

Ersetzt zusammen mit der Norm SIA 269/1 die Richtlinie SIA 462, Ausgabe 1994

Bases pour la maintenance des structures porteuses
Basi per il mantenimento di strutture portanti
Existing structures – Bases

Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken

505 269

Referenznummer
SN 505269:2011 de

Gültig ab: 2011-01-01

Herausgeber
Schweizerischer Ingenieur-
und Architektenverein
Postfach, CH-8027 Zürich

Allfällige Korrekturen und Kommentare zur vorliegenden Publikation sind zu finden unter www.sia.ch/korrigenda.
Der SIA haftet nicht für Schäden, die durch die Anwendung der vorliegenden Publikation entstehen können.

2011-01 1. Auflage

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite		Seite
Vorwort	4	Anhang	
0 Geltungsbereich	5	A Schrittweises Verfahren bei der	
0.1 Abgrenzung	5	Überprüfung	24
0.2 Verweisungen	5	B Anforderungen an die Tragsicherheit	25
0.3 Abweichungen	5	C Überprüfungswerte	26
1 Verständigung	6	Genehmigung und Gültigkeit	28
1.1 Fachausdrücke	6		
1.2 Bezeichnungen	8		
2 Grundsätze	10		
2.1 Allgemeines	10		
2.2 Überwachung und Instandhaltung	10		
2.3 Überprüfung	10		
3 Anforderungen	12		
3.1 Nutzung	12		
3.2 Tragsicherheit	12		
3.3 Gebrauchstauglichkeit	12		
3.4 Verhältnismässigkeit von Erhaltungs-			
massnahmen	12		
4 Aktualisierung	13		
4.1 Allgemeines	13		
4.2 Aktualisierung von Einwirkungen	13		
4.3 Aktualisierung von Baustoff- und			
Baugrundeigenschaften	13		
4.4 Aktualisierung von Tragwerksmodellen			
und geometrischen Grössen	13		
4.5 Aktualisierung von Tragwiderständen			
und des Verformungsvermögens	14		
5 Tragwerksanalyse und Nachweise ...	15		
5.1 Allgemeines	15		
5.2 Deterministische Nachweise	15		
5.3 Probabilistische Nachweise	16		
5.4 Nachweis der Verhältnismässigkeit von			
sicherheitsbezogenen Erhaltungs-			
massnahmen	16		
6 Überprüfung	18		
6.1 Vorgehen	18		
6.2 Zustandserfassung	19		
6.3 Zustandsbeurteilung	20		
6.4 Massnahmenempfehlung	21		
7 Erhaltungsmassnahmen	22		
7.1 Allgemeines	22		
7.2 Instandsetzung und Veränderung	22		
7.3 Überwachung und Instandhaltung	23		
7.4 Sichernde Sofortmassnahmen	23		
7.5 Ergänzende Sicherheitsmassnahmen ..	23		

VORWORT

Die Norm SIA 269 liefert die Grundsätze und die Vorgehensweise bei der Behandlung bestehender Tragwerke und richtet sich an die Fachleute der Erhaltung von Bauwerken. Zudem sind in den Kapiteln zu Überprüfung und Massnahmenplanung die Werkeigentümer angesprochen.

Die Norm SIA 269 ist Bestandteil der Tragwerksnormen des SIA. Sie stützt sich auf die Grundlagen der Norm SIA 469 *Erhaltung von Bauwerken* und ergänzt die Norm SIA 260 im Bereich der Erhaltung bestehender Tragwerke.

Die Norm SIA 269 ist die grundlegende Norm auf dem Gebiet der Erhaltung von Tragwerken und wird für die Einwirkungen und die verschiedenen Bauweisen durch folgende Normen ergänzt:

- Norm SIA 269/1 Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen
- Norm SIA 269/2 Erhaltung von Tragwerken – Betonbau
- Norm SIA 269/3 Erhaltung von Tragwerken – Stahlbau
- Norm SIA 269/4 Erhaltung von Tragwerken – Stahl-Beton-Verbundbau
- Norm SIA 269/5 Erhaltung von Tragwerken – Holzbau
- Norm SIA 269/6 Erhaltung von Tragwerken – Mauerwerksbau
- Norm SIA 269/7 Erhaltung von Tragwerken – Geotechnik.

Für die Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben gilt das Merkblatt SIA 2018 weiterhin. Es ist jedoch vorgesehen, die Erhaltungsnormen mit einer Norm SIA 269/8 *Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben* zu ergänzen.

Die Normen SIA 269/1 bis 269/8 sind ebenfalls Bestandteil der Tragwerksnormen des SIA und ergänzen die Reihe der Normen SIA 261 bis 267.

Die Norm SIA 269 ersetzt zusammen mit der Norm SIA 269/1 die Richtlinie SIA 462 (1994) *Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke*.

Die Anwendung der Norm SIA 269 setzt eine detaillierte Kenntnis der Normen SIA 260 und 469 voraus. Begriffe, die in diesen beiden Normen schon definiert sind, insbesondere auch die Begriffe betreffend die Erhaltung, werden im Kapitel Verständigung nicht mehr aufgeführt.

Die Norm SIA 269 führt die Fachausdrücke «Aktualisierung», «Erfüllungsgrad», «Massnahmenkonzept», «Massnahmenprojekt» und «Verhältnismässigkeit von Erhaltungsmassnahmen» ein. Zudem werden für die Überprüfung die Fachausdrücke «Überprüfungssituation» und «Überprüfungswert» (in Anlehnung an die entsprechenden Fachausdrücke für die Projektierung von Tragwerken) verwendet. Der Begriff «Mangel» wird im Sinne des allgemeinen Sprachgebrauchs verwendet. Als «Mangel» gilt danach das Fehlen einer technischen oder körperlichen Eigenschaft, losgelöst von jeglicher juristischen Interpretation. Aus einem Mangel kann daher nicht automatisch eine Mängelhaftung abgeleitet werden. Der Begriff «Mangel» darf sich nicht nur auf den Zustand bei der Abnahme beziehen.

Bestimmte Aspekte bestehender Tragwerke werden gemäss einem risikobasierten Verfahren behandelt. Entsprechend werden in der Norm SIA 269 die Fachausdrücke «Massnahmeneffizienz» und «Sicherheitskosten» definiert. Die Norm SIA 269 führt Leitlinien ein für die Anwendung der Methoden der Zuverlässigkeitstheorie, weshalb deren grundlegende Begriffe ebenfalls unter den Fachausdrücken aufgeführt werden. Die Umsetzung dieser Leitlinien bei der Festlegung des Sicherheitsniveaus zum Nachweis der Tragsicherheit sowie bei der Beurteilung der Verhältnismässigkeit von Erhaltungsmassnahmen setzt vertiefte Kenntnisse voraus.

Die Projektleitung anerkennt die Bedeutung des Expertenkollegiums im Sinne, wie es erstmals in der Richtlinie SIA 462 eingeführt wurde. In Beachtung des Prinzips der Trennung von technischen Bestimmungen und der Zuordnung der Verantwortlichkeiten an die verschiedenen Leistungsträger wird jedoch auf eine ausdrückliche Behandlung des Expertenkollegiums in der Norm SIA 269 verzichtet.

Projektleitung Erhaltung von Tragwerken

0 GELTUNGSBEREICH

0.1 Abgrenzung

- 0.1.1 Die Norm SIA 269 legt die Grundsätze der Erhaltung von Tragwerken als Bestandteil von bestehenden Bauwerken unter Berücksichtigung ihres Erhaltungswerts fest.
- 0.1.2 Die Norm SIA 269 gilt für alle bestehenden Tragwerke in unterschiedlichen Bauweisen in Analogie zur Norm SIA 260.
- 0.1.3 Die Norm SIA 269 regelt die Tätigkeiten und Massnahmen im Zusammenhang mit der Erhaltung bestehender Tragwerke. Sie ergänzt im Bereich der Erhaltung von Tragwerken die Bestimmungen der Normen SIA 469 und SIA 260.
- 0.1.4 Die Norm SIA 269 gilt in Verbindung mit den Normen SIA 269/1 bis 269/8. Für Anwendungen ausserhalb des Geltungsbereichs dieser Normen sind die Grundsätze der Norm SIA 269 sinngemäss anzuwenden.
- 0.1.5 Bei Veränderungen sind in der Regel neue Tragwerksteile gemäss den Normen SIA 260 bis 267 und bestehende Tragwerksteile gemäss Norm SIA 269 sowie den Normen SIA 269/1 bis 269/8 zu behandeln. Von dieser Regel kann in Bezug auf die Festlegung der veränderlichen Einwirkungen abgewichen werden, wenn aufgrund von spezifischen Überlegungen andere Abgrenzungen angezeigt sind.
- 0.1.6 Die Norm SIA 269 darf für die Projektierung und Bemessung von neuen Tragwerken nicht verwendet werden.

0.2 Verweisungen

- 0.2.1 Auf das nachfolgend aufgeführte Merkblatt wird verwiesen. Dieses ist ganz oder in Teilen im Sinne der Verweisung mitgeltend:
 - Merkblatt SIA 2017 *Erhaltungswert von Bauwerken*.
- 0.2.2 Zurückgezogene Normen und Richtlinien dürfen nicht als normbezogene Bestimmungen, sondern nur im Sinne der Verweisungen verwendet und nur zur Dokumentation ehemaliger Grundlagen in die Nutzungsvereinbarung und in die Projektbasis aufgenommen werden.

0.3 Abweichungen

- 0.3.1 Abweichungen von der vorliegenden Norm sind zulässig, wenn sie durch Theorie oder Versuche ausreichend begründet werden oder wenn neue Entwicklungen und Erkenntnisse dies rechtfertigen.
- 0.3.2 Abweichungen von der Norm sind in den Bauwerksakten nachvollziehbar und mit Begründung zu dokumentieren.

1 VERSTÄNDIGUNG

1.1 Fachausdrücke

In Ergänzung zu den Fachausdrücken in den Normen SIA 260 und SIA 469 werden in der vorliegenden Norm die nachstehend definierten, allgemeinen Fachausdrücke verwendet. Weitere, spezifische Fachausdrücke werden in den Normen SIA 269/1 bis 269/8 definiert.

Aktualisierung <i>actualisation</i> <i>attualizzazione</i> <i>updating</i>	Prozess, um vorhandene Kenntnisse mit neuen Informationen zu ergänzen.
Bestehendes Tragwerk <i>structure porteuse existante</i> <i>struttura portante esistente</i> <i>existing structure</i>	Tragwerk eines ausgeführten und abgenommenen Bauwerks.
Deterministischer Nachweis <i>vérification déterministe</i> <i>verifica deterministica</i> <i>deterministic verification</i>	Nachweis nach dem Konzept der Partialfaktoren.
Direkte Kosten <i>coûts directs</i> <i>costi diretti</i> <i>direct costs</i>	Kosten innerhalb der gewählten Systemabgrenzungen.
Erfüllungsgrad <i>degré de conformité</i> <i>grado di conformità</i> <i>degree of compliance</i>	Mit Überprüfungswerten ausgedrückte numerische Aussage, in welchem Mass ein bestehendes Tragwerk rechnerisch die vorgegebenen Anforderungen an die Tragsicherheit erfüllt.
Erhaltungsmassnahme <i>intervention de maintenance</i> <i>intervento di conservazione</i> <i>maintenance intervention</i>	Betriebliche oder bauliche Massnahme zur Einschränkung von Gefährdungen sowie zur Sicherstellung des Bestands und der materiellen und immateriellen Werte eines Bauwerks.
Erhaltungswert <i>valeur de maintenance</i> <i>valore di mantenimento</i> <i>maintenance value</i>	Materieller und immaterieller Wert eines Bauwerks gemäss Merkblatt SIA 2017.
Massnahmeneffizienz <i>efficacité des interventions</i> <i>efficienza degli interventi</i> <i>efficiency of interventions</i>	Effizienz von sicherheitsbezogenen Erhaltungsmassnahmen, ausgedrückt als Quotient von Risikoreduktion und Sicherheitskosten.
Massnahmenkonzept <i>concept d'intervention</i> <i>concetto dell'intervento</i> <i>concept of intervention</i>	Mit einer Studie von Erhaltungsvarianten ausgearbeitetes Konzept zur Ausführung von Erhaltungsmassnahmen über einen festgelegten Zeitabschnitt mit definierter, örtlicher Abgrenzung.
Massnahmenprojekt <i>projet d'intervention</i> <i>progetto di intervento</i> <i>design of remedial intervention</i>	Umsetzung des Massnahmenkonzepts einschliesslich Projektierung von Erhaltungsmassnahmen.
Probabilistischer Nachweis <i>vérification probabiliste</i> <i>verifica probabilistica</i> <i>probabilistic verification</i>	Nachweis unter expliziter Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Basisvariablen.
Restnutzungsdauer <i>durée d'utilisation restante</i> <i>durata d'utilizzo rimanente</i> <i>remaining service life</i>	Geplante Zeitdauer, während der ein bestehendes Bauwerk gemäss Nutzungsvereinbarung noch in Betrieb bleibt.

<p>Risiko <i>risque</i> <i>rischio</i> <i>risk</i></p>	<p>Produkt aus der auf eine bestimmte Zeiteinheit bezogenen Eintretenswahrscheinlichkeit eines Schadenereignisses und der quantifizierten, potenziellen Schadenfolge für Personen, Sachgüter und Umwelt.</p>
<p>Sensitivitätsfaktor <i>facteur de sensibilité</i> <i>fattore di sensitività</i> <i>sensitivity factor</i></p>	<p>Mass für die relative Wichtigkeit der einzelnen Basisvariablen für die Grenzzustandsbedingung.</p>
<p>Sicherheitskosten <i>coûts de sécurité</i> <i>costi per garantire la sicurezza</i> <i>safety costs</i></p>	<p>Sicherheitsbezogene Kosten von Erhaltungsmaßnahmen, die jährlich über die Restnutzungsdauer abgeschrieben werden.</p>
<p>Überprüfungssituation <i>situation d'examen</i> <i>situazione di esame</i> <i>examination situation</i></p>	<p>Physikalische Gegebenheiten und Bedingungen innerhalb der Restnutzungsdauer, für die an einem bestehenden Tragwerk nachgewiesen wird, dass massgebende Grenzzustände nicht überschritten werden.</p>
<p>Überprüfungswert <i>valeur d'examen</i> <i>valore di esame</i> <i>examination value</i></p>	<p>Aus einem charakteristischen oder einem anderen repräsentativen Wert in Verbindung mit Partial- und Umrechnungsfaktoren bestimmter, allenfalls auch direkt festgelegter Wert, der in einen Nachweis an einem bestehenden Tragwerk eingeht.</p>
<p>Verhältnismässigkeit von Erhaltungsmaßnahmen <i>proportionnalité des interventions de maintenance</i> <i>proporzionalità degli interventi di conservazione</i> <i>proportionality of maintenance interventions</i></p>	<p>Gegenüberstellung von Aufwand und Nutzen von Erhaltungsmaßnahmen mit dem Ziel eines effizienten Mitteleinsatzes.</p>
<p>Versagensrate <i>taux de défaillance</i> <i>tasso di rottura</i> <i>failure rate</i></p>	<p>Auf eine Zeiteinheit (in der Regel 1 Jahr) bezogene Wahrscheinlichkeit, dass ein Tragwerk oder Tragwerksteil versagt oder eine Gebrauchsgrenze überschreitet.</p>
<p>Verstärkung <i>renforcement</i> <i>rinforzo</i> <i>reinforcement</i></p>	<p>Massnahme zur Verbesserung des Tragwiderstands und der Gebrauchstauglichkeit eines Tragwerks oder eines Bauteils.</p>
<p>Zuverlässigkeitsindex <i>indice de fiabilité</i> <i>indice di affidabilità</i> <i>reliability index</i></p>	<p>Mass für die Versagensrate, formuliert als deren inverse standardisierte Normalverteilung.</p>

1.2 Bezeichnungen

1.2.1 Lateinische Grossbuchstaben

$A_{d,act}$	Überprüfungswert einer aussergewöhnlichen Einwirkung
C_{acc}	Konstante zur Quantifizierung der Risikoakzeptanz
$C_{d,act}$	aktualisierte Gebrauchsgrenze
C_F	direkte Kosten bei Versagen
C_W	Kosten der Wiederherstellung des Tragwerks
E	Auswirkung
$E_{d,act}$	Überprüfungswert einer Auswirkung
$E_{d,dst,act}$	Überprüfungswert einer destabilisierenden Auswirkung
$E_{d,stb,act}$	Überprüfungswert einer stabilisierenden Auswirkung
$E_{m,act}$	aktualisierter Erwartungswert einer Auswirkung
EF_M	Massnahmeneffizienz
$G(\dots)$	Grenzzustandsfunktion
$G_{k,act}$	aktualisierter charakteristischer Wert einer ständigen Einwirkung
N_F	Erwartungswert der Anzahl Todesfälle bei einem Versagensereignis
$P\{\dots\}$	Wahrscheinlichkeit
P_{acc}	Todesfallwahrscheinlichkeit für eine Person
$P_{k,act}$	aktualisierter charakteristischer Wert einer Vorspannung
$Q_{k1,act}$	aktualisierter charakteristischer Wert der (veränderlichen) Leiteinwirkung
R	Tragwiderstand
$R_{d,act}$	Überprüfungswert des Tragwiderstands
$R_{m,act}$	aktualisierter Erwartungswert des Tragwiderstands
SC_M	Sicherheitskosten von Erhaltungsmassnahmen
$X_{d,act}$	Überprüfungswert einer Baustoff- oder Baugrundeigenschaft
X_i	Basisvariable
$X_{k,act}$	aktualisierter charakteristischer Wert einer Baustoff- oder Baugrundeigenschaft

1.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben

a_0	Konstante der Grenzzustandsfunktion
ad,act	Überprüfungswert einer geometrischen Grösse
n	Erfüllungsgrad
t	Zeit

1.2.3 Griechische Buchstaben

α_E	Sensitivitätsfaktor für eine Auswirkung
α_R	Sensitivitätsfaktor für einen Tragwiderstand
β	Zuverlässigkeitsindex
β_0	Zielwert des Zuverlässigkeitsindex
$\gamma_{G,act}$	aktualisierter Lastbeiwert für eine ständige Einwirkung

$\gamma_{G,inf,act}$	aktualisierter Lastbeiwert für ständige Einwirkungen (Überprüfung mit unteren Überprüfungs- werten)
$\gamma_{G,sup,act}$	aktualisierter Lastbeiwert für ständige Einwirkungen (Überprüfung mit oberen Überprüfungs- werten)
$\gamma_{M,act}$	aktualisierter Widerstandsbeiwert
γ_P	Lastbeiwert für eine Einwirkung aus Vorspannung
γ_{Q1}	aktualisierter Lastbeiwert für eine (veränderliche) Leiteinwirkung
δ_E	Parameter der Lognormalverteilung für eine Auswirkung
δ_R	Parameter der Lognormalverteilung für einen Tragwiderstand
η	Umrechnungsfaktor (bezüglich Baustoffeigenschaften)
$\nu_{E,act}$	aktualisierter Variationskoeffizient für eine Auswirkung
$\nu_{R,act}$	aktualisierter Variationskoeffizient für einen Tragwiderstand
ρ	Koeffizient zur Beschreibung der Konsequenzen eines Tragwerksversagens
ψ_0	Reduktionsbeiwert für den seltenen Wert einer veränderlichen Einwirkung
$\psi_{0i}^{Q_{ki,act}}$	seltener Wert der aktualisierten veränderlichen Begleiteinwirkung i
ψ_1	Reduktionsbeiwert für den häufigen Wert einer veränderlichen Einwirkung
ψ_2	Reduktionsbeiwert für den quasi-ständigen Wert einer veränderlichen Einwirkung
$\psi_{2i}^{Q_{ki,act}}$	aktualisierter quasi-ständiger Wert der veränderlichen Einwirkung i in Kombination mit einer aussergewöhnlichen Einwirkung bzw. dem häufigen Wert der (veränderlichen) Leiteinwirkung
ΔR_M	Risikoreduktion infolge von Erhaltungsmaßnahmen
$\Phi(\dots)$	Standard-Normalverteilungsfunktion

2 GRUNDSÄTZE

2.1 Allgemeines

- 2.1.1 Die Erhaltung bestehender Tragwerke hat aktuelle Anforderungen und Bedürfnisse, insbesondere in Bezug auf die Sicherheit von Individuum und Gesellschaft, zu berücksichtigen. Sie hat wirtschaftlich und umweltschonend sowie kultur- und sozialverträglich zu erfolgen.
- 2.1.2 Mit der Erhaltung eines bestehenden Tragwerks über die Restnutzungsdauer werden in Ergänzung bzw. Präzisierung der Norm SIA 469 folgende Ziele verfolgt:
- die Anforderungen aus der Nutzung zu erfüllen
 - die gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen
 - die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit zu gewährleisten
 - den Erhaltungswert zu bewahren
 - das Potenzial eines Bauwerks auszuschöpfen.
- 2.1.3 Umfang und Inhalt der Tätigkeiten im Rahmen der Erhaltung sind der Bedeutung des Tragwerks, den Gefährdungsbildern und der Komplexität der Aufgabenstellung anzupassen.
- 2.1.4 Im Hinblick auf bedeutende Erhaltungsmassnahmen ist der Erhaltungswert eines Bauwerks zu ermitteln.

2.2 Überwachung und Instandhaltung

- 2.2.1 Überwachung und Instandhaltung sind gemäss Norm SIA 469 für alle Arten von Tragwerken auszuführen. Veränderte Bedingungen und neue Erkenntnisse sind zu berücksichtigen.
- 2.2.2 Die Überwachung hat zum Ziel, die Prognosen über das Tragwerkverhalten zu verifizieren und ein unvorhergesehenes Tragverhalten, Schädigungsmechanismen und Gefährdungen möglichst frühzeitig zu erkennen.
- 2.2.3 Die Instandhaltung beinhaltet die geplanten Tätigkeiten gemäss dem Unterhaltsplan und die Behebung kleiner Schädigungen. Diese Tätigkeiten haben vorwiegend präventiven Charakter.
- 2.2.4 Bei Feststellung von Schäden, Mängeln, unerwartetem Tragverhalten oder einer bedeutenden Beeinträchtigung des Tragwiderstands oder der Betriebssicherheit ist eine Überprüfung zu veranlassen. Gegebenenfalls sind auch sichernde Sofortmassnahmen auszuführen.

2.3 Überprüfung

- 2.3.1 Die Überprüfung hat zum Ziel, die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit eines Tragwerks hinsichtlich seiner vereinbarten Restnutzung nachzuweisen und, sofern erforderlich, Erhaltungsmassnahmen vorzuschlagen.
- 2.3.2 Die Nutzungsvereinbarung ist auf ihre Gültigkeit zu überprüfen, allenfalls anzupassen oder, wenn fehlend, zu erstellen.
- 2.3.3 Die Projektbasis ist gemäss den Normen SIA 269/1 bis 269/8 zu aktualisieren oder, wenn fehlend, zu erstellen.
- 2.3.4 Die Überprüfung erfolgt auf Basis der Aktualisierung von Einwirkungen, Baustoff- und Baugrundeigenschaften, Tragwerksmodellen und geometrischen Grössen sowie von Tragwiderständen und des Verformungsvermögens. Die Aktualisierung hat alle verfügbaren Informationen zu berücksichtigen. Insbesondere sind auch die Einflüsse von Schädigungsmechanismen zu beachten.
- 2.3.5 Die Nachweise erfolgen in der Regel nach dem deterministischen Verfahren gemäss den Grundsätzen der Norm SIA 260.

2.3.6

Probabilistische Nachweise können angebracht sein:

- bei besonders hohem oder besonders tiefem Kenntnisstand über das Tragwerk und seinen Zustand
- bei grossen Konsequenzen eines Tragwerksversagens
- um die Effizienz von Überwachungs- und Instandhaltungsstrategien zu beurteilen
- für grundsätzliche Entscheide über einen ganzen Tragwerksbestand.

3 ANFORDERUNGEN

3.1 Nutzung

Die Restnutzungsdauer und die zugehörigen Nutzungszustände eines Tragwerks und seiner Teile sind bei der Überprüfung oder bei der Planung von Erhaltungsmaßnahmen festzulegen.

3.2 Tragsicherheit

- 3.2.1 Die Tragsicherheit gilt als ausreichend, falls entweder rechnerisch das erforderliche Niveau der Tragsicherheit eingehalten ist oder die Möglichkeit eines Tragwerksversagens durch ergänzende Sicherheitsmaßnahmen oder sichernde Sofortmassnahmen unter Kontrolle gehalten wird.
- 3.2.2 Der deterministische Nachweis der Tragsicherheit ist erbracht, falls die Bedingungen nach Ziffer 5.2.1 erfüllt sind.
- 3.2.3 Der probabilistische Nachweis ist erbracht, falls die Bedingungen nach Anhang B erfüllt sind.
- 3.2.4 Die zuverlässigkeitstheoretischen Anforderungen an die Tragsicherheit sind in Anhang B festgelegt.

3.3 Gebrauchstauglichkeit

- 3.3.1 Bei unveränderter Nutzung wird die Gebrauchstauglichkeit in der Regel anhand der Ergebnisse der Zustandserfassung nachgewiesen. Die Erfahrungen der Nutzer sollten einfließen.
- 3.3.2 Bei geänderter Nutzung ist die Gebrauchstauglichkeit anhand der Ergebnisse der Zustandserfassung sowie mit den aktualisierten Einwirkungen und Gebrauchsgrenzen nachzuweisen.
- 3.3.3 Der deterministische Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht, falls die Bedingung nach Ziffer 5.2.2 erfüllt ist.

3.4 Verhältnismässigkeit von Erhaltungsmaßnahmen

- 3.4.1 Die Verhältnismässigkeit von Erhaltungsmaßnahmen ergibt sich aus der Gegenüberstellung von deren Aufwand (direkte und indirekte Kosten für die Erfüllung der Anforderungen) und Nutzen (Reduktion von Risiken, Gewinn an Erhaltungswert und Zuverlässigkeit), bezogen auf die Restnutzungsdauer.
- 3.4.2 In der Regel wird die Verhältnismässigkeit von Erhaltungsmaßnahmen empirisch beurteilt. Bei sicherheitsbezogenen Erhaltungsmaßnahmen kann die Beurteilung durch den Nachweis nach Ziffer 5.4 unterstützt werden.
- 3.4.3 Erweisen sich sicherheitsbezogene Erhaltungsmaßnahmen als unverhältnismässig, ist entweder die Massnahmenplanung zu überarbeiten oder die Nutzungsvereinbarung an die festgestellten Verhältnisse anzupassen. Im Fall von aussergewöhnlichen Überprüfungssituationen kann eine ungenügende Situation akzeptiert werden, auch wenn Bedingungen gemäss Ziffer 5.2 nicht erfüllt sind; das Individualrisiko ist jedoch gemäss Ziffer B.4 zu beschränken.
- 3.4.4 Erweisen sich sicherheitsbezogene Erhaltungsmaßnahmen als verhältnismässig, sind sie umzusetzen.

4 AKTUALISIERUNG

4.1 Allgemeines

- 4.1.1 Grundsätzlich sind die Einwirkungen, die Baustoff- und Baugrundeigenschaften, das Tragwerksmodell, die geometrischen Grössen, die Tragwiderstände und das Verformungsvermögen zu aktualisieren.
- 4.1.2 Die Aktualisierung berücksichtigt unter anderem:
- die Ereignisse während der Bauausführung und der Nutzung
 - die Erkenntnisse aus Beobachtungen und Messungen während der bisherigen Nutzung
 - die bisherigen Massnahmen
 - die Resultate von Zustandserfassungen
 - die vereinbarten Nutzungszustände während der Restnutzungsdauer
 - die Erfahrung aus dem Verhalten vergleichbarer Tragwerke unter vergleichbarer Nutzung.
- 4.1.3 Die aktualisierten Werte sind in der Projektbasis festzuhalten.

4.2 Aktualisierung von Einwirkungen

- 4.2.1 Aktualisierte charakteristische Werte von Einwirkungen werden in der Regel gemäss Norm SIA 269/1 festgelegt.
- 4.2.2 Falls statistische Verteilungen für Variablen von veränderlichen Einwirkungen aufgrund von Messreihen oder anderen Informationen vorhanden sind, darf aktualisiert werden, indem
- der charakteristische Wert der veränderlichen Einwirkung $Q_{k,act}$ entsprechend dem von der Wiederkehrperiode abhängigen Fraktilwert oder
 - der Überprüfungs Wert einer Auswirkung $E_{d,act}$ nach dem Verfahren gemäss Anhang C ermittelt wird.

4.3 Aktualisierung von Baustoff- und Baugrundeigenschaften

- 4.3.1 Die Identifikation der Baustoffe oder des Baugrunds erfolgt aufgrund des Studiums der Bauwerksakten und bei der Zustandserfassung. Eine Baustoff- oder Baugrundeigenschaft $X_{k,act}$ ist gemäss den Bestimmungen der Normen SIA 269/2 bis 269/8 zu aktualisieren.
- 4.3.2 Angaben zur Aktualisierung von Umrechnungsfaktoren η und zu aktualisierten Widerstandsbeiwerten $\gamma_{M,act}$ enthalten die Normen SIA 269/2 bis 269/8.

4.4 Aktualisierung von Tragwerksmodellen und geometrischen Grössen

- 4.4.1 Das gewählte Tragwerksmodell muss das Tragverhalten wirklichkeitsnah abbilden und sich für die Vorhersage des Tragverhaltens in den betrachteten Überprüfungssituationen eignen.
- 4.4.2 Die Aktualisierung von geometrischen Grössen $a_{d,act}$ basiert auf den vorhandenen Abmessungen sowie Schädigungen und Mängeln, die im Rahmen der Zustandserfassung festgestellt werden. Widersprüche zu den Bauwerksakten sind zu klären.

4.5 Aktualisierung von Tragwiderständen und des Verformungsvermögens

- 4.5.1 Die Aktualisierung des Tragwiderstands und des Verformungsvermögens erfolgt nach den Grundsätzen der Normen SIA 262 bis 267, SIA 266/2 sowie SIA 269/2 bis 269/8. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Einwirkungen und das Verformungsvermögen des Tragwerks gegenseitig beeinflussen können.
- 4.5.2 Die Einflüsse von Schädigungen und Mängeln auf den Tragwiderstand und das Verformungsvermögen sind zu quantifizieren und als aktualisierte geometrische Grössen oder als aktualisierte Baustoff- und Baugrundeigenschaften zu berücksichtigen.
- 4.5.3 Falls statistische Verteilungen für Variablen zur Ermittlung des Tragwiderstands oder des Verformungsvermögens aufgrund von Beobachtungen und Messungen vorhanden sind, darf aktualisiert werden, indem:
- der charakteristische Wert einer Baustoff- oder Baugrundeigenschaft $X_{k,act}$ nach den Normen SIA 269/2 bis 269/8 oder
 - der Überprüfungswert des Tragwiderstands $R_{d,act}$ nach dem Verfahren gemäss Anhang C ermittelt wird.

5 TRAGWERKSANALYSE UND NACHWEISE

5.1 Allgemeines

- 5.1.1 Die Tragwerksanalyse und die Nachweise erfolgen analog zu den Grundsätzen der Norm SIA 260. Die entsprechenden Einflussgrössen sind mit ihren aktualisierten Werten zu berücksichtigen.
- 5.1.2 Die den Nachweisen zugrunde gelegten Versagensarten des Tragwerks sind zu beurteilen. Insbesondere ist zu beurteilen, ob sich das Versagen vor dem Erreichen des Tragwiderstands ankündigt.

5.2 Deterministische Nachweise

5.2.1 Nachweis der Tragsicherheit

- 5.2.1.1 Für die betrachtete Restnutzungsdauer und Grenzzustände des Typs 1 gilt die Tragsicherheit als nachgewiesen, wenn folgendes Kriterium für den Erfüllungsgrad n eingehalten ist:

$$n = \frac{E_{d,stab,act}}{E_{d,dst,act}} \geq 1 \quad (1)$$

- 5.2.1.2 Für die betrachtete Restnutzungsdauer und Grenzzustände der Typen 2 bis 4 gilt die Tragsicherheit als nachgewiesen, wenn folgendes Kriterium für den Erfüllungsgrad n eingehalten ist:

$$n = \frac{R_{d,act}}{E_{d,act}} \geq 1 \quad (2)$$

- 5.2.1.3 Der Überprüfungswert des Tragwiderstands wird mit aktualisierten Querschnitts- und Baustoffkennwerten gemäss den Normen SIA 269/2 bis 269/8 ermittelt:

$$R_{d,act} = \frac{R\{X_{d,act} a_{d,act}\}}{\gamma_{R,act}} \quad (3)$$

In der Regel kann an Stelle von (3) der Ausdruck

$$R_{d,act} = \frac{\eta R_{k,act}}{\gamma_{M,act}} \quad (4)$$

verwendet werden.

- 5.2.1.4 Für andauernde und vorübergehende Überprüfungssituationen sind die Überprüfungswerte einer Auswirkung wie folgt zu ermitteln:

$$E_{d,act} = E(\gamma_{G,act} G_{k,act} \gamma_P P_{k,act} \gamma_{Q1} Q_{k1,act} \psi_{0i} Q_{ki,act} X_{d,act} a_{d,act}) \quad (5)$$

- 5.2.1.5 Der Lastbeiwert für eine ständige Einwirkung $\gamma_{G,act}$ darf gemäss Tabelle 1 aktualisiert werden, falls die Aktualisierung der ständigen Einwirkungen gemäss Norm SIA 269/1 durchgeführt wird.

Tabelle 1: Aktualisierte Lastbeiwerte für den Nachweis der Tragsicherheit

Einwirkungen	Lastbeiwert	Grenzzustand		
		Typ 1	Typ 2	Typ 3
Ständige Einwirkungen (inkl. Erdauflasten)				
– ungünstig wirkend	$\gamma_{G,sup,act}$	1,05 ¹⁾	1,20 ¹⁾	1,00
– günstig wirkend	$\gamma_{G,inf,act}$	0,95 ¹⁾	0,90 ¹⁾	1,00
1) $G_{k,act}$ wird entweder mit $\gamma_{G,sup,act}$ oder mit $\gamma_{G,inf,act}$ multipliziert, je nachdem, ob die Gesamtwirkung ungünstig oder günstig ist.				

5.2.1.6 Für veränderliche Einwirkungen und Einwirkungen aus dem Baugrund gelten die Lastbeiwerte gemäss Norm SIA 260.

5.2.1.7 Die Reduktionsbeiwerte ψ_0 , ψ_1 und ψ_2 sind der Norm SIA 260 zu entnehmen.

5.2.1.8 Für aussergewöhnliche Überprüfungssituationen sind die Überprüfungswerte einer Auswirkung wie folgt zu ermitteln:

$$E_{d,act} = E(G_{k,act}, P_{k,act}, A_{d,act}, \psi_2, Q_{ki,act}, X_{d,act}, a_{d,act}) \quad (6)$$

5.2.1.9 Für Grenzzustände des Typs 4 ist der Nachweis der Ermüdungssicherheit mit einem der folgenden Verfahren zu führen:

- Dauerfestigkeitsnachweis mit den Ermüdungseinwirkungen der Norm SIA 269/1
- Betriebsfestigkeitsnachweis wie für neue Tragwerke mit Betriebslast-Teilfaktoren gemäss Norm SIA 269/1
- Nachweis mit einer Berechnung der Schadensakkumulation
- Nachweis mit der Methode des Strukturspannungskonzepts.

Dabei ist zwischen den Ermüdungseinwirkungen während der bisherigen Nutzungsdauer und der Restnutzungsdauer zu unterscheiden.

5.2.2 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Für die betrachtete Überprüfungssituation gilt die Gebrauchstauglichkeit als nachgewiesen, wenn folgendes Kriterium erfüllt ist:

$$E_{d,act} \leq C_{d,act} \quad (7)$$

Dabei bezeichnet $E_{d,act}$ den Überprüfungswert der Auswirkung infolge der in der untersuchten Überprüfungssituation betrachteten Lastfälle und $C_{d,act}$ die zugehörige aktualisierte Gebrauchsgrenze.

5.3 Probabilistische Nachweise

Falls aktualisierte Verteilungen der Basisvariablen vorhanden sind, darf die Tragsicherheit mit den Methoden der Zuverlässigkeitstheorie nachgewiesen werden.

5.4 Nachweis der Verhältnismässigkeit von sicherheitsbezogenen Erhaltungsmassnahmen

5.4.1 Die Verhältnismässigkeit von sicherheitsbezogenen Erhaltungsmassnahmen wird aufgrund ihrer Effizienz und unter Berücksichtigung folgender Aspekte beurteilt:

- Sicherheitsanforderungen von Individuum und Gesellschaft
- Verfügbarkeit eines Bauwerks oder einer Anlage
- Schadensausmass für Personen, Sachgüter und Umwelt
- Erhaltung des kulturellen Werts.

5.4.2 Die Massnahmeneffizienz wird mit dem Koeffizienten EF_M beurteilt:

$$EF_M = \frac{\Delta R_M}{SC_M} \quad (8)$$

ΔR_M bezeichnet die Risikoreduktion infolge von Erhaltungsmassnahmen (formuliert als diskontierter, jährlicher monetärer Wert über die Restnutzungsdauer) und SC_M bezeichnet die Sicherheitskosten (formuliert als diskontierter, jährlicher monetärer Wert über die Restnutzungsdauer), die der eigentlichen Sicherung des Tragwerks angelastet werden. Für die Diskontierung kann ein Zinssatz von 2% angesetzt werden.

- 5.4.3 Eine sicherheitsbezogene Erhaltungsmassnahme gilt als verhältnismässig, wenn $EF_M \geq 1,0$ ist. Eine sicherheitsbezogene Erhaltungsmassnahme gilt in der Regel als unverhältnismässig, wenn $EF_M < 1,0$ ist; die Berücksichtigung der Aspekte gemäss Ziffer 5.4.1 kann jedoch zu einer anderen Beurteilung führen.
- 5.4.4 Bei der Ermittlung der Risikoreduktion können für ein gerettetes Menschenleben 3 bis 10 Millionen Schweizer Franken angenommen werden. Falls die Risikoreduktion allein unter Berücksichtigung von Menschenleben ermittelt wird, gilt eine sicherheitsbezogene Erhaltungsmassnahme als verhältnismässig, wenn $EF_M \geq 1,0$ ist.

6 ÜBERPRÜFUNG

6.1 Vorgehen

6.1.1 Allgemeines

6.1.1.1 Die Überprüfung erfolgt stufenweise mit zunehmender Vertiefung. Sie besteht aus der generellen Überprüfung und gegebenenfalls aus einer oder mehreren detaillierten Überprüfungen. Der Grad der Vertiefung hängt von der Qualität der zur Verfügung stehenden Informationen über das Tragwerk und dessen Bedeutung ab.

6.1.1.2 Die Ergebnisse der Überprüfung müssen einer Plausibilitätskontrolle standhalten und dem beobachteten Tragwerkszustand und -verhalten entsprechen.

6.1.1.3 Die Ergebnisse der Überprüfung sind in einem Bericht festzuhalten.

6.1.2 Veranlassung

6.1.2.1 Bei Änderung der Nutzung oder der Nutzungsanforderungen sowie bei einer Veränderung besteht Veranlassung, ein bestehendes Tragwerk zu überprüfen.

6.1.2.2 In Ergänzung zu Ziffer 6.1.2.1 besteht Grund für eine Überprüfung, wenn:

- bedeutende Schädigungen oder Mängel am Tragwerk festgestellt wurden
- bedeutende Baugrund- oder Tragwerksbewegungen oder -verformungen aufgetreten sind
- aussergewöhnliche oder unvorhergesehene Einwirkungen eingetreten sind
- ein Tragwerk nicht oder ungenügend überwacht wurde oder nicht überwacht werden kann
- aufgrund der Überwachung Zweifel an der Bewertung des Zustands bestehen
- eine Untersuchung der Zuverlässigkeit des Tragwerks angebracht erscheint
- neue Erkenntnisse über Einwirkungen oder Tragwerkeigenschaften vorliegen.

6.1.3 Generelle Überprüfung

6.1.3.1 Die generelle Überprüfung erstreckt sich auf das gesamte Tragwerk einschliesslich aller Bauteile, bei deren Versagen eine Gefährdung für Personen, wertvolle Sachgüter und die Umwelt zu erkennen ist.

6.1.3.2 Der Umfang der generellen Überprüfung und die Abgrenzung der zu untersuchenden Bauteile sind objektspezifisch festzulegen.

6.1.3.3 Die generelle Überprüfung erfolgt in der Regel schrittweise gemäss Anhang A.

6.1.4 Detaillierte Überprüfung

6.1.4.1 Eine detaillierte Überprüfung ist durchzuführen, falls in der generellen Überprüfung der Nachweis der Erfüllung der Anforderungen nicht erbracht werden kann und wenn der damit verbundene Aufwand den erwarteten Nutzen rechtfertigt.

6.1.4.2 Die detaillierte Überprüfung beschränkt sich in der Regel auf ausgewählte Teile eines Tragwerks und kann in mehreren Stufen mit zunehmender Vertiefung erfolgen (vgl. Anhang A).

6.2 Zustandserfassung

6.2.1 Allgemeines

- 6.2.1.1 Die Zustandserfassung ist Grundlage für die Zustandsbeurteilung und die Massnahmenempfehlung. Sie basiert auf der Nutzungsvereinbarung und der Projektbasis und berücksichtigt Inspektions- und Prüfungsberichte sowie Erfahrungen der Benutzer.
- 6.2.1.2 Die Zustandserfassung hat zum Ziel
- Hinweise auf Gefährdungsbilder, Informationen über Einwirkungen und Angaben zur Exposition des Tragwerks zu erhalten
 - den Zustand sowie allfällige Schädigungen und Mängel des Tragwerks zu erkennen und für die Zustandsbeurteilung zu dokumentieren.
- 6.2.1.3 Zu jeder Zustandserfassung gehört eine Beurteilung der Zuverlässigkeit und Plausibilität der Ergebnisse.
- 6.2.1.4 Im Vordergrund der Zustandserfassung steht das Beschaffen von Informationen über:
- das Tragwerk und Tragverhalten
 - die Gefährdungsbilder und Nutzungszustände sowie Einwirkungen und deren Auswirkungen
 - den Zustand von Tragwerksteilen, insbesondere jener, die starken Umwelteinflüssen ausgesetzt sind
 - die Bauverfahren und die Baustoffe mit ihren heutigen und in Zukunft zu erwartenden Eigenschaften.
- 6.2.1.5 Die Vorbereitung der Zustandserfassung am Tragwerk beinhaltet in der Regel:
- die Zielsetzung mit Begründung der gesuchten Informationen
 - das Untersuchungsprogramm mit Angaben zu allfälligen Nutzungsbeschränkungen während der Zustandserfassung
 - die Angabe und die Begründung der Untersuchungsmethoden
 - Art und erwartete Ergebnisse von Untersuchungen am Tragwerk und von Laborprüfungen
 - Angaben über die Repräsentativität der Untersuchungen und der erwarteten Ergebnisse
 - Angaben zur Instandsetzung bei Probenahmen und Sondierungen.

6.2.2 Untersuchungen

- 6.2.2.1 Die Untersuchungen des Tragwerks umfassen in der Regel:
- das Tragsystem
 - die massgebenden Abmessungen der Tragwerksteile, deren konstruktive Durchbildung und die Übereinstimmung mit den Bauwerksakten
 - die Baustoffe und deren Eigenschaften
 - die Ausrüstungsteile, die für das Tragverhalten von Bedeutung sind.
- 6.2.2.2 Im Hinblick auf die Festlegung des Tragwerkmodells sind die statischen und kinematischen Randbedingungen, wie Einspannungen, Lagerungsbedingungen und Beweglichkeit von Fugen, zu erfassen. Insbesondere sind die Interaktion zwischen Tragwerk und Baugrund sowie die Stabilität des Gesamtsystems und der einzelnen Tragwerksteile zu untersuchen.
- 6.2.2.3 Die Untersuchung hat jene Bauteile zu umfassen, die das Tragverhalten des Tragwerks beeinflussen.
- 6.2.2.4 Bei ermüdungsbeanspruchten Tragwerken ist die konstruktive Durchbildung zu untersuchen, um ermüdungsempfindliche Konstruktionsdetails zu erkennen und die Ermüdungsfestigkeiten gemäss den Normen SIA 269/2 bis 269/5 zu ermitteln.

6.2.3 Versuchsgestützte Ermittlung des Tragverhaltens

- 6.2.3.1 Eine Veranlassung für die Ermittlung des Tragverhaltens anhand von statischen oder dynamischen Belastungsversuchen besteht:
- bei ungenügenden Kenntnissen und Informationen über das Tragwerk und dessen Tragverhalten
 - zum Nachweis eines elastischen Tragwerkverhaltens
 - zur Kalibrierung von Tragwerksmodellen für die Tragwerksanalyse

- vor Aufbringen höherer Nutzlasten, sofern kein rechnerischer Nachweis möglich ist
- im Rahmen einer Sonderinspektion.

- 6.2.3.2 Bei Belastungsversuchen wird das Verhalten des Tragwerks und der Tragwerksteile erfasst und aufgezeigt, ob unter bestimmten Belastungen die Verformungen des Bauwerks reversibel sind und übermässige Rissbildungen, Schwingungen oder Verschiebungen ausbleiben.
- 6.2.3.3 Die Ergebnisse von Belastungsversuchen sind anhand von Tragwerksmodellen zu interpretieren. Dabei sind die Einflüsse, die im Versuch nicht oder nur ungenügend modelliert werden können, besonders zu beachten.

6.3 Zustandsbeurteilung

6.3.1 Allgemeines

- 6.3.1.1 Die Zustandsbeurteilung bewertet den Zustand des Tragwerks als Gesamtes oder von einzelnen Bauteilen bezüglich Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit. Sie beinhaltet eine Abschätzung der weiteren Zustandsentwicklung.
- 6.3.1.2 Das Tragwerk ist auch hinsichtlich seiner Robustheit zu beurteilen. Dabei sind die Folgen von Schädigungen infolge aussergewöhnlicher Einwirkungen oder Umwelteinflüssen auf die Tragfähigkeit und die Stabilität des Tragwerks mit Gefährdungsbildern und entsprechenden Versagensszenarien zu untersuchen.
- 6.3.1.3 Bei den Versagensszenarien ist zu unterscheiden zwischen last-, kraft- oder verformungsinduzierten Vorgängen, die sich vor Erschöpfung des Tragwiderstands mit unterschiedlich grossen Verformungen ankündigen können. Es ist abzuklären, ob ein zum Versagen führender Vorgang rechtzeitig festgestellt werden kann.
- 6.3.1.4 Nicht einsehbare und nicht direkt prüfbare Tragwerke oder Tragwerksteile sind anhand indirekter Hinweise zu beurteilen.
- 6.3.1.5 Ist eine Zustandsbeurteilung nicht mit ausreichender Zuverlässigkeit möglich, kann die Massnahmenplanung unter sinngemässer Anwendung der Beobachtungsmethode gemäss den Normen SIA 260 und 267 erfolgen.
- 6.3.1.6 Die Zustandsbeurteilung beruht wenn möglich auf einer quantitativen, andernfalls auf einer empirischen Analyse.

6.3.2 Quantitative Analyse

- 6.3.2.1 Bei der quantitativen Analyse der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit ist festzustellen, ob die entsprechenden Nachweise erfüllt sind. Dabei ist für die Tragsicherheit der Erfüllungsgrad auszuweisen.
- 6.3.2.2 Modellunschärfen und die Bedeutung der massgebenden Überprüfungswerte können anhand einer Sensitivitätsanalyse untersucht werden.
- 6.3.2.3 Kann keine genügende Tragsicherheit nachgewiesen werden, sind die Wahl des Tragwerkmodells und der Einfluss der massgebenden Parameter auf das Ergebnis des Nachweises der Tragsicherheit zu beurteilen. Es ist festzustellen, ob sich der massgebende Versagensmechanismus vor Erreichen des Tragwiderstands ankündigt. Weiter ist abzuschätzen, ob eine zusätzliche, detaillierte Überprüfung neue Erkenntnisse liefern kann.
- 6.3.2.4 Kann der Nachweis des Grenzzustands des Typs 4 nicht erbracht werden, ist abzuschätzen, ob eine zusätzliche, detaillierte Überprüfung neue Erkenntnisse liefern kann. Diese beinhaltet einzeln oder in Kombination:
 - eine verfeinerte Ermittlung der bisherigen und künftigen Ermüdungseinwirkungen unter Berücksichtigung der Restnutzungsdauer
 - eine verfeinerte Tragwerksanalyse oder Belastungsversuche zur genaueren Ermittlung der ermüdungsrelevanten Spannungsgrössen
 - eine verfeinerte Ermittlung der Ermüdungsfestigkeit, allenfalls anhand von Versuchen
 - die Anwendung der Methoden der Zuverlässigkeitstheorie zur Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit.

6.3.3 Empirische Analyse

6.3.3.1 Eine empirische Analyse ist insbesondere dann vorzunehmen, wenn der Nachweis der Tragsicherheit gemäss Ziffer 5.2.1 oder 5.3 nicht oder nicht ausreichend zuverlässig erbracht werden kann.

6.3.3.2 Bei einer empirischen Analyse darf eine genügende Tragsicherheit vermutet werden, wenn alle folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Es sind keine Schädigungen und Mängel feststellbar, welche die Tragfähigkeit mindern.
- Das Tragwerk hat über eine längere Nutzungsdauer ein befriedigendes Tragverhalten gezeigt.
- Ähnliche Erfahrungen mit dem Tragverhalten von vergleichbaren Tragwerken liegen vor.
- Für die Restnutzungsdauer sind keine Änderungen der Nutzung vorgesehen.
- Das Risiko eines Tragwerksversagens und dessen Folgen können als akzeptierbar eingestuft werden.

6.3.3.3 Falls eine genügende Tragsicherheit aufgrund einer empirischen Analyse vermutet wird, sind ergänzende Sicherheitsmassnahmen gemäss Ziffer 7.5 zu treffen.

6.3.4 Prognose der Zustandsentwicklung

6.3.4.1 Die Prognose der Zustandsentwicklung beinhaltet Angaben zur voraussichtlichen Entwicklung des Zustands des Tragwerks sowie der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit.

6.3.4.2 Bei der Prognose der Zustandsentwicklung werden die voraussehbaren Veränderungen der Einwirkungen, der Tragwiderstände und des Tragverhaltens unter Einbezug möglicher Schädigungsmechanismen berücksichtigt.

6.3.4.3 Qualitative Aussagen zur Zustandsentwicklung beruhen auf der Zustandserfassung sowie auf Erfahrungen vergleichbarer Tragwerke.

6.3.4.4 Quantitative Aussagen zur Zustandsentwicklung beruhen auf einer Modellbildung von zeitabhängigen Einwirkungen, Schädigungsmechanismen und anderen zeitabhängigen Vorgängen.

6.3.4.5 Die Prognose der Zustandsentwicklung ist mit der in der Nutzungsvereinbarung festgelegten Restnutzungsdauer zu vergleichen.

6.4 Massnahmenempfehlung

6.4.1 Die Massnahmenempfehlung bildet die Basis für den Grundsatzentscheid des Werkeigentümers über das weitere Vorgehen.

6.4.2 Die Massnahmenempfehlung kann folgende Optionen beinhalten:

- Akzeptieren des bestehenden Zustands
- sofortige Korrektur des bestehenden Zustands mit sichernden Sofortmassnahmen
- ergänzende Sicherheitsmassnahmen
- Durchführen einer (weiteren) detaillierten Überprüfung
- Ändern der Überwachung und Instandhaltung
- Instandsetzungs-, Erneuerungs- und/oder Veränderungsmassnahmen
- Ersatz des gesamten Tragwerks oder einzelner Teile davon
- Ausserbetriebnahme
- Rückbau.

6.4.3 Falls der Nachweis des Grenzzustands des Typs 4 nicht erbracht werden kann, stehen zunächst ergänzende Sicherheitsmassnahmen im Vordergrund. Erst wenn sich diese als ungenügend erweisen sollten, ist eine Veränderung des Tragwerks erforderlich.

7 ERHALTUNGSMASSNAHMEN

7.1 Allgemeines

- 7.1.1 Die Massnahmenplanung beruht auf dem Grundsatzentscheid des Werkeigentümers über die vorgesehene Nutzung des Tragwerks und über das weitere Vorgehen.
- 7.1.2 Im Rahmen der Massnahmenplanung sind auf die Restnutzungsdauer ausgerichtete betriebliche und/oder bauliche Erhaltungsmassnahmen zu definieren.
- 7.1.3 Die Interaktion des bestehenden Tragwerks oder Tragwerkteils mit bestehenden anderen Bauteilen, mit benachbarten Bauwerken und dem Baugrund ist zu beachten.
- 7.1.4 Der Einfluss einer Erhaltungsmassnahme auf die Einpassung, die Gestaltung und die kulturellen Werte sowie bei historischen Bauwerken auch auf die Erhaltung der Originalsubstanz ist aufzuzeigen.
- 7.1.5 Die Funktionsweise und die zu erwartende Wirksamkeit der Erhaltungsmassnahme zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit während der Restnutzungsdauer sind auszuweisen.
- 7.1.6 Im Anschluss an die Umsetzung von Erhaltungsmassnahmen sind die Nutzungsvereinbarung zu bestätigen, die Projektbasis zu aktualisieren und die Nutzungsanweisungen umzusetzen.
- 7.1.7 Nach der Ausführung von Erhaltungsmassnahmen ist zu verfolgen, ob sich diese bewähren. Die dazu erforderlichen Kontrollen sind im Überwachungsplan zu ergänzen.

7.2 Instandsetzung und Veränderung

7.2.1 Allgemeines

- 7.2.1.1 Die Instandsetzung eines Tragwerks beinhaltet Massnahmen, die in der Regel eine Kombination folgender Ziele umfassen:
 - Ursachen von Schädigungen beseitigen
 - Schädigungsmechanismen verlangsamen oder unterbinden
 - Schädigungen und Mängel beheben
 - das Tragwerk oder Tragwerksteile schützen.
- 7.2.1.2 Bei der Projektierung einer Instandsetzung sind Ausführungsrisiken und die zu ihrer Beherrschung notwendigen Steuergrössen zu berücksichtigen.
- 7.2.1.3 Bei der Beurteilung der Verhältnismässigkeit von Erhaltungsmassnahmen ist die Beeinflussung des kulturellen Werts besonders zu beachten.

7.2.2 Massnahmenkonzept

- 7.2.2.1 Das Massnahmenkonzept entspricht in Inhalt und Umfang der Projektstufe Vorprojekt.
- 7.2.2.2 Das Massnahmenkonzept wird aufgrund einer Optimierung von Erhaltungsvarianten gewählt.
- 7.2.2.3 Grundlagen für die Erhaltungsvarianten sind die Ergebnisse der Überprüfung, die Ziele der Bauwerksbewirtschaftung, die gegenwärtige und künftige Nutzung, die Restnutzungsdauer, der Erhaltungswert sowie die gesetzlichen Auflagen.
- 7.2.2.4 Das Massnahmenkonzept ist mit einem Bericht zu dokumentieren.

7.2.3 **Massnahmenprojekt**

7.2.3.1 Das Massnahmenprojekt entspricht in Inhalt und Umfang der Projektstufe Bauprojekt.

7.2.3.2 Im Massnahmenprojekt ist die Qualitätssicherung, bestehend aus Qualitätsanforderungen, Prüfverfahren und Abnahmekriterien, festzulegen. Die Konsequenzen bei Nichterfüllen der Qualitätsanforderungen sind aufzuzeigen.

7.2.3.3 Das Massnahmenprojekt ist in mit einem Bericht zu dokumentieren.

7.3 **Überwachung und Instandhaltung**

7.3.1 Überwachung und Instandhaltung erfolgen gemäss dem aktualisierten Überwachungs- und Unterhaltsplan.

7.3.2 Können starke Schädigungen nicht behoben werden, ist als ergänzende Sicherheitsmassnahme eine intensivere Überwachung zu veranlassen.

7.4 **Sichernde Sofortmassnahmen**

7.4.1 Wenn die Tragsicherheit oder die Betriebssicherheit offensichtlich nicht gewährleistet ist, sind sichernde Sofortmassnahmen zum Schutze von Personen, Sachgütern und Umwelt umzusetzen.

7.4.2 Als sichernde Sofortmassnahmen sind in Betracht zu ziehen:

- Beschränken der Nutzung
- bauliche Sofortmassnahmen, wie beispielsweise Abstützung und Unterspriessung des Tragwerks
- Intensivieren der Überwachung
- Ausserbetriebnahme und Absperrung des Bauwerks
- Alarmieren gefährdeter Personen
- Evakuieren gefährdeter Personen und Sachgüter.

7.4.3 Sichernde Sofortmassnahmen dürfen weitergehende Massnahmen weder präjudizieren noch verhindern.

7.5 **Ergänzende Sicherheitsmassnahmen**

7.5.1 Ergänzende Sicherheitsmassnahmen sind gemäss folgenden Kriterien objektspezifisch festzulegen:

- Bedeutung des Bauwerks und Schadenpotenzial
- Art des Tragwerksversagens (mit/ohne Ankündigung)
- Überwachbarkeit des Tragverhaltens
- Kontrollierbarkeit der Nutzung
- Kosten-Risiko-Überlegungen
- Möglichkeiten der Schadensbegrenzung.

7.5.2 Als ergänzende Sicherheitsmassnahmen sind in Betracht zu ziehen:

- Beschränken der Nutzung und Begrenzen der Restnutzungsdauer
- Begrenzen von Nutzlasten (gegebenenfalls durch konstruktive Massnahmen)
- Überwachen des Tragverhaltens (Kontrollmessung, Zwischeninspektion)
- permanentes oder periodisches Überwachen der Nutzung
- Einrichten von automatischen Warn- und Sicherungsanlagen
- Vorbereiten von Notfallmassnahmen
- Erarbeiten von Alarmdispositionen
- Einführen von Evakuationsplänen.

ANHANG A SCHRITTWEISES VERFAHREN BEI DER ÜBERPRÜFUNG

Generelle Überprüfung

Ziff. 6.1.3

Grundlagen

Studium der Bauwerksakten

Aktualisierung Nutzungsvereinbarung Ziff. 3 u. 4

Aktualisierung Projektbasis Ziff. 3 u. 4

Zustandserfassung

Ziff. 6.2

- visuelle Kontrollen
- einfache, i. d. R. zerstörungsfreie Untersuchungen

Tragwerksanalyse und Nachweise

Ziff. 5

überschlägige deterministische Nachweise Ziff. 5.2

- Beurteilung des Tragwerkskonzepts
- Mechanismen und Art des möglichen Tragwerksversagens
- Erkennen massgebender Bereiche des Tragwerks

Zustandsbeurteilung

Ziff. 6.3

- quantitativ
- empirisch
- Prognose der Zustandsentwicklung

Massnahmenempfehlung

Ziff. 6.4

- detaillierte Überprüfung
- Überwachung und Instandhaltung
- sichernde Sofortmassnahmen
- ergänzende Sicherheitsmassnahmen
- Instandsetzung, Veränderung, Ersatz
- usw.

Detaillierte Überprüfung

Ziff. 6.1.4

Grundlagen

Ergebnisse der generellen Überprüfung

Ergänzendes Studium der Bauwerksakten

Aktualisierung Nutzungsvereinbarung Ziff. 3 u. 4

Aktualisierung Projektbasis Ziff. 3 u. 4

Zustandserfassung

Ziff. 6.2

- vertiefte Untersuchungen relevanter Bauteile
- messtechnische Untersuchungen
- Laborprüfungen

Tragwerksanalyse und Nachweise

Ziff. 5

deterministische Nachweise Ziff. 5.2

probabilistische Nachweise Ziff. 5.3

- i. d. R. nur massgebende Teile eines Tragwerkes
- verfeinerte Tragwerksanalyse
- vertiefte Ermittlung von Einwirkungen und Auswirkungen

Zustandsbeurteilung

Ziff. 6.3

- quantitativ
- empirisch
- Prognose der Zustandsentwicklung

Massnahmenempfehlung

Ziff. 6.4

- weitere detaillierte Überprüfung
- Überwachung und Instandhaltung
- sichernde Sofortmassnahmen
- ergänzende Sicherheitsmassnahmen
- Instandsetzung, Veränderung, Ersatz
- usw.

ANHANG B ANFORDERUNGEN AN DIE TRAGSICHERHEIT

B.1 Die Anforderung an die Tragsicherheit wird durch den Zielwert des Zuverlässigkeitsindex oder durch das Individualrisiko festgelegt.

B.2 Der Zielwert des Zuverlässigkeitsindex β_0 ist abhängig von den Konsequenzen eines Tragwerksversagens. Diese werden mit Hilfe des Koeffizienten ρ abgeschätzt.

$$\rho = \frac{C_F}{C_W} \quad (9)$$

C_F bezeichnet alle direkten Kosten bei Versagen, C_W die Kosten zur Wiederherstellung des Tragwerks nach dem Versagen.

Bei Konsequenzen $\rho > 10$ oder hohen Folgekosten bei Versagen ist das erforderliche Niveau der Tragsicherheit aufgrund einer Risikoanalyse festzulegen.

B.3 Der Zielwert des Zuverlässigkeitsindex β_0 ist in Tabelle 2 festgelegt.

Tabelle 2: Zielwert des Zuverlässigkeitsindex β_0 mit Referenzperiode 1 Jahr

Massnahmeneffizienz EF_M gemäss Ziffer 5.4	Konsequenzen eines Tragwerksversagens gemäss (9)		
	gering $\rho < 2$	moderat $2 < \rho < 5$	gross $5 < \rho < 10$
klein: $EF_M < 0,5$	3,1	3,3	3,7
mittel: $0,5 \leq EF_M \leq 2,0$	3,7	4,2	4,4
gross: $EF_M > 2,0$	4,2	4,4	4,7

Kann in der Phase der Überprüfung keine Effizienz von sicherheitsbezogenen Erhaltungsmassnahmen bestimmt werden, ist $EF_M = 1$ anzusetzen.

B.4 Das akzeptierbare Individualrisiko beträgt 10^{-5} pro Jahr.

ANHANG C ÜBERPRÜFUNGSWERTE

C.1 Sind aktualisierte Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Basisvariablen (Auswirkungen und Tragwiderständen) vorhanden, dürfen Überprüfungswerte nach dem folgenden semi-probabilistischen Verfahren bestimmt werden. Dabei gelten in der Regel folgende Annahmen:

- Auswirkungen infolge ständiger Einwirkungen sind normalverteilt
- Auswirkungen infolge veränderlicher oder aussergewöhnlicher Einwirkungen sind gumbelverteilt
- Variablen des Tragwiderstands sind normal- oder lognormalverteilt
- Steifigkeiten sind normalverteilt.

C.2 Der Überprüfungswert von normalverteilten Auswirkungen (E), Variablen des Tragwiderstands (R) und der Steifigkeit darf wie folgt bestimmt werden:

$$E_{d,act} = E_{m,act} (1 + \alpha_E \beta_0 v_{E,act}) \quad (10)$$

$$R_{d,act} = R_{m,act} (1 + \alpha_R \beta_0 v_{R,act}) \quad (11)$$

$E_{m,act}$ und $R_{m,act}$ sind aktualisierte Erwartungswerte, $v_{E,act}$ und $v_{R,act}$ sind aktualisierte Variationskoeffizienten und α_E und α_R sind Sensitivitätsfaktoren.

β_0 ist der Zielwert des Zuverlässigkeitsindex und kann aus Tabelle 2 entnommen werden.

C.3 Der Überprüfungswert von lognormalverteilten Auswirkungen (E) und Variablen des Tragwiderstands (R) darf wie folgt bestimmt werden:

$$E_{d,act} = E_{m,act} e^{(\alpha_E \beta_0 \delta_E - 0,5 \delta_E^2)} \quad (12)$$

$$R_{d,act} = R_{m,act} e^{(\alpha_R \beta_0 \delta_R - 0,5 \delta_R^2)} \quad (13)$$

mit:

$$\delta_E^2 = \ln (v_{E,act}^2 + 1) \quad (14)$$

$$\delta_R^2 = \ln (v_{R,act}^2 + 1) \quad (15)$$

$E_{m,act}$ und $R_{m,act}$ sind aktualisierte Erwartungswerte, $v_{E,act}$ und $v_{R,act}$ sind aktualisierte Variationskoeffizienten, α_E und α_R sind Sensitivitätsfaktoren und δ_E und δ_R sind Parameter der Lognormalverteilung.

C.4 Der Überprüfungswert von gumbelverteilten Auswirkungen (E) darf wie folgt bestimmt werden:

$$E_{d,act} = E_{m,act} [1 - v_{E,act} (0,45 + 0,78 \ln \{-\ln [\Phi(\alpha_E \beta_0)]\})] \quad (16)$$

C.5 Sofern Sensitivitätsfaktoren nicht mithilfe von FORM-Analysen (First Order Reliability Method) aktualisiert werden, kann vereinfacht mit folgenden Faktoren gerechnet werden:

- $\alpha_E = 0,7$ für die Auswirkungen von Leiteinwirkungen
- $\alpha_E = 0,3$ für die Auswirkungen von Begleiteinwirkungen
- $\alpha_R = -0,8$ für Tragwiderstände, die im Tragsicherheitsnachweis von massgebender Bedeutung sind
- $\alpha_R = -0,3$ für Tragwiderstände, die im Tragsicherheitsnachweis von untergeordneter Bedeutung sind.

Abkürzungen der in der Kommission SIA 260 vertretenen Organisationen

ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAV	Bundesamt für Verkehr
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
ETH Zürich	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Projektleitung Erhaltung von Tragwerken

Dr. Paul Lüchinger, dipl. Ing. ETH, Zürich (Vorsitz)
Prof. Dr. Eugen Brühwiler, dipl. Ing. ETH, Lausanne
Thomas P. Lang, dipl. Ing. ETH, Bern
Prof. Thomas Vogel, dipl. Ing. ETH, Zürich

Kommission SIA 260 «Grundlagen der Planung und Erhaltung von Tragwerken»

Präsident	Prof. Dr. Eugen Brühwiler, dipl. Ing. ETH, Lausanne	EPFL
Mitglieder	Prof. Dr. Michael Havbro Faber-Nielsen, dipl. Ing., Zürich	ETH Zürich
	Andreas Isler, dipl. Ing. ETH, Effretikon	Projektierung
	Thomas P. Lang, dipl. Ing. ETH, Bern	BAV
	Dr. Paul Lüchinger, dipl. Ing. ETH, Zürich	Projektierung
	Jean-Christophe Putallaz, dipl. Ing. ETH, Sion	Verwaltung
	Willi Schuler, dipl. Ing. ETH, Bern	ASTRA
	Philipp Rietmann, dipl. Ing. ETH, Zürich	Projektierung
	Dr. René Steiger, dipl. Ing. ETH, Dübendorf	Empa
	Dr. Philipp Stoffel, dipl. Ing. ETH, Zürich	Beratung
	Dr. Luc Trausch, dipl. Ing. ETH, Zürich	Projektierung

Genehmigung und Gültigkeit

Die Zentralkommission für Normen und Ordnungen des SIA hat die vorliegende Norm SIA 269 am 23. November 2010 genehmigt.

Sie ist gültig ab 1. Januar 2011.

Sie ersetzt zusammen mit der Norm SIA 269/1 *Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen* die Richtlinie SIA 462 *Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke*, Ausgabe 1994.

Copyright © 2011 by SIA Zurich

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdrucks, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie, CD-ROM usw.), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und das der Übersetzung, sind vorbehalten.