

## Tragstrukturen mit Lagern und Fahrbahnübergängen Die Differentialbauweise im Brückenbau

■ ■ ■ von Christian Braun

Der Natur als Lehrmeisterin folgend, führte die Evolution im Brückenbau zur funktionalen, das heißt differentialen Bauweise. Dabei entstanden durch die Vermeidung von Zwängungen an kritischen (Bauwerks-)Stellen langlebige und robuste Bauwerke. Dies wurde und wird mit modernen Lagern und Fahrbahnübergängen erreicht, die durch einfachen Einbau, große Lebensdauer und geringe Instandhaltungskosten wirtschaftlich und störungsarm sind. Umweltfreundliche, recyclebare Werkstoffe und der mühelose Austausch kleiner Einheiten tragen hier zur Nachhaltigkeit bei.

### 1 Einleitung

Im Brückenbau werden Bauweise und Ästhetik im Wesentlichen von der Funktion der Tragelemente geprägt. Aufgrund der technischen Herausforderungen des modernen Brückenbaus einerseits und der kosten- sowie umweltbezogenen Rahmenbedingungen andererseits gibt es eine kontinuierliche Selektion und Optimierung der verwendeten Produkte. Manche von ihnen haben funktional bedingte Nachteile, zum Beispiel eine begrenzte Lebensdauer. Verzichtbar sind sie aber nur, wenn die wirtschaftliche und ökologische Gesamtbilanz nicht negativ wird. Zielführender ist eine »Optimierung des Notwendigen«: Das Kniegelenk oder die Bandscheiben sind Problemzonen des menschlichen Körpers – als Körperteile jedoch Ergebnis und nicht Ursache der natürlichen Evolution. Dieser Artikel behandelt normale Brücken mit Lagern und Fahrbahnübergängen sowie die Möglichkeiten der Optimierung. Dafür wird der im Maschinenbau etablierte Begriff »Differentialbauweise« eingeführt.

### 2 Begriffe

#### 2.1 Differentialbauweise

Die Differentialbauweise ist definiert als optimale Nutzung von Werkstoffen und Bauteilen in Abhängigkeit von der jeweiligen Funktion. »Differential« kann somit auch als »funktional« oder »normal« bezeichnet werden. Bei der Unterscheidung zur Integralbauweise wird sie auf das Zulassen planmäßiger und zwängungs-freier Bewegung in Fugen reduziert.

#### 2.2 Integralbauweise

Als integrale Brücken werden rahmenartige Tragstrukturen ohne Lager und Fahrbahnübergänge mit einer Einbindung des Überbaus in das Widerlager oder den Pfeiler bezeichnet.

#### 3 Besonderheiten und Vorteile differentialer Brücken

Den äußeren und inneren Einwirkungen folgend, verformen sich Werkstoffe und Elemente. Bis zu einem gewissen Maß wird dies durch die Nachgiebigkeit der Bauteile oder durch Zwängungsbeanspruchungen aufgenommen. Werden aber Grenzwerte überschritten, entstehen Risse oder Ermüdungsschäden. Evolution bedeutet nun Zunahme vorteilhafter sowie Abnahme unvorteilhafter Merkmale. In der Natur führt die Evolution zum Abbau von Zwangsbeanspruchungen. Und das gilt auch im Brückenbau: Fahrbahnübergänge und Brückenlager ermöglichen Bewegungen und gewährleisten die Funktionalität des Bauwerks. Im Weiteren wird von differentialen Brücken gesprochen, wenn diese beiden Bauteile Verwendung finden.

Differentialer Brücken sind durch klare Schnittstellen zur Umgebung und innerhalb der Konstruktion gekennzeichnet. Das ergibt viele Vorteile:

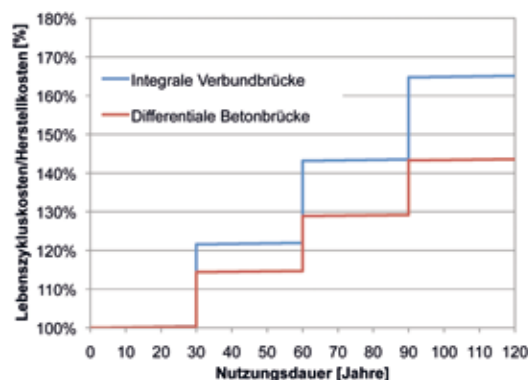
- für alle Bauwerksarten und Bauverfahren anwendbar,
- beliebige Kombination von Werkstoffen möglich,
- Gestaltungsfreiheit,
- modulare und Fertigteilmontage möglich,
- Trennung von Geotechnik und Tragwerksplanung,
- Unabhängigkeit von Baugrundunsicherheiten,
- Minimierung des Baugrund- und Systemrisikos für den Bauherrn,
- überschaubare Ingenieurleistungen unabhängig von der Verkehrskategorie,
- definierte Tragwerkssicherheit und statische Systeme,
- Kompensation der Zeitabhängigkeit von Werkstoff- und Bauteileigenschaften,

- Kompensation der Streuung von Werkstoffeigenschaften,
- Anpassung an veränderte Einwirkungen (Temperatur, Verkehr) möglich,
- Erdbebenisolation möglich,
- einfache Transportbedingungen,
- definierte Montagebedingungen (Einbautemperaturen, Kriech- und Schwindverläufe)
- gutes Versagensverhalten (Fail-Safe-Qualitäten), daher weniger Monitoring,
- einfache Zustandsbewertung und dadurch geringerer Inspektionsaufwand,
- Vermeidung von Rissen in der Tragkonstruktion und irreparablen Langzeitschäden,
- Vermeidung von Belagsschäden,
- einfache und planbare Erhaltungsmaßnahmen,
- partielle Reparaturen und Demontagen möglich,
- Vorteile beim Recycling.

#### 4 Wirtschaftlichkeit differentialer Brücken

##### 4.1 Allgemeines

In Veröffentlichungen zur Integralbauweise wird auf die hohen Kosten aus Wartung und Instandhaltung von Brückenlagern und Fahrbahnübergängen verwiesen, zum Beispiel: »Verbundbrücken mit integrierten Widerlagern (...) erweisen sich günstiger im Bau und Unterhalt, da Lager und Fugen, welche einen großen Anteil an den Gesamtwartungskosten des Bauwerks ausmachen, fehlen.« [1]



1 Kostenvergleich: Rahmenbrücke in Verbundbauweise und Zweifeld-Betonbrücke © Aus [2] [3]

Eine im Rahmen eines Forschungsprojekts zur Förderung von Verbundtragwerken [2] an einem Musterbauwerk durchgeführte Untersuchung zeigt genau das Gegenteil, wie auch nachfolgendes Bild veranschaulicht: Die Betonbrücke ist wegen des zusätzlichen Flusspfeilers in der Herstellung um ca. 50 % teurer als die Verbundbrücke. Die alle 30 Jahre erforderlichen Instandsetzungsarbeiten an Korrosionsschutz und Kappen sind der maßgebliche Teil der Wartungskosten. Obwohl für den einprofiligen Fahrbahnübergang eine zu geringe Lebensdauer von 20 Jahren und eine Dichtprofilauswechslung alle 10 Jahre angenommen wurden, haben der Fahrbahnübergang und die sechs Lager keinen spürbaren Einfluss auf die Gesamtkosten (Errichtung und Erhaltung) der Betonbrücke. In der Untersuchung unberücksichtigt blieben leider die für die Instandhaltungskosten dominanten Belagsarbeiten.

Die Instandhaltung kostet innerhalb der planmäßigen Lebensdauer von 100 Jahren in etwa so viel wie die Herstellung der kompletten Brücke. 10 % hiervon werden den Lagern und Fugen zugeordnet, deren Anschaffung hingegen lediglich 3 % ausmacht. [4] Mit ca. 70 % fallen die meisten Ertüchtigungskosten für Belags- und Betonarbeiten sowie den Korrosionsschutz an.

Brückenlager und Fahrbahnübergänge sind erhöhten Beanspruchungen ausgesetzt. Es sind daher ausschließlich solche zu verwenden, die entweder funktional den Einwirkungen über die geplante Nutzungsdauer der Brücke widerstehen (Brückenlager) oder nur im Rahmen der planmäßigen Erhaltungsmaßnahmen am Bauwerk (Fahrbahnübergänge) ausgetauscht werden müssen. So sind Wartungs- und Erneuerungskosten für diese Bauprodukte relativ niedrig.

#### 4.2 Brückenlager

Im Brückenbau werden im Allgemeinen bewehrte Elastomerlager oder Punktkipp-Gleitlager eingesetzt. [5] Nach DIN EN 1990:2002, Tabelle 2.1 wird für Brückenlager eine geplante Nutzungsdauer von 10–25 Jahren festgelegt. Eine derartige Einschränkung ist bei modernen Brückenlagern weder notwendig noch zielführend. Bestätigt wird dies auch durch Auswertungen der Brückenhauptprüfungen der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): Die meisten Beanstandungen resultieren aus Korrosion der Stahlteile oder Oberflächenrissen an Elastomerlagern, Kalottenlager weisen die wenigsten Beanstandungen auf. [6]

Die Lebensdauer bewehrter Elastomerlager ist durch die Alterung infolge von Umwelteinflüssen und Werkstoffermüdung gekennzeichnet. Bei Brücken kleinerer und mittlerer Spannweiten, für die die Integralbauweise empfohlen wird, spielt die Materialermüdung keine Rolle. Die Verwendung von Chloropren-Kautschuk sichert zudem eine ausreichende Umweltverträglichkeit. Anfällig für Korrosion und Verschleiß sind Festhaltekonstruktionen und Führungslager, wenn in den Kontaktflächen keine Gleitpaarung sondern die Paarung Stahl-Stahl zum Einsatz kommt.



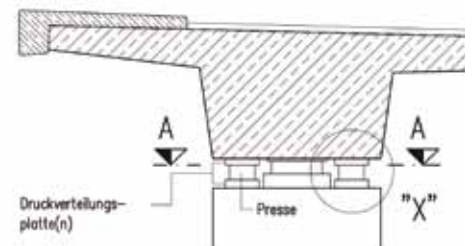
2 MSM®-Kalottenlager mit Kalotte aus Gleitlegierung MSA®  
© Maurer Söhne GmbH & Co. KG

Bei Punktkipp-Gleitlagern beeinflusst der Verschleiß der Gleit- und Kippteile die Lebensdauer. Gleitelemente aus PTFE nach DIN EN 1337-2 oder Dichtungen von Topflagern nach DIN EN 1337-5 sind in ihren aufnehmbaren Gleitwegen begrenzt. Kalottenlager mit besonderem Gleitwerkstoff [7] erreichen hingegen bei Brücken kleiner und mittlerer Spannweite die Lebensdauer des Tragwerks. Auch für das Kippelement (Kalotte) gibt es mit MSA® neuerdings eine spezielle metallische Gleitlegierung als korrosionsbeständige Alternative. Bis auf Korrosionsschutzarbeiten an den Außenflächen,

die sich im Rahmen der allgemeinen Instandhaltung durchführen lassen, sind somit keine Ertüchtigungsvorkehrungen erforderlich. Wartungsmaßnahmen entfallen generell und Inspektionen können im Zuge der Hauptprüfungen des Bauwerks erfolgen.

Bei Anschaffungssummen von 1–2 % der Bauwerkskosten und noch niedrigeren Instandsetzungspreisen für den Korrosionsschutz liefern moderne Brückenlager keinen Grund für eine Abwendung von der differentialen Bauweise – im Gegenteil: Die integrale Bauweise nur zum Verzicht auf Brückenlager ist unwirtschaftlich und in der Aufwandsabschätzung unsicher.

Für den eventuellen Austausch der Brückenlager werden an den Unterbauten in der Regel stationäre Pressenansatzpunkte angeordnet. Diese sind häufig gestalterisch unerwünscht und erzeugen überdies Kosten infolge vergrößerter Pfeilerabmessungen. Bei Lagern, die nur in Ausnahmefällen auszutauschen sind, wäre das Vorsehen von Stützpunkten oder Anschlusskonstruktionen für temporäre Pressenansatzpunkte wesentlich wirtschaftlicher und ästhetischer, wie die beiden nachstehenden Bilder veranschaulichen.



3 Pressenanordnung auf Unterbauten;  
Richtzeichnung Lag 6, 2009  
© Bundesanstalt für Straßenwesen



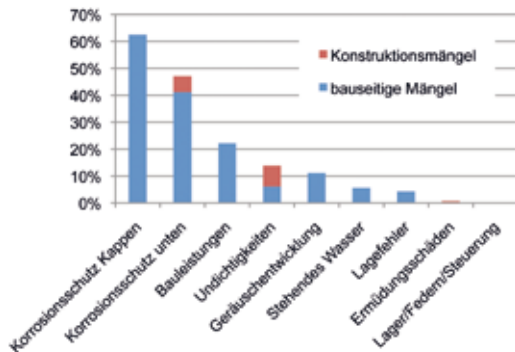
4 Hochbrücke Freimann an der BAB A 9;  
temporäre Stützen für die Lagermontage  
© Maurer Söhne GmbH & Co. KG

## 4.3 Fahrbahnübergänge

Fahrbahnübergänge haben Brückenbewegungen aufzunehmen und werden wie der Fahrbahnbelag beansprucht. Sie zählen zu den höchstbeanspruchten Bauteilen einer Tragstruktur: Sie ermüden und verschleifen und haben eine im Vergleich zum Brückenbauwerk begrenzte Lebensdauer. Für Fahrbahnübergänge in Deutschland ist eine Dauerstandfestigkeit von mindestens 40 Jahren nachzuweisen, für leicht und ohne wesentliche Verkehrsbehinderung auswechselbare Elemente 20 Jahre (TL/TP FÜ).

Für Bewegungen über 25 mm werden in Deutschland in der Regel wasserdichte Fahrbahnübergänge in Lamellenbauweise vorgesehen, die folgende wesentliche Mängel zeigen können:

- Ermüdungsschäden an der Stahlkonstruktion,
- Fehlfunktion der Lagerungs- und Steuerungselemente,
- überhöhte Lärmentwicklung,
- Undichtigkeiten,
- Korrosion.



5 Mängel an mehrprofiligen Maurer-Dehnfugen an südbayerischen Autobahnen © Aus [8]

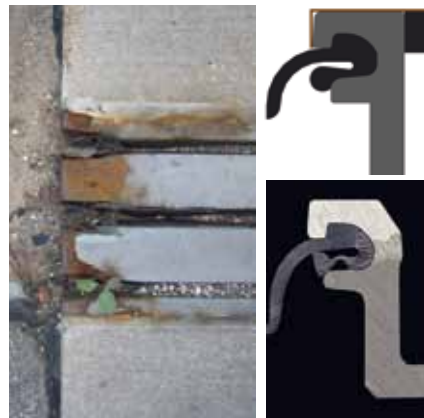
Bei den seit 1994 nach den TL/TP FÜ bemessenen Fahrbahnübergängen wurden bisher nahezu keine Ermüdungsschäden beobachtet, auch die Lagerungs- und Steuerungselemente konnten dahingehend optimiert werden. Und seit mehr als zehn Jahren sind mit Erfolg wellenförmige Abdeckungen zur Geräuschminderung im Einsatz. Mängel betreffen heute Undichtigkeiten und Korrosion. Eine mit der Autobahndirektion Südbayern durchgeführte Untersuchung an mehrprofiligen Maurer-Dehnfugen anhand der Ergebnisse aller Hauptprüfungen der letzten 15 Jahre und entsprechender Überprüfungen vor Ort ergab die hier im Bild dargestellte Mängelverteilung bezogen auf die Anzahl von Konstruktionen.



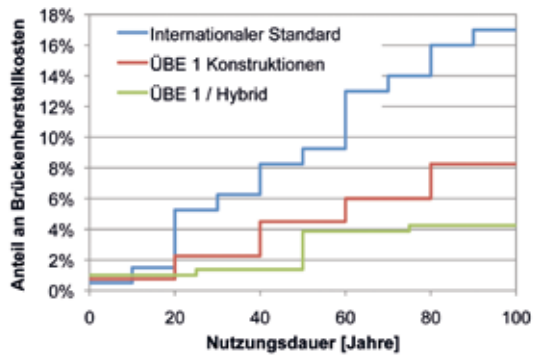
6 7 Ausgerundete Profilführung an Schrammbord und Dichtprofilentwässerung © Maurer Söhne GmbH & Co. KG

Über 60 % der betrachteten Fahrbahnübergänge wurden nicht ausreichend gewartet. Jeweils die Hälfte der Undichtigkeiten resultieren aus mechanischer Beschädigung im Betrieb oder Ausführungsmängeln insbesondere an den Schrammborden am Tiefpunkt und den Baustellenstößen. Baustellenstöße sind daher in ihrer Umsetzung und Qualitätssicherung zu verbessern, zur Vermeidung von Schäden am Schrammbord wird zudem eine geänderte Profilführung oder Entwässerung empfohlen. Das würde auch die Korrosion an der Unterseite der Konstruktionen reduzie-

ren. Korrosion an der Kappenoberseite ist hauptsächlich auf den Betrieb durch Anfahrschäden an den Schrammborden und auf mechanische Beschädigungen der Randprofile beim Schneiden der Fugen an den Betonkappen zurückzuführen. Letztere ist heute die häufigste Schadensursache, sie ließe sich durch temporäre Schutzabdeckungen oder sorgfältigeres Arbeiten vermeiden – oder aber durch den Einsatz sogenannter Hybridprofile mit Edelstahlkopf. Fahrbahnübergänge haben in der Erstan-schaffung einen Preis von ca. 10–15 €/m<sup>2</sup> Brückenfläche, das sind ca. 0,50–1,00 % der Baukosten. Ihre Auswechslung im Rahmen einer Generalinstandsetzung der Fahrbahn kostet das Dreifache, im Zuge einer eigenen Maßnahme wegen der dominanten Verkehrsführungs- und Baustelleneinrichtungsaufwendungen sogar das Fünf- bis Sechsfache. Die Auswechslung der Dichtprofile vor Ort verursacht ungefähr die Hälfte der Anschaffungskosten, inklusive der gleichzeitigen Instandsetzung des Korrosionsschutzes das Doppelte. Es ist daher naheliegend, durch konstruktive Vorkehrungen die Intervalle zu strecken und die erforderlichen Arbeiten sowie die Verkehrsbeeinträchtigungen zu minimieren. An Brücken kleiner und mittlerer Spannweite kommen in Deutschland hauptsächlich einprofilige Konstruktionen nach Richtzeichnung ÜBE 1 zur Ausführung. Deren Investitions- und Instandhaltungskosten, bezogen auf die Herstellkosten des Bauwerks, werden in [9] verglichen mit am Weltmarkt handelsüblichen Konstruktionen (Lebensdauer maximal 20 Jahre) und neuartigen Edelstahl-Hybridprofilen.



8 9 10 Korrosionsschäden an Gehwegen, temporäre Abdeckung und Hybridprofil © Maurer Söhne GmbH & Co. KG



11 Anschaffungs- und Instandhaltungskosten von Fahrbahnübergängen  
© Aus [9]

Es zeigt sich, dass die Anschaffungskosten eines Fahrbahnübergangs den Gesamterhaltungskosten untergeordnet sind: Eine Halbierung der Einstandskosten kann die Gesamtkosten vervierfachen. Unberücksichtigt bleiben hierbei Bauwerksschäden und volkswirtschaftliche Schäden durch Verkehrsbeeinträchtigung.

Die integrale Bauweise wird auch zur Vermeidung von mehrprofiligen Fahrbahnübergängen in Lamellenbauweise mit erforderlichem Wartungsgang favorisiert: Durch neuartige Fahrbahnübergänge in Wellenbauweise lässt sich jedoch ohne Zunahme an Wartungsarbeiten und mit Nutzung der lärmindernden Wirkung der Einsatzbereich einprofiliger Dehnfugen bis auf eine Bewegung von 95 mm anheben.

## 5 Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit im Brückenbau erfordert eine qualitativ hochwertige, wirtschaftliche und ökologische Bauweise. Die vorgenannten ökonomischen Aspekte führen durch die Anhebung der Lebensdauer der Produkte und damit die Vermeidung bzw. Verkürzung von Baumaßnahmen auch zu volkswirtschaftlichen Vorteilen infolge der Verringerung von Verkehrsbehinderungen. Dadurch wird zugleich die direkte Umweltbelastung reduziert. [9] Differentiale Brücken sind infolge der einfacheren Bauverfahren weniger umweltbelastend. Funktional getrennte Bauteile lassen sich einfach warten, demontieren und in kleinen Einheiten austauschen und entsorgen. Kalottenlager mit besonderem Gleitwerkstoff nach 4.2 bestehen lediglich aus Stahl und UHMWPE. Dieser Gleitwerkstoff ist chemisch beständig, umweltverträglich und im Unterschied zu PTFE oder Elastomeren schadstofffrei entsorg- oder recyclebar. Die reduzierten Abmessungen

solcher Lager im Vergleich zu anderen Bauarten oder Betongelenken bedeuten darüber hinaus geringere Umweltbelastungen bei Herstellung, Transport und Entsorgung.

Durch Optimierung der Einzelbauteile kann die Versagenswahrscheinlichkeit minimiert werden. Demzufolge gelten differentiale Bauwerke grundsätzlich als wesentlich ressourcenschonender als Integralbauwerke.



12 Wellenförmiger Fahrbahnübergang mit einem Dichtprofil  
© Maurer Söhne GmbH & Co. KG

## 6 Zusammenfassung

Differentiale Brücken sind bei entsprechender Dauerhaftigkeit von Lagern und Fahrbahnübergängen wirtschaftlich und nachhaltig. Moderne Lager bedürfen nahezu keiner Wartung während der Nutzungsdauer einer Brücke. Fahrbahnübergänge lassen sich so auslegen, dass sie nur während genereller Instandsetzungsmaßnahmen planmäßig ausgetauscht werden müssen. Anschaffungs- und Instandhaltungskosten für beide Bauprodukte gemeinsam können bei entsprechender Qualität bei ca. 6 % der Anschaffungskosten des Bauwerks liegen. Hierzu sind in geringem Maße erhöhte Investitionskosten notwendig bzw. gerechtfertigt.

**Autor:**  
Dr.-Ing. Christian Braun  
Geschäftsführer  
Maurer Söhne GmbH & Co. KG,  
München

## Literatur

- [1] Feldmann, M.; Pak, D.: Zu Verbundbrücken mit integralen Widerlagern; in: Stahlbau 78, 2009.
- [2] RWTH Aachen et al.: Economic and durable design of composite bridges with integral abutments. Final report, INTAB Research Project RFSR-CT-2005-00041, 2010.
- [3] Gervasio, H. et al.: Comparative analysis of an integral abutment composite bridge and a concrete bridge with expansion joints; in: 7th International Conference on Steel Bridges in Guimaraes, Portugal, 2010.
- [4] Berger, D. et al.: Entwurfshilfen für integrale Straßenbrücken. Heft 50 der Schriftenreihe der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung, 2004.
- [5] Braun, C.; Bergmeister, K.: Brückenausstattung; in: Betonkalender 2004.
- [6] Holst, R.: Nutzungsdauermodelle für Lager, Grundlagen für das Bauwerk-Management-System (BMS). Unveröffentlichtes Sitzungsdokument N0879 des DIN-NA 005-57-02 AA »Lager im Bauwesen«, 2010.
- [7] Braun, C.; Hoppe, I.; Roos, R.: New High Performance Sliding Material for Structural Bearings; in: 6th World Congress on Joints, Bearings and Seismic Systems for Concrete Structures, Halifax, Canada, 2006.
- [8] Autobahndirektion Südbayern, Maurer Söhne GmbH & Co. KG: Auswertung der Mängelanzeigen an Maurer-Dehnfugen im Bereich der südbayerischen Autobahnen. Unveröffentlichte Studie, 2009.
- [9] Fischer, O. et al.: The Real Price. Holistic Cost-Efficiency Considerations in Design and Construction of Infrastructure Projects; in: IABSE-Konferenz, Venedig, Italien, 2010.