

# HANDOUT ZUM VORTRAG “GANZHEITLICHE BEWERTUNG VON INFRASTRUKTURBAUWERKEN”

Österreichischer Stahlbauverband, Wien, 01.03.2012

Dip.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Tim Zinke<sup>1</sup>

## Zusammenfassung

Bisher existiert kein ganzheitliches Nachhaltigkeitsbewertungssystem, das alle relevanten Aspekte innerhalb des Lebenszyklus einer Brücke miteinander vereint. Ansätze in Form von Regelwerken bzw. Richtlinien zur Klassifizierung einzelner Bewertungskriterien liegen vor, offenbaren aber vor allem in der Nutzungsphase Schwächen bzw. Lücken. International sind nur Aktivitäten in der Normungsgruppe ISO/ TC59/ SC17/ WG 5 zu verzeichnen, diese sind allerdings nicht ausschließlich auf Brücken sondern auf Infrastrukturbauwerke im Allgemeinen ausgerichtet. In Deutschland existieren seit 2010 zwei Arbeits- bzw. Forschungsgruppen, die sich gezielt mit der ganzheitlichen Bewertung von Brückenbauwerken beschäftigen. Die vollständigen Ergebnisse werden Ende 2012 vorliegen.

Alle bisherigen Untersuchungen zeigen, dass bei Brücken vor allem die Art und das Maß der Vernetzung mit der umgebenden Umwelt eine entscheidende Rolle spielt. In diesem Punkt unterscheiden sich Infrastrukturbauwerke deutlich von Hochbauten, die in vielen Nachhaltigkeitsbewertungssystemen unabhängig von Ihrem Standort bewertet werden, um eine einheitliche Labelzertifizierung (mit dem Verleihen von Medaillen) vornehmen zu können. Die Stärken und Schwächen eines Brückentragwerks müssen daher im Kontext von Variantenvergleichen beurteilt werden. Dafür sind für eine ganzheitliche Bewertung auch ökologische und volkswirtschaftliche Auswirkungen, nach Möglichkeit quantitativ, zu erfassen.

## 1 Internationale Bewertungsansätze

International existieren im Gegensatz zum Hochbau nur sehr wenige Ansätze für eine Nachhaltigkeitsbewertung von Infrastrukturbauwerken. Die existierenden Systeme beziehen sich normalerweise auf alle Arten von Infrastrukturen und sind nicht auf Brückenbauwerke spezialisiert. Im Bereich der am Markt von Planern und Entscheidern für die Bewertung von Brückenbauwerken anwendbaren Systeme existieren bisher nur drei Ansätze:



**CEEQUAL:** Englisches System mit einem Schwerpunkt auf ökologischen und sozialen Aspekten. Die Markteinführung erfolgte im Jahr 2004. Einziges derzeit am Markt angewendetes System.



**envision:** Bewertungssystem aus den USA, welches vom „Institute for Sustainable Infrastructures“ entwickelt wird. Die Erprobungsphase begann im Sommer 2011, die Markteinführung wird Mitte 2012 erwartet.



**AGIC:** Australisches System entwickelt vom „Australien Green Infrastructure Council“. Eine Einführung ist Anfang 2012 geplant.

Sowohl das bereits existierende System CEEQUAL als auch die beiden neuen in der Entstehung befindlichen Systeme des amerikanischen ISI und australischen AGIC stellen in ihrem Land

<sup>1</sup> Kontakt: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Stahl- und Leichtbau, Otto-Ammann-Platz 1, 76133 Karlsruhe  
E-Mail: t.zinke@kit.edu, Tel. +49 (0)721 608-47826

eigenständige, von den jeweiligen für die Hochbaubewertung zuständigen Gesellschaften getrennte, Organisationen dar.

Neben den auf die praktische Anwendung ausgerichteten Systemen entstehen seit ca. 2005 eine Reihe an europäischen (Arbeitsgruppe CEN TC 350 „Sustainability of Construction Works“) und internationalen (ISO TC 59 „Buildings and Civil Engineering Works“) Normungsdokumenten. Diese neue Generation von Richtlinien wird methodisch auch die Bewertung von Brückenbauwerken beeinflussen, vor allem in Hinblick auf eine ökologische und ökonomische Bewertung. Es beschäftigt sich international allerdings nur eine Arbeitsgruppe mit der Entwicklung von Indikatoren, die speziell auf die Randbedingungen von Infrastrukturbauwerken abgestimmt sind (siehe Abbildung 1). Das Dokument liefert jedoch nur Empfehlungen für mögliche Indikatoren sowie ihre Definition und kein geschlossenes Bewertungssystem (mit Angabe von Wichtungsfaktoren für die einzelnen Kriterien), wie es bei den oben vorgestellten am Markt tätigen Bewertungssystemen der Fall ist.

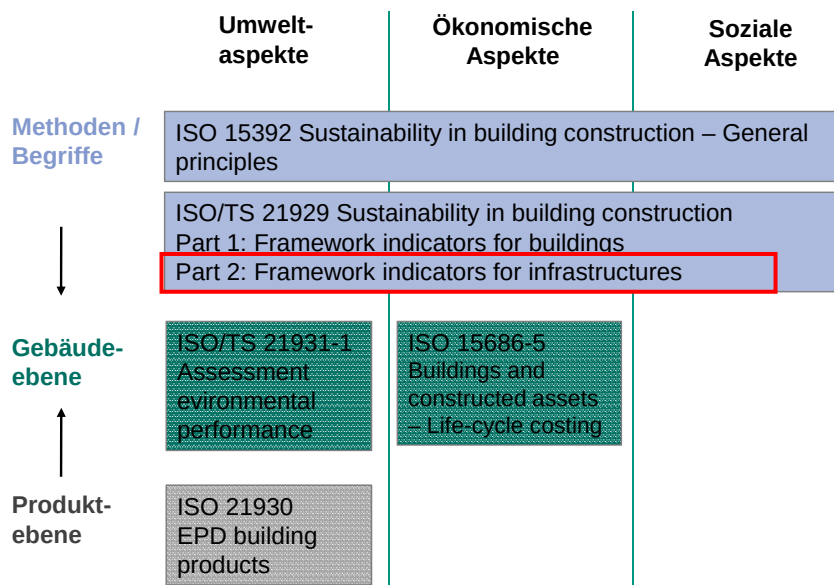


Abbildung 1: Struktur der Normungsdokumente auf internationaler Ebene, markiert ist der Normenentwurf, der sich mit der Entwicklung von Bewertungshilfsmitteln für Infrastrukturbauwerke beschäftigt.

## 2 Deutschsprachige Aktivitäten

Aufbauend auf den Arbeiten an den Bewertungssystemen für Hochbauten sind ab 2009 auch einige Projekte ins Leben gerufen worden, die sich speziell mit der Nachhaltigkeitsbewertung von Brücken beschäftigen:

- Die Arbeitsgruppe „Infrastruktur“ ist bei der Bundesanstalt für Straßenwesen (Bast, Deutschland) angesiedelt und zusammengesetzt aus Universitätsinstituten und in der Baupraxis tätigen Ingenieuren (Expertengremium). Die Arbeitsgruppe hat zum Ziel, ähnlich den bestehenden Bewertungssystemen eine Kriteriensteckbriefsammlung inklusive Wichtung der einzelnen Kriterien untereinander zu erstellen. Da zuerst die einzelnen Steckbriefe entwickelt wurden und derzeit eine Anwendung auf Beispielbauwerke stattfindet, kann die Arbeitsweise als Top-Down-Ansatz bezeichnet werden. Erste Ergebnisse und Basisanforderungen sind in [1] zu finden.
- Das Forschungsprojekt „Ganzheitliche Bewertung von Stahl- und Verbundbrücken nach Kriterien der Nachhaltigkeit“ ist ein Verbundprojekt des Karlsruher Instituts für Technologie, der Universität Stuttgart, der Technischen Universität München und der Bast als Projektpartner. Es werden für typische Straßen-Brückenbauwerke mit kleiner bis mittlerer Spannweite Kennwerte (Benchmarks) erarbeitet, die Planern und Bauherren als Entscheidungsunterstützung dienen. Gleichzeitig liefert der gewählte Bottom-Up-Ansatz wertvolle Hinweise auf wichtige Kriterien und Abschneidegrenzen, die zur „Eichung“ der von der Arbeitsgruppe Infrastruktur erarbeiteten

Ergebnisse verwendet werden können. Eine genaue Projektbeschreibung ist der Veröffentlichung [2] zu entnehmen.

In beiden Projekten wird mit einem Vorliegen von abschließenden Ergebnissen Ende des Jahres 2012 gerechnet.

### 3 Besonderheiten von Infrastrukturbauwerken gegenüber Hochbauten

Brücken stellen sowohl in Bezug auf die Beanspruchungen als auch auf die Bauteildimensionen eine eigene, spezifische Bauwerkskategorie dar. Sie sind wesentlicher Teil der Infrastruktur mit der vorrangig funktionalen Bedeutung, Verkehrsflüsse und Mobilität zu ermöglichen sowie regionale und globale Vernetzungen zu schaffen und zu erhalten. In Abhängigkeit der spezifischen Funktionsanforderung eines Brückenbauwerks muss im Rahmen einer Nachhaltigkeitsbewertung ein gegenüber dem Hochbau verändertes System entwickelt werden.

- Bei Infrastrukturbauwerken besteht kaum Mehrwert für eine Labelzertifizierung, die in der Regel bei Gebäuden stattfindet. Es steht *nicht* die Kommunikation mit potentiellen Mietern / Nutzern sowie die Erhöhung des Marktwertes im Vordergrund. Stattdessen sollte eine Zertifizierung für Infrastrukturbauwerke zur Verbesserung des Entwurfs durch Alternativenvergleiche und zur Stärkung des transdisziplinären Abstimmungsprozess der Baubeteiligten beitragen.
- Bei Infrastrukturen müssen als erstes die Funktions- bzw. Dienstleistung sichergestellt werden, da im Falle von Ausfällen und Störungen enorme externe Kosten entstehen.
- Standortunabhängigkeit: Im Hochbau wurde der Standort im deutschen System ausgeklammert, für Brücken ist eine ganzheitliche Bewertung bei der Vernachlässigung der Art der Einbindung in ein Verkehrsnetz nicht möglich. Aufgrund der jeweils unterschiedlichen Randbedingungen ist daher nur eine Optimierung für einen spezifischen Standort bzw. der Aufgabe eines Infrastrukturbauwerks im Netz möglich.
- Die Bedeutung der Einbindung in das Netzwerk wird vor allem bei der Untersuchung von Instandhaltungsmaßnahmen deutlich, wodurch Teile eines Netzes gestört werden. Daher muss ein besonderes Augenmerk auf die entstehenden externen Effekte gelegt werden, die in Abbildung 2 beispielhaft veranschaulicht werden.

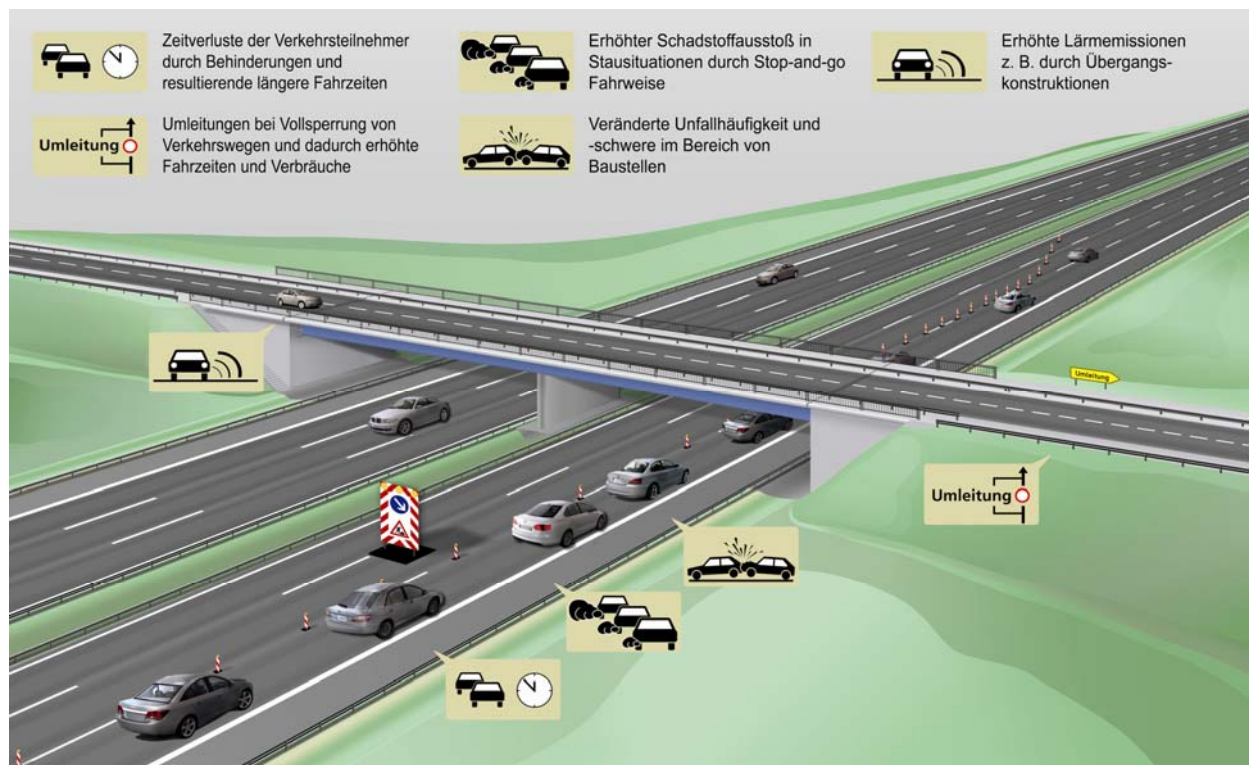


Abbildung 2: Arten von externen Effekten im Zuge von Instandhaltungsmaßnahmen an Brücken

Aufgrund der oben beschriebenen Besonderheiten ist es evtl. sinnvoll, bei Infrastrukturbauwerken nicht von einem Nachhaltigkeitsbewertungssystem, sondern von einem Entscheidungsunterstützungssystem für eine nachhaltige Entwicklung zu sprechen. Eine Diskussion von weiteren wichtigen Ansatzpunkten und Randbedingungen für die Bewertung ist in [3] zu finden.

#### 4 Zwischenergebnisse des Forschungsprojekts “Nachhaltigkeitsbewertung Brückenbauwerke”

Im Folgenden werden die oben beschriebenen, durch die Einbindung von Brücken in ein Straßennetz entstehenden, Effekte anhand zweier Beispielrechnungen quantifiziert. Hierdurch soll der Einfluss und die Bedeutung einzelner Aspekte verdeutlicht sowie Probleme bei der Bewertung aufgezeigt werden. Aufgrund des komplexen Sachverhalts und teilweise noch fehlender Bewertungshilfsmittel kann hier keine vollständige Nachhaltigkeitsbewertung durchgeführt, sondern es soll vielmehr ein möglicher Rahmen für eine ganzheitliche Bewertung aufgespannt werden.

Nicht in die Betrachtungen integriert werden Aspekte der technischen Qualität, da zu den Bereichen der Dauerhaftigkeit, Ermüdungsfestigkeit, Anpassbarkeit etc. sehr viele und tiefgehende Erkenntnisse vorliegen, die zum Teil in verbindliche Regelwerke aufgenommen wurden. Diese Aspekte müssen bei dem Entwurf eines Nachhaltigkeitsbewertungssystems in Form von Kriterien in die Gesamtbewertung einbezogen werden.

Des Weiteren werden hier ökologische Aspekte ausgeklammert. Das dargestellte Beispiel baut auf [4] auf, dort können auch weitere Details nachgelesen werden.

##### 4.1 Untersuchte Brückentypen

Die untersuchte Flussbrücke ist ein überregional bedeutendes Infrastrukturbauwerk, da sie im Zuge einer Bundesstraße zwei Oberzentren auf zwei Fahrstreifen verbindet. Eine Instandsetzung der bestehenden Brücke Stahlbeton war nicht mehr wirtschaftlich möglich. Die Ausführung des Ersatzbauwerkes an gleicher Stelle erfolgte in Verbundbauweise als Rahmenbauwerk mit 33 m langen gevouteten Längsträgern. Die Längsansicht des Bauwerks ist in Abbildung 3 oben dargestellt. Während des Baus wurde der Verkehr aufgrund der Bedeutung der Verbindung über eine Behelfsbrücke mit zwei Fahrstreifen geleitet.

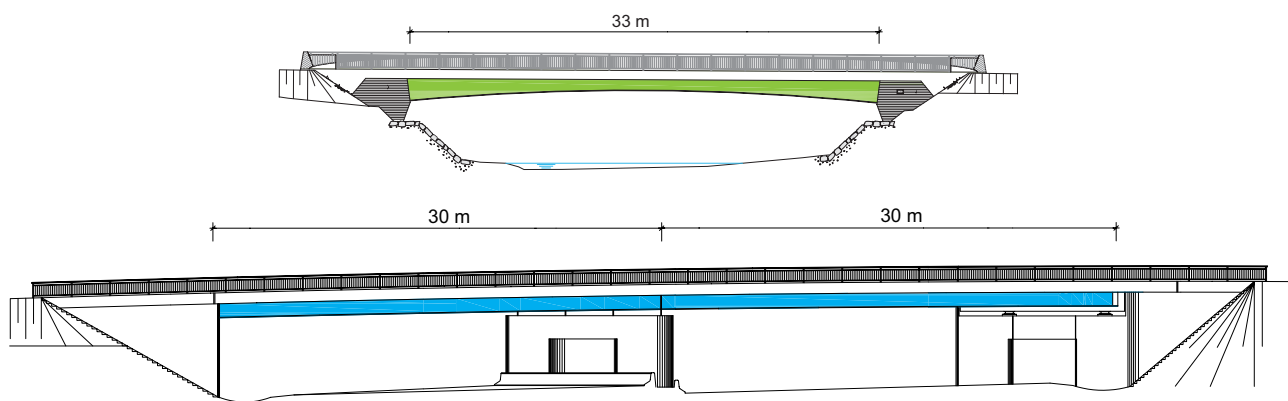


Abbildung 3: Längsansicht der Flussbrücke (oben) und der Überführung über eine Autobahn (unten)

Die zweite hier untersuchte Brücke ist ein Überführungsbauwerk einer Landstraße über eine sechsspurige Autobahn. Im Zuge des Ausbaus einer Autobahn von 4 auf 6 Spuren wurde das bestehende Bauwerk ersetzt. Die Straßen kreuzen sich in einem Winkel von etwa 45° und das Bauwerk mit einem Stahlverbund-Überbau ist als Zweifeldträger mit einem Mittelpfeiler sowie Spannweiten von jeweils 30 m ausgeführt.

## 4.2 Lebenszykluskosten

In Anlehnung an die ISO 15686-5 beziehen sich die nachfolgend berechneten Lebenszykluskosten ausschließlich auf das Bauwerk selbst, externe Effekte werden hier nicht miteinbezogen. Die Berechnung der Instandhaltungskosten erfolgt auf Grundlage der RI-WI-BRÜ Ausgabe 2004. Diese Richtlinie macht Vorgaben für die bauartenabhängigen Instandhaltungsaufwendungen sowie für die theoretischen Nutzungsdauern getrennt nach Unter- und Überbau. Aufgrund der kürzeren Nutzungsdauer des Überbaus wurde gemäß eine Erneuerung nach 70 Jahren angesetzt. Unter Verwendung eines Diskontierungssatzes von 3% ergeben sich die in Abbildung 4 dargestellten Kapitalwerte.

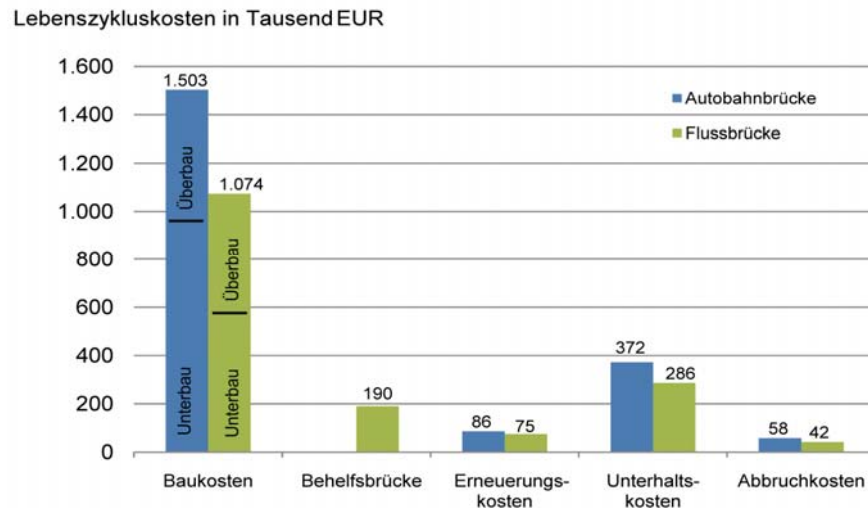


Abbildung 4: Kapitalisierte Lebenszykluskosten beider Brückenbauwerke

Bei dem Vergleich der Kostengruppen wird deutlich, dass der Unterbau des Überführungsbauwerks im Verhältnis deutlich teurer ist als derjenige der Flussbrücke. Dies ist u.a. mit zusätzlichem Aufwand durch den Mittelpfeiler zu begründen. Zudem fallen bei der Flussbrücke aufgrund der Notwendigkeit einer Behelfsbrücke zusätzliche Kosten an. Diese und die ökologischen Auswirkungen müssen aber den hierdurch vermiedenen Nutzerkosten und externen Kosten gegenübergestellt werden. Insgesamt wird deutlich, dass anders als im Hochbau, wo die Nutzungskosten dominieren, der Großteil der kapitalisierten Lebenszykluskosten den Herstellungskosten zugeschrieben werden muss. Ein Vergleich der jeweiligen Baukosten bezogen auf die Brückenfläche ergibt für die Autobahnüberführung einen ca. 25% niedrigeren Wert.

## 4.3 Externe Kosten

An den zwei gewählten Beispielbauwerken kann die Bedeutung und Auswirkung der unterschiedlichen Randbedingungen sehr gut veranschaulicht werden. Bei beiden Brücken erfolgen ein Rückbau des bestehenden Bauwerks und ein Neubau in der eingangs beschriebenen Bauweise. Die Verkehrsbeeinflussungen des Überführungsbauwerks äußern sich zum einen in der notwendigen Umfahrung der entfallenden Verbindung während der Bauzeit und zum anderen in der Verkehrsbehinderung der betroffenen Bundesautobahn. Bei der Flussbrücke entstanden durch eine halbseitige Sperrung nur zum Ende der Bauzeit Stauzeiten.

Die Anzahl der betroffenen Fahrzeuge, der tägliche Zeitverlust pro Fahrzeug, die prozentuale Verteilung Personen- und Lastkraftwagen sowie die verwendeten Monetarisierungsansätze sind in [4] zusammengestellt. Bei den zusätzlichen Betriebskosten für die Nutzer in Form erhöhten Treibstoffverbrauchs wird für die Umfahrung der Verbrauch bei flüssigem Verkehr und in der Stausituation auf der Autobahn der zusätzliche Verbrauch durch Stop+Go-Fahrweise gegenüber der unbehinderten Fahrweise angesetzt. Auf die Bewertung von Unfallkosten wird verzichtet, da es über die Auswirkung der Stausituation auf die Veränderung der externen Unfallkosten keine gesicherten Aussagen gibt.



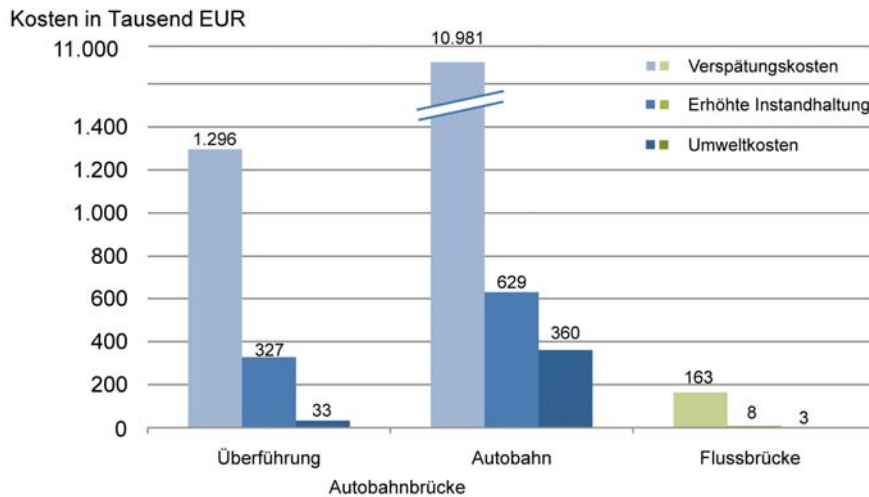


Abbildung 5: Auszug der in der Bauphase entstandenen externen Kosten

Bei der Berechnung der Nutzerkosten und externen Kosten zeigt sich, dass, wie in Abbildung 5 dargestellt, die Verspätungskosten den größten Kostenblock erzeugen. Insgesamt sind bei dem Überführungsbauwerk die für die Volkswirtschaft entstandenen Kosten während der Herstellung neun-Mal höher als die reinen Baukosten. Dieser Faktor ist allerdings vorsichtig zu bewerten, da abhängig von den verwendeten Eingangsparametern starke Schwankungen der ermittelten Kosten entstehen können. Die Sensitivität und Robustheit der hier verwendeten Bewertungsansätze muss noch durch entsprechende Untersuchungen verifiziert werden. Es zeigt sich aber tendenziell die überragende Bedeutung dieses Kriteriums bei der Nachhaltigkeitsbewertung.

Mit einem Verhältnis der externen Kosten zu Herstellkosten von 0,2 ergibt sich bei der Flussbrücke ein vollständig anderes Bild. Zum einen ist dies durch die unterschiedliche Verkehrssituation bedingt, zum anderen durch die vorhandene Behelfsbrücke während der Bauzeit. Es zeigt sich, dass die zusätzlichen Baukosten und ökologischen Auswirkungen der Behelfsbrücke zu einer deutlichen Verbesserung im Bereich der externen Effekte führen.

## 5 Dank

Die vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen des IGF-Vorhaben 353ZN „Ganzheitliche Bilanzierung von Stahl- und Verbundbrücken nach Kriterien der Nachhaltigkeit“ der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. (FOSTA) durchgeführt. Es wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Besonderer Dank gilt den beteiligten Partnern (namentlich in [2] genannt) der Universität Stuttgart, der TU München sowie der Bast für die hervorragende Zusammenarbeit.

## WEITERFÜHRENDE LITERATUR

- [1] Graubner, Carl-Alexander; Baumgärtner, Ulrich; Fischer, Oliver; Haardt, Peter; Knauff, Alexander; Putz, Alexander (2010): *Nachhaltigkeitsbewertung für die Verkehrsinfrastruktur*. In: Bauingenieur 85, S. 331–340.
- [2] Kuhlmann, Ulrike; Beck, Tabea; Fischer, Matthias; Friedrich, Heinz; Kaschner, Rolf; Maier, Philippa; Mensinger, Martin; Pfaffinger, Marjolaine; Sedlbauer, Klaus; Ummenhofer, Thomas; Zinke, Tim (2011): *Ganzheitliche Bewertung von Stahl- und Verbundbrücken nach Kriterien der Nachhaltigkeit*. In: Stahlbau 80 (10), S. 703–710.
- [3] Streit, Walter; Ummenhofer, Thomas; Zinke, Tim (2009): *Nachhaltige Bewertung von Brückenbauwerken – Auf die externen Kosten kommt es an*. In: greenbuilding (5), S. 46–51.
- [4] Zinke, Tim; Diel, Randolph; Mensinger, Martin; Ummenhofer, Thomas (2010): *Nachhaltigkeitsbewertung von Brückenbauwerken*. In: Stahlbau 79 (6), S. 448–455.