Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 106 (1988)

Heft: 22

Artikel: Schockbelastung von plastisch deformierenden Schutzraum-Einbauteilen

Autor: Kessler, Erwin

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-85737

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

men bei allen Beteiligten. Hervorzuheben sind hier vor allem: Eine auf Motivation und Identifikation basierende gute Zusammenarbeit vom Entwurf bis zur Ausführung und eine klare Abgrenzung der Verantwortlichkeiten. Jedes grössere Bauobjekt stellt eine individuelle Aufgabe dar und kann deshalb nicht kochrezeptartig bearbeitet werden. Interdisziplinäres Denken, Kreativität und persönliches Engagement jedes Beteiligten sind erforderlich.

Auf das Bauvorhaben abgestimmte Qualitätssicherungs-Massnahmen in der Projektierung und Ausführung sind systematisch einzuplanen und durchzusetzen. Die technische Bauleitung für die Tragkonstruktionen sollte dabei dem Fachmann, d.h. dem Bauingenieur übertragen werden. Termin- und Kostendruck bei den Unternehmern und Honorardruck bei den Projektierenden sind eine schlechte Basis für qualitativ hochwertige Leistungen. Das Billigste ist auch hier auf die Dauer nicht das Günstigste.

Sorgen wir also dafür, dass jene, welche die Dauerhaftigkeit der Betonbauten hinterfragen, eine klare Antwort bekommen werden. Freuen wir uns auf interessante und schöne Bauten mit dem Jahrhundert-Baustoff Beton (Bild 9)

Adresse des Verfassers: *S. Spadini*, dipl. Bauing. ETH/SIA, Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Forchstrasse 395, 8029 Zürich.

Literatur

[1] *Roosmalen:* Ursachen für Mängel beim Bauen in verschiedenen Ländern Europas, Beton- und Stahlbetonbau 5/1985

[2] *Zschokke B.:* Über das Rosten der Eiseneinlagen im Eisenbeton, Schweizerische Bauzeitung 24/1916

[3] *Trüb U.A.:* Zehn Regeln für den Erhalt von dauerhaftem Beton, Cementbulletin 1/1986

[4] *Czernin W.:* Zementchemie für Bauingenieure, Bauverlag, Wiesbaden-Berlin, 1977

[5] *Concrete Manual*, U.S. Department of the Interior, Government Printing Office, Washington, 1975

[6] *Lewandowski R.:* Zur Einführung der Regelkonsistenz, Betonwerk + Fertigteil-Technik 2/1984

[7] *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:* Richtlinien zur Nachbehandlung von Beton, DS - Der Sachverständige 11/1984

Schockbelastung von plastisch deformierenden Schutzraum-Einbauteilen

VON ERWIN KESSLER, TUTTWIL

Im folgenden wird auf einen grundlegenden Fehler im Beitrag von Daniel Schuler im SI+A Heft 37/1987 «Plastische Formänderungsenergie duktiler Biegeträger unter stossartiger Belastung» hingewiesen und gezeigt, wie Schockbelastungen physikalisch korrekt ermittelt werden.

Phänomenologie der Schockbelastung

Unter der Wirkung einer Bombenexplosion wird ein Schutzbauwerk ruckartig verschoben: Typischerweise während etwa 10 Millisekunden erfährt das Schutzbauwerk eine hohe Beschleunigung. Einbauteile im Innern, welche mit dem Bauwerk fest verankert sind, werden dadurch ebenfalls beschleunigt. Durch diese Beschleunigung - welche ein Mehrfaches der Erdbeschleunigung beträgt - ergeben sich Trägheitskräfte, welche zu hohen Beanspruchungen der Einbauteile führen können. Wird die Material-Fliessgrenze duktiler Einbauteile überschritten, dann werden die Trägheitskräfte entsprechend der Fliesslast begrenzt, dafür treten aber plastische Deformationen auf.

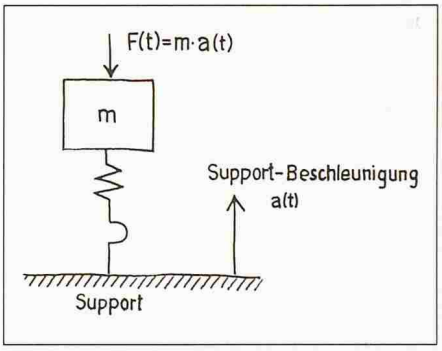
Die Beschleunigung des ganzen Schutzbauwerkes, d.h. die sogenannte Starrkörperbeschleunigung, ist nicht die einzige Ursache für solche Schockbelastungen: Ein Einbauteil, das z.B. an einer Aussenwand befestigt wird, ist zusätzlich der dynamischen Bewegung der Wand ausgesetzt. Schutzbauten werden in der Regel so bemessen, dass sie unter Nennbelastung beträchtlich inelastisch deformiert werden. Diese inelastischen Deformationen ergeben für die gesamte Schockbelastung der Einbauteile einen Beitrag, welcher den Starrkörper-Anteil in vielen Fällen übersteigt.

Für plastisch deformierbare Einbauteile können die auch noch vorhandenen starken elastischen Schwingungen des Schutzbauwerkes in erster Näherung vernachlässigt werden, da ihr energetischer Beitrag eher klein ist (sie sind dagegen wegen der hohen Beschleunigungsspitzen wichtig für spröde Einbauteile).

Berechnung der Schockbelastung

Wegen der Vernachlässigbarkeit der elastischen Schwingungen für duktile Objekte lassen sich diese mit einer stark vereinfachten, pulsförmig idealisierten Schockbelastungsfunktion behandeln. Einfache Berechnungsverfahren sind z.B. im klassischen Buch von Biggs [1] beschrieben.

Nach der Theorie der Relativbewegung - auf die hier nicht näher eingegangen wird (vgl. Lehrbücher der Mechanik) - kann die Wirkung einer Schockbelastung (= Support-Bewegung) durch eine äquivalente äussere Belastung ersetzt werden. Im Fall eines einfachen (elastoplastischen) Schwingers ergibt sich folgendes:



Betrachten wir zum Beispiel einen rechteckförmigen Beschleunigungspuls $a(t) = a_{max} = 16\,g$ während 10 ms. Die Supportbewegung erreicht dann gerade eine maximale Geschwindigkeit $v_{max} = 1{,}6$ ms. Es sei $m = 100$ kg und die Deformations-Charakteristik bilinear ideal-elastoplastisch. Dann besteht die dynamische äquivalente äussere Belastung aus einem Rechteck-Kraftstoss $F = F_{max} = 16\,g \cdot 100\,kg = 16\,kN$. Die bleibende plastische Deformation unter dieser Belastung hängt ab von der Eigenfrequenz und der Fliessgrenze und kann in so einfachen Fällen wie in diesem Beispiel aus Diagrammen entnommen werden [1].

Warnung vor Energiemethode auf falscher Grundlage

In der Fachzeitschrift «Schweizer Ingenieur und Architekt» 37/87 vom 10. September 1987 wurde von Daniel Schuler ein Aufsatz unter dem Titel

«Plastische Formänderungsenergie duktiler Biegeträger unter stossartiger Belastung» publiziert. Darin wird eine «Energiemethode» zur Bemessung von schockbeanspruchten Schutzraum-Einbauteilen vorgeschlagen. Danach wird (Gleichungen 7 und 8) das plastische Energieaufnahme-Vermögen von Einbauteilen der «kinetischen Energie» $E_k = ½ m v_{max}^2$ gegenübergestellt, wobei v_{max} wie oben die Supportgeschwindigkeit(!) und m die Schwingermasse bedeutet.

Dieses Vorgehen entbehrt jeder physikalischen Grundlage: Um die kinetische Energie des Schwingers zu berechnen, müsste selbstverständlich die Geschwindigkeit der Schwingermasse, nicht des Supports, eingesetzt werden; diese ist aber unbekannt. Die so berechnete Energie E_k hat keine physikalische Bedeutung. Die Bemessung nach dieser Methode führt zu willkürlichen Ergebnissen, welche – wie Beispiele rasch zeigen – um Grössenordnungen neben dem korrekten Resultat liegen können (besonders bei starker plastischer Verformung). Die von Schuler erwähnte gute Übereinstimmung zwischen berechnetem und gemessenem Wert müsste ein Zufall sein.

Literatur

[1] *John M. Biggs:* Introduction to Structural Dynamics, McGraw-Hill 1964.

Adresse des Verfassers: *Erwin Kessler,* Dr. Bauing. SIA, 9546 Tuttwil.

Plastische Formänderungsenergie duktiler Biegeträger unter stossartiger Belastung

Replik auf die Stellungnahme von E. Kessler

In meinem Beitrag im SI+A Heft 37/1987 wird ein Bemessungsverfahren für stossartig belastete plastisch deformierende Biegeträger erläutert. Das Verfahren ist ein Element der Festigkeitslehre, welches am praktischen Beispiel von Schockprüfungen für Schutzraumeinbauten verifiziert wurde. Die Mechanik von Schockbelastungen ist nicht Gegenstand des Aufsatzes. Dies um so mehr, als dass diese Belastungen für die rechnerische Dimensionierung und die experimentellen Prüfungen von Schutzraumeinbauten gegeben sind. Da Dr. E. Kessler speziell das Gebiet der Schutzbautechnik anspricht, sind auch die folgenden Anmerkungen und Richtigstellungen auf dieses Gebiet beschränkt:

□ Zur Bestimmung der an einem Einbauteil angreifenden Trägheitskraft greift Dr. E. Kessler die Beschleunigung als Belastungswert heraus. Zur vollständigen Beschreibung von Schockbelastungen müssen aber auch die entsprechenden Geschwindigkeits- und Verschiebungsamplituden berücksichtigt werden. Der Zusammenhang $a = v \cdot \omega = d \cdot \omega^2$ mit der Eigenkreisfrequenz ω des einfachen Schwingers lässt die Frequenzabhängigkeit dieser Bewegungsgrössen erkennen. Bei Schockbelastung weicher Systeme mit einer Eigenfrequenz <16 Hz sind solche Bemessungen unnötig konservativ. Massgebend wird in solchen Fällen die Geschwindigkeit und damit die Energieaufnahme des Einbauteils.

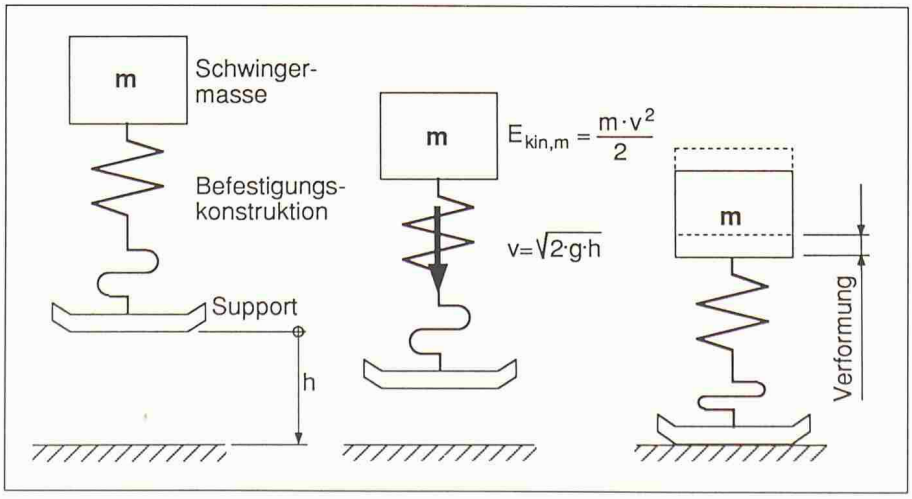
□ Wird bei der Dimensionierung die am Einbauteil angreifende Trägheitskraft in der von Dr. E. Kessler angeführten Weise bestimmt, ist zu berücksichtigen, dass es sich dabei um eine zeitlich veränderliche Kraft handelt. Da bei der weiteren Festigkeitsrechnung mit einer statisch wirkenden Ersatzlast gerechnet wird, ist sie noch zusätzlich mit einem Stosszuschlag – dem sogenannten Dynamischen Lastfaktor (DLF) zu multiplizieren [1]. Die Grösse des DLF ist dabei massgeblich von der Stossform und -dauer sowie von der Eigenschwingdauer des angestossenen Systems abhängig. Der Einfluss dieser Grössen auf Ersatzlastberechnungen wurde in [2] ausführlich beschrieben.

□ Mit Hilfe der erwähnten, in [1] enthaltenen Diagramme werden keine bleibenden Deformationen, sondern maximale Auslenkungen bestimmt. Die so bestimmten Deformationen basieren zudem auf einem ideal elasto-plastischen Verformungsverhalten. Im Gegensatz dazu wird in dem von mir beschriebenen Näherungsverfahren die Materialverfestigung nach Überschreitung der Fliessgrenze mitberücksichtigt.

□ Von Dr. E. Kessler wird die Ansicht vertreten, dass die im Bemessungsbeispiel eingesetzte Geschwindigkeit zur Berechnung der kinetischen Energie der Schwingermasse unbekannt sei und nicht mit der Supportgeschwindigkeit gleichgesetzt werden könne. Für die beschriebenen und zur Bestätigung des Bemessungsverfahrens allein massgebenden Schockprüfungen trifft das nicht zu. Der Prüftisch (Support) wird zusammen mit dem Prüfling und der bekannten, dem Prüfparameter entsprechenden, Geschwindigkeit gegen Dämpfungselemente gefahren, wobei der Härte dieser Elemente entsprechend die gewünschten Beschleunigungs- bzw. Verzögerungswerte erreicht werden. Am Beispiel der Fallversuche, wie sie häufig zur einfachen Simulation vertikaler Schockbelastungen durchgeführt werden, sind diese Verhältnisse gut ersichtlich: Support und Schwingermasse haben während dem freien Fall und beim Aufprall die identische, nur von der Fallhöhe h abhängige, Geschwindigkeit v (Bild 1).

□ Dr. E. Kessler erwähnt, dass Bemessungen aufgrund der Energieaufnahme des Bauteils besonders bei starker plastischer Verformung falsche Resultate liefern. Wie in meinem Beitrag darauf hingewiesen wird, kann das der Fall sein, falls die Gültigkeitsbereiche solcher Verfahren nicht beachtet werden. Solche Abgrenzungen, wie sie beispielsweise in [3] ausführlich beschrieben werden, sind aber nicht von der Methodik selbst, sondern von den in der Festigkeitsrechnung gemachten Grundvoraussetzungen (z.B. Ebenbleiben der Querschnitte, Begrenzung der maximalen Randdehnung) abhängig.

Bild 1. Prüfanordnung für vertikale Schockbelastung (Fallversuch)



Literatur:

[1] *Biggs, J.M.:* Introduction to Structural Dynamics, McGraw-Hill, New York, 1964

[2] *Schuler, D.:* Dynamische Beanspruchung von Befestigungen bei Stossbelastung, Schweizer Ingenieur und Architekt 104 (1986), H. 17, S. 401

[3] *Wierzbicki, T.:* Berechnung dynamisch beanspruchter Konstruktionen, Werner-Verlag, Düsseldorf, 1983

Adresse des Verfassers: *Daniel Schuler,* Masch.-Ing. HTL, Bürkel Baumann Schuler, Ingenieure + Planer AG, Neuwiesenstrasse 2, 8400 Winterthur.