

Schwingende Tribünen

Autor(en): **Dietsche, Daniela / Rooden, Clementine van**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **134 (2008)**

Heft 24: **Masse in Bewegung**

PDF erstellt am: **14.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-108938>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



01

SCHWINGENDE TRIBÜNEN

Bereits im Stadion von Olympia drängten sich während der Spiele fast 50 000 Personen auf den Erdwällen. Sportereignisse bringen auch heute regelmässig so viele Menschen zusammen wie kaum eine andere Veranstaltung. Mit Menschen gefüllt, wird das Stadion zum Hexenkessel. Rhythmisches Hüpfen und Gehen und als Folge dieser Bewegungen schwingende Tribünen können bei Laien beklemmende Gefühle auslösen. Für die Ingenieure der Stadien ist die sich bewegende Masse auf den Tribünen Teil eines normalen Gefährdungsbildes.

Die ersten antiken Stadien waren unscheinbare Naturbauten, eingebettet in die sie umgebende Landschaft. In der Frühzeit der griechischen Sportgeschichte bestanden sie nur aus einem ebenen Terrain mit einer festgelegten Start- und Zielschwelle. Ein «Stadion» bezeichnet die Länge der Laufbahn. Für die Urform der Stadien nutzte man Berghänge und Talmulden. Ergänzt wurden diese natürlichen Arenen durch aufgeschüttete Erdwälle, auf denen die Zuschauer am Boden sassen.

Im Jahr 1896 liess Pierre de Coubertin die Olympischen Spiele nach einer langen Pause wieder aufleben.¹ Auf den Grundmauern des antiken Panathenäischen Stadions (erbaut um 330 v. Chr.) wurde eine Arena errichtet. Aus den ersten Zweckbauten wurden im Laufe des 20. Jahrhunderts anspruchsvolle Sonderbauwerke. Die Planer der Stadien – Ingenieure und Architekten – kommen ohne das Wissen über die Anforderungen der Sportverbände, die kommerziellen Ansprüche der Stadionbetreiber und ohne bautechnisches Wissen nicht mehr aus. Die Stadien werden immer grösser, die Konstruktionen immer filigraner und

01 Wenn sich Zuschauer auf eine Tribüne begeben, spielt deren Erwartungshaltung an die Konstruktion eine Rolle: Hoffentlich hält sie...
(Bild: KEYSTONE, Björn Allemann)

transparenter. Möglichst wenig Material soll gebraucht, Materialkennwerte sollen in der Bemessung ausgeschöpft und Spannweiten bzw. Schlankheiten ausgereizt werden – die Dachtragwerke sollen möglichst stützenfrei konzipiert sein. Falls aufgrund von situativen oder wirtschaftlichen Randbedingungen doch eine Stütze notwendig wird, darf sie die Sicht auf das Spielfeld nicht beeinträchtigen.

DIE TRIBÜNE ENTWERFEN

Spielfeld, ringsherum steigende Zuschauertribünen und Dach erscheinen als Hauptkomponenten eines Stadions. Die grosse Masse der Fans bildet gerade bei den Tribünen die massgebende Einwirkung. Bei der Konstruktion des Tribünenaufbaus und der Wahl des vertikalen Winkels sind die Platzverhältnisse und die Anforderungen der Fifa massgebend. Es stellt sich die Frage, um wie viel erhöht eine Person sitzen muss, damit sie über den Vordermann schauen und das gesamte Spielfeld mit seinen Extrempunkten wie Eckfahnen, Seiten- und Torauslinien einsehen kann. Welchen Effekt erzielen die Planer durch das Variieren der Steilheit oder der Stufenbreite? Gibt es Sicherheitsanforderungen? In welchem Abstand zum Spielfeld beginnt die erste Reihe? Die Antworten auf diese Fragen zusammen mit der Form der Überdachung des Stadions geben diesem eine äussere Kontur. Dieser Kontur werden aufgrund der bestehenden Umgebung Grenzen gesetzt. Der Basler Ingenieur Tivadar Puskas erklärt, dass die Erweiterung der Tribüne des St.-Jakob-Parks zwischen einem bestehenden Bahngleis und der vorhandenen Tribüne Platz finden musste – eine planerische, aber auch ausführungstechnische Herausforderung. Trotz den aufgesetzten Grenzen soll eine Arena Emotionen erzeugen und zum Jubeln, Springen und Bewegen anregen, denn nur so wird das Zuschauen zum wirklichen Fussballerlebnis.

DIE TRIBÜNE SCHWINGT

Zu den Fussballspielen der Euro 2008 werden volle Stadien erwartet. Eine grosse Menschenmasse wird auf den Tribünen klatschen und springen. Was auf den ersten Blick wie eine Extremsituation einer Belastung scheint, unterscheidet sich für die Ingenieure der Schweizer EM-Stadien nicht von anderen Spielen mit ausverkauftem Stadion. Die Belastung durch personeninduzierte Schwingungen ist für sie ein normaler Lastfall, den sie für die Bemessung von Tribünentragelementen in jedem Fall berücksichtigen müssen – für die Bemessung sowohl auf Tragsicherheit als auch auf Gebrauchstauglichkeit. Während die Tragsicherheit den geforderten Normen entsprechen muss und in jedem Fall einzuhalten ist, lässt die Gebrauchstauglichkeit einen gewissen Spielraum in der Dimensionierung offen. Richtwerte sind in der SIA-Norm publiziert, von diesen können die Planer aber begründet und nach Absprache mit der Bauherrschaft abweichen. Abweichungen werden in der Nutzungsvereinbarung festgehalten. Deren Inhalt wird wenn nötig während der weiteren Planungsschritte und der Projektverfeinerung entsprechend angepasst. Denkt man an die durch die rhythmischen Bewegungen der Menschenmenge verursachten Schwingungen in Bauteilen, so stellt sich die Frage, wie viel Schwingung die Planenden und die Bauherrschaft zuzulassen gewillt sind. Man darf davon ausgehen, dass freigespannte Tribünen, Brücken oder Treppenanlagen beim Begehen leicht schwingen. Die Planer müssen jedoch abschätzen, ob die Schwingungen nur spürbar oder gar beängstigend sein werden (jeder nimmt Schwingungen unterschiedlich wahr) – auf keinen Fall dürfen sie zu einem Tragsicherheitsproblem infolge Ermüdung oder Resonanz werden. Um die Grenzwerte der zugelassenen Schwingungen im Dialog mit der Bauherrschaft festzulegen, spielen die Umgebung und die Höhe über Terrain, in der sich das Bauelement befindet, eine wesentliche Rolle – dieser Einfluss wird in der SIA-Norm nicht konkretisiert. Bei einer eher flachen Tribüne, wie im Stadion Letzigrund, spielt die Schwingung eine weniger grosse Rolle als bei einer 40° steilen Tribüne wie der des St.-Jakob-Parks, wo das Unwohlsein früher aufkommt, vor allem wenn man zuoberst 30 m über dem Rasen, sitzt. Puskas meint dazu: «Das beklemmende Gefühl kennt man von einem Sprungbrett. Bei einer Höhe von einem Meter ist es kein Problem, darauf zu springen, bei drei Metern halten es wohl noch viele aus, bei fünf Metern wird einem aber mulmig, und bei Schwingungen

02 und 03 Menschenmassen auf geballtem Raum im Stadion regen Tragelemente zum Schwingen an – Eigenfrequenzen müssen aus diesem Grund ausserhalb genormter Werte liegen. Die frühe Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren und Architekten begünstigt das Tragwerkskonzept (Bilder: Peter Würmli)

GRUNDLAGE DES ARTIKELS

(dd/cvr) Vier an den EM-Stadien beteiligte Ingenieure lieferten uns die Informationen, die wir diesem Artikel zugrunde legten:

Stefan Raaflaub, dipl. Ing. ETH
Beyeler Ingenieure AG, Bern:
Stade de Suisse Wankdorf, 2005,
32 000 Zuschauer (vgl. TEC21 11/2003)

Tivadar Puskas, dipl. Ing. ETH
WGG Schnetzer Puskas Ingenieure, Basel:
Stadion St.-Jakob-Park, 2001, 42 500 Zuschauer

Carlo Galmarini, dipl. Ing. ETH MBA
Walt + Galmarini AG, Zürich:
Stadion Letzigrund, 2007, 30 000 Zuschauer
(vgl. TEC21 33-34/2007)

Vincent Bujard, dipl. Ing. EPFL
T ingénierie sa ingénieurs civils EPF-USIC, Genf:
Stade de Genève, 2003, 30 000 Zuschauer
(vgl. TEC21 11/2003)



02



03

zehn Meter über dem Wasser bekommen die meisten Personen Angst. Der Umstand bleibt der gleiche – das Umfeld ist aber ein anderes.» Die Erwartungshaltung spielt eine nicht zu unterschätzende Rolle: Beim Betreten einer filigranen Hängebrücke rechnen die Nutzenden von vornherein mit einem gewissen Mass an Schwingungen. Eine aus Beton oder Stahl erstellte Brücke, die schwingt, führt möglicherweise zu einem Unsicherheitsgefühl, da der Benutzer nicht darauf eingestellt war.

SCHWINGUNGEN (NICHT) ZULASSEN

Doch wie steif muss das Tragwerk ausgebildet werden, und wie viel Schwingung können die Planer zulassen, damit die Tragsicherheit erfüllt und die Nutzung nicht eingeschränkt ist – und die Tribüne trotzdem noch wirtschaftlich erstellt werden kann? Die Lösung liegt in der frühen Zusammenarbeit aller Planungsfachleute. Bereits in der Vordimensionierung versuchen die Planer, durch geeignete statische Systeme die Schwingungen einzugrenzen. Der Zürcher Ingenieur Carlo Galmarini beispielsweise lenkt das architektonische Konzept in einer frühen Zusammenarbeit mit dem Architekten so in eine Richtung, dass die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit, hier im Speziellen die Schwingungen, kein Problem mehr darstellen. Puskas ergänzt: «Die Ingenieure achten auf einen möglichst direkten Kräfteverlauf in der Tragstruktur. Dieser sollte die Form des Tragwerks bestimmen. Wenn Spannweiten und Schlankheiten in vernünftigem Verhältnis zueinander stehen, dann ist meistens auch die Schwingung in Ordnung – ein Klimmzug bei der Bauprojektplanung ist dann nicht nötig.»

Eine grobe Abschätzung solcher günstigen Bauteildimensionen kann über bekannte Regeln erfolgen: Bei normalen Lasten im Hochbau beispielsweise wird für einen einfachen Balken in Stahlbeton oder Stahl $1/1$ etwa $1/12$ eingesetzt, für einen Mehrfeldträger $1/15$. Diese Schlankheiten halten sowohl die Verformungen als auch die Schwingungen in Grenzen. Genauso verhält es sich mit der Flexibilität: Um wie viele Millimeter pro 100kg statische Einzellast senkt sich das betreffende Bauteil? Sie gibt den Ingenieuren ein Gefühl für das Verhalten des Tragwerks. Zu den massgebenden Faktoren, die die (Eigenkreis-)Frequenz beeinflussen, zählen vor allem Biegesteifigkeit, Masse und Spannweite. Mit ihnen sollten die Planer bereits in der Entwurfsphase «spielen» und durch deren Variation das funktional richtige Tragwerk im Kontext mit dem architektonischen Entwurf finden.

GRUNDLAGEN DER BERECHNUNG

Neben der statischen Bemessung der Tragelemente erfolgt die definitive dynamische Bemessung, deren Resultate mit Richtwerten nach SIA-Norm 260 verglichen werden können. Weder in dieser noch in der alten SIA-Norm 160 sind jedoch Sportstadion explizit genannt. Das Stadion in Bern wurde noch nach der alten Norm bemessen, wie der Berner Ingenieur Stefan Raaflaub erläutert. Die Schwingungsanforderung für Bauteile des Stadions Wankdorf wurde den Anforderungen von «Tanzlokalen und Konzertsälen» (Eigenfrequenz > 7 Hz) gleichgesetzt. Für den einfachen Balken – viele vorgefertigte Tribülenelemente sind auf diese Weise gelagert – lässt sich die Eigenkreisfrequenz mit

$$\omega_m = \alpha_m^2 / l^2 \times \sqrt{(EI/\mu)}$$

ermitteln.² Mit $\omega/2\pi$ ergibt sich die Frequenz f mit der Einheit Hertz (Hz), die die Anzahl Schwingungen pro Sekunde angibt. In der Formel bedeutet l die Spannweite; je grösser diese ist, desto kleiner fällt die Frequenz aus, da das Tragwerk weicher wird. Der Elastizitätsmodul E bildet zusammen mit dem Trägheitsmoment I die Biegesteifigkeit des Balkens. Mit steigender Biegesteifigkeit wird die Frequenz grösser. μ ist die Masse pro Längeneinheit und entspricht im Normalfall dem Eigengewicht des Trägers inklusive ständiger Auflasten. Je nach Situation und Betrachtungsweise müssen auch Teile der mitschwingenden Nutzlast berücksichtigt werden. Der Faktor α_m ergibt sich aus Randbedingungen und setzt sich für das Beispiel des einfachen Balkens aus π multipliziert mit m ($m = 1$ bis n für die erste Grundschiwingung und die n zugehörigen Oberschwingungen) zusammen. Pascal



04

04 Die Ingenieure berücksichtigen die hüpfenden Fussballfans oder Konzertbesucher bei der dynamischen Bemessung von Tribünen. Hüpfversuche zeigen, dass trotz Taktgeber ein absolut synchrones Hüpfen einer Menschenmasse nicht erreicht werden kann (Bild: KEYSTONE/BILDERBERG/Joerg Letz)

Anmerkungen

1 Die letzten Olympischen Spiele fanden 393 oder 394 n. Chr. statt. Nach der Durchsetzung des Christentums bezeichneten die Römer, die der griechischen Körperkultur kritisch gegenüberstanden, die Olympischen Spiele als heidnisch und verboten sie. Durch den tendenziell körperfeindlichen Einfluss der christlichen Kirche entstanden bis ins 18. Jh. keine architektonisch adäquaten Sportbauten mehr. Es genügten die freie Natur, offene Plätze ohne besondere Bauten. Eine Ausnahme stellten die im Mittelalter gebauten Fechtsäle, Ball- und Reiterhäuser dar. Aus: du 748, Zeitschrift für Kultur: Neue Arenen. Bauen für den Sport, Kulturgeschichte der Sportstätten. Nadine Olonetzky: Eine Chronik. Nr. 6 Juli/August 2004.

2 H. Bachmann, W. Ammann: Schwingungsprobleme bei Bauwerken

3 Pascal Stefan Fleischer dipl. Bau-Ing. MSc/ETH/HTL/SIA, TROMBIK Ingenieure AG

Fleischer³ meint dazu: «Das Vermeiden von Resonanzzuständen ist Ausgangspunkt jeder dynamischen Untersuchung. Können strukturelle Eigenfrequenzen mit genügend grossem Abstand zu den bei Stadien kritischen Hüpf Frequenzen erreicht werden, so sind die zu erwartenden Schwingungen oft weder kritisch noch gefährlich – teilweise sogar nicht einmal mehr spürbar.»

VERIFIZIEREN

Massnahmen, die zum Beispiel das schwingende System dämpfen oder gar einzelne Eigenfrequenzen tilgen sollen, müssen erst ergriffen werden, wenn sich die Dynamik störend auf die Nutzung oder gefährlich auf die Tragsicherheit auswirkt. Hochpräzise Messgeräte und rudimentär anmutende, trotzdem aussagekräftige Feldversuche stehen für die Ermittlung der objektspezifischen dynamischen Kennwerte (wie Eigenfrequenzen, Eigenformen, Dämpfung usw.) zur Verfügung. Das Nürnberger Franken-Stadion war 2006 Schauplatz einiger WM-Spiele. Im Vorfeld wurden Schwingungsprobleme festgestellt. Bei einem Hüpf test brachten 150 Fans des 1. FC Nürnberg – in vier Gruppen aufgeteilt – die Tribüne testweise zum Schwingen. Dabei wurden Schwingungsbandbreiten von bis 7 cm festgestellt bei einer Eigenschwingungsfrequenz von 2 Hz. Bei 8 cm hätte für die Tribünen ein Hüpfverbot erlassen werden müssen, was Fachleute angesichts der aufgeheizten Stimmung bei Fussballspielen für nicht durchsetzbar hielten. Da der Ursprung der Schwingungen unerklärlich blieb, konnten gegen die problematische Frequenz keine Tilger eingebaut werden. Schwingungsdämpfer waren zu teuer, sodass schliesslich zusätzliche Stahlstützen die Spannweiten der Tribünen träger verkürzten. Die Tragkonstruktion gewann dadurch an Steifigkeit, die Frequenz erhöhte sich entsprechend. Ganz vermeiden liessen sich die Schwingungen nicht. Vielleicht trägt die Restschwingung zur Hexenkessel-Atmosphäre bei.

Daniela Dietsche, dietsche@tec21.ch

Clementine van Rooden, vanrooden@tec21.ch