



# „Der Abbruch einer genieteten Brücke ist nur in seltenen Fällen begründbar“ [1]

Zu dieser titelgebenden Einschätzung gelangt der Schweizer Bauingenieur und Professor der Eliteuniversität École Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL, Professor Eugen Brühwiler in einem unlängst veröffentlichten Artikel in der deutschen Zeitschrift „Der Eisenbahningenieur“ [1]. Dieser schlussfolgernden Erkenntnis liegt eine jahrelange Beschäftigung mit genieteten Konstruktionen zugrunde, in deren Folge moderne Ingenieurmethoden Einzug in die Beurteilung von Trag- und Ermüdungsverhalten genieteter Bahnbrücken gehalten haben. Damit ist es möglich geworden, genietete Brücken

wirklichkeitsnah zu überprüfen und die Nutzungsdauer deutlich zu verlängern.

## **Eine moderne Verkehrsinfrastruktur, Denkmalschutz, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit lassen sich vereinbaren**

Insbesondere die Schweizer Forschungsarbeiten haben dabei gezeigt, dass sich hierbei sowohl die Belange einer modernen Verkehrsinfrastruktur und des Denkmalschutzes, als auch Fragen von Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit in Einklang bringen lassen.

Diese Fragestellungen sind auch in Deutschland von großer Bedeutung, denn ca. 50% aller Eisenbahnbrücken in Deutschland sind in den Jahren um 1900 entstanden und haben in der Regel ihre nominelle Lebensdauer überschritten [2]. Es wäre deshalb zu erwarten, dass auch die Deutsche Bahn besondere Anstrengungen unternimmt, um modernste Ansätze der Lebensdaueranalyse in ihr Regelwerk einfließen zu lassen. Die Ausgangssituation in Deutschland ist in dieser Hinsicht eigentlich sehr günstig. Es liegen



**Dr.-Ing. Johannes Rödel,  
Chemnitz**

Der Autor hat in Chemnitz Werkstofftechnik studiert und an der Bergakademie Freiberg promoviert. Seine anschließende Forschungstätigkeit führte ihn an die TU Dresden, die University of

California Santa Barbara, die German University Cairo, sowie das Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik in Dresden. Er ist jetzt als Werkstoffwissenschaftler an der Universität Bayreuth tätig.

materialkundliche Untersuchungen der um 1900 erzeugten Stähle vor, in der Forschung sind die Methoden der statischen Analyse von Tragwerken weit entwickelt, Methoden des messtechnischen Bauwerksmonitoring sind entwickelt und erprobt und nicht zuletzt konnten Erfahrungen an verschiedenen imposanten Brückenbauwerken aus der Zeit der Jahrhundertwende gesammelt werden. Wichtige Informationen zu den in Deutschland gesammelten Untersuchungsergebnissen sind auch in einen aktuellen Bericht der Europäischen Kommission eingeflossen [2].

### **Bei der Deutschen Bahn besteht Nachholbedarf bei der Einführung moderner Bewertungsprinzipien**

Die bahninternen Richtlinien zum Nachweis der Tragsicherheit bestehender Brücken [3] spiegeln die aktuellen Forschungsergebnisse jedoch noch nicht wieder.

In diesem Zusammenhang ist es erstaunlich, dass die Deutsche Bahn wie im Fall des Chemnitzer Eisenbahnviaduktes über die Annaberger Straße seit Jahren eine Neubaulösung favorisiert. Die Brücke wäre ein ideales Forschungsobjekt, um neue Methoden und Lösungen zum Erhalt wertvoller Bauwerke zu untersuchen und praktisch zu erproben. Die zwischen 1901 und 1906 errichtete ca. 250m lange Stahlbrücke ist nicht nur ein Baudenkmal, das über ein Jahrhundert das Stadtbild von Chemnitz geprägt hat. Sie stellt in der Verbindung von Fachwerkbögen und Balkenträgern auch eine einzigartige architektonische Lösung dar. Insbesondere Verwendung großer Bleche für die gewaltigen Balkenträger spiegelt zudem den damals modernsten Stand der Stahltechnologie wieder und ist zumindest in der Region einzigartig. Allein vom Standpunkt des Denkmalschutzes wäre eine Erhaltung dieser Brücke mehr als wünschenswert.

In Chemnitz hat sich eine Bürgerbewegung gebildet, deren Ziel es ist, die Brücke zu erhalten. Die einführend geschilderten Erfahrungen in der Schweiz und in Deutschland geben Anlass zu der berechtigten Hoffnung, dass eine Ertüchtigung der Brücke nicht nur technisch möglich ist, sondern auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten eine denk-

bare Alternative gegenüber einem Neubau darstellt.

### **Öffentliche Förderinstrumente bevorzugen Abriss und Neubau**

Eine mögliche Motiv für die Neubaulösung wird in dem einzigen Fachartikel über die Chemnitzer Brücke [4], der in der Literatur zugänglich ist, angedeutet: Neubauten können über verschiedene Förderinstrumente aus Bundesmitteln bezuschusst werden. Demgegenüber müssten Erhaltungsmaßnahmen aus den Etats der Deutschen Bahn allein bestritten werden. Die Bezuschussung aus Mitteln des Denkmalschutzes der Kommunen und Länder scheint in dem erforderlichen Umfang kaum möglich zu sein.

### **Denkmalschutz ist eine öffentliche Aufgabe**

Trotzdem bleibt festzuhalten: als Eigentümer eines Baudenkmals ist die Deutsche Bahn zum Erhalt von Baudenkmalern wie dem Chemnitzer Viadukt verpflichtet und die kommunalen und Landesbehörden sind in der Pflicht, diese gesetzlichen Auflagen durchzusetzen. Nur im Falle, dass eine Erhaltung nicht zumutbar ist, kann dem Abriss eines Denkmals zugestimmt werden. Wenn zudem, wie oben geschildert, die Erfahrungen andernorts für die prinzipielle Vereinbarkeit von wirtschaftlichen und denkmalpflegerischen Gesichtspunkten und damit für eine Erhaltungslösung sprechen, sollten sich neben den Denkmalschutzbehörden auch Lokal- und Landespolitik sachkundig machen und auf einen öffentlichen Dialog zur Abwägung der verschiedenen Interessen drängen. Die Erhaltung von Kulturdenkmälern ist eine öffentliche Aufgabe. Aus diesem Grund ist die öffentliche Kontrolle der Entscheidungen des Staatsunternehmens Deutsche Bahn sowie der kommunalen und staatlichen Behörden nicht nur über die parlamentarischen Institutionen, sondern auch darüber hinaus in der breiten und interessierten Öffentlichkeit nicht nur zulässig, sondern geboten.

Dem gegenüber stehen die Weigerung der Bahn, die Gutachten zur Brücke öffentlich zu machen, sowie Veröffentlichungen von Bahn und Behörden, die durch unsachlich verkürzte Darstellungen der Öffentlichkeit jegliche

Urteilsfähigkeit absprechen. In diesem Zusammenhang sei daran erinnert: Chemnitz ist auch eine Stadt der Ingenieure, in der Begriffe aus der Statik oder Betriebsfestigkeit nicht unbekannt sind und zum täglichen Handwerkszeug vieler Ingenieure gehören. Und gerade diese Ingenieure, denen man kaum eine romantischen Verklärung von Baudenkmalern nachsagen darf, aber die technischen Leistungen vergangener Generationen durchaus würdigen können, sollten in die Diskussion über den Erhalt eines herausragenden technischen Denkmals einbezogen werden.

### **Alter und die Stahlqualität werden als Begründung für den Abriss angeführt**

Im Folgenden soll der Versuch gemacht werden, die veröffentlichten Begründungen für einen Abriss und die Fakten zum Zustand der Brücke einzuordnen.

In einer Stellungnahme der Bahn (DB Netz AG) auf eine Anfrage von MdB Michael Leutert wird behauptet, dass aufgrund „der zur Bauzeit begrenzten Möglichkeit der Stahlherstellung und der damit verbundenen Stahlzusammensetzung ... eine massive Versprödung des eingesetzten Stahls eingetreten [ist], welche die statische und dynamische Tragfähigkeit der Brückenelemente radikal reduziert.“ Gelegentlich wird in Diskussionen auch das Argument angeführt, dass nach 100 Jahren die Lebensdauer einer Brücke überschritten wäre.

### **Die öffentliche Darstellung der Bahn entbehrt einer wissenschaftlich-technischen Grundlage**

Richtig ist, dass die um die Jahrhundertwende erzeugten Flusstähle in der Qualität nicht mit heute erzeugten Stählen vergleichbar sind. Aber ihre geringere Festigkeit und eventuell reduzierte Zähigkeit war zur Zeit der Erbauung der Brücke bekannt und Grundlage der damaligen Dimensionierung und Tragfähigkeitsnachweise. Daran hat sich bis heute nichts verändert.

Materialkundliche Untersuchungen, unter anderem an der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin, haben gezeigt, dass die um 1900 verwendeten Stähle tatsächlich so-

gar höhere Zähigkeitsreserven aufweisen, als bisher angenommen wurde [5].

Das eigentliche Problem, das allen zu dieser Zeit erbauten Brücken gemeinsam sein sollte, ist das Problem der Ermüdung, das aber aus werkstofftechnischer Sicht klar von Fragen der Festigkeit und Zähigkeit/Versprödung getrennt werden muss.

### **Ermüdung und das Wöhlerlinienkonzept**

Das Phänomen der Ermüdung wurde in der Mitte des 19. Jahrhunderts von dem Eisenbahn-Ingenieur August Wöhler entdeckt, als er die Ursachen von Achsbrüchen untersuchte, die trotz statisch korrekter Auslegung der Achsen nach längerem Betrieb auftraten. Er stellte durch systematische Untersuchungen fest, dass bei schwingender Beanspruchung auch weit unterhalb der statischen Festigkeit von Stahl Brüche auftreten können. Die grafische Darstellung des doppelt-logarithmischen Zusammenhangs von Bruchlastspielzahl und Lastamplitude wird nach ihrem Entdecker als Wöhlerdiagramm bezeichnet.

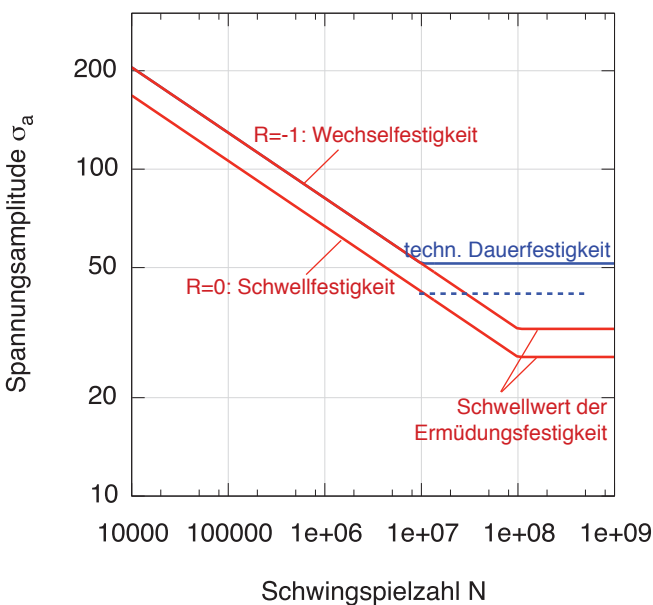
Um den Aussagewert von Ermüdungsnachweisen auf der Grundlage des Wöhlerkonzeptes richtig beurteilen zu können, soll auf die Grundidee des Wöhlerdiagramms kurz eingegangen werden. In Laborversuchen werden mehrere Materialproben einer zyklischen Belastung auf verschiedenen Lastniveaus ausgesetzt. Die Anzahl der Lastwechsel, nach denen ein Bruch der Probe eintritt, wird eingezeichnet. In der Auswertung dieser Daten ist es entscheidend zu verstehen, dass das Bruchereignis ein statistisches Ereignis ist, das eine statistische Auswertung erfordert. Als Ergebnis kann angegeben werden, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass bei einer bestimmten Lastspielzahl und Lastamplitude ein Bruchereignis auftritt. Umgekehrt, kann für eine gegebene Lastspielzahl die maximale Lastamplitude angegeben werden, für die die Bruchwahrscheinlichkeit einen vorgegebenen Wert unterschreitet oder für eine gegebene Lastamplitude die entsprechende Zahl der Lastwechsel.

## Dauerfestigkeit

### unbegrenzte Nutzungsdauer ist bei ausreichend kleinen Lasten möglich

Stähle, auch die um die 1900 erzeugten Flusstähle, haben in ihrem Ermüdungsverhalten eine Besonderheit: bei sehr geringen Lastamplituden tritt bei einer mit abnehmender Last zunehmender Zahl an Proben gar kein Bruchereignis mehr ein. Das heisst, unterhalb einer bestimmten Belastungsgrenze zeigt das Material keine Ermüdung. Als technische Grenze für diese sogenannte Dauerfestigkeit wird oft eine Mindest-Bruchlastspielzahl von 10 Millionen Lastzyklen festgelegt. Für Brücken, die mehr als 100 Jahre alt sind und noch lange Zeit genutzt werden sollen, genügen 10 Millionen Lastwechsel möglicherweise nicht. In diesem Fall ist es möglich, den Zeitfestigkeitsbereich im Wöhlerdiagramm z.B. auf 100 Millionen Schwingspiele zu erweitern und einen sogenannten Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit einzuführen. Damit wird auch das verbleibende Ermüdungsbruchrisiko unterhalb der technischen Dauerfestigkeit berücksichtigt.

Damit ist das Wöhlerkonzept das wichtigste Werkzeug für den Konstrukteur, um nachzuweisen, dass ein gegebenes Bauteil unter vorgegebener Beanspruchung eine zu erreichende Lebensdauer besitzt. Diesen Nachweis bezeichnet man als Ermüdungsnachweis. Wenn die Beanspruchung in den am



Dauerfestigkeitsschaubild (Wöhlerdiagramm) für genietete Bleche (Kerbfall 71)

höchsten belasteten Bauteilen unterhalb der Dauer- bzw. Ermüdungsfestigkeit liegt, kann das Bauwerk aus Sicht der Tragfähigkeit unbegrenzt genutzt werden. Es gibt dann kein Argument, das bei einem guten Erhaltungszustand (Korrosionsschutz!) die Nutzungsdauer auf 100 Jahre oder irgend eine andere Zahl einschränkt.

### Restnutzungsdauer bei nicht dauerfesten Konstruktionen

Wenn die statische Untersuchung eines Tragwerkes ergibt, dass die Beanspruchung über der Dauerfestigkeit liegt, kann die Restnutzungsdauer aus der Belastungsgeschichte und der projektierten Belastung für die Zukunft ermittelt werden. Grundlegende Hypothese ist dabei die Annahme, dass jedes einzelne Belastungsereignis einen Beitrag zur Gesamtschädigung des Bauteils entsprechend dem Wöhlerkonzept liefert. Damit ist es nicht nur möglich zu beantworten, ob für ein gegebenes Bauteil die Wahrscheinlichkeit eines Ermüdungsbruches ausreichend klein ist. Ingenieure können dann auch berechnen, bis zu welchem Zeitpunkt in der Zukunft sich die Schädigungen des Materials soweit akkumuliert haben werden, dass ein Ermüdungsbruch nicht mehr mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Diese Berechnungen liefern die Restnutzungsdauer.

### Moderne Ingenieurmethoden ermöglichen realistischere Belastungsanalysen und längere Nutzungsdauern

Die Aussagekraft der Ermüdungsnachweise und Berechnungen der Restnutzungsdauer hängt im Wesentlichen von den angewandten Methoden zur Berechnung der Bauteilbelastung ab. Da jedes rechnerische Modell Vereinfachungen vornehmen muss und diese vereinfachenden Annahmen aber immer konservativ sein müssen, d.h. die Sicherheit nicht negativ beeinflussen dürfen, ist die berechnete Beanspruchung immer höher als die reale Belastung im Material. Zusätzlich werden auch unbekanntes Einflussgrößen so berücksichtigt, dass auch der ungünstigste Fall enthalten ist.

Die Qualität des Materials spielt auch im Ermüdungsnachweis eine gewisse Rolle. Da Flusstähle nicht die Homogenität (Gleich-

mäßigkeit) moderner Stähle besitzen und Einschlüsse und innere Fehler die Bildung von Ermüdungsrissen bevorzugen, haben Flusstähle eine geringere Bruchlastspielzahl. Der Materialeinfluss wird im allgemeinen mit einer äquivalenten geometrischen Kerbe gleichgesetzt und kann somit im Ermüdungsnachweis berücksichtigt werden.

Der entscheidende Weg, zu verbesserten, realistischen Nutzungsdauern zu gelangen, liegt somit auf der Seite der Beanspruchungsanalyse. Komplexe numerische Methoden sind heute, zumindest in der Forschung, Standard. Aber noch so große Finite-Element-Modelle enthalten letztlich noch viele verschiedene vereinfachende Annahmen, angefangen bei den Materialmodellen über geometrischen Details bis zu Kontakt- und Last(Rand)-Bedingungen, etc. Der Weg zu realistischen Beurteilungen führt letztlich vor allem über eine messtechnische Kontrolle der Berechnungsergebnisse. Auch die Richtlinie 805 der Deutschen Bahn [3] sieht diesen Schritt in der Nachweisstufe 4 vor. Danach sollen Rechenmodelle durch gemessene Daten kalibriert werden.

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass bei einem Ermüdungsnachweis nach Konzepten der Betriebfestigkeit und des Wöhlerdiagramms zahlreiche Möglichkeiten bestehen, insbesondere auf der Seite der Belastungsanalyse zu verfeinerten, realitätsnahen Ergebnissen zu kommen. Dieses führt immer auch zu einer besseren Materialausnutzung und, im Fall des Ermüdungsnachweises, oft zu einer längeren prognostizierten Nutzungsdauer.

### **Geringe Änderungen in der berechneten Beanspruchung führen zu großen Änderungen in der Restnutzungsdauer**

Kleine Verbesserungen können an dieser Stelle sehr große Auswirkungen haben. Im besprochenen Wöhlerschaubild und den darauf beruhenden Ermüdungsnachweisen geht die Spannungsamplitude mit der 5. Potenz in die Nutzungsdauer (Bruchschwingspielzahl) ein. Wenn eine verbesserte Beanspruchungsanalyse die Spannung im Bereich der Dauerfestigkeit nur um 1% reduziert, steigt die Bruchlastspielzahl um 5%. Reduziert man die Last um 10% führt das auf eine

Erhöhung der Nutzungsdauer um fast 70%. Das heisst, wenn bei einer Nutzungsdauer von 100 Jahren die ursprünglich berechnete Grenzlastspielzahl erreicht wäre, dann würde eine Reduzierung der Beanspruchung um nur 10% bei unveränderter Belastung die Nutzungsdauer um 70 Jahre verlängern!

### **Dauerfestigkeits- und Ermüdungsnachweis am Chemnitzer Viadukt**

Diese Problematik der Ermüdung wird in der Stellungnahme der Bahn zur Chemnitzer Brücke mit keinem Wort erwähnt, obwohl hier möglicherweise das einzige Problem bezüglich der Tragsicherheit der besteht. Auf der Suche nach belastbaren Informationen steht dafür nur die Arbeit von Marx, Stein und Bolle [4] zur Verfügung. Nach Aussagen dieser Arbeit ist eine vollständige statische Analyse der Brücke durchgeführt worden. In deren Ergebnis kommen die Autoren zu dem Schluss, dass die Fachwerkbögen über eine ausreichende Restnutzungsdauer verfügen. Bei drei von zehn Öffnungen der Balkenbrücken bestehen jedoch Fragen bezüglich der Ermüdungssicherheit. Dieser Arbeit zufolge wurden „rechnerische Spannungsüberschreitungen von bis zu 20% für den Lastenzug UIC 71“ ermittelt. Damit konnte hier „keine bzw. nur eine geringe Restnutzungsdauer von 5 Jahren nachgewiesen werden“. Worauf sich die 20% Spannungsüberschreitung beziehen, wurde nicht genau angegeben.

Prof. Marx und Koautoren beschäftigen sich in der genannten Arbeit im Wesentlichen mit der messtechnischen Ermittlung des Bean-



Die Fachwerkbögen des Chemnitzer Viaduktes verfügen über eine ausreichende Restlebensdauer [4]

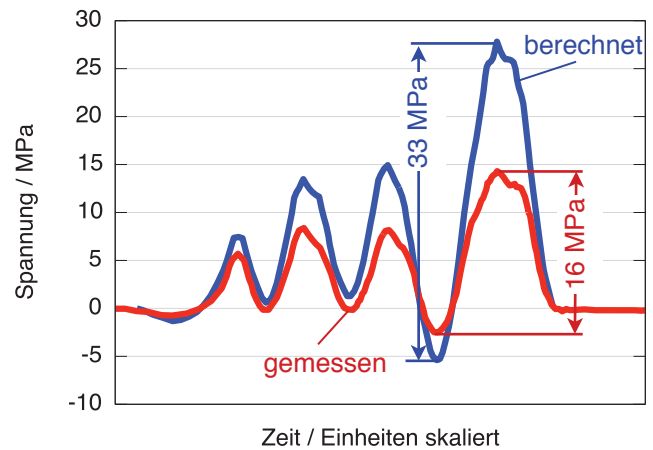


Die rechnerische Spannungsanalyse der Balkenträger hat an den Untergurten Maximalspannungen oberhalb des Schwellwertes der Ermüdungsfestigkeit ergeben [4].

spruchungszustandes. Damit folgen sie genau den Intentionen der Bewertungsstufe 4 der Bahn-Richtlinie 805. Demzufolge werden gerechnete und gemessene Spannungsverläufe verglichen. Die maximalen Spannungswerte erreichen 26 MPa in der Rechnung und 14 MPa in der Messung. Vergleicht man den maximalen Spannungsausschlag in der Rechnung mit den Dauerfestigkeitswerten für genietete Bleche im Fall einer reinen Zug-Schwell-Belastung (s. Wöhlerdiagramm,  $R=0$ ), so kann man feststellen, dass dieser Spannungswert tatsächlich zwischen der technischen Dauerfestigkeit und dem Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit liegt und die Ermüdungsfestigkeit um 20 % überschreitet. Daraus kann abgeleitet werden, dass die kritischen Brückenteile einer detaillierteren Analyse unterzogen werden sollten.

### **Messungen zeigen deutlich geringere Beanspruchungen als Rechnungen und lassen damit auf viel längere Restnutzungsdauern schließen**

In den Messungen wird jedoch klar ersichtlich, dass die Rechenmodelle die tatsächlichen Beanspruchungen im Material deutlich überschätzen. Der gemessene maximale Spannungsausschlag von nur 16 MPa würde deutlich unterhalb der Ermüdungsfestigkeit liegen. Wenn diese Ergebnisse richtig und für die Bewertung der Brücke relevant sind, würde sich von Seiten des Ermüdungsnachweises keine Einschränkung der Restlebensdauer ergeben.



Vergleich von berechneten und gemessenen Spannungsverläufen an einer Untergurttabelle bei Überfahrt eines Nahverkehrszuges [4]

Auch die Autoren der zitierten Studie kommen zu dem Schluss, dass eine „kombinierte Nachweisführung auf Bewertungsstufe 4 nach Richtlinie 805 sinnvoll und zielführend ist, da diese wirklichkeitsnah zu einer längeren Restnutzungsdauer des Bauwerks führt.“

### **Grenzen des Ermüdungsnachweises nach dem Wöhlerkonzept**

Selbst wenn sich bei einer tieferen Analyse zeigen sollte, dass die Brücke tatsächlich Probleme hinsichtlich der Ermüdungsfestigkeit aufweist, ließe sich allein aus diesem Grund noch nicht begründen, dass ein Abriss alternativlos wäre. Eine Brücke, die über 100 Jahre Dienst getan hat und während dieser Zeit sicher zwischen einer und 10 Millionen Lastzyklen ohne Ermüdungsschaden überstanden hat, hat praktisch - und nicht nur rechnerisch - nachgewiesen, dass ihre Konstruktion zumindest im Bereich der technischen Dauerfestigkeit ausgelegt ist. Erweitert man das Wöhlerkonzept zu Lasten unterhalb der technischen Dauerfestigkeit und zu Zyklenzahlen über 10 Millionen, so stellt sich die Frage der statistischen Absicherung des Wöhlerschaubildes.

Auf einem gegebenen Lastniveau liegt die Streubreite der Bruchlastspielzahl oft in der Größenordnung von einer 10er-Potenz. In der Umgebung der Dauerfestigkeit kann die Streuung auch weit darüber liegen, so dass sie mit vertretbarem Aufwand (zeitlichem Versuchsaufwand) nicht statistisch ausgewertet werden kann. Nach dem Wöhlerlinienkonzept ist die Aussage eines Befunds, nach

dem die Lebensdauer erreicht ist, nur darauf beschränkt, dass man einen Ermüdungsbruch in (beispielsweise) einer von hundert Proben nicht ausschließen kann. Auf eine Brücke übertragen, würde das bedeuten, dass man nicht ausschließen kann, dass in einer von hundert Brücken mit identischer Belastung Ermüdungsrisse auftreten. Das lässt aber kaum eine Aussage darüber zu, wie lange ein konkret gegebenes Bauteil der Belastung noch standhalten wird. Bei einer Lebensdauer von 100 Jahren und einer Streubreite der Bruchlastspielzahlen von einer Zehnerpotenz würde das bedeuten, dass ein Brückenbauteil nach 100 Jahren versagen könnte, ein anderes, identisches, aber erst nach 1000 Jahren!

### **Bruchmechanische Bewertungskriterien erweitern die Tragsicherheitsnachweise**

Mit der Bruchmechanik stehen den Ingenieuren Bewertungskonzepte zur Verfügung, die sich fundamental vom Ansatz der Ermüdungssicherheit unterscheiden. Ihre Anwendung hat sich in allen Bereichen des Maschinen- und Fahrzeugbaus, wie auch im Stahlbau durchgesetzt und ist ebenfalls Bestandteil von Normen wie der Bahn-Richtlinie 805. Ausgehend von der Erkenntnis, dass die Anwesenheit von Rissen nicht zwangsläufig zum Versagen einer Struktur führen muss, fragt die Bruchmechanik danach, wie groß die maximal zulässige Belastung sein darf, bzw. wie groß ein vorhandener Riss sein darf, damit kein katastrophales Versagen eintritt.

Die Bruchmechanik hat insbesondere im Fall ihrer Anwendung auf Ermüdungsrisse im statistisch schlecht abgesicherten Beanspruchungsbereich unterhalb der Dauerfestigkeit verschiedene Vorteile. Die Bildung von Ermüdungsrisse ist ein statistisches Ereignis mit sehr großer Streubreite. D.h. es kann kaum vorhergesagt werden, an welcher Stelle im Material sich wann ein Ermüdungsrisse bilden wird. Dazu spielen hier die bereits angesprochenen Fragen der Werkstoffqualität eine große Rolle. Wenn ein Ermüdungsrisse aber vorhanden ist, kann seine Ausbreitung sehr sicher vorausberechnet werden. Damit schränken sich die Probleme der statistischen Unsicherheiten stark ein. Es ist hier

wichtig zu bemerken, dass sich das Wachstum eines Ermüdungsrisse fundamental von einem Spröbruch bei statischer Überlast unterscheidet.

### **Ohne Anriss kein Ermüdungsbruch**

Aus dieser Betrachtung können wir zwei Schlussfolgerungen ableiten:

1. ein Bauteil, das keinen Ermüdungsrisse enthält, erleidet auch keinen Ermüdungsbruch, d.h. ohne Fehler kein Versagen, unabhängig davon ob die nominelle Lebensdauer erreicht ist oder nicht.
2. Um die Sicherheit eines Bauteiles mit einem Ermüdungsrisse nachzuweisen, ist es notwendig zu zeigen, dass der Risse keine kritische Größe erreicht.

Dabei ist es von Vorteil, aber nicht alleinige Voraussetzung, dass das Vorhandensein von Rissen zuverlässig geprüft werden kann. Es ist ebenfalls üblich, zu fragen, wie groß ein Risse sein könnte, der bei einer Inspektion übersehen wurde und darauf aufbauend den bruchmechanischen Sicherheitsnachweis zu führen. Weiterhin können daraus die notwendigen Inspektionsintervalle definiert werden.

### **Genietete Strukturen sind schadenstolerant**

Bei der abschließenden Bewertung der werkstoffmechanischen Befunde ist es weiterhin notwendig und für eine günstige Prognose der Restnutzungsdauer hilfreich, die spezifischen Eigenheiten einer genieteten Struktur zu betrachten. Insbesondere die Tatsache, dass Risse sich zunächst nur innerhalb eines Bauteiles ausbreiten können, liefert hier zusätzliche Sicherheit. Ein Risse in einer Untergurtlamelle breitet sich zunächst auch nur in der Untergurtlamelle aus und wächst nicht in den Steg des Trägers hinein. Zudem ist bekannt, dass bei solchen genieteten Strukturen die Risse immer vom Nietloch ausgehen und sich in Richtung der Außenkante ausbreiten. Kritisch wären jedoch vor allem Risse, die senkrecht zur Hauptzugspannungsrichtung und in das Innere der Struktur wachsen.

Und im Falle, dass tatsächlich ein Untergurt gerissen wäre, ist das ein Bauteil, welches sich relativ leicht austauschen ließe.

## Schlussfolgerungen

Der vorliegende Diskussionsbeitrag hat das Ziel, den veröffentlichten Wissensstand zur Restnutzungsdauerprognose zum Eisenbahnviadukt über die Annaberger Straße in Chemnitz einzuordnen und zu diskutieren.

Zusammenfassen können folgende Punkte festgehalten werden:

1. Das Chemnitzer Eisenbahnviadukt ist ein technisches Denkmal von hohem Rang und besonderer Bedeutung.
2. Die Deutsche Bahn ist als Eigentümer in der Pflicht, ein Denkmal zu erhalten, wenn es zumutbar ist.
3. Die Deutsche Bahn stellt einen Abriss und Neubau als alternativlos hin und begründet diese Haltung mit der schlechten Stahlqualität und dem Alter der Brücke. Diese Position hat keine wissenschaftliche Grundlage.
4. In einer wissenschaftlichen Veröffentlichung [4] wurde festgestellt, dass die berechnete Beanspruchungen an kritischen Stellen auf eine geringe Restnutzungsdauer schließen lässt. Gleichzeitig wird bestätigt, dass Messungen der tatsächlichen Beanspruchung zu deutlich geringeren Spannungen führen.

5. Geringe Änderungen in der Beanspruchung führen zu großen Änderungen der Restnutzungsdauer.
6. Die Ergebnisse werfen die Frage auf, ob Ermüdung tatsächlich ein relevantes Problem für die Brücke darstellt.
7. Die Kombination von Messung und Rechnung wird auf eine deutlich verlängerte, wenn nicht sogar unbegrenzte Restnutzungsdauer führen.
8. Ohne Anriss gibt es keinen Bruch!
9. Selbst wenn Ermüdung und damit die Bildung von Ermüdungsrissen ein relevantes Problem für die Brücke darstellen, kann damit ein Abriss noch nicht begründet werden. Bruchmechanische Konzepte können die Tragsicherheit von gerissenen Strukturen nachweisen.
10. Genietete Konstruktionen sind schadens-tolerant und können im Schadensfall repariert werden.
11. In der Fachliteratur wurde an verschiedenen Beispielen gezeigt, dass eine moderne Verkehrsinfrastruktur, Denkmalschutz, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit vereinbar sind.
12. Diese Betrachtungen bestätigen die Auffassung, dass der Abbruch genieteter Eisenbahnbrücken nur selten begründbar ist!

## Literatur

- [1] E. Brühwiler, Neuartiger Umgang mit genieteten Bahnbrücken. *Der Eisenbahningenieur* **63** (2012), S. 10-13
- [2] B. Kühn et al., *Assessment of Existing Steel Structures: Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life*. JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23252 EN 2008
- [3] Richtlinie 805 - Tragsicherheit bestehender Brückenbauwerke, DB Netz AG, 2002
- [4] S. Marx, R. Stein, G. Bolle, Monitoring-gestützte Bauzustandsbeurteilung am Beispiel historischer stählerner Eisenbahnbrücken, 33. *Darmstädter Massivbauseminar - Zukunftsfähiges Planen und Bauen: Tragwerksplanung in der Denkmalpflege*, 2009
- [5] R. Helmerich, *Alte Stähle und Stahlkonstruktionen - Materialuntersuchungen und Ermüdungsversuche an originalen Brückenträgern und Messungen von 1990 bis 2003*. BAM Forschungsbericht 271, 2005