

Stadtratsbeschluss zur Sanierung der Steinernen Brücke

Drucksachennummer: 04 03/0029-65
Berichterstattung: Planungs- und Baureferent Dr. Günter Stöberl
Zuständiges D/R/Amt: Tiefbauamt
Tagesordnungspunkt: .
Beschlussvorlage für Ausschuß für Stadtplanung, Verkehr und Wohnungsfragen
zur öffentlichen Sitzung am 01.04.03

Gegenstand:

Behutsame Instandsetzung der Steinernen Brücke; Bericht zum Stand der durchgeführten Untersuchungen und Maßnahmen sowie Überlegungen zur Instandsetzung

- ▶ **Beschlussvorschlag**
- ▶ **Sachverhalt - Bisherige Untersuchungsergebnisse**
- ▶ **1.1 Denkmalpflegerische, naturwissenschaftliche Untersuchungen**
- ▶ **1.2 Statisch-konstruktive Untersuchungen**
- ▶ **1.3 Erkundungsbohrungen**
- ▶ **Ergebnis des Expertentreffens im Mai 2001**
- ▶ **3. Musterhafte Instandsetzung ausgewählter Brückenbögen (Bogen 14)**
- ▶ **4. Stellungnahme Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege**
- ▶ **5. Möglicher Ablauf einer Instandsetzung**
- ▶ **6. Stand des Förderprojektes**

(Bitte beachten Sie den ▶ **Hinweis zu den Anlagen**)

Beschlußvorschlag:

Vom Bericht der Verwaltung über die in den letzten Jahren durchgeführten Untersuchungen und Überlegungen zur Instandsetzung der Steinernen Brücke wird Kenntnis genommen.

Sachverhalt:

Bisherige Untersuchungen - Ergebnisse

In einer ausführlichen Beschlussvorlage wurde dem Ausschuss für Stadtplanung, Verkehr und Wohnungsfragen am 5. November 1996 ein Bericht über den Bauzustand, die bereits durchgeführten und noch geplanten vorbereitenden Untersuchungen zur Instandsetzung der Steinernen Brücke sowie über das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderte Modellprojekt "Behutsame Instandsetzung der Steinernen Brücke" gegeben.

Begleitet von einer Arbeitsgruppe unter Federführung des Tiefbauamtes und mit Beteiligung und Beratung des Bayer. Landesamtes für Denkmalpflege, von Spezialfachbüros auf dem Gebiet der Natursteintechnik, für Natursteinuntersuchungen und für zerstörungsarme Prüfmethode des Natursteins wurden die damals beschriebenen denkmalpflegerischen, naturwissenschaftlichen, steintechnischen, statisch-konstruktiven Untersuchungen mit finanzieller Unterstützung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in den vergangenen Jahren weitergeführt.

Die Arbeiten haben zwischenzeitlich ein Ergebnis erreicht, über das dem Ausschuss und der Öffentlichkeit berichtet werden soll.

1.1 Denkmalpflegerische, naturwissenschaftliche Untersuchungen

Das Untersuchungsprogramm an ausgewählten Musterbögen unterschiedlicher Bauepochen sah folgende Leistungen mit folgendem Ergebnis vor:

a) Steintechnische Untersuchungen

- Steintechnische Kartierung
- Entfernung von früheren Mörtel- und Steinersatzantragungen und loser Teile
- Feststellung mechanischer Steinschäden (z.B. durch Schalenbildung)
- Öffnen der Fugen zur Untersuchung der Fugenstruktur
- Erforschen der Steindicken und Feststellen von Rissen und der Dichte des Fugenmörtels durch endoskopische Untersuchungen
- Skizzieren der Untersuchungen und Anfertigung von Schnittzeichnungen
- Fotodokumentation und Untersuchungsbericht

Ergebnisse:

Die steintechnische Kartierung hatte zum Ziel, unter den Zementantragungen den Zustand des jeweiligen Steines zu erforschen. Die teils losen früheren Mörtel- und Steinersatzantragungen wurden größtenteils entfernt, zum Vorschein kommende Schadensbilder wurden aufgenommen wie Ziegelausmauerungen, Stahlgewebematten zum Teil mit Ausmauerung und Befestigungshaken, ferner offene Fugen und Risse.

Nach Öffnen der Fugen wurde festgestellt, dass das Fugenmaterial weich und stark durchfeuchtet ist. Der äußerlich harte und dichte Fugenmörtel bildet eine Sperre für das Wasser im Mauerwerk und sorgt dafür, dass das Mauerwerk nicht austrocknen kann.

Anhand von Bohrungen und anschließend der endoskopischen Untersuchung wurde versucht die Steindicken der Bogensteinquader empirisch festzustellen, um die Ergebnisse der zerstörungsfreien Untersuchungen überprüfen sowie die statisch wirksame Bogenstärke annähernd bestimmen zu können. Eindeutig definierbare Steindicken betragen 40 bis 60 cm.

b) Laboruntersuchungen des Natursteins

(Anlage)

- Kartierung der Natursteinvarietäten nach unterschiedlichen Kriterien und Merkmalen
- Kernbohrungen an unterschiedlichen Gesteinstypen zur Bestimmung von den Gesteinskenndaten, Feuchtegehalt und Versalzung.
- Laboruntersuchungen zur Frage der Konservierbarkeit der Sandsteine (Steinfestiger, Steinersatzstoff) und zur Auswahl von Fugen- und Restaurierungsmörtel.

Ergebnisse:

Die Steinoberflächen (Ansichten, Untersichten) der ausgewählten Joche und Pfeiler wurden Stein für Stein aufgenommen (Lithologische Kartierung). Dadurch ließen sich die unterschiedlichen Gesteinsarten (Varietäten), ihr Sedimentsgefüge und der Schadenszustand (Verwitterungsformen, Reliefbildung, Risse, Ausbrüche) der Natursteine feststellen. Zusätzliche Bohrkerne an ausgewählten Steinen bildeten die Grundlage für die weitere Analyse des Natursteins im Steinlabor.

In den untersuchten Musterbögen dominieren die verschiedenen Arten des Regensburger Grünsandsteines, im Bereich der Pfeilerbasis der Kalkstein. Die gesteinsphysikalischen Daten (Edyn, Porosität, Rohdichte, w-Wert) und die mineralischen Bestandteile der Grünsandsteine schwanken stark. Diese

beeinflussen das Auswitterungsverhalten, die Feuchteaufnahme und -abgabe. Bei der Schadenskartierung wurden die flächig und punktuell auftretenden Salzvorkommen und schwarzen Krusten aufgenommen sowie mechanische Beschädigungen und Rissspuren. Es überwiegt die Reliefbildung an der Gesteinsoberfläche durch die aktiven Verwitterungsprozesse sowie die oberflächlich dunkel gefärbten Gipskrustenbildungen.

Als Hauptbestandteil der Salzbelastung an den Bogensteinen tritt Steinsalz auf, das vorzugsweise an der porösen Gesteinsoberfläche sowie an den Fugen flächig und punktuell auskristallisiert. Die Natriumchlorid-Belastung der Fugen nimmt nur langsam ins Innere ab.

Im Rahmen der Instandsetzung ist die Konservierung der Natursteinoberfläche durch eine Steinfestigung vorgesehen. Der Erfolg hängt wesentlich von der Porosität und Kapillarität der Natursteine (Saugfähigkeit des Steines) ab. Er wird entscheidend von der Feuchtigkeit und Salzbelastung im Naturstein beeinflusst. Die Untersuchungen ergaben, dass ein ausreichender Festigungserfolg am trockenen Naturstein mit herkömmlichen Marktprodukten möglich ist. Bei einer gelösten Salzbelastung im Porenraum ist keine wirksame Festigung möglich. Vor einer Steinfestigung soll der Salzgehalt z.B. durch Salzkompressen reduziert werden.

c) Zerstörungsarme Untersuchungen des Natursteins

(Anlage)

- Einsatz von Radar
- Einsatz von Mikroseismik an der Oberfläche und im Bohrloch
- Anwendung von Ultraschall
- Anwendung der Widerstandselektrik
- Tomographie mit Hilfe von Radar, Mikroseismik, Ultraschall und Widerstandselektrik zur Struktur und Zustandsuntersuchung des Natursteins
- Forschung und Entwicklung zerstörungsarmer Untersuchungsmethoden

Ergebnisse:

Mit der Widerstandselektrik und den Reflexionsradarmessungen konnte man ohne Zerstörungen des Bauwerkes in das Innere der Brücke bis zu einer Tiefe von 1,50 bis 2,0 m schauen.

Durch das flächige Abfahren der Steinoberflächen konnte über die Abbildung unterschiedlicher Reflexionshorizonte (Radargramme) Bereiche an den untersuchten Brückenjochen erkannt werden, die einen Materialwechsel, Schalenablösungen oder unterschiedliche Feuchte- und Salzgehalte aufweisen. Es hat sich insbesondere gezeigt, dass die Feuchte- und Salzbelastung im Bereich einer 20 cm starken Verwitterungsschicht an der Oberfläche am höchsten ist und deutlich schwankt. Auch die Grenze zwischen Außenschale und der Brückenfüllung konnte in den Radargrammen erkannt werden, ebenso wie im Bereich der Fahrbahn der Wechsel zwischen den alten (Mauerwerk) und neuen Materialien (Beton) sowie die eingebauten Leitungen. Über die elektrische Widerstandsmessung wurden die Ergebnisse der Radarmessung bestätigt.

Mit der Seismiktomografie konnte man Ergebnisse zur Materialfestigkeit sowie zu strukturellen Aufbau des untersuchten Querschnittes erhalten. Über die farbig dargestellte Wellengeschwindigkeit lassen sich qualitative Aussagen über die Festigkeit des Mauerwerks treffen.

Mit der Radartomografie konnte eine quantitative Aussage zum Feuchtegehalt eines Pfeilers getroffen werden.

Mit einer linienhaften Reflexionsradarmessung wurde die Einbindetiefe der äußeren Mauerquadersteine (Bögen, Stirnmauern) und die Grenze zur gemauerten Kernfüllung bestimmt. Sie bildet den statisch wirksamen Querschnitt. Bei dem untersuchten Joch beträgt die Stärke der äußeren Steine 65 bis 85 cm, bei dem Pfeiler 30 bis 50 cm. Auch eine Verzahnung durch die unterschiedlichen Steinstärken der Außenschale mit dem Kernmauerwerk wird erkennbar. Die Messungen wurden durch Bohrungen und eine endoskopische Betrachtung in

etwa bestätigt.

Mit der Bohrlochseismik konnte die Qualität der Innenfüllung eines Pfeilers bestimmt werden. Die Materialqualität nimmt von oben nach unten zu.

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

Die zerstörungsfreien Untersuchungsmethoden können zur Beurteilung des aktuellen Bauzustandes der Steinernen Brücke erfolgreich eingesetzt werden. An dem untersuchten Pfeiler und anschließenden Jochen wurden hinter der Außenschale Bereiche mit strukturellen Veränderungen wie Schalenablösungen oder Materialwechsel ermittelt. Die Einbindetiefe der äußeren Steine konnte zuverlässig bestimmt werden. Des Weiteren wurden Bereiche erhöhter Feuchte- und Salzgehalte diagnostiziert. Es wurde festgestellt, dass das Innere des Pfeilers nicht homogen ist. Veränderungen der Materialqualität bzw. Festigkeit der Innenfüllung wurden ermittelt. Die gemessenen Informationen wurden durch gezielte Bohrungen geeicht.

1.2 Statisch-konstruktive Untersuchungen

a) Untersuchung Flusssohle und der Gründung

(Anlage)

Im Jahr 1997 und im Jahr 1999 wurde mit neuesten Mess- und Peilmethoden eine hydrographische Vermessung der Donau ober- und unterhalb der Steinernen Brücke längs und quer zum Fluß durchgeführt. Die Aufnahmen (s. Anlage) gaben Aufschluss über die Tiefenlage des Flussbettes, wo im Bereich der Pfeiler und Beschlächte die Fließgeschwindigkeit der Donau besonders hoch ist und der Gründungkörper der Brücke am stärksten beansprucht wird (Ausolkungen!).

Folgende Tiefenlagen wurden festgestellt:

Tiefe Süddarm im Brückenbereich:	3-5 m
Tiefe Nordarm im Brückenbereich:	0,5-4 m
Tiefe im Bereich der Strudel (Unterstrom):	ca. 8 m

Oberhalb der Brücke ist die Flusssohle relativ eben. Sie fällt zu den Beschlächten hin bis zu 2 m ab. Zwischen und entlang den Beschlächten sind durch die hohe Fließgeschwindigkeit leichte Ausolkungen entstanden, die beobachtet werden.

Durch den massiven Baukörper der Brücke mit ihren relativ schmalen Durchflussöffnungen staut sich die Donau Oberstrom auf. Zum Untersuchungszeitpunkt betrug der Aufstau ca. 30 cm, bei Hochwasser bis über einem Meter.

Im Bereich des Altwassers und des Nordarms wurden keine Auffälligkeiten in der Flusssohle mit Auswirkungen auf das Bauwerk beobachtet.

b) Konstruktion und Abdichtung der Steinernen Brücke

Die Recherchen anhand vorhandener Unterlagen machen deutlich, dass die Steinernen Brücke in den letzten 50 Jahre die größten Veränderungen und Wunden an ihrer Konstruktion erfahren hat. War die Sprengung der Bögen I und II sowie der Bögen IX und X Ende des zweiten Weltkrieges die größte Zerstörung und Barbarei an diesem Kulturdenkmal, so waren die Gründungssicherungsmaßnahmen von 1951 bis 1961 die wichtigste Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit und damit auch zum Erhalt der Steinernen Brücke.

Die großen Schäden am Bogenmauerwerk wurden im Zuge der Teilerneuerung in den 60er Jahren beseitigt und die gesprengten Bögen wieder hergestellt. Wohl aus finanziellen Gründen wurde das Natursteinmauerwerk damals nicht steinmetzmäßig instandgesetzt, sondern durch Ausbesserungen und Antragungen in Mörteltechnik. Besonders nachteilig wirkte es sich für das Bauwerk aus, dass keine wirksame Abdichtung eingebaut wurde und mit dem Beton und Zement ein völlig fremdes Material an einer Natursteinbrücke verwendet wurde, das nicht

beständig ist bei Wasser- und Schadstoffzutritt, sodass die heutigen Schäden an der Brücke vorprogrammiert waren.

Wichtigstes Ziel bei einer zukünftigen Instandsetzung der Steinernen Brücke ist eine vollständige Erneuerung der Brückenoberfläche einschließlich der Brüstungselemente, wenn möglich nach historischem Vorbild, und die Herstellung einer funktionierenden Abdichtungsebene mit den entsprechenden Einläufen und Leitungen. Dazu wurden entsprechende Vorschläge (s. Abbildung) skizzenhaft erarbeitet:

c) Erschütterungsmessungen

Anlässlich des Expertentreffens im Mai 2001 wurde von den beteiligten Fachleuten die Empfehlung u.a. zu dynamischen Messungen an der Steinernen Brücke ausgesprochen. Diese wurden an den Musterbögen IX und XIV durchgeführt mit dem Ziel, insbesondere die dynamische Beanspruchung des historischen Mauerwerkes aus dem Busverkehr abschätzen zu können

Ergebnisse

Die aktuellen Belastungen aus dem Busverkehr erzeugen noch für das Bauwerk verträgliche Schwingungen; die Maxima der Beanspruchung treten auf der Brückenoberfläche weniger am Bogenscheitel auf;

Die Schäden am Bauwerk mit den nach außen gedrückten Brüstungselementen und den darunterliegenden Steinreihen dürften auch die Folge der Wiederkehr von stärkeren dynamischen Beanspruchungen (Bremskräften!) in der Vergangenheit sein, insbesondere durch ein Belastungskollektiv von größeren Fahrzeugen.

d) Statik und Tragverhalten der Steinernen Brücke

(Anlage)

Das Tragverhalten einer Natursteingewölbebrücke wird bestimmt von der Spannweite, der Bogenform und -dicke und dem verwendeten Material. Das Mauerwerk einer Steinbrücke besitzt nahezu keine Zugfestigkeit. Der tragende Bogen trägt die maßgebenden schweren Lasten aus dem Eigengewicht vor allem über Druck an die Auflager ab. In Querrichtung des Bogens entstehen jedoch auch Biegungs- und Schubkräfte. Die Druckkraft verläuft bei einem idealem Bogen im Zuge der sog. Stützlinie, wo der Bogen am stärksten auf Druck und am geringsten auf Biegung beansprucht ist. Die Stützlinie muss innerhalb des Bogenquerschnittes verlaufen, ansonsten versagt dieser oder es entstehen Risse, Kantenabplatzungen an den Steinen und der Mörtel wird aus der Fuge gedrückt.

Folgende geometrischen, statisch-konstruktiven und bauphysikalischen Eigenschaften sowie die Verkehrsnutzung einschließlich der Umweltbedingungen beeinflussen das Tragverhalten der Steinernen Brücke:

Geometrie

Die Fahrbahn (Längsachse des Tonnengewölbes) verläuft nicht senkrecht zu den Lagerfugen des Bogenmauerwerkes und zum Bogenwiderlager. Da die Achse nicht rechtwinkelig ausgerichtet ist, ergeben sich besondere Beanspruchungen quer zur Bogenachse.

Konstruktion

Die handwerkliche Konstruktion eines Bogens ist sehr unterschiedlich. Die Bögen erkennt man auf beiden Seiten als besonders sorgfältig aus großen Quadersteinen im Verband mit den Außenwänden hergestellte Wandscheibe. Im Vergleich dazu weist der eigentliche "innere" Bogen eine geringere Bauhöhe und eine geringere Ausführungsqualität auf. Infolgedessen sind die Seitenwände der

Brücke steifer als das eigentliche mittlere Gewölbe mit der Folge, dass sich steife Bauteile weniger verformen als weiche, jedoch um so mehr die Last anziehen. Wenn sich nun die beiden Bauteile unterschiedlich verformen, können sie voneinander abscheren. Es entstehen die sog. Stirnringrisse zwischen der äußeren Mauerwand und dem Gewölbe, wie sie verschiedentlich erkennbar sind.

Busverkehr

Die täglich ca. 300 Busse stellen eine erhebliche statische Belastung für die sensible und durch Risse im Mauerwerksgefüge geschwächte Konstruktion dar. Die begegnenden Busse weichen seitlich aus und queren dabei mit den Rädern die Längsrinnen der Fahrbahn direkt über dem Übergang zwischen der unterschiedlich steifen Bogenkonstruktion. Es wirken seitliche Stoß- und Bremskräfte, die wie erkennbar die oberen Steinlagen der beiden äußeren Wandscheiben mit der Zeit nach außen gedrückt haben.

In den beiliegenden Anlagen sind die tatsächlichen Belastungen durch die Fahrzeuge mit den höchsten Achslasten dargestellt. Der Vergleich zeigt, dass sich der Busverkehr auf Bögen mit erhöhter Spannweite erheblich extremer auf die Beanspruchungen auswirkt als auf Bögen mit kleiner Spannweite. Wirken dabei die Druckkräfte nicht zentrisch im tragenden Bogen sondern versetzt, wird das Mauerwerk durch Rissbildung und Steinabplatzungen sehr hoch beansprucht. Im schlimmsten Fall kann dies zum Einsturz des Bogens führen.

Umwelt

Die Steinernen Brücke ist in besonderer Weise auch den Umwelteinflüssen ausgesetzt. Bei Regen schützt kein Dach oder eine Abdichtung die gemauerten Wände. Mit dem Wasser dringen Salze (nicht nur durch Streusalz!) in das Gefüge ein. Auskristallisierende und wieder in Lösung gehende Salze zermürben Steine und Fugenmörtel. In der kalten Jahreszeit bewirken Wasser und Frost Eissprengungen. Auch ein Normalwasserstand oder ein Hochwasser der Donau stellen einen Belastungszustand für die Brücke dar. Feuchte und Wasser kann über die Poren des Natursteinmauerwerks kapillar aufsteigen oder es wird bei hohem Wasserstand in die Risse, offenen Fugen und Klüfte gedrückt.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der örtlichen Untersuchungen und der bisher erfolgten statischen Eingrenzungen und Überlegungen, dass die Schäden im Bereich der sichtbaren Brückenfassade und die Unregelmäßigkeiten im inneren Bau- und Traggefüge der Brücke in einem engen Zusammenhang stehen. Vor weitergehenden statischen Untersuchungen kann schon jetzt gesagt werden, dass die dynamischen Beanspruchungen für die in ihrer wesentlichen Substanz mittelalterliche Natursteingewölbebrücke unverträglich sind.

1.3 Erkundungsbohrungen

Über das Ergebnis der Erkundungsbohrungen wurde in der Beschlussvorlage vom 5. November 1996 berichtet.

Ergebnis des Expertentreffens im Mai 2001

Es war eine Auflage des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projektes, die Ergebnisse der an der Steinernen Brücke durchgeführten Untersuchungen und die mit einer denkmalgerechten Instandsetzung zusammenhängenden Fragen anlässlich eines international besetzten Expertentreffens zu diskutieren mit dem Ziel, Ideen und Anregungen von Fachleuten aus den unterschiedlichen Fachbereichen zu erhalten.

Das Expertentreffen wurde am 22./23. Mai 2001 durchgeführt. Insgesamt nahmen 30 Personen aus Deutschland, der Schweiz, aus England und aus Italien an der Veranstaltung teil.

Die Beratungen kamen zu folgendem Ergebnis:

- Die durchgeführten Untersuchungen als Grundlage für das Verständnis des Bauwerkes werden im Hinblick auf die zukünftigen Maßnahmen sehr positiv beurteilt.
- Die Stadt Regensburg muss über die zukünftige Verkehrsfunktion der Steinernen Brücke (ob weiterhin Bustrasse oder nur noch Fußgänger- und Radverkehr) eine grundlegende Entscheidung als Voraussetzung für den Aufwand bei der Instandsetzung treffen.
- Die bisherigen Aussagen zur Statik und Standsicherheit sind noch zu vertiefen:

Dies gilt für die regelmäßige Kontrolle der Gründung, die Erfassung und Interpretation der vorhandenen Risse und Rissverläufe, die Kartierung der Verformungen und die Messung der Bewegungen durch statische und dynamische Belastungen.

- Alle nicht bauwerksverträglichen Materialien (z.B. Zementmörtel, Zementverfugungen, Stahlgewebe) und nicht denkmalgerechten Fremdkörper und Einbauten (Leitungskabel, Schächte, Sprengkammern) sind zu entfernen.

3. Musterhafte Instandsetzung ausgewählter Brückenbögen

3.1 Versuchsfläche Bogen XIV

► Bildmaterial

Ein abschließendes Ziel war es nun, die vielfältigen Ergebnisse der langjährigen Untersuchung exemplarisch in ein konkretes Instandsetzungskonzept am historischen Brückenbauwerk umzusetzen.

Dieses sieht vor, dass zunächst in einem ersten Schritt an den für die verschiedenen Untersuchungen ausgewählten Musterbögen unterschiedlicher Bauepochen die Methoden einer denkmalgerechten Instandsetzung des Natursteins unter Berücksichtigung des statischen Tragverhaltens erprobt werden. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen sowohl in restauratorischer, bautechnischer und finanzieller Hinsicht sollen Grundlage sein zur Abschätzung des Instandsetzungsaufwandes für die gesamte Brücke.

In Abstimmung mit dem Bayer. Landesamt für Denkmalpflege wurde festgelegt, aus wirtschaftlichen Gründen die Restaurierungsarbeiten zunächst an einer Versuchsfläche des stark geschädigten Musterbogen XIV (romanischer Bogen aus der Zeit zwischen 1135 und 1250), die etwa ein Viertel der Bogenuntersichtsfläche umfasst, zu erproben.

Wichtig war dabei der sensible Umgang mit der historischen Bausubstanz und die Kenntnis der historischen Konstruktionstechniken und Steinbearbeitung, die eine hohe handwerkliche und restauratorische Qualifikation verlangt haben. Die Restaurierungsarbeiten am Bogen XIV wurden im 2. Halbjahr 2002 durchgeführt.

3.2 Schäden am Bogen 14

(Anlage, ► Bildmaterial)

Der Zustand des Bogens XIV ist gekennzeichnet durch einen besonders hohen Anteil an Schadstellen des tragenden Bogenmauerwerkes aus Grünsandstein. Bei der Instandsetzung Anfang der 60er Jahre erfolgten aufgrund der vorhandenen Schäden (tiefgründig und großflächig zersetzte Natursteine) umfangreiche Ausbesserungs- und Sanierungsarbeiten. Hierbei wurden die teils großvolumigen Fehlstellen großflächig mit Stahlgewebematten armiert und mit Spritzbeton verfüllt.

Wie sich bei den Untersuchungen herausgestellt hat, war dies zwar zunächst eine schnelle und wirtschaftliche Instandsetzungsmethode, die dem historischen Denkmal aus Naturstein nicht gerecht wurde und nicht denkmalverträglich war.

Folgende Schadensbilder wurden am Bogen XIV festgestellt:

- Rostende Stahlgewebematten für die Bewehrung der Zementmörtelplomben
- Rostende Haken und Ösen im Bereich der Zementergänzungen
- korrodierte Eisenkeile in den Fugenbereichen, Verfärbungen durch Rost an der angrenzenden Steinsubstanz
- Starke Schädigungen bei Grünsandstein bei den Nahtstellen Sandstein/Betonantragung
- Großvolumige, teils lose Zementantragung, Zementschlämme
- Festsitzende Zementergänzungen mit Schadstellen (Schalenbildung) am darunter liegenden Steinmaterial
- Steinersatzreste, zementgebunden
- Gerissene Sandsteinquader äußerlich und im Innern durch Lastumlagerungen
- Salzausblühungen
- Feuchtebelastung insbesondere nach Öffnung der zementverplombten Fugen und Zementausbesserungen
- Defektes Fugennetz und offene Fugen, z.T. über faustgroß am Übergang Maueraußenschale zum inneren steinernen Kern
- Teilweise keine Verbundwirkung des Mörtels mehr durch fehlendes Bindemittel; lose, verschmutzte Mörtelreste lösen sich bei Öffnung des Bogens insbesondere im Scheitelbereich

3.3 Instandsetzungsaufwand am Bogen XIV

Folgende Instandsetzungsarbeiten wurden an der Musterfläche am Bogen XIV durchgeführt:

- Alle Zementplomben wurden händisch entfernt
- Die Armierungsgitter sowie die Verankerungen der Bewehrungsnetze aus Stahl im Naturstein wurden vollständig entfernt
- Reinigung des Natursteinmauerwerks durch ein schonendes Verfahren
- Die freigelegten Fehlstellen im Naturstein wurden abhängig von der ausgestemmt Tiefe durch das Einsetzen von Vierungen und Neuteilen aus Grünsandstein geschlossen, die mit dem gesunden Mauerwerk durch Edelstahldübel und Edelstahlklammern verankert wurden
- Die Oberflächenbearbeitung der Neuteile und Vierungen erfolgte nach dem Einbau und wurde in historischer Steinmetztechnik an den jeweiligen Umgebungsbestand angeglichen
- Vorhandene Hohlräume im Mauerwerk und in den Fugen mussten mit Vergussmörtel (Kalk-Traß-Zement-Mörtel) verpresst werden
- Der Zementmörtel von verschlossenen Fugen musste entfernt werden; anschließend werden die Fugen wieder mit einem naturstein- und denkmalgerechten Fugenmörtel verschlossen

► Bildmaterial

Die musterhafte handwerkliche Instandsetzung eines Viertelsbogen am Bogen XIV (nur Bogenuntersicht) hat insgesamt Kosten von ca. 85.000 EUR(ohne Steinmaterial) verursacht. Die erforderlichen Neuteile aus Grünsandstein konnten aus dem Natursteinlager des Bauhofes Nord entnommen werden, das vor Jahren bereits im Hinblick auf eine Instandsetzung der Steinernen Brücke mit einigen hundert m³ verwertbaren Abbruchsteinen von anderen Bauwerken angelegt wurde. Diese Vorsorge stellt eine erhebliche Kosteneinsparung dar, da bei einer Gesamtinstandsetzung weniger Steinmaterial zugekauft werden muss.

3.4 Ein besonderer Schadensfall - Ursachen und Folgen

(Anlage)

Während der Instandsetzungsarbeiten wurde durch einen herausgefallenen Stein im statisch empfindlichen Bogenscheitel ein gravierendes Schadensbild an der Steinernen Brücke sichtbar, das auch auf andere Bögen übertragen werden kann:

So wurden erhebliche Schäden im Bereich des Bogenmauerwerks festgestellt, insbesondere durch losen und nicht mehr tragfähigen Fugenmörtel ohne statischen Verbund zu den Natursteinen, gerissene Quadersteine, offene, mehr als faustdicke Fugen/Risse am Übergang des Außenmauerwerk zum steinernen Brücken Kern.

Wesentliche Ursache für das plötzliche Herausfallen des Steins war, dass der Stein keinerlei Verbindung über den bröseligen und völlig zerfallenen Fugenmörtel zu der äußeren Bogenmauerwand mehr hatte und durch Lastumlagerungen Risse im Stein entstanden sind.

Die an verschiedenen Bögen der Steinernen Brücke erkennbaren klaffenden Risse (sog. Stirnringrisse) entstehen dadurch, dass sich die äußere Mauerschale aus bearbeiteten Werksteinen allmählich vom inneren, aus Natursteinen und Kalkmörtel festgefügt Steinkern trennt. Dieser Schaden resultiert mit Sicherheit hauptsächlich aus den Belastungen durch die hohen Achslasten des hohen Busverkehrsaufkommen (ca. 300 Linienbusse pro Tag), deren Wirkungen in Verbindung mit den Umwelteinflüssen unter Ziff. 1.3, d) dieses Berichts beschrieben wurden.

Die schon seit Jahren mit den Untersuchungen an der Steinernen Brücke befassten Fachleute aus verschiedenen Fachgebieten sind aufgrund dieses Schadensereignisses zu dem Ergebnis gekommen, dass die von den Bussen gefahrene Geschwindigkeiten auf Schrittgeschwindigkeit (7 km/h) reduziert werden müssen. Dies dient dazu, mittelfristig bis zu einer kompletten Instandsetzung des mittelalterlichen Bauwerkes den Schadensfortschritt durch dynamische Faktoren an der Substanz der Steinernen Brücke zu reduzieren.

4. Stellungnahme Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege

Das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege (BLfD) als Mitglied der gemeinsamen Arbeitsgruppe hat in den zurückliegenden Jahren sehr engagiert und konstruktiv die Untersuchungen und bisher begonnenen Maßnahmen am mittelalterlichen Brückenbauwerk beratend begleitet. Von BLfD ging auch vermittelnd die Initiative aus, die Steinernen Brücke als Förderprojekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt aufzunehmen.

Das BLfD hat mit Schreiben vom 11.02.2003 nochmals auf der Grundlage der in den vergangenen Jahren gewonnenen Erkenntnissen zu einzelnen wichtigen Punkten wie folgt Stellung genommen:

Zur denkmalpflegerischen Bedeutung

"Die Steinernen Brücke in Regensburg kann als eines der herausragendsten technischen Bauwerke der Romanik durchaus europäischen Rang für sich in Anspruch nehmen. Entsprechend dem äußerst hohen Stellenwert, den die Brücke als Baudenkmal inne hat, war auch die fachliche Begleitung durch das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege sehr intensiv. Das Referat Bauforschung erstellte ein verformungsgerechtes Aufmaß mehrerer Bogenuntersichten und kartierte die Bearbeitung und Schäden der Oberflächen."

Zum Standard der zukünftigen Instandsetzung

"Ihren konkreten Niederschlag haben die fachlichen Vorgaben zur Behebung der unterschiedlichen Schäden an der Brücke in der musterhaften Instandsetzung einer Teilfläche der Untersicht und der unterstromseitigen Stirnflächen am Bogen XIV gefunden, die im Verlauf des Jahres 2002 abgeschlossen werden konnten. Wie bereits bei der vor Ort erfolgten Schlussabnahme bestätigt, sind die dort erzielten Ergebnisse sehr zufriedenstellend und bedürfen lediglich im Hinblick auf die Beruhigung der Oberflächen an den neu eingesetzten Quadern einer

geringfügigen Modifizierung.

Für die Instandsetzung der gesamten Brücke ist aus fachlicher Sicht daher das Ergebnis der Arbeiten am Bogen XIV zur Grundlage zu machen. Dies gilt für das Konzept an sich wie auch - daraus resultierend - für die Ausschreibung der Arbeiten."

Zur Frage Abdichtung, Fahrbahnkonstruktion, Brüstungen, Belag

"Neben den Arbeiten an der historisch bedeutenden Substanz selbst wird jedoch ... vor allem dem Aufbau einer neuen Fahrbahnkonstruktion sowie der Gestaltung von Fahrbahnoberfläche und Brückenbrüstung in gestalterischer Hinsicht eine sehr hohe Bedeutung zukommen. Wie das städtische Tiefbauamt ist auch das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege der Auffassung, dass ein dauerhafter Erfolg der Instandsetzung der Brückensubstanz selbst nur zusammen mit einer effektiven Abdichtung der Fahrbahn gegen das Brückenbauwerk und damit der damit verbundenen Reduzierung des Feuchtegehalts im Brückeninneren erreicht werden kann.

Die hier vom Tiefbauamt der Stadt Regensburg erarbeiteten Details, welche sich in gestalterischer Hinsicht am Zustand der Brücke nach der Mitte des 19. Jahrhunderts orientieren, werden fachlich auch vom Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege mitgetragen. Dies betrifft insbesondere die Ausbildung der seitlichen Gehwegbereiche und der unteren Profile, auf denen die Brüstungen ruhen.

Aus denkmalpflegerischer Sicht wurde bisher und wird auch weiterhin die Auffassung vertreten, dass das zumindest seit dem 17. Jahrhundert in einer Vielzahl von Abbildungen überlieferte Erscheinungsbild dieser Brüstungen als geschlossenen Steinplattenkonstruktion auch künftig zu bewahren ist. Im Zuge einer gegenüber dem jetzigen Zustand verbesserten Materialgerechtigkeit sind diese Brüstungen aus unserer fachlichen Sicht in Naturstein auszuführen.

Die Frage des künftigen Fahrbahnbelags ist im Detail noch abzustimmen. Historisch belegt sind großformatige Platten, aber auch - dem heutigen Erscheinungsbild entsprechend - Kopfsteinpflaster."

Zur Frage der Führung von Versorgungsleitungen

"Im Zusammenhang mit der unbedingt erforderlichen Abdichtung der neuen Fahrbahn gegen den historischen Unterbau möchten wir auch auf die Frage der Führung von Versorgungsleitungen über die Brücke hinweisen. Unserer Ansicht nach wäre die künftige Freihaltung der Steineren Brücke von solchen Leitungstrassen nicht nur wünschenswert, sondern im Hinblick auf die Nachhaltigkeit der jetzt anstehenden Instandsetzung auch dringend erforderlich. Versorgungsleitungen bedürfen in unterschiedlichen Intervallen der Nachrüstung und Wartung.

Die ist stets mit Eingriffen verbunden, welche nichts mit dem Zustand des Baudenkmals selbst zu tun haben, jedoch möglicherweise die Funktionsfähigkeit der zum Erhalt der Brücke dringend erforderlichen Abdichtung gefährden können. Das Tiefbauamt der Stadt Regensburg wird daher gebeten, diesbezügliche Überlegungen zur Freimachung der Brücke von Leitungstrassen mit Nachdruck voranzubringen."

Zur Frage Nutzung durch den Busverkehr

"Im Hinblick auf die angesichts der zu erwartenden Kosten für die Instandsetzung geforderte Nachhaltigkeit der Maßnahmen zur Instandsetzung der Brücke ist es aus unserer fachlichen Sicht von Bedeutung, die Brücke langfristig von jeglichem Kraftfahrzeug-Fahrverkehr zu entlasten. Diesbezüglich hat die Sperrung für den Individualverkehr vor etlichen Jahren zwar zu einem ersten Ansatz geführt, doch haben die vorbereitenden Untersuchungen gezeigt, dass gerade der intensive Schwerlastverkehr durch die Busse des Nahverkehrs dem Bauwerk in statischer

und konstruktiver Hinsicht auch weiterhin erheblich zusetzt"

Zur Frage Ersatztrasse für den Busverkehr

"Das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege wertet die Überlegungen des Bau- und Planungsreferates der Stadt Regensburg zur Anlage einer dauerhaften Ersatztrasse als wichtigen Schritt, die Brücke dauerhaft vom Kraftfahrzeugverkehr frei zu machen. Hinsichtlich der Verträglichkeit der geplanten Ersatztrasse im Ensemble Altstadt Regensburg und Stadthof wird sich das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege gesondert äußern."

Zur Frage Brückenbeleuchtung

"Aus unserer Sicht kommt in Zuge der Neugestaltung der Fahrbahn und der Brüstungen auch der Frage der Beleuchtung eine in ästhetischer Hinsicht herausgehobene Rolle zu. Die Steinernen Brücke ist zentraler Bestandteil des Donauprospektes der ehemaligen Reichsstadt und muss aus denkmalpflegerischer Sicht daher in Detailfragen wie einer stimmigen Beleuchtung höchsten Ansprüchen genügen."

Vor diesem Hintergrund lehnt das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege verfremdende Lichtinszenierungen selbst ebenso ab, wie in die Brüstungen integrierte Tiefstrahler. Das neue Beleuchtungskonzept sollte unserer Auffassung nach aus der für das 19. und 20. Jahrhundert typischen Kandelaberlösung entwickelt werden."

5. Möglicher Ablauf einer Instandsetzung

Planerische Vorarbeiten und Entscheidungen	<ul style="list-style-type: none">■ Beschluss über die weitere Nutzung (mit oder ohne Busse) der Steinernen Brücke sowie über alternative Bustrassen■ Erarbeitung eines Instandsetzungskonzeptes unter Verwertung der Ergebnisse der Untersuchungen■ Kostenberechnung und Klärung der Finanzierbarkeit
Bauliches Ziel	<ul style="list-style-type: none">■ 1. Schritt: Abdichtung der Brückenoberfläche und Einbau einer funktionierenden Brückenentwässerung■ 2. Schritt: Instandsetzung des Natursteinmauerwerk aller Bögen
Zeitliche Realisierung	<ul style="list-style-type: none">■ Frühestens nach dem Neubau der Nibelungenbrücke und der Festlegung einer Busersatztrasse;■ Abhängig von der Klärung der Finanzierbarkeit (über Denkmalschutzfonds, Europäische und globale Programme) nach ggf. Anerkennung der mittelalterlichen Brücke als Weltkulturerbe
Baulicher Ablauf	<ul style="list-style-type: none">■ Kompletter Ausbau der Brückenfahrbahn einschließlich der schadhafte Brüstungen bis zum steinernen Brückenkern;■ Abbruch und Beseitigung aller nicht bauwerksgerechten und bauwerksverträglichen Materialien (Beton und Zementmörtel) und Einbauten (Telekom- und Stromleitungen; Revisionsschächte)■ Untersuchungen und Instandsetzungsmaßnahmen (z.B. Verpressen) des steinernen Kerns von oben■ Herstellung einer Abdichtung der Brücke einschl. Entwässerungsleitungen und Schächte

	<ul style="list-style-type: none"> ■ Neugestaltung der Fahrbahnoberfläche (z.B. Natursteinplatten) und der Brüstungen aus Naturstein ■ Instandsetzung in zwei Bauabschnitten: <ul style="list-style-type: none"> 1.BA: Abschnitt Stadthof bis Abfahrt Unterer Wöhrd 2 .BA: Abschnitt Unterer Wöhrd bis Brückturm ■ Weitere Instandsetzung des Mauerwerks erst nach Wirksamkeit der Abdichtung, der Entsalzungsmaßnahmen und Austrocknung sinnvoll
Verkehrlicher Ablauf	<ul style="list-style-type: none"> ■ Komplette Sperrung der Brücke für jeglichen Verkehr ■ Umleitung des ÖPNV über die neue Nibelungenbrücke oder vorher Bau einer alternativen ÖPNV-Brücke nach Stadthof
Zeitdauer	<ul style="list-style-type: none"> ■ Kaum prognostizierbar ■ Abhängig vom tatsächlichen Zustand der Bausubstanz nach dem Abräumen der Brückenoberfläche ■ Stark bestimmt durch die denkmalpflegerischen Vorgaben und zusätzlichen Untersuchungen
Kostenschätzung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Überschlägig prognostiziert zwischen 10 und 15 Mio. EUR

6. Stand des Förderprojektes

Da das Projekt Steinernen Brücke als Modellfall für behutsame denkmalpflegerische Instandsetzungsmaßnahmen an einem historischen Brückenbauwerk anerkannt wurde, fördert die Deutsche Bundesstiftung Umwelt mit Sitz in Osnabrück seit 1997 die umfangreichen Voruntersuchungen an der Steinernen Brücke.

Es soll aufgezeigt werden, dass es mit sorgfältiger Analyse möglich ist, ein historisches Brückenbauwerk in seiner Gesamtheit denkmalgerecht zu erhalten. Es sollen schonende Instandsetzungsmethoden an der Steinernen Brücke entwickelt und erprobt werden und die Ergebnisse wissenschaftlich ausgewertet und veröffentlicht werden.

Die vorbereitenden Untersuchungen sind zwischenzeitlich soweit abgeschlossen, dass mit der im Förderantrag vorgesehenen musterhaften Instandsetzung von ausgewählten Bögen begonnen werden konnte. Allerdings kann als Voraussetzung dazu die endgültige Abdichtung der Fahrbahnoberfläche nicht umgesetzt werden, da die Steinernen Brücke in den nächsten Jahren wegen des Fehlens eines alternativen Donauübergangs in der Nähe nicht für den öffentlichen Verkehr (Busse, Taxis) gesperrt werden kann. Eine Vollsperrung ist eine unabdingbare Voraussetzung für eine Instandsetzung der Steinernen Brücke.

Ursprünglich war geplant, das Förderprojekt einschließlich der musterhaften Instandsetzung von vier ausgewählten Bögen bereits im Jahr 2000 zum Abschluss zu bringen. Wegen der Verzögerungen bei den Untersuchungen, Behinderungen durch Hochwasser und personellen Engpässen infolge der aktuellen anderen Brückenbaumaßnahmen wurde auf Antrag von der DBU der Verlängerung des Modellprojekts bis definitiv Ende 2004 zugestimmt.

Der Umfang der nunmehr in die Wege geleiteten musterhaften Instandsetzung von vier Musterbögen ist wesentlicher Bestandteil des Förderantrages (Antragssumme: 1.076.269,41 EUR = 2.105.000 DM). Diese Arbeiten sind mit (715.808,63 EUR = 1.400.000 DM) angesetzt, wobei die Stadt Regensburg hier die höchsten Eigenleistungen (536.600,83 EUR = 1.050.000 DM) zu erbringen hat. Es war und ist das Ziel der Stadt Regensburg, jährlich diesen Eigenanteil aufzubringen.

6.1 Finanzieller Stand Förderprojekt DBU

Tabelle 1

	Antragssumme (EUR)	Förderung (EUR)	Eigenanteil (EUR)
Gesamtkosten Förderantrag	1.076.269,41		
Davon Förderung		539.668,58	
Summe Eigenanteil			536.600,83
Bisherige Ausgaben	602.207,68		
davon förderfähig		307.041,11	
davon Eigenleistung			295.166,57
bisher gefördert		293.922,83	
Offene Antragssumme	474.061,73		
Offene Förderung		232.627,47	
Offener Eigenanteil			241.434,26

6.2 Übersicht verfügbare Haushalts-mittel in den Jahren 2003 und 2004

Tabelle 2

	EUR
Verfügb. HH-mittel 2002	124.846,70
Verfügb. HH-mittel 2003	47.727,56
Gesamt	172.574,26
durch Vergabe gebunden	- 37.194,58
durch Vergabe noch zu binden	- 15.000,00
Gesamt gebundene Vergaben	- 52.194,58
verfügbar in 2003	120.379,68
verfügbar in 2004	50.000,00
Gesamt verfügbare HH-mittel	170.379,68

Nach der Übersicht der Tabelle 1 sind bisher 56 % der Antragssumme ausgegeben. Mit den nach Tab. 2 noch verfügbaren HH-Mittel in den Jahren 2003 und 2004 wird sich der Ausgabenstand auf 72 % erhöhen. Es muss damit gerechnet werden, dass angesichts des reduzierten Haushaltsansatzes das geförderte Ausgabenziel bis zum Projektende nicht erreicht wird. Damit kann auch weniger von der DBU gefördert werden. Bisher wurden ca. 54% der lt. Antrag förderfähigen Kosten von der DBU bezuschusst. Der Prozentsatz liegt damit geringfügig über den in Aussicht gestellten Fördersatz von 50 %. Etwa genauso groß (55%) ist der Eigenanteil, den die Stadt Regensburg bisher im Rahmen des Projektes erbracht hat.

Nach der Tabelle 2 stehen für die Haushaltsjahre 2003 und 2004 noch ein reduzierter Haushaltsansatz von 170.379,68 EUR zur Verfügung. Mit den verfügbaren Mitteln sollen in den verbleibenden Jahren die zweite Viertelshälfte des Bogen XIV musterhaft instandgesetzt werden sowie die Untersicht des gesamten Bogens IX. Der Betrag einschließlich den Aufwendungen für die beteiligten Planer müsste nach den Erkenntnissen aus dem Sanierungsumfang des Bogen XIV knapp ausreichen, um die geplanten Maßnahmen durchführen zu können.

Wenn das geförderte DBU-Projekt im beantragten Umfang (100%) bis Ende 2004 abgeschlossen werden soll, wobei dann die maximale Förderhöhe ausgeschöpft und der Eigenanteil der Stadt zu 100% erbracht sein müsste, wäre es notwendig, den Haushaltsansatz für das Projektende im Jahr 2004 entsprechend (um 303.682,05 EUR = 593.950,46 DM) zu erhöhen. Mit diesen zusätzlichen Mitteln könnten dann die zusätzlichen zwei Musterbögen instandgesetzt werden, wobei die DBU die musterhafte Instandsetzung von vier Musterbögen mit 178.952,16 EUR (=350.000 DM) noch fördern würde.

Anlagen

Aus technischen Gründen konnten die Anlagen nicht ins Internet gestellt werden.
Beispielhaftes Bildmaterial finden Sie bei der Darstellung der
▶ **gravierenden Schäden** der Steinernen Brücke.