

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103 (1985)
Heft: 11

Vereinsnachrichten

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.04.2025

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

Tabelle 1. Investitionskosten und Wärmegestehungskosten

Reaktorleistung MW(th)	Spezifische Kapitalkosten Fr./kWth	Wärmegestehungskosten* Rp./kWh	
		bemannt	unbemannt
10	1880 (1500)	7,3 (6,5)	5,1 (4,3)
20	1525 (1220)	5,3 (4,7)	4,3 (3,7)
50	1160 (930)	3,8 (3,4)	3,5 (3,0)

Werte ohne Klammer: Erstanlage Werte in Klammern: Serienbauweise

* Unter der Voraussetzung 5% Zins/a ohne Inflation, 30 a Abschreibungsdauer, mittlerer Lastfaktor = 0,5

wenn es auch wirtschaftlich vorteilhaft oder mindestens tragbar ist.

Von Anfang an wurde daher eine Auslegung angestrebt, bei welcher die Investitionskosten unter Fr. 1600.-/kW(th) gehalten werden können. In der Tabelle 1 sind die voraussichtlichen Anlagekosten und Wärmegestehungskosten zusammengefasst.

Für das eigentliche Verteilnetz ist aufgrund der Erfahrungen mit dem Refuna-Fernwärmenetz mit einem Aufwand von 3 Rp./kWh(th) zu rechnen.

Die gesamten Wärmekosten beim Verbraucher vergleichen sich also günstig mit dem Aufwand von 11 bis 15

Rp./kWh(th) bei herkömmlichen Ölheizungsanlagen.

Weitere Forschung

Als nächste Entwicklungsstufe wird der Bau einer Prototypenanlage von 20 MW(th) Leistung z.B. auf dem Gelände des EIR in Würenlingen angestrebt. Die weiteren Entwicklungsarbeiten und die Erarbeitung des Sicherheitsberichtes sollten einen Baubeginn Ende der achtziger Jahre erlauben. Sie soll auch wesentliche Voraussetzungen für eine Typengenehmigung im Hinblick auf eine Serienfertigung schaffen.

Literatur

- [1] Seifritz, W.: Ein heterogener Heizreaktor kleiner Leistung (10–50 MW[th]) für die nukleare Nahwärmeversorgung. EIR-Bericht Nr. 526, September 1984. Eidg. Inst. für Reaktorforschung, Würenlingen.
[2] Walter, R.: Refuna – Regionale Fernwärmeversorgung im unteren Aaretal. Schweizer Ing. und Arch. 102 (1984), H. 41, S. 787

Das vorgestellte Projekt fand bei den interessierten Industrie- und Ingenieur-Unternehmen günstige Aufnahme. Die Firmen Gebr. Sulzer AG, Brown Boveri & Cie., Elektrowatt, Motor-Columbus sowie Bonnard & Gradel haben eine informelle Gruppe gebildet, die zusammen mit dem EIR das weitere Vorgehen prüfen soll.

Mit Ausnahme der Brennstoffelemente könnten alle Komponenten in der Schweiz entwickelt und hergestellt werden. Für die Schweiz sowie für den Export könnten genügende Stückzahlen für eine Serienfabrikation – möglicherweise ab Mitte der neunziger Jahre – erreicht werden. BP

Konzept des Normentwurfs SIA 160

Einwirkungen auf Tragwerke

Von Manfred Hirt, Lausanne

Am 28. September 1978 hat die damals amtierende Normkommission SIA 160 einen Antrag zur Totalrevision der Belastungsnorm an die Zentrale Normenkommission (ZNK) des SIA gerichtet. Nach einer gründlichen Bedürfnisabklärung hat die ZNK am 12. September 1979 den Beschluss zur Totalrevision und zur Bildung einer neuen Kommission gefasst. Die erste Sitzung der neuen Kommission SIA 160 fand am 24. Januar 1980 statt; im Mai 1983 lag der erste und im November 1983 der zweite Gesamtentwurf vor. Der Vernehmlassungsentwurf ist Ende Januar 1985 erschienen und kann beim SIA-Generalsekretariat in Zürich bezogen werden.

Einleitung

Die Totalrevision wurde vor allem deshalb notwendig, weil seit 1970 eine neue Generation von Bemessungsnormen im Entstehen begriffen ist: Das Konzept der zulässigen Spannungen wird verlassen und dafür der Tragfähigkeitsnachweis eingeführt. Dieser Nachweis gestattet jedoch keinen direkten Einblick in das Verhalten im Gebrauchszustand. Zusätzliche Überlegungen in bezug auf das Ziel des Nachweises der Gebrauchsfähigkeit und der damit verknüpften Kriterien und Beschränkungen des Tragverhaltens sind

notwendig. Diese Angaben sind im Normentwurf SIA 160 und SIA 162 enthalten; abgesehen von einigen Ausnahmen fehlen sie aber in den heute noch gültigen Normen. Das Ziel der neuen Norm SIA 160 besteht in erster Linie im Bereitstellen der Angaben für die rechnerischen Nachweise der Tragfähigkeit, der Gebrauchsfähigkeit und der Ermüdung.

Der Vernehmlassungsentwurf der Norm SIA 160 gliedert sich in fünf Kapitel. In den Kapiteln 0 und 1 sind, entsprechend der üblichen Normgliederung, Angaben über den Geltungsbereich und die Bezeichnungen zu finden.

Im Kapitel 2 sind die allgemein gültigen Grundsätze und die Anforderungen an die Sicherheit und Gebrauchsfähigkeit von Tragwerken definiert, wobei die Bemessung ein Teil des übergeordneten Konzeptes darstellt.

Im Kapitel 3 sind die Grundsätze für die Berechnung und Bemessung explizit formuliert. Das Konzept und die Form des Tragfähigkeitsnachweises werden ergänzt durch die ingenieurmässige Schreibweise der Gefährdungsbilder, welche die üblichen Lastkombinationsformeln ersetzen. Die Gebrauchsfähigkeit wird anhand der Nutzungsziele, der Nutzungskriterien und der damit verbundenen Einwirkungen umschrieben. Der Ermüdungsnachweis ist so angesetzt, dass verschiedene Stufen der Verfeinerung der Berechnung möglich sind.

Im Kapitel 4 sind die Lastmodelle und deren numerische Werte für die Eigenlasten und die verschiedenen Einwirkungen aus der klimatischen und der menschlich beeinflussten Umwelt gegeben. Entsprechend dem übergeordneten Konzept der Norm sind für alle Einwirkungen die Bemessungswerte definiert oder umschrieben, und zwar für die Nachweise der Tragfähigkeit, der Gebrauchsfähigkeit und, wo notwendig, der Ermüdung. Dynamische Vorgänge werden, soweit möglich, durch

statische Ersatzlasten oder besondere Rechenmodelle erfasst.

Tragsicherheit

Grundkonzept

Laut Dokumentation SIA 260 «Sicherheit und Gebrauchsfähigkeit von Tragwerken» besteht eine genügende *Sicherheit* für Personen vor den Folgen des Versagens eines Tragwerks dann, wenn die *Gefahren* durch geeignete *Massnahmen* eliminiert werden oder das *Risiko* auf akzeptierbare kleine Werte beschränkt wird.

Als Gefahren können folgende Ereignisse in Frage kommen:

- Abweichungen von den geplanten Werten der Eigenlasten oder Nutzlasten,
- Einwirkungen aus der klimatischen Umwelt wie Wind, Schnee, Temperatur, Erdbeben,
- Einwirkungen aus dem Baugrund,
- Auf- oder anprallende Körper, Explosion, Feuer,
- Abweichungen von den geplanten Werten der Widerstände (Biegung, Schub, Normalkraft und Kombinationen davon) sowie zeit- oder lastabhängige Veränderungen der Widerstände (Alterung, Korrosion, Ermüdung),
- Änderungen des statischen Systems (Auflagerbedingungen, Montage- oder Bauzustände).

Der Ingenieur muss sich überlegen, mit welchen Massnahmen solchen Gefahren begegnet werden kann. Üblicherweise wird als erste – und oft alleinige – Möglichkeit das Bereitstellen eines genügenden Tragwiderstandes der Konstruktion vorgesehen. Andere Möglichkeiten wie beispielsweise die Ausschaltung der Gefahr durch konstruktive Massnahmen (Leitplanken, Schutzmauern) oder das Akzeptieren eines Risikos (Sabotage, Aufprall eines Lastwagens auf ein Tragelement) gehören zu dieser Art Überlegungen.

Auch im Falle des rechnerischen Nachweises wird man versuchen, sich ein Bild zu machen, welche dieser Gefahren in einem beliebigen oder gegebenen Zeitpunkt gleichzeitig auftreten können, wobei normalerweise eine bestimmte Gefahr massgebend wird. In den häufigsten Fällen wird diese massgebende Gefahr eine variable Last sein, die in extremer Form und Grösse auftritt. Gleichzeitig sind die Eigenlasten und die ständig wirkenden Nutzlasten vorhanden sowie andere variable Lasten, die aber nicht ihren Extremwert annehmen. Die Formulierung solcher Überle-

gungen – solcher Gefährdungsbilder – sind sicher jedem Ingenieur geläufig.

Tragfähigkeitsnachweis

Die Aufteilung in Belastungsnorm und Materialnormen ist wie folgt formuliert:

$$(1) \quad \frac{R}{\gamma_R} \geq S_d$$

R : Widerstand, berechnet mit den Rechenwerten der massgebenden Variablen gemäss Materialnormen,

γ_R : Widerstandsfaktor gemäss Materialnormen,

S_d : Beanspruchung, berechnet mit den Bemessungswerten der Einwirkungen der neuen Norm SIA 160.

Wie schon erwähnt, werden die möglichen, gleichzeitig auftretenden Lasten und Einwirkungen benötigt, um diese Grösse S_d zu erhalten. Dies kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$(2) \quad S_d = S(Q_d, G_d, Q_a)$$

Q_d : Bemessungswert der massgebenden veränderlichen Einwirkung in extremer Form und Grösse (Leitgefahr),

G_d : Bemessungswert der Eigenlasten aller tragenden und nichttragenden Bauteile in extremer Form und Grösse,

Q_a : Bemessungswert der gleichzeitig mit der Leitgefahr auftretenden veränderlichen Einwirkungen (Begleitumstand).

Leitgefahr Q_d

Die Leitgefahr Q_d in Gleichung (2) soll demnach die massgebende variable Einwirkung in extremer Form und Grösse abdecken. Dies kann bei statisch erfassbaren Einwirkungen relativ einfach mit den Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung geschehen, wenn das angestrebte Sicherheitsziel festgelegt ist.

Die im Vernehmlassungsentwurf der Norm SIA 160 erscheinenden Werte Q_d für *Schnee* und *Wind* sind grundsätzlich solche Extremwerte, die ausserordentliche Schneefälle oder extreme Windgeschwindigkeiten abdecken. Sie müssen also nicht mehr mit Faktoren multipliziert werden.

Der Bemessungswert Q_d für *Strassenlasten* basiert auf umfangreichen statistischen Modellen. Das Lastmodell beinhaltet eine Folge von schweren Lastwagen auf einer Fahrspur; die übrige Brückenfahrbahn ist durch einen gemischten Lastwagen- und Personenwagenverkehr belastet. Alle in der Norm angegebenen Werte für Q_d sind Extremwerte. Die Bahnlasten basieren auf dem UIC-Lastmodell, das seinerseits die möglichen Zugkompositionen abdeckt.

Im Falle von *Lagergütern* können Überlegungen über die mögliche Maximallagerhöhe und die Variation der Art und Dichte des Lagergutes entsprechende Maximalwerte Q_d für die Bemessung liefern. Mögliche Abweichungen von den geplanten Werten müssen dabei berücksichtigt werden oder durch wirksame Kontrollen auf die angenommenen Werte beschränkt bleiben.

Eine als zulässig angeschriebene Nutzlast auf einer Decke kann überschritten werden. Deshalb kann dieser angeschriebene Wert nicht dem massgebenden Wert Q_d gleichgesetzt werden. Es ist grundsätzlich dem Ingenieur überlassen, in Absprache mit dem Bauherrn, vernünftige Überlegungen über die mögliche Überschreitung der angeschriebenen Werte anzustellen. Zur Vereinfachung kann in vielen Fällen der Vorschlag der Normkommission dienen, der eine Reserve von 40% vorsieht. Die zulässige Nutzlast ist gut sichtbar anzuschreiben.

Eigenlasten G_d

Ausgehend von der Variation der Masse der Baustoffe und den möglichen Abweichungen von den planmässig festgelegten Abmessungen könnten entsprechende Extremwerte abgeleitet werden. Diese weichen von den Mittelwerten je nach Baustoff, Bauweise und Art der Tragelemente (Stahlträger, vorfabrizierter Betonträger, Betondecke, Brückenfahrbahn, Schale usw.) unterschiedlich ab. Auch für die nichttragenden Bauteile sind ganz unterschiedliche Streuungen vorhanden, wenn man beispielsweise Isolation, Zwischenwände, Fahrbahnbelag, Schotter usw. miteinander vergleicht. Zur Vereinfachung wird in der Norm vorgeschlagen, die Mittelwerte all dieser Eigenlasten mit einem Wert von 1,4 zu multiplizieren. Verfeinerungen können jederzeit durch den Ingenieur angebracht werden, wenn entsprechende Kenntnisse vorhanden und Kontrollen vorgesehen sind.

Es muss mit aller Deutlichkeit angefügt werden, dass *mögliche Überschreitungen der geplanten Werte*, die mit grosser Wahrscheinlichkeit eintreten werden oder voraussichtlich sind, nicht in dieser Marge von 1,4 eingeschlossen sind. Als Beispiele seien hier die Höhe von Erdaufschüttungen oder Erdeindekungen, zukünftige Trennwände und Isolationen oder zusätzliche Asphalt-schichten aufgeführt. Derartige Überschreitungen sind mit entsprechenden Annahmen zu berücksichtigen.

Begleitumstand Q_a

Es wurde festgestellt, dass das Verhältnis zwischen Begleitlast und Leitlast

nicht für alle Einwirkungen dasselbe ist. Ganz im Gegenteil ergeben die klimatischen und geographischen Gegebenheiten andere Bedingungen für den Fall des extremen Windes mit begleitender Schneelast als für die extreme Schneelast mit begleitendem Wind. Bei extremer Schneelast ist die volle Verkehrslast nicht möglich.

Solche Überlegungen sind schon heute, allerdings verstreut in der Belastungsnorm und in den einzelnen Materialnormen, anzutreffen. Neu werden in der Norm SIA 160 für jede Einwirkung die Bemessungswerte für den Begleitumstand Q_a gegeben, wodurch die Lastkombinationsformeln entfallen.

Es soll darauf hingewiesen werden, dass die Berücksichtigung von nur einer begleitenden Einwirkung Q_a für die Bemessung normalerweise genügt. Die massgebende variable Einwirkung Q_d wird in ihrem Extremwert so hoch angesetzt, dass die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens von mehr als einem Begleitumstand sehr klein ist.

Aussergewöhnliche Einwirkungen

Die Behandlung von aussergewöhnlichen Einwirkungen wie z.B. *Erdbeben, Anprall, Explosion, Entgleisung* wird analog Gleichung (2) erfasst:

$$(3) S_d = S(Q_{acc}, G_m, Q_{a,acc})$$

Q_{acc} : Bemessungswert der massgebenden Unfalleinwirkung oder Erdbeben, in extremer Form und Grösse (Leitgefahr),

G_m : Mittelwert der Eigenlasten aller tragenden und nichttragenden Bauteile,

$Q_{a,acc}$: Bemessungswert der gleichzeitig mit der Leitgefahr auftretenden, veränderlichen Einwirkungen wie beispielsweise Mobilien, Lagergüter, Erdauflasten oder Schnee in Gebirgslagen.

Besonders bei diesen aussergewöhnlichen Einwirkungen gewährleistet die Bemessung nicht alleine die Erhaltung des Gleichgewichtszustandes; konstruktiv richtige Lösungen sind vor allem bei Erdbebenbeanspruchung wichtig und zum Teil detailliert angegeben. Auch wird in der Norm darauf hingewiesen, dass beim unbeabsichtigten, aber möglichen Anprall kein progressiver Einsturz erfolgen darf. Ein Fahrzeuganprall kann in seiner energetischen Wirkung durch andere Massnahmen als mit Tragreserven, d.h. mit einer Schutzmauer verhindert oder durch Leitplanken vermindert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht, wenn das Risiko eines Anpralls sehr gering ist, dass es akzeptiert werden kann.

Gebrauchsfähigkeit

Grundsätze

Wenn man davon ausgeht, dass der Tragfähigkeitsnachweis mit den oben beschriebenen Grundlagen und damit mit den Extremwerten der variablen Lasten geschieht, erhält man ein Tragwerk, das dem allgemein akzeptierten Sicherheitsniveau entspricht. Dieser Nachweis gestattet aber keine direkte Einsicht in das Verhalten unter den normalerweise anzutreffenden Lasten und Einwirkungen. Es erscheint deshalb notwendig, zusätzliche Angaben für die *Einwirkungen im Gebrauchszustand* zu machen. Um aber einen Nachweis der Gebrauchsfähigkeit durchführen zu können, sind zwei weitere Elemente notwendig, nämlich das *Ziel des Nachweises* und die damit verknüpften *Kriterien oder Beschränkungen*.

Diese Überlegungsart verlangt eine gute Kenntnis sowohl der Lasten, die auf das Tragwerk einwirken, als auch seines wirklichen Tragverhaltens. Weiter werden Entscheide benötigt bezüglich der Qualitäten, die das Tragwerk während seiner geplanten Nutzung besitzen sollte. Diese Qualitäten sind in der Norm SIA 160 in Form von Empfehlungen festgehalten, wobei dem Ingenieur eine grosse Freiheit in der Wahl der Kriterien belassen wird. Diese Freiheit kann – und sollte – dazu benutzt werden, um mit dem Bauherrn oder Eigentümer die gewünschten Qualitäten des Tragwerks zu diskutieren und eventuell anhand einer Kosten-Nutzen-Analyse auszuwählen. Zusätzliche Empfehlungen oder Richtlinien sind in den Materialnormen entsprechend der Bauweise formuliert.

Nutzungsziele

Folgende Nutzungsziele können unterschieden werden:

Dauerhaftigkeit: Sie ist eng verknüpft mit dem Problem der Materialeigenschaften, mit den Baumethoden und der Sorgfalt beim Entwurf und der Ausführung von Konstruktionsdetails.

Funktionstüchtigkeit: Darunter wird in erster Linie die Beeinflussung der Funktionstüchtigkeit verschiedener Elemente eines Bauwerks verstanden, indem das Verhalten des Tragwerks deren Randbedingungen verändert, beispielsweise:

– Die Nutzung eines Bauwerks wird beeinträchtigt, weil die Dichtigkeit durch Rissbildung oder durch zu grosse Durchbiegungen nicht mehr gewährleistet ist.

– Die Nutzung von Einrichtungen wird wegen zu grosser Durchbiegungen beeinträchtigt oder verunmöglicht (Durchbiegung der Kranbahn, Einragen von Trägern ins Lichtraumprofil usw.).

Komfort der Benutzer: Man denkt dabei an Menschen in einem Wohn- oder Bürohaus, die durch Erschütterungen aus Strassen- oder Schienenverkehr oder durch windinduzierte Bewegungen gestört werden. Bei Fussgängerbrücken oder Strassenbrücken mit Fussgängerverkehr können Schwingungen unangenehme Empfindungen der Benutzer auslösen.

Aussehen des Tragwerks: Bei der Wahl der Überhöhungen ist vorsichtig vorzugehen, da sich diese ebenso störend auf die Ästhetik auswirken können wie ein Durchhang.

Nutzungskriterien

Ausgehend von den Nutzungszielen werden Nutzungskriterien als empfohlene Anforderungen (Grenzwerte) abgeleitet. Dabei wird beispielsweise wie folgt unterschieden:

Risse (keine Rissbildung ist zulässig, die Rissöffnung darf einen bestimmten Wert nicht überschreiten, die Risse werden durch konstruktive Massnahmen begrenzt),

Verformungen (horizontale Auslenkungen, vertikale Durchbiegungen, Überhöhungen),

Schwingungen (Kriterien basierend auf einer kritischen Kombination von Verformung, Frequenz, Beschleunigung und Dämpfung),

Werkstoffeigenschaften (Dichtigkeit, Schwinden, chemische Resistenz, Korrosionsbeständigkeit usw.).

Heute werden Nachweise ausschliesslich mit zulässigen Verformungen erbracht (Durchbiegung von Brücken oder Kranbahnen, horizontale Auslenkung von Rahmen und Hallen usw.). Man ist sich in vielen Fällen aber nicht sicher, ob mit den eingehaltenen Werten auch ein entsprechendes Nutzungsziel erfüllt wird. Viele Werte sind «Erfahrungswerte» und seit Normengenerationen weiter verwendet worden, obschon die zugeordneten Belastungsannahmen geändert wurden. Zum Teil wurden auch Werte für die zulässige Durchbiegung in den Materialnormen abgeändert oder nur für eine bestimmte Bauweise eingeführt, ohne dass eine entsprechende Dokumentation diesen Entscheid begründen konnte. Man muss sich deshalb fragen, ob solche Gebrauchsfähigkeitsnachweise, in denen entweder das Nutzungsziel oder das Nutzungskriterium nicht klar definiert sind, fallengelassen werden sollten.

Mangels besserer Kenntnisse haben im Normentwurf SIA 160 solche Erfahrungswerte trotzdem weiter ihren Platz gefunden.

Lasten und Einwirkungen

Wie schon erwähnt, können Nutzungsziele und Nutzungskriterien nicht unabhängig voneinander festgelegt werden und definieren im allgemeinen auch die zugehörigen Lasten und Einwirkungen.

Das Beispiel einer nichttragenden Trennwand verdeutlicht diese Verknüpfung. Das Nutzungsziel sei durch die Forderung gegeben, dass die Trennwand keine sichtbaren und störenden Risse aufweisen darf. Das entsprechende Nutzungskriterium kann durch eine Durchbiegungsbeschränkung der tragenden Deckenkonstruktion ausgedrückt werden, wobei nun noch die Lasten und Einwirkungen definiert werden müssen. In Frage kommen die Eigenlasten und die ständig wirkenden Lasten sowie die Durchbiegungen aus Schwinden, Kriechen und mögliche Einwirkungen aus der Vorspannung. Es ist klar, dass je nach Bauweise (Betondecke, Stahlskelett, Verbundträger) der relative Anteil an der Durchbiegung infolge dieser Lasten und Einwirkungen unterschiedlich ausfallen wird. Zusätzlich muss noch die im Gebrauch auftretende variable Last Q_{ser} berücksichtigt werden.

Bevor auf die Definition der Lasten für den Gebrauchsfähigkeitsnachweis eingegangen wird, soll nochmals hervorgehoben werden, dass konstruktive Massnahmen und geeignete Wahl der Baustoffe massgebend zum erwünschten Verhalten im Gebrauch beitragen. Wird die Einhaltung der Nutzungskriterien rechnerisch nachgewiesen, so sind dazu folgende Lasten und Einwirkungen zu berücksichtigen:

G_m : Mittelwert der Eigenlasten aller tragenden und nichttragenden Bauteile. Diese Lasten können auch langwirkende Verformungen und Zwängungen zur Folge haben.

Q_{ser} : Während einer gewissen Zeit wirkende variable Lasten, wobei zwischen kurzfristig und langfristig unterschieden wird.

Entsprechend den Nutzungszielen können nun folgende Nachweisgruppen unterschieden werden:

Falls die *Dauerhaftigkeit* und das *Aussehen* des Tragwerks in Frage stehen, lautet die Beanspruchung:

$$(4) \quad S_{ser} = S(G_m, Q_{ser, lang})$$

Falls die *Funktionstüchtigkeit* gewährleistet werden soll:

$$(5) \quad S_{ser} = S(G_m, Q_{ser, kurz})$$

Werden die Durchbiegungen infolge G_m durch eine angemessene Überhöhung kompensiert, fällt dieser Term in der Bestimmung der Beanspruchung weg.

Falls der *Komfort* der Benutzer im Vordergrund steht, sind normalerweise nur die kurzfristig auftretenden variablen Lasten, die Erschütterungen, Schwingungen oder Verformungen erzeugen, zu berücksichtigen.

Der rechnerische Nachweis der Gebrauchsfähigkeit ist nur sinnvoll, wenn eine eindeutige Beziehung zwischen Nutzungsziel, Nutzungskriterium und den zugehörigen Lasten und Einwirkungen besteht. Die Festlegung dieser Werte ist in der Norm SIA 160 im Sinne einer Empfehlung geregelt mit der Absicht, dem verantwortlichen Ingenieur eine Absprache mit dem Bauherrn zu ermöglichen. Das Resultat dieser Absprache soll die an das Bauwerk gestellten Forderungen in bezug auf seine Qualitäten im Gebrauchszustand abdecken.

Ermüdung

Abgrenzung

Mit dem Ermüdungsnachweis ist zu zeigen, dass die Ermüdungswirkung der Betriebslasten die Tragfähigkeit des Tragwerks oder seiner Tragelemente während der Nutzungsdauer nicht beeinträchtigt. Ein solcher Nachweis ist notwendig für Tragwerke, die durch Bahnlasten, Strassenlasten, Krane oder durch Schwingungen beansprucht werden. Im Hochbau ist der Ermüdungsnachweis in der Regel nicht notwendig, da im allgemeinen die Anzahl der Nutzlaständerungen oder die Grösse der infolge der Windlasten auftretenden Spannungsamplituden klein ist.

Die Schwierigkeit des Ermüdungsnachweises besteht darin, dass die Schadensakkumulation infolge der Betriebslasten abhängig ist vom Materialverhalten. Damit ist die Herleitung der Lastmodelle nicht mehr unabhängig von den Materialnormen, welche die Ermüdungsfestigkeit festlegen.

Lastmodelle

Die bei der normalen Nutzung wirklich auftretenden Lasten werden *Betriebslasten* genannt. Sie können bestenfalls durch eine statistische Auswertung von Messungen oder durch Wahrscheinlichkeitstheoretische Überlegungen ermittelt werden, sind aber für die Bemessung nicht direkt brauchbar. Die Betriebslasten müssen durch *Verkehrsmo-*

delle vereinfacht dargestellt werden. Solche Modelle wurden für die neue Stahlbaunorm SIA 161 (1979) hergeleitet und dienen in überarbeiteter Form auch für die neue Belastungsnorm.

Die Anwendung dieser Verkehrsmodelle für den Ermüdungsnachweis setzt eine detaillierte Kenntnis der Ermüdungsfestigkeitskurven voraus sowie die Verwendung von Zählmethoden für die Spannungsspiele und Hypothesen bezüglich der Schadensakkumulation. Damit aber ein vereinfachter Nachweis trotzdem möglich ist, sind in der Norm SIA 160 *Ermüdungslasten* Q_{fat} definiert. Wenn die damit berechnete Beanspruchung unterhalb der Dauerfestigkeit liegt, ist der Ermüdungsnachweis erbracht.

Dieses vereinfachte Vorgehen bedingt Ermüdungslasten, welche möglichst alle auftretenden Spannungsspiele abdecken. Beispielsweise muss die Ermüdungslast Q_{fat} für Strassenlasten auch die nicht unbedeutende Anzahl Lastwagen, welche mit einem über dem gesetzlich festgelegten Totalgewicht zirkulieren, noch erfassen. Für Bahnlasten muss die beobachtete Streuung der Achslasten abgedeckt werden. Zusätzlich ist der dynamischen Wirkung der Betriebslasten mit einem auf die Ermüdungswirkung abgestimmten Beiwert Rechnung zu tragen.

Der Nachweis mit der Dauerfestigkeit ist sehr einfach und kann ohne grossen Aufwand durchgeführt werden; er ist im allgemeinen für die Norm SIA 162 vorgesehen. In gewissen Anwendungsfällen wird er aber unwirtschaftlich, da immer mit dem Extremwert der auftretenden Betriebslasten gerechnet werden muss. Diese Überschätzung der Ermüdungswirkung ist vor allem gross, wenn die Anzahl der Spannungswechsel nicht sehr gross ist oder wenn im Spektrum der Spannungsamplituden die Mehrzahl der Amplituden weit unter der Dauerfestigkeit liegt.

In solchen Fällen wird sich eine verfeinerte Berechnung lohnen, indem die Ermüdungslast mit einem Reduktionsfaktor α multipliziert werden darf. Diesen Reduktionsfaktor erhält man aus dem Vergleich der Ermüdungswirkung der Ermüdungslast Q_{fat} mit derjenigen des repräsentativen Verkehrsmodells. Dieser Vergleich beinhaltet aber eine Berechnung der Schadensakkumulation, die auf den Ermüdungsfestigkeitskurven abgestützt ist. Demzufolge sind diese α -Faktoren in den Materialnormen festzulegen.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. Manfred A. Hirt, dipl. Ing. EPF/SIA, Präsident der Kommission SIA 160, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Institut de statique et structures, ICOM - Construction métallique, 1015 Lausanne.