

# **Beitrag zur Risikobeurteilung von alten Brücken unter Schiffsanprall**

Von der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden  
zur Erlangung der Würde eines Doktor – Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte

Dissertation

vorgelegt von  
Dipl.-Ing. Dirk Proske

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach  
Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Graße  
Prof. Dr.-Ing. Balthasar Novák

Tag der Verteidigung: 26. Juni 2003

## Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine Aussage zur Sicherheit alter Brücken über Binnenschiffahrtsstraßen in Deutschland bei einem möglichen Schiffsanprall.

Dazu wurden zwei alte Brücken, eine Natursteinmauerwerk-Bogenbrücke mit einem Alter von ca. 130 Jahren und eine Stahlfachwerkbrücke mit Natursteinpfeilern und einem Alter von ca. 110 Jahren ausgewählt und ausführlich untersucht. An beiden Bauwerken erfolgte eine Bauwerkserkundung. Die bei der Bauwerkserkundung gewonnenen Materialproben wurden für materialtechnische Untersuchungen verwendet. Damit standen Eingangsgrößen für eine rechnerische Modellierung eines Schiffsanpralles gegen die Brücken zu Verfügung.

Sowohl die Einwirkung auf die Brücken in Form eines Schiffsanpralles als auch die Beschreibung der Widerstandsseite, also der Brücken, sind jedoch mit Unsicherheiten behaftet. Diese Unsicherheiten wurden statistisch beschrieben. Das umfaßte Angaben zur Anprallhäufigkeit und Anprallkraft und zu einigen Material- und Geometrieparametern an den Brücken. Die statistischen Angaben zu den brückenbezogenen Parametern basieren ebenfalls auf den gewonnenen Materialproben. Die Angaben zur Einwirkung basieren auf verschiedenen Quellen und ausgewerteten Daten. Zusätzlich erfolgte ein Vergleich zwischen den ermittelten Anprallkräften und den normativen Bemessungswerten für Schiffsanprallkräfte.

Basierend auf dem deterministischen FE-Modell und der deterministischen dynamischen Berechnung der Brücken für eine Anpralllast erfolgte eine Erweiterung des verwendeten FE-Programms ANSYS, um die streuenden Größen in Form einer probabilistischen Berechnung mit dem Ziel der Ermittlung der operativen Versagenswahrscheinlichkeit zu berücksichtigen. Dazu wurden verschiedene Verfahren (FORM, SORM, Importance Sampling) in Verbindung mit dem quadratischen Antwort-Flächen-Verfahren in das Programm integriert.

Die probabilistischen Berechnungen umfaßten überwiegend den Nachweis des Schubversagens der Mauerwerkspfeiler. Neben dem vorgefundenen Zustand wurden die Berechnungen ebenfalls für verschiedene Verstärkungsvarianten der Brücken durchgeführt. Die Berechnungen zeigten, daß die Zielwerte der Sicherheit in Form der operativen Versagenswahrscheinlichkeit bei der Stahlfachwerkbrücke im vorgefundenen Zustand deutlich nicht eingehalten sind. Bei der Bogenbrücke ist die Überschreitung der Zielwerte als gering anzusehen. Aus diesem Grund wurde versucht, den Sicherheitsnachweis zu erweitern. Dazu wurden verschiedene Risikonachweisparameter ( $F-N$ -Kurven, Verlorene Lebensjahre, Lebensqualitätsindex) diskutiert. Es stellte sich dabei heraus, daß das notwendige Investitionsmaterial zur Sicherstellung eines akzeptablen Risikos für die Bogenbrücke gering ist.

Es kann abschließend festgestellt werden, daß die Sicherheit von alten Brücken unter Schiffsanprall in Deutschland unter Umständen nicht dem geforderten Sicherheitsniveau entspricht und Verstärkungs- oder Schutzmaßnahmen notwendig sein können. Die Anzahl der Brücken, bei denen eine Verstärkung notwendig erscheint, wird auf 30 bis 50 geschätzt.

## **Abstract**

The following paper describes the investigation of two old bridges spanning over inland waterways in Germany under possible impact from vessels. Both the number of vessel impacts against bridges in Germany and the structural description of the bridges have been thoroughly dealt with. The investigation is based on probabilistic calculations which take into consideration the uncertainty of a possible impact and the uncertainty of material parameters of the old bridges. To carry out the probabilistic calculation several methods were included in an existing classical FE code (FORM, SORM, Importance Sampling, Response-Surface-Methodology). The FE-calculation has been done with a dynamic model with a time-force-function. The limit state function was mainly based on the shear failure of the impacted piers of the bridges.

The results are presented in terms of failure probability for the original bridges and additional strengthening solutions. Several terms of risk have also been discussed and the according values for the bridges are shown. In general it can be stated, that old bridges might be in danger under impact and strengthening actions might be required for some. The overall number of bridges in Germany where this is the case is assumed to be between 30 and 50.

## Thesen

1. Auf den Binnenschiffahrtsstraßen in Deutschland ist ein Trend zu größeren und damit schwereren Schiffen erkennbar.
2. Die Bemessungsanprallkraft von Binnenschiffen hängt von der Masse der Schiffe ab. Eine Veränderung der Flottenstruktur zu schwereren Schiffen müßte zu einer Erhöhung der Bemessungsanprallkraft führen. Im Gegensatz dazu fallen die Bemessungskräfte.
3. Die Häufigkeit von Schiffsanprallen gegen Brücken unterlag in den letzten Jahren und Jahrzehnten Schwankungen. Die vorliegenden Daten zeigen eine Zunahme der Anpralle in den letzten Jahren im Bereich des Straßenbauamtes Würzburg.
4. Alte Brücken sind nicht für heutzutage übliche Anprallkräfte bemessen. Auf herkömmliche Form sind die Standsicherheitsnachweise dieser Brücken bei einem Anprall oft nicht zu erbringen. Ein Nachweis mittels probabilistischer Berechnungen erscheint dann sinnvoll, insbesondere auch, weil die Anprallwahrscheinlichkeit explizit mit berücksichtigt werden kann.
5. Die erforderliche Sicherheit im Sinne eines probabilistischen Nachweises ist bei den beiden untersuchten Brücken nicht eingehalten. Allerdings sind die Überschreitungen bei der Bogenbrücke als gering anzusehen.
6. Unter außergewöhnlichen Einwirkungen werden Risikoanalysen von Bauwerken normativ gestattet (DIN 1055-9). Die Ausführung ist weder im Detail normativ geregelt, noch vermutlich juristisch abgesichert. Weitere Regelungen sind notwendig, wenn derartige Untersuchungen durch Ingenieure angewandt werden sollen.
7. Der insbesondere bei der Risikoanalyse verwendete Lebensqualitätsindex ist einfach zu verwenden und könnte normativ aufgenommen werden, so daß das unter Punkt 6 genannte Problem gelöst wäre.
8. Die Risikountersuchungen der behandelten Brücken zeigt, daß Verstärkungen erforderlich sind. Diese Tatsache wird auch für vergleichbare Brücken gelten. Damit erscheint eine Prüfung alter Brücken auf diese Einwirkung notwendig.
9. Risikountersuchungen sind nur *ein* Mittel zur Beurteilung von Gefahren.
10. Die Beurteilung von akzeptablen Risiken ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe.

## **Theses**

1. On German inland waterways a tendency to heavier vessels has been found.
2. The design impact force for inland waterway vessels depends on the mass of the vessels. A change of the fleet formation towards heavier vessels should lead to an increase in the design force. In contrary the design forces have been fallen over the last few years.
3. The frequency of vessel impacts against bridges has shown a wide variability in history. Recent data shows an increase in the number of vessel impacts against bridges in the Würzburg Department of Highways and Bridges area.
4. Old bridges were not designed for the vessel impact forces that are now present. Proofs suggest that the stability of such bridges under impact may fail. Proof by means of probabilistic calculations appears then meaningful, as the probability of impact causing failure can be explicitly included.
5. The required safety for the investigated bridges could not proven in terms of probability of failure. The exceedance for the arch bridge were nevertheless rather low.
6. The new code of practice DIN 1055-9 permits risk analysis for structures under accidental loads. Unfortunately the details are not incorporated into the code. Additionally the juristic background has not been clarified. Further regulations are required if risk analysis for civil engineering structures are to be used by engineers.
7. The so-called life quality index might be a basis for standard regulations.
8. Even the risk analysis indicates a strengthening of the investigated bridges for vessel impact load case and will also be valid for comparable bridges. In general, the safety of old bridges under vessel impact can not be taken for granted.
9. Risk analysis is only one method to estimate danger.
10. The judgment of acceptable risk is a social problem and should be discussed by society.