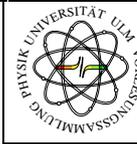


Erzwungene Schwingung



SW - 74

Tacoma Narrows Bridge Collapse

Schwingungen und Wellen

Folie Dia Film Video PC-Programm Sonstiges Anz. Blätter: 1 Datum: 17.12.98

Karte nur zur Benutzung in den Räumen der Universität Ulm, Vorlesungssammlung Physik Bearbeiter: *Brackenhofer G.*

Stichworte: erzwungene Schwingung: Tacoma Narrows Bridge Collapse (Video); Schwingung (erzwungene): Tacoma Narrows Bridge Collapse (Video); Resonanz: Tacoma Narrows Bridge Collapse (Video); Tacoma Narrows Bridge Collapse (Video): erzwungene Schwingung; Brückenfilm: Tacoma Narrows Bridge Collapse

Zweck: Ein Video zeigt die Anregung von resonanten Schwingungen und den anschließenden Einsturz der Tacoma Narrows Bridge am 7. November 1940. In einem weiteren Video („River To Cross“) werden mit aerodynamischen Untersuchungen die Ursachen untersucht.

Zubehör: VHS-Cassette Nr. 44: ‚Tacoma Narrows Bridge Collapse‘, Dauer: 4:40
Untersuchung im Windkanal, Dauer: 6:00
Severn Bridge Project, Dauer: 25:00, schlechte Tonqualität
VHS-Cassette Nr. 45: ‚Tacoma Narrows Bridge Collapse‘, Dauer: 4:40

Video „Tacoma Narrows Bridge Collapse“ (4:40)

(Zählwerkangaben beziehen sich auf den alten Videorecorder)

0174 Die größte Spannweite der Brücke bei Tacoma in Washington (USA) betrug 853 m (2800 ft). Sie war 12 m (39 ft) breit.

0179 Die 2,4 m (8 ft) hohen Verstärkungsträger aus Stahl werden während der Bauphase gezeigt.

0180 Am 1. Juli 1940 wurde die Brücke für den Verkehr freigegeben.

0183 STOP, PAUSE

In den vier Monaten der Brückenbenutzung wurden vielfach transversale Schwingungsmoden beobachtet. Die Hauptpfeiler waren Schwingungsknoten und zwischen ihnen traten weitere 0 bis 8 Knoten auf. Die maximale Amplitude (Spitze – Spitze) betrug in einer Mode mit zwei Knoten zwischen den Pfeilern ungefähr 1,5 m (5 ft). Die Schwingungsfrequenz war zu dieser Zeit 12 Schwingungen pro Minute (0,2 Hz).

Messungen vor dem Zusammenbruch zeigten, daß höhere Windgeschwindigkeiten Moden mit höherer Frequenz begünstigten.

Es wurde ein Modell der Brücke gebaut, an dem Prof. Farquharson von der University of Washington forschte. Bevor jedoch Ergebnisse erreicht wurden, geschah folgendes:

Am frühen Morgen des 7. Nov. 1940 betrug die Windgeschwindigkeit 65 ... 70 km/h (40 ... 45 mph) und war damit höher als je zuvor. Die Brücke wurde für den Verkehr gesperrt.

Um 9:30 Uhr schwang der Hauptbrückenkörper in 8 oder 9 Abschnitten mit einer Frequenz von 36 Schwingungen pro Minute (0,6 Hz) und einer Amplitude von 1 m (3 ft).

0183 PAUSEN-Taste lösen

Während Messungen unternommen wurden, begann der Hauptbrückenkörper gegen 10 Uhr plötzlich Torsionsschwingungen in zwei Abschnitten mit einer Frequenz von 14 Schwingungen pro Minute (0,23 Hz) auszuführen.

Während der meisten dieser folgenschweren Torsionsschwingungen gab es eine transversale Knotenlinie auf halber Länge des Hauptbrückenkörpers und eine longitudinale Knotenlinie entlang der Fahrbahnmitte (Mittelstreifen).

0189 Beachte: Prof. Farquharson schreitet vernünftigerweise entlang der Knotenlinie, als er die Brücke verläßt, nachdem er seine Beobachtungen durchgeführt hatte.

- 0192 Die Amplitude der Torsionsschwingungen baute sich schnell bis zu einem Winkel von 35° gegenüber der Horizontalen auf.
- 0198 Die Windgeschwindigkeit war nahe genug an der kritischen Geschwindigkeit der beobachteten Torsionsmode, so daß sich die Schwingung durch Resonanz aufschaukelte und erhalten blieb, bis der unabwendbare Zusammenbruch eintrat. Der Hauptbrückenkörper brach kurz nach 11 Uhr.
- 0208 STOP, Filmende
- Die Tacoma Bridge wurde am gleichen Platz mit den gleichen Pfeilerfundamenten wieder aufgebaut. Untersuchungen an der Engineering Experiment Station der University of Washington führten zu einer Neukonstruktion der Brücke, bei der Fachwerk anstatt der 2,4 m (8 ft) hohen Träger verwendet wurden. Die neue Brücke hält den Belastungen stand.

Video „River To Cross“ (ca. 20 min)

Dieses Video zeigt einen Ausschnitt der Vorarbeiten zum Severn Bridge Project in Süd-Wales (GB), nämlich den Zeitraum 1946 bis 1949.

- 0000 South Wales: Brücke über den River Severn
0:00 1935: erste Pläne zum Severn Bridge Project
- 0018 Für die Schifffahrt muß eine 915 m (3000 ft) breite Fahrrinne bleiben. Dies ist die längste überspannte Distanz in Europa und die drittlängste in der Welt.
2:00 300 m (1000 ft) Spannweite zwischen Pfeiler und Festland. Probebohrungen im Winter 1946/47.
- 0045 Echolotuntersuchungen des Flußbettes. Resultat: Der Abstand der Fundamente muß 1000 m (3300 ft) betragen.
5:00
- 0062 Verschiedene Spannbrücken in der Welt.
7:00 Die 1940 eröffnete Tacoma Bridge oszillierte bereits bei schwachem Wind. Prof. Farquharson baute ein Modell der Tacoma Bridge an der University of Washington. Am 7. Nov. 1940 kommt bei einer Windgeschwindigkeit von 68 km/h (42 mph) das Ende der Brücke.
- 0074 Wegen den Analogien zum Flügelflattern im Flugzeugbau werden vom britischen National Physical Laboratory Aerodynamics Division Vorstudien zum Severn Bridge Project ausgeführt.
8:15
- 0082 Modellbau im National Physical Laboratory in Paddington: verschiedene Bauelemente.
9:00
- 0097 Diese werden im Windkanal Rauchttests unterzogen. Unterschied zwischen geschlossenen bzw. unterbrochenen Brückengeländern und Fahrbahnen (bei Resonanzanregung).
10:45
- 0115 Bau eines 1:100-Brückenmodells unter Verwendung der für gut befundenen bisher getesteten Brücken-Bauelementen.
12:45
Modelldimensionierung:
- ◆ Strahlträger werden durch Sandwiches aus Balsaholz und Aluminium ersetzt.
 - ◆ Um die passende Steifigkeit zu erhalten, wird die Brücke aus vielen Einzelteilen aufgebaut, die mit kleinen Stahlfedern verbunden sind.
 - ◆ Das Modell der Severn Bridge wird 15 m (50 ft) lang.
- 0124 In einem Flugzeughangar in Bedford wird ein Windkanal gebaut: 45 m (150 ft) lang; 18 m (60 ft) breit; 2,1 m (7 ft) hoch; mit einer 130-PS-Windmaschine
13:45
Windgeschwindigkeit im Windkanal = $1/10 \cdot$ Windgeschwindigkeit in Wirklichkeit
Messung der Eigenschwingungsfrequenzen (twisting u. bending)
- 0140 Messung der Schwingungen bei Anregung durch Wind
15:30
A mit geschlossener Seitenfläche:
- ◆ Bereits bei kleinen Windgeschwindigkeiten treten Schwingungen auf: Das Modell schwingt zehnmal schneller als das Original.
 - ◆ Ab 100 km/h (60 mph) im Original, d.h. 10 km/h (6 mph) beim Modell entstehen twisting-Moden (Tacoma-Bedingungen), so daß bei 13 km/h (8 mph) (80 mph full scale) der Versuch abgebrochen werden muß, um das Modell nicht zu zerstören.
 - ◆ Drehung des Brückenmodells um 90° im Windkanal und Meßprogramm wie vorher: das gleiche Ergebnis
- B mit unterbrochenen Seitenflächen:
→ sogar von außen angeregte Schwingungen werden gedämpft.