



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN

Schriftenreihe
Konstruktiver Ingenieurbau Dresden
Heft 48



Manfred Curbach, Heinz Opitz,
Silke Scheerer, Torsten Hampel (Hrsg.)

**10. SYMPOSIUM
EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN
VON BAUKONSTRUKTIONEN**

11. März 2019

Herausgeber der Reihe

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
apl. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Graf
Prof. Dr.-Ing. Peer Haller
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe
Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kaliske
Prof. Dr.-Ing. Viktor Mechtcherine
Prof. Dr.-Ing. Richard Stroetmann
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Weller

Institut für Massivbau
Technische Universität Dresden

D - 01062 Dresden

Tel.: +49 351 463-3 65 68
Fax: +49 351 463-3 72 89

Titelbild:

Belastungsrahmen für die Prüfung von Geschossdecken im Jugendstil-Kaufhaus
Görlitz (Foto: Oliver Mosig, s. Beitrag Mosig et al. in diesem Tagungsband)

Redaktion und Layout: Silke Scheerer
Korrekturen: Petra Kahle, Angela Heller
Umschlag und Druckvorbereitung: Stefan Gröschel
Für die Inhalte der Beiträge sind die Autor*innen verantwortlich.

Druck: addprint AG · Am Spitzberg 8a · 01728 Bannewitz
Veröffentlicht: Dresden, März 2019

Der Tagungsband ist open access auf der Homepage des Instituts für Massivbau verfügbar (<https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/das-institut/veranstaltungen/SEUB>).

ISSN: 1613-6934
ISBN: 978-3-86780-583-4

Inhalt

Vorwort	7
Steffen Marx, Jürgen Grünberg, Gregor Schacht Sicherheitskonzept für Belastungsversuche	9
Mai Häßler Experimentelle Bestimmung des Beanspruchungszustands in fachwerkartigen Eisen- und Stahltragwerken mit Hilfe von Schwingungsmessungen	23
Thilo Fröhlich, Veit Birtel, Dieter Lotze Zyklische Prüfung von Befestigungen in Beton mittels Schwingungsanregung	33
Oliver Mosig, Sabine Wellner, Jörg Rudolph Belastungsprüfung der Geschosdecken im Jugendstil-Kaufhaus Görlitz	45
Volker Wetzck, Claudia Pahlow Das Potenzial von Miniatur-Druckproben für die Werkstoffcharakterisierung von Stahlguss	59
Kerstin Speck, Fritz Vogdt, Manfred Curbach, Yuri Petryna Faseroptische Sensoren zur kontinuierlichen Dehnungsmessung im Beton	71
Jens Heinrich, Reinhard Maurer Rissmonitoring zur Untersuchung der Ermüdungsfestigkeit an bestehenden Brückenbauwerken	83
Max Käding, Gregor Schacht, Guido Bolle, Steffen Marx Überwachung von Brücken mit Gefährdung durch Spannungsrissskorrosion	97
Florian Schill, Milo Hirsch, Andreas Eichhorn Überwachung von Tragwerken mit Profilsclannern	109
Jörg Scheithauer, Chris Hobusch, Falk Steinigk, Torsten Hillig, Matthias Schramm UAV und BIM – neue Herausforderungen an die Bauüberwachung bei Infrastrukturmaßnahmen an Eisenbahnbrücken der Deutschen Bahn	123
Nico Steffens, Kay Degenhardt, Karsten Geißler Modifiziertes Ziellastniveau bei Straßenbrücken durch Bauwerksmonitoring	135
Marc Gutermann, Werner Malgut, Carsten Böhme Experimenteller Nachweis von Straßenbrücken kleiner Stützweite am Beispiel von Wegebrücken in der Eilenriede, Hannover	147
Oliver Fischer, Sebastian Gehrlein Weggesteuerte In-situ-Querkraftversuche (bis in den Nachbruchbereich) und innovative Messtechnik an einer 60 Jahre alten 7-feldrigen Spannbetonbrücke ...	161

Modifiziertes Ziellastniveau bei Straßenbrücken durch Bauwerksmonitoring

Nico Steffens¹, Kay Degenhardt², Karsten Geißler³

Kurzfassung. Die realistische Bewertung bestehender Brückenbauwerke nimmt einen immer größeren Stellenwert ein. Für die Bewertung können ergänzend Bauwerksmessungen durchgeführt werden, um zusätzliche Informationen zu Tragwerk, Einwirkungen oder Beanspruchungen zu erhalten. Bisher normativ ungeklärt ist die Frage, inwiefern die gewonnenen zusätzlichen Informationen zu den Beanspruchungen im Rahmen des Sicherheitskonzepts zu berücksichtigen sind. In diesem Beitrag wird gezeigt, wie durch Integration der Messdaten in das Sicherheitskonzept ein objektspezifisches modifiziertes Ziellastniveau für die Nachrechnung begründet werden kann.

1 Einleitung – Zustand und Bewertung bestehender Brücken

Es wird zunehmend über den Zustand der Brücken in Deutschland sowohl in Fachkreisen als auch medial vielschichtig diskutiert. Die Probleme sind dabei weitgehend bekannt und vielfach dokumentiert, z. B. in [1]. Es ist zum einen das zunehmende Bauwerksalter der Brücken problematisch. Vor allem bei Straßenbrücken aber noch entscheidender sind die stetig steigenden Verkehrslasten. Dies betrifft sowohl die Anzahl schwerer Fahrzeuge als auch das Fahrzeuggewicht.

Das zunehmende Bauwerksalter kann einerseits wegen der vielen rechnerisch anzusetzenden ermüdungsrelevanten Beanspruchungen während der langen Nutzungszeit zu Defiziten beim Nachweis der Ermüdungssicherheit führen. Andererseits haben inzwischen aber auch viele ältere Bauwerke – zumindest rechnerische – Defizite im Nachweis der Tragfähigkeit. Bestehende Bauwerke wurden mit den Lastmodellen entsprechend der zur Bauzeit gültigen Norm bemessen. Aufgrund der Verkehrsentwicklung werden die normativen Lastmodelle stetig den aktuellen Anforderungen angepasst. Bei zahlreichen bestehenden Bauwerken führen allerdings gerade diese deutlich höheren Lastansätze zu rechnerischen Defiziten, obwohl sie u. U. noch in gutem Zustand sind und gerade im Bereich der Landesstraßen ggf. die konkrete objektspezifische Belastung niedriger ist. In Anbetracht der zuneh-

¹ Dipl.-Ing., FG Entwerfen und Konstruieren – Stahlbau, Institut für Bauingenieurwesen, TU Berlin

² Dipl.-Ing., Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg, Dezernat Grundsatzangelegenheiten Straßen und Konstruktiver Ingenieurbau

³ Prof. Dr.-Ing., FG Entwerfen und Konstruieren – Stahlbau, Institut für Bauingenieurwesen, TU Berlin

menden Schwierigkeiten im Umgang mit den bestehenden Bauwerken lohnt sich daher bei der Bewertung der Brücken immer ein genauerer Blick auf die reale Belastungssituation.

2 Normative Lastmodelle und ihre charakteristischen Werte

Die maßgebende veränderliche Last bei der Bemessung eines Brückentragwerks ist in den meisten Fällen die Verkehrslast. In den Normen sind Lastmodelle definiert, die die realen Verkehrslasten mit ausreichender Sicherheit abdecken. Aktuell ist dies das LM 1 (ehemals LMM) nach DIN EN 1991-2 [2], welches für Neubauten anzusetzen ist. Vor der Einführung der Eurocodes im Jahr 2012 galt das LM 1 des DIN-Fachberichtes 101 [3]. Dieses war bereits angelehnt an das LM 1 des Eurocodes, wobei neben abweichenden Anpassungsfaktoren lediglich zwei Spuren mit einem Tandemsystem und der übrige Bereich über die Brückenbreite als Restfläche anzusetzen war. Der DIN-Fachbericht 101 wurde im Jahr 2003 eingeführt und im Jahr 2009 überarbeitet. Vor der Einführung des DIN-Fachberichtes 101 waren die Verkehrslastmodelle durch die DIN 1072 geregelt [4]. Hierin waren grundsätzlich andere Lastmodellkonfigurationen vorgesehen.

Die Bemessung einer Brücke erfolgt in der Regel für den Bemessungszeitraum von 100 Jahren. In den Normen sind charakteristische Werte mit einer festgelegten (mittleren) Wiederkehrperiode definiert. Der charakteristische Wert sollte definitionsgemäß im Mittel einmal im Bemessungszeitraum auftreten. Da dieser Wert größenmäßig aber dennoch einer Streuung unterliegt, wird er gemäß dem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept mit einem Teilsicherheitsbeiwert beaufschlagt. Das Lastmodell 1 – für die Bemessung von Neubauten – ist hiervon abweichend mit einer Wiederkehrperiode von 1000 Jahren definiert, wobei zu beachten ist, dass gleichzeitig der Teilsicherheitsbeiwert im GZT von 1,50 auf 1,35 korrigiert wurde.

3 Bauwerksmonitoring

Durch Dauermessungen am Tragwerk lassen sich die realen Beanspruchungen z. B. infolge der Verkehrslasten erfassen und statistisch auswerten. Die hierdurch zusätzlich gewonnenen Informationen ermöglichen eine realitätsnähere Bewertung. Durch Integration der abgeleiteten statistischen Beanspruchungsgrößen in das Sicherheitskonzept können modifizierte Sicherheitselemente und Lastmodelle zuverlässigkeitstheoretisch begründet werden. In Bild 1 sind die Möglichkeiten einer messwertgestützten Bewertung dargestellt. Hierdurch werden rechnerische Sicherheitsreserven aufgedeckt, wobei die normativ geforderte Zuverlässigkeit erhalten bleibt.

Im Rahmen dieses Beitrages wird im Folgenden nur auf das Modul „Korrektur des Lastmodells“ eingegangen.

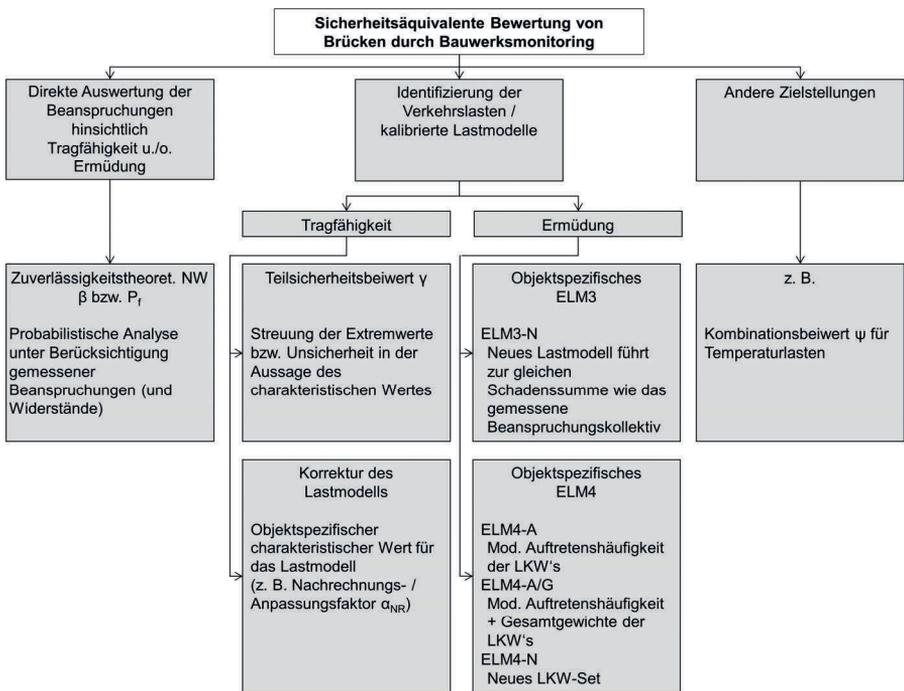


Bild 1 Sicherheitsäquivalente Brückenbewertung durch Bauwerksmonitoring

4 Extremwertanalyse gemessener Beanspruchungen

Die aus den im Rahmen eines Bauwerksmonitorings erfassten Dehnungs-Zeit-Verläufe können auf Extremwerte eines gewählten Bezugszeitraums reduziert werden. Bei kleineren Zeiträumen, wie zum Beispiel einer stundenweisen Auswertung von Extremwerten, sind tageszeitliche Schwankungen zu beachten. Während der Tagesstunden – je nach Lage der Brücke im Verkehrsnetz ggf. vor allem in den Morgen- und Abendstunden – können eher größere Stundenextremwerte auftreten als in den verkehrsärmeren Nachtstunden. Bei Bauwerken, die im Zuge stark frequentierter Strecken liegen, tritt dieser Effekt allerdings nicht so stark auf. Bei einer tageweisen Auswertung von Extremwerten kann es darüber hinaus vorkommen, dass an den Wochenenden deutlich geringere Extremwerte erfasst werden, da der Berufsverkehr mit seinen schweren Lastkraftwagen in der Regel die größeren Werte liefert. Bei zu kleinem gewähltem Bezugszeitraum ergeben sich in solchen Fällen multimodale Verteilungen, die mehrere Höchstwerte aufweisen.

Es hat sich gezeigt, dass in der Regel eine wochenweise Auswertung der Extremwerte ausreicht. Diese wochenweise Auswertung von Extremwerten liefert meist eine unimodale Verteilung. Das entsprechend abgeleitete Histogramm der Extremwerte kann durch eine

geeignete Verteilungsfunktion approximiert werden. Für die Abbildung zeitabhängiger Prozesse sind die Extremwertverteilungen besonders geeignet. Da sich die Extremwertverteilungen in andere Bezugszeiträume umrechnen lassen, wird eine Möglichkeit geschaffen, die von der jeweiligen Nutzungsdauer abhängige Intensität der Last zu berücksichtigen und in ein quasi stationäres Problem zu überführen [5]. Je größer der Bezugszeitraum gewählt wird, desto besser passt sich die Verteilung einer Extremwertverteilung an. Mit steigendem Bezugszeitraum wird die Approximation z. B. durch eine Extremwertverteilung Typ I (Gumbel) besser, da die kleineren Teilmengen der Grundgesamtheit wegfallen und nur die maßgebenden Extremwerte im oberen Bereich übrig bleiben, s. a. [6]. Die Extremwertverteilung für einen beliebigen Bezugszeitraum ergibt sich aus einer Verschiebung der Extremwertverteilung entlang der Abszisse (Bild 2).

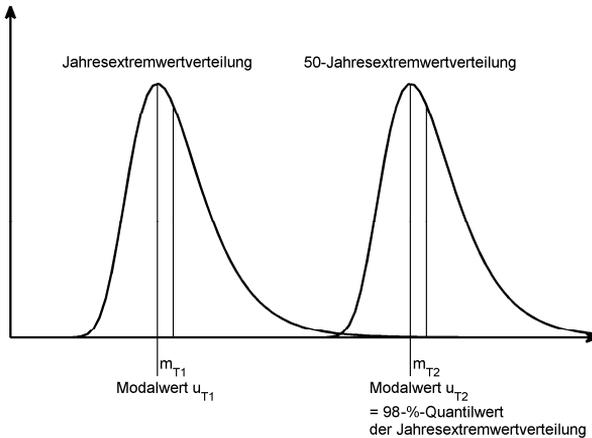


Bild 2 Extremwertverteilungen für gewählte Bezugszeiträume

Dementsprechend verschiebt sich der Mittelwert m_{T_1} gegenüber der Ausgangsverteilung, während die Standardabweichung σ unverändert bleibt. Nach [5] lässt sich die Umrechnung der Mittelwerte für verschiedene Bezugszeiträume einer Extremwertverteilung Typ I mit folgender Gleichung vornehmen:

$$m_{T_2} = m_{T_1} + \sigma \cdot \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$$

5 Ziellastniveaus für die Nachrechnung

5.1 Allgemeines

Für die Bewertung bestehender Straßenbrücken wird die *Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie)* [7] angewandt. Hierin sind Anhaltswerte für das erforderliche Ziellastniveau gegeben. Dieses wird in Abhängigkeit der summarischen Verkehrszusammensetzung des Schwerverkehrs und der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs (DTV-SV) festgelegt.

Die Nachrechnungsrichtlinie enthält vier Bewertungsstufen, wobei der Aufwand und die Genauigkeit von Stufe zu Stufe steigen. In Stufe 3 sind Bauwerksmessungen zugelassen. Durch Bauwerksmessungen stehen zusätzliche Informationen bereit, die eine realitätsnähere Bewertung und die Begründung objektspezifischer Ziellastniveaus ermöglichen.

5.2 Wiederkehrperiode des charakteristischen Wertes

Nachdem durch die Extremwertanalyse die statistischen Parameter der Verteilungsfunktion zur Approximation des Histogramms der Extremwerte bestimmt wurden, können diese zunächst auf einen höheren Zeitraum extrapoliert werden, z. B. auf die Verteilung der Jahresextremwerte (Jahresextremwertverteilung). Diese Verteilung entspricht dann gemäß der Extremwerttheorie der Verteilung des hier jeweils größten Wertes eines Jahres. Bei einem Zeitraum von 50 Jahren wären entsprechend 50 Werte vorhanden. Üblicherweise wird der charakteristische Wert als Quantilwert der Jahresextremwertverteilung berechnet. Es ist allerdings ebenso möglich, den charakteristischen Wert aus einer Extremwertverteilung eines anderen Bezugszeitraums mit entsprechend angepasstem Quantil zu berechnen. Entscheidend für die Festlegung des charakteristischen Wertes ist nicht die Wahl des Bezugszeitraums der Extremwertverteilung, sondern die Wahl der Wiederkehrperiode des extremalen Ereignisses. Die Wiederkehrperiode der veränderlichen Leiteinwirkung sollte konsequenterweise entsprechend des Bemessungszeitraums gewählt werden. Es wird daher im Hochbau, bei dem im Neubau üblichen Bemessungszeitraum von 50 Jahren, in der Regel der 98-%-Quantilwert der Jahresextremwertverteilung für veränderliche Lasten gewählt. Dies entspricht genau einer Wiederkehrperiode von 50 Jahren. Im Brückenbau, wo üblicherweise für 100 Jahre bemessen wird, wurde diese Herangehensweise nicht in letzter Konsequenz angewandt, wie die Festlegung des LM 1 zeigt.

5.3 Messwertgestützter charakteristischer Wert

Wenn die Verteilungsdichtefunktion einer Einwirkung bekannt ist, können beliebige Quantilwerte dieser Einwirkung berechnet werden. Der Quantilwert einer Extremwertverteilung Typ I lässt sich nach folgender Funktion berechnen:

$$E_{k, \text{Mess}} = m \cdot \left[1 - 0,7797 \cdot v \cdot (0,5772 + \ln\{-\ln q\}) \right]$$

Mit:

$E_{k, \text{Mess}}$	Messwertgestützter charakteristischer Wert
m	Mittelwert der Extremwertverteilung Typ I je nach Bezugszeitraum
v	Variationskoeffizient der Extremwertverteilung Typ I je nach Bezugszeitraum
q	Festzulegende Unterschreitungswahrscheinlichkeit des charakteristischen Wertes

Die festzulegende Unterschreitungswahrscheinlichkeit q ergibt sich je nach gewünschter Wiederkehrperiode a und vorliegender Extremwertverteilung gemäß folgender Berechnung:

$$q = 1 - \frac{1}{n_a \cdot a}$$

Mit:

- n_a Werte pro Jahr je nach Bezugszeitraum der Extremwerte
 a Wiederkehrperiode bzw. Bemessungszeitraum in Jahren

Für die Berechnung des charakteristischen Wertes mit einer mittleren Wiederkehrperiode von bspw. 50 Jahren aus einer Jahresextremwertverteilung wäre $q = 0,98$ zu setzen. Es sind dann zur Berechnung des Quantilwertes die statistischen Parameter der Jahresextremwertverteilung ($m_1, v_1 = s_1/m_1$) anzusetzen. Wird ein Bemessungswert bestimmt, so ergibt sich q mit Hilfe der standardisierten Normalverteilung Φ aus $q = \Phi \cdot (-\alpha \cdot \beta)$.

5.4 Festlegung des objektspezifischen Ziellastniveaus

Für die Festlegung des objektspezifischen Ziellastniveaus wird der Quotient $\alpha_{NR,i}$ aus messwertgestütztem charakteristischem Wert $E_{k,Mess}$ und normativem charakteristischem Wert $E_{k,Norm}$ gebildet. Dieser Nachrechnungs- bzw. Anpassungsfaktor wird für alle relevanten normativen Brückenklassen (Lastmodelle nach jeweiliger Norm) berechnet:

$$\alpha_{NR,i} = \frac{E_{k,Mess}}{E_{k,Norm_i}} \leq 1,0$$

Der Nachrechnungs- bzw. Anpassungsfaktor α_{NR} stellt den Bezug zwischen dem realen Verkehrslastniveau und dem normativen Lastmodell dar. Es geht hierbei also um die Größe des anzusetzenden erforderlichen charakteristischen Wertes für das Lastmodell, um die realen Verkehrslasten mit ausreichender Sicherheit abzudecken.

Der normative charakteristische Wert $E_{k,Norm}$ ergibt sich aus einem mittels Systemmessung kalibrierten FE-Modell und der ungünstigsten Laststellung für das jeweils betrachtete Bauteil. Je nach angesetzter rechnerischer Spuranordnung im FE-Modell ergeben sich spurabhängige oder spurunabhängige Nachrechnungs- bzw. Anpassungsfaktoren [8].

Bezüglich des Ergebnisses des Nachrechnungs- bzw. Anpassungsfaktors sind folgende Aussagen zutreffend:

- $\alpha_{NR,i} \leq 1$ Die Brückenklasse/das Lastmodell gemäß Norm deckt die realen Verkehrslasten ab. Die Bezugs-Brückenklasse ist ausreichend.
 $\alpha_{NR,i} > 1$ Die Brückenklasse/Lastmodell gemäß Norm deckt die realen Verkehrslasten nicht ab. Es muss die nächst größere Bezugs-Brückenklasse als erforderliches Ziellastniveau gewählt werden.

Mit Zahlenwerten beispielhaft belegt, könnten sich bei einem abgeleiteten messwertgestützten charakteristischen Wert die in Tabelle 1 dargestellten Nachrechnungsfaktoren für die jeweiligen Bezugs-Brückenklassen (bzw. normative Lastmodelle) ergeben.

Tabelle 1 Beispielhafte Größenordnung der Nachrechnungsfaktoren je nach Bezugs-Brückenklasse für eine Brücke

Nachrechnungsfaktor α_{NR}	$E_{k, Norm}$ (Brückenklasse)
... z. B. 1,12	BK 30/30
... z. B. 1,05	BK 60
... z. B. $0,70 < 1 \rightarrow$ Ziellastniveau	BK 60/30
... z. B. 0,50	LM 1 _{DIN-FB}
... z. B. 0,30	LM 1 _{EC}

Es zeigt sich in dem in Tabelle 1 dargestellten Zahlenbeispiel, dass mit diesem auf die bisherigen Brückenklassen bezogenen Verfahren zur Festlegung des Ziellastniveaus ggf. Tragwerksreserven nicht voll ausgeschöpft werden. Dies liegt an den Lastsprüngen zwischen den Lastmodellen. In dem gezeigten Zahlenbeispiel würden theoretisch 70 % der Lasten der Brückenklasse 60/30 ausreichen, um die realen Verkehrslasten abzudecken. Die nächst kleinere Brückenklasse 60 reicht wiederum nicht aus zur Abdeckung der realen Lasten.

Ein von den bisherigen Brückenklassen losgelöstes Verfahren zur Festlegung des Ziellastniveaus beispielsweise direkt in Form des Nachrechnungs- bzw. Anpassungsfaktors mit einem festen Bezug auf zum Beispiel das LM 1 des DIN-FB 101 könnte diese zusätzlichen Reserven im Lastmodell aktivieren. Das zur Nachrechnung anzusetzende Lastmodell ist dann immer das LM 1 gem. DIN-FB 101 unter Ansatz eines objektspezifischen Nachrechnungs- bzw. Anpassungsfaktors:

$$LM_{NR} = \alpha_{NR} \cdot E_{k, LM1_{DIN-FB 101}}$$

Mit:

LM_{NR}	Für die Nachrechnung anzusetzendes Lastmodell
α_{NR}	Nachrechnungs- bzw. Anpassungsfaktor
$E_{k, LM1_{DIN-FB 101}}$	Lastmodell 1 nach DIN-FB 101

5.5 Messwertgestützter Teilsicherheitsbeiwert

Zur Festlegung eines objektspezifischen Lastmodells gehört konsequenterweise auch die Begründung des zugehörigen erforderlichen Teilsicherheitsbeiwertes der Verkehrslast. Der Teilsicherheitsbeiwert deckt die Unsicherheit in der Aussage der Größe des charakteristischen Wertes ab. Durch den Teilsicherheitsbeiwert wird der charakteristische Wert auf den Bemessungswert erhöht, um ein ausreichendes bzw. gefordertes Sicherheitsniveau zu wahren. Die Berechnungsvorschrift für den Teilsicherheitsbeiwert unter Ansatz einer Extremwertverteilung Typ I wurde z. B. in [8] angegeben. Hiernach ist der Teilsicherheitsbeiwert einerseits abhängig von den statistischen Parametern der gemessenen Verteilung und andererseits vom geforderten Zuverlässigkeitsindex β je nach gewähltem Bemessungszeitraum. Entsprechend des gewählten Bemessungszeitraums und des damit einhergehenden charakteristischen Wertes müsste konsequenterweise auch der zugehörige

normativ geforderte Zuverlässigkeitsindex β in die Berechnung einfließen (Bild 3). Erst durch den Teilsicherheitsbeiwert wird das Lastmodell in Bezug zu einem geforderten Sicherheitsniveau (Zuverlässigkeit) gebracht. Je höher die geforderte Zuverlässigkeit im Bemessungszeitraum ist, desto höher fällt der Teilsicherheitsbeiwert aus.

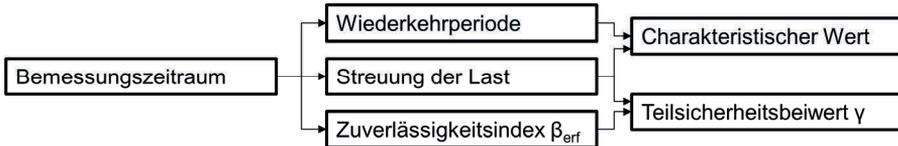


Bild 3 Wahl des Bemessungszeitraumes

6 Beispiel

An einem Referenzbauwerk wurden über mehrere Monate die Dehnungen an ausgewählten Punkten mittels Dehnmessstreifen kontinuierlich erfasst. Es handelt sich um eine Spannbetonbrücke aus dem Jahr 1968 mit den Stützweiten 20,25 – 27,50 – 20,25 – 17,25 m (Bild 4).



Bild 4 Spannbetonbrücke als Durchlaufträger

Im gemessenen Zeitraum ergab sich der Maximalwert aus einer Begegnung zweier LKW in Feldmitte des zweiten Feldes (Bild 5). Der zugehörige Dehnungs-Zeit-Verlauf für den Messpunkt am Untergurt (UG) des Hauptträgers Nord (HT-N) in Feldmitte (FM) des zweiten Feldes (HT-N-FM-UG) ist in Bild 6 gegeben.

Im Rahmen der Extremwertanalyse wurden für den Messpunkt an der Bodenplatte des nördlichen Steges in Feldmitte des zweiten Feldes die Wochenextremwerte extrahiert und durch eine Extremwertverteilung Typ 1 approximiert (s. Tabelle 2). Aus der extrapolierten Verteilungsfunktion der Jahresextrema wurden unterschiedliche charakteristische Werte mit ihren Wiederkehrperioden sowie die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte berechnet.



Bild 5 Zeitliche Entwicklung der Belastungssituation (von links nach rechts)

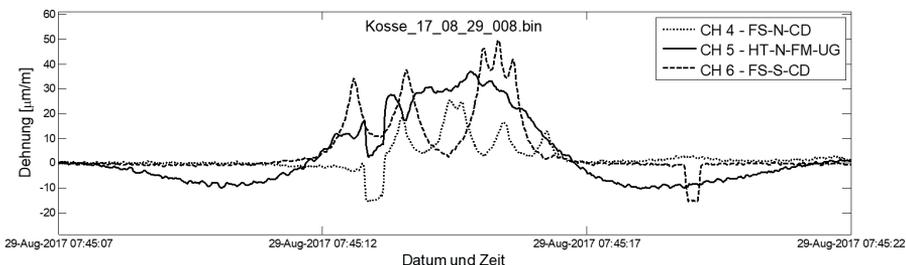


Bild 6 Dehnungs-Zeit-Verlauf am Messpunkt in Feldmitte bei der Begegnung zweier LKW auf dem Bauwerk

Für eine begrenzte Restnutzungsdauer von 20 Jahren ist die Extrapolation in Bild 7 dargestellt.

Dabei sind:

- m_i Mittelwert der Extremwertverteilung Typ I je nach Bezugszeitraum
- i Bezugszeitraum in Jahren
- σ Standardabweichung der Extremwertverteilung Typ I
- v_i Variationskoeffizient der Extremwertverteilung Typ I je nach Bezugszeitraum
- $F_{k, Mess}$ Messwertgestützter charakteristischer Wert (= $E_{k, Mess}$)

Es zeigt sich, dass eine ausreichende Messdauer zur Ableitung der Extremwerte zu beachten ist. In Bild 7 sind zumindest die größeren interessierenden Extremwerte durch die Verteilung abgedeckt. Mit zunehmender Messdauer wird die Approximation besser. Eine Messdauer von einem Jahr liefert i. d. R. gute Ergebnisse. Für eine Bemessung für einen Zeitraum von 50 Jahren würde die Extrapolation auf die Verteilung der 50-Jahreswerte erfolgen. Die Extrapolation ist in Bild 8 gegeben. Eine Extrapolation auf den 100-Jahreswert zeigt Bild 9.

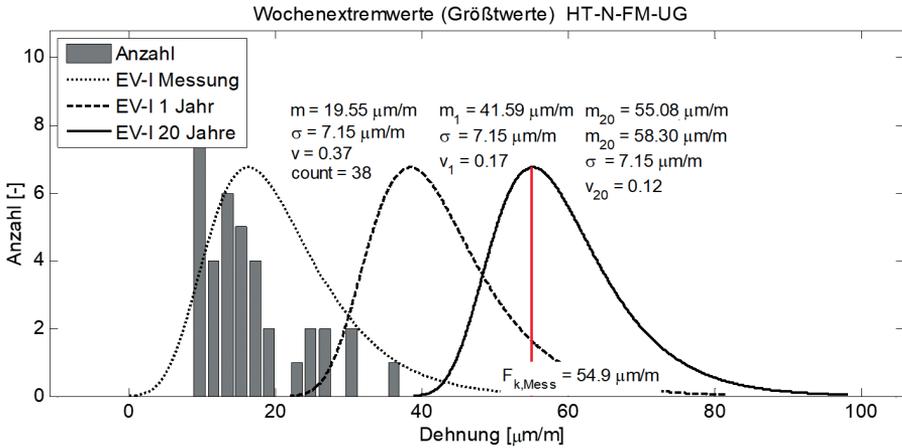


Bild 7 Extrapolation der gemessenen Extremwerte – hier: Dehnung an der Unterseite des Hohlkastens in der Mitte von Feld 2 – für eine begrenzte Nutzungszeit von 20 Jahren

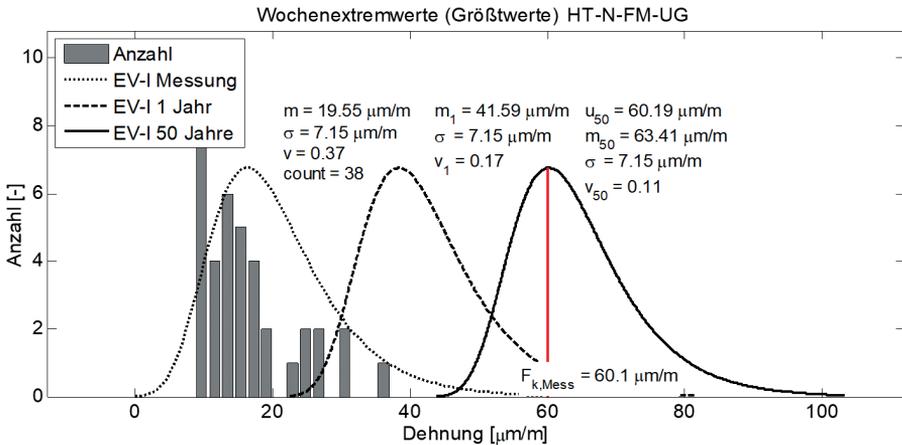


Bild 8 Extrapolation der gemessenen Extremwerte auf einen konsequenten Bemessungszeitraum von 50 Jahren

In Tabelle 2 ist der Vergleich des Bemessungswertes je nach Bemessungszeitraum bzw. Wiederkehrperiode des charakteristischen Wertes zusammengefasst. Es ist ersichtlich, dass mit größer werdendem Bemessungszeitraum der charakteristische Wert steigt. Mit steigendem Bemessungszeitraum singt aber auch die Streuung der Last, was sich wiederum in der Größe des Teilsicherheitsbeiwertes ausdrückt.

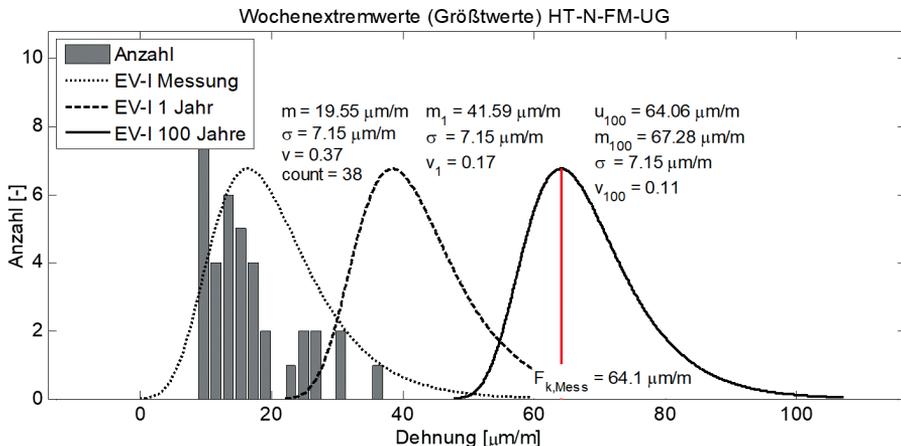


Bild 9 Extrapolation der gemessenen Extremwerte auf einen konsequenten Bemessungszeitraum von 100 Jahren

Tabelle 2 Vergleich des Bemessungswertes je nach Bemessungszeitraum bzw. Wiederkehrperiode des charakteristischen Wertes

Bemessungszeitraum	20 Jahre	50 Jahre	100 Jahre
Zielzuverlässigkeit β	4,02	3,80	3,62
Charakteristischer Wert $E_{k,\text{Mess}}$	54,9	60,1	64,1
Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mess}	1,61	1,52	1,45
Bemessungswert $E_{d,\text{Mess}}$	88,4	91,4	92,9
$E_{d,\text{Mess}}$ jeweils bezogen auf 100 Jahre	0,95	0,98	1,00

Mit den in Tabelle 2 angegebenen messwertgestützten charakteristischen Werten $E_{k,\text{Mess}}$ ($= F_{k,\text{Mess}}$) kann für den gewählten Bemessungszeitraum entsprechend dem Vorgehen in Abschnitt 5.4 das objektspezifische Lastmodell festgelegt werden.

7 Zusammenfassung

Durch ein Bauwerksmonitoring können eine Vielzahl zusätzlicher Information, z. B. zur tatsächlichen Belastungssituation erfasst werden. Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig und die technische Umsetzung kann inzwischen als sicher angesehen werden. Nach wie vor normativ offen ist die Frage, wie diese zusätzlichen Informationen im Sicherheitskonzept berücksichtigt werden sollen. In diesem Beitrag wurde gezeigt, wie charakteristische Werte der Verkehrslast durch ein Bauwerksmonitoring abgeleitet werden können, um hieraus ein objektspezifisches Ziellastniveau für die Nachrechnung zu begründen.

Das Ziellastniveau kann dabei in Anlehnung an die vorhandenen Lastmodelle bzw. Brückenklassen der entsprechenden Normen begründet werden. Hierdurch können allerdings rechnerische Reserven aufgrund der teils starken Sprünge zwischen den Lastmodellen nicht genutzt werden. Eine weitergehende – diese Reserven ausnutzende – Möglichkeit wäre die Einführung eines Anpassungs- bzw. Nachrechnungsfaktors für das Lastmodell. Dieser würde sich dann direkt auf bspw. das Lastmodell 1 des DIN-Fachberichtes beziehen. Die Nachrechnung würde somit immer mit dem Lastmodell 1 des DIN-Fachberichtes erfolgen, wobei dieses mit dem objektspezifischen Anpassungs- bzw. Nachrechnungsfaktor abgemindert (oder ggf. auch erhöht) wird.

Es ist darüber hinaus die Frage zu diskutieren, welche Wiederkehrperiode für Bauwerke mit einer ggf. begrenzten Nutzungsdauer angesetzt werden sollte. Das Beispiel hat gezeigt, dass die Unterschiede bzgl. des Bemessungswertes zwar nicht gravierend sind, aber dennoch unter Umständen bei manchen Nachrechnungen Entscheidungen bzgl. einer evtl. erforderlichen Instandsetzung oder Abwägung eines Ersatzneubaus beeinflussen können.

Literatur

- [1] Marzahn, G.; Gunreben, Y.-C.: Brückenmodernisierung in Deutschland. (Veranlassung und Umsetzung). Stahlbau 86 (2017) 7, S. 557–561
- [2] DIN EN 1991-2:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken; Deutsche Fassung EN 1991-2:2003 + AC:2010.
- [3] DIN-Fachbericht 101: Einwirkungen auf Brücken. Berlin: Beuth, Ausgabe 03/2009
- [4] DIN 1072:1985-12: Straßen- und Wegbrücken – Lastannahmen.
- [5] Spaethe, G.: Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen. 2. Aufl., Wien: Springer, 1992
- [6] Fischer, L.: Sicherheitskonzept für neue Normen – ENV und DIN-neu (Grundlagen und Hintergrundinformationen). Teil 8: Extremwerttheorie und Einwirkungsbeschreibung. Bautechnik 76 (1999) 9, S. 816–827
- [7] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS, Hrsg.): Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand. Ausgabe 05/2011
- [8] Geißler, K.; Steffens, N.: Neue Methoden zur Bewertung bestehender Brücken unter besonderer Berücksichtigung der Verkehrsbeanspruchung durch Bauwerksmonitoring. In: Krieger, J.; Isecke, B. (Hrsg.). Tagungshandbuch zum 2. Brückenkolloquium, 21./22.6.2016 an der Technischen Akademie Esslingen, Esslingen, 2016, S. 521–528

Bildnachweis

Alle Bilder: Nico Steffens

Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden Heft 48

Das 10. Symposium „Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen“ fand am 11. März 2019 an der TU Dresden statt. Im vorliegenden Buch sind die schriftlichen Beiträge zusammengestellt.

Das Symposium wurde mit einem Vortrag über Analogieübertragungen und Sicherheitsaspekte bei experimentellen Bauwerksuntersuchungen eröffnet. Zum Thema Messtechnik wurden in diesem Jahr vor allem faseroptische Systeme und deren Anwendung sowie die Möglichkeiten digitaler bildgebender Verfahren diskutiert. Zwei Vortragende stellten Messmethoden vor, die auf Schwingungsanregungen beruhen, einmal zur Bestimmung von Stabkräften und einmal für die Prüfung von Befestigungen. Als Fortsetzung eines Beitrags zum 9. SEUB wurde das Potential von Miniaturproben zur Kennwertermittlung dargelegt.

Berichte über Projekte zur Thematik Bauwerksbeprobung und Monitoring rundeten das Vortragsprogramm ab. Neben einem Beispiel aus dem Hochbau nahmen beim 10. SEUB vor allem Projekte aus dem Brückenbau eine dominierende Rolle ein. Die Spanne reichte von der Anwendung faseroptischer Messmethoden bei 1:1-Versuchen über die realitätsnahe Bestimmung von Ziellastniveaus bis zu In-situ-Tests an Brückenbauwerken.