

1 Einleitung

Der integrale Brückenbau fand schon seit jeher seine Anwendung. Die alten Natursteinbrücken und natürlichen Steinbögen als solches sind im grundlegenden Sinn schon integrale Bauwerke. Auch wenn in der damaligen Zeit, durch die durchwegs unterschiedlichen Verkehrsbelastungen, die Dilatationskonzepte noch keine so große Rolle spielten, zählten die alten Brückentragwerke schon zu sehr beeindruckenden Ingenieurbauten. Aufgrund der einfacheren Berechnung im Brückenbau wurde im 20. Jahrhundert auf statisch bestimmte Tragwerke zurückgegriffen. Durch diese Systeme war es notwendig, den Über- und Unterbau durch Lager und Bewegungsfugen voneinander zu trennen. Den Vorteilen, wie z.B. der einfachen Berechnung, standen jedoch auch einige Nachteile gegenüber. Die Lager und Bewegungsfugen sind einer enormen Wartungsintensität ausgesetzt. Bei Betrachtung der Lebenszykluskosten der Brückentragwerke ist zu erkennen, dass ein erheblicher Teil der Erhaltungskosten auf Lager und Fahrbahnübergänge zurückzuführen ist. Untersuchungen von Prof. Bergmeister haben aufgezeigt, dass integrale Brücken mit möglichst redundanten Systemen die wirtschaftlichsten Lösungen darstellen [Bergmeister, 2005]. Auch wenn die Herstellungskosten nicht immer geringer als bei Brücken mit Lagern und Fugen sind, zählen integrale Brücken zu den Brückensystemen mit den geringsten Lebenszykluskosten [Resch, 2010]. Daher sind diese gerade im unteren und mittleren Spannweitenbereich bis zu 70 Meter kaum mehr wegzudenken. Der Übergangsbereich zwischen Brücke und Straße hat durch den integralen Brückenbau enorm an Bedeutung gewonnen. Daher wird in Zukunft nicht nur die Brücke besondere planerische Aufmerksamkeit bedürfen, sondern auch der Übergangsbereich. Es wird von Seiten der Planer immer wichtiger werden, explizite Angaben zur Ausführung des Widerlagerdetails zu machen.

1.1 Motivation

In den letzten Jahren hat es zum Thema integrale Brücken sehr viele Forschungsvorhaben gegeben. Die Motivation vieler Projekte geht stark aus der Initiative der Infrastrukturbetreiber hervor, denn genau diese Institutionen sind jene, welche durch Schäden und immer wiederkehrende Instandhaltungsarbeiten belastet werden. Die Problematik mit dem Übergangsbereich zwischen Brücke und Straßenkörper wird in vielen Forschungsprojekten beschrieben.

In der Österreichischen RVS 15.01.11 [2003] steht zum Thema Übergangskonstruktion folgendes geschrieben:

„Grundsätzlich ist anzumerken, dass die beste Fuge mit der besten Übergangskonstruktion weit schlechter ist, als ein durchgehender, fugenloser Überbau.“ [RVS 15.01.11, 2003]

Im Buch *Integral and Semi-Integral Bridges* von Burke [2009], welches sich auch mit Übergangskonstruktionen beschäftigt, steht zu dem Problem der Fahrbahnübergänge bei integralen Brücken folgendes:¹

„Das wahrscheinlich bedeutendste ungelöste Problem bei integralen und semi-integralen Brücken ist die Verfügbarkeit von kostengünstigen funktionalen und langlebigen Dehnfugen...“ [Burke, 2009]

Auch in der Schweiz wurde in den letzten zehn Jahren intensiv am integralen Brückenbau geforscht. Im Projekt *Erfahrungen mit langen integralen und semi-integralen Brücken* [Kaufmann und Buchheister, 2016] war eine der Schlussfolgerungen zum Thema Übergangsbereich folgende:

„Ein weiteres, sehr interessantes Forschungsthema ist die Entwicklung neuartiger Ausbildungen des Brückenendes mit dem Ziel, Belagsrisse zu minimieren. Da solche Lösungen vermutlich höhere Erstellungskosten bedeuten, sollte dabei die Wirtschaftlichkeit (Lebenszykluskosten) gebührend beachtet werden.“ [Kaufmann und Buchheister, 2016]

1.2 Problemstellung

Ein großes Problem bei langen integralen Brücken stellt das Dilatationskonzept dar. Für Brücken bis ca. 70 m können die Längenänderungen der Brücke mit einfachen Schlepplattenkonstruktionen in den Damm eingeleitet werden, ohne dass Schäden im darüberliegenden Fahrbahnaufbau entstehen. Bei längeren Brücken kommt es immer öfter zu Belagsrissen und Setzungen hinter den Widerlagern. Um die Dilatationsprobleme in den Griff zu bekommen, wird deshalb des öfteren auf semi-integrale Tragsysteme mit Übergangskonstruktionen zurückgegriffen. Hierbei werden häufig elastische Belagsdehnfugen eingesetzt. Die Erfahrung mit diesen Dehnfugen hat jedoch gezeigt, dass vermehrt Schäden schon bei kurzen Einsatzzeiten zu vermelden sind. Die Anwendungsgrenzen der Belagsdehnfuge liegen bei Brückenlängen von ca. 100 m [Wruck, 2002]. Für lange integrale Brücken sind diese Dehnfugen daher ebenfalls weniger geeignet.

¹Originalzitat aus Burke [2009] „Probably the most significant unresolved problem with integral and semi-bridges is the availability of cost effective functional and durable cycle-control joints, the movable transverse joints used between approach slabs of integral-type bridges and approach pavements.“

1.3 Zielsetzung

Um die bis heute noch unzureichend gelöste Problematik der Übergangskonstruktionen bei langen integralen Brücken in den Griff zu bekommen, wurde am Institut für Tragkonstruktionen - Forschungsbereich für Stahlbeton- und Massivbau der TU Wien eine neue Fahrbahnübergangskonstruktion für integrale Brücken entwickelt und in mehreren Ländern patentiert [Kollegger und Eichwalder, 2015, 2016, 2014]. Das Ziel dieser Arbeit war es, die neu entwickelte Konstruktion von der Idee über den Bau eines Prototyps bis hin zu ihrem ersten Einsatz in einem Pilotprojekt weiterzuentwickeln. Um eine praxisgerechte Anwendung der Konstruktion zu ermöglichen, ist der Bau eines Prototyps von besonderer Bedeutung. Anhand der erstmaligen Herstellung konnten sehr wichtige Erfahrungswerte gesammelt und Fehlerquellen erkannt werden. Bei der Planung des Pilotprojektes konnten diese Erfahrungen direkt umgesetzt werden.

In dieser Arbeit wird die neue Konstruktion von der Entwicklung bis zum Einsatz in einem Pilotprojekt beschrieben. Aufgrund der erstmaligen Ausführung in dem Pilotprojekt sollen die Erkenntnisse in Form von Ausschreibungsbehelfen und Herstellungsanleitungen ausgearbeitet werden, um für zukünftige Projekte unterstützende Unterlagen bereitzustellen.

2 Stand der Technik

2.1 Integrale Brücken - Begriffsdefinition

Unter dem Begriff integrale Brücke werden in Österreich und auch in weiten Teilen Europas Brücken ohne Lager und Bewegungsfugen im Überbau sowie zwischen Überbau und Unterbau verstanden. In der Literatur kann es jedoch auch vorkommen, dass Brücken mit Lagern oder Fugen als integrale Brücken bezeichnet werden. Daher wird in vielen Richtlinien zwischen integralen und semi-integralen Brücken unterschieden, wobei die einzelnen Definitionen des Begriffes semi-integral teilweise sehr unterschiedlich sind. Allgemein kann von drei bis vier verschiedenen Brückentypen ausgegangen werden. In Abbildung 2.1 sind alle gängigen Brückenvarianten dargestellt. Ausgegangen wird von der gelagerten Brücke mit Bewegungsfugen an den Widerlagern (siehe Abb. 2.1 (a)). Hierbei kann sich der Überbau zwängungsfrei verformen. Die Bewegungen des Überbaues können durch die Bewegungsfugen, welche in Form eines Fahrbahnübergangs ausgeführt werden, aufgenommen werden. Eine "schwimmend" gelagerte Brücke mit monolithischen Anschlüssen des Überbaues zu den Pfeilern und Ausbildung von Lagern und Bewegungsfugen an den Widerlagern ist in Abb. 2.1 (b) zu erkennen. Dabei entfallen zumindest bei den Pfeilern die wartungsintensiven Lager. Die Brücke kann sich aufgrund der relativ weichen Pfeiler annähernd zwängungsfrei verformen. Als semi-integral werden Brücken ohne Lager zwischen Über- und Unterbau bezeichnet. Die Längenänderung des Überbaues wird durch eine Bewegungsfuge am Widerlager aufgenommen. Die Ausführung der Widerlagerwand kann als Pendelstütze erfolgen (siehe Abb. 2.1 (c)). Vollintegrale Brücken besitzen keine Bewegungsfugen und es wird auch zur Gänze auf Lager verzichtet (siehe Abb. 2.1 (d)). Dadurch erhöht sich die Dauerhaftigkeit bei gleichzeitiger Verringerung des Wartungsaufwandes. Dem gegenüber steht jedoch das hohe Maß an statischer Unbestimmtheit, welche aufgrund der rahmenartigen Einspannung zu erhöhten Zwangskräften führen kann.

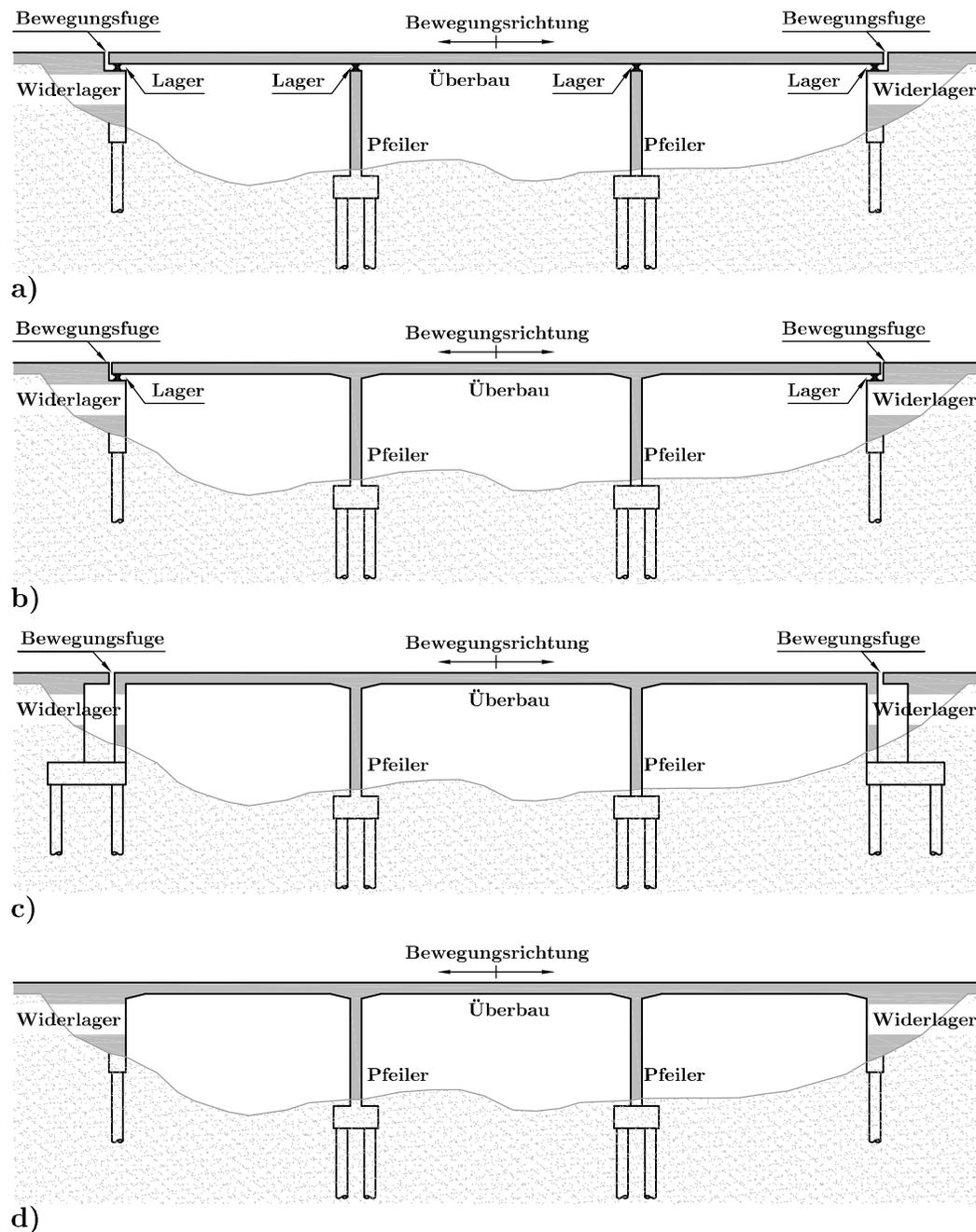


Abbildung 2.1: Darstellung einzelner Brückentypen: a) Brücke mit Lagern und Bewegungsfugen; b) "schwimmend" gelagerte Brücke: monolithische Verbindung zwischen Überbau und Pfeilern, Lager und Bewegungsfugen bei den Widerlagern; c) semi-integrale Brücke: monolithische Verbindung zwischen Über- und Unterbau, Bewegungsfugen an den Widerlagern, Ausführung einer Pendelwand am Widerlager; d) integrale Brücke: monolithische Verbindung zwischen Über- und Unterbau, Verzicht auf Lager und Fugen.

In der Schweizer Richtlinie ASTRA 12 004 [2011] wird grundlegend zwischen 3 Brückentypen unterschieden (siehe Abbildung 2.2).

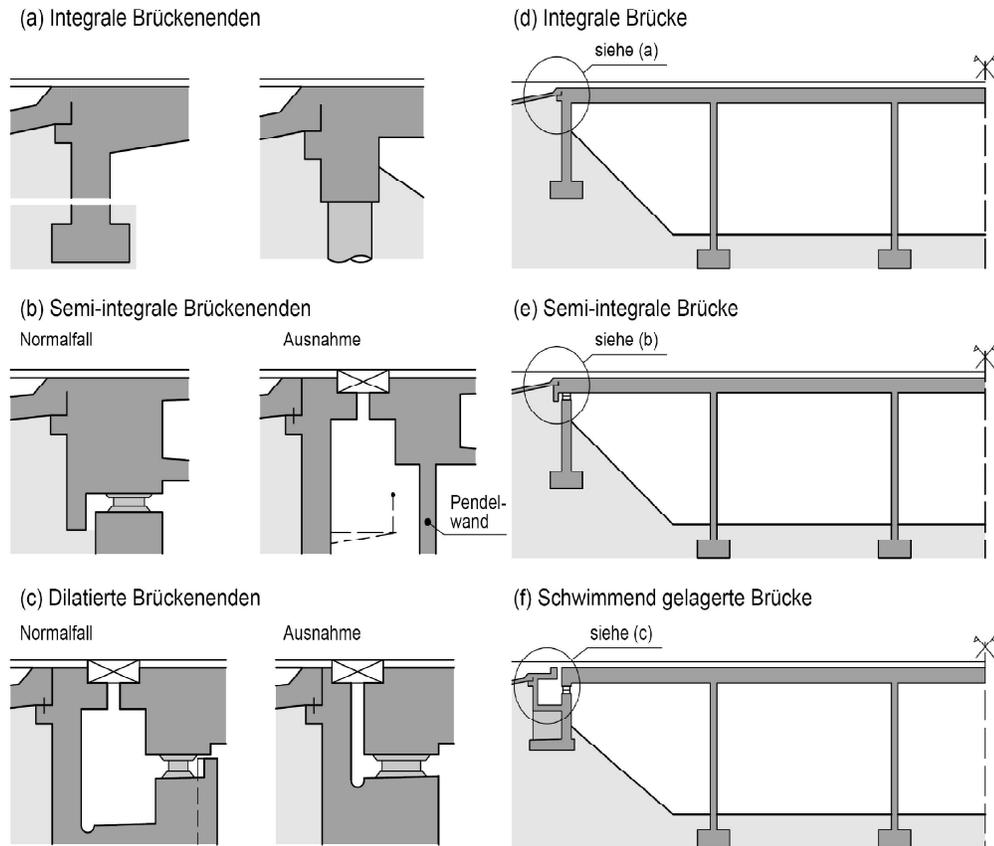


Abbildung 2.2: Lagerungs- und Dilatationskonzepte gemäß Richtlinie Konstruktive Einzelheiten von Brücken [ASTRA 12 004, 2011].

Gemäß dem Entwurf der deutschen Richtlinie für den Entwurf und die Ausbildung von Ingenieurbauten RE-ING [2011] wird der Begriff semi-integrale Brücke übergeordnet eingesetzt, sobald eine Fuge bzw. ein Lager vorhanden ist, jedoch müssen mindestens bei zwei Achsen die Pfeiler monolithisch an den Überbau angeschlossen werden.

2.1.1 Besonderheiten integraler Brücken

Prinzipiell wurde im Bauwesen versucht, möglichst zwängungsfreie Strukturen zu finden, um dadurch die statische Berechnung weitestgehend zu vereinfachen. Heutzutage werden leistungsfähige Computerprogramme verwendet, um eine computergestützte Statik zu erstellen. Dadurch können mehrfach statisch unbestimmte komplexe Systeme einfacher berechnet werden. Da es sich bei integralen

Brücken vermehrt um mehrfach statisch unbestimmte rahmenartige Bauwerke handelt, ist der Einsatz von EDV bei der Berechnung kaum mehr wegzudenken. Durch die EDV unterstützte Statik lassen sich die Systeme einfacher berechnen, was wiederum nicht bedeutet, dass eine integrale Brücke deshalb weniger Aufmerksamkeit in ihrer Komplexität benötigt. Aufgrund der monolithischen Bauweise können die durch die Temperaturänderung sowie durch Schwinden und Kriechen entstandenen Verformungen nicht zwängungsfrei abgebaut werden. Daher entstehen im Tragwerk Zwangsspannungen, welche aufgenommen werden müssen. Des Weiteren kommt es aufgrund der monolithischen Verbindung zum Widerlager zu einer zyklischen Widerlagerwandverschiebung bzw. Verdrehung. Diese Bewegung der Widerlagerwand erzeugt zusätzlich einen erhöhten Erddruck auf die Widerlagerwand. Diesen Zwangsbeanspruchungen gilt es vor allem bei längeren Brücken besondere Aufmerksamkeit zu schenken, da sie erheblichen Einfluss auf den Tragwerksentwurf haben.

Für die Dimensionierung der Bewegungsfuge ist im wesentlichen die Kopfverschiebung der Widerlagerwand maßgebend. Diese Verschiebung wird durch folgende Faktoren ausgelöst bzw. beeinflusst:

Steifigkeit des Untergrundes

Die Untergrundsteifigkeit sowie der Verformungswiderstand des Untergrunds wirken sich auf die Widerlagerkopfverschiebung aus. Je nach Untergrundbeschaffenheit kann sich das Widerlager mehr oder weniger widerstandslos verformen. Ein weicher Untergrund ermöglicht eine annähernd widerstandslose Verformung und führt dadurch zu geringen Zwangsspannungen infolge Erddruck.

Steifigkeit des Widerlagers und Gründungsart

Die Steifigkeit des Widerlagers ist im Wesentlichen von der Widerlagerwand und von der Art der Gründung abhängig. Die Steifigkeit der Widerlagerwand an sich ist von ihrer Höhe sowie der Dicke abhängig. Je gedrungenere die Widerlagerwand ist, umso steifer ist diese.

Kriechen und Relaxation

Für integrale Brücken sind die Kriechverformungen vor allem bei vorgespannten Betonbrücken von Bedeutung. Hierbei ist die Auswirkung auf die Widerlagerkopfverschiebung bei hoch vorgespannten Bauteilen besonders zu berücksichtigen. Durch übermäßiges Vorspannen kann es dadurch zu einer Überbeanspruchung des Rahmenecks sowie zu einer größeren Verschiebung kommen. Bei schlaff bewehrten Brücken hat das Kriechen einen sehr geringen Einfluss auf die Widerlagerkopfverschiebung (siehe Abbildung 2.3). [Pötzl et al., 1996]

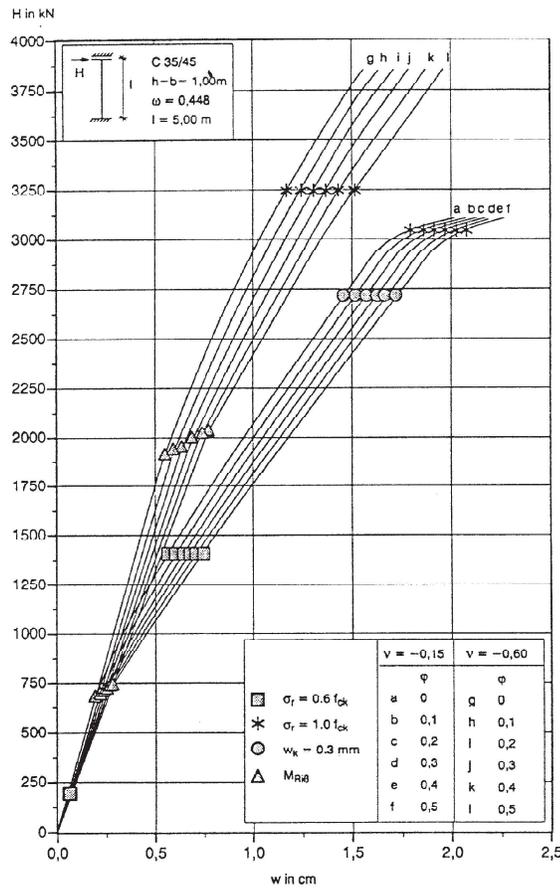


Abbildung 2.3: Einfluss des Kurzzeitkriechens auf die Pfeilerkopfverschiebung [Pötzl et al., 1996].

Zwangsspannungen, welche durch die behinderte Längsdehnung im Tragwerk auftreten, können durch Relaxation teilweise abgebaut werden. Aufgrund der relativ langsamen Brückenverformung infolge der jährlichen Temperaturschwankungen können vor allem die Druckspannungen um teilweise bis zu 20% reduziert werden [Engelsmann et al., 1999]. Im ungerissenen Zustand spielt die Relaxation auch in den Wintermonaten, wenn infolge einer Verkürzung des Tragwerks Zugspannungen auftreten, eine wesentliche Rolle.

Schwinden

Durch Schwinden werden bei integralen Brücken hauptsächlich zentrische Zwangsbeanspruchungen verursacht. Das Schwinden kann durch die Schwindverkürzung angegeben werden, welche über das Schwindmaß ϵ_{cs} ausgedrückt wird. Die Schwindverformungen setzen sich aus dem Trocknungs- und dem chemischen Schwinden zusammen. Das Trocknungsschwinden ist auf den Feuchtigkeitsentzug im Beton zurückzuführen und kann nur bedingt über schwindar-

me Betone beeinflusst werden. Das chemische Schwinden entsteht während der Hydratation durch die Einbindung des Wassers in die Hydratationsprodukte. Bei der Verwendung von Normalbetonen hat das chemische Schwinden jedoch sehr wenig Einfluss auf die Spannungen im Tragwerk. Dementsprechend kann es für die ganzheitliche Betrachtung des Tragwerks unberücksichtigt bleiben. Einen großen Einfluss auf die Schwinddehnungen kann man durch den Einsatz von "schwindwirksameren" Querschnitten nehmen. Durch ein früheres Wirken der Schwindanteile können daher die auf die FÜK wirkenden Anteile der Verformung des Widerlagerkopfes erheblich reduziert werden. Weiters ist die Schwindbeanspruchung auf die Brückenwiderlagerverschiebung durch einen gezielten Bauablauf gewissermaßen steuerbar. Eine ausführliche Analyse von unterschiedlichen Bauabläufen und vor allem die Möglichkeit von Festpunktwechseln während der Bauphasen kann zu enormen Entlastungen der Widerlagerbereiche führen [Pötzl, 1996].

Temperatur

Als Verformung infolge von Temperatur wird im Wesentlichen die für die Fahrbahnübergangskonstruktion wichtige Verformung der Kopfverschiebung der Widerlagerwand herangezogen. Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, dass am Widerlagerkopf annähernd die "freie" Verformung auftritt. Nur bei sehr ungünstigen Randbedingungen, wie zum Beispiel sehr langen Tragwerken mit niedrigen Widerlagerwandhöhen und sehr steifen Bodenverhältnissen, treten geringere Verformungen auf (siehe Abbildung 2.4).

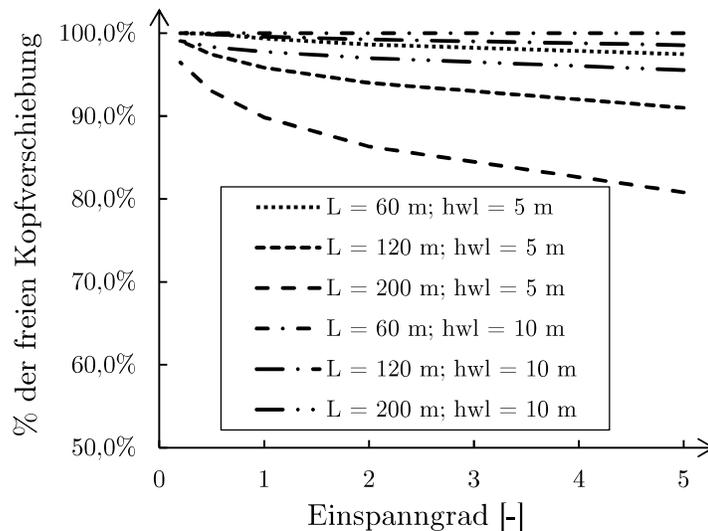


Abbildung 2.4: Widerlagerkopfverformung im Verhältnis zur freien Verformung der Brücke [Nguyen et al., 2016].