Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 57/1/57/2 (1989)

Artikel: Grundsätzliche Anmerkungen zur Dauerhaftigkeit von Stahlhallen
Autor: Scheer, Joachim / Pasternak, Hartmut
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-44195

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: 05.09.2025

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

Grundsätzliche Anmerkungen zur Dauerhaftigkeit von Stahlhallen

Basic Remarks on the Durability of Single-Storey Steel Buildings

Remarques fondamentales sur la durabilité des halles métalliques

Joachim SCHEER
Bauingenieur
TU Carolo-Wilhelmina
Braunschweig, BR Deutschland

Joachim Scheer, geb. 1927, promovierte 1958. Als Beratender Ingenieur befasste er sich mit der Planung von Brücken, Masten und Gerüsten. Seit 1971 zunächst in Hannover, ab 1976 in Braunschweig Professor für Stahlbau, arbeitet er vorwiegend an Problemen der Plattenstabilität, der Berechnung von Masten und der Normenentwicklung.

Hartmut PASTERNAK
Bauingenieur
TU Carolo-Wilhelmina
Braunschweig, BR Deutschland

Hartmut Pasternak, geb 1954, promovierte 1981. Danach befasste er sich mit Problemen des Stahlhallen-, Kranbahn- und Silobaus. Seit 1986 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Stahlbau in Braunschweig und arbeitet an Fragen der Grenztragfähigkeit von Trägern und der Lastmodellierung.

ZUSAMMENFASSUNG

Ausgewertet werden zunächst über 100 mittlere und grosse Schadenfälle von Stahlhallen. Anhand ausgewählter Beispiele werden dann qualitative und quantitative Aspekte heutiger Gebrauchstauglichkeitskriterien im Hinblick auf den tatsächlichen Erhalt der Funktionstüchtigkeit untersucht.

SUMMARY

Evaluations are made for more than 100 middle-sized and large cases involving damage to single-storey steel buildings. On the basis of selected examples, qualitative and quantitative aspects of current serviceability criteria in regard to the real maintenance of the utility are investigated.

RÉSUMÉ

Plus de cent cas de dommages de moyenne et grande importance de halles métalliques ont été étudiés. Des aspects qualitatifs et quantitatifs des critères de l'aptitude au service ont été déterminés à l'aide de cas choisis, pour vérifier les besoins d'entretien.

1. STAHLHALLEN UND DER BEGRIFF DAUERHAFTIGKEIT

Stahlhallen gehören in den Industrieländern seit Jahrzehnten zu den Standarderzeugnissen der Baubranche; in Großbritannien werden ca. 90% aller Hallen in Stahl errichtet, in Italien sind es nur etwa 10%; die BR Deutschland liegt mit ca. 40% im Mittelfeld.

Trotzdem hat es bisher - auch in dieser Hinsicht sind Hallen typische Bauerzeugnisse - keine systematischen Schadensanalysen wie etwa in der Automobilindustrie gegeben, die Aufschluß über die tatsächliche Dauerhaftigkeit solcher Objekte geben könnten.

Unter Dauerhaftigkeit eines Bauwerks versteht man seine Fähigkeit, sich während seiner Lebensdauer funktions- und betriebsgerecht zu verhalten. Die Deutung des Begriffs Dauerhaftigkeit ist unter Bauingenieuren nicht unumstritten. Im Entwurf der SIA 160 (März 1988) ist Dauerhaftigkeit nur eine Teilmenge der Gebrauchstauglichkeit; im Entwurf des EC3 (Juli 1988) steht sie eher neben Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit, wenn u.a. gefordert wird,

- Umwelteinfüsse und Bauwerkslage,
- Nutzung und erwartete Lebensdauer des Bauwerks,
- Eigenschaften der verwendeten Werkstoffe,
- Gestaltung der Bauteile und konstruktiven Details,
- Qualität der Ausführung und Niveau der Qualitätskontrolle sowie
- eine geeignete Bauwerkserhaltung

bei der Bemessung zu berücksichtigen. Schließen wir uns der zweiten Auffassung an und werfen wir einen Blick auf die Grenzzustände von Bauwerken.

Heutige Regelwerke - wie etwa der Entwurf des EC 3 - gehen aus von einer Lebensdauer von 50 Jahren und begrenzen für diesen die rechnerische Versagenswahrscheinlichkeit auf

- p_f = 5·10E-5 für die Grenzzustände der Tragfähigkeit,
- p_f = 5·10E-2 für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit.

Dem stehen nach unserer Kenntnis folgende Orientierungswerte für Hallen gegenüber:

- für die jährliche Häufigkeit von Katastrophen mit großem finanziellen Verlust oder Personenschaden: $2*10^{-5}$,
- für die Häufigkeit von wesentlichen Nachbesserungen zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit: 1 mal pro 50 bis 100 Hallen.

Durch die in der probabilistischen Analyse nicht erfaßten Einflüsse (Fehler bei der Herstellung und Nutzung) wächst die Versagenswahrscheinlichkeit ausgeführter Tragwerke üblicherweise auf ein Vielfaches. So erscheint hier die Differenz in den Versagenswahrscheinlichkeiten im Grenzzustand der Tragfähigkeit eher gering, was auf "Reserven" der konventionellen Bemessung (etwa von Rahmen oder durch Vernachlässigung der räumlichen Tragwirkung) schließen läßt. Bedenken läßt dagegen der gravierende Unterschied bei den Versagenswahrscheinlichkeiten in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit aufkommen.

2. SCHÄDEN - AUSWERTUNG EINER STICHPROBE

Wenn systematische Schadensanalysen nicht geführt werden oder werden können, ist die Untersuchung von Stichproben meist zweckmäßig. Nachfolgend wird über die Ergebnisse einer Auswertung von über 100 mittleren (d.h. mit erheblichem Aufwand sanierbar oder Personengefährdung) bis großen (d.h. großer finanzieller Verlust oder Personenschaden), in den vergangenen 20 Jahren bekannt gewordenen internationalen Schadensfällen an Stahlhallen berichtet. Kleinere Schäden, die den Bereich der öffentlichen Sicherheit nicht berühren, sind in der Literatur nicht dokumentiert. Die Untersuchung zeigt, wann (Bild 1a) bzw. durch welche Fehler (Bild 1b) diese Schäden auftraten - es dominieren die Nutzungsphase bzw. Planungsfehler. Zu letzteren gehören mehrfach nicht zutreffende Schneelastannahmen (teilweise wegen unzureichender Normwerte) und subjektive Fehler wie z.B. Nichtverfolgung von Schnittkräften bis in Verbindungen. Nutzungsfehler treten in erster Linie auf infolge Beanspruchung durch Lasten, die im Entwurf gar nicht vorgesehen waren. Auf Bild 1c ist die prozentuale Häufigkeit der Anzahl der Schadensursachen nach Bild 1b gezeigt; zwei Drittel aller Schäden sind auf eine Fehlerkombination (z.B. aus Planungs- und Ausführungsfehlern) zurückzuführen.

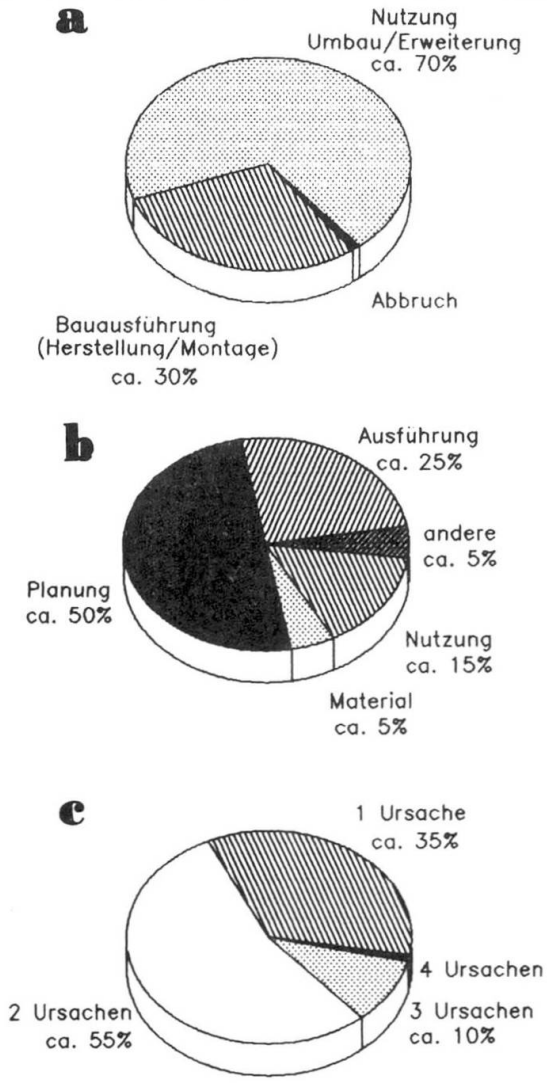

Bild 1 Schadensauswertung

Deutlich wird erneut die Eigenart von Stahlkonstruktionen: dem problemlosen Baustoff Stahl stehen hohe Anforderungen an Planung (z. B. wirken sich durch den geringen Eigenlastanteil unerwartet hohe Schneelasten stärker aus), Ausführung und Nutzung gegenüber. Mittlere und große Bauschäden von Hallen werden heute nur noch selten durch neuartige technologische Probleme (wie früher z.B. durch nicht beherrschte Stabilitätsfragen oder Schweißmängel) verursacht, sondern eher durch unzureichende Koordination der am Bau Beteiligten. Das Spektrum der Schäden ist breit. Es reicht vom Einsturz ganzer Stützen-Binder-Systeme bzw. Rahmen über das Versagen einzelner Anschlüsse bis zu Verformungen der Längsverbände infolge fehlender Temperaturfuge in Hallenlängsrichtung sowie Risse in der Bauwerkshülle durch ungleiche Stützensetzungen oder fehlende Übertragung von Bremskräften aus Kranbetrieb.

Die bisherigen Untersuchungen bestätigen für Stahlhallen die Gül-

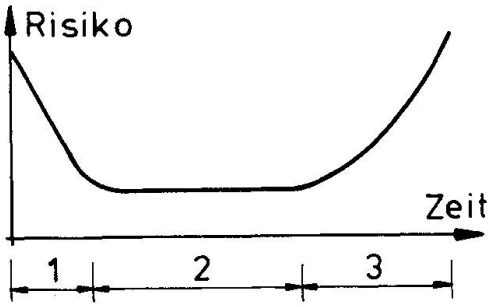

Bild 2 Risiko-Zeit-Funktion

tigkeit zumindestens der ersten beiden Abschnitte der klassischen Risiko - Zeit - Funktion (Bild 2); da Hallen keiner perfekten Kontrolle bei der Abnahme unterliegen, setzt mit der Nutzung die natürliche Selektion (1) ein; das verdeutlichen z.B. die Schneelasten: Schäden unter dieser Last sind während der ersten fünf Nutzungsjahre viermal häufiger als in den verbleibenden. Weitere Phasen sind die reguläre Nutzung (2) und das Altern (3), über dessen Beginn und Verlauf mit dieser Stichprobe keine ausreichend gesicherten Erkenntnisse gewonnen werden konnten.

Inwieweit ist die Untersuchung mittlerer und großer Schadensfälle für Dauerhaftigkeitsbetrachtungen relevant? Eine Antwort gibt Bild 3. Es zeigt anhand des nachfolgenden (sicher extremen) Beispiels, daß Fehler, die in dieser Auswertung zum Verlust der Tragsicherheit führten, unter anderen Umständen "nur" eingeschränkte Gebrauchstauglichkeit nach sich gezogen hätten.

Bei starker Schnee- und Windbelastung sowie einer Temperatur von -22°C versagten die Schrauben, mit denen das Zugband eines unterspannten Fachwerkriegels (Spannweite 15 m) an dessen Knotenblech befestigt war. Das führte zum Versagen der (unten eingespannten) Stützen im Unterbereich bzw. zu starken Abweichungen aus dem Lot. Während im Entwurf ein verschiebliches Lager für den Fachwerkbinder vorgesehen war, wurden beide Lager unverschieblich ausgeführt. Das ergab zusätzliche Kräfte aus Wind, Temperatur und unsachgemäß gelagertem Lagergut. Hinzu kam die unzureichende Ausführung mehrerer Schweißnähte. Insgesamt stürzten 10 Riegel ein.

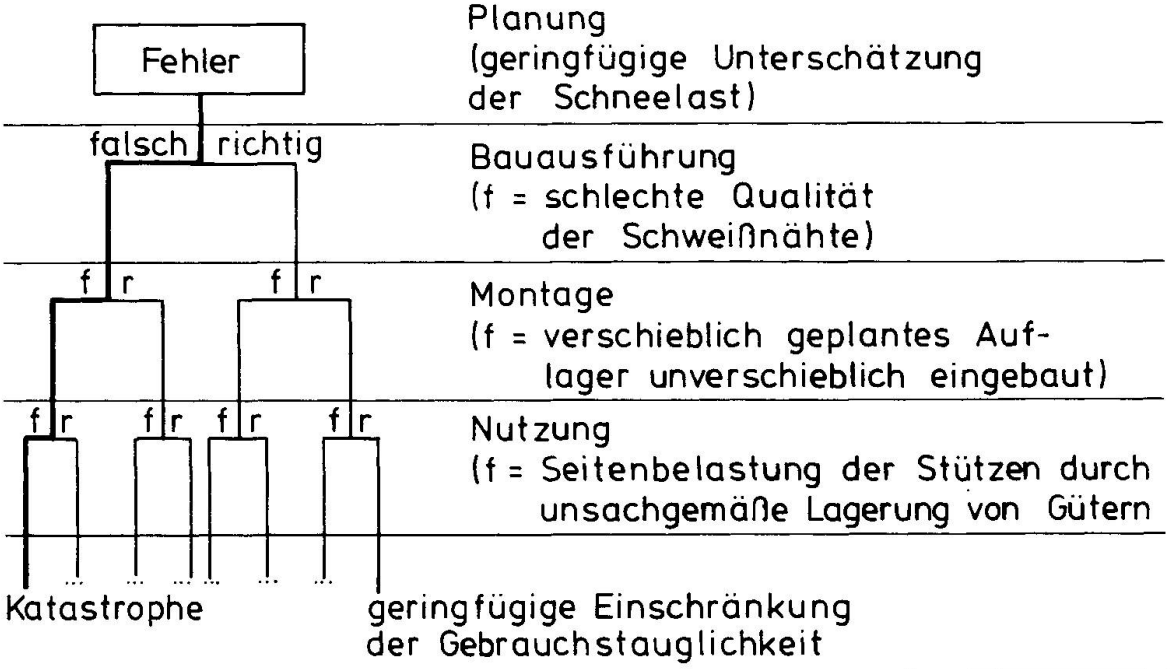

Bild 3 Ereignisbaum Stützen-Binder-System

Nicht erfaßt werden konnten mit dieser Stichprobe möglicherweise signifikante Unterschiede zwischen Massenherstellung und individueller Anfertigung, zwischen Industrie- und Ausstellungshalle. Bestätigt wurde dagegen, daß sich Nutzungsziele nicht immer durch Berechnungen erzielen lassen, sondern auch durch die Wahl geeigneter konstruktiver Durchbildung, durch Ausführung, Kontrolle und Unterhalt. Nachfolgend widmen wir uns der rechnerischen Seite.

3. ÜBER GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSKRITERIEN

3.1 Qualitative Aspekte

Auch hier wieder ein Beispiel. Über die Dauerhaftigkeit einer Kranbahn entscheiden bekanntlich insbesondere die Schiefstellung der Kranlaufräder sowie dauerhafte und elastische Deformationen in der Horizontalebene der Fahrbahn.

Heutzutage beschränken wir uns beim sog. Gebrauchstauglichkeitsnachweis allein auf die Begrenzung der elastischen Durchbiegung der einzelnen Kranschiene auf z.B. l/800, der Kopfauslenkung der einzelnen Kranbahnstütze auf h/300 bzw. der Differenz der Kopfauslenkung gegenüberliegender Stützen auf 20 mm, fordern also eine Art Mindeststeifigkeit. Nun ist z.B. die zweite dieser Forrungen berechtigt, etwa um das Herausspringen von Fensterscheiben beim Vorbeifahren eines Brückenkrans (ein Schadensfall in Abschnitt 2) zu verhindern. Was aber bedeuten diese Kriterien für den "Leitgebrauch"?

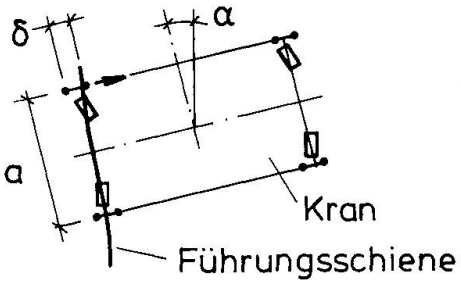

Bild 4 Kranschrägstellung

Zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ist es erforderlich zu überprüfen, ob die Gesamtschrägstellung α des Krans (aus den für den Betrieb prognostizierten geometrischen Imperfektionen und elastischen Verformungen der Kranbahn in der Horizontalebene einerseits sowie infolge prognostizierter Laufradschrägstellung andererseits) kleiner ist als die überhaupt mögliche Schrägstellung, die sich als Quotient aus dem Spurspiel δ zwischen Führungselement und Schiene sowie dem Abstand a zwischen den Führungselementen ergibt (Bild 4). Ist diese Bedingung erfüllt, fährt der Kran im sog. hinteren Freilauf - einer Stellung, die sich günstig auf die Dauerhaftigkeit der Kranbahn auswirkt.

Wir erkennen an diesem wiederum drastischen Beispiel, daß Vorschriften zwar Schritte zur Sicherung der Dauerhaftigkeit vorsehen, ohne daß dann daraus später immer Schlußfolgerungen hinsichtlich der Dauerhaftigkeit gezogen werden können. Neue Gebrauchstauglichkeitskriterien müssen gefunden werden.

3.2 Quantitative Aspekte

Versagenswahrscheinlichkeit. In der letzten Zeit wird vorgeschlagen, in vielen Fällen größere rechnerische Versagenswahrscheinlichkeiten in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit zu akzeptieren, z.B. $p_f = 0.1...0.2$/Jahr [1]. Aus dem Vergleich mit Abschnitt 1 sehen wir, daß diese Auffassung dem status quo im

Hallenbau näher kommt als der bisherige Wert p_f = 10E-2/50 Jahre (insbesondere, wenn man bedenkt, daß dort nur Schäden mit wesentlichen Einschränkungen der Gebrauchstauglichkeit erfaßt wurden).

Lebensdauer und Nutzungsbedingungen. Hüllelemente werden aus Gründen der Alterung aber auch des veränderten Geschmacks mitunter schon nach weniger als 20 Jahren ersetzt. Auch viele Brückenkrane überschreiten dieses Alter nicht: mal werden sie durch neue, leichtere Krane gleicher Tragfähigkeit ersetzt, mal werden Krane größerer Tragfähigkeit gewünscht. Das zieht veränderte Anforderungen an die Kranbahn nach sich. Ähnliches gilt für Installationen und Beleuchtung. Aber selbst grundlegende Änderungen der Nutzung von Hallen sind häufig. Der heutige, generell 50jährige Bezugszeitraum für Gebrauchstauglichkeitskriterien erscheint unrealistisch, individuelle Nutzungsprognosen sind erforderlich. Mit nur vage definierten Eingangsdaten ist eine sicherheitstheoretisch fundierte, quantitative Aussage über die Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit nicht möglich. Ein erster Schritt aus dieser Situation könnte sein, daß zukünftige Regelwerke verfeinerte Lastannahmen für unterschiedliche Bezugszeiträume anbieten.

3.3 Kontrolle

Kehren wir noch einmal zurück zum Beispiel aus Abschnitt 3.1. Die Ausgangsdaten für den dortigen Gebrauchstauglichkeitsnachweis, die Lage der Kranbahn und die Stellung der Kranlaufräder, werden bei der Montage vermessen und mit Herstellungstoleranzen verglichen, spätere Vermessungen von Kran und Kranbahn erfolgen meist nicht mehr regelmäßig (deren Interpretation wäre übrigens nicht problemlos, da es bis heute keine Festlegungen für Betriebstoleranzen gibt!), sondern vielfach erst dann, wenn Schadensfälle z.B. an der Kranbahn eintreten (wie in der o.g. Auswertung mehrmals registriert). In [2] wird gezeigt, wie zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführte Messungen der Kranbahnlage auf probabilistischer Grundlage ("Markov-Ketten") ausgewertet werden können und zu zuverlässigen Aussagen über die Dauerhaftigkeit führen. Ebenfalls abgeleitet werden kann so die notwendige Häufigkeit von Messungen, die zur "Vorwarnung" erforderlich ist. Möglich ist auch eine Zustandsprognose (mit welcher Wahrscheinlichkeit treten welche Imperfektionen auf?), wenn Ausgangssituation und Betriebsbedingungen bekannt sind.

4. SCHLUSSBEMERKUNG

Die Auseinandersetzung um das Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte wurde angetreten mit der Absicht, die rechnerische der tatsächlichen Sicherheit anzunähern. Soll die für Stahlhallen bestehende Diskrepanz überwunden werden, muß insbesondere der Katalog der Gebrauchstauglichkeitsanforderungen (z.B. in SIA 160 und EC3-Entwurf) überprüft, neu gestaltet und stetig aktualisiert werden.

LITERATUR

1. Committee on Serviceability Research: Structural Serviceability - A Critical Appraisal .... J.Str.Eng. 112(1986)2646-2664
2. Bodarski Z., Pasternak H.: Zur Beurteilung des Kranbahnzustandes - Analyse und Prognose. Bauingenieur 56(1981)9-15