prüfung der allgemeinen Voraussetzungen der Entscheidungsmatrix |            |      |
|---|------------|------|
| Projekt: Stein-Mautern  | Trifft zu? |      |
| Projektrandbedingungen  | Ja         | Nein |
| Verkehrsbelastung lässt Anpassungswerte $\alpha=0,7$ zu.        | x*         |      |
| Feldlänge von 40 m bis 100 m.                                   | x          |      |
| Maximale Fahrbahnbreite von 7,35 m.                             | x          |      |
| Keine Anforderung an die optische Gestaltung.                   | x          |      |
| Keine architektonische Anforderung an die Materialien.          | x          |      |
| Gerader Brückenverlauf.   | x          |      |
| Längsneigung maximal 3 %.                                       | x          |      |
| Keine außergewöhnlichen Windlasten.                             | x          |      |
| Keine außergewöhnlichen Schneelasten.                           | x          |      |
| LKW Transport zur Baustelle möglich.                            | x          |      |
| Montageform Taktschiebeverfahren möglich.                       | x          |      |
| Einhaltung der Schifffahrtsverordnung.                          | x          |      |

\*zu Prüfen

**Abb. 6.3:** Prüfblatt zur Anwendung der Entscheidungsmatrix für das Projekt Stein-Mautern

dargestellt für das Projekt Stein-Mautern in Abb. 6.3, wird gemäß der Projektrandbedingungen ausgefüllt. Es gibt keine speziellen Anforderungen bezüglich Material und optischer Gestaltung. Es ist mit keinen besonderen Lasten zu rechnen. Die Belastung wird durch eine Einschränkung der Geschwindigkeit und des Schwerverkehrs reguliert. Ob ein Erreichen von  $\alpha = 0,7$  beim aktuellen Verkehrsaufkommen realistisch ist, muss geprüft werden. Um die Entscheidungsmatrix als Beispiel anwenden zu können, wird diese Frage vorerst mit „Ja“ beantwortet. Der Brückenverlauf ist gerade und die Brückengesamtlänge beziehungsweise Spannweite beträgt mehr als 40 m. Die Feldlänge muss nicht über 100 m betragen. Bei der Kostenanalyse wird von der Möglichkeit einer Montage mit Taktschiebeverfahren ausgegangen. Unabhängig vom gewählten System muss mit einer Erhöhung der Montagekosten durch die Zusatzmaßnahmen, die zur Durchführung des Taktschiebeverfahrens notwendig sind, gerechnet werden. Gemäß des ausgefüllten Prüfblattes sind alle Voraussetzungen erfüllt. Wird dies bei der Wahl des Systems berücksichtigt, kann die Entscheidungsmatrix angewandt werden.

Der Entscheidungsmatrix folgend stellt sich nun die Frage, ob die Brücke ein- oder zweispurig ausgeführt werden soll. Entsprechend der ursprünglichen Brücke, soll auch die temporäre Brücke als zweispurige Ausführung mit Gehweg hergestellt werden. Aufgrund der Kostenersparnis für den Bau von einspurigen gegenüber zweispurigen Brücken von etwa 30 % sollte immer überlegt werden, ob bei dem bestehenden Verkehrsaufkommen eine einspurige Brücke ausreichend ist.

Da die Frage zur zweispurigen Ausführung mit „Ja“ beantwortet werden muss, wird nun die Feldlänge untersucht. Im genannten Projekt ist die Feldlänge mit 82 m vorgegeben, weil sie dem

Abstand der Pfeiler der bestehenden Brücke entspricht. Somit muss die Frage, ob die Feldlänge 40 m beträgt und in weiterer Folge zwischen 40 m und 50 m sowie 50 m und 60 m liegt, mit „Nein“ beantwortet werden.

Danach führt die Entscheidungsmatrix bereits zur Auswahlmöglichkeit von unterschiedlichen Systemen. Diese empfiehlt für zweispurige Brücken mit einer Feldlänge von über 60 m das „Delta“ Tragwerk der Firma Mabey Bridge Ltd. Im vorliegenden Fall eignet sich die Mabey Delta Brücke, weil diese die entsprechende Feldlänge in ihrer Standardbauform überbrücken kann. Bei anderen Systemen wäre dies nicht bzw. nur als Sonderanfertigung möglich. Die Mabey Delta Brücke ist in jedem Fall in der Lage, die bestehenden Anforderungen zu erfüllen. Die Frage, ob beziehungsweise in welchem Ausmaß die Geschwindigkeit und/oder die höchst zulässige Belastung reduziert werden muss, kann erst nach genauen Berechnungen beantwortet werden.

Da die Mabey Delta Brücke lt. Unegg [33] nicht vermietet wird, kann die Brücke nur gekauft werden. In Abb. 6.4 ist der beschriebene Entscheidungspfad für das Projekt Stein-Mautern dargestellt.

## Entscheidungsmatrix für temporäre Brücken

Projekt: Stein-Mautern

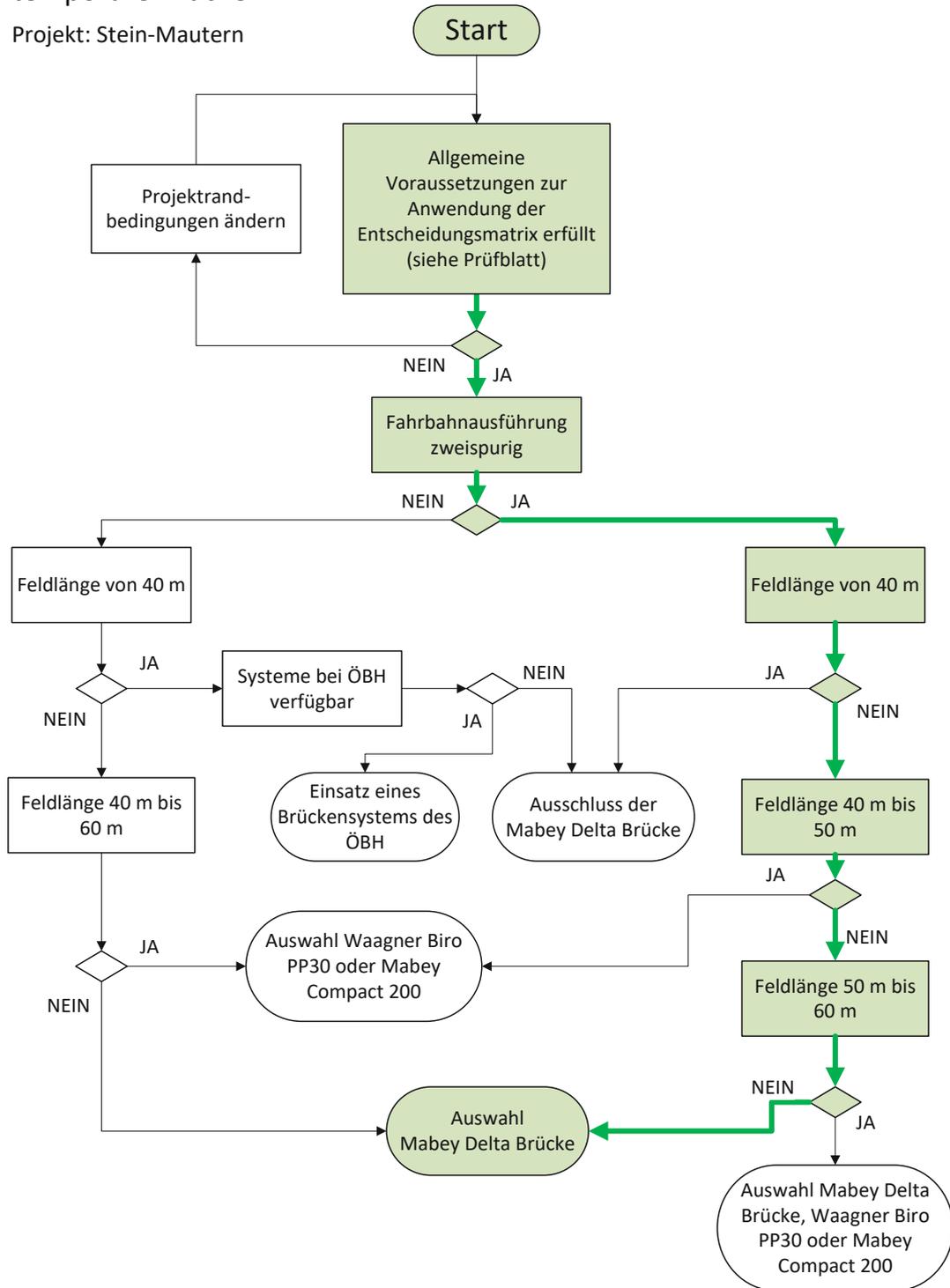


Abb. 6.4: Entscheidungspfad für das Projekt Stein-Mautern

# Kapitel 7

## Fazit

Nach gründlicher Recherche zum Thema Systembrücken konnten einige wichtige Fragen beantwortet werden. Projekte, bei denen Brücken über Flüsse, die der Größe der Donau entsprechen, gebaut und wenige Jahre später inklusive Brückenpfeilern wieder demontiert wurden, sind selten. Dennoch konnten einige Informationen über Systembrücken gefunden werden, welche für die Auswahl geeigneter Brückenbauformen herangezogen werden können. Es könnte beim temporären Brückenbau auch ganz auf den Einsatz einer Systembrücke verzichtet und stattdessen für ein bestimmtes Bauvorhaben individuell eine eigene Fachwerkbrücke mit ausschließlich Schraubverbindungen geplant, konstruiert und gebaut werden. Doch die damit verbundenen Entwicklungs- und Konstruktionskosten würden die Kosten einer bereits entwickelten Systembrücke vermutlich deutlich übersteigen. Die Arbeit befasste sich daher mit der Analyse und dem Vergleich der in Österreich verfügbaren Systembrücken. Für den Vergleich der Brücken wurde das Gewicht der Tragwerke aufgrund des hohen Einflusses auf die Kosten herangezogen. Mithilfe der gewonnenen Daten konnte eine Entscheidungsmatrix zur Auswahl von Systembrücken erstellt sowie offene Fragen beantwortet werden.

### 7.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Die zu Beginn der Arbeit gestellten Fragen wurden in den Kapiteln 3, 4 und 5 ausgearbeitet und beantwortet. Nachstehend werden die Forschungsfragen zusammenfassend beantwortet.

#### **Welche Systembrücken gibt es und welche Systeme sind in Österreich verfügbar?**

Die Auswahl an Brückensystemen, die zur Überspannung von großen Flüssen wie der Donau in Betracht kommen, ist gering. Denn der Markt für Systembrücken dieser Größenordnung ist klein. Auf die Frage, welche Systembrücken in Österreich vorhanden sind, ergibt sich die Antwort, dass je nach Bundesland Brücken des Systems D-Brücke oder der Logistic Support Bridge gelagert sind. Diese dienen in erster Linie dem Österreichisches Bundesheer zum Katastrophenschutz und sind nicht zum Einsatz für größere Projekte gedacht. Verfügbar sind grundsätzlich alle in Europa zur Miete angebotenen Brücken, bis auf die deutsche SS80 und SKB Brücke, welche bis jetzt nur in Deutschland vermietet wird. Die größten Systembrückenhersteller in Europa kommen aus Österreich, Deutschland, England und den Niederlanden, wobei die englische Firma Mabey Bridge Ltd. den größten Marktanteil hat. Teilweise werden diese Brücken direkt von den Herstellern vermietet oder verkauft oder durch Mietbrückenfirmen vertrieben. Technisch sind die Brücken genau auf ihr Einsatzgebiet angepasst, welches zu mehr als 90 % aus der Überbrückung von Flüssen oder Straßen mit Breiten kleiner als 40 m besteht. Dies ist auch der Grund, warum bisher entsprechend wenig Literatur zum Einsatz einer leistungsfähigeren Systembrücke vorhanden ist.

#### **Welche technischen Eigenschaften weisen diese auf?**

Alle Systembrücken, welche maximale Einzelspannweiten von 40 m und mehr aufweisen, sind eine Form von Stahlfachwerkbalkenbrücke. Sie bestehen aus vielen gleichen Teilen, welche vorgefertigt und vor Ort wie ein Baukasten montiert werden können, was eine schnelle Montage ermöglicht. Die

Größe von Standardcontainern limitiert die Größe der Einzelteile auf 12,03 m x 2,35 m x 2,39 m. Angepasst an diese Größe wurden die Systemtragwerke entwickelt. Weil die älteren Systeme für den Einsatz im Militär entwickelt wurden, mussten sie leicht genug für eine händische Montage sein. Modernere Systeme wurden teilweise für die zivile Nutzung entwickelt und haben diese Einschränkung nicht mehr. Für Systembrücken werden nur Schrauben und Bolzenverbindungen eingesetzt, da sie sich zur schadlosen Montage und Demontage einzelner Teile eignen.

### **Wie können die einzelnen Systembrücken untereinander verglichen werden und welche Systeme sind wirtschaftlich vertretbar?**

Dem Rat eines deutschen Experten auf diesem Gebiet folgend wurde das Gewicht der Brücken für den Vergleich herangezogen. Da es sich bei allen Brückensystemen um ein Stahltragwerk handelt, kann mit dem aktuellen Stahlpreis und dem Gewicht der Brücke eine gute Einschätzung der Kosten erfolgen. Denn der Hauptkostenfaktor bei Systembrücken ist der Stahlpreis. Die Fertigungskosten konnten dabei anhand von Experteninterviews mit Fachfirmen ermittelt werden und dienen als Basis für die Kostenanalyse. Ohne diese Werte könnten die Brücken jedoch genauso nur mit ihrem Gewicht miteinander verglichen werden. Obwohl es Tabellenwerte für die Spannweiten der unterschiedlichen Tragwerke gibt, wurden diese meist nach unterschiedlichen Normen bemessen. Daher werden Spannweitentabellen grundsätzlich nicht mehr von den Fachfirmen veröffentlicht. Bei der entsprechenden Umwandlung der Tabellenwerte in dieser Arbeit, um sie vergleichbar zu machen, handelt es sich um keine genauen Berechnungen und eine beträchtliche Einschränkung des Verkehrs muss berücksichtigt werden. Deswegen sollen die in dieser Arbeit ausgearbeiteten Tabellen lediglich als Richtwert dienen.

### **Wie kann bezogen auf die Baukosten das wirtschaftlichste System in Abhängigkeit von bestimmten Projektrahmenbedingungen gewählt werden?**

Aufgrund des hohen Einflusses des Stahlpreises kann davon ausgegangen werden, dass das leichteste System im Bezug auf die Baukosten auch das wirtschaftlichste ist. Je schwerer die Brücke, umso mehr Stahl wird benötigt und umso teurer ist die Brücke. Die jeweiligen Projektrahmenbedingungen schränken die ohnehin geringe Auswahl an Systemen noch weiter ein. Je geringer die Auswahl, umso geringer sind die wirtschaftlichen Möglichkeiten. Der kritische Punkt ist jener Zeitpunkt, bei welchem eine Paneelbrücke zweistöckig oder mehr werden muss. Hier haben die Delta Brücke und größere Fachwerksysteme einen großen Vorteil. Es gibt jedoch viele Bauformen mit den beschriebenen, projektspezifischen Vor- und Nachteilen, die für den Bau von Brücken rund um eine Feldlänge von 40 m in Frage kommen. Leider wird es bei großen Flüssen mit Schifffahrtsverkehr kaum möglich beziehungsweise wirtschaftlich sein, Systeme mit maximalen Feldlängen von 40 m und die dafür benötigten Pfeiler zu bauen. Die Auswahl der Tragwerke an sich, ist durch die technischen Anforderungen, die möglichst kurze Bauzeit und die notwendige Demontagefähigkeit sehr begrenzt. Die Wahl des Systems richtet sich in erster Linie nach der benötigten Fahrstreifenanzahl und der benötigten Feldlänge, da diese Projektrahmenbedingung den größten Einfluss auf das Tragwerk haben. Um die Wahl des besten Systems angepasst an die Projektrahmenbedingungen übersichtlich zu gestalten, wurde eine Entscheidungsmatrix erstellt. Die Entscheidungsmatrix empfiehlt unter Berücksichtigung der technischen Anforderung das wirtschaftlichste System. Ist eine eindeutige Empfehlung aufgrund der ähnlichen Eigenschaften und Preise der Systeme nicht möglich, werden mehrere Systeme empfohlen bzw. einzelne Systeme ausgeschlossen.

### **Welche Annahmen und Einschränkungen müssen getroffen werden um eine Entscheidungsmatrix für Brücken über große Flüsse zu erstellen?**

Für die Anwendung der Entscheidungsmatrix müssen gewisse allgemeine Annahmen zutreffen. Diese Annahmen dienen in erster Linie dazu Anforderungen auszuschließen, die mit temporären

Systemen nicht erfüllt werden können. In erster Linie können die angegebenen Spannweiten nur bei einer erheblichen Beschränkung des Verkehrs oder bei geringer Verkehrsbelastung erreicht werden. Weiters fallen darunter Randbedingungen wie die Einschränkung der Feldlänge auf 100 m, die Einschränkung der Fahrbahnbreite auf 7,35 m, die optische Gestaltung, die Materialwahl sowie der Brückenverlauf im Grundriss oder Waagriss. Besondere Projektrandbedingungen, wie außergewöhnliche Lasten, können mit einer allgemeinen Betrachtung der Systeme, wie es in dieser Arbeit gemacht wurde, ebenso nicht abgedeckt werden. Diese müssen daher vor Anwendung der Entscheidungsmatrix ausgeschlossen werden. Randbedingungen, welche in der Arbeit nicht behandelt wurden, wie Systeme mit Einzelspannweiten von unter 40 m, andere Montagethoden als das Taktschiebverfahren und die Zugänglichkeit des Baufeldes werden ebenso ausgeschlossen. Zuletzt muss, wie bei allen Bauwerken in Flüssen, die Schifffahrtsverordnung eingehalten werden.

## 7.2 Ausblick

Nochmals festgehalten sei, dass sich die Kostenanalyse auf Aussagen der Anbieter aus dem Sommer 2021 bezieht. Beim Überbau sind 80 Prozent der Kosten direkt vom Stahlpreis abhängig. Da sich die Arbeit jedoch grundsätzlich auf das Laufmetergewicht der einzelnen Systeme bezieht, beeinflussen die variablen Stahlpreise weder die Aussagekraft der Arbeit noch jene der Entscheidungsmatrix. Für größere Projekte ist es schwierig, allgemeine Aussagen zu treffen, da die Strategie, wie die Teile weiterverwendet werden sollen, auch einen Rolle in der Auswahl des Tragwerks spielen. Neben der Delta-Brücke kommen nur die großen deutschen Behelfsbrücken in Frage. Möglicherweise wird der Zugang von Österreich zu ihnen in Zukunft erleichtert. Die Unegg GmbH, welche Brücken der Firma Mabey Bridge Ltd. in Österreich und Norditalien vermietet, hat noch keine Mabey Delta Brücke gebaut. Dies wird sich möglicherweise ändern. Derzeit befasst sich eine Studie in Deutschland mit der Anpassung der SS80 Brücke an die neuen Europäischen Normungen. Möglicherweise kann in Zukunft eine Richtlinie für den Bau und die Bemessung von temporären Brücken erstellt werden. Es gibt in Deutschland in den letzten Jahren immer mehr Nachfrage nach der SS80 Brücke und damit offensichtlich eine steigende Nachfrage nach größeren Behelfsbrücken. Europa ist ein relativ kleiner Markt bei gleichzeitig hohen und entsprechend aufwändig zu erfüllenden Sicherheitsstandards. Der Blick sollte daher zukünftig auf internationalen Projekten liegen, wo viele Brücken im Sinne einer regional überaus wichtigen Infrastruktur derzeit noch fehlen und ein rascher, sicherer Brückenbau notwendig ist, um der dortigen Bevölkerung Zugang zu wichtigen Ressourcen zu ermöglichen. Es hat einige Projekte mit der Mabey Delta in den letzten 10 Jahren gegeben. Es ist zu erwarten, dass in Zukunft weitere Projekte folgen werden. Eine Wiederaufnahme der Produktion der Mabey-Universal-Brücke ist durch die Entwicklung der Delta Brücke unwahrscheinlich. Die Brückenhersteller optimieren weiterhin ihre Produkte. Solche Optimierungen sind zum Beispiel die Ausführung einer einzigen Paneelart, also einem Systemtragwerk ohne spezielle schubsteife Paneele wie es Waagner Biro macht, oder die Einführung des Superpaneels der Firma Mabey Bridge. Vielleicht ist es in naher Zukunft möglich, mit Unterstützung durch Computerprogramme und neue Materialien revolutionäre Ideen zu entwickeln, um neuartige temporäre Brücken zu bauen. Womöglich wird dann auch der Bau einer temporären Hängebrücke wieder vertretbar. Solange jedoch Stahl als Material nicht ersetzbar ist, wird die Stahlfachwerkbrücke mit Teilen, welche gerade noch in Standardcontainer passen, die wirtschaftlichste Lösung des temporären Brückenbaus sein und die Spannweiten werden weiterhin auf 120 m begrenzt bleiben. Forschungen in Richtung temporäre Pfeilerkonstruktionen für Brücken über Flüsse würden für eine gesamtheitliche Analyse der Kosten einer temporären Brücke über große Flüsse benötigt werden.

# Abkürzungen

**AASHTO** American Association of State Highway and Transportation Officials

**BMLV** Bundesministerium für Landesverteidigung

**BrKI.1** Brückenklasse 1

**BrKI.2** Brückenklasse 2

**E-Schweißung** Elektrodenhandschweißung

**ECMT** European Conference of Ministers of Transport

**LM 1** Lastmodell 1

**MAG-Schweißung** Metall-Aktivgas-Schweißung

**MBL** Mabey Bridge Ltd.

**SchAVO** Schifffahrtsanlagenverordnung

**SS** Single Single

**UP-Schweißung** Unterpulver-Schweißung

**Vzlt.** Viezeleutnant

**ÖBH** Österreichisches Bundesheer

# Abbildungsverzeichnis

|      |   |    |
|------|---|----|
| 2.1  | Übersicht Haupttragwerke (in Anlehnung an Mehlhorn [56]) . . . . .  | 16 |
| 2.2  | Querschnittsformen von Beton-Plattenbrücken [71] . . . . .  | 17 |
| 2.3  | Stolma-Brücke über die Stolmen zwischen den Inseln Stolmen und Selbjørn [54] .                                  | 18 |
| 2.4  | Mittleres Tragwerk der neuen Eisenbahnbrücke über die Donau in Linz mit einer Länge von 120 m [84] . . . . .    | 19 |
| 2.5  | Rheinbrücke Germersheim [12] . . . . .  | 20 |
| 2.6  | Zweigelenkrahmen mit lotrechten Rahmenstielen [56] . . . . .  | 21 |
| 2.7  | Großherzogin-Charlotte Brücke in Luxemburg [20] . . . . .   | 21 |
| 2.8  | Echte Bogenbrücke oben und Stabbogenbrücke unten [56] . . . . .   | 23 |
| 2.9  | Krk-Brücke, Kroatien, Größter Bogen [90] . . . . .  | 23 |
| 2.10 | Seilarten für Tragkabel bei Schrägseilbrücken [56] . . . . .  | 25 |
| 2.11 | Pont l'Assut de l'Or, Valencia, Schrägseilbrücke mit Harfensystem [25] . . . . .                                | 26 |
| 2.12 | Alte Reichsbrücke über die Donau, Wien [94] . . . . .   | 27 |
| 2.13 | Akashi-Kaikyo-Brücke [77] . . . . .   | 28 |
| 2.14 | Häufige Verfahren im Brückenbau lt. PERI [71] . . . . .   | 29 |
| 2.15 | Bogenlehrgerüst nach dem Cruciani System für die Herstellung der Pfaffenbergbrücke in Österreich [17] . . . . . | 31 |
| 2.16 | Darstellung des Bauverfahrens mit stählerner Vorschubrüstung mit Trogschalung [8]                               | 32 |
| 2.17 | Darstellung einer Trogschalung und Funktionsweise [9] . . . . .   | 33 |
| 2.18 | Darstellung des Bauverfahrens mit Vorbauwagen und Ausbildung eines Waagebalkens [72] . . . . .                  | 34 |
| 2.19 | Skizze des Taktschiebeverfahrens [85] . . . . .   | 35 |
| 2.20 | Ausschnitt aus dem Montageplan zum Bau der Behelfsbrücke Echelsbach [55] . .                                    | 36 |
| 2.21 | Ausschnitt aus dem Montageplan zum Bau der Behelfsbrücke Echelsbach, Kranunterstützt [55] . . . . .             | 37 |
| 2.22 | Schweizer Technisches Merkblatt für Behelfsbrücken [11] . . . . .   | 41 |
| 2.23 | D-Brücke auf temporären Stützen der Firma SEH Engineering GmbH [79] . . . .                                     | 42 |
| 3.1  | Bauformen eines Paneelsystems bis Vierwandig - Zweistöckig [92] . . . . .                                       | 50 |
| 3.2  | Mabey Compact 200 [88] . . . . .  | 53 |
| 3.3  | Mabey Universal Tragwerkkonzept[43] . . . . .   | 55 |
| 3.4  | Wagner Biro Paneelbrücke Power Panel 30 [91] . . . . .  | 57 |
| 3.5  | Mabey Delta Brücke Tragwerk [43] . . . . .  | 58 |
| 3.6  | 99 m lange Mabey Delta Brücke auf den Isles of Lewis [44] . . . . .   | 60 |
| 3.7  | D-Brückenträger mit 60 m Länge [78] . . . . .   | 62 |
| 3.8  | Auflistung der maximalen Spannweite ein- und zweispuriger Brücken . . . . .                                     | 64 |
| 3.9  | Auflistung des Laufmetergewichts ein- und zweispuriger Brücken . . . . .  | 69 |
| 4.1  | K3 Blatt zur Ermittlung des Mittellohnpreises [93] . . . . .  | 76 |
| 5.1  | Laufmetergewicht und Laufmeterpreis einspuriger Systembrücken . . . . .   | 88 |
| 5.2  | Laufmetergewicht und Laufmeterpreis zweispuriger Systembrücken . . . . .  | 89 |
| 5.3  | Vergleich des Laufmeterpreises einspuriger Systembrücken . . . . .  | 90 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 5.4 | Vergleich des Laufmeterpreises zweispuriger Systembrücken . . . . .           | 90  |
| 5.5 | Prüfblatt zur Anwendung der Entscheidungsmatrix . . . . .                     | 93  |
| 5.6 | Entscheidungsmatrix für die Auswahl temporärer Brücken . . . . .              | 99  |
| 6.1 | Brücke Stein-Mautern [25] . . . . .   | 102 |
| 6.2 | Lasteinschränkung auf der Brücke Stein-Mautern [25] . . . . .                 | 103 |
| 6.3 | Prüfblatt zur Anwendung der Entscheidungsmatrix für das Projekt Stein-Mautern | 104 |
| 6.4 | Entscheidungspfad für das Projekt Stein-Mautern . . . . .                     | 106 |

# Tabellenverzeichnis

|      |  |    |
|------|--|----|
| 3.1  | Angesetzte Belastungen im Vergleich . . . . .  | 48 |
| 3.2  | Mögliche Breiten Bailey-Brücke [88] . . . . .  | 51 |
| 3.3  | Technische Daten Bailey-Brücke im Überblick [88] . . . . .   | 52 |
| 3.4  | Breiten der Standardbauformen Mabey Compact 200 . . . . .  | 53 |
| 3.5  | Technische Daten Mabey Compact 200 im Überblick . . . . .  | 54 |
| 3.6  | Technische Daten Mabey Universal [53] . . . . .  | 56 |
| 3.7  | Technische Daten Waagner Biro Paneelbrücke im Überblick . . . . .  | 57 |
| 3.8  | Technische Daten Mabey Delta Brücke [89] . . . . .   | 59 |
| 3.9  | Technische Daten D-Brücke im Überblick [16] . . . . .  | 61 |
| 3.10 | Teile Mabey Compact 200 TShR3h mit Gewicht . . . . .   | 65 |
| 3.11 | Vergleich der Teile und des Gewichts der Bauformen TShR3h und QThR4h des Systems Mabey Compact 200 . . . . .                 | 66 |
| 4.1  | Verteilung der Kosten auf die Positionen nach Mehlhorn [56] . . . . .  | 72 |
| 4.2  | Aufwandswert zur Montage von 1 Laufmeter Brücke [34] . . . . .   | 75 |
| 4.3  | Personalpreis pro Tonne Brücke mit einem Mittellohnpreis pro Stunde von 58,88 €/h  | 77 |
| 4.4  | Summe Personal- und Fertigungspreis pro Tonne Brücke . . . . .   | 78 |
| 4.5  | Kranpreis pro Tonne Brücke mit einem Kranpreis pro Stunde von 153 € . . . . .  | 80 |
| 4.6  | Preis inklusive Montage von 1 Tonne Brücke . . . . .   | 80 |
| 4.7  | Verteilung des Preises in der Position Überbau . . . . .   | 81 |
| 4.8  | Verteilung der Kosten auf die Positionen Systembrückenbau inklusive der Preise pro Tonne für das Kostenmodell [56] . . . . . | 82 |

# Literatur

- [1] K. Abramowicz. „Auswirkungen ausgewählter Verkehrslastmodelle auf die Beanspruchung von Plattenbalkenbrücken“. Masterarbeit. Technische Universität Graz, 2018.
- [2] B. Kreiner, Bgdr. *Merkblatt für das Bundesheer, Brückenbau mit der MABEY Bridge Compact 200 Superpaneelbrücke (Brücken - Vorschubhandbuch)*. Wien: Bundesministerium für Landesverteidigung und Sport, 2017.
- [3] B. Kreiner, Bgdr. *Merkblatt für das Bundesheer, Brückenbau mit der MABEY Bridge Compact 200 Superpaneelbrücke (Identification Manual)*. Wien: Bundesministerium für Landesverteidigung und Sport, 2017.
- [4] B. Kreiner, Bgdr. *Merkblatt für das Bundesheer, Brückenbau mit der MABEY Bridge Compact 200 Superpaneelbrücke (Logistikbrücke - Handbuch)*. Wien: Bundesministerium für Landesverteidigung und Sport, 2017.
- [5] British Standards Institution. *BS 5400-2:2006 Steel, concrete and composite bridges. Specification for loads*. 2006.
- [6] M. Brunner. *E-Mail über das Projekt Stein-Mautern*. Wien, März 2021.
- [7] Bundesanstalt für Wasserbau (BAW). *Nachweis bestehender Brücken auf Schiffsanprall (MNaBS)*. Techn. Ber. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), 2010.
- [8] DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH. *Bauverfahren Vorschubrüstung*. Jan. 2018. URL: [https://www.bahnprojekt-stuttgart-ulm.de/uploads/\\_processed\\_/8/4/csm\\_20160917-PFA2\\_2\\_Bauverfahren\\_Vorschubruestung\\_dt\\_22036\\_83dea2ed1e.jpg](https://www.bahnprojekt-stuttgart-ulm.de/uploads/_processed_/8/4/csm_20160917-PFA2_2_Bauverfahren_Vorschubruestung_dt_22036_83dea2ed1e.jpg) (Zugriff am 06.02.2022).
- [9] DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH. *Trog Schalung Prinzipskizze*. Jan. 2018. URL: [https://www.bahnprojekt-stuttgart-ulm.de/uploads/\\_processed\\_/e/b/csm\\_20160917-PFA2\\_2\\_Filstalbruecke\\_Querschnitt\\_TrogSchalung\\_Prinzipskizze\\_22035\\_29c77e3081.jpg](https://www.bahnprojekt-stuttgart-ulm.de/uploads/_processed_/e/b/csm_20160917-PFA2_2_Filstalbruecke_Querschnitt_TrogSchalung_Prinzipskizze_22035_29c77e3081.jpg) (Zugriff am 06.02.2022).
- [10] DIN 1072:1985-12. *Straßen- und Wegbrücken; Lastannahmen*. Beuth Verlag GmbH. Berlin.
- [11] Eidgenössisches Departement für Umwelt Verkehr und Kommunikation UVEK „Bundesamt für Straßen. *Fachhandbuch K (Kunstbauten), Technisches Merkblatt Bauteile, Bauhilfsmassnahmen - Hilfsbrücken*. 1.01. 2019.
- [12] Eurext. *Rheinbrücke Gernersheim*. Apr. 2014. URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=33193432> (Zugriff am 17.04.2022).
- [13] J. Fink. *VO Brückenbau, 1 Grundlagen Stahl- und Verbundbrücken, 1.2 Entwurfs- und Konstruktionsgrundlagen von Stahlbrücken*. Techn. Ber. Technische Universität, Institut für Tragkonstruktionen Stahlbau, 2020.
- [14] J. Fink. *VO Brückenbau, 1 Grundlagen Stahl- und Verbundbrücken, 1.3 Regeln zur ästhetischen und konstruktiven Gestaltung der Haupttragkonstruktion*. Techn. Ber. Technische Universität, Institut für Tragkonstruktionen Stahlbau, 2020.
- [15] J. Fink. *VO Stahlbau 1, 3 Herstellung von Stahltragwerken, 3.3 Verbindungstechnik*. Technische Universität Wien. Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau. Wien, 2016.

- [16] Friedrich Krupp AG. *KRUPP-MAN D-BRÜCKE*. Krupp MAN, 1971.
- [17] GK Holding GmbH. *System CRUCIANI – das freitragende Bogenlehrgerüst*. Dez. 2015. URL: <https://www.gk-holding.at/gk/portfolio-item/cruciani/> (Zugriff am 06.02.2022).
- [18] G. Goger. *Studienblätter der Vorlesung Bauprozessplanung*. Technische Universität Wien, Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft. Wien, 2019.
- [19] K. Gotsch. *Betonbogenbrücke*. Apr. 2001. URL: <http://www.karl-gotsch.de/Lexikon/Betonbogenbr.htm> (Zugriff am 22.01.2022).
- [20] K. Gotsch. *Pont Grande-Duchesse Charlotte, 1962-1965*. URL: [http://www.karl-gotsch.de/Bilder/Luxemburg\\_Pont%5C%20Grande-Duchesse%5C%20Charlotte2.jpg](http://www.karl-gotsch.de/Bilder/Luxemburg_Pont%5C%20Grande-Duchesse%5C%20Charlotte2.jpg) (Zugriff am 17.04.2022).
- [21] J. Hadrbolec. *Die Geschichte der Mauterner Donaubrücke Brückenvortrag vom 17. Juni 2013 im Museumsverein Krems*. 17. Juli 2013. URL: <s8d4ff063e04a6d14.jimcontent.com/download/version/1381310974/module/8068616385/name/Br%5C%C3%5C%BCckenvortrag.pdf> (Zugriff am 12.11.2022).
- [22] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.v. und Fachverband der Bauindustrie Österreich. *BGL Baugeräteliste 2020*. 1. Aufl. Bauverlag BV GmbH, 2020. ISBN: 978-3-7625-3690-1.
- [23] Hemming Group Ltd. *The Bridges Construction Award*. 9. März 2022. URL: <https://www.bridgesawards.co.uk/winners/winners-2022/> (Zugriff am 03.09.2022).
- [24] Kellner & Kunz AG. *INFO. 7. Schrauben für den Stahlbau. Wirkungsweise der GV-Verbindung*. 2017. URL: [https://docplayer.org/26953881-Info-7-schrauben-fuer-den-stahlbau-wirkungsweise-der-gv-verbinding.html#show\\_full\\_text](https://docplayer.org/26953881-Info-7-schrauben-fuer-den-stahlbau-wirkungsweise-der-gv-verbinding.html#show_full_text) (Zugriff am 06.03.2022).
- [25] M. Kernstock. *Bildergalerie des Autors*.
- [26] M. Kernstock, J. Decker und G. Kampl. *Zwischenbericht Diplomarbeit Behelfsbrückensysteme*. Online, Juni 2021.
- [27] M. Kernstock, G. Kampl, M. Brunner und K. H. Schlöglmann. *Gespräch Abteilung Brückenbau Land Niederösterreich*. Niederösterreich-St.Pölten, Feb. 2023.
- [28] M. Kernstock und R. Kerschbaumer. *Interview Systembrücken der Firma WaagnerBiro*. Wien, Mai 2021.
- [29] M. Kernstock und R. Martschin. *Interview Behelfsbrückenbau des Bundesheers*. Birago-Kaserne-Melk, März 2021.
- [30] M. Kernstock und J. Matuschek. *Telefonat über die Erstellung eines Kostenmodells*. Telefonat, Apr. 2021.
- [31] M. Kernstock und F. Unegg. *Interview 1 Systembrücken der Firma Mabey*. Kärnten-Klagenfurt, Apr. 2021.
- [32] M. Kernstock und F. Unegg. *Interview 2 Systembrücken der Firma Mabey*. Kärnten-Klagenfurt, Aug. 2021.
- [33] M. Kernstock und F. Unegg. *Interview 3 Systembrücken der Firma Mabey*. Kärnten-Klagenfurt, Aug. 2022.
- [34] M. Kernstock und C. Wagner. *Interview 2 Behelfsbrückenbau des Bundesheers*. Benedek-Kaserne, März 2021.

- [35] T. J. Krapfenbauer. *Bautabellen*. Wien: Verlag Jugend & Volk GmbH, 2006. ISBN: 978-3-7100-1363-8.
- [36] A. Kropik. *Kalkulation und Preisbildung für den Einsatz von Erdbaugeräten*. Wirtschaftskammer Österreich, Bundesinnung Bau. Wien, 2022.
- [37] A. Kropik. *Mittellohnpreiskalkulation Nach der neuen ÖNORM B 2061 : 2020 05 01*. Wirtschaftskammer Österreich, Geschäftsstelle Bau. Wien, 2020.
- [38] A. Kropik. *Studienblätter der Vorlesung Kalkulation und Kostenrechnung im Baubetrieb*. Technische Universität Wien, Wien / Institut f. Interdisziplinäres Bauprozessmanagement / E234-03 Forschungsbereich Bauwirtschaft und Baumanagement. Wien, 2020.
- [39] M. Lackner. *Schubverband mit Rekordlänge*. 14. Aug. 2020. URL: <https://www.felbermayr.cc/aktuell/news-detail/schubverband-mit-rekordlaenge> (Zugriff am 19. 08. 2022).
- [40] C. Lang und H. Wolkerstorfer. *Praktische Baukalkulation Erstellen der Kalkulationsformblätter gemäß ÖNORM B 2061*. 6. Aufl. Wien: Linde Verlag Ges.m.b.H., 2022. ISBN: 978-3-7073-1676-6.
- [41] C. Ley. *Marktinformationen Frachten: Frachtraten ziehen weiter an*. Sep. 2021. URL: <https://www.bme.de/news/infocenter/marktinformationen-frachten-frachtraten-ziehen-weiter-an-3950> (Zugriff am 29. 05. 2022).
- [42] Liebherr-Werk Biberach GmbH. *Mobilkran LTM 1030-2.1*. Mai 2005. URL: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/Taktschieben.png> (Zugriff am 17. 04. 2022).
- [43] Mabey Bridge Ltd. *Bridging the World. Connecting People and Places*. 2019.
- [44] Mabey Bridge Ltd. *Case Study Bernera Access Bridge, Isle of Lewis, Scotland*. 2022.
- [45] Mabey Bridge Ltd. *Case Study Caroni Delta Bridge, Trinidad & Tobago*. 2017.
- [46] Mabey Bridge Ltd. *Case Study Chur access bridge, Switzerland*. 2019.
- [47] Mabey Bridge Ltd. *Case Study Delta Bridge Detour, Quebec, Canada*. 2018.
- [48] Mabey Bridge Ltd. *Case Study His Highness Sheikh Khalifa Bin Zayed Al Nahyan Bridge, Pakistan*. 2019.
- [49] Mabey Bridge Ltd. *Case Study Niari River, Republic of Congo*. 2017.
- [50] Mabey Bridge Ltd. *Case Study Skardu Bridge Programme, Pakistan*. 2012.
- [51] Mabey Bridge Ltd. *Case Study Swarkestone Quarry, UK*. 2021.
- [52] Mabey Bridge Ltd. *Case Study Volcán de Fuego, Guatemala*. 2020.
- [53] Mabey Inc. *Bridging Systems Temporary.Emergency-Permanent*. Okt. 2016.
- [54] Mathro0202. *The Stolma Bridge over the Stolmen sound in Austevoll municipality (Hordaland) connects Stolmen and Selbjørn islands*. Mai 2008. URL: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4e/Stolmabrua01.JPG> (Zugriff am 09. 01. 2022).
- [55] Max Streicher GmbH & Co. *Behelfsbrücke Montagephasen für Aufbau und Verschub des Überbaus*. Jan. 2017.
- [56] G. Mehlhorn. *Handbuch Brücken : Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten*. ger. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag GmbH, 2007. ISBN: 3540296611. URL: 10.1007/978-3-540-29661-4.

- [57] M. Monteverde. „Comparison between Eurocodes and UK standards(BDs) for structural assessment, The Case Study of Ashworth Viaduct“. Dissertation. Universidade nova de Lisboa, 2017.
- [58] B. Nebel. *Balkenbrücken*. Juli 2021. URL: [https://www.bernd-nebel.de/bruecken/6\\_technik/balken/balken.html](https://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/balken/balken.html) (Zugriff am 09.01.2022).
- [59] B. Nebel. *Bogenbrücken*. Juli 2021. URL: [https://www.bernd-nebel.de/bruecken/index.html?/bruecken/6\\_technik/bogen/bogen.html](https://www.bernd-nebel.de/bruecken/index.html?/bruecken/6_technik/bogen/bogen.html) (Zugriff am 16.01.2022).
- [60] B. Nebel. *Schrägseilbrücken*. Juli 2021. URL: [https://www.bernd-nebel.de/bruecken/index.html?/bruecken/6\\_technik/schraeg/schraeg.html](https://www.bernd-nebel.de/bruecken/index.html?/bruecken/6_technik/schraeg/schraeg.html) (Zugriff am 09.01.2022).
- [61] ÖNORM B 1991-2:2018-08-01. *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 2 Verkehrslasten auf Brücken - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-2 und nationale Ergänzungen*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [62] ÖNORM B 1993-1-7:2008-07-01. *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Tabelle C.3*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [63] ÖNORM B 2061:2020-05-01. *Preisermittlung für Bauleistungen - Verfahrensnorm*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [64] ÖNORM B 4002:1970-12-01. *Straßenbrücken; allgemeine Grundlagen; Berechnung und Ausführung der Tragwerke*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [65] ÖNORM EN 1991-2:2012-03-01. *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 2 Verkehrslasten auf Brücken*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [66] ÖNORM EN 1993-2:2010-08-15. *Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 2: Stahlbrücken*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [67] ÖNORM EN ISO 286-2:2019-11-01. *EN ISO 286-2, Geometrische Produktspezifikation (GPS) - ISO-Toleranzsystem für Längenmaße - Teil 2: Tabellen der Grundtoleranzgrade und Grenzabmaße für Bohrungen und Wellen*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [68] P. F. Pallett und R. Filip. *Temporary Works, Second Edition*. 2. Aufl. London: ICE Publishing, Dez. 2018. ISBN: 9780727763389.
- [69] PERI Vertrieb Deutschland GmbH & Co. KG. *PRODUKT | PERI VARIOKIT Freivorbaugerät VBC*. 17. Mai 2021. URL: <https://youtu.be/u0BNRhA-qo8?t=57> (Zugriff am 20.02.2022).
- [70] PERI Vertrieb Deutschland GmbH & Co. KG. *PRODUKT | PERI VARIOKIT Freivorbaugerät VBC*. 17. Mai 2021. URL: <https://youtu.be/u0BNRhA-qo8?t=67> (Zugriff am 20.02.2022).
- [71] PERI Vertrieb Deutschland GmbH & Co. KG. *Schalungstechnik Brückenbau*. Jan. 2022. URL: <https://www.peri.de/unternehmen/know-how/bauwissen-brueckenbau-und-schalungstechnik.html> (Zugriff am 09.01.2022).
- [72] PERI Vertrieb Deutschland GmbH & Co. KG. *VARIOKIT Freivorbaugerät*. Feb. 2022. URL: <https://www.peri.de/produkte/systeme-ingenieurbau/brueckenschalungen/variokit-freivorbaugeraet.html#&gid=1&pid=7> (Zugriff am 20.02.2022).
- [73] J. Pike. *Field Manual 3-34.343 MILITARY, NONSTANDARD FIXED BRIDGING Appendix B*. 12. Feb. 2002. URL: <https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/3-34-343/appb.htm> (Zugriff am 14.08.2022).
- [74] R. Teply, Obst. *Merckblatt für das Bundesheer, Brückenbau mit der BAILEY-Gerät (Bauablauf)*. Wien: Bundesministerium für Landesverteidigung und Sport, 2014.

- [75] R. Tepy, Obst. *Merkblatt für das Bundesheer, Brückenbau mit der BAILEY-Gerät (Bauplanung)*. Wien: Bundesministerium für Landesverteidigung und Sport, 2014.
- [76] R. Tepy, Obst. *Merkblatt für das Bundesheer, Brückenbau mit der BAILEY-Gerät (Grundlagen und Gerätekunde)*. Wien: Bundesministerium für Landesverteidigung und Sport, 2014.
- [77] Roulex 45. *Élévation du pont Akashi-Kaikyō - Pont suspendu franchissant le détroit d'Akashi (Japon)*. Juni 2008. URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4215050> (Zugriff am 22.01.2022).
- [78] SEH Engineering GmbH. *Demontage der Behelfsbrücke Meinerzhagen*. 2022. URL: [https://seh-engineering.de/fileadmin/user\\_upload/IMG-20220720-WA0025.jpg](https://seh-engineering.de/fileadmin/user_upload/IMG-20220720-WA0025.jpg) (Zugriff am 20.11.2022).
- [79] SEH Engineering GmbH. *Systembrückenvermietung*. 2022. URL: <https://seh-engineering.de/leistungen/dienstleistung/systembrueckenvermietung> (Zugriff am 20.11.2022).
- [80] A. Speer. *Fachwörter der Straßenplanung einfach erklärt*. Techn. Ber. Sep. 2015.
- [81] Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. *Gabler Wirtschaftslexikon, Definition: Was ist "Lieferung"?* 2018. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/lieferung-37813/version-261243> (Zugriff am 14.11.2022).
- [82] Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. *Gabler Wirtschaftslexikon, Montage*. 2018. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/montage-38188/version-261614> (Zugriff am 23.11.2022).
- [83] Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. *Gabler Wirtschaftslexikon, Produktion*. 2018. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/produktion-42040/version-265395> (Zugriff am 14.11.2022).
- [84] Stadt Linz / Hartl. *Bautagebuch zur Neuen Eisenbahnbrücke*. Feb. 2021. URL: [https://www.linz.at/stadtentwicklung/neuedonaubruেকে\\_bautagebuch.php](https://www.linz.at/stadtentwicklung/neuedonaubruেকে_bautagebuch.php) (Zugriff am 22.01.2022).
- [85] Störfix. *Taktschiebeverfahren*. Mai 2005. URL: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/Taktschieben.png> (Zugriff am 17.04.2022).
- [86] W. Suez. *Entwicklungen im Bereich der Systembrücken - Bestandsaufnahme und Vergleich von D-Brücke, Bailey-Brücken und Paneel-Brücke mit dem Ziel, leistungsfähige Brückensysteme für künftige Katastropheneinsätze in ausreichendem Ausmaß verfügbar zu haben*. Techn. Ber. Militärkommando Niederösterreich, 2003.
- [87] TechDico. *Deutsch-Englisch Technisches Wörterbuch*. 2022. URL: <https://de.techdico.com> (Zugriff am 17.04.2022).
- [88] F. Unegg. *Mietbrücken-Katalog*. 2020.
- [89] Unegg GmbH. *Mabey Delta pre-engineered permanent highway bridge*. Apr. 2021.
- [90] velfran. *Der größere Bogen der Krk-Brücke*. Aug. 2008. URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=50844334> (Zugriff am 22.01.2022).
- [91] Waagner Biro Bridge Systems GmbH. *Panel bridge Power Panel 30 Design and erection manual*. 2014.
- [92] Waagner-Biro AG. *Waagner Biro Paneelbrücken*. Druckerei Jentzsch, 1210 Wien.

- [93] R. Weber. *K2 - K3 Exceltool Version 10-2020*. ecc Bauprozessmanagement GmbH. 5. März 2023. URL: <https://www.eccgmbh.at/downloads/%5C%C3%B6n-b-2061-baupreisbildung-kalkulation/> (Zugriff am 05.03.2023).
- [94] Wien Museum. *Ansichtskarte, Das eingestürzte Wiener Wahrzeichen*. 1964. URL: <https://magazin.wienmuseum.at/die-reichsbruecke-ein-bauwerk-des-schwarzen-wien> (Zugriff am 22.01.2022).
- [95] B. Williamson. *Historic Bridge Restoration Assisted By Temporary Bridge*. Feb. 2016. URL: <https://www.roadsbridges.com/bridges/article/10707559/historic-bridge-restoration-assisted-by-temporary-bridge> (Zugriff am 24.07.2022).

# Anhang A

## Fragebogen und Fachgespräche

# Fragebogen

**Erstellt von:** Michael Kernstock, BSc.

**Zweck:** Zur Sammlung von Informationen zum zivilen Systembrückenbau in Europa im Zuge meiner Diplomarbeit am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft unter der Leitung von Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerald Goger und der Betreuung durch Frau Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Bettina Chylik

## Kurze Erläuterung:

Systembrücken sind eine Sonderform des Brückenbaus, die für die militärische Nutzung entwickelt worden sind. Die allgemeine Literatur zu diesem Thema ist sehr begrenzt. Daher ist es umso wichtiger die Meinung von Experten auf diesem Gebiet einzuholen, um die Forschungsfragen ausreichend beantworten zu können. Durch die Beantwortung der Fragen soll ein Bild vom Stand des zivilen Systembrückenbaus in Europa entstehen. Falls zu Fragen keine Information gegeben werden kann, bitte ich, wenn möglich um kurze Angabe der Gründe.  
Danke für Ihre Mitarbeit.

## 1 Allgemeine Informationen zur Person

1. Name:

---

2. Unternehmen:

---

3. Position im Unternehmen:

---

4. Funktion im Bezug auf den Systembrückenbau:

---

5. Größte Projekte mit Systembrücken bei den Sie beteiligt waren:

---

6. In welchen Ländern waren Sie bei Projekten mit Systembrücken beteiligt

---

---

## 2 Technische Grundlagen von Systembrücken

1. Welche Systembrückenhersteller und Anbieter kennen Sie im nationalen und internationalen Bereich?

- 
2. Welche Brückensysteme für den temporären Brückenbau sind Ihnen bekannt? Mit welchen dieser Systeme haben Sie selbst schon Erfahrungen gemacht?

- 
3. Welche Systeme kommen Ihrer Meinung nach am häufigsten zum Einsatz und warum?

- 
4. Was sind aus Ihrer Sicht die wesentlichen Vor- und Nachteile der Ihnen bekannten Systembrücken?
-

---

5. Was sind Ihrer Meinung nach die besonderen Herausforderungen im Systembrückenbau?

---

6. Welche Verfahren zum Auf- und Abbau von Systembrücken kennen Sie und welche Erfahrungen haben Sie damit bereits gemacht? Welche Randbedingungen sind aus Ihrer Sicht bei der Auswahl des Verfahrens zu berücksichtigen?

---

7. Welche Möglichkeiten kennen bzw. sehen Sie bei der Konstruktion des Unterbaus für temporäre Brücken? (z. B. Verwendung von vorhandenen Pfeilern, Bau von temporären Pfeilern etc.)

---

8. Sind Ihnen in Europa Projekte mit Systembrücken mit einer Einzelspannweite von über 80m bekannt?

---

9. Welche Längen weisen Systembrücken am häufigsten auf?

---

### 3 Bemessung von Systembrücken

1. Welche Bemessungsnormen für Systembrücken kennen Sie und für welche Systeme werden diese Ihrer Erfahrung nach angewendet?

2. Wie wird eine Bauform ausgewählt, die den Lasten gemäß EN 1991-2 entspricht?

---

3. Kennen Sie Umrechnungs- oder Vergleichsmöglichkeiten zwischen den internationalen Normen in Bezug auf die EN 1991-2?

---

4. Welcher Anpassungswert für Lasten ( $\alpha_Q$ ) wird in der Praxis für Systembrücken angewendet und welche Auswirkungen hat dieser (z. B. Lasteinschränkung, Geschwindigkeitseinschränkung etc.)?

---

---

#### 4 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen im Systembrückenbau

1. Wie lange ist die zu erwartende Nutzungsdauer für Systembrücken bzw. deren Teile?

---

2. Können diese Systeme oder Teile davon wiederverwendet werden?

---

3. Was ist für eine Nachnutzung Ihrer Meinung nach zu berücksichtigen?

---

4. Ab wie vielen Nutzungsjahren ist gemäß Ihrer Erfahrung der Kauf des Brückensystems wirtschaftlicher als die Miete (ohne Berücksichtigung einer eventuellen Nachnutzung)?

---

5. Findet die kalkulatorische Abschreibung bei Systembrücken Anwendung (ähnlich wie bei Baugeräten)? Wenn nein, warum nicht und was ist die Alternative?

---

6. Wie kann der Restwert einer temporären Brücke bewertet werden? Welche Faktoren sind dabei besonders zu berücksichtigen (ordnungsgemäße Wartung, Verkehrseinschränkungen etc.)?

- 
7. Welche Kosten sind Ihrer Erfahrung nach in den Kauf- bzw. Mietpreisen von Systembrücken enthalten und welche müssen zusätzlich berücksichtigt werden? (Transport, Wartung, Montage etc.)

- 
8. Was ist das ungefähre Verhältnis von Montagekosten zu Demontagekosten?
-

---

## 5 Ausblick

1. Welche Veränderungen im Systembrückenbau sind in den nächsten Jahren oder Jahrzehnten zu erwarten?
-

# Fachgespräche

**Erstellt von:** Michael Kernstock, BSc.

**Zweck:** Zur Sammlung von Informationen zum zivilen Systembrückenbau in Europa im Zuge meiner Diplomarbeit am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft unter der Leitung von Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerald Goger und der Betreuung durch Frau Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Bettina Chylik

|                  | <b>Unternehmen</b>   | <b>Position</b>                          | <b>Funktion</b>  | <b>Region</b>                    |
|------------------|--|--|--|----------------------------------|
| <b>Experte 1</b> | Österreichisches Bundesheer  | Vizeleutnant                             | Ausbildung Pioniere  | Melk, Niederösterreich           |
| <b>Experte 2</b> | Systembrückenentwicklung/ und Beratungsfirma                         | Geschäftsführer                          | Beratung, Entwicklung von Systemkonstruktionen                                 | Deutschland, Österreich          |
| <b>Experte 3</b> | Systembrückenanbieter  | Geschäftsführer                          | Vermietung von Systembrücken, Generalvertretung eines Systembrückenherstellers | Österreich, Norditalien, Schweiz |
| <b>Experte 4</b> | Österreichisches Bundesheer  | Hauptmann                                | Ausbildung Pioniere  | Bruckneudorf, Niederösterreich   |
| <b>Experte 5</b> | Systembrückenanbieter  | Vice President Sales                     | Verkauf und Vermietung Systembrücken   | Österreich und International     |
| <b>Experte 6</b> | Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur Deutschland | Referent<br>Abteilung: Bundesfernstraßen | Zuständig für das Festbrückengerät des Bundes im Bereich der Bundesfernstraßen | Deutschland                      |

Tab. 1: Übersicht der Befragten

## 1 Experte 1

### 1.1 Allgemeine Informationen zur Person

1. Größte Projekte mit Systembrücken bei den Sie beteiligt waren:

*D-Brückenbau zu Übungszwecken mit einer Gesamtlänge von ca. 100 m auf Pontons*

---

2. In welchen Ländern waren Sie in Projekten mit Systembrücken beteiligt

*Österreich*

---

## 1.2 Technische Grundlagen von Systembrücken

1. Welche Systembrückenhersteller und Anbieter kennen Sie im nationalen und internationalen Bereich?

*Früher gab es die Firma Krupp welche die D-Brücke hergestellt hat. Diese wurde jedoch gekauft. Ein Experte auf dem Gebiet Systembrückenbau, welcher sich in Deutschland selbstständig gemacht hat, ist Herr Matuschek. Ansonsten bieten die Firma Mabey Johnson bzw. der Generalvertreter in Österreich Herr Unegg sowie Waagner Biro Systembrücken in Österreich an.*

---

2. Welche Brückensysteme für den temporären Brückenbau sind Ihnen bekannt? Mit welchen dieser Systeme haben Sie selbst schon Erfahrungen gemacht?

*Die Baileybrücke, D-Brücke, Waagner Biro Paneelbrücke sowie die Mabey Paneelbrücke.*

---

3. Welche Systeme kommen Ihrer Meinung nach am häufigsten zum Einsatz und warum?

*In Niederösterreich haben wir die D-Brücke lagernd.*

---

4. Was sind aus Ihrer Sicht die wesentlichen Vor- und Nachteile der Ihnen bekannten Systembrücken?

*Die Erfahrung mit der D-Brücke ist durch das Training mit ihr sehr groß, die Instandhaltung des Geräts ist jedoch aufwendig.*

---

5. Was sind Ihrer Meinung nach die besonderen Herausforderungen im Systembrückenbau?

*Lagerung und Instandhaltung der Teile*

---

6. Welche Verfahren zum Auf- und Abbau von Systembrücken kennen Sie und welche Erfahrungen haben Sie damit bereits gemacht? Welche Randbedingungen sind aus Ihrer Sicht bei der Auswahl des Verfahrens zu berücksichtigen?

*Bei der rein manuellen Montage wird die Brücke im klassischen Taktschiebeverfahren hergestellt. 72 Soldaten und Soldatinnen werden für dieses Verfahren eingesetzt. Ist die Montage Kranunterstützt, sind 40 Mann bzw. bei 2 Kränen 20 Mann praktisch. Ohne den Einsatz des Bundesheers kommen weniger Arbeiter und Arbeiterinnen zum Einsatz.*

---

7. Welche Möglichkeiten kennen bzw. sehen Sie bei der Konstruktion des Unterbaus für temporäre Brücken? (z. B. Verwendung von vorhandenen Pfeilern, Bau von temporären Pfeilern etc.)

*Grundsätzlich gibt es feste und schwimmende Unterstützungen. Flüsse können mit Pontonbrücken mit einer Schiffsöffnung hergestellt werden. Diese müssen von Personal bedient und der Verkehr kontrolliert werden. Dies gilt auch für Systembrücken, die auf Pontons gelagert werden, also eine Mischkonstruktion darstellen. Eine weitere Möglichkeit ist es Stützen auf Pontons zu stellen. Wenn eine entsprechende lichte Höhe erreicht werden kann, kann so die Schiffsöffnung entfallen. Das stabilste System sind Ramppfähle die als Fundament dienen auf denen Systemstützen errichtet werden können. Diese könnten dann wieder aus dem Boden gezogen werden.*

8. Sind Ihnen in Europa Projekte mit Systembrücken mit einer Einzelspannweite von über 80m bekannt?

*Nein. Das letzte Projekt dieser Größenordnung war nach dem Einsturz der Reichsbrücke.*

9. Welche Längen weisen Systembrücken am häufigsten auf?

*(keine Angaben)*

### 1.3 Bemessung von Systembrücken

1. Welche Bemessungsnormen für Systembrücken kennen Sie und für welche Systeme werden diese Ihrer Erfahrung nach angewendet?

*(keine Angaben)*

2. Wie wird eine Bauform ausgewählt, die den Lasten gemäß EN 1991-2 entspricht?

*(keine Angaben)*

3. Kennen Sie Umrechnungs- oder Vergleichsmöglichkeiten zwischen den internationalen Normen in Bezug auf die EN 1991-2?

*(keine Angaben)*

4. Welcher Anpassungswert für Lasten (Alpha Q) wird in der Praxis für Systembrücken angewendet und welche Auswirkungen hat dieser (z. B. Lasteinschränkung, Geschwindigkeitseinschränkung etc.)?

---

*(keine Angaben)*

---

#### **1.4 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen im Systembrückenbau**

1. Wie lange ist die zu erwartende Nutzungsdauer für Systembrücken bzw. deren Teile?

*(keine Angaben)*

---

2. Können diese Systeme oder Teile davon wiederverwendet werden?

*Grundsätzlich sind alle Teile der D-Brücke wiederverwendbar.*

---

3. Was ist für eine Nachnutzung Ihrer Meinung nach zu berücksichtigen?

*(keine Angaben)*

---

4. Ab wie vielen Nutzungsjahren ist gemäß Ihrer Erfahrung der der Kauf des Brückensystems wirtschaftlicher als die Miete (ohne Berücksichtigung einer eventuellen Nachnutzung)?

*(keine Angaben)*

---

5. Findet die kalkulatorische Abschreibung bei Systembrücken Anwendung (ähnlich wie bei Baugeräten)? Wenn nein, warum nicht und was ist die Alternative?

*(keine Angaben)*

---

6. Wie kann der Restwert einer temporären Brücke bewertet werden? Welche Faktoren sind dabei besonders zu berücksichtigen (ordnungsgemäße Wartung, Verkehrseinschränkungen etc.)?

*(keine Angaben)*

---

7. Welche Kosten sind Ihrer Erfahrung nach in den Kauf- bzw. Mietpreisen von Systembrücken enthalten und welche müssen zusätzlich berücksichtigt werden? (Transport, Wartung, Montage etc.)

*(keine Angaben)*

---

- 
8. Was ist das ungefähre Verhältnis von Montage zu Demontagekosten

*(keine Angaben)*

---

## 1.5 Ausblick

1. Welche Veränderungen im Systembrückenbau sind in den nächsten Jahren oder Jahrzehnten zu erwarten?

*(keine Angaben)*

---

## 2 Experte 2

### 2.1 Allgemeine Informationen zur Person

1. Größte Projekte mit Systembrücken bei den Sie beteiligt waren:

*Eines der größten Projekt ist die Echelsbach/Brücke mit einer Gesamtlänge von ca. 270 m und größten Feldlänge von knapp über 80 m. Sie wurde mit einer SS80 Brücke gebaut.*

---

2. In welchen Ländern waren Sie bei Projekten mit Systembrücken beteiligt

*Deutschland und Österreich*

---

### 2.2 Technische Grundlagen von Systembrücken

1. Welche Systembrückenhersteller und Anbieter kennen Sie im nationalen und internationalen Bereich?

*Janson Bridging, Mabey Bridge, die für Deutschland entwickelte Brücken der Firma Krupp*

---

2. Welche Brückensysteme für den temporären Brückenbau sind Ihnen bekannt? Mit welchen dieser Systeme haben Sie selbst schon Erfahrungen gemacht?

*Die Baileybrücke, D-Brücke, Waagner Biro Paneelbrücke sowie die Mabey Paneelbrücke, SS80 Brücke sowie die SKB-Brücke.*

---

3. Welche Systeme kommen Ihrer Meinung nach am häufigsten zum Einsatz und warum?

*(keine Angabe)*

---

4. Was sind aus Ihrer Sicht die wesentlichen Vor- und Nachteile der Ihnen bekannten Systembrücken?

*Die SKB-Brücke kann Feldlängen von 120 m erreichen. Die SS80 Brücke kann Spannweiten von ca. 80 m überbrücken. Paneelbrücken können diese Feldlängen nicht mehr erreichen. Grundsätzlich ist der Bestand an Behelfsbrücken in Deutschland gut ausgelastet. Eine Vermietung oder Verkauf einer größeren Brücke außerhalb von Deutschland ist momentan unwahrscheinlich.*

---

5. Was sind Ihrer Meinung nach die besonderen Herausforderungen im Systembrückenbau?

*Informationen über die Behelfsbrücken, die zum Katastrophenschutz in Deutschland verwendet werden, dies inkludiert unter anderem die SKB-Brücke als auch die SS80 Brücke, dürfen nur teilweise weitergegeben werden.*

---

6. Welche Verfahren zum Auf- und Abbau von Systembrücken kennen Sie und welche Erfahrungen haben Sie damit bereits gemacht? Welche Randbedingungen sind aus Ihrer Sicht bei der Auswahl des Verfahrens zu berücksichtigen?

*Taktschiebeverfahren, Einheben und kranunterstützter Vorschub*

---

7. Welche Möglichkeiten kennen bzw. sehen Sie bei der Konstruktion des Unterbaus für temporäre Brücken? (z. B. Verwendung von vorhandenen Pfeilern, Bau von temporären Pfeilern etc.)

*(keine Angaben)*

---

8. Sind Ihnen in Europa Projekte mit Systembrücken mit einer Einzelspannweite von über 80m bekannt?

*Echelsbach*

---

9. Welche Längen weisen Systembrücken am häufigsten auf?

*(keine Angaben)*

---

## 2.3 Bemessung von Systembrücken

1. Welche Bemessungsnormen für Systembrücken kennen Sie und für welche Systeme werden diese Ihrer Erfahrung nach angewendet?

*DIN, Eurocode, ÖNORM, AASCHTO.*

*Die Spannweitentabellen sind nach dem Hersteller relevanten Norm angegeben. Für ein spezifisches Projekt wird die Brücke je nach Errichtungsort oder Angaben des Nutzers berechnet.*

2. Wie wird eine Bauform ausgewählt, die den Lasten gemäß EN 1991-2 entspricht?

*Die Brücke muss auf die geltenden Normen oder von Nutzer bestimmten Angaben statisch berechnet und ausgewählt werden. Randbedingungen können projektspezifisch angepasst werden.*

3. Kennen Sie Umrechnungs- oder Vergleichsmöglichkeiten zwischen den internationalen Normen in Bezug auf die EN 1991-2?

*Nein*

4. Welcher Anpassungswert für Lasten (Alpha Q) wird in der Praxis für Systembrücken angewendet und welche Auswirkungen hat dieser (z. B. Lasteinschränkung, Geschwindigkeitseinschränkung etc.)?

*Es gibt eine Studie der Uni Leipzig, welche genaue Alpha-Werte für bestimmte Belastungen von Behelfsbrücken empfiehlt. Festgelegt wird er schlussendlich vom Nutzer.*

## 2.4 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen im Systembrückenbau

1. Wie lange ist die zu erwartende Nutzungsdauer für Systembrücken bzw. deren Teile?

*(keine Angaben)*

2. Können diese Systeme oder Teile davon wiederverwendet werden?

*Grundsätzlich sind alle Teile der Brücken wiederverwendbar.*

3. Was ist für eine Nachnutzung Ihrer Meinung nach zu berücksichtigen?

*(keine Angaben)*

- 
4. Ab wie vielen Nutzungsjahren ist gemäß Ihrer Erfahrung der Kauf des Brückensystems wirtschaftlicher als die Miete (ohne Berücksichtigung einer eventuellen Nachnutzung)?

*(keine Angaben)*

---

5. Findet die kalkulatorische Abschreibung bei Systembrücken Anwendung (ähnlich wie bei Baugeräten)? Wenn nein, warum nicht und was ist die Alternative?

*(keine Angaben)*

---

6. Wie kann der Restwert einer temporären Brücke bewertet werden? Welche Faktoren sind dabei besonders zu berücksichtigen (ordnungsgemäße Wartung, Verkehrseinschränkungen etc.)?

*(keine Angaben)*

---

7. Welche Kosten sind Ihrer Erfahrung nach in den Kauf- bzw. Mietpreisen von Systembrücken enthalten und welche müssen zusätzlich berücksichtigt werden? (Transport, Wartung, Montage etc.)

*(keine Angaben)*

---

8. Was ist das ungefähre Verhältnis von Montagekosten zu Demontagekosten

*Je nach Projekt reicht das Verhältnis der Kosten zwischen Montage und Demontage von etwa 60% zu 40% bis zu 50% zu 50%*

---

## 2.5 Ausblick

1. Welche Veränderungen im Systembrückenbau sind in den nächsten Jahren oder Jahrzehnten zu erwarten?

*(keine Angaben)*

---

### 3 Experte 3

#### 3.1 Allgemeine Informationen zur Person

1. Größte Projekte mit Systembrücken, bei den Sie beteiligt waren:

*Eins der größten Projekte war die Brücke auf der S36 in Unzmarkt mit einer Stütweite von 61 m. Sie wurde mit einer Mabey Compact 200 in Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Bundesheer errichtet*

---

2. In welchen Ländern waren Sie an Projekten mit Systembrücken beteiligt

*Österreich, Italien, Schweiz*

---

#### 3.2 Technische Grundlagen von Systembrücken

1. Welche Systembrückenhersteller und Anbieter kennen Sie im nationalen und internationalen Bereich?

*Janson Bridging, Mabey Bridge, Waagner Biro, die für Deutschland entwickelte Brücken der Firma Krupp*

---

2. Welche Brückensysteme für den temporären Brückenbau sind Ihnen bekannt? Mit welchen dieser Systeme haben Sie selbst schon Erfahrungen gemacht?

*Die Baileybrücke, D-Brücke, Waagner Biro PP30 sowie die Mabey Compact 200, Mabey Universal, Mabey Delta sowie SS80 Brücke.  
Gearbeitet schon mit der Bailey Brücke, der Mabey Compact 200 und der Mabey Universal*

---

3. Welche Systeme kommen Ihrer Meinung nach am häufigsten zum Einsatz und warum?

*Paneelsysteme wie die Baileybrücke sowie die D-Brücke werden am häufigsten in Österreich eingesetzt, da das Bundesheer auf diesen Geräten ausgebildet ist.*

---

4. Was sind aus Ihrer Sicht die wesentlichen Vor- und Nachteile der Ihnen bekannten Systembrücken?

*Paneelsysteme haben den Nachteil, dass sie mit der Bauform relativ schwer werden. Da sie nicht überhöht gebaut werden, ist die Durchbiegung sehr groß. Sie und die D-Brücke haben den Vorteil, dass die relativ leichten Teile ohne Kran montiert werden können.  
Bei Paneelbrücken mit mehrwandigen Trägern ist die Montage ab 3 Paneelwänden aufgrund der Platzverhältnisse schwierig. Die Compact 200 Brücke hat den Vorteil, dass die mehrwandigen Träger als Ganzes demontiert werden können und nicht in alle Einzelteile zerlegt werden müssen. Die Compact 200 verwendet speziell für das System angefertigte*

*Profile um höhere Spannweiten zu erreichen.*

*Das Bundesheer ist für die D-Brücke, Baileybrücke und die Mabey Compact 200 ausgebildet. Die NATO verwendet die Mabey Compact 200.*

- 
5. Was sind Ihrer Meinung nach die besonderen Herausforderungen im Systembrückenbau?

*Die Durchbiegung ist bei einer Spannweite von 61m etwa 31cm. Sie ist daher sichtbar, aber keine Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit.*

*Die größte Herausforderung ist die Logistik. Vorgegebene Verpackungsgröße, meist sehr beschränkte Platzverhältnisse, die es auch beim Abbau zu berücksichtigen gilt und eine meist kurze Bauzeit.*

- 
6. Welche Verfahren zum Auf- und Abbau von Systembrücken kennen Sie und welche Erfahrungen haben Sie damit bereits gemacht? Welche Randbedingungen sind aus Ihrer Sicht bei der Auswahl des Verfahrens zu berücksichtigen?

*Taktschiebeverfahren, Einheben und kranunterstützter Vorschub.*

*Grundsätzlich wird bei größeren Brücken, wenn möglich das Taktschiebeverfahren angewandt.*

- 
7. Welche Möglichkeiten kennen bzw. sehen Sie bei der Konstruktion des Unterbaus für temporäre Brücken? (z. B. Verwendung von vorhandenen Pfeilern, Bau von temporären Pfeilern etc.)

*(keine Angaben)*

- 
8. Sind Ihnen in Europa Projekte mit Systembrücken mit einer Einzelspannweite von über 80 m bekannt?

*Ja, die Echelsbachbrücke*

- 
9. Welche Längen weisen Systembrücken am häufigsten auf?

*Etwa 40% der eingesetzten Systembrücken haben Längen von 10 m bis 20 m, ungefähr 50% Längen von 20 m bis 40 m und damit nur 10% Längen über 40 m*

---

### 3.3 Bemessung von Systembrücken

1. Welche Bemessungsnormen für Systembrücken kennen Sie und für welche Systeme werden diese Ihrer Erfahrung nach angewendet?

*DIN, Eurocode, ÖNORM B4002, AASHTO*

*Spannweitentabellen werden von den Firmen eigentlich nicht mehr ausgegeben, da sie zu einer Fehlinterpretation des benötigten Tragwerks verleiten.*

*In Österreich geben die Nutzer meist die ÖNORM B4002 oder den Eurocode vor.*

- 
2. Wie wird eine Bauform ausgewählt, die den Lasten gemäß EN 1991-2 entspricht?

*Eine erste Einschätzung kann mit der Erfahrung gemacht werden. Die Brücke muss dann auf die geltenden Normen oder von Nutzer bestimmten Angaben statisch berechnet und ausgewählt werden.*

- 
3. Kennen Sie Umrechnungs- oder Vergleichsmöglichkeiten zwischen den internationalen Normen in Bezug auf die EN 1991-2?

*Nein. Erfahrungsgemäß führt eine Berechnung nach der ÖNORM B4002 zu um etwa 15% größeren möglichen Spannweiten der Brücken als nach dem Eurocode.*

- 
4. Welcher Anpassungswert für Lasten (Alpha Q) wird in der Praxis für Systembrücken angewendet und welche Auswirkungen hat dieser (z. B. Lasteinschränkung, Geschwindigkeitseinschränkung etc.)?

*Ein Alpha Q-Wert von 0,7 ist realistisch. Dieser mindert die Einwirkung auf die Brücke ab beziehungsweise soll sie an die Verkehrsbedingungen anpassen. Brücken bei Landesstraßen in Kärnten und der Steiermark verwenden oft  $\alpha = 0,7$ . Dies kann sich jedoch von Projekt zu Projekt unterscheiden.*

*Der Wert 0,7 für die Alpha Werte kommt daher, dass die zweiwandig einstöckig 2 mal verstärkte Mabey Compact Brücke mit LSB Querträger und schweren Fahrbahnplatten mit einer Fahrbahnbreite von 4,2 m bei 13 Feldern, also ca. 40 m Spannweite zu 98 % ausgenutzt ist. Aufgrund der Effizienz ist sie sehr wirtschaftlich zu bauen.*

---

### 3.4 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen im Systembrückenbau

1. Wie lange ist die zu erwartende Nutzungsdauer für Systembrücken bzw. deren Teile?

*Teile nutzen sich sehr unterschiedlich schnell ab. Grundsätzlich kommt es auf die Belastung der Teile an.*

*Die Bailey-Brücke ist seit 70 Jahren in Verwendung.*

*Seit 20 Jahren ist noch keine Bailey Brücke eingestürzt.*

*Verstrebungsrahmen und Paneele werden am öftesten beschädigt das sie die filigransten Bauteile sind.*

- 
2. Können diese Systeme oder Teile davon wiederverwendet werden?

*Grundsätzlich sind alle Teile der Brücken wiederverwendbar. Bis auf die Schrauben bei der Mabey Delta Brücke.*

---

3. Was ist für eine Nachnutzung Ihrer Meinung nach zu berücksichtigen?

*Dass die Teile unbeschädigt sind. Sollte auch nur eine kleine Beschädigung auftreten, wird der Teil nicht mehr verwendet oder wenn möglich instandgesetzt.*

---

4. Ab wie vielen Nutzungsjahren ist gemäß Ihrer Erfahrung der der Kauf des Brückensystems wirtschaftlicher als die Miete (ohne Berücksichtigung einer eventuellen Nachnutzung)?

*Ca. 4 bis 5 Jahre*

---

5. Findet die kalkulatorische Abschreibung bei Systembrücken Anwendung (ähnlich wie bei Baugeräten)? Wenn nein, warum nicht und was ist die Alternative?

*Die Teile werden abgeschrieben ähnlich Baugeräten.  
Die AfA Liste in Deutschland gibt bei Gerüsten 11 Jahre vor.*

---

6. Wie kann der Restwert einer temporären Brücke bewertet werden? Welche Faktoren sind dabei besonders zu berücksichtigen (ordnungsgemäße Wartung, Verkehrseinschränkungen etc.)?

*In Schweden wurde eine gebrauchte Systembrücke mit Nutzungsdauer von 13 oder 14 Jahre und ein durchgeführtes Projekt untersucht. Die Beanspruchung war relativ gering. Die Untersuchung der Schweißnähte hat ergeben, dass diese unbeschädigt waren. Ein mehrfacher Einsatz hat sich in der Praxis als unproblematisch herausgestellt.*

---

7. Welche Kosten sind Ihrer Erfahrung nach in den Kauf- bzw. Mietpreisen von Systembrücken enthalten und welche müssen zusätzlich berücksichtigt werden? (Transport, Wartung, Montage etc.)

*Transport und Wartung wird vom Besitzer der Brücke übernommen. Bei der Miete ist das die Vermietungs- bzw. Herstellungsfirma. Die Montage wird vom Nutzer gemacht.*

---

8. Was ist das ungefähre Verhältnis von Montagekosten zu Demontagekosten

*Die Demontagekosten entsprechen in etwa den Montagekosten vor allem wenn man die Reinigung und Wartung nach Demontage miteinbezieht*

---

### 3.5 Ausblick

1. Welche Veränderungen im Systembrückenbau sind in den nächsten Jahren oder Jahrzehnten zu erwarten?

*Momentan findet eine Umstellung auf neue Brückengräte statt, da die D-Brücke nicht mehr die notwendige Leistung erbringt.*

---

## 4 Experte 4

### 4.1 Allgemeine Informationen zur Person

1. Größte Projekte mit Systembrücken bei den Sie beteiligt waren:

*S36 in Unzmarkt mit einer Stützweite von 61 m. Sie wurde mit einer Mabey Compact 200 in Zusammenarbeit mit der Unegg GmbH gebaut.*

---

2. In welchen Ländern waren Sie an Projekten mit Systembrücken beteiligt?

*Österreich, Deutschland*

---

### 4.2 Technische Grundlagen von Systembrücken

1. Welche Systembrückenhersteller und Anbieter kennen Sie im nationalen und internationalen Bereich?

*Unegg GmbH, Mabey Bridge, Waagner Biro, die für Deutschland entwickelte Brücken der Firma Krupp*

---

2. Welche Brückensysteme für den temporären Brückenbau sind Ihnen bekannt? Mit welchen dieser Systeme haben Sie selbst schon Erfahrungen gemacht?

*Die Baileybrücke, D-Brücke, Waagner Biro Paneelbrücke sowie die Mabey Compact 200 sind mir bekannt. Bis auf die Waagner Biro Brücke auch damit gearbeitet*

---

3. Welche Systeme kommen Ihrer Meinung nach am häufigsten zum Einsatz und warum?

*Neben den Systemen des Bundesheers kamen vor allem die Mabey Compact 200 und die Bailey Brücke zum Einsatz. Genaue Information der Bauzeit und Mannschaft sind von acht Mabey Compact 200 Brücken, vier Bailey M3 Brücken und einer D-Brücke vorhanden.*

- 
4. Was sind aus Ihrer Sicht die wesentlichen Vor- und Nachteile der Ihnen bekannten Systembrücken?

*Aufgrund der Schraubverbindungen der D-Brücke dauert die Montage in der Regel länger als bei der Mabey Compact 200 oder der Bailey Brücke.*

---

5. Was sind Ihrer Meinung nach die besonderen Herausforderungen im Systembrückenbau?

*Die Durchbiegung der Brücke durch das hohe Eigengewicht und die Verbindungstechnik.*

---

6. Welche Verfahren zum Auf- und Abbau von Systembrücken kennen Sie und welche Erfahrungen haben Sie damit bereits gemacht? Welche Randbedingungen sind aus Ihrer Sicht bei der Auswahl des Verfahrens zu berücksichtigen?

*Taktschiebeverfahren, Einheben und kranunterstützter Vorschub sowie in situ, bei der die Brücke in der fertigen Lage errichtet wird.*

---

7. Welche Möglichkeiten kennen bzw. sehen Sie bei der Konstruktion des Unterbaus für temporäre Brücken? (z. B. Verwendung von vorhandenen Pfeilern, Bau von temporären Pfeilern etc.)

*Die Verwendung von Systemstützen aus Paneelen. Pontons*

---

8. Sind Ihnen in Europa Projekte mit Systembrücken mit einer Einzelspannweite von über 80 m bekannt?

*Nein*

---

9. Welche Längen weisen Systembrücken am häufigsten auf?

*Die meisten Brücken weisen Einzelspannweiten von maximal 40 m auf.*

---

#### 4.3 Bemessung von Systembrücken

1. Welche Bemessungsnormen für Systembrücken kennen Sie und für welche Systeme werden diese Ihrer Erfahrung nach angewendet?

*Die Vorschriften für das Bundesheer richten sich in erster Linie nach den Militärlastklassen. Für die zivile Nutzung werden die Normen ÖNORM B4002 und EN 1991-2 angegeben. Die D-Brücke gibt die Deutsche DIN an.*

2. Wie wird eine Bauform ausgewählt, die den Lasten gemäß EN 1991-2 entspricht?

*Die Vorschriften des Bundesheers geben angepasst an die Projektrahmenbedingungen unter festgelegten Voraussetzungen (Fahrbahnbreite, Belastung) eine Bauform vor.*

3. Kennen Sie Umrechnungs- oder Vergleichsmöglichkeiten zwischen den internationalen Normen in Bezug auf die EN 1991-2?

*Nein*

4. Welcher Anpassungswert für Lasten (Alpha Q) wird in der Praxis für Systembrücken angewendet und welche Auswirkungen hat dieser (z. B. Lasteinschränkung, Geschwindigkeitseinschränkung etc.)?

*Die Spannweitentabelle für die zivile Nutzung der Mabey Compact 200 sieht einen Alpha Wert von 0,7 vor.*

#### **4.4 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen im Systembrückenbau**

1. Wie lange ist die zu erwartende Nutzungsdauer für Systembrücken bzw. deren Teile?

*Teile nutzen sich sehr unterschiedlich schnell ab. Grundsätzlich kommt es auf die Belastung der Teile an. Die Holzfahrbahn der Baileybrücke wird schneller abgenutzt als die neueren Stahlfahrbahnen.*

2. Können diese Systeme oder Teile davon wiederverwendet werden?

*Grundsätzlich sind alle Teile der Brücken wiederverwendbar.*

3. Was ist für eine Nachnutzung Ihrer Meinung nach zu berücksichtigen?

*(keine Angaben)*

4. Ab wie vielen Nutzungsjahren ist gemäß Ihrer Erfahrung der Kauf des Brückensystems wirtschaftlicher als die Miete (ohne Berücksichtigung einer eventuellen Nachnutzung)?

---

*(keine Angaben)*

---

5. Findet die kalkulatorische Abschreibung bei Systembrücken Anwendung (ähnlich wie bei Baugeräten)? Wenn nein, warum nicht und was ist die Alternative?

*(keine Angaben)*

---

6. Wie kann der Restwert einer temporären Brücke bewertet werden? Welche Faktoren sind dabei besonders zu berücksichtigen (ordnungsgemäße Wartung, Verkehrseinschränkungen etc.)?

*(keine Angaben)*

---

7. Welche Kosten sind Ihrer Erfahrung nach in den Kauf- bzw. Mietpreisen von Systembrücken enthalten und welche müssen zusätzlich berücksichtigt werden? (Transport, Wartung, Montage etc.)

*(keine Angaben)*

---

8. Was ist das ungefähre Verhältnis von Montagekosten zu Demontagekosten

*(keine Angaben)*

---

#### **4.5 Ausblick**

1. Welche Veränderungen im Systembrückenbau sind in den nächsten Jahren oder Jahrzehnten zu erwarten?

*(keine Angaben)*

---

### **5 Experte 5**

#### **5.1 Allgemeine Informationen zur Person**

1. Größte Projekte mit Systembrücken bei den Sie beteiligt waren:

*Ein Projekt in Algerien bei dem eine ca. 67 m lange zweispurige Paneelbrücke für Schwerttransporte errichtet wurde.*

*Es war eine dreiwandige und vierstöckige PP30*

- 
2. In welchen Ländern war Sie an Projekten mit Systembrücken beteiligt?

*Österreich, International*

---

## 5.2 Technische Grundlagen von Systembrücken

1. Welche Systembrückenhersteller und Anbieter kennen Sie im nationalen und internationalen Bereich?

*Unegg GmbH, Mabey Bridge, Waagner Biro, Janson Bridging*

---

2. Welche Brückensysteme für den temporären Brückenbau sind Ihnen bekannt? Mit welchen dieser Systeme haben Sie selbst schon Erfahrungen gemacht?

*Die Baileybrücke, D-Brücke, Waagner Biro PP30 sowie die Mabey Compact 200 sind bekannt. Mit der Waagner Biro PP30*

---

3. Welche Systeme kommen Ihrer Meinung nach am häufigsten zum Einsatz und warum?

*(keine Angaben)*

---

4. Was sind aus Ihrer Sicht die wesentlichen Vor- und Nachteile der Ihnen bekannten Systembrücken?

*Der Vorteil der Waagner Biro PP30 ist, dass es nur eine Art von Paneelen gibt. Weiterer Vorteil von Waagner Biro ist das Know-how im Stahlbau, das die Firma mit sich bringt.*

---

5. Was sind Ihrer Meinung nach die besonderen Herausforderungen im Systembrückenbau?

*Die Wartung der Teile*

---

6. Welche Verfahren zum Auf- und Abbau von Systembrücken kennen Sie und welche Erfahrungen haben Sie damit bereits gemacht? Welche Randbedingungen sind aus Ihrer Sicht bei der Auswahl des Verfahrens zu berücksichtigen?

*Die Platzverhältnisse in Ufernähe sind zu berücksichtigen. Weiters ist das Gewicht der Brücke zu berücksichtigen. Auch beim Taktschiebeverfahren muss beachtet werden, dass die Stützen die horizontalen Kräfte des Vorschubs aufnehmen können.*

7. Welche Möglichkeiten kennen bzw. sehen Sie bei der Konstruktion des Unterbaus für temporäre Brücken? (z. B. Verwendung von vorhandenen Pfeilern, Bau von temporären Pfeilern etc.)

*Pfeiler aus Rammpfählen, die wieder gezogen werden können.*

---

8. Sind Ihnen in Europa Projekte mit Systembrücken mit einer Einzelspannweite von über 80 m bekannt?

*Nein*

---

9. Welche Längen weisen Systembrücken am häufigsten auf?

*(keine Angaben)*

---

### 5.3 Bemessung von Systembrücken

1. Welche Bemessungsnormen für Systembrücken kennen Sie und für welche Systeme werden diese Ihrer Erfahrung nach angewendet?

*ÖNORM B4002 und EN 1991-2 bzw. ÖNORM EN 1991-2.  
Es wird die ÖNORM EN 1991-2 angewendet mit dem nationalen Anhang*

---

2. Wie wird eine Bauform ausgewählt, die den Lasten gemäß EN 1991-2 entspricht?

*Die Brücke wird statisch berechnet*

---

3. Kennen Sie Umrechnungs- oder Vergleichsmöglichkeiten zwischen den internationalen Normen in Bezug auf die EN 1991-2?

*Nein*

---

4. Welcher Anpassungswert für Lasten ( $\alpha_Q$ ) wird in der Praxis für Systembrücken angewendet und welche Auswirkungen hat dieser (z. B. Lasteinschränkung, Geschwindigkeitseinschränkung etc.)?

*Bei uns wird der nationale Anhang der ÖNORM EN 1991-2 angewendet, welcher einen Faktor von 1 empfiehlt*

---

## 5.4 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen im Systembrückenbau

1. Wie lange ist die zu erwartende Nutzungsdauer für Systembrücken bzw. deren Teile?

*Es kommt auf die Art des Bauteils und seine Belastungsgeschichte an. Die Teile sind für eine bestimmte Anzahl an Lastwechseln ausgelegt.*

*Von uns wird bei jedem Bauteil protokolliert, wo er eingebaut wurde, wie alt er ist und welche Belastung er erfahren hat.*

*Je nach Kerbklassen (Schweißverbindungen/Schrauben) haben eine kürzere Nutzungsdauer als die Träger.*

*Bei hoher Belastung könnten Teile nach einem Projekt zu Tauschen sein.*

*Meist ist die reale Nutzungsdauer jedoch weniger als die Buchhalterische Abschreibung*

2. Können diese Systeme oder Teile davon wiederverwendet werden?

*Grundsätzlich alle.*

3. Was ist für eine Nachnutzung Ihrer Meinung nach zu berücksichtigen?

*Ist das Projekt inklusive der zu erwartenden Lastwechsel sowie Belastung bekannt, kann der Zustand der Teile eingeschätzt werden.*

4. Ab wie vielen Nutzungsjahren ist gemäß Ihrer Erfahrung der der Kauf des Brückensystems wirtschaftlicher als die Miete (ohne Berücksichtigung einer eventuellen Nachnutzung)?

*Das kann erst bei Projektstart ermittelt werden, wenn die Projektrahmenbedingungen wie die erwartete Belastung sowie Anzahl der Lastwechsel bekannt sind.*

*Ist die Projektdauer länger als die Abschreibung empfiehlt sich der Kauf.*

*Zu beachten ist der Aufwand der Instandhaltung. Die reale Nutzungsdauer ist meist kürzer als die Dauer der buchhalterischen Abschreibung.*

5. Findet die kalkulatorische Abschreibung bei Systembrücken Anwendung (ähnlich wie bei Baugeräten)? Wenn nein, warum nicht und was ist die Alternative?

*Die Teile werden je nach Art wie ein Baugerät buchhalterisch abgeschrieben. Die AfA beträgt etwa 5 – 20 Jahre*

6. Wie kann der Restwert einer temporären Brücke bewertet werden? Welche Faktoren sind dabei besonders zu berücksichtigen (ordnungsgemäße Wartung, Verkehrseinschränkungen etc.)?

*Ordnungsgemäße Wartung und Reinigung der Teile wird vorausgesetzt. Lasteinschränkungen und Verkehrseinschränkungen verringern die Anzahl der Lastwechsel beziehungsweise die Belastung und führen zu einer längeren realen Nutzungsdauer.*

---

7. Welche Kosten sind Ihrer Erfahrung nach in den Kauf- bzw. Mietpreisen von Systembrücken enthalten und welche müssen zusätzlich berücksichtigt werden? (Transport, Wartung, Montage etc.)

*Der Besitzer ist für die Wartung, Instandhaltung und Lagerung zuständig. Bei einer Miete fällt es in den Bereich des Vermieters.  
Zu beachten gilt auch das grundsätzlich nur neue Teile verkauft werden. Vermietet werden auch gebrauchte Teile.*

---

8. Was ist das ungefähre Verhältnis von Montagekosten zu Demontagekosten

*(keine Angaben)*

---

## 5.5 Ausblick

1. Welche Veränderungen im Systembrückenbau sind in den nächsten Jahren oder Jahrzehnten zu erwarten?
- 

## 6 Experte 6

### 6.1 Allgemeine Informationen zur Person

1. Größte Projekte mit Systembrücken bei den Sie beteiligt waren:

*Aktuelles Projekt in Deutschland über die Amma Schlucht mit einer Länge von 263 m*

---

2. In welchen Ländern waren Sie an Projekten mit Systembrücken beteiligt?

*Deutschland*

---

## 6.2 Technische Grundlagen von Systembrücken

1. Welche Systembrückenhersteller und Anbieter kennen Sie im nationalen und internationalen Bereich?

*SEH Eiffage, Mabey Bridge, Janson Bridging*

---

2. Welche Brückensysteme für den temporären Brückenbau sind Ihnen bekannt? Mit welchen dieser Systeme haben Sie selbst schon Erfahrungen gemacht?

*Die Baileybrücke, D-Brücke, SS80, SB-30*

---

3. Welche Systeme kommen Ihrer Meinung nach am häufigsten zum Einsatz und warum?

*Es gibt momentan eine immer größer werdende Nachfrage an großen Brückensystemen wie die SS80 Brücke.*

---

4. Was sind aus Ihrer Sicht die wesentlichen Vor- und Nachteile der Ihnen bekannten Systembrücken?

*Der Vorteil der SS80 Brücke ist die die Größe. Details der Brückensysteme können nicht geteilt werden, da sie Teil der zivilen Verteidigung sind und daher unter Verschluss gehalten werden.*

*Ein Teilen der Informationen mit Behörden anderer Länder wie Österreich ist denkbar.*

---

5. Was sind Ihrer Meinung nach die besonderen Herausforderungen im Systembrückenbau?

*Die Schallentwicklung bei den Stahlfahrbahnen ist hoch.*

---

6. Welche Verfahren zum Auf- und Abbau von Systembrücken kennen Sie und welche Erfahrungen haben Sie damit bereits gemacht? Welche Randbedingungen sind aus Ihrer Sicht bei der Auswahl des Verfahrens zu berücksichtigen?

*(keine Angaben)*

---

7. Welche Möglichkeiten kennen bzw. sehen Sie bei der Konstruktion des Unterbaus für temporäre Brücken? (z. B. Verwendung von vorhandenen Pfeilern, Bau von temporären Pfeilern etc.)

*(keine Angaben)*

---

8. Sind Ihnen in Europa Projekte mit Systembrücken mit einer Einzelspannweite von über 80 m bekannt?

*Ja, die Echelsbach Brücke über die Ammaschlucht*

---

9. Welche Längen weisen Systembrücken am häufigsten auf?

*(keine Angaben)*

---

### 6.3 Bemessung von Systembrücken

1. Welche Bemessungsnormen für Systembrücken kennen Sie und für welche Systeme werden diese Ihrer Erfahrung nach angewendet?

*Die DIN 1072 und die DIN EN 1991-2  
Alle Brücken sind noch nach der DIN 1072 dimensioniert.*

---

2. Wie wird eine Bauform ausgewählt, die den Lasten gemäß EN 1991-2 entspricht?

*Die Brücke wird statisch bauseits berechnet. Im Falle der Echelsbachbrücke hat dies die Firma SEH Engineering für die SS80 Brücke durchgeführt.*

---

3. Kennen Sie Umrechnungs- oder Vergleichsmöglichkeiten zwischen den internationalen Normen in Bezug auf die EN 1991-2?

*Derzeit wird an der Fortschreibung der SS80 Brücke an den Eurocode gearbeitet.  
Die Forschung wird von der Bundesanstalt für Straßenwesen geleitet.  
Die umrechnung hat vermutlich eine Ertüchtigung (Verstärkung) des Tragwerks zufolge,  
um die gleichen Stützweiten erreichen zu können.*

---

4. Welcher Anpassungswert für Lasten ( $\alpha_Q$ ) wird in der Praxis für Systembrücken angewendet und welche Auswirkungen hat dieser (z. B. Lasteinschränkung, Geschwindigkeitseinschränkung etc.)?

*(keine Angaben)*

---

### 6.4 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen im Systembrückenbau

1. Wie lange ist die zu erwartende Nutzungsdauer für Systembrücken bzw. deren Teile?

*(keine Angaben)*

- 
2. Können diese Systeme oder Teile davon wiederverwendet werden?

*Grundsätzlich alle.*

---

3. Was ist für eine Nachnutzung Ihrer Meinung nach zu berücksichtigen?

*(keine Angaben)*

---

4. Ab wie vielen Nutzungsjahren ist gemäß Ihrer Erfahrung der Kauf des Brückensystems wirtschaftlicher als die Miete (ohne Berücksichtigung einer eventuellen Nachnutzung)?

*(keine Angaben)*

---

5. Findet die kalkulatorische Abschreibung bei Systembrücken Anwendung (ähnlich wie bei Baugeräten)? Wenn nein, warum nicht und was ist die Alternative?

*(keine Angaben)*

---

6. Wie kann der Restwert einer temporären Brücke bewertet werden? Welche Faktoren sind dabei besonders zu berücksichtigen (ordnungsgemäße Wartung, Verkehrseinschränkungen etc.)?

*(keine Angaben)*

---

7. Welche Kosten sind Ihrer Erfahrung nach in den Kauf- bzw. Mietpreisen von Systembrücken enthalten und welche müssen zusätzlich berücksichtigt werden? (Transport, Wartung, Montage etc.)

*Am Beispiel Echelsbach ist der Transport, die Berechnung und die Wartung bauseits durchzuführen. Wir sind nur für die Verfügbarkeit verantwortlich.*

---

8. Was ist das ungefähre Verhältnis von Montagekosten zu Demontagekosten

*(keine Angaben)*

---

## 6.5 Ausblick

1. Welche Veränderungen im Systembrückenbau sind in den nächsten Jahren oder Jahrzehnten zu erwarten?

*Die Nachfrage nach größeren Systemen ist definitiv da. Konkrete Entwicklungen für ein neues System sind nicht bekannt.*

---