



Integrale Brücken

Entwurf, Berechnung, Ausführung, Monitoring

Roman Geier
Volkhard Angelmaier
Carl-Alexander Graubner
Jaroslav Kohoutek

Roman Geier
Volkhard Angelmaier
Carl-Alexander Graubner
Jaroslav Kohoutek

Integrale Brücken

Integrale Brücken

Entwurf, Berechnung, Ausführung, Monitoring

Roman Geier

Volkhard Angelmaier

Carl-Alexander Graubner

Jaroslav Kohoutek

Roman Geier
Schimetta Consult ZT GmbH
Wien
Österreich

Volkhard Angelmaier
LAP Consult
Stuttgart
Deutschland

Carl-Alexander Graubner
König und Heunisch
Planungsgesellschaft
Frankfurt
Deutschland

Jaroslav Kohoutek
Pfinztal
Deutschland

Titelbild: Murrthalbrücke (Foto: Reinhard Mederer)

Wenn nicht anders angegeben, stammen die Rechte aller Fotos und aller Zeichnungen von den Autoren.

Alle Bücher von Ernst & Sohn werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

© 2017 Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers. Registered names, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

Umschlaggestaltung: Sonja Frank, Berlin

Herstellung: pp030 – Produktionsbüro Heike Praetor, Berlin

Satz: Reemers Publishing Services GmbH, Krefeld

Druck und Bindung:

Print ISBN: 978-3-433-03030-1

ePDF ISBN: 978-3-433-60646-9

ePub ISBN: 978-3-433-60647-6

eMobi ISBN: 978-3-433-60645-2

oBook ISBN: 978-3-433-60644-5

Vorwort

Seit etwa 15 Jahren sind in der D-A-CH-Region (Deutschland – Österreich – Schweiz) Rahmenbauwerke – sogenannte integrale Brücken – stärker in den Fokus von Bauherren, Planern, Prüfern und ausführenden Firmen gerückt. Folglich waren in den Normungs- und Fachausschüssen der einzelnen Länder vermehrte Aktivitäten zu verzeichnen, um für die integrale Bauweise abgesicherte Grundlagen und Regelwerke zur Verfügung stellen zu können, welche zu einer weiteren Verbreitung und Anwendung dieses Brückentyps führen sollten.

Im Zuge des internationalen Austausches dieser Arbeitsausschüsse zwischen Deutschland, Österreich und der Schweiz hat sich im Jahr 2011 auf Anregung des Verlags Ernst & Sohn eine internationale Gruppe von Ingenieuren formiert. Die Gemeinsamkeit dieser Personen bestand neben maßgebenden Rollen in den jeweiligen nationalen Arbeitsausschüssen darin, dass in ihrem beruflichen Wirken der integralen Bauweise sehr viel Aufmerksamkeit geschenkt wurde, da sie in der Bauweise großes Zukunftspotenzial erkennen konnten. Ziel der Verfasser war es daher, den integralen Brücken ein eigenes Fachbuch zu widmen, mit dem die bisher vorliegenden Erfahrungswerte zusammenfassend für die Ingenieurgemeinschaft aufbereitet werden sollten.

In der Konzeptphase des vorliegenden Buches war auch Prof. Dr.-Ing. Michael Pötzl Teil der Gruppe, der sich bereits in den 1990er-Jahren intensiv mit diesem Brückentyp befasste und zahlreiche, heute gebräuchliche Grundlagen erforschte und Denkansätze publizierte. Leider ist er kurz vor Fertigstellung dieses Buches im Juni 2016 unerwartet verstorben. Die integrale Bauweise hat dadurch einen sehr starken Fürsprecher verloren.

Gerade die integrale Bauweise bietet eine Vielzahl von Ansätzen, Gestaltung und Funktion in Einklang zu bringen und der Nachwelt außergewöhnliche und dauerhafte Bauwerke zu hinterlassen. Dieses Buch soll daher den praktizierenden Ingenieuren einen Denkanstoß bieten, um künftig innovative, dauerhafte und ästhetisch ansprechende Bauwerke zu entwerfen.

Wien, im Januar 2017

Dr.-Ing. Roman Geier

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Vorwort | V |
| 1 Einführung | 1 |
| 2 Grundlagen | 7 |
| 2.1 Begriffe und Definitionen | 7 |
| 2.2 Vorteile integraler Brücken | 13 |
| 2.2.1 Vorteile für den Entwurfsprozess | 13 |
| 2.2.2 Vorteile im Zuge der Errichtung der Tragwerke | 15 |
| 2.2.3 Vorteile für Nutzer und Anrainer | 15 |
| 2.2.4 Vorteile für die Bauwerkserhaltung | 16 |
| 2.3 Impulse aus dem Unterhalt | 16 |
| 2.4 Herausforderungen bei integralen Brücken | 23 |
| 2.5 Nachhaltigkeit integraler Brücken | 25 |
| 2.5.1 Bedeutung der Nachhaltigkeitsbeurteilung | 25 |
| 2.5.2 Nachhaltigkeitsbeurteilung von Brücken | 28 |
| 2.5.3 Nachhaltigkeitsmerkmale integraler Brücken | 30 |
| 3 Gestaltung | 33 |
| 3.1 Mehrfeldrige Rahmenbrücken | 33 |
| 3.2 Einfeldrahmen | 41 |
| 3.3 Sprengwerke und sprengwerkartige Bögen | 49 |
| 3.4 Hybride Konstruktionen | 53 |
| 4 Entwurf | 57 |
| 4.1 Allgemeines | 57 |
| 4.2 Bauwerk-Baugrund-Interaktion | 59 |
| 4.3 Gründung und Unterbau | 63 |
| 4.4 Überbau | 67 |
| 4.4.1 Krümmung im Grund- und Aufriss | 67 |
| 4.4.2 Vorspannung | 71 |
| 4.4.3 Optimierte Stützweiten der Randfelder | 72 |
| 4.4.4 Integrale Verbundbrücken | 73 |
| 4.4.5 Integrale Fertigteilbrücken | 74 |
| 4.5 Parameterstudie – Einflussgrößen auf den Entwurf | 74 |
| 4.5.1 Darstellung des Systems | 74 |
| 4.5.2 Beschreibung des Modells | 76 |
| 4.5.3 Ergebnisse | 77 |
| 4.6 Entwurf am Beispiel eines integralen Bogentragwerks | 83 |
| 4.6.1 Ausgangslage | 83 |
| 4.6.2 Wahl des Tragsystems | 84 |
| 4.6.3 Interaktion Gleis – Tragwerk | 87 |
| 4.6.4 Konzeption des integralen Bogentragwerks | 88 |
| 4.6.5 Bauwerk-Baugrund-Interaktion | 90 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.6.6 | Statische Berechnung | 92 |
| 4.6.7 | Reales Systemverhalten | 96 |
| 5 | Berechnung und Bemessung | 99 |
| 5.1 | Ständige Einwirkungen | 99 |
| 5.1.1 | Eigengewicht und Ausbaulasten | 99 |
| 5.1.2 | Vorspannung | 99 |
| 5.1.3 | Baugrundsetzungen | 99 |
| 5.2 | Veränderliche Einwirkungen | 100 |
| 5.2.1 | Temperatur | 100 |
| 5.2.2 | Schwinden | 105 |
| 5.2.3 | Kriechen | 109 |
| 5.2.4 | Erddruck | 111 |
| 5.2.5 | Straßenverkehr | 115 |
| 5.2.6 | Eisenbahnverkehr bzw. Normalspurbahnverkehr | 117 |
| 5.2.7 | Fußgänger- und Radverkehre | 121 |
| 5.2.8 | Wind | 122 |
| 5.2.9 | Schnee | 122 |
| 5.3 | Idealisierung der Struktur | 122 |
| 5.4 | Modellierung des Baugrunds | 123 |
| 5.4.1 | Allgemeines | 123 |
| 5.4.2 | Flach gegründete Brücken | 125 |
| 5.4.3 | Tief gegründete Brücken | 129 |
| 5.5 | Schnittgrößenermittlung | 134 |
| 5.6 | Grundlagen der Bemessung | 136 |
| 5.6.1 | Nachweiskonzept bei linear-elastischer Tragwerksanalyse | 136 |
| 5.6.2 | Geotechnische Kategorien und Schwierigkeitsklassen | 142 |
| 5.6.3 | Nichtlineare Berechnung | 146 |
| 6 | Konstruktive Durchbildung | 149 |
| 6.1 | Deutschland | 150 |
| 6.1.1 | Ausführung des Brückenendes | 150 |
| 6.1.2 | Hinweise für besondere Bauteile | 151 |
| 6.1.3 | Ausführung von Schleppplatten | 153 |
| 6.2 | Österreich | 154 |
| 6.2.1 | Ausführung des Brückenendes | 154 |
| 6.2.2 | Hinweise für besondere Bauteile | 156 |
| 6.2.3 | Ausführung von Schleppplatten | 157 |
| 6.3 | Schweiz | 158 |
| 6.3.1 | Ausführung des Brückenendes | 158 |
| 6.3.2 | Hinweise für besondere Bauteile | 160 |
| 6.3.3 | Ausführung von Schleppplatten | 161 |
| 6.4 | Angloamerikanischer Raum | 162 |
| 6.5 | Sonderkonstruktionen | 165 |
| 6.5.1 | Fahrbahnübergang aus Betonelementen | 165 |
| 6.5.2 | Schleppplatte aus bewehrtem Gummibeton | 167 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 7 | Ausführung, Bauüberwachung und Monitoring | 169 |
| 7.1 | Bauausführung | 169 |
| 7.1.1 | Einfluss des Bauverfahrens | 169 |
| 7.1.2 | Einfluss der Herstellungstechnologie | 178 |
| 7.2 | Baubegleitung und -überwachung | 185 |
| 7.2.1 | Ausschreibungen und Vergabe | 185 |
| 7.2.2 | Arbeitsanweisungen | 185 |
| 7.3 | Bauwerkserhaltung | 186 |
| 7.4 | Monitoring bei integralen Brücken | 187 |
| 7.4.1 | Beispiel Seitenhafenbrücke | 188 |
| 7.4.2 | Beispiel Oberwarter Brücke | 203 |
| 7.4.3 | Rampenbauwerk B2309 | 210 |
| 8 | Umrüstung bestehender Brücken – Ausblick und Chancen | 215 |
| 8.1 | Kleine Tragwerkslängen | 216 |
| 8.1.1 | Keine Änderung des statischen Systems – Fugenverguss | 216 |
| 8.1.2 | Keine Änderung des statischen Systems – Umbau Widerlager | 218 |
| 8.1.3 | Aktivierung einer Rahmenwirkung | 219 |
| 8.2 | Große Tragwerkslängen – Isola-della-Scala-Brücke | 223 |
| 8.2.1 | Ausgangssituation | 223 |
| 8.2.2 | Finite-Elemente-Berechnungen | 224 |
| 8.2.3 | Bauherstellung | 230 |
| | Literaturverzeichnis | 235 |
| | Stichwortverzeichnis | 243 |

1 Einführung

Die Entwicklung im Brückenbau hat durch den Einsatz neuer Berechnungs- und Bauverfahren sowie neuer Werkstoffe zu architektonisch ansprechenden Bauwerken geführt, die durch schlankere und leichtere Konstruktionen sowie größere Stützweiten gekennzeichnet sind. Dieser Fortschritt ist für alle Betrachter eindeutig erkennbar. Andere Innovationen finden hingegen häufig im Verborgenen statt, beeinflussen die Technologie des Brückenbaus jedoch ebenso entscheidend.

Eine solche Innovation ist beispielsweise die Weiterentwicklung der integralen Bauweise im Brückenbau, welche auf Fugen zwischen Überbau und Unterbauten verzichtet. Im deutschen Sprachgebrauch wurden derartige Bauwerke ursprünglich als Rahmentragwerke bezeichnet. Bei kurzen Brückenlängen stoßen solche Systeme auf sehr große Akzeptanz und finden verbreitete Anwendung, da ausreichende Erfahrungswerte aus Planung, Ausführung und Erhaltung vorliegen. Größere Tragwerkslängen werden hingegen immer noch eher in Einzelfällen ausgeführt.

Die Bezeichnung „integrale Brücken“ anstelle von Rahmenbrücken wurde mit der vermehrten Anwendung dieses Brückentyps und dem Einsatz bei größeren Tragwerkslängen aus der englischen Bezeichnung „integral bridges“ in den deutschen Sprachgebrauch übernommen. Wörtlich übersetzt ist darunter unter anderem „aus einem Stück“ bzw. „fest eingebaut“ zu verstehen. Der Ursprung dieser Bezeichnung stammt aus dem Lateinischen und ist auf das Adjektiv „integralis“ mit der Bedeutung „lückenlos, komplett, vollständig“ und das Verb „tangere“ mit der Bedeutung „sich berühren“ zurückzuführen. Bei integralen Brücken bilden Unterbau und Überbau eine monolithische Einheit – sie berühren sich also lückenlos.

Integrale Brücken sind im letzten Jahrzehnt auf stetig wachsendes Interesse seitens der Bauwerkseigner gestoßen. Durch die Berücksichtigung der Lebenszykluskosten als wesentliches Entscheidungskriterium beim Entwurf eines Bauwerks müssen neben den Errichtungskosten insbesondere die Aufwände für die Instandhaltung, also für Wartung, Prüfung und Instandsetzungen, berücksichtigt werden. Erfahrungswerte der für die Bauwerkserhaltung zuständigen Fachleute zeigen, dass über den Lebenszyklus von 80 bis 100 Jahren für die laufende Instandhaltung mindestens die Herstellungskosten anfallen, d. h. diese in einer jährlichen Größenordnung von rund 1 bis 2 % der Herstellkosten liegen. Eine Verringerung dieser Ausgaben über die Lebenszeit hat daher eine sehr hohe Priorität. Ein großer Teil dieser Kosten ist auf Fugen bzw. auf Folgeschäden von über Fugen in das Bauwerk eindringendes Wasser zurückzuführen. Lager selbst sind zwar nicht so häufig die primäre Ursache für hohe Instandsetzungskosten, jedoch erfordern diese Bauteile bei Wartung und regelmäßiger Prüfung entsprechende Aufmerksamkeit und Sorgfalt, um die Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit und Tragfähigkeit über die Nutzungsdauer gewährleisten zu können.

Das grundlegende Prinzip der integralen Bauweise im Brückenbau ist nicht neu, sondern kann auf eine lange Geschichte verweisen. Auch die Natur hat Bauwerke hervorgebracht, die als Vorbild moderner Konstruktionen gelten und über die Bionik gezielt herangezogen werden könnten, um Phänomene der Natur auf unsere Bauwerke zu übertragen. In diesem Zusammenhang ist beispielsweise der Landscape Arch im

Arches National Park (Nevada, USA) anzuführen (Bild 1.1). Es handelt sich dabei um eine monolithische Struktur mit einer Stützweite von 93 m und im Aufriss leichter, bogenförmiger Krümmung. Betrachtet man diesen Steinbogen als ein von der Natur geschaffenes Bauwerk, so wirkt dieses ausgewogen und sehr ästhetisch.



Bild 1.1 Landscape Arch mit einer Stützweite von 93 m

Natürlich kann man dieses Steinbauwerk nicht mit unseren modernen Brückenbauten vergleichen, dennoch sind einige Aspekte auch auf unsere Entwürfe übertragbar. Ein in Feldmitte schlanker Überbau mit geringem Eigengewicht, dessen „Bauhöhe“ in Richtung der Einspannung zunimmt. Bei unseren Tragwerken wird dies im Rahmeneck durch Vouten ebenfalls so realisiert. Im Aufriss weist das Tragwerk eine leichte Krümmung auf und kann so – in Kombination mit dem schlanken Überbau – Längenänderungen aufgrund von Temperaturschwankungen durch Anheben und Absenken des Überbaus zwängungsarm kompensieren.

Weitere Anleihen sind bei römischen Bauwerken der Antike möglich, die inzwischen ein Alter von mehr als 2000 Jahren aufweisen und teilweise immer noch voll funktionstüchtig sind bzw. sogar noch unter ständiger Nutzung stehen. Ausgeführte Bauwerke wie beispielsweise das Aquädukt von Segovia mit einer Länge von 813 m (Bild 1.2) oder zahlreiche andere noch bestehende Konstruktionen, die ohne Brückenlager und Fahrbahnübergangskonstruktionen auskommen, sind eindrucksvolle Nachweise für die Dauerhaftigkeit der monolithischen Bauweise. Das Tragverhalten dieser Bauwerke, die zumeist aus einzelnen, behauenen Steinblöcken bestehen und zwischen den einzelnen Steinen Fugen aufweisen, ist ebenfalls nicht direkt mit der modernen Vorstellung monolithischer Bauwerke vergleichbar. Doch beweisen diese Brücken über ihre Lebenszeit eindrucksvoll, wie dauerhaft und robust unsere Konstruktionen sein könnten, wenn empfindliche Bauwerksteile wie Fugen und Lager vermieden werden. Wird eine fein verteilte Rissbildung eines Stahlbetonüberbaus jedoch gezielt eingesetzt, kombiniert mit zahlreichen kurzen Stützweiten, kann das Tragverhalten dieser alten Steinbrücken auch auf unsere heutigen Bauwerke übertragen werden.



Bild 1.2 Aquädukt von Segovia in Spanien

Mit der industriellen Revolution in Europa und der zunehmenden Mobilisierung von Personen und Gütern, insbesondere durch die Eisenbahn, ist auch der Bedarf an ausgebauten Verkehrswegen sehr stark angestiegen. Dies hat unter anderem dazu geführt, dass große Fortschritte im Brückenbau erzielt wurden und viele berühmte Bauwerke auf diese Epoche zurückzuführen sind. Ein großer Teil der Brücken bestand aus sogenanntem Puddeleisen (Schmiedeeisen aus dem Puddelofen) – einem Vorläufer von Stahl, doch wurden in dieser Zeit auch weiterhin große Steinbrücken errichtet. Ein solches Tragwerk ist die im sächsischen Vogtlandkreis bestehende Göltzschtalbrücke, die im Zuge der Eisenbahnstrecke zwischen Leipzig und Hof in den Jahren 1846 bis 1851 errichtet wurde. Es handelt sich dabei um die weltweit größte Ziegelbrücke mit einer Länge von 574 m, bestehend aus 29 Einzelbögen (Bild 1.3). Durch die vermörtelten Ziegelsteine hat das Tragwerk keine Fugen und weist auch keine Lager in den beiden Widerlagerachsen auf. Es handelt sich somit um eine integrale Brücke, die inzwischen seit mehr als 150 Jahren unter Verkehr steht.



Bild 1.3 Göltzschtalbrücke

Im Zuge des Autobahnbaus in Deutschland in den 1930er-Jahren entstanden auch einige Brücken, die aus Beton und Steinblöcken vollständig monolithisch hergestellt wurden. Eines der größten Tragwerke dieser Art ist die in den Jahren 1937 bis 1939 errichtete Autobahnbrücke über die Saale in Göschwitz, welche die BAB A 4 zwischen Frankfurt am Main und Dresden überführt (Bild 1.4). Das Tragwerk weist eine Länge von 784 m auf und es wurden 95.000 m³ Beton und 46.000 t Steine verbaut [1].

Integrale Brücken in Form einfacher Rahmentragwerke wurden seit Beginn des Stahlbetonbaus ausgeführt. Die lichten Weiten der Tragwerke waren naturgemäß beschränkt und lagen etwa im Bereich von bis zu 15 m. Im Zuge des Ausbaus des deutschen Autobahnnetzes in den 1930er-Jahren wurde versucht, bei Überführungsbauwerken ohne Mittelstützen zwischen den Richtungsfahrbahnen auszukommen, wodurch fallweise Stützweiten von 25 m in Rahmenbauweise erreicht wurden.



Bild 1.4 Autobahnbrücke über die Saale bei Göschwitz (Foto: Thorsten Grödel)

Da ab den 1940er-Jahren die Spannbetonbauweise vermehrt zur Anwendung kam und insbesondere im Zuge des Wiederaufbaus nach dem Zweiten Weltkrieg flächendeckend eingesetzt wurde, ist die monolithische Bauweise von der Forderung einer möglichst zwängungsfreien Lagerung des Überbaus stark in den Hintergrund gedrängt worden. Obwohl sich damit einhergehend die Grundregeln des Spannbetonbaus mit der Notwendigkeit von Längenänderungen in Lehre und Praxis etabliert hatten, wurden auch in dieser Zeit weiterhin fugen- und lagerlose Brücken errichtet. Diesbezüglich ist die zwischen 1955 und 1956 im Zuge der B 145 gebaute Traunbrücke in Ebensee, Österreich, anzuführen. Es handelt sich dabei um ein vorgespanntes Einfeldtragwerk ohne Fugen und Lager mit einer Stützweite von 72,0 m, einer Bauhöhe von 1,20 m in Feldmitte und der daraus resultierender Schlankeheit von 60 (Bild 1.5). In der Vergangenheit durchgeführte Instandsetzungsarbeiten haben das Tragsystem der Brücke nicht betroffen und das Objekt wurde bis 2016 ohne Einschränkungen für den Verkehr genutzt. Die steigenden Lasten und sonstigen Anforderungen an das Tragwerk führten jedoch dazu, dass die Brücke aktuell durch einen Neubau ersetzt wird.

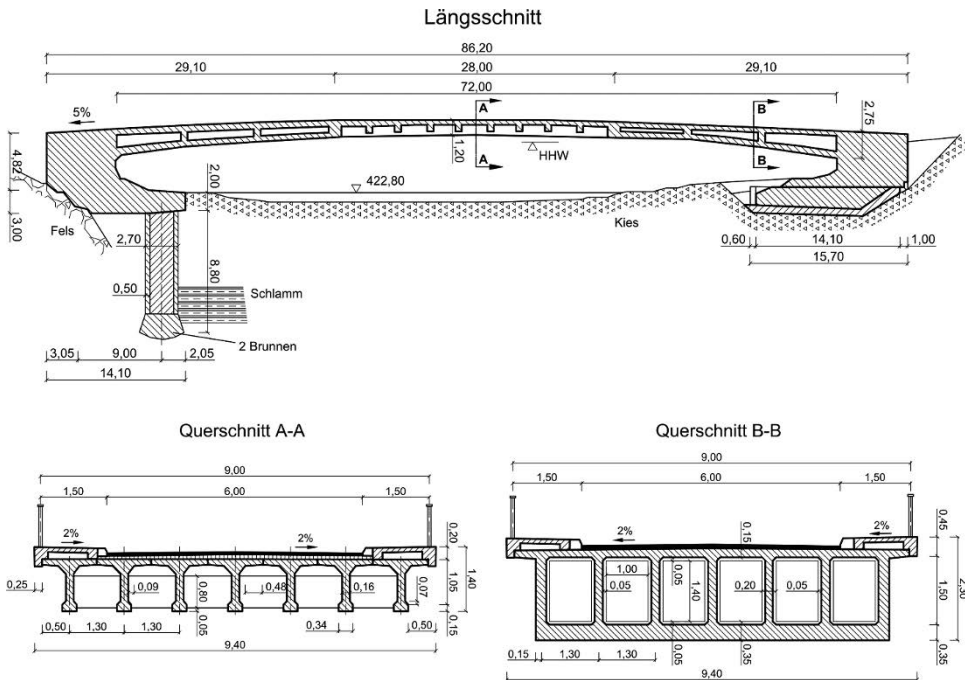


Bild 1.5 Traunbrücke in Ebensee, Längsschnitt und Querschnitte

In den letzten Jahrzehnten sind zahlreiche besonders gelungene Bauwerke in integraler Bauweise entstanden, bei denen Form und Funktion hervorragend in Einklang gebracht und durch die neue Perspektiven im Brückenbau eröffnet wurden. Um die Möglichkeiten integraler Brücken künftig besser nutzen zu können, wird aber auch ein Umdenken der Bauingenieure erforderlich sein, da in der Praxis häufig noch Vorbehalte gegen diese Bauweise bestehen. So wird beispielsweise in Standardwerken des Spannbetonbaus – wie den Büchern von *Leonhardt* [2] – unter seinen „10 Geboten für den Spannbeton-Ingenieur“ für den Entwurf an oberster Stelle folgender Grundsatz definiert: „Vorspannen bedeutet Zusammendrücken des Betons. Druck entsteht nur dort, wo Verkürzung möglich ist. Sorge dafür, dass sich Dein Bauwerk in der Spannrichtung verkürzen kann.“ Der Entwurf und die Bemessung integraler Bauwerke stehen in einem diametralen Gegensatz zu dieser grundlegenden Forderung. Im Bauwerk können Zwangsschnittkräfte entstehen, die bei der Bemessung berücksichtigt werden müssen. Hinzu kommt, dass in den meisten europäischen Ländern keine fertigen Regelwerke bzw. keine ausreichenden Langzeiterfahrungen bei größeren Tragwerkslängen vorliegen. Gerade in der Ausbildung sollte daher verständlicher vermittelt werden, welche Reaktionen Zwangsbeanspruchungen im Tragwerk hervorrufen und in welchen Fällen – auch bei längeren Bauwerken – auf eine vollständig zwängungsfreie Lagerung des Überbaus verzichtet werden kann.

Das vorliegende Buch soll dazu beitragen, der integralen Bauweise im Brückenbau weiteren Zuspruch zu verleihen und über die gezeigten Zusammenhänge die Kreativität der Bauingenieure zu neuen Lösungen anzuspornen. In diesem Kontext werden gestalterische Aspekte angesprochen und Besonderheiten bei Entwurf und Bemessung sowie Konstruktionsdetails und Fragen der Bauwerkserhaltung behandelt. Zusätzlich bietet auch die beschriebene Umrüstung bestehender Tragwerke in integrale Brücken ein sehr interessantes und wirtschaftlich äußerst sinnvolles Anwendungsgebiet.

2 Grundlagen

2.1 Begriffe und Definitionen

Bei integralen Brücken kann die konventionelle Trennung in Unterbau und Überbau in der Lagerebene bzw. entlang von Fugen nicht eindeutig gezogen werden. Dennoch spricht man auch bei diesem Brückentyp weiterhin von Unter- und Überbauten. Dabei werden Gründungen, Widerlager inkl. Flügel und Schleppplatten sowie Pfeiler den Unterbauten zugeordnet. Im Detail können für integrale Brücken die in Bild 2.1 dargestellten, wesentlichen Elemente definiert werden.

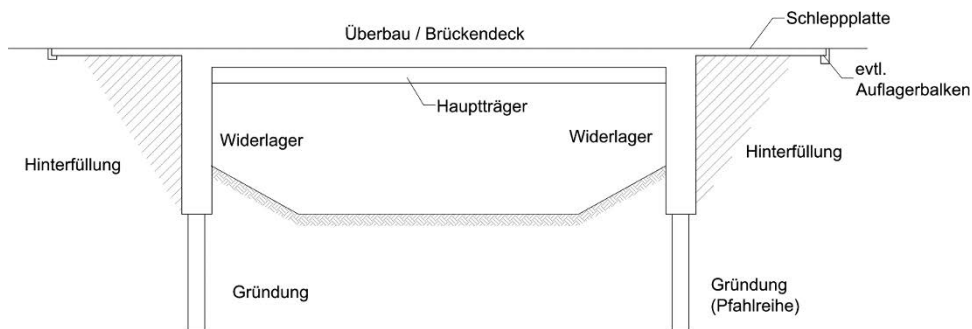


Bild 2.1 Wesentliche Elemente einer integralen Brücke

Neben dem Begriff integral kommen auch häufig die Bezeichnungen monolithisch sowie fugenlos und lagerlos vor. Eine monolithische Struktur beschreibt im Brückenbau grundsätzlich ein nicht trennbares und somit aus einem Stück bestehendes Bauwerk. Überbau und Unterbau bilden eine monolithische Einheit und kommen somit gänzlich ohne Lager und Fugen aus. Das Bauwerk ist in seiner Gesamtheit in den Baugrund eingebettet und steht daher mit diesem in einer engen Wechselwirkung.

Fugenlos bedeutet, dass es im Überbau selbst bzw. zwischen Überbau und Unterbau keine Spalte gibt. Dadurch sind Relativverschiebungen zwischen einzelnen Bauteilen nicht möglich. In diesem Zusammenhang ist anzuführen, dass bewehrte Betongelenke als fugenlose Verbindung gelten. Dies bedeutet in weiterer Folge, dass bei einer fugenlosen Verbindung zumindest die Übertragung von Normkräften und Querkraften immer gewährleistet sein muss.

Lagerlos im Brückenbau bedeutet, dass auf vorgefertigte Lager, die zwischen Überbau und Unterbau angeordnet werden, zur Gänze verzichtet wird. Gemäß diesen Festlegungen ist eine integrale Brücke daher ein vollständig fugen- und lagerloses Bauwerk (Bild 2.2).

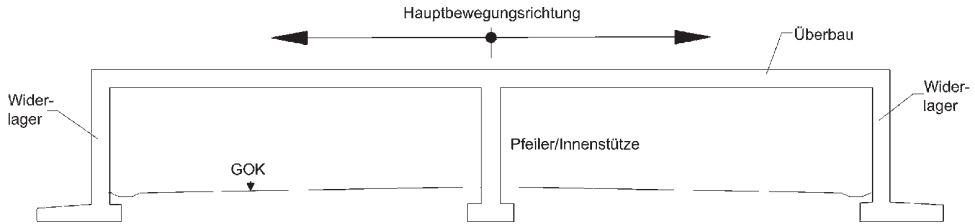


Bild 2.2 Integrale Brücke

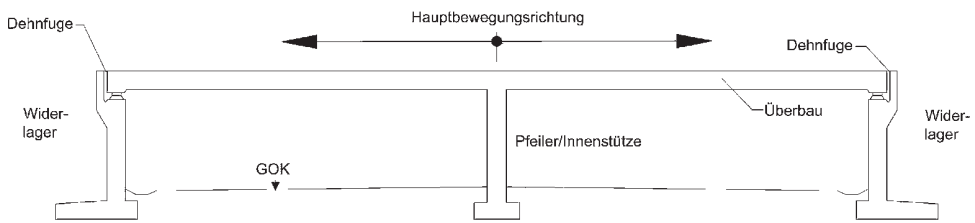


Bild 2.3 Semi-integrale Brücke

Wenn im Bereich der Widerlagerachsen jedoch Lager und/oder Fugen vorhanden sind und nur weitere Pfeiler monolithisch an den Überbau angeschlossen werden, so handelt es sich um semi-integrale Brücken (Bild 2.3). Sind zusätzlich an allen Pfeilern Lager und/oder Fugen angeordnet, liegt ein konventionelles Tragwerk vor.

Im Gegensatz zu konventionellen Brücken, bei denen die maximale Stützweite zu meist den limitierenden Faktor darstellt, werden integrale Brücken durch die maximale Tragwerkslänge bzw. die thermische Entwicklungslänge ausgehend vom Bewegungsruhepunkt begrenzt. Die Bewegung im Widerlagerbereich über den Jahreszyklus wird hauptsächlich von dieser Länge und den wirkenden Temperaturgradienten bestimmt. Eine sprachliche Differenzierung zwischen Brückenlänge und Einzelstützweiten ist daher bei integralen Brücken wichtig.

Grundsätzlich bilden bei der integralen Bauweise Unterbau und Überbau eine monolithische Einheit. Bei der weiteren Betrachtung der integralen Bauweise ist in diesem Zusammenhang zu beachten, dass es in Hinblick auf die Lagerungskonzepte bei der semi-integralen Bauweise und den zugehörigen Begriffen in den einzelnen Ländern verschiedene Definitionen gibt. Aus diesem Grund sollen für das vorliegende Buch einheitliche Festlegungen getroffen werden, wobei zuvor die in der D-A-CH-Region (Deutschland – Österreich – Schweiz) verwendeten Begrifflichkeiten detaillierter dargestellt werden.

Deutschland

Gemäß den Definitionen in Deutschland nach RE-ING wird die Bezeichnung fugenlos durchlaufender Überbau im Brückenbau verwendet, wenn vorbehaltlos – also bei Widerlagerachsen und Pfeilerachsen – keine Fugen ausgebildet werden, jedoch durchaus Lager vorhanden sein können. Als integrale Brücken werden Bauwerke bezeichnet, welche vollständig ohne Fugen und Lager auskommen. Der Überbau einer integralen

Brücke ist über die gesamte Brückenlänge fugenlos durchlaufend und weder von den Stützen noch von den Widerlagern durch Fugen oder Lager getrennt [3]. Die Brücke ist daher ein monolithisches Bauwerk, wobei auch Stahlbetongelenke definitionsgemäß als fugenlose Verbindungen gelten.

Nach deutscher Definition (RE-ING) sind semi-integrale Brücken Rahmentragwerke, die keine integralen Bauwerke darstellen und bei denen in mindestens zwei Stützenachsen eine monolithische Verbindung zwischen Überbau und Unterbau besteht (Bild 2.4).

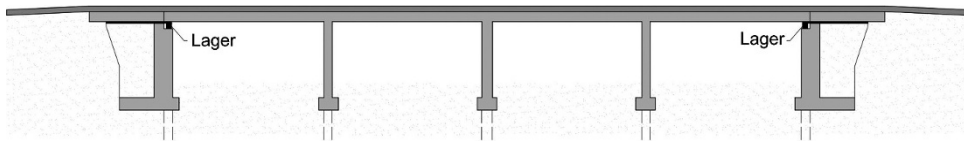


Bild 2.4 Schema einer semi-integralen Brücke in Deutschland

Das bedeutet demzufolge, dass semi-integrale Brücken an den Widerlagerachsen gleichzeitig Fugen und Lager aufweisen können und auch an einzelnen Stützenachsen Lager möglich sind, sofern 2 Pfeiler fugen- und lagerlos ausgeführt werden. Brücken, die im Überbau Fugen aufweisen, der Überbau mit dem Unterbau jedoch monolithisch verbunden ist, werden demzufolge ebenfalls als semi-integrale Tragwerke bezeichnet.

Tabelle 2.1 Abgrenzung der unterschiedlichen Bezeichnungen in Deutschland

| Überbau und Stützen | Überbau fugenlos | | Überbau mit Fugen |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------|
| | ohne Lager (monolithisch) | Lager | |
| Widerlagerachsen | | | |
| Ohne Lager, ohne Fuge | integral | semi-integral | semi-integral |
| Mit Lager oder Fuge | semi-integral | semi-integral ¹⁾ | konventionell |
| | | konventionell | |

1) Mindestens 2 Stützen weisen eine monolithische Verbindung mit dem Überbau auf.

Österreich

In Österreich hat sich in der aktuell in Ausarbeitung befindlichen Richtlinie und Vorschrift für das Straßenwesen zu den integralen Brücken RVS 15.02.12 folgende Definition etabliert: Als integrale Brücken gelten nur jene Bauwerke, die an jeder Stelle des Tragwerks ohne Fugen und Lager auskommen. Diese Festlegungen beziehen sich auf alle Stützen- sowie Widerlagerachsen.

Die Definition semi-integraler Bauwerke unterscheidet sich in Österreich hingegen grundsätzlich von der zuvor beschriebenen deutschen Festlegung. Semi-integrale Brücken haben entweder Fugen oder Lager zwischen Überbau und Unterbau im Bereich der Widerlagerachsen, aber niemals beides. Brücken mit Fugen und Lagern an den Widerlagerachsen und monolithischer Verbindung der Stützen werden hingegen als

konventionell gelagerte Tragwerke angesehen. Daher ist eine weitere Unterscheidung in fugenlose und lagerlose semi-integrale Brücken notwendig.

Fugenlose semi-integrale Brücken sind Tragwerke, bei denen die Stützen mit dem Tragwerk und den zugehörigen Gründungen monolithisch verbunden sind. Die Relativbewegung zwischen Tragwerk und dem Widerlager wird allerdings durch Lager gewährleistet (Bild 2.5). Der Übergang zwischen Bauwerk und Strecke erfolgt jedoch ohne Fuge.

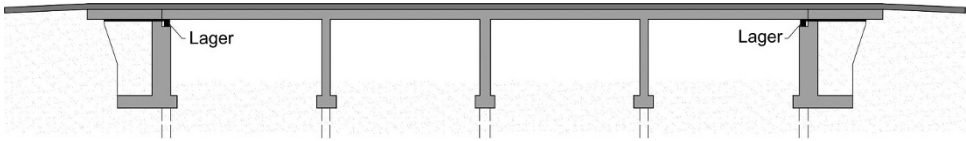


Bild 2.5 Fugenlose semi-integrale Brücke nach österreichischer Definition

Die lagerlose semi-integrale Brücke kommt in allen Bauwerksachsen ohne Lager zwischen Überbau und Unterbau aus. Der Übergang zwischen dem Tragwerk und dem umgebenden Boden erfolgt jedoch durch Ausbildung einer Fuge zur Aufnahme der Längsbewegungen (Bild 2.6). In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass gemäß der österreichischen Festlegung ein monolithisches Tragwerk mit einer Belagsdehnfuge als lagerloses semi-integrales Bauwerk gilt.

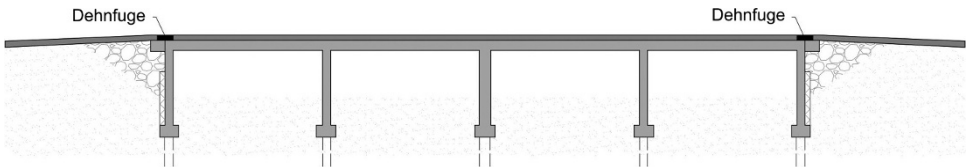


Bild 2.6 Lagerlose semi-integrale Brücke

Tabelle 2.2 Abgrenzung der unterschiedlichen Bezeichnungen in Österreich

| Überbau und Stützen | Überbau fugenlos | | Überbau mit Fugen |
|-----------------------|---------------------------|---------------|-------------------|
| | ohne Lager (monolithisch) | Lager | |
| Widerlagerachsen | | | |
| Ohne Lager, ohne Fuge | integral | konventionell | konventionell |
| Mit Lager oder Fuge | semi-integral | konventionell | konventionell |

Tabelle 2.3 Spezifizierung der semi-integralen Lagerung

| Fuge Belag | Widerlagerachse | |
|-----------------------|------------------------------|------------------------|
| | Ohne Lager (monolithisch) | Lager |
| Ohne Fahrbahnübergang | integral | fugenlos semi-integral |
| Mit Fahrbahnübergang | lagerlos semi-integral | konventionell |

Schweiz

Gemäß [4] wird in der Schweiz eine Brücke dann als integrales Bauwerk bezeichnet, wenn sie ohne Lager und ohne Fugen im Überbau sowie zwischen Überbau und Unterbau auskommt. Semi-integrale Brücken weisen entweder Lager oder Fahrbahnübergänge im Bereich der Widerlager auf, aber nicht beides. Hier gibt es bei den Bezeichnungen in Österreich und der Schweiz eine Übereinstimmung. Zusätzlich existieren in der Schweiz noch weitere Begriffe, die nachfolgend erläutert werden.

Monolithische Brücken weisen Lager und Fugen ausschließlich in den Widerlagerachsen auf. Die Stützen sind lager- und fugenlos mit dem Überbau verbunden.

Semi-monolithische Brücken haben neben Lagern und Fugen bei den Widerlagern auch einzelne Lager in den Stützenachsen, der Überbau ist aber fugenlos durchlaufend (Bild 2.7 a). Ebenfalls als semi-monolithisch gilt ein Bauwerk, wenn eine monolithische Verbindung im Bereich der Widerlager und Stützenachsen besteht, der Überbau jedoch durch Querfugen getrennt ist (Bild 2.7 b)

Es ist jedoch in der Schweiz gebräuchlich, semi-monolithische Brücken als konventionell gelagerte Tragwerke anzusehen und bei den zugehörigen Begriffen fugen- und lagerloser Brücken nur zwischen integralen und semi-integralen Bauwerken zu unterscheiden.

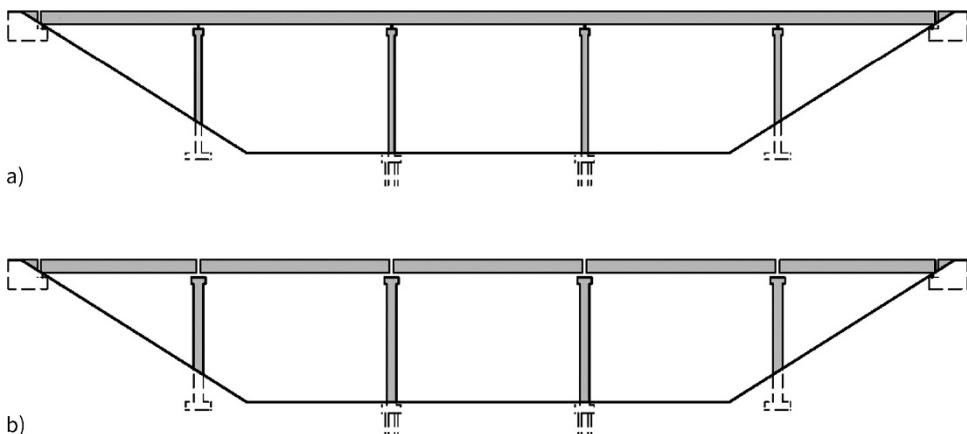
**Bild 2.7** Semi-monolithische Bauwerke in der Schweiz [4]

Tabelle 2.4 Abgrenzung der unterschiedlichen Bezeichnungen in der Schweiz [4]

| Überbau und Stützen Widerlagerachsen | Überbau fugenlos | | Überbau mit Fugen |
|--|---------------------------|---------------|-------------------|
| | ohne Lager (monolithisch) | Lager | |
| Beide Achsen ohne Lager und ohne Fuge | integral | semi-integral | konventionell |
| Ein Brückenende: semi-integral Anderes: integral oder semi-integral | semi-integral | semi-integral | konventionell |
| Zumindest ein Brückenende mit Fuge | konventionell | konventionell | konventionell |

Festlegung für das vorliegende Buch

Aus der zuvor durchgeführten, detaillierten Betrachtung der unterschiedlichen Bezeichnungen ist gemäß Tabelle 2.5 erkennbar, dass es nur bei der integralen Brücke eine vollständige Übereinstimmung im Sprachgebrauch gibt. Bei den übrigen Bezeichnungen – insbesondere der Abgrenzung zwischen konventionellen Lagerungskonzepten und der semi-integralen Ausführung – gibt es teilweise größere Unterschiede.

Tabelle 2.5 Zusammenstellung der unterschiedlichen Bezeichnungen

| Ausführung Stützen und Widerlager | D | A | CH |
|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------|
| Stützen: monolithisch Widerlager: monolithisch | integral | integral | integral |
| Stützen: monolithisch Widerlager: mit Fuge, mit Lager | semi-integral | konventionell | konventionell |
| Stützen: monolithisch Widerlager: mit Fuge, ohne Lager | semi-integral | (lagerlos) semi-integral | semi-integral |
| Stützen: monolithisch Widerlager: ohne Fuge, mit Lager | semi-integral | (fugenlos) semi-integral | semi-integral |
| Stützen: 2 monolithisch Widerlager: mit Fuge, mit Lager | semi-integral | konventionell | konventionell |
| Stützen: monolithisch Widerlager: monolithisch Fugen im Überbau | als Teiltragwerk integral | als Teiltragwerk integral | konventionell |

Daher ist es für die weiteren Abschnitte des vorliegenden Werkes erforderlich, eine einheitliche Festlegung zu treffen, die sich von den Definitionen in den Nationalstaaten unterscheiden kann und wie folgt formuliert wird:

Unter *integralen Brücken* sind Tragwerke zu verstehen, die weder an den Stützen noch an den Widerlagerachsen Fugen oder Lager aufweisen. Das Bauwerk ist als Gesamtheit in den Untergrund eingebettet. Zur freien Strecke vor und nach dem Tragwerk gibt es – mit Ausnahme von elastischen Belagsdehnfugen – keine Fahrbahnübergangskonstruktionen.

Semi-integrale Brücken weisen hingegen in den Stützenachsen eine monolithische Verbindung zwischen Überbau und Unterbau auf. Ausschließlich im Bereich der Widerlagerachsen ist die Anordnung von Lagern und/oder einer Fuge in unterschiedlicher Ausführung möglich.

2.2 Vorteile integraler Brücken

Brücken, die ohne Fugen und Lager auskommen, haben gegenüber konventionell gelagerten Tragwerken verschiedene Vorteile, die insbesondere eine Reduktion der erforderlichen Instandsetzungsarbeiten über die Nutzungsdauer und somit eine Reduktion der Lebenszykluskosten bewirken.

Aber auch im Entwurf und im Tragverhalten können Vorteile dieses Brückentyps gut genutzt werden. Die monolithische Verbindung von Überbau und Unterbau erlaubt in der Gestaltung ästhetisch sehr ansprechende Lösungen, die auch aus statischer Sicht durch Nutzung der Rahmenwirkung nennenswerte Vorteile bringen. Diese positiven Eigenschaften werden im nachfolgenden Abschnitt detailliert erläutert.

2.2.1 Vorteile für den Entwurfsprozess

- Wird eine Einspannung des Überbaus in die Widerlager vorgesehen, können aufgrund der Biegetragwirkung in den Rahmenecken schlanke und ästhetisch ansprechende Überbauten realisiert werden. Durch die Ausbildung lokaler Vouten und Betonung des Rahmenecks kann das Gestaltungselement auch aus statisch-konstruktiver Sicht sehr sinnvoll genutzt werden (Bild 2.8). Der Vorteil schlanker Überbauten ist neben einem geringeren Gewicht eine Reduktion der Konstruktionshöhe, wodurch sich Vorteile bei beschränkten Platzverhältnissen sowie eventuell Kosteneinsparungen bei der Herstellung ergeben.

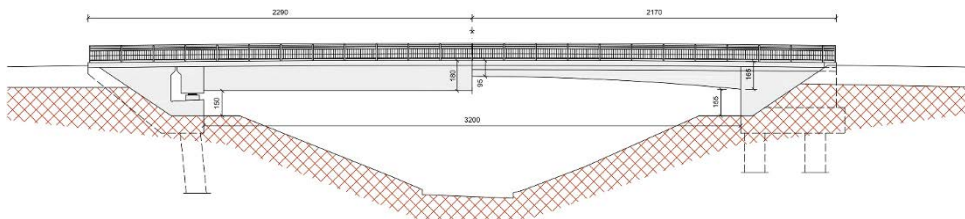


Bild 2.8 Schlankeres Dimensionieren durch Nutzung der Rahmenwirkung (rechts)

- Durch die Aktivierung des Eigengewichts der Unterbauten und der Gründung sowie der Mantelreibung von Pfählen können bei mehrfeldrigen Brücken mit kurzen Endfeldern abhebbende Kräfte am Widerlager kompensiert werden. Dadurch kann auf gegebene Randbedingungen – wie beispielsweise vorgegebene Pfeilerachsen – mit einem angepassten Entwurf sehr gut reagiert werden. Bei dreifeldrigen Konstruktionen können so größere Mittelspannweiten erreicht werden. Andererseits sind auch längere Randfelder möglich, wenn durch die Einspannung des Überbaus im Rahmeneck Schnittgrößen umgelagert werden.

- Horizontallasten aus dem Verkehr, wie beispielsweise Bremsen und Anfahren bei Eisenbahnbrücken, können über das Tragwerk in den umgebenden Boden eingeleitet werden. Es sind keine gesonderten und aufwendigen Festhaltekonstruktionen für den Überbau erforderlich.
- Durch den Verzicht auf Lager werden Spannungskonzentrationen und daraus resultierende Spaltzugkräfte in Überbau und Unterbau vermieden. Durch die monolithische Bauweise ist der gesamte Kraftfluss im Bauwerk kontinuierlicher (Bilder 2.9 und 2.10).

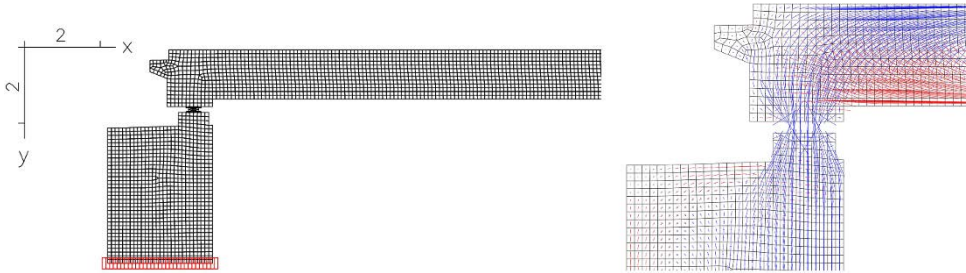


Bild 2.9 Hauptspannungen in einem konventionellen Tragwerk

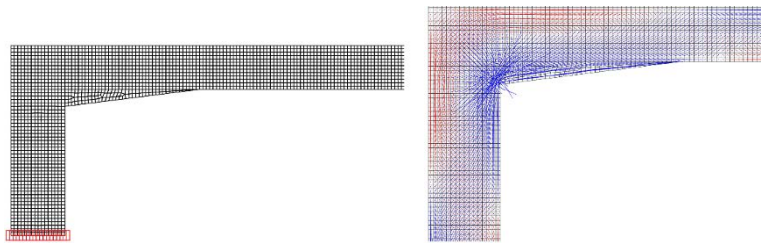


Bild 2.10 Hauptspannungen in einem Rahmentragwerk

- Der Entfall der Lager macht Ersatzhebepunkte für Pressen auf Stützen und Widerlagern entbehrlich. Dadurch können Auflagerbänke wegfallen, Stützenköpfe und Widerlagerwände schlanker und das Tragwerk optisch gefälliger ausgebildet werden.
- Durch den Verzicht auf Übergangskonstruktionen können Wartungsgänge in den Widerlagern entfallen und diese können baulich einfacher ausgestaltet werden.
- Im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist durch Aktivierung der Rahmenwirkung eine Möglichkeit zur Schnittkraftumlagerung hin zum Rahmeneck gegeben (Redundanz des Systems). Eine Trennung einzelner Bauteile führt dazu, dass Schnittkräfte nicht bzw. nur teilweise umgelagert werden und so Lastreserven nicht aktiviert werden können.
- Bei einer monolithischen Bauweise sind die Folgen für das Gesamtbauwerk durch ungleichmäßige Setzungen und Schiefstellung einzelner Pfeiler nicht so groß wie bei konventionellen Bauwerken mit deren empfindlichen Lager- und Fahrbahnübergangskonstruktionen. Allerdings sind daraus resultierende Zwangsschnittgrößen im Tragwerk zu berücksichtigen.

2.2.2 Vorteile im Zuge der Errichtung der Tragwerke

- Durch den Wegfall von Lagern und Übergangskonstruktionen reduzieren sich Herstellungskosten des Bauwerks. Dabei spielen auch die indirekten Kosten – wie ein vereinfachter und schnellerer Bauablauf und einfachere Widerlagerkonstruktionen – eine große Rolle. In diesem Zusammenhang ist allerdings anzuführen, dass ab einer bestimmten Tragwerkslänge in integraler Bauweise die Kostenvorteile durch die erforderlichen Sondermaßnahmen im Bereich des Widerlagers bzw. durch höhere Bewehrungsmengen im Rahmeneck aufgehoben werden. Generell sind jedoch die Herstellungskosten über den Lebenszyklus betrachtet eher von untergeordneter Bedeutung.
- Die Bauherstellung wird durch den Wegfall von Fahrbahnübergangskonstruktionen und Lagern einfacher und schneller, da diese Bauteile über geringere Toleranzen verfügen und zum richtigen Zeitpunkt auf der Baustelle sein müssen.
- Die konstruktive Ausbildung, insbesondere im Widerlagerbereich und im Bereich der Stützen, wird bei integralen Brücken deutlich platzsparender und erfordert weit- aus weniger Schal- und Bewehrungsaufwand (Bild 2.11).

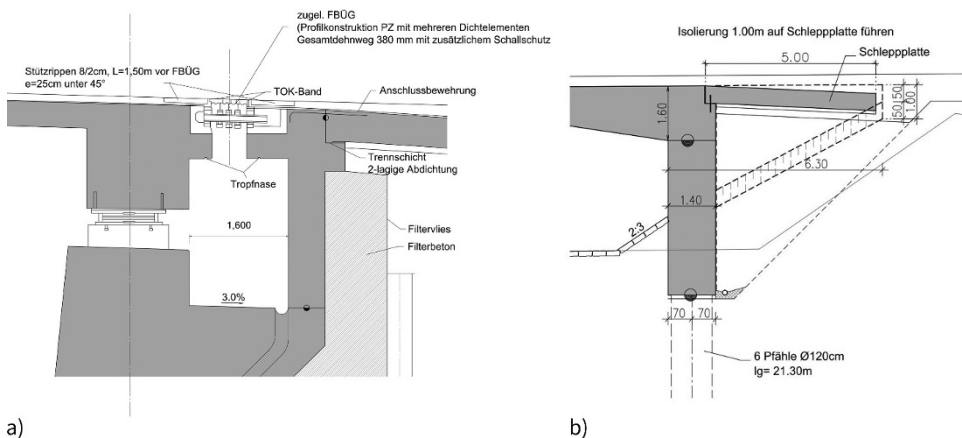


Bild 2.11 Vergleich eines a) konventionellen mit einem b) integralen Widerlager

2.2.3 Vorteile für Nutzer und Anrainer

- Für den Nutzer ist insbesondere ein höherer Fahrkomfort durch die Vermeidung von Fugen festzustellen.
- Der Wegfall von Fahrbahnübergangskonstruktionen und Fugen führt auch zu einer erhöhten Verkehrssicherheit durch eine sichere Überfahrt für Motorräder und Fahrräder.
- Die Streckenverfügbarkeit erhöht sich durch die nicht erforderlichen Instandhaltungsarbeiten an den Fahrbahnübergangskonstruktionen. Verkehrsbehinderungen durch Baumaßnahmen kommen unter diesem Gesichtspunkt bei integralen Brücken nicht vor.