



Richtlinie

Erdbebensicherheit von Eisenbahnanlagen

Aktenzeichen: BAV-511.5-26/3/10/3
Datum: 24.06.2020
Version: V 1.0_d

Vernehmlassung Entwurf

Wir bitten Sie, den Entwurf zu prüfen und allfällige Stellungnahmen nach den Ziffern der Richtlinie geordnet einzureichen an:

luigi.degidio@bav.admin.ch

Bitte verwenden Sie zu diesem Zweck das elektronische Formular, das Sie unter www.bav.admin.ch > Publikationen > Vernehmlassungen > Konsultationen des BAV finden. Stellungnahmen in anderer Form (Brief, pdf-File) können wir leider nicht berücksichtigen.

Die **Vernehmlassungsfrist** läuft bis zum **31. August 2020**.

Dieser Entwurf hat keine Gültigkeit und darf nicht angewendet werden



Impressum

Herausgeber:	Bundesamt für Verkehr, 3003 Bern, Abteilung Sicherheit, in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt, 3003 Bern, Koordinationsstelle für Erdbebenvorsorge
Leitung:	Sven Heunert (BAFU, Gesamtleitung) Luigi d'Egidio (BAV)
Begleitgruppe:	Kazim Altintac (SBB) Karl Baumann (RhB) Daniel Blaser (SBB) Herbert Friedl (SBB) Tiziano Furegati (SBB) Martin Isler (BLS) Christian Kaufmann (SBB) Daniel Trachsel (BLS) Nick Wenger (BABS)
Sachbearbeitung:	Yves Mondet (Basler & Hofmann AG) Ehrfried Kölz (Risk&Safety AG)
Verteiler:	Veröffentlichung auf der BAV-Internetseite
Sprachfassungen:	Deutsch (Original) Französisch (Italienisch)

BAV interne Dokumentenlenkung

Q-Plan Stufe:	RL, öffentlich
QM-SI-Anbindung:	QM-Doku_Liste01.2_Fachgebiet bt_Prüfung PGV und BBw.xls
Anwendungsgebiet BAV-Prozesse:	BAV 411

Diese Richtlinie tritt am 1. November 2020 in Kraft.

Bundesamt für Verkehr

Bundesamt für Verkehr

Rudolf Sperlich
Vizedirektor, Abteilung Sicherheit

Fritz Ruchti
Sektionschef Bautechnik

Ausgaben / Änderungsgeschichte

Version	Datum	Ersteller	Änderungshinweise	Status
1.0_d	24.06.2020	Luigi d'Egidio	Erstausgabe	in Review

* folgende Stufen des Status sind vorgesehen: in Arbeit; in Review; in Kraft/mit Visum; abgelöst

Inhaltsverzeichnis

Präambel	4
1 Einleitung	5
1.1 Ziel und Zweck	5
1.2 Geltungsbereich	5
1.3 Aufbau	6
1.4 Abkürzungsverzeichnis	6
2 Unterlagen zur Erdbebensicherheit	7
2.1 Nutzungsvereinbarung	7
2.2 Projektbasis	8
2.3 Geotechnischer Bericht	8
2.4 Statische und dynamische Berechnungen	8
2.5 Sachverständigenprüfbericht	8
3 Erdbebenspezifische Bestimmungen	9
3.1 Sicherheitsniveau bei Neubauten	9
3.2 Massnahmenempfehlung und Beurteilung der Verhältnismässigkeit bei bestehenden Bauten ...	9
3.3 Festlegung der Bauwerksklasse BWK von Neubauten und bestehenden Bauten	10
3.4 Sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtungen SBIE	14
4 Hinweise zur Ermittlung der Verhältnismässigkeit bei bestehenden Bauten	16
4.1 Restnutzungsdauer d_r	16
4.2 Personenbelegung PB	16
4.3 Wert des Bauwerks BW	17
4.4 Bauwerkrisikofaktor BRF	17
4.5 Sachenwert SW	18
4.6 Sachenrisikofaktor SRF	18
4.7 Unterbrechungskosten UK	18
4.8 Unterbrechungsrisikofaktor URF	19
4.9 Sicherheitsbezogene Investitionskosten SIC_M	19
Anhang A	20
Anwendungsbeispiel Viadukt	20
Anhang B	28
Anwendungsbeispiel Hochbau mit Stellwerk	28
Verzeichnis	36

Präambel

In Bearbeitung

1 Einleitung

Die zielgerichtete Anwendung der gesetzlichen und normativen Bestimmungen zur Erdbebensicherheit von Eisenbahnanlagen ist von grosser Bedeutung, um die erdbebengerechte Auslegung dieser Anlagen sicherzustellen. Es liegt in der Verantwortung der Infrastrukturbetreiberin (ISB) und der von dieser beauftragten Dritten, die in Gesetzen, Verordnungen, Richtlinien und Normen aufgeführten Vorgaben zur Erdbebensicherheit von Bahnanlagen zu befolgen und einzuhalten.

1.1 Ziel und Zweck

Diese Richtlinie vereinheitlicht und vereinfacht die Auslegung und Anwendung der Vorgaben zur Erdbebensicherheit von Bahnanlagen. Sie bildet die Grundlage für den Vollzug der gesetzlichen und der darin erwähnten normativen Bestimmungen bezüglich der Erdbebensicherheit der Bahninfrastruktur. Die entsprechenden Vorgaben und die normativen Anforderungen hinsichtlich der Projektdokumentation, der Schutzziele und des Schutzgrades (Bestimmung der Bauwerksklasse) sowie die Beurteilung der Verhältnismässigkeit von Erdbebensicherheitsmassnahmen werden bahnspezifisch konkretisiert und erläutert. Bei Projekten, die der Eisenbahn dienen, führt die Richtlinie zu mehr Planungssicherheit für die ISB und für die von diesen beauftragten Dritten.

1.2 Geltungsbereich

Übergeordnet gelten die in Art. 2 der Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen vom 23. November 1983 (EBV) [2] aufgeführten, bei der Planung und bei der Erstellung von Bauten und Anlagen als Voraussetzung für einen sicheren Betrieb und eine sachgerechte Instandhaltung zu berücksichtigenden Grundsätze und Grundlagen. Die normativen Anforderungen an die Erdbebensicherheit für Bauwerke der Bahninfrastruktur gewährleisten neben dem Personenschutz auch die Infrastrukturfunktion.

Diese Richtlinie gilt für alle Eisenbahnanlagen, unabhängig davon, ob deren Erstellung oder Änderung bewilligungspflichtig (Art. 18ff EBG [1]) oder genehmigungsfrei (Art. 1a VPVE [3]) sind. Sie gilt sowohl für Neubauten¹ als auch für die Erhaltung von bestehenden Bauten¹, behandelt jedoch nicht deren Bewirtschaftung. Hinsichtlich der baulichen Erdbebenprävention deckt sie die folgenden relevanten Elemente der Bahninfrastruktur ab:

- Kunstbauten und weitere Bauten
 - Brücken, Durchlässe, Überdeckungen (Galerien)
 - Erdbauwerke (Dämme, Einschnitte)
 - Stützbauwerke
 - Elemente der Personenzugänge (Personenunter- und -überführungen, unterirdische Bahnhöfe)
 - Perrondächer und -überdeckungen
 - Tunnel
- Hochbauten
 - Bahnhöfe inkl. Verkaufsanlagen
 - Bahntechnikgebäude (Leitzentralen, Stellwerke)
 - Serviceanlagen / Werkstätten / Bürogebäude

Der Fokus richtet sich auf jene Elemente, die im Ereignisfall ein Schadenpotenzial aufweisen. Dies setzt eine Verletzbarkeit gegenüber Erdbeben und eine Betroffenheit von Schutzgütern voraus. Die zu berücksichtigenden Schutzgüter (Personen, sicherer Bahnbetrieb, ...) hängen von der Bedeutung oder auch von der Lage des Elementes im Netz ab. Für weitere Elemente der Bahninfrastruktur ist der Aufwand zur Gewährleistung der Erdbebensicherheit a priori unverhältnismässig (z. B. Fahrbahn, Fahrleitungstragwerke und Bahnstrom-Übertragungsleitungen) oder es gelten andere gesetzliche Grundlagen (z. B. Störfallverordnung, StFV, SR 814.012), aus denen die Anforderungen an die Erdbebensicherheit hervorgehen.

¹ Für die Bedeutung dieser Begriffe wird auf die Ziff. 1 der Norm SIA 469 [11] bzw. auf Ziff. 1 der Norm SIA 269 [10] verwiesen.

1.3 Aufbau

Die Richtlinie behandelt im Kapitel 2 die hinsichtlich der Dokumentation der Erdbebensicherheit relevanten bautechnischen Unterlagen und befasst sich mit den erdbebenspezifischen Anforderungen an deren Inhalte. Das Kapitel 3 enthält die Bestimmungen zur Gewährleistung der Erdbebensicherheit bei Neubauten und bestehenden Bauten. Es behandelt in erster Linie die Beurteilung der Verhältnismässigkeit von Erdbebensicherheitsmassnahmen und der Massnahmenempfehlung sowie die Einteilung eines Bauwerks in eine Bauwerksklasse. Im Kapitel 4 werden die verschiedenen Parameter der Norm SIA 269/8, die bei der Ermittlung der Verhältnismässigkeit von Erdbebensicherheitsmassnahmen eine wichtige Rolle spielen, besprochen. Im Anhang schliesslich wird die Anwendung der Richtlinie beispielhaft anhand zweier typischer Elemente der Bahninfrastruktur detailliert aufgezeigt.

1.4 Abkürzungsverzeichnis

Die Kenntnis der normativen Grundlagen wird vorausgesetzt, weshalb auf die Beschreibung der Fachausdrücke und Bezeichnungen verzichtet wird. In der Folge ist nur die Bedeutung von Abkürzungen aufgeführt.

AB-EBV	Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung
BAV	Bundesamt für Verkehr
BRF	Bauwerksrisikofaktor
BSW	Wert des Bauwerks und der direkt betroffenen Sachen (BW + SW)
BW	Wert des Bauwerks
BWK	Bauwerksklasse
EBV	Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung)
ESK	Erdbebenstreckenklasse
ESTI	Erdbebensicherheit der elektrischen Energieverteilung
ISB	Infrastrukturbetreiberin
MP	Massnahmenpaket
PB	Personenbelegung
PB _{max}	Maximale Personenbelegung (aufgrund Brandschutzvorschriften zulässig)
PGV	Plangenehmigungsverfahren
SBIE	Sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtungen
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SIC _M	Sicherheitsbezogene Investitionskosten
SRF	Sachenrisikofaktor
SW	Sachenwert
UK	Unterbrechungskosten
UP-EB	Unabhängige Prüfstellen Eisenbahnen
URF	Unterbrechungsrisikofaktor
VPVE	Verordnung über das Plangenehmigungsverfahren für Eisenbahnanlagen

2 Unterlagen zur Erdbebensicherheit

Die Erdbebensicherheit eines Tragwerkes ist als Teil des Tragsicherheitsnachweises bei der Erarbeitung der entsprechenden Projektgrundlagen sowohl für Neubauprojekte als auch für Erhaltungsprojekte von bestehenden Bauten der Eisenbahninfrastruktur zu behandeln und zu dokumentieren; dies unabhängig davon, ob das Projekt bewilligungspflichtig (Verfahren nach Eisenbahnrecht oder nach kantonalem Recht gemäss Art. 18ff EBG [1]) oder genehmigungsfrei (Art. 1a VPVE [3]) ist. Im Allgemeinen handelt es sich bei den zu erstellenden und schliesslich zu den Bauwerksakten gehörenden Unterlagen um folgende:

- Nutzungsvereinbarung
- Projektbasis
- Geotechnischer Bericht
- Statische und dynamische Berechnungen mit den wichtigsten bautechnischen Nachweisen

Im Rahmen eines eisenbahnrechtlichen Plangenehmigungsverfahrens (PGV) sind diese Unterlagen zwingend zu erstellen und fallweise zusammen mit einem allfällig gemäss den Vorgaben der RL UP-EB [5] erforderlichen Sachverständigenprüfbericht der Bewilligungsbehörde einzureichen (Art. 3 Abs. 2 VPVE [3]).

Die Nutzungsvereinbarung ist im Projekt frühzeitig – in der SIA Phase 3 Teilphase 31 "Vorprojekt" (Art. 3.2 der Ordnung SIA 103 [7]) basierend auf den Vorgaben der Bauherrschaft – in Zusammenarbeit mit allen Beteiligten (Architektur, Bauingenieurwesen und Fachplanung) zu erstellen und von der Bauherrschaft zu genehmigen. Darin werden auch die Anforderungen an die Erdbebensicherheit festgelegt. Damit ist die Grundlage für die frühzeitige, effiziente und zielführende Berücksichtigung der Erdbebensicherheit im Projekt gegeben. Aufbauend auf der Nutzungsvereinbarung erstellt die Bauingenieurin oder der Bauingenieur in der Teilphase 31 "Vorprojekt" die Projektbasis. Nutzungsvereinbarung und Projektbasis sind während der Projektierungs-, Realisierungs- und Bewirtschaftungsphase phasengerecht nachzuführen (Ordnung SIA 103).

Die im eisenbahnrechtlichen PGV gemäss Art. 18 EBG einzureichenden Unterlagen haben gemäss Ziff. 22.2 der RL VPVE [4] mindestens dem Stand nach abgeschlossenem Bauprojekt zu entsprechen (SIA Phase 3 Teilphase 32 gemäss Beschrieb der Ordnung SIA 103 [7]).

Im Folgenden werden die erdbebenspezifischen Anforderungen an den Inhalt der genannten Unterlagen aufgezeigt.

2.1 Nutzungsvereinbarung

Die erdbebenspezifischen Anforderungen an die Nutzungsvereinbarung sind:

- Festlegung der Bauwerksklasse (BWK) inkl. Begründung (s. Kap. 3.3), der Erdbebenzone (Z) sowie der Baugrundklasse;
- Beschreibung des erdbebengerechten Entwurfs inkl. einfacher Darstellungen in den Bauwerksplänen (Visualisierung Tragwerkskonzept der Aussteifung im Grund- und Aufriss);
- Festlegung der relevanten sekundären Bauteile, Installationen und Einrichtungen (SBIE) inkl. Festlegung der Zuständigkeiten im Planungs- und Bauprozess;
- im Zusammenhang mit einer allfälligen Einteilung in die Bauwerksklasse III, die Festlegung der konkreten Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit für die Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit nach einem Erdbeben (für das Tragwerk und die relevanten SBIE).

Weitere Aspekte sind je nach Gefährdung und Bedeutung projektspezifisch zu ergänzen.

Bei bestehenden Bauten sind weiterführende Überlegungen zur Definition der Anforderungen und zur Festlegung der relevanten Grundlagen gemäss der Normenreihe SIA 269 ff [10] (bzw. der Norm SIA 269/8) notwendig. Dementsprechend sind in der Nutzungsvereinbarung zusätzlich die wesentlichen Ergebnisse der Überprüfung der Erdbebensicherheit (Tragwerk und SBIE) nach der Norm SIA 269/8 festzuhalten, konkret sind dies:

- Erfüllungsfaktor bei Überprüfung α_{eff} (Tragwerk und SBIE);
- Mindesterfüllungsfaktor α_{min} ;
- Erfüllungsfaktor nach Intervention α_{int} (Tragwerk und SBIE) mit den geplanten Massnahmen (nach Ziff. 9.4 der Norm SIA 269/8 ist ein Erfüllungsfaktor von $\alpha_{\text{int}} = 1.0$ anzustreben);
- berücksichtigte Schutzgüter bei der Beurteilung der Notwendigkeit von Erdbebensicherheitsmassnahmen;
- begründeter Massnahmenentscheid (Verhältnismässigkeit);
- Beschreibung der Erdbebensicherheitsmassnahmen inkl. einfacher Darstellungen in den Bauwerksplänen (Visualisierung Massnahmenkonzept im Grund- und Aufriss).

Wenn die Erdbebensicherheit im Ist-Zustand ungenügend ist, muss die Nutzungsvereinbarung zudem festhalten, dass die Erdbebensicherheit durch das Bauprojekt nicht reduziert werden darf.

2.2 Projektbasis

Die erdbebenspezifischen Anforderungen an die Projektbasis sind:

- Festhalten der ingenieurtechnischen Parameter für die Erdbebenbemessung bzw. Erdbebenüberprüfung wie Bemessungsspektrum (inkl. Bedeutungsfaktor und Verhaltensbeiwert), dynamische Eigenschaften des Tragwerks (Schwingzeiten) und Materialeigenschaften der stabilisierenden Elemente;
- Festhalten des verwendeten Berechnungsverfahrens und der wesentlichen Annahmen für die Modellierung und Berechnung für die Bemessungssituation Erdbeben;
- Festhalten der konstruktiven Massnahmen, um die angesetzte Duktilität (Verhaltensbeiwert) sicherzustellen.

2.3 Geotechnischer Bericht

Der geotechnische Bericht hat die Standortgefährdung bezüglich Erdbeben (Baugrundklasse oder Standortstudien oder spektrale seismische Mikrozonierungen), induzierte Hanginstabilitäten und das Bodenverflüssigungspotenzial zu behandeln und aufzuzeigen.

2.4 Statische und dynamische Berechnungen

Die statischen und dynamischen Berechnungen haben die Berechnungen und Nachweise zur Erdbebensicherheit zu beinhalten. Je nach Komplexität, Bedeutung und Verletzbarkeit des betrachteten Tragwerks oder der SBIE können vereinfachte konservative Betrachtungen und Berechnungen (von Hand) ausreichend sein. Der Fokus liegt in der Projektierungsphase auf der Entwicklung eines erdbebengerechten Konzepts für Tragwerk und SBIE.

Für bestehende Bauten ist den statischen und dynamischen Berechnungen zusätzlich der Bericht zur Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss der Norm SIA 269/8 [10] beizufügen, sofern Anlass zur Überprüfung der Erdbebensicherheit nach Ziff. 6.1.2 der Norm SIA 269 [10] besteht oder eine Überprüfung aus anderen Gründen durchgeführt wurde. Die Überprüfung der Erdbebensicherheit ist sowohl für das Tragwerk als auch für die relevanten SBIE vorzunehmen (siehe dazu Kapitel 3.4) und hat das Massnahmenkonzept sowie die Empfehlungen an die Bauherrschaft zu enthalten. In einfachen oder unbedeutenden Fällen und bei bezüglich Erdbeben kaum oder nicht verletzbaren Tragwerken und SBIE kann bzw. soll die Überprüfung auch durch qualitative Überlegungen oder mittels einfachen Abschätzungsberechnungen erfolgen.

2.5 Sachverständigenprüfbericht

Ob für ein Tragwerk im Rahmen eines eisenbahnrechtlichen PGV das Einreichen eines Sachverständigenprüfberichtes erforderlich ist, ergibt sich aus den Bestimmungen der RL UP-EB [5]. Wird ein solcher Bericht verlangt, ist darin durch den Sachverständigen auch die Beurteilung der Erdbebensicherheit zu behandeln, sofern Elemente der Bahninfrastruktur gemäss Kapitel 1.2 betroffen sind.

3 Erdbebenspezifische Bestimmungen

Dieses Kapitel enthält die Bestimmungen zur Gewährleistungen der Erdbebensicherheit bei Neubauten und **bestehenden Bauten**.

3.1 Sicherheitsniveau bei Neubauten

Bei Neubauten sind die die Bestimmungen der Tragwerksnormen des SIA [9] einzuhalten, wodurch das Sicherheitsniveau (Tragwerk und SBIE) in Abhängigkeit von der Bauwerksklasse gewährleistet ist. Die Festlegung der Bauwerksklasse hat nach Kapitel 3.3 für Neubauten zu erfolgen und der erdbebengerechte Umgang mit SBIE wird im Kapitel 3.4 aufgezeigt.

3.2 Massnahmenempfehlung und Beurteilung der Verhältnismässigkeit bei bestehenden Bauten

Bei bestehenden Bauten sind zusätzlich zu den Bestimmungen für Neubauten die Bestimmungen der Erhaltungsnormen des SIA [10] einzuhalten, wodurch das Sicherheitsniveau (Tragwerk und SBIE) in Abhängigkeit von der Bauwerksklasse gewährleistet ist. Die Festlegung der Bauwerksklasse hat nach Kapitel 3.3 für bestehende Bauwerke zu erfolgen und der erdbebengerechte Umgang mit SBIE ist im Kapitel 3.4 aufgezeigt.

Die Massnahmenempfehlung hat gemäss der Norm SIA 269/8 [10] basierend auf einer Überprüfung der Erdbebensicherheit zu erfolgen. Gegebenenfalls muss nach einer ersten kraftbasierten generellen Überprüfung eine detaillierte Überprüfung mit detaillierten Untersuchungen durchgeführt werden (Ziff. 6.1 der Norm SIA 269 und Ziff. 2.1.2 der Norm SIA 269/8).

Die Massnahmenempfehlung ist abhängig vom Erfüllungsfaktor α_{eff} der Überprüfung im Ist-Zustand und vom Mindesterfüllungsfaktor α_{min} in Abhängigkeit von der Bauwerksklasse. Das in Ziff. 9.4 der Norm SIA 269/8 [10] beschriebene Vorgehen zur Bestimmung der erforderlichen Massnahmen bzw. Massnahmenpakete (MP) wird in der Abbildung 1 konkret illustriert.

Die Beurteilung der Verhältnismässigkeit der Massnahmen bzw. der MP hat nach Ziff. 10 der Norm SIA 269/8 [10] zu erfolgen:

- bei BWK I und II: konkret nach den Ziff. 10.2.1 bis 10.2.4. Zudem ist der Anhang E zwingend zu berücksichtigen; d. h., neben dem Schutzgut Personen sind auch die Schutzgüter Bauwerk, Sachen und Betrieb in die Beurteilung der Verhältnismässigkeit einzubeziehen (siehe hierzu die Hinweise im Kapitel 4).
- bei BWK II-i und III: konkret nach den Ziff. 10.2.1 und 10.2.5. Zudem ist Ziff. 10.4. zu berücksichtigen; d. h., neben dem Schutzgut Personen ist auch das Schutzgut Infrastrukturfunktion in die Beurteilung der Verhältnismässigkeit einzubeziehen.

Zur Beurteilung der Verhältnismässigkeit von MP ist neben dem in Ziff. 10.2.1 der Norm SIA 269/8 [10] enthaltenen Kriterium (Massnahmeneffizienz $EF_M \geq 1$ bzw. Massnahmenkosten \leq maximal noch verhältnismässige sicherheitsbezogene Investitionskosten) auch das Verhältnis der Kosten für die Erdbebensicherheitsmassnahmen zu den am Bauwerk gesamthaft getätigten Investitionen zu berücksichtigen. Letzteres kann den Ausschlag dafür geben, Erbebensicherheitsmassnahmen umzusetzen, obwohl sie aufgrund der Bestimmungen der Norm nicht verhältnismässig sind. Kapitel 6 enthält ergänzende Festlegungen zu den wichtigsten anzunehmenden Parametern für die Berechnung der Verhältnismässigkeit. Weiter zeigen die Beispiele in den Anhängen A und B, wie die Verhältnismässigkeit konkret ermittelt und beurteilt wird.

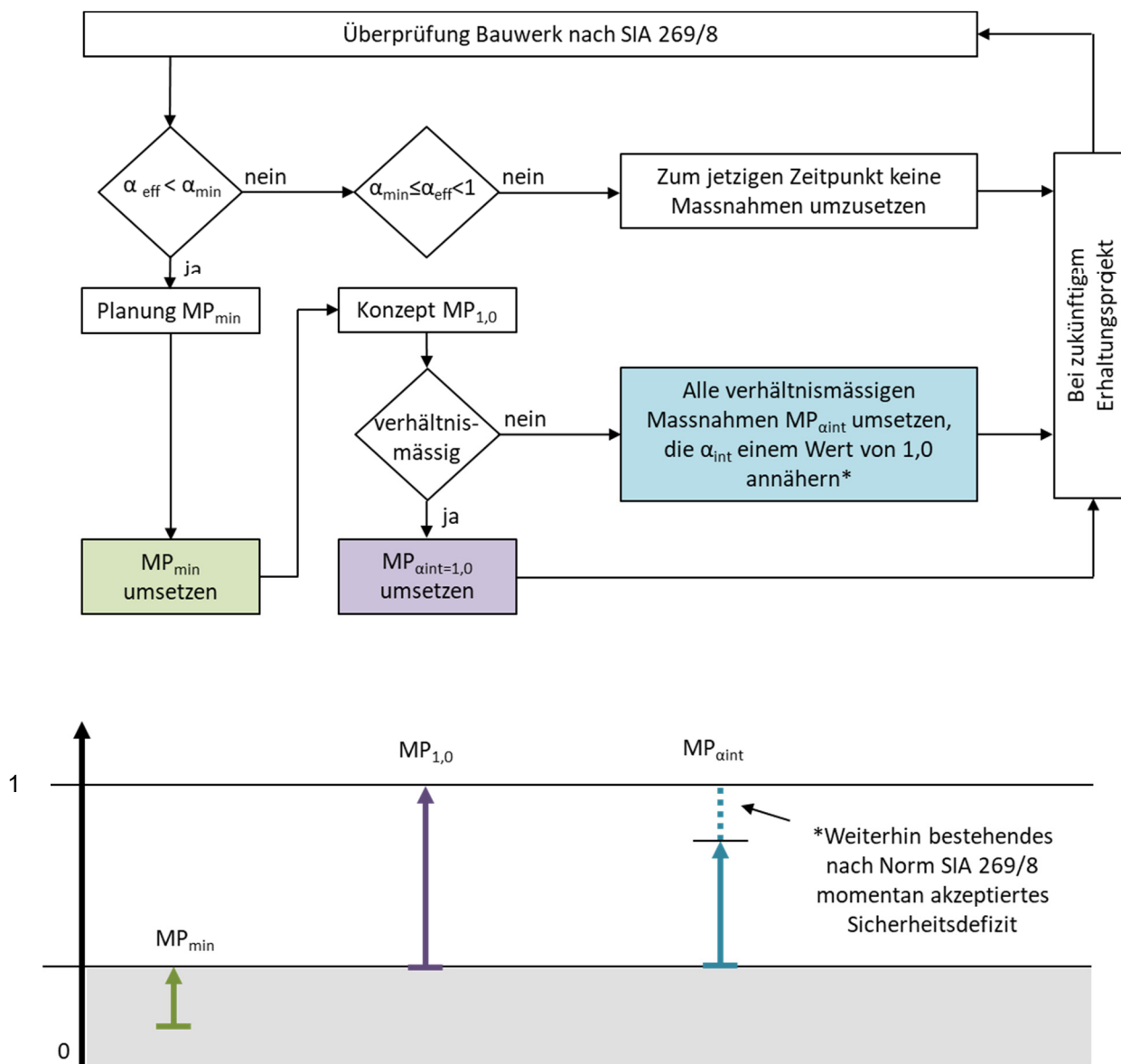


Abb. 1 Ermittlung der umzusetzenden Massnahmen bzw. Massnahmenpakete MP nach SIA 269/8 [10]

3.3 Festlegung der Bauwerksklasse BWK von Neubauten und bestehenden Bauten

Die Bauwerksklasse (BWK) eines spezifischen Bauwerks der Bahninfrastruktur ist abhängig von

- der Bedeutung des Bauwerks selbst, vorgegeben durch die Mindestanforderung an die Bauwerksklasse (BWK_{min}) gemäss nachfolgendem Abschnitt I,
- dem Einfluss des Bauwerks auf die Verfügbarkeit von Strecken nach einem Erdbebenereignis,
- der Bedeutung der beeinflussten Strecke(n), definiert durch die sogenannte Erdbebenstreckenklasse (ESK), gemäss nachfolgendem Abschnitt II und
- Abhängigkeiten mit anderen Verkehrsträgern (z. B. bedeutende Strasse) oder anderen Bauwerken (z. B. lebenswichtiges Drittbauwerk).

Anhand des Flussdiagramms (Abbildung 2) im Abschnitt III lässt sich das Bauwerk unter Berücksichtigung der oben aufgeführten Elemente in eine Bauwerksklasse einteilen.

I. Mindestanforderung an die Bauwerksklasse

Die Mindestanforderung an die Bauwerksklasse BWK_{\min} von Elementen der Bahninfrastruktur ist für Kunstbauten und weitere Bauten in Tabelle 1 und für Hochbauten in Tabelle 2 festgelegt. Für Hochbauten gilt als Mindestanforderung an die Bauwerksklasse BWK_{\min} die höchste für das Bauwerk zutreffende Bauwerksklasse bezogen auf die vier Schutzgüter Personen, Sachwert, Umwelt und Infrastrukturfunktion. Die ISB darf aufgrund von spezifischen Interessen höhere Anforderungen vorgeben als diejenigen, die in den Tabellen 1 und 2 aufgeführt sind.

Grundsätzlich werden keine Elemente der Bahninfrastruktur in die Bauwerksklasse III eingeteilt, da der Bahn keine lebenswichtige Infrastrukturfunktion (sog. "Lifeline") zukommt. Für eine ISB kann es jedoch aufgrund von betrieblichen Interessen sinnvoll sein, ein bestimmtes Element von sehr hoher Bedeutung für den Betrieb oder für die Ereignisbewältigung in die Bauwerksklasse III einzuteilen. Entsprechend sind Anforderungen an das Tragwerk und an die relevanten SBIE in der Nutzungsvereinbarung festzulegen und umzusetzen. Beispiele dazu können Interventionszentren, Betriebszentralen, Bahntechnikgebäude von hoher Bedeutung oder Unterstände/Lagergebäude mit Rettungs- oder Hilfsmaterial (Löschzüge, Hilfsbrücken etc.) sein.

Mindestanforderung an die Bauwerksklasse BWK_{\min} von Kunstbauten und weiteren Bauten			
Element	Merkmal	Neu	Bestehend
Brücke, Durchlass, Überdeckung (Galerie) ¹⁾		BWK II	BWK II-i
Erdbauwerk ^{1,2)} (Damm, Einschnitt, Lärmschutzwand, Hanganschnitt, Geländeform, usw.)		BWK II	BWK II
Stützbauwerk ^{1,2)} (Schwergewichtsmauer, Stützmauer, Rühlwand, Pfahlwand, Spundwand, Elementmauer, Böschungssicherung, Verkleidungsmauer, usw.)		BWK II	BWK II
Elemente der Personenzugänge, Perrondach und -überdeckung,	Regelmässig grosse Menschenansammlungen (mehr als 500 Personen gleichzeitig)	BWK II	BWK II
	Menschenansammlungen sind nicht zu erwarten (weniger als 500 Personen gleichzeitig)	BWK I	BWK I
Bahntunnel, Sondertunnel (Fluchtstollen usw.) ¹⁾		BWK II	BWK II-i
Lärmschutzwand (LSW)		BWK I	BWK I

Tab. 1 Mindestanforderung an die Bauwerksklasse BWK_{\min} von Kunstbauten und weiteren Bauten

¹⁾ BWK I nur, wenn wirklich von untergeordneter Bedeutung

²⁾ siehe auch ASTRA Dokumentation [13] und [14]

Mindestanforderung an die Bauwerksklasse BWK_{min} von Hochbauten		
	BWK I	BWK II
Personen	<input type="checkbox"/> Personenbelegung $PB \leq 50$ für Wohngebäude: bis 100 Zimmer für Bürogebäude: bis 2'000 m ² Nettogeschossfläche bis 200 Arbeitsplätze für Ladengebäude: bis 500 m ² Bruttoverkaufsfläche für Werkstätten: bis 200 Arbeitsplätze (1-Schicht-Betrieb) <input type="checkbox"/> kleine Bahnhöfe / Haltestellen maximale Personenbelegung $PB_{max} \leq 500$ Personen (zulässig nach Brandschutzvorschriften)	<input type="checkbox"/> Personenbelegung $PB > 50$ für Wohngebäude: mehr als 100 Zimmer für Bürogebäude: mehr als 2'000 m ² Nettogeschossfläche mehr als 200 Arbeitsplätze für Ladengebäude: mehr als 500 m ² Bruttoverkaufsfläche für Werkstätten: mehr als 200 Arbeitsplätze (1-Schicht-Betrieb) <input type="checkbox"/> mittlere Bahnhöfe und Grossbahnhöfe maximale Personenbelegung $PB_{max} > 500$ Personen (zulässig nach Brandschutzvorschriften) (z.B. Events, Veranstaltungen, usw.)
Sachenwert	<input type="checkbox"/> Keine besonders wertvollen Güter und Einrichtungen	<input type="checkbox"/> Besonders wertvolle Güter und Einrichtungen
Umwelt	<input type="checkbox"/> Keine Umweltschäden möglich	<input type="checkbox"/> Umweltschäden möglich
	BWK I	Neu: BWK II Bestehend: BWK II-i
Infrastruktur-funktion	<input type="checkbox"/> Der Ausfall des Bauwerks hat geringen oder nur kurzfristigen Einfluss auf den Bahnbetrieb, da es von untergeordneter Bedeutung ist oder seine Funktion nach einem Erdbeben durch ein anderes Bauwerk in ausreichender Distanz übernommen werden kann.	<input type="checkbox"/> Der Ausfall des Bauwerks hat erheblichen oder mittel- bis langfristigen Einfluss auf den Bahnbetrieb.

Tab. 2 Mindestanforderung an die Bauwerksklasse BWK_{min} von Hochbauten

II. Erdbebenstreckenklasse ESK

Für die Einteilung eines Bauwerks in eine Bauwerksklasse ist die Bedeutung der betroffenen Strecke(n)², auf der bzw. an der sich das Bauwerk befindet, relevant. Die Bedeutung einer Strecke kann durch deren Einteilung in eine Erdbebenstreckenklasse (ESK) festgelegt werden. Jede Strecke kann entsprechend ihrer Bedeutung für den Bahnverkehr von der ISB gemäss den Vorgaben in Tabelle 3 in eine der vier Erdbebenstreckenklassen ESK 0 bis ESK III eingeteilt werden.

Bei der Einteilung einer Strecke in eine ESK sind die Auswirkungen eines Ausfalls auf die Gesellschaft, die Wirtschaft und den Staat zu betrachten. Dabei wird den Interessen der regionalen Ebene (Kantone als Teil-/Gliederstaaten) gegenüber jenen der nationalen Ebene (Bundesstaat) mehr Gewicht eingeräumt. Die Konsequenzen eines Ausfalls des täglichen Bahnverkehrs sind in die Betrachtungen einzubeziehen (« Welche Auswirkungen für die Gemeinde oder für die Region hätte der Ausfall der Strecke, die diese Gemeinde oder diese Region bedient? »).

² als Verbindung zwischen zwei Punkten

Erdbebenstreckenklasse Infrastrukturfunktion des Verkehrsträgers	
ESK 0	Untergeordnet Streckenunterbrüche führen zu unbedeutenden Auswirkungen.
ESK I	Normal Streckenunterbrüche führen zu kleinen und lokalen Auswirkungen für die Gesellschaft, die Wirtschaft und den Staat. Möglichkeiten für Redundanzen und Kompensationen sind genügend.
ESK II	Bedeutend Die Strecke ¹⁾ hat nach einem Erdbeben eine bedeutende, aber keine lebenswichtige Funktion. Allfällige Beeinträchtigungen führen zu massgeblichen Auswirkungen für die Gesellschaft, die Wirtschaft und den Staat. Die Redundanz ist ungenügend und eine Kompensation ist nicht einfach möglich.
ESK III	Lebenswichtig Die Strecke ¹⁾ hat nach einem Erdbeben eine lebenswichtige Funktion in den Rettungs- und Bewältigungsphasen (grosse Bedeutung für die Zugänglichkeit ausgewählter Bauwerke oder eines Gebietes nach einem Erdbeben). Es gibt keine Redundanzen und Kompensationsmöglichkeiten. Allfällige Beeinträchtigungen führen zu gravierenden Auswirkungen für die Gesellschaft, die Wirtschaft und den Staat.

Tab. 3 Erdbebenstreckenklassen ESK nach Bedeutung der Strecke

¹⁾ Netzbetrachtung

III. Einteilung in eine Bauwerksklasse mittels Flussdiagramm

Die Abhängigkeiten und Vorgaben führen zur Bestimmung der Bauwerksklasse eines spezifischen Bauwerks der Bahninfrastruktur gemäss dem nachfolgenden Flussdiagramm (Abb. 2).

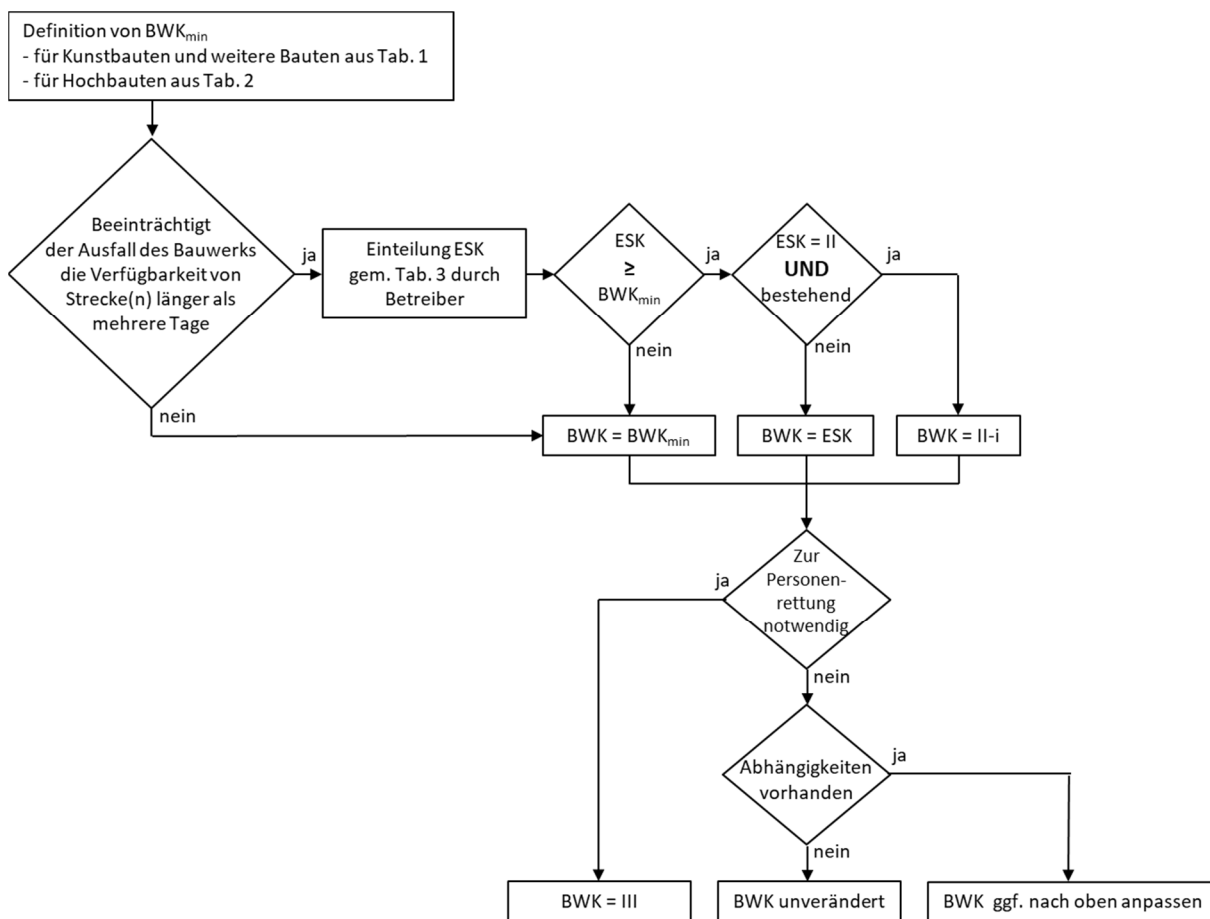


Abb. 2 Flussdiagramm zur Bestimmung der Bauwerksklasse

Bei den für die Personenrettung / -bergung notwendigen Einrichtungen kann es sich z. B. um Interventionszentren mit den darin gewöhnlich untergebrachten Lös- und Rettungszügen handeln.

Abhängigkeiten sind mit den kantonalen Krisenstäben abzuklären und können die Höherklassifizierung eines Bauwerks zur Folge haben, wie beispielsweise im Falle:

- einer Bahnbrücke, die über eine Strasse mit einer höheren Erdbebenstreckenklasse führt (z. B. über eine Rettungsachse mit ESK III),
- eines Böschungs- oder Stützbauwerks, dessen Versagen auch ein Drittbauwerk mit einer höheren Bauwerksklasse (z. B. Feuerwehrgebäude oder Strasse mit einer höheren ESK) gefährdet.

Die ISB darf vom Ergebnis der aus dem Flussdiagramm in Abb. 2 sich ergebenden Bauwerksklasse abweichen, sofern die in Kapitel 3.3 einleitend aufgeführten Abhängigkeiten der Bauwerksklassen angemessen berücksichtigt werden und die Einteilung zu einer abweichenden Bauwerksklasse nachvollziehbar begründet wird. Auch hier (vgl. 1. Absatz in Ziff. I unter Kapitel 3.3) darf die ISB aufgrund von spezifischen Interessen höhere Anforderungen, d. h. eine höhere als aus dem Flussdiagramm resultierende Bauwerksklasse festlegen.

3.4 Sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtungen SBIE

Ein Bauwerk besteht im Allgemein aus einem Tragwerk und nicht strukturellen Elementen, also sekundären Bauteilen, Installationen und Einrichtungen:

- Sekundäre Bauteile: i. A. architektonische Elemente, wie z. B. Treppen und Trennwände, abgehängte Decken, Brüstungen;
- Installationen: wie z. B. Bahntechnik, Gebäudetechnik, Aufzüge;
- Ortsfeste Einrichtungen: sonstige Gebäudeinhalte, wie z. B. IT-Anlagen/Elemente, Schränke und Regale.

Der erdbebengerechte Umgang mit SBIE sowohl bei Neubauten als auch bei bestehenden Bauten ist in Abbildung 3 zusammengefasst. Ausführliche Informationen dazu sind in der BAFU-Publikation zur Erdbebensicherheit von SBIE [12] zu finden.

Für Bahnstromverteilungsanlagen hat die Gesuchstellerin im Rahmen von eisenbahnrechtlichen PGV zu bestätigen, dass die entsprechenden Bestimmungen zur Erdbebensicherheit gemäss der ESTI-Richtlinie Nr. 248 [6] eingehalten sind (Ziff. 46.3.3 RL-VPVE [4]). Der Umgang mit den SBIE bei Energieerzeugungsanlagen (Kraft- und Frequenzumformerwerke) ist in Ziff. 4.5 der ESTI-Richtlinie Nr. 248 spezifiziert.

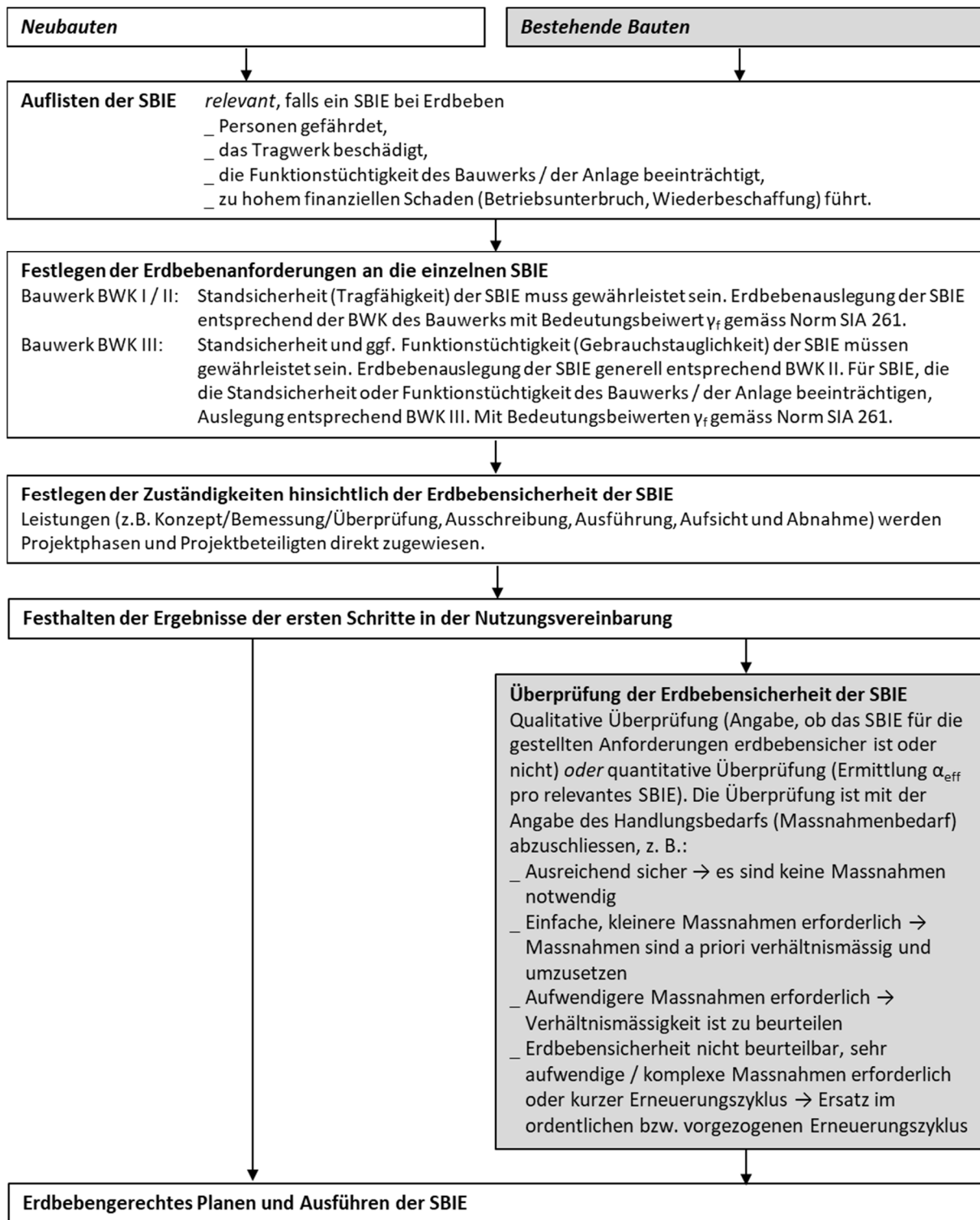


Abb. 3 Erdbebengerechter Umgang mit den SBIE

4 Hinweise zur Ermittlung der Verhältnismässigkeit bei bestehenden Bauten

Im Folgenden werden verschiedene, in der Norm SIA 269/8 [10] aufgeführte Parameter besprochen, die bei der Ermittlung der Verhältnismässigkeit eine wichtige Rolle spielen. Bei einigen dieser Parameter geht es um den Umgang mit dem durch die Norm bewusst eingeräumten Spielraum, bei anderen Parametern geht es um die korrekte Interpretation. Dabei werden die für Eisenbahnanlagen zu verwendenden Werte festgelegt.

4.1 Restnutzungsdauer d_r

Gemäss der Norm SIA 269/8 [10] ist in der Regel von einer Restnutzungsdauer d_r von mindestens 30 Jahren auszugehen. Für Eisenbahnanlagen werden folgende Richtwerte festgelegt:

Elemente der Bahninfrastruktur	Richtwert Restnutzungsdauer
Hochbauten	50 Jahre
Kunstabauten	80 Jahre
Weitere Bauten ¹⁾	50 oder 80 Jahre

Tab. 4 Richtwerte für die Restnutzungsdauer d_r

¹⁾ Je nachdem, ob sie in ihrer Charakteristik eher einer Hochbaute oder einer Kunstbaute entsprechen.

Für Bauwerke, die aufgrund des regelmässig stattfindenden Unterhaltes praktisch unbefristet in Betrieb stehen, ist die Annahme noch höherer Restnutzungsdauern durchaus gerechtfertigt. Kürzere als die vorstehend angegebenen Restnutzungsdauern sind zu begründen. Eine belastbare Begründung ist insbesondere dann anzugeben, wenn eine Restnutzungsdauer von 30 Jahren unterschritten wird.

4.2 Personenbelegung PB

Die Grundlagen zur Ermittlung der Personenbelegung PB bei Hochbauten sind Ziff. 10.3 der Norm SIA 269/8 [10] zu entnehmen. Angaben zur Ermittlung bzw. Abschätzung der Personenbelegung bei ausgewählten Elementen der Bahninfrastruktur sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Für Elemente der Strecke (z.B. Brücke, Stützmauer, Galerie etc.) enthält Tabelle 6 zusätzlich Richtwerte für die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person vom Versagen eines Elementes betroffen ist.

Nutzung / Kategorie	Ermittlung bzw. Abschätzung der Personenbelegung
Mischnutzung	<ul style="list-style-type: none"> _ Ermittlung der Personenbelegung jeweils für die verschiedenen Nutzungen, wie z. B. Büros, Technikräume, Aufenthalt- und Schlafräume, Kantine usw. _ Aufsummierung der ermittelten Personenbelegungen
Elemente der Strecke ¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> _ Ermittlung der Anzahl der Personenzüge, die täglich auf der Strecke bzw. auf den durch das Bauwerksversagen betroffenen Streckengleisen fahren (N_z)²⁾ _ Ermittlung der mittleren Belegung der Personenzüge (B) _ Ermittlung der Anzahl gefährdeter Personen ($N_P = N_z \times B$) _ Ermittlung der Wahrscheinlichkeit P, dass eine Person vom Versagen des Elements betroffen wird (in Tab. 6 sind Richtwerte für die Wahrscheinlichkeit P aufgeführt) _ Ermittlung der Personenbelegung ($PB = P \times N_P$)
Perronbereiche	<ul style="list-style-type: none"> _ Ermittlung der Anzahl der täglichen Ein-, Aus- und Umsteiger²⁾ _ Annahme einer mittleren Aufenthaltsdauer von 10 Min. für Einsteigende resp. 3 Min. für Aussteigende (die Werte sind auf die tatsächliche Perron- und Bahnhofssituation anzupassen, je nach Perronausgestaltung ist eine Gefährdung im Zug auch denkbar; ein Endbahnhof unterscheidet sich von einem Durchgangsbahnhof) _ Ermittlung der Personenbelegung durch Multiplikation der Zahl von Ein-, Aus- und Umsteigern mit den obigen mittleren Aufenthaltsdauern und Division durch 1440 (24 h x 60 min/h)
Personenunter- und -überführung	<ul style="list-style-type: none"> _ Ermittlung der Gesamtanzahl der Personen, die die Unter-/Überführung täglich benutzen²⁾ _ Ermittlung der mittleren Passierzeit einer einzelnen Person unter Berücksichtigung der Länge der Unterführung, der möglichen Staubbildung und der möglichen Aufenthaltsdauer _ Ermittlung der Personenbelegung durch Multiplikation der Gesamtanzahl der Personen mit der mittleren Passierzeit und Division durch 1440 (24 h x 60 min/h)

Tab. 5 Angaben zur Ermittlung bzw. Abschätzung der Personenbelegung PB

¹⁾ z. B. Brücken, Stützmauern und Galerien ²⁾ bekannter Prognosehorizont berücksichtigen

Zuggeschwindigkeit	Bauwerkslänge ¹⁾				
	20 m	50 m	100 m	200 m	500 m
20 km/h	1E-4	2 E-4	3 E-4	5E-4	10E-4
50 km/h	2E-4	2E-4	3E-4	3E-4	6E-4
100 km/h	3E-4	3E-4	3E-4	4E-4	5E-4
150 km/h	4E-4	5E-4	5E-4	5E-4	6E-4
200 km/h	6E-4	6E-4	6E-4	6E-4	7E-4

Tab. 6 Richtwerte für die Wahrscheinlichkeit (P), dass eine Person durch Versagen eines Elementes der Strecke gefährdet ist

¹⁾ Bauwerkslänge: entspricht z. B. der Brückenlänge, der Stützmauerlänge, der Galerielänge.

In Tabelle 6 sind in Abhängigkeit von der Zuggeschwindigkeit und der Bauwerkslänge Richtwerte für die Wahrscheinlichkeit (P) zusammengestellt, dass eine Person durch das Versagen eines Elementes der Strecke gefährdet ist. Dabei hat die Zuggeschwindigkeit zwei gegenläufige Effekte: Eine geringere Zuggeschwindigkeit erhöht die Aufenthaltswahrscheinlichkeit im gefährdeten Bereich (z. B. Brücke, die einstürzt). Mit höherer Zuggeschwindigkeit erhöht sich wegen des dadurch längeren Bremsweges die Wahrscheinlichkeit, dass ein Zug, der sich vor dem gefährdeten Bereich befindet, nicht mehr rechtzeitig zum Stillstand kommt. Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit im gefährdeten Bereich erhöht sich auch mit der Länge des vom Versagen betroffenen Elementes einer Strecke.

4.3 Wert des Bauwerks BW

Der Wert des Bauwerks (BW) umfasst den Wert des Tragwerks sowie (insbesondere bei Hochbauten) die Werte der architektonischen Elemente (z. B. Deckenbekleidungen, Wände, Ausfachungen, Fassadensysteme, Brüstungen und Geländer, Treppen, Türen, Fenster, Dachdeckung) und der gebäudetechnischen Elemente (z. B. Beleuchtung, Aufzüge, Rohrleitungen, Elemente der Klimatechnik) nach der BAFU-Empfehlung zur Erdbebensicherheit von SBIE [12]. Diese Elemente haben die Eigenschaft, dass sie durch die Beschädigung des Tragwerks direkt beeinträchtigt oder mit der erheblichen Beschädigung des Tragwerks wertlos werden.

Beim Wert des Bauwerks (BW) ist der Ersatzwert anzusetzen. Als Ersatzwert wird jener Wert definiert, der bezahlt werden müsste, um das gleiche Bauwerk mit den gleichen Merkmalen (z. B. bezüglich der Baustoffe) neu erstellen zu können. Gegebenenfalls kann sich eine Schätzung des Ersatzwertes an den Kosten orientieren, die durch den Ersatz eines zerstörten Bauwerkes durch ein gleichwertiges Bauwerk entstehen würden, das z. B. die gleiche Funktion erfüllt, in seiner Ausgestaltung jedoch vom bestehenden Bauwerk abweicht.

4.4 Bauwerkkrisikofaktor BRF

Zur Bestimmung des Bauwerkkrisikofaktors BRF für Hochbauten mit einem gewöhnlichen Anteil an architektonischen und gebäudetechnischen Elementen ist die obere Kurve (durchgezogene Linie) der Figur 16 der Norm SIA 269/8 [10] zu verwenden. Für alle anderen Bauwerke ist in der Regel die untere Kurve (gestrichelte Linie) zu verwenden. Tabelle 7 gibt Hinweise zur Wahl des Bauwerkkrisikofaktors.

Bauwerkkrisikofaktor	Charakterisierung	Beispiele
Obere Kurve (durchgezogene Linie)	_ Hoher Anteil an architektonischen und gebäudetechnischen Elementen wie Trennwänden, Treppen, herabgehängten Decken, Doppelböden, Leitungen etc.	_ Stellwerk, Bahnhöfe, Verwaltungsgebäude, etc.
Untere Kurve (gestrichelte Linie)	_ Praktisch nur die Tragstruktur	_ Brücken, Stützmauern, einfache Tunnel etc.

Tab. 7 Hinweise zur Wahl des Bauwerkkrisikofaktors BRF bezogen auf Figur 16 der Norm SIA 269/8 [10]

4.5 Sachenwert SW

Mit der Norm SIA 269/8 [10] wird für das Schutzgut Sachen jenes Schadenrisiko abgedeckt, das auf ungünstiges Tragwerksverhalten zurückzuführen ist. Dabei geht es in erster Linie um den Einsturz des Tragwerks, grosse Verformungen oder grosse Beschleunigungen, wodurch Sachen beschädigt werden können. Sachen werden somit beispielsweise beschädigt, weil Teile des Tragwerks oder SBIE auf sie stürzen, durch das Umkippen infolge grosser Verformungen oder Verschiebungen, aber auch durch erhebliche Staubentwicklung, wenn die Sachen darauf empfindlich sind. Tabelle 8 gibt Hinweise auf die i. d. R. für die Ermittlung des Sachenwerts (SW) zu berücksichtigenden wertvollen Sachen.

Elemente der Bahninfrastruktur	Zu berücksichtigende wertvolle Sachen
Hochbauten	Büroeinrichtung, Stellwerktechnik, Informatikinfrastruktur, Gebäudetechnik, Fahrzeuge, weitere Fahrhabe
Kunstabauten	Bahn technische Anlagen, Rollmaterial usw.
Weitere Bauten ¹⁾	Siehe Hochbauten und Kunstabauten

Tab. 8 Potenziell wertvolle Sachen bei Elementen der Bahninfrastruktur

¹⁾ Je nachdem, ob sie in ihrer Charakteristik eher den Hochbauten oder den Kunstabauten entsprechen

Der Sachenwert ist als Ersatzwert anzusetzen und zu berücksichtigen, wenn der Wert in derselben Grössenordnung wie der Wert des Bauwerks liegt.

4.6 Sachenrisikofaktor SRF

Tabelle 9 gibt Anhaltspunkte für die Wahl des Sachenrisikofaktors SRF. Es wird empfohlen auf die Wahl von dazwischenliegenden Werten zu verzichten.

Sachenrisikofaktor	Hinweise
0,05	<ul style="list-style-type: none"> _ Die Sachen werden erst beim vollständigen Einsturz des Tragwerks oder sekundärer Bauteile beschädigt. _ Die Sachen befinden sich vorwiegend in Bereichen, die vermutlich nicht von einem Einsturz betroffen sind (z. B. Sachen im UG).
0,2	<ul style="list-style-type: none"> _ Die Sachen werden bereits beschädigt, wenn sich beim Tragwerk erhebliche Verformungen einstellen. _ Die Sachen befinden sich überwiegend in Bereichen, die von einem Einsturz des Tragwerks oder sekundärer Bauteile betroffen sein können. _ Die Sachen werden beschädigt bei lokal begrenztem Versagen (z. B. Auflagerversagen oder Entgleisung eines Zugs). _ Die Sachen werden beschädigt durch Staubentwicklung.

Tab. 9 Hinweise zur Wahl des Sachenrisikofaktors SRF

4.7 Unterbrechungskosten UK

Unterbrechungskosten (UK) sind zu berücksichtigen, wenn diese mehr als 20 % des Werts des Bauwerks betragen.

Wenn der Ausfall eines Bauwerks infolge Beschädigung den Unterbruch des Bahnbetriebs zur Folge hat, dann sind als Unterbrechungskosten (UK) jene Kosten anzusetzen, die zur Aufrechterhaltung des Betriebs nötig sind (Ersatzverkehr, Notbrücke etc.). Wenn mit dem Ausfall eines Bauwerks Ertragseinbussen einhergehen, dann ist der sogenannte bedrohte Ertrag bei den Unterbrechungskosten zu berücksichtigen. Der bedrohte Ertrag entspricht dem Umsatz abzüglich der variablen Kosten, die aufgrund des Ausfalls kurz- bis mittelfristig wegfallen. Da die variablen Kosten in der Regel eher von untergeordneter Bedeutung sind, kann der Umsatz, der infolge des Betriebsunterbruchs wegfällt, als grobe Näherung für die Höhe der Unterbrechungskosten herangezogen werden.

Bei der Bestimmung der Höhe der Unterbrechungskosten kann wie folgt vorgegangen werden:

- Abschätzung der Zeit (z. B. in Anzahl Monaten), bis die Funktion wieder weitgehend (> 90 %) hergestellt ist,
- Bestimmung der Unterbrechungskosten bei einem Totalschaden (Einsturz resp. Beschädigung, die zum Abbruch führt) des betrachteten Bauwerks pro Zeiteinheit (z. B. Franken/Monat),
- Bestimmung der Unterbrechungskosten als Produkt aus der Unterbrechungszeit und den Kosten pro Zeiteinheit.

4.8 Unterbrechungsrisikofaktor URF

Der in Ziffer E 4.6 der Norm SIA 269/8 [10] angegebene Unterbrechungsrisikofaktor (URF) beträgt 0,5. Dieser Faktor ist unverändert zu verwenden, wenn die Unterbrechungskosten wie vorstehend beschrieben errechnet werden. Eine Anpassung des Unterbrechungsrisikofaktors in Abhängigkeit von der Zeitdauer des Ausfalls (wie in Ziff. E 4.6 der Norm SIA 269/8 erwähnt) ist nur dann erforderlich, wenn die Unterbrechungskosten normiert auf ein Jahr errechnet werden.

4.9 Sicherheitsbezogene Investitionskosten SIC_M

Die sicherheitsbezogenen Investitionskosten (SIC_M) umfassen mindestens die Baumeisterkosten der Massnahmen sowie die Planungskosten. Je nachdem, ob die Erdbebensicherheitsmassnahmen im Rahmen eines bis auf die Tragstruktur gehenden Erhaltungsprojektes ausgeführt oder losgelöst von einem anderen Projekt umgesetzt werden, können zusätzliche Kosten für den Rückbau, die Wiederherstellung und deren Planung (z. B. von Oberflächen oder bahntechnischen Elementen) entstehen. Wenn diese zusätzlichen Kosten nicht gesondert ermittelt werden, kann für die gesamten sicherheitsbezogenen Investitionskosten ein Betrag abgeschätzt werden, der den 1- bis 3-fachen Kosten für die Baumeisterarbeiten entspricht.

Anhang A

Anwendungsbeispiel Viadukt

A.1 Zusammenfassung

Das Viadukt wird in die Bauwerksklasse BWK II-i mit einem Mindesterfüllungsfaktor α_{\min} von 0,4 eingeteilt. Das Viadukt weist einen Erfüllungsfaktor von $\alpha_{\text{eff}} = 0,15$ auf; der Mindesterfüllungsfaktor wird also nicht eingehalten.

Gemäss der Norm SIA 269/8 sind somit zumindest Massnahmen zur Erreichung von α_{\min} erforderlich. Dazu wird das Massnahmenpaket MP_{\min} , das die Erhöhung des Baugrundwiderstands und die Verstärkung der Pfeilerköpfe enthält, erarbeitet. Die Kosten von MP_{\min} werden auf CHF 250 000.– geschätzt.

Weitere Massnahmenpakete, die zu Erfüllungsfaktoren von 1,0 ($MP_{1,0}$), und 0,5 ($MP_{0,5}$) führen, werden auf ihre Verhältnismässigkeit hin überprüft. Unter der Berücksichtigung der Zahlungsbereitschaft für die Sicherstellung der Infrastrukturfunktion stellt sich das Massnahmenpaket $MP_{1,0}$ zur Anhebung des Erfüllungsfaktors auf 1,0 als verhältnismässig heraus. Die Kosten für das $MP_{1,0}$, welches die Verstärkung der Fundation und der Brückenlager beinhaltet, werden auf CHF 290 000.– geschätzt.

Das grundsätzlich anzustrebende Ziel von $\alpha_{\text{int}} \geq 1,0$ (Ziff. 9.4.1 der Norm SIA 269/8) wird somit erreicht; dies bedeutet, dass nach der Umsetzung des Massnahmenpaketes kein laut Norm SIA 269/8 akzeptiertes Sicherheitsdefizit mehr besteht.

Schliesslich wird eine alternative Ausgangsstellung diskutiert, bei der das Bauwerk unter Berücksichtigung der weiteren Schutzgüter (Anhang E der Norm SIA 269/8) in die BWK I eingeteilt wird. Dies unter der Annahme, dass es sich beim Viadukt um eine Nebenanlage auf einer unbedeutenden Nebenstrecke handelt.

A.2 Bauwerk, Nutzung, Personenbelegung und Werte

Aspekt	Beschreibung	Erläuterung
Tragwerk	Langes Viadukt mit kurzer Brücke in Mischbauweise. Die kurze Brücke bei der Flussquerung liegt auf den Viadukt Pfeilern auf.	
Abmessungen L x B	330 m x 12,5 m / 70 m x 12,5 m	
Tragwerkskonzept	Mehrfeldträger / einfacher Balken	Viadukt aus Bruchstein und Schichtmauerwerk. Brücke mit Fahrbahnplatte aus Beton und Stahlfachwerk.
Aussteifung	Längsrichtung: feste bzw. bewegliche Widerlager. Querrichtung: Kragarm durch im Boden fundierte Pfeiler.	
Nutzung	Zugverkehr Personen und Güter	
Verkehr	86 Züge pro Tag	<ul style="list-style-type: none"> - 2 Personenzüge je Fahrtrichtung und Stunde (76 = 4 x 19 h) mit einer mittleren Belegung von 100 Personen. - 5 Güterzüge pro Tag und Fahrtrichtung im Wochenmittel Geschwindigkeit im entsprechenden Abschnitt: 150 km/h.
Personenbelegung (Mittelwert der potenziell gefährdeten Personen über die Nutzungsdauer)	PB = 4	Täglich passieren ca. 7600 Personen (76 Züge mit 100 Personen pro Zug im Mittel) die Brücke. Wahrscheinlichkeit, dass eine Person vom Versagen des Viaduktes betroffen ist: $P = 5E-4$ (Tab. 6). $PB = 7600 \times 5E-4 = 3,8$ Personen.
Bauwerkwert	BW = 40 Mio. CHF	Ersatzwert von $8000^{1)}$ CHF/m ² (8000 x 400 m x 12,5 m). Geringer Anteil an SBIE.
Sachwerte	SW = 1,3 Mio. CHF	Täglich passieren 86 Zugkompositionen mit einem Wert von 30 Mio. CHF (Tab. 2) die Brücke. Wahrscheinlichkeit ermittelt analog zur Personenbelegung. Sachwerte = $5E-4 \times 86 \times 30$ Mio. = 1,3 Mio. CHF.
Unterbrechungsdauer Unterbrechungskosten	12 Monate UK = 3 Mio. CHF	Die Unterbrechungskosten werden mit 50000 CHF/d für 2 Monate abgeschätzt. Gemäss Ziffer E.4.1 Norm SIA 269/8 müssen die UK jedoch nicht berücksichtigt werden, da sie kleiner als 20% des Bauwerkwertes sind.
Restnutzungsdauer	$d_r = 100$ Jahre	Gemäss Kapitel 4.1 dieser Richtlinie ist die minimal anzusetzende Restnutzungsdauer 80 Jahre. Die ISB hat die Restnutzungsdauer mit 100 Jahren vorgegeben.

Tab. A.1 Relevante Informationen zum Tragwerk und seiner Nutzung

¹⁾ Diese Ersatzkosten werden von der Betreiberin spezifiziert und können stark variieren. Es gibt auch GI, die für den Ersatzwert z. B. 11 000 CHF/m² annehmen

A.3 Bauwerksklasse

Die Bauwerksklasse des Viadukts wird nach dem Vorgehen in Kapitel 3.1 dieser Richtlinie bestimmt. Die Mindestanforderung an die Bauwerksklasse BWK_{min} für Brücken ist laut Tabelle 1 BWK II-i. Die Strecke, auf der sich die Brücke befindet, hat keine hohe Bedeutung und ist keiner Erdbebenstreckenklasse zugeordnet (daher gilt ESK 0). Die Brücke hat einen grossen Einfluss auf die Verfügbarkeit der Strecke. Das Bauwerk wird daher in die Bauwerksklasse BWK II-i eingeteilt (siehe Abb. A.1).

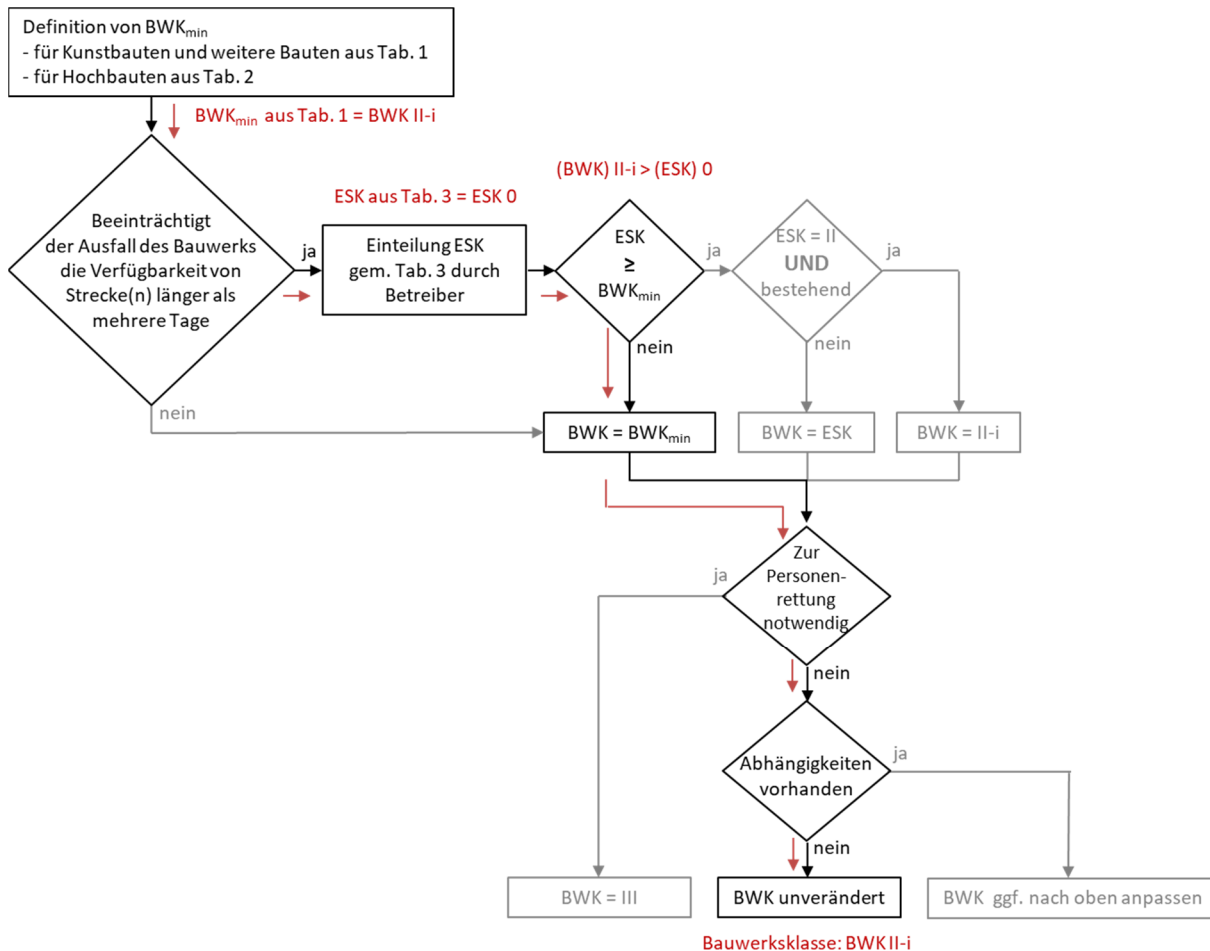


Abb. A.1 Flussdiagramm zur Bestimmung der Bauwerksklasse

Laut Kapitel 3.2 dieser Richtlinie ist Anhang E der Norm SIA 269/8 immer zu berücksichtigen, sofern die Brücke in die Bauwerksklasse BWK I eingeteilt werden kann (Tab. 1, Fussnote 1). Die ISB könnte das Bauwerk auch in die Bauwerksklasse BWK III einteilen, sofern ein Ausfall der Strecke erhebliche Folgen hätte.

A.4 Beurteilung der Erdbbensicherheit

Die Beurteilung der Erdbbensicherheit ergibt für das Viadukt einen Erfüllungsfaktor von $\alpha_{eff} = 0,15$. Dieser Faktor beruht auf den folgenden identifizierten Schwachstellen.

Schwachstelle	Erfüllungsfaktor α_{eff}	Beurteilung der Erdbbensicherheit
1) Fundation Viadukt, Krafteinleitung Baugrund bei den flusnahen Pfeilern C und D	0,15	Massnahmen erforderlich
2) Tragwerk Viadukt, Widerstand Querrichtung Pfeilerkopf A und B	0,25	Massnahmen erforderlich
3) Fundation Viadukt, Krafteinleitung Baugrund bei Pfeiler A, B und E	0,5	Massnahmen erforderlich, soweit verhältnismässig
4) Brückenlager bei Pfeiler C und D, Querrichtung	0,4	Massnahmen erforderlich, soweit verhältnismässig
Massgebender Erfüllungsfaktor	0,15	

Tab. A.2 Zusammenfassung der Erfüllungsfaktoren α_{eff}

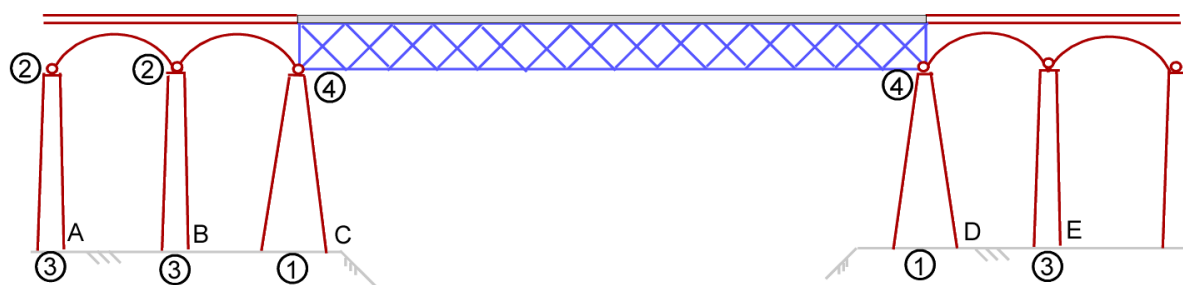


Abb. A.2 Visualisierung von Schwachstellen

Das Viadukt weist insgesamt knapp 30 Bögen auf. In diesem Beispiel wird nun angenommen, dass die in Abbildung A.2 dargestellten Schwachstellen nur im gezeigten Abschnitt (Pfeiler A - E) im Bereich des Flusses gelten und die anderen Bögen die Schwachstellen 2 bis 4 nicht aufweisen.

A.5 Massnahmenempfehlung

A.5.1 Massnahmen zur Behebung der Schwachstellen

Massnahme	Beschreibung	Gesamtkosten	Erfüllungsfaktor lokal
a)	Erhöhung Baugrundwiderstand bei den flusnahen Pfeilern C und D (Schwachstelle 1)	CHF 150 000.–	lokal $\alpha_{eff} = 0,15 \rightarrow \alpha_{int} = 1,0$
b)	Verstärkung Pfeilerkopf, Pfeiler A und B (Schwachstelle 2)	CHF 100 000.–	lokal $\alpha_{eff} = 0,25 \rightarrow \alpha_{int} = 1,0$
c)	Verstärkung Fundation Pfeiler A, B und E (Schwachstelle 3)	CHF 200 000.–	lokal $\alpha_{eff} = 0,5 \rightarrow \alpha_{int} = 1,0$
d)	Verstärkung der Brückenaufleger bei Pfeiler C und D (Schwachstelle 4)	CHF 90 000.–	lokal $\alpha_{eff} = 0,4 \rightarrow \alpha_{int} = 1,0$

Tab. A.3 Massnahmen zur Behebung der Schwachstellen

Aus den Einzelmassnahmen werden Massnahmenpakete zur Verbesserung der globalen Erdbebensicherheit des Bauwerks gebildet. In Tabelle A.4 sind die Massnahmenpakete

1. MP_{min} (zum Erreichen von α_{min})
2. $MP_{1,0}$ (zum Erreichen der normgemässen Sicherheit von Neubauten, d.h. $\alpha_{int} = 1,0$)
3. $MP_{0,5}$ (für Teilmassnahme $\alpha_{int} = 0,5$)

sowie deren Kosten zusammengefasst. Die Abbildung A.3 illustriert die Veränderung der Erdbebensicherheit pro Massnahmenpaket.

Erläuterungen:

Massnahmenpakete sind grundsätzlich so zu bilden, dass zunächst die für das Erreichen von α_{min} erforderlichen Massnahmen in einem Massnahmenpaket MP_{min} zusammengefasst werden. Danach werden die zur Erreichung eines Erfüllungsfaktors von $\alpha_{int} = 1,0$ erforderlichen zusätzlichen Massnahmen in einem Massnahmenpaket $MP_{1,0}$ gebündelt. Das $MP_{1,0}$ ist auf seine Verhältnismässigkeit hin zu prüfen. Ist diese nicht gegeben, müssen solange Massnahmenpakete für stufenweise absteigende Erfüllungsfaktoren (z. B. $MP_{0,7}$, $MP_{0,5}$ usw.) evaluiert werden, bis die Verhältnismässigkeit gegeben ist. Das Flussdiagramm in der Abbildung 1 illustriert das Vorgehen.

Paket	Massnahmen	Paketkosten ¹⁾	Erfüllungsfaktor global
MP_{min} ²⁾	a) + b)	CHF 250 000.–	$\alpha_{eff} = 0,15 \rightarrow \alpha_{int,MPmin} = 0,4$
$MP_{1,0}$	c) + d)	CHF 290 000.–	$\alpha_{int,MPmin} = 0,4 \rightarrow \alpha_{int,MP1,0} = 1,0$
$MP_{0,5}$	d)	CHF 90 000.–	$\alpha_{int,MPmin} = 0,4 \rightarrow \alpha_{int,MP0,5} = 0,5$

Tab. A.4 Mögliche Massnahmenpakete zur globalen Erhöhung des Erfüllungsfaktors

¹⁾ Die Kosten entsprechen den sicherheitsbezogenen Investitionskosten SIC_M nach Ziffer 10.7.4 der Norm SIA 269/8.

²⁾ MP_{min} ist erforderlich und unabhängig von den Kosten auszuführen. Es wird an dieser Stelle angenommen, dass keine günstigere Massnahme existiert, um den Mindesterfüllungsfaktor zu erreichen.

Da die Massnahmen a) und b) zur Behebung der Schwachstelle 1 den Mindesterfüllungsfaktor sicherstellt, wird dieses Massnahmenpaket als MP_{min} bezeichnet. Die Massnahmen a) und b) führen zu einer lokalen Erhöhung des Erfüllungsfaktors auf 1,0, wobei der globale Erfüllungsfaktor aufgrund von Schwachstelle 4) bei 0,4 bleibt.

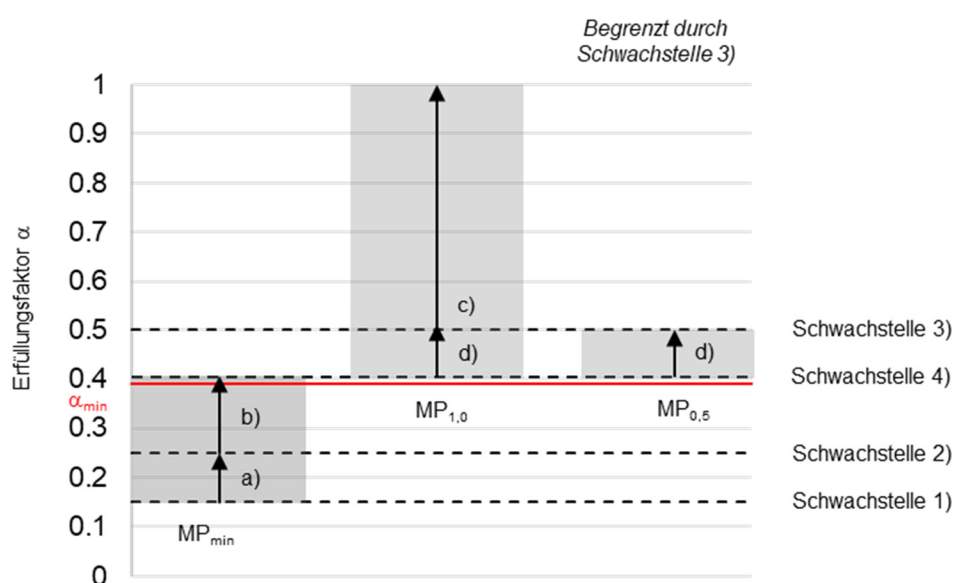


Abb. A.3 Visualisierung von Schwachstellen, Massnahmen und Massnahmenpaketen

A.5.2 Beurteilung der Verhältnismässigkeit

Die Grundlagen zur Beurteilung der Verhältnismässigkeit der Massnahmenpakete sind in der Tabelle A.5 aufgeführt. Die Tabelle enthält ausserdem Verweise auf die zugehörigen Kapitel der Norm SIA 269/8 oder, falls explizit angeführt, Verweise auf Abschnitte dieses Beispiels oder auf den Inhalt dieser Richtlinie.

Bezeichnung	Formel und Wert	Referenz
Restnutzungsdauer	$d_r = 100 \text{ Jahre}$	Tab. A.1
Diskontierungsfaktor	$DF = \frac{i_d \cdot (1 + i_d)^{d_r}}{(1 + i_d)^{d_r} - 1} = \frac{0,02 \cdot (1 + 0,02)^{100}}{(1 + 0,02)^{100} - 1} \cong 2,3\%$	10.7.2, SIA 269/8 mit $i_d = 2\%$
Personenbelegung	$PB = 4$	Tab. A.1
Bauwerkswert	$BW = 40 \cdot 10^6 \text{ CHF}$	Tab. A.1
Sachwert	$SW = 1,3 \cdot 10^6 \text{ CHF}$	Tab. A.1
Sachenrisikofaktor	$SRF = 0,2$	Ziff. E 3.4 Norm SIA 269/8
Grenzkosten	$GK = 10^6 \text{ CHF}$	Ziff. 10.3.9 Norm SIA 269/8

Tab. A.5 Parameter zur Berechnung der Verhältnismässigkeit

Die Berechnung der Verhältnismässigkeit bzw. der Massnahmeneffizienz ist für die möglichen Massnahmenpakete nachstehend zusammengefasst.

Bezeichnung	Formel	MP _{1,0}	MP _{0,5}	Referenz
Erfüllungsfaktor vor Intervention	α_{eff}	0,4	0,4	Tab. A.4
Erfüllungsfaktor nach Intervention	α_{int}	1,0	0,5	Tab. A.4
Differenz Personenrisikofaktor	$\Delta PRF_M(\Delta\alpha)$	$\cong 4 \cdot 10^{-6}$	$\cong 2 \cdot 10^{-6}$	Nach Fig. 7 Norm SIA 269/8
Differenz Infrastruktursätze	$\Delta IS(\Delta\alpha)$	$\cong 0,1\%$	$\cong 0,03\%$	Nach Fig. 8 Norm SIA 269/8
Reduktion Personenrisiken [CHF/J]	$\Delta RP_M = \Delta PRF_M \cdot PB \cdot GK$	$\cong 150$	$\cong 60$	Ziff. 10.3.1 Norm SIA 269/8
Zahlungsbereitschaft Infrastrukturfunktion [CHF/J]	$\Delta ZI_M = \Delta IS \cdot BSW$	$\cong 42\,700$	$\cong 13\,800$	Ziff. 10.4.6 Norm SIA 269/8
Risikoreduktion [CHF]	$\Delta R_M = \Delta RP_M + \Delta ZI_M$	$\cong 42\,850$	$\cong 13\,860$	Ziff. 10.2.5 Norm SIA 269/8
Sicherheitsbezogene Investitionskosten [CHF]	SIC_M	290 000	90 000	Tab. A.4
Sicherheitskosten [CHF/J]	$SC_M = DF \cdot SIC_M$	$\cong 6700$	$\cong 2100$	Ziff. 10.7.1 Norm SIA 269/8
Massnahmeneffizienz	$EF_M = \frac{\Delta R_M}{SC_M}$	$\cong 6,3$	$\cong 2$	Ziff. 10.2.2 Norm SIA 269/8
Max. verhältnismässige sicherheitsbezogene Investitionskosten [CHF]	$SIC_{EF=1} = \frac{\Delta R_M}{DF}$	$\cong 1\,846\,000$ > 290 000 für MP _{1,0}	$\cong 596\,000$ > 90 000 für MP _{0,5}	

Tab. A.6 Berechnung der Massnahmeneffizienz der Massnahmenpakete

Massnahmenpaket	Beurteilung	Erläuterung
MP _{min}	Erforderlich	Die Massnahme muss in jedem Fall ausgeführt werden.
MP _{1,0}	Verhältnismässig	Das Massnahmenpaket ist verhältnismässig und somit umzusetzen.
MP _{0,5}	Verhältnismässig	Die Berechnung dient nur zur späteren Diskussion im Anhang.

Tab. A.7 Beurteilung der Verhältnismässigkeit

Beim betrachteten Viadukt ist das Massnahmenpaket $MP_{1,0}$ verhältnismässig und somit umzusetzen. Das anzustrebende Ziel von $\alpha_{int} \geq 1,0$ (Ziff. 9.4.1 der Norm SIA 269/8) wird somit erreicht. Das Massnahmenpaket $MP_{0,5}$ zur Anhebung des globalen Erfüllungsfaktors auf 0.5 ist ebenfalls verhältnismässig. Hier wird das $MP_{0,5}$ nur im Hinblick auf die spätere Diskussion aufgezeigt und nicht ausgeführt. Mit dieser «Teilmassnahme» wird das grundsätzlich anzustrebende Ziel von $\alpha_{int} \geq 1,0$ nicht erreicht.

Erläuterungen:

Neben der Identifikation der Schwachstellen und der Definition von Massnahmen zu deren Behebung, kommt es darauf an, wieviel Geld zur Verfügung steht, um einen vorgegebenen Erfüllungsfaktor α_{int} zu erreichen. In diesem Beispiel ist es verhältnismässig, gemäss den Angaben in Tabelle A.8, näherungsweise 1,8 Mio. CHF zu investieren, um den Zustand von $\alpha_{int} = 1,0$ zu erreichen. Dabei ist es unerheblich, wie die Massnahmenpakete schlussendlich zusammengestellt werden. Kann das Ziel von $\alpha_{int} > 1,0$ mit den maximalen verhältnismässigen Investitionskosten nicht erreicht werden, sind die Massnahmenpakete um die Massnahmen mit entsprechend geringem Nutzen zu reduzieren.

Bei einem grösseren Bauprojekt, beispielsweise einer umfassenden Instandsetzung eines Bauwerks, ist die Verhältnismässigkeit auch an den Zielen und Kosten des entsprechenden Projektes zu messen.

A.6 Vergleich verschiedener Bauwerksklassen

Um die Unterschiede bei einer Einteilung in die Bauwerksklasse BWK I unter Berücksichtigung des Anhangs E der Norm SIA 269/8 aufzuzeigen, werden die verhältnismässigen Kosten ermittelt und jenen der Einteilung in die BWK II-i gegenübergestellt. Die Einteilung in die BWK I unterliegt der Annahme, dass das Viadukt als Nebenanlage auf einer unbedeutenden Strecke klassifiziert wird (gemäss Tabelle 1, Fussnote 1). Dabei liegt der Mindeste Erfüllungsfaktor α_{min} bei 0,25. Neben der Reduktion der Personenrisiken ΔRP_M , sind die Schutzgüter Bauwerk ΔRB_M , Sachen ΔRS_M und Betrieb ΔRU_M zu berücksichtigen (Anhang E der Norm SIA 269/8).

Zur einfacheren Interpretation der Ergebnisse wird nicht die Massnahmeneffizienz EF_M berechnet, sondern es werden die gerade noch verhältnismässigen sicherheitsbezogenen Investitionskosten (bei $EF_M = 1$) bestimmt.

Einteilung Bauwerksklasse	MP_{min}	$MP_{1,0}$	$MP_{0,5}$
<i>Veränderung Erfüllungsfaktor pro Massnahmenpaket</i>			
BWK I ²⁾	0,15 → $\alpha_{int,MPmin} = 0,25$	0,25 → $\alpha_{int,MP1,0} = 1,0$	0,25 → $\alpha_{int,MP0,5} = 0,5$
BWK II-i	0,15 → $\alpha_{int,MPmin} = 0,4$	0,4 → $\alpha_{int,MP1,0} = 1,0$	0,4 → $\alpha_{int,MP0,5} = 0,5$
<i>Sicherheitsbezogene Investitionskosten SIC_M [CHF]</i>			
BWK I ²⁾	150 000	390 000	190 000
BWK II-i	250 000	290 000	90 000
<i>Maximale verhältnismässige Investitionskosten [CHF]</i>			
BWK I, Anhang E	---	≅ 252 000	≅ 192 000
BWK II-i ¹⁾	---	≅ 1 846 000	≅ 596 000

Tab. A.8 Maximale verhältnismässige Kosten für verschiedene Bauwerksklassen BWK

¹⁾ BSW = 41,3 Mio. CHF

²⁾ Zur Erreichung des Mindeste Erfüllungsfaktors von $\alpha_{min} = 0,25$ ist nur Massnahme a) erforderlich und im MP_{min} auszuführen.

Einteilung gemäss SIA 269/8	MP _{1,0}	MP _{0,5}
BWK I, Anhang E	Nicht verhältnismässig	Verhältnismässig
BWK II-i	Verhältnismässig	Verhältnismässig ¹⁾

Tab. A.9 Beurteilung der Verhältnismässigkeit bei Einteilung des Bauwerks in unterschiedliche Bauwerksklassen

¹⁾ Teilmassnahmenpaket MP_{0,5} wird in diesem Fall nicht ausgeführt, da mit MP_{1,0} ein höherer Erfüllungsfaktor erreicht wird.

Beim betrachteten Viadukt und unter Annahme der Bauwerksklasse BWK I mit einem geringen SBIE-Anteil ist das Massnahmenpaket MP_{1,0} nicht verhältnismässig; somit ist nur MP_{0,5} als Teilmassnahme umzusetzen. Das grundsätzlich anzustrebende Ziel $\alpha_{int} \geq 1,0$ wird somit nicht erreicht. Dies bedeutet, dass ein gemäss der Norm SIA 269/8 akzeptiertes Sicherheitsdefizit fortbestehen würde. Wird das Viadukt hingegen in die Bauwerksklasse BWK II-i eingeteilt, sind alle Massnahmen verhältnismässig und folglich ist das Massnahmenpaket MP_{1,0} umzusetzen. Das grundsätzlich anzustrebende Ziel von $\alpha_{int} \geq 1,0$ wird erreicht.

Erläuterungen:

In diesem Beispiel sind praktisch nur Risiken bezogen auf das Bauwerk relevant. Die auf Personen und Sachen bezogenen Risiken sind um mehrere Grössenordnungen kleiner als das Gesamtrisiko und somit vernachlässigbar.

Bei BWK I und der Verwendung von Anhang E werden die Kosten aus Bauwerk, Sachen und Betrieb berücksichtigt, wobei der Bauwerkswert den grössten Einfluss hat. Da die untere Kurve gemäss Figur 16 der Norm SIA 269/8 verwendet wurde, ist die Bauwerksrisikoreduktion etwa um den Faktor 7 kleiner wie bei einem hohen Anteil an SBIE. Somit ist das Massnahmenpaket MP_{1,0} nicht verhältnismässig und das Teilmassnahmenpaket MP_{0,5} muss ausgeführt werden.

Bei BWK II-i werden zur Ermittlung der sogenannten Zahlungsbereitschaft alle Werte aus Bauwerk und Sachen addiert und mit dem Infrastruktursatz multipliziert. Dieser ist Null, falls der Erfüllungsfaktor $\alpha_{eff} > 0,7$ beträgt. Da der Erfüllungsfaktor beim betrachteten Bauwerk für MP_{1,0} vor der Intervention weit unter und nach der Ertüchtigung über diesem Wert liegt, werden die maximalen verhältnismässigen Investitionskosten dominiert durch die Zahlungsbereitschaft für den Schutz der Infrastrukturfunktion.

Anhang B

Anwendungsbeispiel Hochbau mit Stellwerk

B.1 Zusammenfassung

Das Stellwerk wird in die Bauwerksklasse BWK II-i mit einem Mindesterfüllungsfaktor α_{\min} von 0,4 eingeteilt. Das Stellwerk weist einen Erfüllungsfaktor von $\alpha_{\text{eff}} = 0,25$ auf; der Mindesterfüllungsfaktor wird also nicht eingehalten.

Gemäss der Norm SIA 269/8 sind somit zumindest Massnahmen zur Erreichung von α_{\min} erforderlich. Dazu wird das Massnahmenpaket MP_{\min} , das den Ersatz von Innenwänden durch geeignete Leichtbauwände vorsieht, erarbeitet. Die Kosten von MP_{\min} werden auf CHF 100 000.– geschätzt.

Weitere Massnahmenpakete, die zu Erfüllungsfaktoren von 1,0 ($MP_{1,0}$), und 0,75 ($MP_{0,75}$) führen, werden auf ihre Verhältnismässigkeit hin überprüft. Einzig das $MP_{0,75}$, welches die Verbesserung der Krafteinleitung beim Fundament, die Verstärkung bestehender Aussteifungselemente und die Errichtung neuer Wände beinhaltet, stellt sich dabei als verhältnismässig heraus, weshalb folglich die darin enthaltenen Massnahmen umzusetzen sind. Die Kosten für das $MP_{0,75}$ werden auf CHF 600 000.– geschätzt.

Das grundsätzlich anzustrebende Ziel von $\alpha_{\text{int}} \geq 1,0$ (Ziff. 9.4.1 der Norm SIA 269/8) wird somit nicht erreicht; dies bedeutet, dass nach der Umsetzung des Massnahmenpaketes ein laut der Norm SIA 269/8 akzeptiertes Sicherheitsdefizit fortbesteht.

Schliesslich wird eine alternative Ausgangsstellung diskutiert, bei der das Bauwerk unter Berücksichtigung der weiteren Schutzgüter (nach Anhang E der Norm SIA 269/8) in die BWK II eingeteilt wird.

B.2 Bauwerk, Nutzung, Personenbelegung und Werte

Aspekt	Beschreibung	Erläuterung
Gebäude	2 Untergeschosse, 1 Erdgeschoss und 5 Obergeschosse. Höhe ca. 23,5 m über Terrain (ohne Dachaufbauten)	
Abmessungen L x B x H	34 m x 12,5 m x 23,5 m	
Tragwerkskonzept	Untergeschosse vorwiegend in Stahlbeton. Vertikaler Lastabtrag durch vorfabrizierte Stahlbetonstützen und Stahlbetonwände.	
Aussteifung	Die aussteifenden Elemente ab Erdgeschoss bestehen hauptsächlich aus Mauerwerk und Stahlbeton. Die Kerne sind hauptsächlich in Stahlbeton ausgeführt und asymmetrisch im Grundriss angeordnet. Diverse aussteifende Elemente sind im Aufriss unstetig.	
Nutzung	Stellwerk mit zusätzlich Büro- und Aufenthaltsräumen (für den Betrieb durch Rangierpersonal und Lokführer) sowie einer Werkstatt und einer Kantine für zusätzliche 50 Personen im Obergeschoss	
Personenbelegung (Mittelwert der potenziell gefährdeten Personen über die Nutzungsdauer)	PB = 13	siehe Tab. B.2
Bauwerkswert	BW = 6 Mio. CHF	hoher Anteil ¹⁾ an SBIE
Sachwerte	SW = 20 Mio. CHF	
Unterbrechungsdauer	12 Monate	
Unterbrechungskosten ¹⁾	UK = 300 Mio. CHF	gemäss Ziffer E.4.1 der Norm SIA 269/8, zu berücksichtigen, da grösser als 20 % des Bauwerkswertes.
Restnutzungsdauer	d _r = 50 Jahre	gemäss Kapitel 4.1 dieser Richtlinie

Tab. B.1 Relevante Informationen zum Tragwerk und seiner Nutzung

¹⁾ Nur unter Verwendung von Anhang E der Norm SIA 269/8 relevant

Belegung	Anzahl	Stunden/Tag	Tage/Woche	Woche/Jahr	Belegung
Techniker	15	8	5	52	$PB_1 = 3,5 \cong \frac{15 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 52}{8736}$
Lokführer / Rangierer	25	8	5	52	$PB_2 = 6 \cong \frac{25 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 52}{8736}$
Kantine	50 ¹⁾	2	5	52	$PB_3 = 3 \cong \frac{50 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 52}{8736}$
					$PB = \sum PB_i = 12,5$

Tab. B.2 Berechnung der Personenbelegung PB

¹⁾ Falls sich Techniker und Lokführer in der Kantine aufhalten, sind sie nicht zu berücksichtigen, weil sie bereits in der jeweiligen Belegung von 8 Stunden eingerechnet sind. 50 Personen kommen zusätzlich extern hinzu.

B.3 Bauwerksklasse

Die Bauwerksklasse des Stellwerks wird nach dem Vorgehen in Kapitel 3.3 dieser Richtlinie bestimmt. Die Mindestanforderung an die Bauwerksklasse BWK_{min} wird anhand der Angaben in der Tabelle 2 ermittelt. Aufgrund seiner Nutzung und Bedeutung wird das Stellwerk in die Bauwerksklasse $BWK\ II-i$ eingeteilt. Es gehört zudem zur Infrastruktur einer Strecke der Erdbebenstreckenklasse $ESK\ II$ und es hat grossen Einfluss auf die Verfügbarkeit dieser Strecke. Das Bauwerk wird daher definitiv in die Bauwerksklasse $BWK\ II-i$ eingeteilt (siehe Abb. B.1).

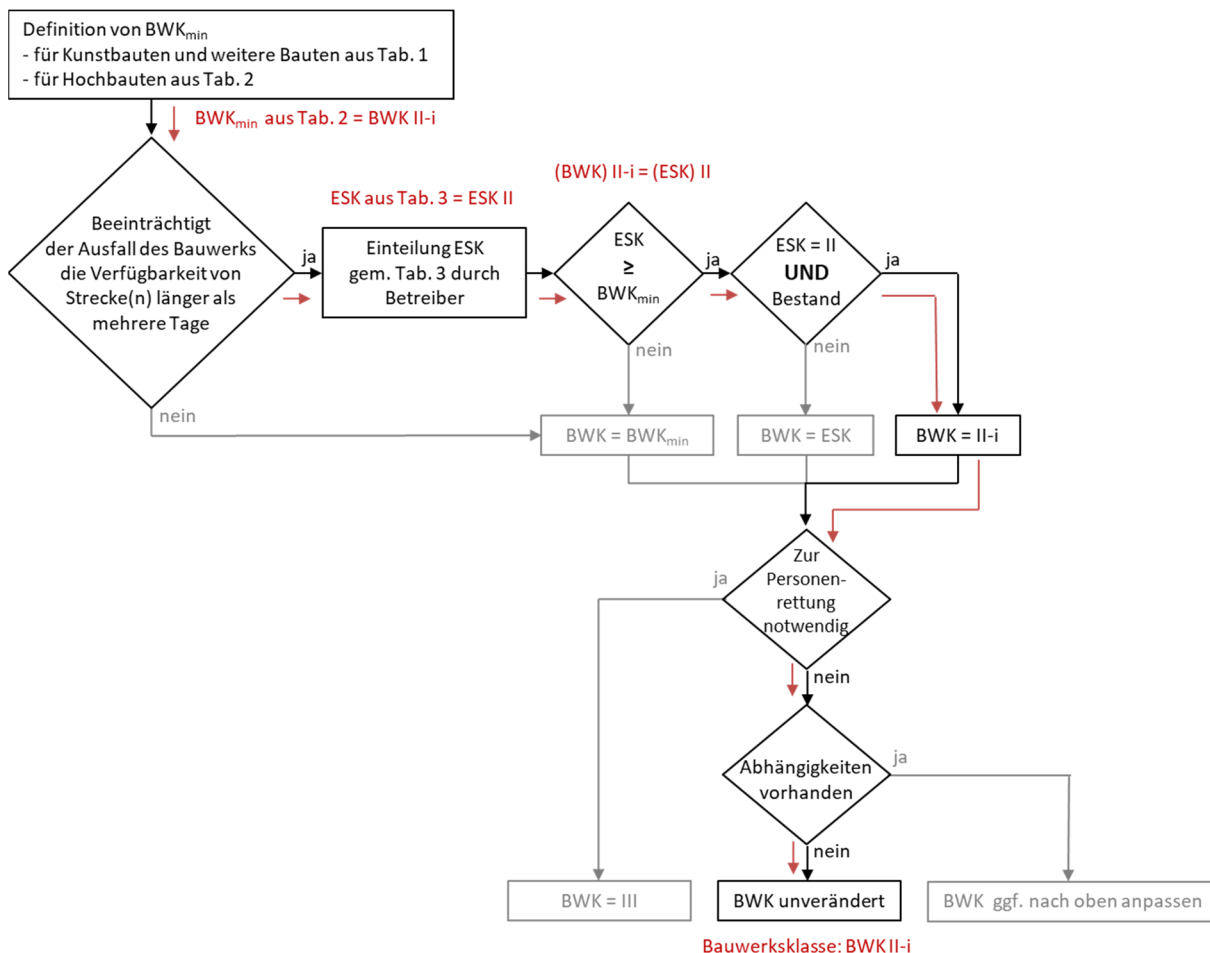


Abb. B.1 Flussdiagramm zur Bestimmung der Bauwerksklasse

Aufgrund der erheblichen Auswirkungen im Falle eines Ausfalls, kann die ISB das Stellwerk auch der Bauwerksklasse $BWK\ III$ zuweisen. Diese Einteilung wird zwar weder von der Norm noch von der Richtlinie verbindlich vorgeschrieben, kann jedoch in Anbetracht der hohen Unterbrechungskosten, die der ISB im Ereignisfall entstehen würden, durchaus angezeigt sein.

B.4 Beurteilung der Erdbebensicherheit

Die Beurteilung der Erdbebensicherheit ergibt für das Stellwerk einen Erfüllungsfaktor $\alpha_{\text{eff}} = 0,25$. Dieser Faktor beruht auf den folgenden identifizierten Schwachstellen.

Schwachstelle	Erfüllungsfaktor α_{eff}	Beurteilung der Erdbebensicherheit
1) Tragwerk, Krafteinleitung Längsrichtung bei Fundament sowie Widerstand EG und OG	0,45	Massnahmen erforderlich, soweit verhältnismässig
2) Tragwerk, Querrichtung Krafteinleitung OG	0,75	Massnahmen erforderlich, soweit verhältnismässig
3) Tragwerk, Querrichtung Kern im UG und EG	0,5	Massnahmen erforderlich, soweit verhältnismässig
4) SBIE diverse Innenwände Out-of-plane	0,25	Massnahmen erforderlich, da α_{eff} kleiner als $\alpha_{\text{min}} = 0,4$
Massgebender Erfüllungsfaktor Tragwerk	0,45	
Massgebender Erfüllungsfaktor SBIE	0,25	

Tab. B.3 Zusammenfassung der Erfüllungsfaktoren α_{eff}

B.5 Massnahmenempfehlung

B.5.1 Massnahmen zur Behebung der Schwachstellen

Massnahme	Beschreibung	Gesamtkosten	Erfüllungsfaktor lokal
a)	Verbesserung Krafteinleitung Bodenplatte und Verstärkung von bestehenden Wandscheiben in Längsrichtung oder Ersatz durch neue Wände (Schwachstelle 1)	CHF 400 000.–	lokal $\alpha_{\text{eff}} = 0,45 \rightarrow \alpha_{\text{int}} = 1,0$
b)	Verstärkung der Krafteinleitung der Wände in Querrichtung in den Obergeschossen (Schwachstelle 2)	CHF 300 000. –	lokal $\alpha_{\text{eff}} = 0,75 \rightarrow \alpha_{\text{int}} = 1,0$
c)	Querkraftverstärkung Kern im UG und EG, Querrichtung (Schwachstelle 3)	CHF 200 000. –	lokal $\alpha_{\text{eff}} = 0,5 \rightarrow \alpha_{\text{int}} = 1,0$
d)	SBIE Innenwände Out-of-plane: Ersatz der Wände durch geeignete Leichtbauwände (Schwachstelle 4)	CHF 100 000. –	lokal $\alpha_{\text{eff}} = 0,25 \rightarrow \alpha_{\text{int}} = 1,0$

Tab. B.4 Massnahmen zur Behebung der Schwachstellen

Um die Erdbebensicherheit des Bauwerks zu verbessern, werden die Einzelmassnahmen zu Massnahmenpaketen gebündelt. In der Tabelle B.5 sind die Massnahmenpakete

1. MP_{min} (zum Erreichen von α_{min})
2. $MP_{1,0}$ (zum Erreichen der normgerechten Sicherheit von Neubauten, d.h. $\alpha_{\text{int}} = 1,0$)
3. $MP_{0,75}$ (für Teilmassnahme $\alpha_{\text{int}} = 0,75$)

sowie deren Kosten zusammengefasst. Die Abbildung B.2 illustriert die Veränderung der Erdbebensicherheit pro Massnahmenpaket.

Erläuterungen:

Massnahmenpakete sind grundsätzlich so zu bilden, dass zunächst die für das Erreichen von α_{min} erforderlichen Massnahmen in einem Massnahmenpaket MP_{min} zusammengefasst sind. Danach werden die zur Erreichung eines Erfüllungsfaktors von $\alpha_{int} = 1,0$ erforderlichen zusätzlichen Massnahmen in einem Massnahmenpaket $MP_{1,0}$ gebündelt. Das $MP_{1,0}$ ist auf seine Verhältnismässigkeit hin zu prüfen. Ist diese nicht gegeben, müssen solange Massnahmenpakete für stufenweise absteigende Erfüllungsfaktoren (z. B. $MP_{0,7}$, $MP_{0,5}$ usw.) evaluiert werden, bis die Verhältnismässigkeit erreicht ist. Das Flussdiagramm in Abbildung 1 illustriert das Vorgehen.

Paket	Massnahmen	Paketkosten ¹⁾	Erfüllungsfaktor global
$MP_{min}^{2)}$	d)	CHF 100 000.–	$\alpha_{eff} = 0,25 \rightarrow \alpha_{int,MPmin} = 0,45$
$MP_{1,0}$	a) + b) + c)	CHF 900 000. –	$\alpha_{int,MPmin} = 0,45 \rightarrow \alpha_{int,MP1,0} = 1,0$
$MP_{0,75}$	a) + c)	CHF 600 000. –	$\alpha_{int,MPmin} = 0,45 \rightarrow \alpha_{int,MP0,75} = 0,75$

Tab. B.5 Mögliche Massnahmenpakete zur globalen Erhöhung des Erfüllungsfaktors

¹⁾ Die Kosten entsprechen den sicherheitsbezogenen Investitionskosten SIC_M nach Ziffer 10.7.4 der Norm SIA 269/8.
²⁾ MP_{min} ist zwingend notwendig und unabhängig von den Kosten auszuführen. Es wird an dieser Stelle angenommen, dass keine günstigere Massnahme existiert, um den Mindesterfüllungsfaktor zu erreichen.

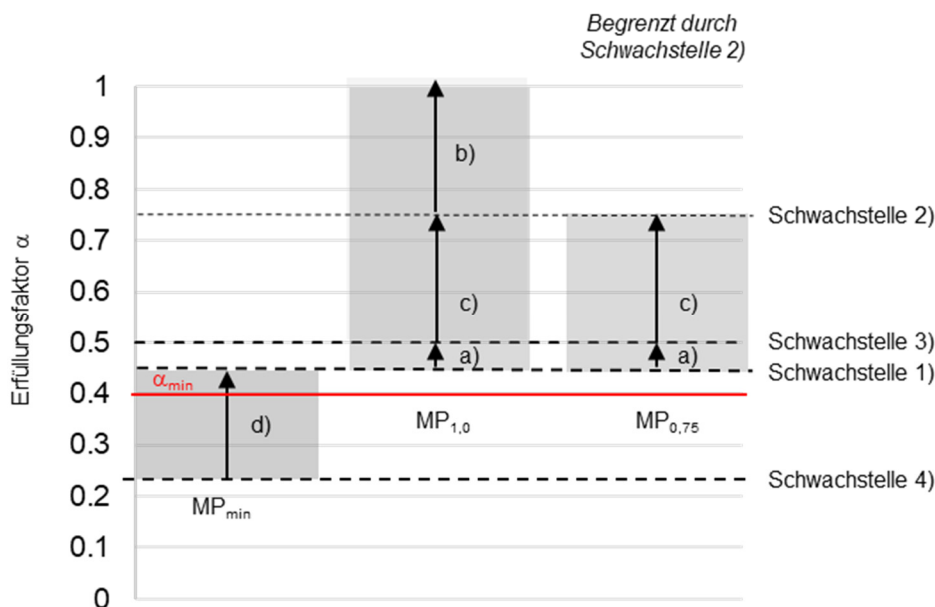


Abb. B.2 Visualisierung von Schwachstellen, Massnahmen und Massnahmenpaketen

B.5.2 Beurteilung der Verhältnismässigkeit

Die Grundlagen zur Beurteilung der Verhältnismässigkeit der Massnahmenpakete sind in der Tabelle B.6 aufgeführt. Die Tabelle enthält ausserdem Verweise auf die zugehörigen Kapitel der Norm SIA 269/8 oder, falls explizit angeführt, Verweise auf Abschnitte dieses Beispiels oder auf den Inhalt dieser Richtlinie.

Bezeichnung	Formel und Wert	Referenz
Restnutzungsdauer	$d_r = 50 \text{ Jahre}$	Tab. B.1
Diskontierungsfaktor	$DF = \frac{i_d \cdot (1 + i_d)^{d_r}}{(1 + i_d)^{d_r} - 1} = \frac{0,02 \cdot (1 + 0,02)^{50}}{(1 + 0,02)^{50} - 1} \cong 3,2\%$	Ziff. 10.7.2 Norm SIA 269/8 mit $i_d = 2\%$
Personenbelegung	$PB = 13$	Tab. B.1
Bauwerkwert	$BW = 6 \cdot 10^6 \text{ CHF}$	Tab. B.1
Sachwert	$SW = 20 \cdot 10^6 \text{ CHF}$	Tab. B.1
Unterbrechungskosten	$UK = 300 \cdot 10^6 \text{ CHF}$	Tab. B.1
Grenzkosten	$GK = 10^6 \text{ CHF}$	Ziff. 10.3.9, SIA 269/8
Sachenrisikofaktor	$SRF = 0,2$	Tab. B.1
Unterbrechungsrisikofaktor	$URF = 0,5 \cdot 1 \text{ J} = 0,5$	Ziff. E 4.6 Norm SIA 269/8

Tab. B.6 Parameter zur Berechnung der Verhältnismässigkeit

Die Berechnung der Verhältnismässigkeit bzw. der Massnahmeneffizienz ist für die möglichen Massnahmenpakete nachstehend zusammengefasst.

Bezeichnung	Formel	MP _{1,0}	MP _{0,75}	Referenz
Erfüllungsfaktor vor Intervention	α_{eff}	0,45	0,45	Tab. B.5
Erfüllungsfaktor nach Intervention	α_{int}	1,0	0,75	Tab. B.5
Differenz Personenrisikofaktor	$\Delta PRF_M(\Delta\alpha)$	$\cong 3 \cdot 10^{-6}$	$\cong 2,3 \cdot 10^{-6}$	Fig. 7 Norm SIA 269/8
Reduktion Personenrisiken [CHF/J]	$\Delta RP_M = \Delta PRF_M \cdot PB \cdot GK$	$\cong 370$	$\cong 290$	Ziff. 10.3.1 Norm SIA 269/8
Differenz Infrastruktursätze	ΔIS	$\cong 0,09\%$	$\cong 0,09\%$	Ziff. 10.4.7 Norm SIA 269/8
Zahlungsbereitschaft Infrastrukturfunktion [CHF/J]	$\Delta ZI_M = \Delta IS \cdot (BW + SW)$	$\cong 22\,500$	$\cong 22\,500$	Ziff. 10.4.6 Norm SIA 269/8
Sicherheitsbezogene Investitionskosten [CHF]	SIC_M	900 000	600 000	Tab. B.5
Sicherheitskosten [CHF/J]	$SC_M = DF \cdot SIC_M$	$\cong 28\,600$	$\cong 19\,100$	Ziff. 10.7.1 Norm SIA 269/8
Massnahmeneffizienz	$EF_M = \frac{\Delta RP_M + \Delta ZI_M}{SC_M}$	$\cong 0,8$	$\cong 1,2$	Ziff. 10.2.5 Norm SIA 269/8
Max. verhältnismässige sicherheitsbezogene Investitionskosten [CHF]	$SIC_{EF=1} = \frac{\Delta RP_M + \Delta ZI_M}{DF}$	$\cong 720\,000$ < 900 000 für MP _{1,0}	$\cong 717\,000$ > 600 000 für MP _{0,75}	

Tab. B.7 Berechnung der Massnahmeneffizienz der Massnahmenpakete MP

Massnahmenpaket	Beurteilung	Erläuterung
MP _{min}	Erforderlich	Die Massnahme muss in jedem Fall ausgeführt werden.
MP _{1,0}	Nicht verhältnismässig	Das Massnahmenpaket ist nicht verhältnismässig, da die Massnahme b) im Vergleich zum Nutzen hohe Kosten verursacht
MP _{0,75}	Verhältnismässig	Der globale Erfüllungsfaktor von 0,75 lässt sich ohne Massnahme b) nicht erhöhen.

Tab. B.8 Beurteilung der Verhältnismässigkeit

Beim betrachteten Stellwerk ist das Massnahmenpaket $MP_{1,0}$, das den Zustand von $\alpha_{int} \geq 1,0$ gewährleistet, nicht verhältnismässig und aktuell nicht umzusetzen. Das Massnahmenpaket $MP_{0,75}$ ist verhältnismässig und mit ihm wird ein globaler Erfüllungsfaktor von $\alpha_{int} = 0,75$ erreicht. Mit dieser «Teilmassnahme» wird der grundsätzlich anzustrebende Erfüllungsfaktor von $\alpha_{int} \geq 1,0$ (Ziff. 9.4.1 der Norm SIA 269/8) jedoch nicht erreicht.

Erläuterungen:

Neben der Identifikation der Schwachstellen und der Definition von Massnahmen zu deren Behebung kommt es darauf an, wieviel Geld zur Verfügung steht, um einen vorgegebenen Erfüllungsfaktor α_{int} zu erreichen. In diesem Beispiel ist es verhältnismässig, gemäss den Angaben in der Tabelle B.9 näherungsweise 0,72 Mio. CHF zu investieren, um den Zustand von $\alpha_{int} = 1,0$ zu erreichen. Dabei ist es unerheblich, wie die Massnahmenpakete schlussendlich zusammengestellt werden. Kann das Ziel von $\alpha_{int} > 1,0$ mit den maximalen verhältnismässigen Investitionskosten nicht erreicht werden, sind die Massnahmenpakete um die Massnahmen mit entsprechend geringem Nutzen zu reduzieren.

Bei einem grösseren Bauprojekt, beispielsweise einer umfassenden Instandsetzung eines Bauwerks, ist die Verhältnismässigkeit auch an den Zielen und Kosten des entsprechenden Projektes zu messen.

B.6 Vergleich verschiedener Bauwerksklassen

Um die Unterschiede bei einer Einteilung in die Bauwerksklasse BWK II unter Berücksichtigung des Anhangs E aufzuzeigen, werden die verhältnismässigen Kosten ermittelt und jenen der Einteilung in die BWK II-i gegenübergestellt. Bei diesem Vergleich wird von einem Erfüllungsfaktor α_{eff} von 0,25 ausgegangen. Neben den Personen ΔRP_M , sind die Schutzgüter Bauwerk ΔRB_M , Sachen ΔRB_M und Betrieb ΔRU_M zu berücksichtigen (Anhang E der Norm SIA 269/8).

Zur einfacheren Interpretation der Ergebnisse wird nicht die Massnahmeneffizienz EF_M berechnet, sondern es werden die gerade noch verhältnismässigen sicherheitsbezogenen Investitionskosten (bei $EF_M = 1$) bestimmt.

Einteilung Bauwerksklasse	MP _{min}	MP _{1,0}	MP _{0,75}
<i>Veränderung Erfüllungsfaktor pro Massnahmenpaket</i>			
BWK II / II-i ^{1) 2)}	0,25 → $\alpha_{int,MPmin} = 0,45$	0,45 → $\alpha_{int,MP1,0} = 1,0$	0,45 → $\alpha_{int,MP0,75} = 0,75$
<i>Sicherheitsbezogene Investitionskosten SIC_M [CHF]</i>			
BWK II / II-i ^{1) 2)}	100 000	900 000	600 000
<i>Maximale verhältnismässige Investitionskosten [CHF]</i>			
BWK II, Anhang E, Anteil SBIE hoch	≅ 3 441 000	≅ 1 424 700	≅ 1 104 000
BWK II-i ^{1) 2)}	---	≅ 720 000	≅ 717 000

Tab. B.9 Maximale verhältnismässige Kosten für verschiedene Bauwerksklassen BWK

¹⁾ BSW = 26 Mio. CHF

²⁾ Massnahme d) ist erforderlich und auszuführen, um den Mindesterfüllungsfaktor α_{min} von 0,4 zu erreichen

Einteilung gemäss SIA 269/8	MP _{min}	MP _{1,0}	MP _{0,75}
BWK II, Anhang E, hoher Anteil SBIE	Verhältnismässig	Verhältnismässig	Verhältnismässig ¹⁾
BWK II-i	Erforderlich	Nicht verhältnismässig	Verhältnismässig

Tab. B.10 Beurteilung der Verhältnismässigkeit bei Einteilung des Bauwerks in unterschiedliche Bauwerksklassen

¹⁾ Teilmassnahmenpaket $MP_{0,75}$ wird in diesem Fall nicht ausgeführt, da mit $MP_{1,0}$ ein höherer Erfüllungsfaktor erreicht wird.

Beim betrachteten Stellwerk sind unter der Annahme einer Einteilung in die BWK II mit einem hohen SBIE-Anteil alle Massnahmen verhältnismässig; somit sind die Massnahmenpakete MP_{\min} und $MP_{1,0}$ umzusetzen, mit denen das grundsätzlich anzustrebende Ziel von $\alpha_{\text{int}} \geq 1,0$ mit verhältnismässigen Massnahmenkosten erreicht wird. Bei BWK II-i zeigt sich der Einfluss des gegen null gehenden Infrastrukturzinssatzes bei höheren Erfüllungsfaktoren, wobei die Massnahmeneffizienz hauptsächlich durch die Zahlungsbereitschaft zum Schutz der Infrastrukturfunktion dominiert wird. In diesem Fall kann das grundsätzlich anzustrebende Ziel von $\alpha_{\text{int}} \geq 1,0$ nicht mit der Massnahmeneffizienz begründet werden.

Erläuterungen:

Bei der BWK II und Verwendung von Anhang E werden die Kosten aus Bauwerk, Sachen und Betrieb berücksichtigt, wobei das Risiko infolge Betriebsunterbrechung den grössten Einfluss hat. Die Risiken für Personen und Sachen sind um mehrere Grössenordnungen kleiner als das Gesamtrisiko und somit vernachlässigbar.

Bei der BWK II-i werden zur Ermittlung der sogenannten Zahlungsbereitschaft alle Werte aus dem Bauwerk und den direkt betroffenen Sachen addiert und mit dem Infrastruktursatz multipliziert. Dieser ist Null, falls der Erfüllungsfaktor $\alpha_{\text{eff}} > 0,7$ beträgt. Da die Erfüllungsfaktoren beim betrachteten Bauwerk für $MP_{1,0}$ und $MP_{0,75}$ vor der Intervention weit unter diesem Wert liegen, werden die maximalen verhältnismässigen Investitionskosten dominiert durch die Zahlungsbereitschaft für den Schutz der Infrastrukturfunktion.

Verzeichnis

In der Richtlinie wird auf die nachstehenden Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Normen und Publikationen verwiesen, die im Sinne der Verweisungen ganz oder teilweise mitgelten. Es gilt die jeweilige letzte Ausgabe (einschliesslich aller Änderungen).

- [1] Eisenbahngesetz vom 20. Dezember 1957 (EBG), SR 742.101
- [2] Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen vom 23. November 1983 (Eisenbahnverordnung, EBV), SR 742.141.1
- [3] Verordnung über das Plangenehmigungsverfahren für Eisenbahnanlagen vom 2. Februar 2000 (VPVE), SR 742.142.1
- [4] BAV-Richtlinie zu Artikel 3 der VPVE (RL VPVE), Anforderungen an Planvorlagen, Bundesamt für Verkehr (BAV), Infrastruktur und Sicherheit.
- [5] BAV-Richtlinie Unabhängige Prüfstellen Eisenbahnen (RL UP-EB), Einsatz von unabhängigen Prüfstellen für Konformitäts- und Sicherheitsbewertungen in Bewilligungsverfahren für Eisenbahnen, Bundesamt für Verkehr (BAV), Infrastruktur und Sicherheit.
- [6] ESTI-Richtlinie Nr. 248, Erdbebensicherheit der elektrischen Energieverteilung in der Schweiz, Eidgenössisches Starkstrominspektorat (ESTI), Bundesamt für Verkehr (BAV).
- [7] Ordnung SIA 103, Leistungen und Honorare der Bauingenieurinnen und Bauingenieure
- [8] Verständigungsnorm SIA 112, Modell Bauplanung
- [9] Normen SIA 260 bis 267, Tragwerksnormen (Neubauten)
- [10] Normen SIA 269 ff. (insb. SIA 269/8), Erhaltung von Tragwerken (Bestande Bauten)
- [11] Norm SIA 469, Erhaltung von Bauwerken
- [12] Erdbebensicherheit sekundärer Bauteile und weiterer Installationen und Einrichtungen. Empfehlungen und Hinweise für die Praxis, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Umwelt-Wissen Nr. 1643, 2016.
- [13] ASTRA-Dokumentation 82017, Erdbebensicherheit von Erd- und Stützbauwerken – Bemessung und Überprüfung“, Bundesamt für Strassen (ASTRA), 2019.
- [14] ASTRA-Dokumentation 82018, Erdbebensicherheit von Erd- und Stützbauwerken – Fallbeispiele, Bundesamt für Strassen (ASTRA), 2019.