

Die Tay-Brücke und die wahrscheinliche Ursache ihres Einsturzes

Von dem Direktor der Technischen Hochschule, Herrn Professor Launhardt, geht uns folgende Mitteilung zu:

Die Mündung des Tay-Brückes bildet eine der in Schottland vielfach vorkommenden, mit den Namen Firth bezeichneten langgestreckten Meeresbuchten, welche in der Nähe der am nördlichen Ufer belegenen Stadt Dundee eine Breite von $3\frac{1}{4}$ Kilmoter, eine Wasserfläche von 14 Meter und einen gewöhnlichen Flutwechsel von 5,2 Meter hat. Bis zur Vollendung der im Juli 1871 begonnenen und im Februar 1878 dem Verkehr übergebenen Brücke würden die Züge der North-British-Railway durch eine Dampffähre über den Tay befördert. Die hiermit verbundenen Unbequemlichkeiten und Zeitverluste veranlassten die Gesellschaft zur Erbauung der Brücke, für welche der Ingenieur Sir Thomas Bouch den Entwurf feststellte. Die in der größten Längenerstreckung geradlinige Brücke schließt sich an beiden Ufern mit einem Bogen von 402 Meter Radius an das Ufer an, so dass die eine langgezogene S-Linie bildet. Ihre Gesamtlänge beträgt 3155 Meter, welche in 85 Öffnungen geteilt ist, deren Spannweiten nach der Beschaffenheit des Baugrundes verschieden groß angeordnet sind. Die Fahrbahn der Brücke, welche 26,8 Meter über dem Flutspiegel liegt, so dass hochbemastete Schiffe unter ihr hindurchfahren können, ist nur für ein Gleis in der geringen Breite von $4\frac{1}{2}$ Meter hergestellt worden. Auf den zeitlichen kleineren Öffnungen liegt die Fahrbahn oben auf den Brückenträgern und ist nur durch niedrige Gelände begrenzt. Auf dem 13 mittleren großen Öffnungen, welche bei dem Unfall eingestürzt sind und von denen 11 je 74 Meter und 2 je 69 Meter Spannweite haben, liegt die Fahrbahn aber unten zwischen den etwa 8 Meter hohen Tragwänden. Es ist dies geschehen, um innerhalb dieser Öffnungen um etwa 5 Meter höher als die für die zeitlichen Öffnungen aufzuführen waren. Die Spannweite der einzelnen Öffnungen, selbst der größeren, ist nur eine mäßige, da Brücken von doppelter Spannweite vielfach ausgeführt sind und Hängebrücken sogar von mehr als fünf- oder sechsfacher Weite vorkommen. Die Brücke hat die Aufmerksamkeit der Ingenieure seit Beginn ihrer Ausführung erregt, teilweise wegen ihrer bedeutenden Länge, die nur durch wenige andere Brücken nahezu erreicht wird, besonders aber wegen der außerordentlich schlanken Gestalt der Pfeile und deren Grünung. Während der Bauausführung hat man das Gründungsverfahren nach den gemachten Erfahrungen wiederholt geändert und in durchaus solider Weise durchgeführt; es sind auch, nach der bis jetzt vorliegenden Berichten, die Fundamente mit dem bis über Hochwasser reichenden Teile des Pfeiler-Unterbaues vollständig unversehrt geblieben. In gleicher Weise ist auch die Construction der von Pfeiler zu Pfeiler rechenden Brückenträger im Wesentlichen durchaus fachgemäß durchgeführt, so dass ein Durchbrechen dieser Träger unter der Last der Eisenbahnzüge nicht im Mindesten zu befürchten war. Der Fehler in der constructiven Unordnung der Brücke, welcher zweifellos Veranlassung zu dem entsetzlichen Unglück geworden ist, beruht in der zu schlanken, gegen den seitlichen Angriff eines Sturmes zu geringe Standfestigkeit bietenden Gestalt der Pfeiler. Nach dem ursprünglichen Entwurfe sollten sämtliche Pfeile in dem über Wasser befindlichen Teilen aus Ziegelmauerwerk hergestellt werden, wie dies auch für die seitlichen, nicht eingestürzten Öffnungen geschehen ist. Es bestehen diese Pfeiler aus zwei freisrunden, aus Ziegelsteinen ausgemauerten Säulen von 2,6 Meter Durchmesser, welche durch eine nur 76 Centimeter dicker Mauer miteinander verbunden sind, so dass bei der bedeutenden Höhe von 22 Meter diese Pfeile im Äußern etwa

zwei nebeneinander stehenden Fabrikschornsteinen gleichen. Für die mittleren größeren Öffnungen sollten diese Säulen bei etwa 27 Meter Höhe über Wasser, an ihrem Fuße 4,1 Meter Durchmesser, an der Spitze 3 Meter Durchmesser erhalten. Bei diesen immerhin sühnen und gewagten Stärken würden die mittleren Pfeiler aber wahrscheinlich ebenso stehen geblieben sein, wie die gemauerten Pfeiler der Seitenöffnungen. Als die Arbeiten aber im Jahre 1876 an einen neuen Unternehmer übergingen, wurde die Construction dieser mittleren Pfeiler geändert und, wenn auch die Fundierungsweise verbessert wurde, in einer verhängnisvollen Weise angeordnet. Man führte nach dem neuen Plane, wie in den englischen technischen Zeitschriften vom Jahre 1876 mitgeteilt wird, das Mauerwerk der Pfeiler nur bis 1,5 Meter über Hochwasser, setzte hierauf 6 gusseiserne Säulen von 46 und bzw. 38 Centimeter Durchmesser und brachte auf diese zierliche, etwa 25 Meter hohen Säulen die Brückenträger. Die gusseisernen Säulenpfeiler, welche freilich in ähnlicher Unordnung, aber doch fast immer mit breiterem Fuße, bei Viaducten in England, Frankreich und Österreich selbst bei noch größere Höhe ausgeführt worden sind, haben offenbar den heftigen Stürmen, welche die Tay-Bucht entlang oft mit furchtbarer Gewalt tobten, keine genügende Standheftigkeit bieten können.

Rechnet man den Windbruch bei heftigem Sturm zu 150 Kilogramm, auf den Quadratmeter, was selbst in Mitteleuropa in einzelnen Fällen beobachtet worden ist, so würde die Träger-Construction einer Öffnung von 74 Meter Weite, welche dem Winde eine Angriffsfläche von mindestens 300 Quadratmetern bietet, einen Windbruch von 45,000 Kilogramm oder 45 Tonnen erhalten haben. Dieser Windbruch würde die Brückenträger schon von dem Pfeiler stürzen, wobei die Pfeiler stehen bleiben können, wenn durch die Auflagerungsweise der Träger auf den Pfeilern dies nicht, wie man erwarten darf, verhindert ist. Auf den 1,5 Meter über Hochwasser liegenden Fuß der Säulenpfeiler wirft der Windbruch an einem Hebelarm von 28 Meter, erreicht also ein Umsturz-Moment von $28.45 = 1260$ Meter-Tonnen, welches sich durch den auf den Säulenpfeiler selbst treffenden Windbruch auf mindestens 1300 Meter-Tonnen vergrößert. Das Gewicht der Brücke beträgt für eine Öffnung höchstens 200 Tonnen, das Gewicht eines der Säulenpfeiler höchstens 110 Tonnen, so dass sich bei einer Breite des Säulenpfeilers von 7 Metern in der Richtung des Stromes eine Standheftigkeit desselben von $\frac{1}{2} \cdot 7 \cdot 310 = 1085$ Meter-Tonnen ergibt. Der Überschuss des Angriffsmomentes des Windes über die Standheftigkeit des Pfeilers von $1300 - 1085 = 215$ Meter-Tonnen muss von den Unterbolzen aufgenommen werden, mittelst deren die gusseisernen Säulen auf dem gemauerten Pfeilersockel befestigt sind. Diese Unterbolzen erhalten dadurch einen äußersten Zug von 30,700 Kilogramm, welcher sie mit den Quadern, in welchen sie befestigt sind, losreißen musste. Selbst bei einem geringeren als den zu 150 Kilogramm auf den Quadratmeter angenommenen Windbrüche konnten die Brücke also schon umgestürzt werden; hatte sie aber noch Stand gehalten, so wurde sie durch das Auffahren des Zuges noch in vermehrter Weise gefährdet. Der aus 7 Wagen bestehende Eisenbahnezug von einem auf höchstens 140 Tonnen zu schätzenden Gewichte bietet dem Winde eine auf mindestens 180 Quadratmeter sich berechnende Vergrößerung der Angriffsfläche, so dass das Angriffsmoment des Windes auf 20136 Meter-Tonnen anwächst, während die Standheftigkeit des Pfeilers sich auf 1575 Meter-Tonnen erhöht. Bei dem Auffahren des Zuges auf die Brücke konnte schon ein Windbruch von 120 Kilogramm auf den Quadratmeter den Einsturz der Brücke bewirken. Beim Einsturze der Öffnung der Brücke, auf welcher der Zug sich befindet, mussten die benachbarten Öffnungen folgen, teils weil der Zug während des Umtippens in fortschreitender Bewegung blieb, teils weil je vier Öffnungen

zusammenhängend construirt wird und selbst die übrigen Öffnungen durch das Schienengestänge verbunden waren.

Beim Wiederaufbau der Brücke wird man zunächst die Pfeiler in größerer Stärke herstellen müssen, zweckmäßig aber auch die Anzahl der Öffnungen verringern, dadurch die Weite der einzelnen Öffnungen vergrößern und ihr Gewicht, von welchem die Standheftigkeit abhängt, vermehren.

Wäre die Brücke, statt in der geringen Breit für ein Gleis, zweigleisig ausgeführt worden, so würde dieselbe in Folge der doppelten Breite und des doppelten Gewichtes die vierfache Standheftigkeit gehabt haben und gegen den Sturmangriff genügend gesichert gewesen sein. Unter den vielen bedeutenden eisernen Brücken Deutschlands befindet sich glücklicherweise keine einzige, welche ähnlichen Gefahren bei Stürmen ausgesetzt wäre, jedoch mag der schreckliche Unfall zur Veranlassung werden, die kleineren und daher leichteren eisernen Brücken in Bezug auf ihre Sicherheit gegen Sturmangriffe einer sorgsamen Prüfung zu unterziehen.
