

Ganzheitliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bei Verbundbrücken unter Berücksichtigung des Bauverfahrens und der Nutzungsdauer

Dem ehem. Präsidenten des Hessischen Landesamtes für Straßen- und Verkehrswesen, Herrn Dr.-Ing. Jürg Sparmann, gewidmet

Für ausgewählte Brückentypen werden verschiedene Möglichkeiten der ganzheitlichen Wirtschaftlichkeitsuntersuchung durchgeführt. Hierbei werden nicht nur die Herstellkosten, sondern ebenso die Kosten für den Betrieb, Unterhalt und die Sanierung berücksichtigt. Im Vergleich werden besonders auch verschiedene Varianten von Bauverfahren bewertet und die Kosten über die gesamte Nutzungsdauer ermittelt.

Durch die Untersuchung sollen Entwurfs- und Entscheidungshilfen geschaffen werden, Kostenangebote zu werten und die Kriterien für die Bewertung eines Bauwerks über die reinen Herstellungskosten zu erweitern. Dieser Beitrag beruht auf einem Gutachten, das für die Hessische Straßen- und Verkehrsverwaltung im Rahmen des hessischen Großprojektes „Staufreies Hessen 2015“ erarbeitet wurde.

Economic efficiency of composite bridges in consideration of the construction procedures and the life-cycle-costs. *This abstract deals with various possibilities of economic investigations of different bridge constructions. Not only manufacturing costs are examined, but a complete view of all arising costs in service, maintenance and reconstruction are included.*

Within the comparison different construction methods the total lifetime costs are evaluated and investigated. With this investigation a basis is created where beyond the pure consideration of the manufacturing costs, cost offers can be valued and different criteria for the evaluation of buildings are given. This report is based on an expertise which has been compiled on behalf of the Hessian Road and Traffic Administration in the frame of the major project Traffic Congestion Free Hessen 2015.

1 Einleitung

Die Zukunftsinitiative „Staufreies Hessen 2015“ formuliert erstmals ein politisches Leitziel im Hinblick auf Konzeption, Entwicklung und Anwendung zur nachhaltigen Mobilitätssicherung. Hessen ist zentrales Transitland in Europa und lebt von der Mobilität. Die Fahrleistung auf den hessischen Autobahnen beträgt rund 22 Mrd. Fahrzeugkilometer. Die Zukunftsinitiative „Staufreies Hessen 2015“ hat zum Ziel, innovative Lösungen für eine optimale Nutzung der Verkehrsinfrastruktur unter Einbezug aller Verkehrsträger zu entwickeln [1]. 13000 Staumeldungen pro Jahr auf hessischen Bundesautobahnen erzeugen rund 23000 Stunden Stau. Rund 30 % dieser Mobilitätsbeschränkungen (Bild 1) auf hessischen Autobah-

nen lassen sich auf Baustellen zurückführen.

Dies war Anlaß für die Hessische Straßen- und Verkehrsverwaltung, im Rahmen des Arbeitspaketes AP 2 „Stauvermeidung in Baustellen“

(Bild 2) geeignete Brückentypen für das Bauen unter Verkehr zu selektieren. Für Stahlverbundüberbauten bestand die Aufgabe, Bauabläufe zu optimieren und Entwurfs- und Planungshilfen für Planung und Bau zu erarbeiten, um die Gesamtkostenbilanz für Herstellung und Nutzungsdauer transparent werden zu lassen.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Verbundbrücken insbesondere unter Berücksichtigung des Bauverfahrens beauftragte die Hessische Straßen- und Verkehrsverwaltung ein Gutachten [2].

Als Grundlage wurde im Rahmen der Untersuchungen eine umfangreiche Brückenbeispielsammlung mit Hilfe von Bauämtern, Ingenieurbüros und Baufirmen erstellt. Basierend auf dieser Beispielsammlung und auch auf Basis einer Analyse von typischen Bauweisen in EU-Nachbarländern wurden verschiedene Verbundbrückentypen ausgewählt, genauer untersucht und in Hinblick auf die Bauzeit und die Baukosten verglichen. Diese Typen sind Überführungsbauwerke über Autobahnen (Ü-Bauwerke) sowie Autobahnbrücken (A-Bauwerke)

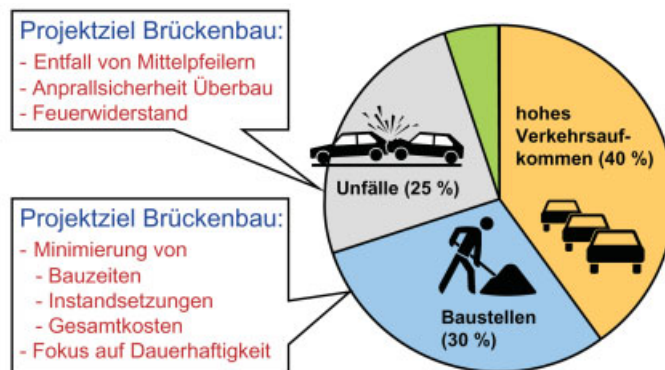


Bild 1. Stauursachen und Eingriffsmöglichkeiten des Brückenbaus
Fig. 1. Reasons of traffic jams and possibilities of taking influence by bridge construction



Bild 2. Projektstruktur „Staufreies Hessen 2015“ aus [1]

Fig. 2. Project scheme Traffic Congestion Free Hessen 2015 according to [1]

als Durchlaufträger mit einer mittleren Spannweite von 45 m bzw. in einigen grundsätzlichen Überlegungen auch für große Spannweiten von 70 m.

Bei den Autobahnbrücken mit Stützweiten von 45 m wurden vier verschiedene offene Brückenquerschnitte mit unterschiedlichen Bauverfahren untersucht, optimiert und miteinander verglichen. Neben der Kostenkalkulation wurden ebenfalls die Bauzeit und das Bauverfahren berücksichtigt. Die Massen für die Kostenermittlung wurden im Vorlauf durch statische Untersuchungen ermittelt und bestimmt. Darauf aufbauend wurden die Kostenkalkulationen mit aktuellen Preisen durchgeführt.

Die Optimierung erfolgte vor allem in bezug auf die Bauzeit. Durch die Wahl des Querschnitts sollten aber auch die Baukosten minimiert sowie die Dauerhaftigkeit der Konstruktion verbessert und damit die Gesamtlebensdauer der Brücke erhöht werden. Für eine ganzheitliche Wirtschaftlichkeitsuntersuchung spielen hierbei folgende Kriterien eine Rolle:

- Herstellkosten
- Kosten für den Unterhalt
- Berücksichtigung der Kosten für die Erneuerung und Sanierung (inkl. Abbruch)
- Berücksichtigung der Bauzeit mit ihren Folgen und Einflüssen für den Verkehr, wie z. B. des Einflusses von Verkehrsbehinderungen
- Bewertung des Nutzens der Baumaßnahme und Beurteilung des Ein-

flusses mit Blick auf die Betriebskosten, Fahrzeiten Unfallgeschehen, usw.

Nach Vorstellung der untersuchten Brückentypen und Querschnittsvarianten werden verschiedene Möglichkeiten der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung aufgezeigt und anschließend auf die Brückenvarianten angewandt.

2 Untersuchte Brückenvarianten und -querschnitte

2.1 Überführungsbauwerke (Ü-Bauwerke)

Bei dem gewählten Überführungsbauwerk handelt es sich um eine zweispurige Straßenbrücke über eine Autobahn mit dem Regelquerschnitt RQ 33. Es werden hierbei zwei Varianten

ten einer Massivbrücke (in Ortbeton und als Fertigteilkonstruktion) mit einer Verbundrahmenbrücke verglichen. Der Einsatz mehrstegiger Plattenbalken aus Spannbeton ist aufgrund ihres hohen Eigengewichts auf eine Länge von ca. 35 m begrenzt, so daß Überführungen von Autobahnen mit einem Regelquerschnitt RQ 33 und 35,5 typischerweise als 2-Feldträgersysteme mit einer Stützweite von ca. 2×26 m (Bild 3) ausgeführt werden. Hierbei werden die aufwendige und kostenintensive Erstellung der Mittelpfeiler zwischen den beiden Fahrtrichtungen sowie eine entsprechende Verkehrsbehinderung in Kauf genommen.

Jüngere Beispiele [3] haben gezeigt, daß auf einen Mittelpfeiler verzichtet werden kann, wenn der Überbau als Rahmentragwerk mit den Widerlagern in einer Einheit mit einer Gesamtstützweite von ca. 44 m (Bild 4) ausgebildet wird. Neben der fehlenden Mittelstütze und dem Entfall der Verkehrssicherungsmaßnahmen kann durch den Einsatz von aufgelegten Betonfertigteilstücken, die als Schalung für den Ortbeton verwendet werden, die Bauzeit zusätzlich minimiert werden. Ebenfalls positiv wirkt sich hierbei aus, daß sich durch die fehlende Mittelstütze der Bauablauf deutlich einfacher gestalten läßt, da keine Baustelle im Mittelstreifen der Autobahn angedient werden muß. Neuere Entwicklungen verwenden Verbundträger als Fertigteile [4], bei denen bereits im Werk die Betonfertigteilstücke auf den Stahlträger betoniert wird. Auf diese Verbundfertigteilträger

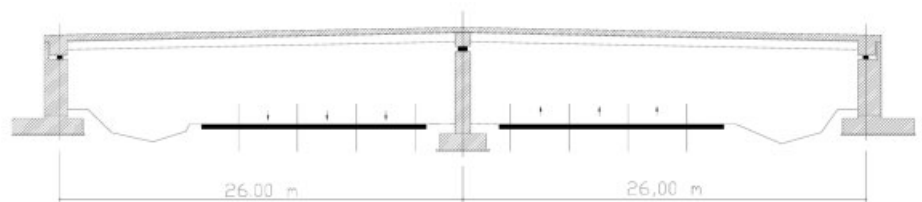


Bild 3. Ü-Bauwerk: Spannbetonbrücke als Zweifeld-Träger

Fig. 3. Fly-over bridge: Two-span prestressed concrete bridge

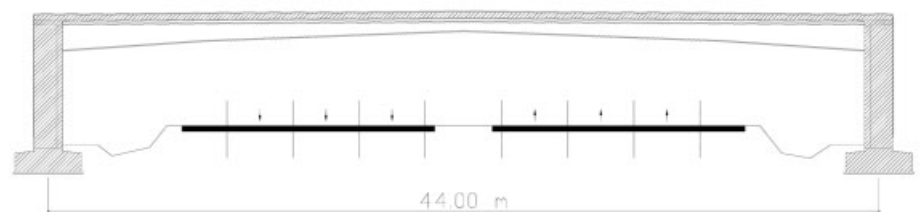


Bild 4. Ü-Bauwerk: Rahmenbrücke als Stahlverbundkonstruktion

Fig. 4. Fly-over bridge: Steel concrete composite bridge as portal frame integrated into the abutments

Tabelle 1. Gesamtkosten Ü-Bauwerke
Table 1. Total costs of a fly-over bridge

Brückentyp	System	Mittlere Kosten [€/m ²]	Mittlere Brückenfläche [m ²]
Massivbrücke	2-Feld-Träger	1.250	624 m ²
Verbundbrücke	Verbundrahmensystem	1.850	528 m ²

Tabelle 2. Zusammenstellung der Bauzeiten und des Baufortschritts - Ü-Bauwerk
Table 2. Overall construction time and advance increase of completion per week of a fly-over bridge

		Massivbrücke	Massivbrücke	Verbundbrücke
		Ortbeton	Fertigteil mit Aufbeton	Fertigteil mit Aufbeton
Gesamtbauzeit	[Wo]	21	15	14
Baufortschritt	[m ² /Wo]	25	35	33
Verhältnis der Bauzeiten	[%]	150	107	100

kann direkt bewehrt und betoniert werden. Das Errichten eines Traggerüstes, wie bei Massivbrücken, die aus Ortbeton hergestellt werden, entfällt somit. Mittels einer umfangreichen Beispiel- und Literaturrecherche wurden mittlere Gesamtkostenwerte je m² Brückenfläche und mittlere Bauzeiten ermittelt, siehe Tabelle 1.

Beim Vergleich der reinen Baukosten erweist sich – wegen der unterschiedlichen Stützweiten erwartungsgemäß – die Verbundkonstruktion als nachteilig und ist um ca. 25 % teurer als die zweifeldrige Massivbrücke. Bei den Bauzeiten kann dagegen durch den hohen Vorfertigungsgrad der Fertigteilträger die Bauzeit vor Ort auf der Baustelle minimiert werden. Das gilt für die Verbundfertigteile noch ein wenig mehr als für die Spannbetonfertigteile, siehe Tabelle 2.

2.2 Autobahnbrücken (A-Bauwerke) mit einer Stützweite von 45 m

2.2.1 Allgemeines

Für die Bemessung und die Ermittlung der Querschnitte wurde eine 5-Feld-Brücke mit einer Innenstützweite von 45 m und einer Randfeldstützweite im Verhältnis von 0,75 zum Innenfeld gewählt (Bild 5). Die nachfolgenden Untersuchungen wurden hierbei exemplarisch für ein Innenfeld durchgeführt. Es werden verschiedene Verbundquerschnittslösungen und ein Standard-Spannbetonhohlkasten verglichen.

2.2.2 Optimierung der Querschnitte und der Bauzeit

In Anlehnung an [4] wird ein zweistegiger Verbundquerschnitt als Fertigteil mit Ortbetonfahrbahnplatte gewählt (Typ 1) (Bild 6a). Hierdurch kann wegen der hohen Steifigkeit der Träger auf ein Traggerüst ebenso wie auf Aussteifungsverbände verzichtet werden. Auch aufwendige Schweißarbeiten auf der Baustelle können dadurch vermieden werden. Die Fertigteilträger werden im Werk hergestellt, anschließend auf die Baustelle transportiert und mittels eines Kranwagens eingehoben. Die Träger wirken im Bauzustand zunächst als Einfeldträger, nach der Ausbildung der Querträger über den Pfeilern als Durchlaufträger.

Der Querschnittstyp 2 (Bild 6b) ist analog zu Typ 1 mit zwei Trägern je Überbau ausgeführt, jedoch werden

diese ohne eine vorgefertigte Betonplatte eingehoben. Dies erfordert für den Bauzustand Maßnahmen zur Stabilisierung der Konstruktion, z. B. durch Aussteifungsverbände. Die erhöhten Herstellkosten für die Fertigteilverbundplatte dagegen entfallen. Wegen der fehlenden Betonplatte und der entsprechend höheren Spannungsbeanspruchung der Stahlträger im Bauzustand resultieren im Vergleich zu Typ 1 mit Fertigteilverbundträger höhere Baustahlmassen.

Bei den beiden folgenden Varianten wird der Abstand zwischen den Trägern verringert, die Anzahl der Träger bei Variante 3 (Bild 6c) auf vier (bei Variante Typ 4 auf fünf) erhöht. Dadurch kann auf den Schalwagen verzichtet werden. Zwischen den Stahlträgern werden bei Variante 3 Betonhalbfertigteile eingelegt, die Ortbetondeckschicht wird bewehrt und anschließend betoniert.

Hinsichtlich der Bauzeitenoptimierung wird durch die Verwendung von fünf Stahlverbundfertigteilträgern bei Variante 4 nicht nur auf den Schalwagen sondern auch auf die Betonfertigteile verzichtet (Bild 6d). Die Anzahl der Träger resultiert aus der wirtschaftlichen Optimierung der Betonverbundplatte sowie der Möglichkeit des Transports der Verbundträger auf öffentlichen Straßen. Nach dem Einheben der Träger und Ausbildung der Querträger kann die Ortbetondeckschicht direkt auf den Verbundträgern bewehrt und betoniert werden. Diese Variante stellt in Hinblick auf die kürzeste Bauzeit die beste Lösung dar.

Anhand der Zusammenstellung der Baustahlmassen wird ersichtlich, daß die Varianten mit zweistegigem Stahlquerschnitt den geringsten Stahl-

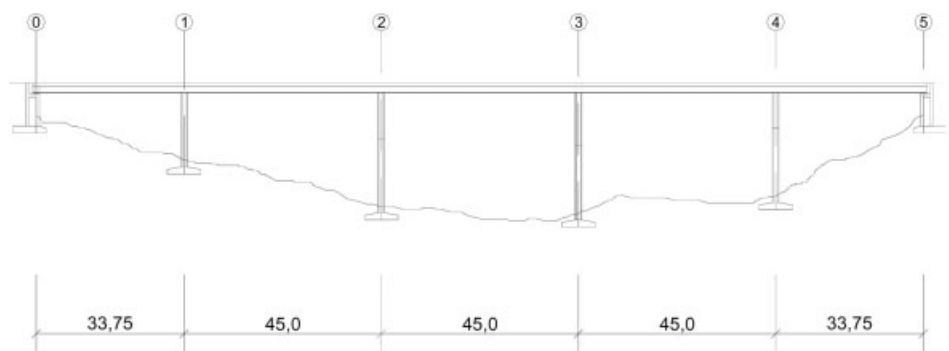


Bild 5. Untersucher A-Brückentyp mit einer Innenfeldstützweite von 45 m
Fig. 5. Motorway bridge – 45 m mid span

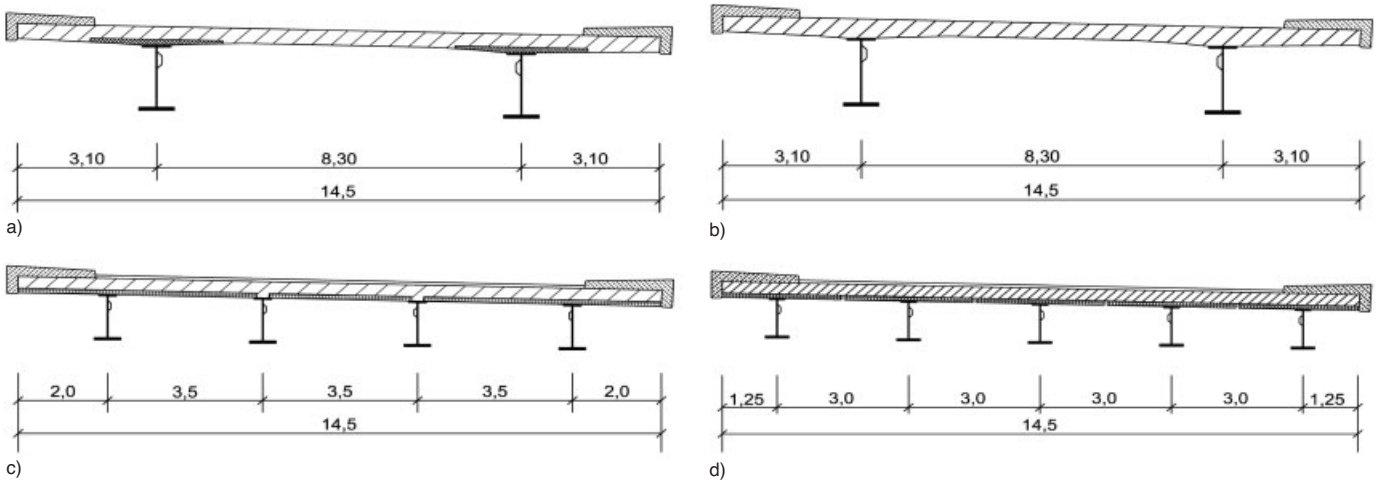


Bild 6. Varianten der untersuchten Verbundbrückenquerschnitte – Brückenstützweite 45 m, a) Typ 1: Fertigteilverbundträger mit Ortbetonplatte; b) Typ 2: Stahlträger mit Ortbetonplatte; c) Typ 3: Stahlträger mit Betonfertigteilen und Aufbetonplatte; d) Typ 4: Fertigteilverbundträger mit Aufbetonplatte
 Fig. 6. Analysed variation of composite motorway bridge sections

verbrauch aufweisen (Bild 7). Der Baustahlverbrauch der vierstegigen Variante hingegen liegt bereits 35 % darüber, bei der fünfstegigen Verbundfertigteilvariante liegt der Mehrverbrauch bei über 50 %. Die in der Abbildung angegebenen Werte beziehen sich hierbei auf Berechnungen einer Brückenschlankheit l/h von 20, d. h. einer Konstruktionshöhe des Überbaus von ca. 2,25 m.

Die Auswertung der in der Literatur dokumentierten Brückenbeispiele mit vergleichbaren Stützweiten hat gezeigt, daß Verbundbrücken üblicherweise mit einer Schlankheit zwischen 18 und 22 und Spannbetonbrücken mit Schlankheiten zwischen 15 und 18 ausgeführt werden. Eine Untersuchung der Baustahlmassen der vier Querschnitte zeigt bei Variation der Brückenschlankheit l/h sehr deutlich, daß mit zunehmender

Reduzierung der Überbauhöhe der Materialverbrauch überproportional zunimmt (Bild 8).

Dies spielt natürlich auch bei der Kostenentwicklung eine entscheidende Rolle (Tabelle 3). Für die Kostenberechnung wurden aktuelle Material-

preis- und Kalkulationsansätze (Sommer 2005) verwendet. Die Kosten beinhalten sowohl Material- wie auch Herstellungskosten einschließlich Montage u. ä. für den reinen Überbau ohne Ausbaugewerke wie Asphaltarbeiten, Kappen o. ä.

Tabelle 3. Herstellkosten des Brückenüberbau
 Table 3. Total costs of bridge superstructure

Mittlere Kosten für ein Innenfeld	Schlankheit $l/h = 20$	Schlankheit $l/h = 17$
Typ 1 Gesamt-Überbaukosten	467725 €	420600 €
Typ 1 Kosten je m ² Brückenfläche	719 €/m ²	649 €/m ²
Typ 2 Gesamt-Überbaukosten	375300 €	351900 €
Typ 2 Kosten je m ² Brückenfläche	577 €/m ²	541 €/m ²
Typ 3 Gesamt-Überbaukosten	435800 €	400700 €
Typ 3 Kosten je m ² Brückenfläche	671 €/m ²	616 €/m ²
Typ 4 Gesamt-Überbaukosten	603200 €	546650 €
Typ 4 Kosten je m ² Brückenfläche	928 €/m ²	841 €/m ²

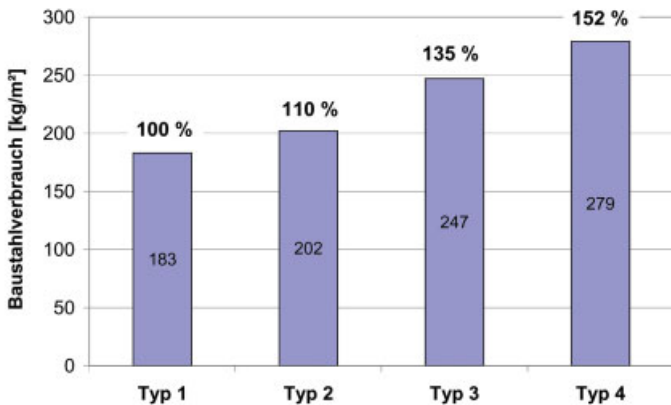


Bild 7. Baustahlmassen für eine Brückenschlankheit $l/h = 20$
 Fig. 7. Weight of structural steel for a bridge slenderness of $l/h = 20$

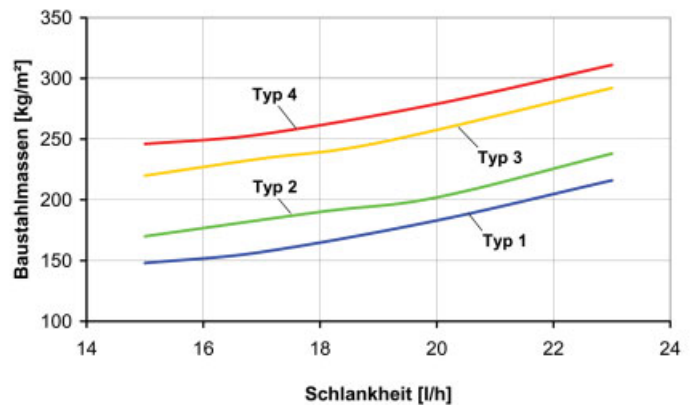


Bild 8. Baustahlmassen je m² Brückenfläche in Abhängigkeit der Brückenschlankheit
 Fig. 8. Weight of structural steel depending on bridge slenderness

Es ergeben sich hier günstigere Werte für den einfachen zweistufigen Stahlverbundquerschnitt mit Ort betonplatte. Diese Beobachtung stimmt mit den Entwicklungen im Ausland, insbesondere in Frankreich, überein, wo der „bi-poutre“ – der zweistufige Verbundüberbauquerschnitt – zu einer erfolgreichen und sehr verbreiteten Standardlösung geworden ist.

Vergleicht man die Bauzeiten der vier vorgestellten Varianten, kehren sich die Verhältnisse um. Querschnittstyp 1 und 2 weisen den geringsten Stahlverbrauch auf, jedoch in der Bauzeit liegen sie hinter den Varianten 3 und 4. Dies beruht auf dem notwendigen Einsatz eines Schalwagens. Ein Betonierabschnitt kann hierfür mit einer Länge von ca. 15 m angesetzt werden, d.h., für eine Gesamt-Brückenslänge von ca. 200 m werden 14 Betonierabschnitte notwendig. Ein Takt wiederum kann mit einer Woche angenommen werden, so daß das gesamte Betonieren der Fahrbahnplatte 14 Wochen in Anspruch nimmt, ohne Berücksichtigung des Zeitaufwands für den Auf- und Abbau des Schalwagens.

Für die Querschnittsvarianten 3 und 4 erspart man sich durch Erhöhung der Trägeranzahl und der dadurch resultierenden Verringerung des Abstandes der Träger untereinander den Einsatz eines Schalwagens. Durch das Auflegen von Betonfertigteilen bzw. durch die engere Aneinanderreihung der Verbundfertigteilträger kann direkt auf diese die Bewehrung gelegt und der Beton aufgebracht werden. Die Bauzeiten für die Herstellung des Überbaus können somit bis über 60 % reduziert werden. Für die Variante mit den Verbundfertigteilen kann ebenfalls noch einmal eine kleine Bauzeitverkürzung von einer Woche erreicht werden, da durch die Verbundträger auf das Einlegen von Betonfertigteilen verzichtet werden kann. Die Betonplatte wirkt nicht nur im Bauzustand

Tabelle 4. Zusammenstellung der Bauzeiten und des Baufortschritts – A-Bauwerk 45 m

Table 4. Construction time and advancement of composite motorway bridges – 45 m span

		Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
Gesamtbauzeit Roh-Überbau	[Wo]	18	18	7	6
Baufortschritt Roh-Überbau	[m ² /Wo]	160	160	420	485
Bauzeitverkürzung gegenüber Typ 1	[%]	-	-	60	67

Tabelle 5. Vertretbare Mehrkosten in [EEE] nach ARS 7/1990 [7]
Table 5. Justifiable additional costs according to ARS 7/1990 [7]

DTV = Kfz/Tag	Vertretbare Mehrkosten in [€/Tag/km] Verkehrsführung für BAB mit 4 Fahrstreifen		
	„2 + 2“	„3 + 1“	„4 + 0“
10000–20000	200	900	900
20000–30000	300	1350	1350
30000–40000	400	1800	1800
40000–50000	550	2250	2250
50000–60000	650	2700	2700
60000–70000	800	3150	3150
> 70000	900	3650	3650

mit, sondern dient gleichzeitig als Schalung für den Aufbeton. Umgerechnet auf die Bauleistung beziffert sich der Baufortschritt bei den Varianten 1 und 2 auf ca. 160 m²/Woche und bei den Varianten 3 und 4 auf 420 bzw. 485 m²/Woche (Tabelle 4).

3 Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen

3.1 Möglichkeiten der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

3.1.1 Überblick

Wirtschaftlich ist ein Bauwerk nicht allein dadurch, daß es die geringsten Herstellkosten aufweist, sondern wenn es über die gesamte Lebensdauer die wirtschaftlich kostengünstigste Lösung darstellt unter Berücksichtigung aller anfallenden Kosten wie für den Bau, den Unterhalt, die Erhaltung und die Sanierung sowie den Abbruch am Ende der Nutzungsdauer. Die Ermittlung dieser Kosten wird mittels der sog. Ri-Wi-Brü [5] berücksichtigt. Kosten, die durch die Baumaßnahme entstehen, da sie z. B. durch einen Eingriff in den Verkehrsraum Behinderungen hervorrufen, können durch die sog. EWS [6] und nach einem Allgemeinen Rundschreiben [7] in Ansatz gebracht werden. Diese drei Möglichkeiten der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung werden nachfolgend

genauer erläutert und auf die untersuchten Brückentypen angewandt.

3.1.2 Allgemeines Rundschreiben Nr. 7/1990 „Vertretbare Mehrkosten“

Das 1990 eingeführte Allgemeine Rundschreiben Nr. 7 [7] – nachfolgend als ARS bezeichnet – befaßt sich mit der Beschleunigung der Bauarbeiten an BAB-Betriebsstrecken mit hoher Verkehrsbelastung oder mit hoher Störanfälligkeit zur Verbesserung der Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs bzw. zur Verringerung der Beeinträchtigung dadurch. Generell sind diese Baumaßnahmen mit kurzen Ausführungsfristen durchzuführen bzw. soll eine weitere Verkürzung der Bauzeit dem Wettbewerb unterworfen werden und bei der Vergabe als zusätzliches Kriterium mit berücksichtigt werden. Mehrkosten, die durch eine eventuelle weitere Bauverkürzung entstehen, werden hierbei in Kauf genommen, wobei die Anforderung an die Qualität der Baumaßnahme in vollem Umfang weiter besteht. Als „vertretbare Mehrkosten“ sind – abhängig von der Verkehrsbelastung der jeweiligen Betriebsstrecke und Art der Verkehrsführung – höchstens die in Tabelle 5 aufgeführten Richtwerte (in € pro km und Kalendertag) durchgängig so zu legen. Als „km“ ist die Länge der baustellenbedingten Geschwindigkeitsbeschränkung (< 80 km/h) anzusetzen, mindestens jedoch 2 km.

3.1.3 Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen

Die sog. EWS [6] bildet eine Grundlage für eine volkswirtschaftliche Beurteilung und einen Variantenvergleich von Straßenbauinvestitionen

nach einheitlichen Grundsätzen. Den Kern der Empfehlungen bildet hierbei die Bewertung und Untersuchung des Nutzens einer Maßnahme. Als Kosten werden die zusätzlichen Kosten der Baulast infolge einer Straßenbauinvestition definiert, die in zwei Kostentypen unterschieden werden:

- Investitionskosten
- laufende Kosten

Investitionskosten folgen aus dem Bau der Straße, während die laufenden Kosten aus den wiederkehrenden Ausgaben für Unterhalt, Verkehrssicherung und Verkehrslenkung bestehen, die abhängig sind vom Typ und der Größe der Straße, sowie der Anzahl der Kunstbauten und der Straßenausstattung.

Alle Maßnahmen, die nicht in den oben aufgeführten Kosten enthalten sind, werden als Nutzen bezeichnet. Sie können sowohl positiv (als Gewinn) wie auch negativ (als Verlust) mit in die Rechnung aufgenommen werden. In der EWS werden nur die Nutzen betrachtet, die quantifizierbar sind und monetär erfaßt werden können, wie z. B.:

- die Veränderung der Betriebskosten: Durch Investitionen und Änderungen des Straßenraums entstehen Veränderungen bei der Fahrtroute, -zeit und -geschwindigkeit. Wenn nun die gleichen Fahrten mit geringeren Kraftfahrzeugbetriebskosten durchgeführt werden können, ergibt sich ein volkswirtschaftlicher Nutzen in Höhe der Betriebskosteneinsparung.
- die Veränderung der Fahrtkosten: Veränderte Fahrtrouten sind mit einer Veränderung der Fahrtzeit verbunden. Der volkswirtschaftliche Nutzen durch diese Fahrtzeitveränderung kann in Abhängigkeit der Zeitersparnis angegeben werden.
- die Veränderung des Unfallgeschehens:

Der bauliche Zustand von Straßen beeinflusst ebenso wie die Verkehrssituation das Unfallgeschehen. Durch Verbesserungen der Situation nehmen die Unfallzahlen ab, die gleichzeitig zu einer Minderung der Personen- und Sachschäden führen, die wiederum quantifiziert werden können.

Der Bewertungszeitraum für die Beurteilung von Straßenbauinvestitionen beträgt eigentlich 20 Jahre. Auftretende Kosten und Nutzen sind auf ein Bezugsjahr jeweils auf- bzw. abzu-

zinsen ($p = 3\%$ pro Jahr). Für die Entscheidungsfindung wird der Quotient gebildet aus den zurechenbaren Nutzen zu den eingesetzten Kosten.

Bei dem hier durchgeführten Vergleich der Bauwerkskosten werden durch diese Kostenansätze berücksichtigt, daß durch verkürzte Bauzeiten bzw. verringerte Eingriffe in den Straßenverkehr während der Bauphase Kostenvor- oder Kostennachteile entstehen. Nach der Fertigstellung gelten für das betrachtete Brückenbauwerk – unabhängig von der Bauart – die gleichen Kostenansätze, da es sich hier nicht um eine Variantenuntersuchung von verschiedenen Strecken handelt, sondern um einen Vergleich von Bauwerkstypen. Auf eine Umrechnung auf einen Bewertungszeitraum von 20 Jahren wurde deshalb ebenfalls verzichtet.

3.1.4 Richtlinie zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken

Die „Richtlinie zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken“ [5] – nachfolgend als Ri-Wi-Brü bezeichnet – befaßt sich mit der wirtschaftlichen Beurteilung von Erhaltungsmaßnahmen bei Straßenbrücken. Ziel der Richtlinie ist es, durch die Untersuchung der verschiedenen Varianten, durch Abwägung zwischen einer Instandsetzung oder Erneuerung, zwischen verschiedenen Varianten der Instandsetzung und verschiedenen Varianten der Erneuerung bei unterschiedlichen Bauvarianten oder Bauweisen Entscheidungshilfen zu geben.

Zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit der zu untersuchenden Varianten werden alle anfallenden Kosten zusammengerechnet. Die Baukosten einer Einzelmaßnahme setzen sich hierbei aus den reinen Baukosten (Instandsetzungs- oder Erneuerungskosten), den Kosten für Abbruch, Behelfe, Betriebserschwernisse und Verkehrsführung sowie den Verwaltungskosten zusammen. Unter der Berücksichtigung des Zeitpunktes der Maßnahmen und damit verbundenen Auszahlungen werden über eine Kapitalwertmethode die für einen festgelegten Bezugszeitpunkt (z. B. der

Tabelle 6. Jährliche Unterhaltskosten (nach Ablöserichtlinie von 1980 [8])
Table 6. Costs of maintenance per year in percentage of construction costs according to [8]

Bauwerksteil	jährliche Unterhaltskosten [in % der Gesamtbaukosten]
Überbau (Stahlbeton)	0,8
Überbau (Spannbeton)	1,1
Überbau (Stahlkonstruktion)	1,2
Überbau (Verbundkonstruktion)	1,1
Überbau (Walzträger in Beton)	0,8

Gegenwart) die erforderlichen Gesamtinvestitionskosten berechnet. Entsprechend werden Zahlungen, die infolge späterer Maßnahmen erst in der Zukunft getätigt werden, mittels eines Zinsfaktors abgezinst. Aus allen Zahlungen innerhalb des festgelegten Bewertungszeitraumes wird somit die Gesamtsumme gebildet, die für die verschiedenen Varianten verglichen wird. Die in der Ri-Wi-Brü genannten Unterhaltskosten beziehen sich auf die Ablöserichtlinie von 1980 [8] und sind in Tabelle 6 angegeben.

Bei der Auswahl der optimalen Variante sind das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und die Bewertung der sog. „nichtmonetären Aspekte“ gleichermaßen zu berücksichtigen. Somit sind für alle Varianten auch alle Faktoren mit einzubeziehen, die nicht durch Kostenansätze direkt ermittelt werden können, aber dennoch für die Varianten und deren Auswirkungen erheblich auf die Entscheidung Einfluß nehmen können. Diese „nichtmonetären Aspekte“ sind in [5] in einer Beurteilungsmatrix zusammengefaßt und beinhalten folgende Kriterien:

- Ingenieurbau (qualitative Bewertung der Standsicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit und der Gestaltung)
- Verkehrsplanung (Beurteilung der Verkehrsführung, Leistungsfähigkeit, Lärm- und Umweltschutzaspekte)
- Durchführbarkeit (Bau- und Planungsrecht, Grunderwerb, Haushalt und Bauzeit).

4 Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen

4.1 Stahlpreis-Entwicklung

Die Stahlpreise befinden sich zur Zeit auf dem höchsten Niveau seit 1989, für einzelne Stahlsorten, wie z. B. Betonstahl, wurden inzwischen historische Höchststände erreicht [9] (Bild 9). Die Ursachen für diese drastischen Preissteigerungen liegen wesentlich in der erhöhten weltweiten Nachfrage nach Stahl. Die dadurch ausgelöste Verknappung der wichtigsten Rohstoffe für die Stahlerzeugung hat zu deren weltweite Verteuerung geführt.

Anhand Bild 9 wird ersichtlich, daß die Preise für Bau- und Betonstahl seit Ende 2002 eine rasante Steigerung erfuhr. Die Betonstahlpreise sind nach ihrem Höhepunkt im Frühjahr 2004 wieder gesunken, während für den Baustahl eine weitere langsame aber stetige Zunahme angenommen wird. Um durch diese kurzfristige Preisentwicklung keine Verzerrung des Bildes zu bekommen und auch mit der durchgeführten Datensammlung von Brückenbeispielen der vergangenen fünf Jahre vergleichen zu können, wurden in [2] die Kostenkalkulationen preisbereinigt auf das Jahr 2002 als Bezugsjahr zurückgerechnet.

4.2 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung für Ü-Bauwerke

4.2.1 Vergleich der Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der vertretbaren Mehrkosten nach [7]

Durch den Bau eines Mittelpfeilers bedarf es im Fall der zweifeldrigen Massivbrückenlösung einer Einengung der Fahrspuren. Daraus resultieren eine Verkehrsführung „2+2“, für deren Vermeidung vertretbare Mehr-

Tabelle 7. Baukosten und vertretbaren Mehrkosten – Ü-Bauwerk nach [7]
Table 7. Construction costs and additional costs according to [7]

		Massivbrücke in Ort beton	Massivbrücke mit Betonfertigteilen	Verbundbrücke
Verkehrsaufkommen DTV [10]	[Kfz/Tag]	> 70.000		
Bauzeit	[Wo]	21	15	14
verkürzte Bauzeit	[Wo]	–	6	7
Zeitansatz für Mehrkosten	[Wo]	0	6	7
ansetzbarer Betrag der Mehrkosten je Tag	[€/Tag]	900	900	900
Vertretbare Mehrkosten	[€]	0	54000	63000
Verhältnis der vertretbaren Mehrkosten		0 %	86 %	100 %
Gesamte Baukosten	[€]	780000	780000	976800
Verhältnis der Baukosten		80 %	80 %	100 %
Gesamte Rohüberbaukosten incl. der Mehrkosten	[€]	780000	726000	913800
Verhältnis der Rohüberbaukosten incl. der Mehrkosten		85 %	79 %	100 %

kosten angesetzt werden können. Berücksichtigt werden in der Berechnung die absoluten Verkehrsbehinderungen, die infolge der Bauvarianten für den Verkehr entstehen (Tabelle 7). Für die Berechnung wird angenommen, daß durch die gesamte Bauzeit eine Verkehrsbehinderung entsteht, so daß über die gesamte Zeit die vertretbaren Mehrkosten angesetzt werden können. Die Strecke der Verkehrsbehinderung ist mit mindestens 2 km zu berücksichtigen, die Mehrkosten werden jeweils nur für fünf Tage je Woche gerechnet. Die Berechnung zeigt hier beispielhaft die Kostenermittlung für das Gebiet „Rhein-Main“ (Hessen) mit einem durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) von > 100000 Fahrzeugen.

Trotz der Bauzeitverkürzung und der damit anrechenbaren vertretbaren Mehrkosten durch die Reduzierung der Verkehrsbehinderung liegen die zusammengerechneten Kosten für Verbundbrücken noch immer um ca. 15 % über den Herstellkosten der beiden Massivbrückenvarianten. Die mögliche Berücksichtigung von Mehrkosten fällt hier zu gering aus, um die erhöhten Herstellkosten der Verbundbrücke (bei größerer Spannweite) auszugleichen.

4.2.2 Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen nach [6]

Die hier vorgestellte und untersuchte Berechnung bezieht sich auf die BAB A 5 nördlich des Homburger Kreuzes im Rhein-Main-Gebiet (Hessen) [10]. Das Verkehrsaufkommen liegt hier bei ca. 100000 Kfz/Tag mit einer durchschnittlichen Stauzeit von insgesamt 2 h pro Wochentag während der Berufsverkehrszeiten. Der Anteil der Kfz während des Berufsverkehrs kann mit ca. 20 % des gesamten Verkehrsaufkommens angenommen werden.

Infolge der Berücksichtigung der Mehrkosten für Betrieb und des erhöhten Unfallrisikos werden für das Untersuchungsgebiet die Herstellkosten mit den Zusatzkosten infolge der Baumaßnahme zusammengefaßt und für die verschiedenen Varianten an Überführungsbauwerken nach Ab-

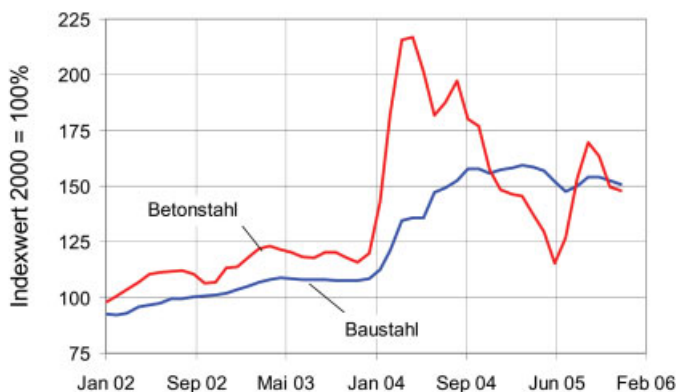


Bild 9. Stahlpreisentwicklung von Baustahl und Betonstahl nach [9]

Fig. 9. Development of costs of construction steel and reinforcing steel [9]

Tabelle 8. Betriebskosten für Ü-Bauwerke nach [6]
Table 8. Maintenance costs according to [6]

		Massivbrücke mit Traggerüst	Massivbrücke mit Fertigteilteilen	Verbundbrücke
Verkehrsaufkommen DTV	[Kfz/Tag]	100000		
Verkehrsaufkommen DTV (Berufsverkehr)	[Kfz/Tag]	22000		
Anteil PKW/LKW/Lastzug/Bus	[%]	84/3/9/0,5		
Zeitverzögerung im Berufsverkehr (werktags)	[min]	132		
Bauzeit	[Wo]	21	15	14
Veränderung der Fahrt- und Betriebskosten je Tag	[€/Tag]	399905	399905	399905
Berücksichtigung der Mehrkosten	[€]	41990025	29992875	27993360

Tabelle 9. Unfallkosten für Ü-Bauwerke
Table 9. Accident costs

		Massivbrücke mit Traggerüst	Massivbrücke mit Fertigteilteilen	Verbundbrücke
Verkehrsaufkommen DTV	[Kfz/Tag]	100000		
Unfallkostendichte pro Jahr	[T€/km · a]	0,0064 · DTV		
Unfallkostendichte pro Jahr	[€/km · a]	640000		
Länge der Baustelle	[km]	2		
Berücksichtigung der Mehrkosten	[€]	368219	263014	245479

Tabelle 10. Herstell-, Betriebs- und Unfallkosten für Ü-Bauwerke
Table 10. Construction, maintenance and accident costs

		Massivbrücke mit Traggerüst	Massivbrücke mit Fertigteilteilen	Verbundbrücke
Baukosten	[€]	780000	780000	976800
Verhältnis der Baukosten		80 %	80 %	100 %
Betriebskosten (Mehrkosten)	[€]	41990025	29992875	27993360
Verhältnis der Betriebskosten		100 %	71 %	67 %
Verhältnis Betriebskosten/Baukosten		53,8	38,5	28,7
Unfallkosten (Mehrkosten)	[€]	368219	263014	245479
Verhältnis Unfallkosten		100 %	71 %	67 %
Verhältnis Unfallkosten/Baukosten		0,47	0,34	0,25
Gesamtkosten	[€]	43138244	31035889	29215639
Verhältnis Gesamtkosten		100 %	71,9 %	67,7 %

schnitt 2.1 miteinander verglichen. Die dabei berechneten Kostensätze sind in den Tabellen 8 bis 10 zusammengestellt.

Durch das erhöhte Verkehrsaufkommen und vor allem durch die län-

geren Stauzeiten wirkt sich hier eine Bauzeitenverlängerung viel stärker bei den Mehrkosten durch Fahrt- und Betriebskosten aus, so daß die Betriebskosten durch die Zeitverzögerung mit fast 400 T€ pro Tag ange-

setzt werden können. Durch die erhöhte Unfallgefahr steigt der Anteil der Unfallkosten an den Herstellkosten der Brücke leicht an. Werden die Gesamtsummen miteinander verglichen, so erscheint die Verbundbrücke als die wirtschaftlichste Bauweise, da durch die verkürzte Bauzeit die sozioökonomischen Kosten am geringsten gehalten werden können. Bemerkenswert für diesen Berechnungsansatz ist, daß die entstandenen Mehrkosten ein Vielfaches der eigentlichen Herstellkosten ausmachen und damit die Baukosten an sich keine entscheidende Rolle mehr bei diesem Wirtschaftlichkeitsvergleich spielen.

4.2.3 Wirtschaftlichkeitsberechnungen nach [5]

Folgende Ansätze bilden hierbei die Grundlage für die Kapitalwertberechnungen (Tabelle 11):

- Für Verbundbrücken: Als sog. „Erstmaßnahme“ wird die Erstellung der Verbundbrücke betrachtet, während für die Zweitmaßnahme die Erneuerung der gesamten Brücke nach einer Nutzungsdauer von 50 Jahren angesetzt wird. Die Unterhaltskosten werden nach Ablöserichtlinie [8] zu 1,1 % der Baukosten angenommen. Da die Brücke nach jeweils 50 Jahren erneuert wird und die Gesamtlebensdauerberechnung auf 100 Jahre ausgelegt ist, fallen keine Restkapitalwerte an.
- Für Massivbrücken: Die Ansätze werden analog der Verbundbrücke gewählt, da nach der Nutzungsdauer von 50 Jahren die Brücke erneuert wird.

Beispielhaft soll an zwei Kategorien die Auswertung der Beurteilungsmatrix aufgezeigt werden:

- Kategorie „Verkehrssicherheit nach Fertigstellung“: Die Überbauvariante der Verbundbrücke ist hinsichtlich des Kriteriums Verkehrssicherheit optimal, da durch den Wegfall der Mittelstütze eine Gefährdungs- und Behinderungsstelle wegfällt. Bei der Massivbauvariante ist die Mittelstütze weiter notwendig und damit eine potentielle Gefahren- und Behinderungsstelle.
- Kategorie „Verkehrsführung während der Bauzeit“: Die Verkehrsführung ist bei beiden Brückenvarianten nicht ohne Probleme, wobei allerdings die Überbauvariante der Verbundbrücke gegenüber der Massivbauvariante die kürzeste Verkehrsbeschränkung (Bauzeit) aufweist. Au-

Tabelle 11. Kapitalisierte Kosten nach [5]
Table 11. Capital values according to [5]

		Verbundbrücke	Massivbrücke
Kapitalisierte Baukosten – EM	[€]	1074480	858000
Kapitalisierte Baukosten – ZM	[€]	245096	195716
Kapitalisierte Unterhaltskosten	[€]	373476	298230
Kapitalisierter Restwert	[€]	0	0
Kapitalisierte Kosten	[€]	1693052	1351946
Verhältnis der Kapitalwerte		100 %	80 %

Tabelle 12. Beurteilung der Ü-Bauwerke – nichtmonetäre Aspekte nach [5]
Table 12. Evaluation of the fly-over bridge – non-monetary aspects according to [5]

	Massivbrücke in Ortbeton	Massivbrücke mit Betonfertigteilen	Verbundbrücke als Rahmenbauwerk
Ingenieurbau	2,2	2,6	1,6
Verkehrsplanung	3,7	3,1	1,9
Umweltschutz	2,8	2,6	2,7
Durchführbarkeit	2,8	2,5	2,3
Gesamtnote	2,4	2,7	2,1

Berdem fällt die Inselbaustelle (mit all ihren verkehrlichen Problemen) für die Mittelstütze bei Rahmenbrücken weg. Dieser Brückentyp hat damit einen erheblichen bauzeitlichen Mobilitätsvorteil. Die notwendigen Verkehrseinschränkungen wegen des Traggerüsts machen die Variante der Massivbrücke in Ortbeton aus dieser Hinsicht zur schlechtesten.

Eine Auswertung der Beurteilungsmatrix für die nicht-monetären Aspekte ergibt die in Tabelle 12 aufgeführte Gesamtbewertung für die Massiv- und Verbundbrückenvariante.

4.2.4 Zusammenfassung: Wirtschaftlichkeitsuntersuchung für Überführungsbauwerke

Während Massivbrücken bei der Betrachtung der Herstellung klar kostengünstiger erscheinen, gelten als Nachteile die erforderliche Mittelstütze für diese Konstruktion und die damit verbundenen Verkehrssicherungsmaßnahmen während der Bauzeit sowie das erhöhte Unfallrisiko während des Betriebes. Dahingegen erweist sich die Verbundrahmenkonstruktion als die teurere Variante, die aber durch die verkürzte Bauzeit und den Wegfall der Mittelstütze den Eingriff in den Verkehr während der Bauzeit minimiert und das Unfallrisiko während des Betriebes senkt. Dies führt bei einem Ansatz von sozio-ökonomischen

Kosten nach EWS [6] zu einem klaren Vorteil für Verbundbrücken.

4.3 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung der Variante für A-Bauwerke mit L = 45 m

4.3.1 Vergleich unter Berücksichtigung der vertretbaren Mehrkosten nach [7]

Die Berücksichtigung von vertretbaren Mehrkosten bei Autobahnbrücken erfolgt dadurch, daß durch eine Bauzeitverkürzung eine frühere Verkehrsübergabe erfolgen kann und dadurch die stau- und kostenintensive „4+0“-Verkehrsführung zeitlich minimiert werden kann. Dies ist z. B. beim Abriß und Neubau eines Überbaus bei gleichzeitiger Führung des Verkehrs auf dem zweiten Überbau der Fall. Die vertretbaren Mehrkosten, die durch eine verkürzte Bauzeit angesetzt werden können, werden von den Überbaukosten abgezogen. Zum Vergleich wird zusätzlich zu den vier Verbundbrückenquerschnitten eine Massivbrücke hinzugezogen.

Der Baufortschritt für Massivbrücken gleicht den Bauzeiten für die Verbundquerschnitte vom Typ 1 und 2. Hieraus kann ebenso wie in der obigen Berechnung abgeleitet werden, daß keine vertretbaren Mehrkosten infolge einer Bauzeitverkürzung abgezogen werden können. Der mittlere Quadratmeterpreis für den

Rohüberbau einer Spannbetonhohlkastenbrücke kann mit 350 € angesetzt werden, so daß die Überbaukosten für ein Feld bei einer Stützweite von 45 m zu 227500 € berechnet werden können. Die Kosten wurden als Mittelwert aus der Beispielsammlung ermittelt und gelten für den Rohüberbau eines Spannbetonhohlkastens einer Massivbrücke für einen mittleren Spannweitenbereich von 45 m (Tabelle 13). Die Berechnung zeigt hier beispielhaft die Kostenermittlung für das Gebiet „Hessen gesamt“ [2] mit einem durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) von > 100000 Fahrzeugen.

Die vertretbaren Mehrkosten berechnen sich infolge der möglichen Bauzeitenverkürzung bei Verbundbrückenquerschnitt 3 und 4 zu ca. 350000 €, so daß der Brückentyp 3 nach Abzug der Mehrkosten von den Baukosten sogar noch etwas kostengünstiger als die Massivbrücke ermittelt wird.

4.3.2 Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen nach [6]

Für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung gelten die gleichen Annahmen für das Verkehrsaufkommen wie bei den Ü-Bauwerken. Die durch Verkehrsbehinderung entstehenden Betriebs- und Fahrtkosten berechnen sich pro Tag auf knapp 400 T€ (Tabelle 14). Infolge einer Bauzeit von 18 Wochen beim Verbundbrückentyp „1“ + „2“ (oder einer vergleichbaren Massivbrücke) errechnen sich die sozio-ökonomischen Mehrkosten zu über 35 Mio. €. Durch die Bauzeitverkürzung bei Variante Typ „3“ + „4“ lassen sich diese auch hier um über 60 % vermindern. Der Kostenvorteil verhält sich bei der Änderung des Unfallgeschehens ähnlich. Durch die im Rhein-Main-Gebiet längeren Stauzeiten übersteigen die erhöhten Betriebskosten die Gesamtherstellkosten der Brückenbauwerke wiederum um ein Vielfaches.

4.3.3 Wirtschaftlichkeitsberechnungen nach [5]

Das Beispiel ist für einen Berechnungszeitraum von 120 Jahren ausgeführt, da durch eine entsprechende Berechnung in [2] nachgewiesen wurde, daß ohne besondere Zusatzkosten die Stahlkonstruktion bei entspre-

Tabelle 13. Baukosten und vertretbaren Mehrkosten – A-Bauwerk 45 m Stützweite nach [7]
Table 13. Construction costs and additional costs according to [7]

		Massiv- brücke	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
Verkehrsaufkommen DTV	[Kfz/Tag]	60000–70000				
Bauzeit	[Wo]	18	18	18	7	6
verkürzte Bauzeit	[Wo]	–	–	–	11	12
ansetzbarer Betrag der Mehrkosten je Tag	[€/Tag/km]			3150		
Baukosten (5-Feld-Brücke)	[€/m ²]	1137500	1617205	1316105	1460850	1992825
Verhältnis der Baukosten		57 %	81 %	66 %	73 %	100 %
Berücksichtigung der Mehrkosten	[€]	0	0	0	346500	378000
Gesamte Rohüberbaukosten abzgl. der Mehrkosten	[€]	1137500	1617205	1316105	1114350	1614825
Verhältnis der Rohüberbaukosten abzgl. der Mehrkosten		70 %	100 %	81 %	69 %	100 %

Tabelle 14. Zusammenstellung der Betriebs- und Unfallkosten
Table 14. Maintenance and accident costs

		Massiv- brücke	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
Baukosten	[€]	227500	323441	263221	292017	398565
Betriebskosten (Mehrkosten)	[€]	35991450	35991450	35991450	13996675	11997150
Unfallkosten (Mehrkosten)	[€]	315616	315616	315616	122740	105205
Summe Betriebs- und Unfallkosten	[€]	36307066	36307066	36307066	14119415	12102355
Verhältnis der gesamten Mehrkosten		100 %	100 %	100 %	39 %	33 %

Tabelle 15. Kapitalisierte Kosten nach [5] für 120 Jahre
Table 15. Capital values according to [5] for a life-time of 120 years

Brückentyp		Verbund	Verbund	Verbund	Verbund	Massiv
		Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	
Kapitalisierte Baukosten – EM	[€]	398970	332475	363935	481195	293150
Kapitalisierte Baukosten – ZM	[€]	35922	35922	35922	35922	66869
Kapitalisierte Unterhaltskosten	[€]	123765	100652	11187	152346	86983
Kapitalisierter Restwert*)	[€]	2807	2282	2531	3455	0,0
Kapitalisierte Kosten	[€]	555850	466767	508914	666008	447003
Verhältnis der Kapitalwerte (bezogen auf die Massivbrücke)		124 %	104 %	114 %	149 %	100 %

chend ausgeführter ermüdungsgerechter Gestaltung auch 120 Jahre statt 100 Jahre ohne rechnerische Schädigung hält. Dabei werden nach der Hälfte des Zeitraums eine Sanierung der Fahrbahnplatte bei Verbundbrücken und eine Erneuerung des Brückenüberbaus bei Massivbrücken angesetzt. Die Unterhaltskosten sind für beide Varianten mit 1,1 % pro Jahr der Herstellkosten berechnet (Tabelle 6). Die kapitalisierten Restkosten sind infolge einer vollständigen Abschreibung über die Lebensdauer der Überbauten mit einem Wertansatz von

Null nicht zu berücksichtigen (Tabelle 15).

Die kapitalisierten Kosten weisen die Massivbrücke als günstigste Variante aus, gefolgt von Verbundbrückentyp 2 mit einem Abstand von 4 %. Die restlichen Verbundbrückenvarianten liegen mit 14 bis 49 % deutlich darüber (Bild 10).

Für die nicht-monetären Aspekte sind sehr klare Unterschiede erkennbar.

Kategorie „Dauerhaftigkeit – nach Fertigstellung“: Bei Verbundbrücken mit offenem Querschnitt ist es sehr leicht möglich, die Dauerhaftigkeit der

Konstruktion durch Sichtprüfung festzustellen. Bei geschlossenen Überbauquerschnitten ist dies nur mit einem zusätzlichen Aufwand verbunden. Bei Massivbrücken (Spannbe-tonhohlkasten) kommt hinzu, daß bei den internen Spanngliedern keine Inspektion mehr möglich ist. Nur eine externe Spanngliedführung kann dabei Abhilfe verschaffen, diese ist aber bei dieser Bauwerksgröße/ Spannweite meist nicht wirtschaftlich und wettbewerbsfähig.

Kategorie „Verkehrsführung – während der Bauzeit“: Die Überbau-

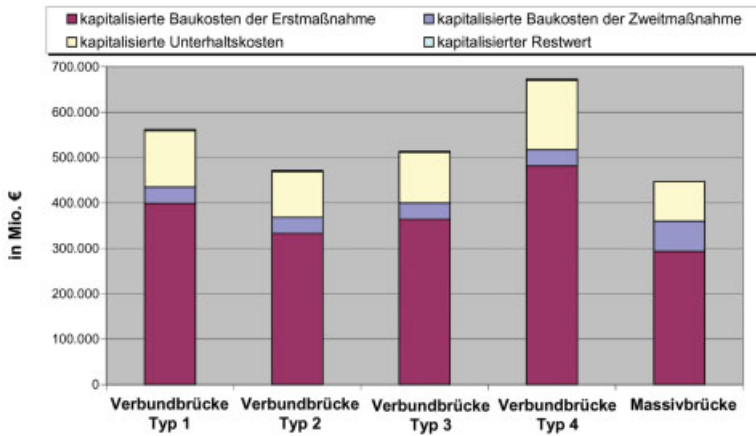


Bild 10. Kapitalwertberechnung – Lebensdauer: 120 Jahre
 Fig. 10. Capitalised calculation – Life-time: 120 years

Tabelle 16. Beurteilung der A-Bauwerke – nichtmonetäre Aspekte nach [5]
 Table 16. Evaluation of the motorway bridge – non-monetary aspects according to [4]

	Verbundbrücke mit offenem Querschnitt	Massivbrücke mit Hohlkastenquerschnitt
Ingenieurbau	1,9	1,9
Verkehrsplanung	1,5	2,5
Umweltschutz	2,0	2,1
Durchführbarkeit	2,3	2,4
Gesamtnote	1,9	2,2

varianten der Verbundbrückenbauweise weisen gegenüber der Massivbauvariante die kürzeren Verkehrsbeschränkungen (Bauzeit) auf und besitzen daher einen bauzeitlichen Mobilitätsvorteil.

Analog wurde auch hier wie für die Überführungsbauwerke eine Bewertung der Beurteilungsmatrix durchgeführt (Tabelle 16).

4.3.4 Zusammenfassung: Wirtschaftlichkeitsuntersuchung für A-Bauwerke mit L = 45 m

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß die vier verschiedenen Verbundbauvarianten deutliche Unterschiede bei den Baukosten und Bauzeiten aufweisen. Die Baukosten lagen hierbei jeweils über den Herstellkosten für Massivbrücken im mittleren Spannweitenbereich. Durch eine Optimierung der Bauverfahren, insbesondere durch eine angestrebte Verkürzung der Bauzeit, weisen Verbundbrücken bei Berücksichtigung der vertretbaren Mehrkosten [7] durch Verkehrsbehinderungen ähnliche Werte wie bei Massivbrücken auf. Sehr deutliche Vorteile der Verbundbrücke mit Fertigteilen sind bei Berücksichtigung der sozio-ökonomischen Kosten [6]

zu erkennen. Bei Berücksichtigung der Kosten bezogen auf die Lebensdauer von Brücken [7] sind Verbundbrücken konkurrenzfähig (gleiche Kapitalwerte) gegenüber Massivbrücken. Ebenso zeigen die nicht-monetären Aspekte weitere Vorteile von Verbundbrücken auf.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen des für das Hessische Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen (Wiesbaden) erstellten Gutachtens wurden verschiedene Möglichkeiten erörtert, Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen und -analysen an Überführungs- und Autobahnbrücken durchzuführen.

Die drei vorgestellten Berechnungsansätze durchleuchten hierbei jeweils einen eigenen Aspekt der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Es zeigte sich bei allen Ansätzen, daß eine reine Berücksichtigung der Herstellkosten ohne Einbezug der Bauzeiten, Bauverfahren und der Konstruktionsart nicht ausreichend ist für einen objektiven Vergleich der Wirtschaftlichkeit eines Brückenbauwerkes.

Durch den Bau einer Brücke kommt es oftmals zu einer Behinderung des durch die Baumaßnahme gestörten Verkehrs. Ziel ist es natür-

lich, diese Behinderung so weit wie möglich zu minimieren, um dadurch die anfallenden sozio-ökonomischen Mehrkosten gering zu halten. Der Einfluß dieser Kostengröße kann nach [6] berücksichtigt und in Rechnung gestellt werden. Einen ähnlichen Ansatz liefern die vertretbaren Mehrkosten [7], bei dem durch eine Bauzeitverkürzung Mehrkosten für das Bauobjekt in Kauf genommen werden.

Die Kosten für den Bau einer Brücke aber spiegeln nur einen kleinen Teil der gesamten mit der Brücke verbundenen Kosten wider. Hinzu kommen die Kosten für den Unterhalt, die Sanierung, die Erneuerung und sogar die Kosten für den Abbruch bzw. den Rückbau der Brücke. Da sich diese Kosten aber über die gesamte Lebensdauer hinweg verteilen, ist es notwendig, den Kapitalbedarf einer Brücke über Kapitalwerte zu berechnen.

Das vorliegende Gutachten zeigt, daß durch den Ansatz ganzheitlicher Betrachtungen von Bau- und Unterhaltskosten Verbundkonstruktionen im Brückenbau weitaus konkurrenzfähiger sind als bei alleiniger Betrachtung der Herstellkosten. Das Ziel sollte somit sein, alle mit der Herstellung, Nutzung und Unterhalt einer Brücke verbundenen Kosten zu berücksichtigen und in eine Bewertung mit einzu beziehen. Die im Gutachten durchgeführten Berechnungen und Vergleiche sollen die Bereitschaft fördern, für ein Bauwerk in Hinblick auf dessen Kosten die gesamte Lebensdauer zu berücksichtigen und neue Wege bei der Beurteilung und Bewertung von Bauwerken hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit einzuschlagen.

Danksagung

Wir möchten uns bei folgenden Firmen, Ämtern und Ingenieurbüros bedanken, die uns bei der Erstellung der Datensammlung der Brückenbeispiele sowie der Abschätzung von Kosten und Bauzeiten unterstützt haben: Autobahndirektion Südbayern (Dienststelle Kempten und Maisach), Autobahndirektion Nordbayern (Bayreuth), DEGES Berlin, Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg, Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen (NRW), Fa. Donges Stahlbau GmbH (Darmstadt), Fa. Max Bögl (Weiden/Operpfalz), Ingenieurgruppe

Bauen (Karlsruhe), Ingenieurgemeinschaft Kuhlmann-Gerold-Krauss-Eisele (Nellingen), Ingenieurbüro Hauf (Gundelfingen/Donau).

Literatur:

- [1] *Riegelhuth, G.*: Vision Zero – eine Momentaufnahme zur Initiative Staufreies Hessen. VSVI-Journal Hessen 2006, H. 1, S. 9–23.
- [2] *Kuhlmann, U., Hauf, G., Steiner, J., Aul, M.*: Bewertung von Bauverfahren für Stahlverbundbrücken, Gutachten für das Hessische Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, Wiesbaden, 2006.
- [3] *Doss, W.* et al.: VFT-Bauweise. Beton- und Stahlbetonbau 96 (2001), H. 4, S. 171–180.
- [4] *Allmeier, S., Frenzel, J., Schiefer, S., Seidl, G., Weber, J.*: Innovationen im Verbundbrückenbau – Talbrücke Oberhartmannsreuth. Stahlbau 69 (2000), H. 9, S. 707–713.
- [5] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Richtlinie zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken, Ausgabe 2004.
- [6] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen EWS (Entwurf) – Aktualisierung der RAS-W 86, Ausgabe 1997, FGSV Verlag, Köln, 1997.
- [7] Bundesministerium für Verkehr: Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 7/1990, Sachgebiet 17: Vertrags- und Verdingungswesen: „Vertretbare Mehrkosten“.
- [8] Bundesministerium für Verkehr: Richtlinien für die Berechnung der Ablösebeträge der Erhaltungskosten für Brücken und sonstige Ingenieurbauwerke, Ausgabe 1980.
- [9] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie: Preisentwicklung ausgewählter Stahlprodukte in Deutschland (Stand: Januar 2005), URL: <http://www.bauindustrie.de>.
- [10] Verkehrszentrale Hessen: Durchschnittlicher Täglicher Verkehr 2002 / 2003, Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, Wiesbaden.

Autoren dieses Beitrages:

Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann, Dipl.-Ing. Gunter Hauf, Institut für Konstruktion und Entwurf, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 7, 70569 Stuttgart; Dipl.-Ing. Eberhard Pelke, Dipl.-Ing. Torsten Herrmann, Hessisches Landesamt für Straßen und Verkehrswesen, Wilhelmstraße 10, 68185 Wiesbaden; Dipl.-Ing. Josef Steiner, Dipl.-Ing. Michael Aul, Ingenieurgruppe Bauen, Hübschstraße 21, 76135 Karlsruhe