

Der Weg zur leisen Eisenbahn-Stahlbrücke in Deutschland

Paul de Vos

DHV Umwelt und Mobilität, postfach 1076, NL 3800 BB Amersfoort, Email: paul.devos@dhv.nl

Berechnungsmethoden für Stahlbrücken

In den Jahren 1992-1997 hatten drei Unternehmen-Heerema Stahlkonstruktionsgesellschaft, Holland Rail consult Engineering und Edilon Schienenbefestigungssysteme – mit Hilfe vom TNO Forschungsinstitut und dem damaligen NS Forschungsinstitut diesen Brückentwurf entwickelt. Die Aufgabe wurde durch eine Subvention vom Wirtschaftsministerium unterstützt. Im Entwurfprozess wurden die Ergebnisse eines früheren Forschungsprojektes benutzt, das vom Umweltministerium gefördert worden war. Dieses Forschungsprojekt hatte als Ergebnis ein vereinfachtes Rechenverfahren, das sich zur Validierung auf eine Vielzahl von Feldmessungen stützte.

Dieses Rechenverfahren, das hauptsächlich von TNO entwickelt worden war, war grundsätzlich aus zwei Teilen aufgebaut: die Anregung der Brücke wurde durch eine TWINS-artige Betrachtung eingeschätzt, wobei die frequenzabhängige Rauigkeit der Schienenoberfläche sowie der Radoberfläche in der Betrachtung mitberücksichtigt wird. Die Anregung der Brückenteile erfolgt über das dynamische System Rad-Schiene-Schienenbefestigung-Brücke wobei Schwingungsenergie in die Brücke gespeist wird. Die Lärmabstrahlung setzt sich letztenendlich zusammen aus dem Radbeitrag des Rollgeräusches, dem Schienenbeitrag des Rollgeräusches sowie dem Beitrag des von der angeregten Brücke abgestrahlten Schalles.

Das Rollgeräusch, das auf der freien Strecke im Schotteroberbau bei nicht zu hohen Geschwindigkeiten weitgehend die bestimmende Schallquelle darstellt, bleibt beim Überfahren der Brücke eine wichtige Quelle, mag sich aber durch den Einfluss der Schienenbefestigung gegenüber der freien Strecke verändern und mag bei lauten Brücken vom Brückenlärm vor allen in den tiefen Frequenzbändern überstrahlt werden.

Zur Simulierung der Schallabstrahlung der Brücke gibt es in Prinzip zwei Ansätze: über eine Modalanalyse kann das dynamische Verhalten der einzelnen Brückenteile ermittelt werden. Eine FEM- und Modalanalysemethode ermöglicht es, die tiefen Eigenfrequenzen der Brücke, das heisst die Schwingungsantwort der Brücke auf eine gegebene Anregung, ziemlich präzise zu ermitteln.

Die Alternative bildet die statistische Energie-Analyse (SEA). Mit dieser Analyse wird die statistische Verteilung der Schwingungsenergie über die einzelnen Brückenteile abgeschätzt, wobei eine der wichtigsten Bedingungen ist, dass die Anzahl der Eigenfrequenzen innerhalb eines Frequenzbandes ausreichend gross (typisch 6 oder mehr) ist.

Entwurfsbedingungen

Der Entwurf einer lärmarmen stählernen Eisenbahnbrücke für die Niederlande war von Anfang an durch klare Randbedingungen bestimmt. Stahlbrücken mit durchgehendem Schotterbett, die in Deutschland oft gebaut wurden, gibt es in den Niederlanden kaum zu finden. Folgende Randbedingungen liegen in der Regel vor:

- Die Brücke überquert einen Kanal oder Fluss, der auch für den Wasserverkehr benutzt werden soll,
- Das heisst dass die Brücke entweder regelmässig geöffnet werden muss oder aber eine möglichst grosse Durchfahrthöhe aufweisen soll,
- Da aber die Landschaft meist flach ist, heisst das wieder, das erhebliche Erdwälle gebraucht werden um den Zug auf die gewünschte Höhe zu bringen.
- Um Geld zu sparen, soll dann die gesamte Einbauhöhe der Brücke möglichst gering sein. Ein durchgehendes Schotterbett wurde gegen diese Bedingung verstossen.

Eine eher technische Übersetzung dieser Anforderungen lautete, dass die Schienenbefestigung eine ausreichend hohe Impedanz aufweisen sollte, um zu verhindern, dass die frei schwingende Schiene zu einer Erhöhung des Rollgeräusches führen würde. Um Einbauhöhe zu sparen, sollte nicht nur das Schotterbett entfallen, auch die Schienenbefestigung sollte keine zusätzliche Höhe erfordern. Das führte zu einer eingegossenen Schiene, ein Konzept das bereits als Lärmsanierung bestehender Stahlbrücken mit wechselndem Erfolg erprobt war.

Um die in die Brücke eingespeiste Energie möglichst gering zu halten, wurde eine hohe Impedanz unterhalb des Schienenfusses angestrebt. Das wurde dadurch erreicht, dass die vertikale Seitenplatte der Brücke direkt unterhalb der Schiene angeordnet wurde, und dass die Stärke sowie die Höhe dieser Platte zu einer möglichst hohen Steifigkeit in vertikaler Richtung führen würden.

Die Stahlkonstrukteure befassten sich mittlerweile damit, den Entwurf möglichst wirtschaftlich, das heisst in diesem Fall in möglichst wenig Bearbeitungsschritten produzieren zu können. Daraus ergab sich der typische Entwurf mit dem gekrümmten Gussrinne (Bild), der bei der Stärke der horizontalen Oberplatte die Spitze der Stahlwalzmöglichkeiten darstellt.

Ergebnisse

Der sich ergebende Entwurf ist besonders Instandhaltungsfreundlich, weil es keine gerade Ecken gibt wo sich Wasser und Schmutz sammeln und Korrosion bilden könnten.

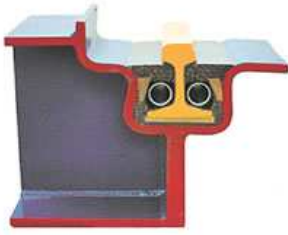


Abbildung 1: Querschnitt der leisen Hohlkastenbrücke mit eingegossener Schiene.

Der entgültige Entwurf wurde 1996 an einer 25 m langen Neubaubrücke in Friesland erprobt. Die Neubaubrücke sollte eine bestehende Stahlbrücke ersetzen. Um das erzielte Schallverhalten eindeutig nach zu weisen, wurde ein diesem Ziel angepasstes Messverfahren entwickelt und angewandt. Wie bereits im ersten Absatz dieses Vortrags erläutert, stellt sich die Lärmabstrahlung (Schalleistung) der Brücke zusammen aus dem Radbeitrag des Rollgeräusches, dem Schienenbeitrag des Rollgeräusches, und der Brückenabstrahlung. Die beiden ersten Beiträge sind von der gesamten Rauigkeit (Summenrauigkeit) von Rad und Schiene bestimmt. Bei der Erprobung der Neubaubrücke wurden Regelzüge eingesetzt, wobei aber eine derartige Kategorie von Rollmaterial ausgewählt wurde, dass sichergestellt war dass die Radrauigkeit die Schienenrauigkeit bei weitem übersteigen würde. So konnte sichergestellt werden, dass die Gesamtrauigkeit auf der freien Strecke unmittelbar vor der Brücke der auf der Brücke ähnlich sein würde, auch wenn die Schienenrauigkeit zwischen freier Strecke und Brücke aus irgendeinem Grund grössere Unterschiede aufweisen sollte.

Vergleich der Lärmpegel

Die Ergebnisse der Messungen an dieser ersten "leisen" Brücke sind im nachfolgenden Bild dargestellt: die in der unmittelbaren Umgebung erzeugten Schallpegel sind den der freien Strecke sehr ähnlich.

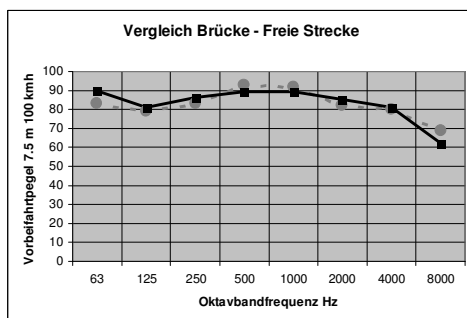


Abbildung 2. Ergebnisse der Vergleichsmessungen zwischen Brücke und freier Strecke

Nach diesem Erfolg wurde der Entwurf auf mehr als 4,8 km Brückenlänge eingebaut (55 Brückenteile in den Niederlanden, 5 in Portugal, 10 in Irland sowie 2 in Schweden). Allerdings war es eher der Instandhaltungsfreundlichkeit – und demzufolge den

bescheidenen Lebenszykluskosten - als dem Lärmpegel zu verdanken dass der Entwurf gewählt wurde. Trotzdem liegt, gerade zum Ziel der Lärmsanierung in dichtbesiedelten Gebieten, ein geeigneter Entwurf einer leisen Stahlbrücke vor.

Anwendung in Deutschland

Welche Zukunftsmöglichkeiten gibt es für einen solchen Entwurf in Deutschland? Lärm von Eisenbahnen ist ein wichtiges Thema, sowohl bei Anwohnern als auch bei Politikern, und nicht zuletzt auch bei den Netzbehörden. Die erste Hürde für ähnlich welche Novität im Eisenbahnbereich stellt das Eisenbahn Bundes Amt in München dar. Für die leise Brücke wurde diese Hürde mit der Beschaffung einer allgemeinen Zulassung für den Deutschen Eisenbahnbereich in September 2004 erfolgreich überwunden. Den ersten Kunden gibt es mittlerweile auch: DB Netz möchte eine lärmarme Brücke im Bahnabschnitt Kassel-Frankfurt einbauen. Die letzte Hürde stellt der Nachweis des Schallverhaltens der Brücke dar. Wenn eine vollständige Erprobung benötigt wird, wobei sogar die Schienenrauigkeit vor und nach dem Austausch der Brücke messtechnisch ermittelt werden sollte, dann kostet die Messung etwa ein Drittel vom Gesamtkosten der Brücke !

Sollte es gelingen, tatsächlich eine breitere Anwendung des hier vorgeführten oder eines ähnlichen Entwurfes zu kommen, dann kann dieses dazu beitragen, dass das Lärmklima von einer Vielzahl von Anwohnern unmittelbar stark verbessert wird und zudem die Instandhaltungskosten für DB Netz verringert werden. DB Netz beschafft jährlich ein wesentliche Anzahl von Brücken. Eine starke Förderung leiser Brücken könnte erreicht werden, indem die DB Netz das jährliche Budget für Lärmsanierung in Höhe von etwa 50 Millionen Euro, nicht nur für hässliche Schallschutzwände sondern auch für schlaue Stahlbrücken anwenden dürfte.