

## 1 Einleitung

An vier praktischen Beispielen sollen die Schwingungsprobleme bei Sportstadien dargestellt werden. Für die Präsentation wurden die folgenden Stadien gewählt:

- Stade Parc des Princes in Paris (Stolz Ingenieure)  
Sanierung der Auflager der Stufen



- Stade Olympique Libreville (Stade Omar Bongo) in Gabon (Stolz Ingenieure)  
Schlechte Bauweise und desolater Bauzustand



- St. Jakob in Basel (Ziegler Consultants)  
Schwingungsamplitude bei Anlässen



- Köln-Müngersdorf (technischer Artikel, „Schwingungsprobleme in einem Fussballstadion, J. Eibl und R. Rösch, Karlsruhe veröffentlicht in Bauingenieur 65, Springer Verlag 1990)  
Hüpfen mit der halben Eigenfrequenz



## 2 Theoretische und technische Vorbereitung

### 2.1 Dynamische Analyse der Bauteile

Im wesentlichen besteht ein Stadion aus zwei Elementen: den Scheiben und den Stufen. Diese bestimmen das grundlegende Schwingungsverhalten. Da wir nicht unvorbereitet nach Gabon reisen wollten, wurde auf der Grundlage von vorhandenen Plänen ein einfaches Modell für dynamische Berechnungen erstellt und ausgewertet.

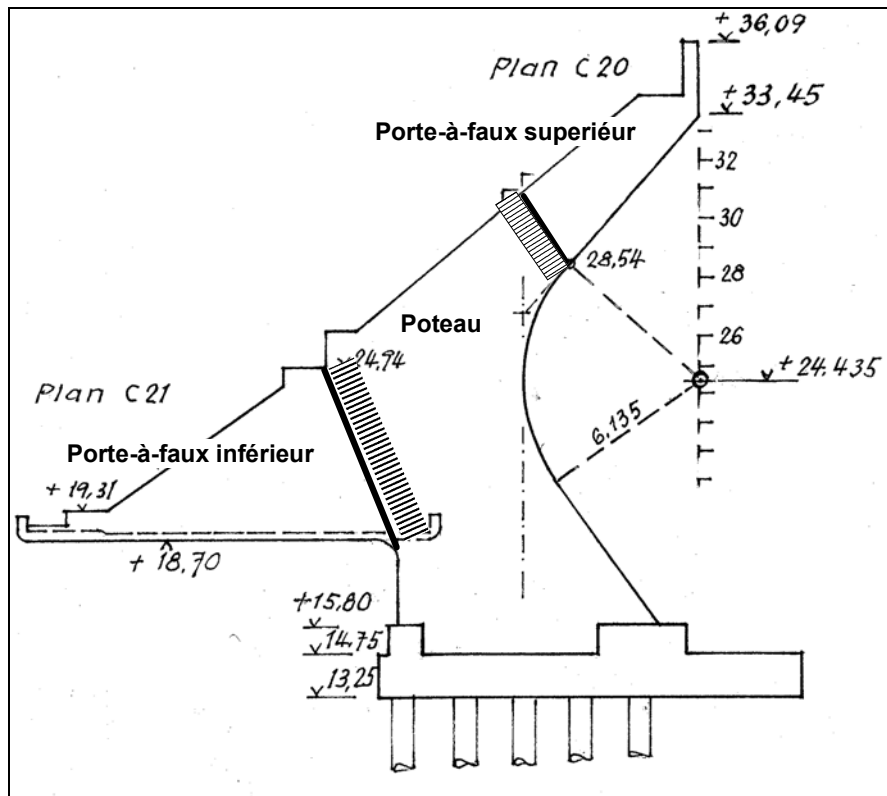


Abbildung 1 Rechenmodell für die Berechnung der Eigenfrequenzen der Scheiben

### 2.2 Technische Vorbereitung

Die Vergabe der Untersuchung der Stadien in Paris und Libreville wurde von der Verwendung eines 30 Tonnen schweren Schwingers, welchen die Auftraggeber besaßen, abhängig gemacht. Deshalb musste der Auftraggeber zunächst davon überzeugt werden, dass es wesentlich einfachere und praktikablere Messmethoden mit der gleicher Qualität gibt.

Zu diesem Zweck wurden Versuchsergebnisse an Standard – Betonbalken der Berner Fachhochschule, Fachbereich Bauingenieurwesen, eingereicht. Diese bestätigen, dass die Anregung mittels Hüpfen oder auch Schlagen mit einem 1-2 kg Hammer zu den gleichen Resultaten führt wie der Einsatz eines Schwingers.

Obwohl diese theoretischen Grundlagen in der Fachwelt bekannt sind, musste der Auftraggeber, ein Laie im Gebiet der Schwingungslehre, mit diesen Unterlagen überzeugt werden.

### **3 Messungen**

#### **3.1 Einfluss der Sanierung der Auflager der Stufen (Stade Parc des Princes in Paris)**

Als Sanierungsmassnahme wurden die Auflager der Stufen ausgebessert, um den Einspanngrad zu erhöhen.



Abbildung 2 Sanierungsmassnahme im Stadion Parc des Princes

Die Messungen wurden auf sanierten und auf nicht sanierten Stufen durchgeführt. Die Anregung mit dem 1.5 kg Hammer zeigte deutlich die Erhöhung der Eigenfrequenzen von 6 auf über 8 Hz.

Die Resultate konnten sogar nachvollzogen werden, indem Messungen mit einem High-Gain-Gerät ohne Anregung gemacht wurden. Die Ausschwingvorgänge bei leichten Windeinflüssen genügen für die Bestimmung der Eigenfrequenzen.

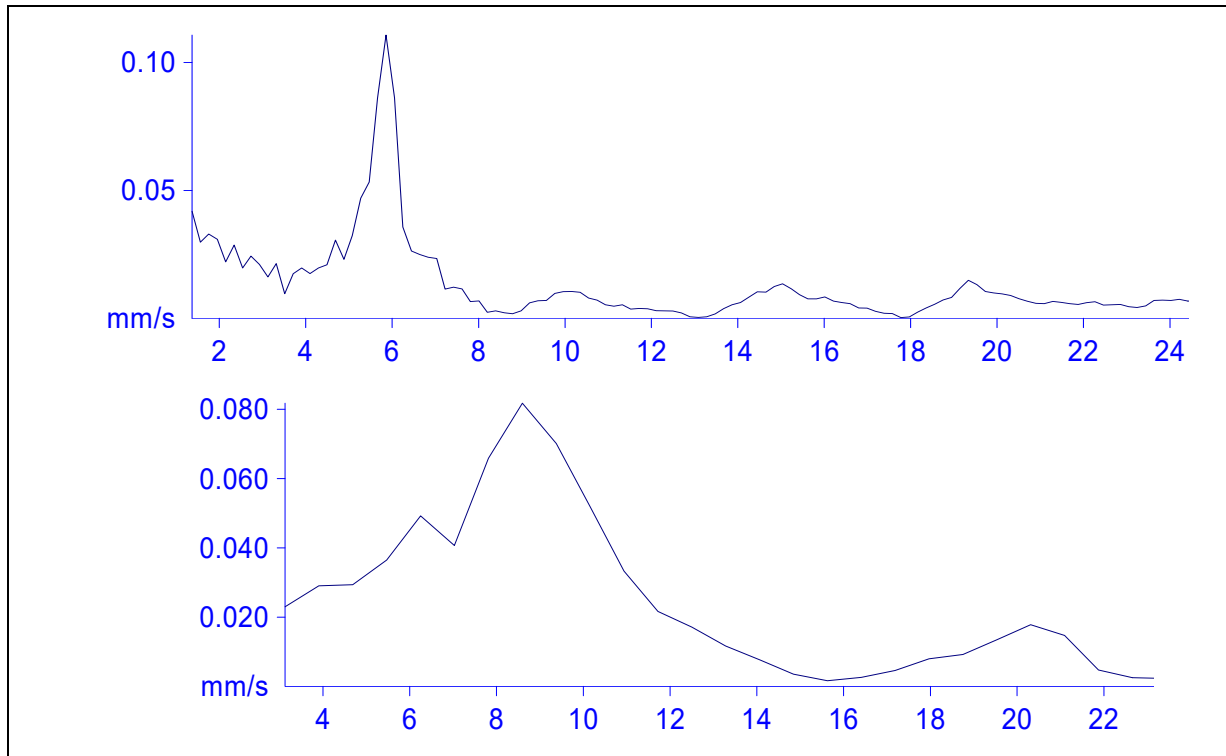


Abbildung 3 Einfluss der Sanierung  
oben: Stufe vor Sanierung 5.8 Hz  
unten: Stufe nach Sanierung 9 Hz



### 3.2 Zustandsuntersuchung eines alten Stadions (Stade Olympique in Libreville)

Da sich das Stadion in einem desolaten Zustand befindet, ist die Tribüne zur Zeit gesperrt.



Abbildung 4 Beschädigte und geflickte Auflager der Stufen im Stadion Libreville

Die Anregung erfolgte mit Hüpfen und mit einem 1.5 kg Hammer. Die Resultate lassen sich wie folgt zusammenfassen (Längsrichtung meint Richtung der Bänke)

Bauelement	Längsrichtung	Querrichtung	Vertikal
oberer Kragarm der Scheibe	$f \approx 1.8$ Hz	$f \approx 4.3/10$ Hz	$f \approx 3/8$ Hz
unterer Kragarm der Scheibe	$f \approx 4.8/7.5/12$ Hz	$f \approx 2/4/7.3$ Hz	$f \approx 4.5/7.5/15$ Hz
Pfosten der Scheibe	$f \approx 1.6$ Hz	$f \approx 4/7.5/15$ Hz	$f \approx 7.5/15/40$ Hz
Stufen	$f \approx 1.6$ Hz	$f \approx 3/11/16$ Hz	$f \approx 3/11/16$ Hz

Tabelle 1 Messresultate Stadion Libreville

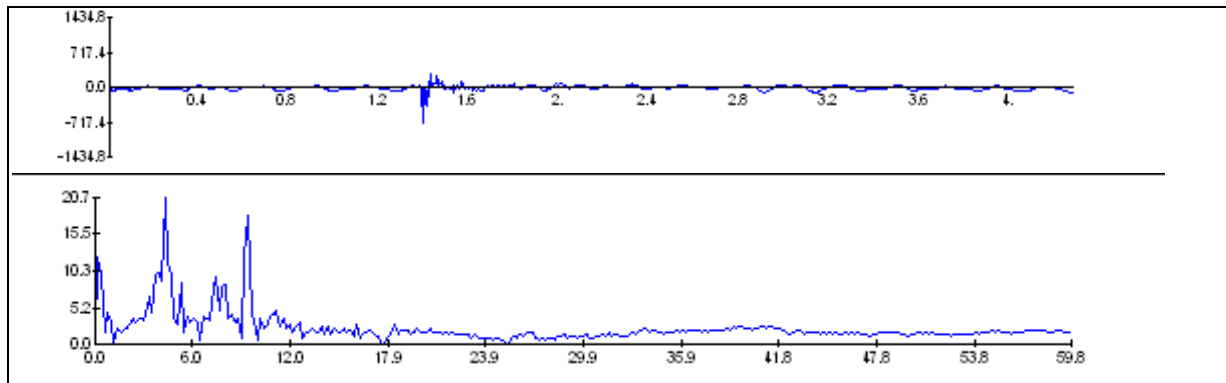


Abbildung 5 Typisches Messresultat einer Scheibe (oberer Kragarm) in Querrichtung.

### 3.3 Amplituden während eines Anlasses (St. Jakob in Basel)

Die Messungen, die Ziegler Consultants im Stadion St. Jakob in Basel durchgeführt hat, zeigen ähnliche Eigenfrequenzen wie die Messungen im Stade Parc des Princes in Paris. Abbildung 6 zeigt die Resonanzkurve einer Stufe

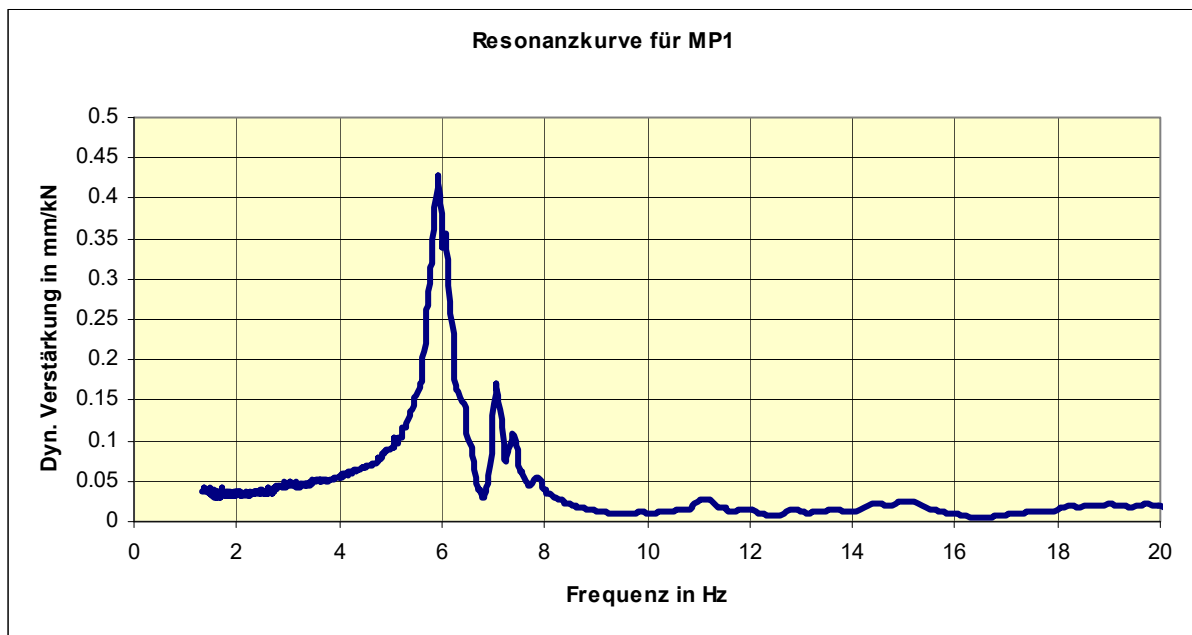


Abbildung 6 Resonanzkurve einer Stufe im Stadion St. Jakob in Basel

Abbildung 7 zeigt die Schwingungsgeschwindigkeitsamplituden während eines Fussballspiels. Die Werte von  $v_z \approx 20$  mm/s sind sehr hoch, aber nicht strukturgefährdend.

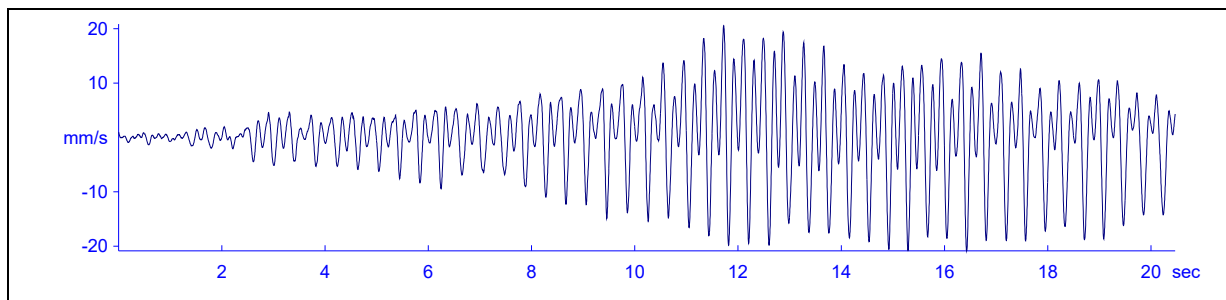


Abbildung 7 Schwingungsgeschwindigkeitsamplituden während eines Spiels

### 3.4 Hüpfen mit der halben Resonanzfrequenz (Köln – Müngersdorf)

Der Bericht von Eibl und Rösch zeigt deutlich das Phänomen der Anregung durch die halbe Eigenfrequenz. In Abbildung 8 ist eine gemessene Resonanzkurve dargestellt. Daneben sieht man Frequenzanalyse und Zeitverlauf bei Anregung durch getaktetes Hüpfen.

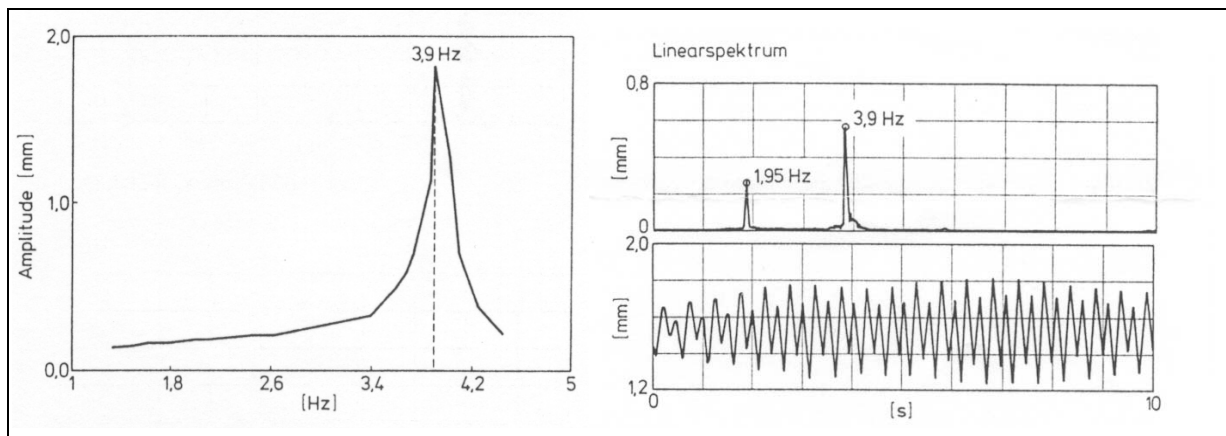


Abbildung 8 links: Resonanzkurve einer Stufe  
rechts: Frequenzanalyse und Zeitverlauf nach Anregung durch getaktetes Hüpfen mit 1.95Hz