

Stadt Solothurn

Schulhaus Hermesbühl: Überprüfung Erdbebensicherheit

Version 1.10 | 26. März 2018

Eigentümer:

Stadt Solothurn, vertreten durch das Stadtbauamt Abteilung Hochbau

Inhalt

1. Ausgangslage	1
1.1. Auftrag	1
1.2. Standort	1
1.3. Objektbeschreibung	1
1.4. Nutzung und Bauwerksklasse	2
1.5. Erdbeben und SIA-Normen	2
2. Grundlagen Erdbebenberechnung	3
2.1 Einleitung	3
2.2 Beurteilung des Erfüllungsgrades gemäss SIA 269/8 «Erhaltung von Tragwerken - Erdbeben»	3
2.3 Randbedingungen gemäss SIA 261	4
2.4 Verformungsverhalten und Berechnungsverfahren	5
2.5 Normen	5
2.6 Qualität der Grundlagen	5
2.7 Für die Berechnung angenommene Materialeigenschaften	6
2.8 Für die Berechnung angenommene Massen	6
3. Resultate Erdbebenberechnung	7
3.1 IST-Zustand	7
4. Verhältnismässigkeit von Erdbebensicherheitsmassnahmen	9
4.1 Personen	9
4.2 Beurteilung der Verhältnismässigkeit	10
5. Zusammenfassung	11
6. Revisionen	11

1. Ausgangslage

1.1. Auftrag

Im Auftrag der Stadt Solothurn (vertreten durch das Stadtbauamt, Abteilung Hochbau) haben wir den Auftrag erhalten, die Erdbebensicherheit des Schulhauses Hermesbühl in Solothurn zu überprüfen.

1.2. Standort

Adresse: Hermesbühlstrasse, 4500 Solothurn

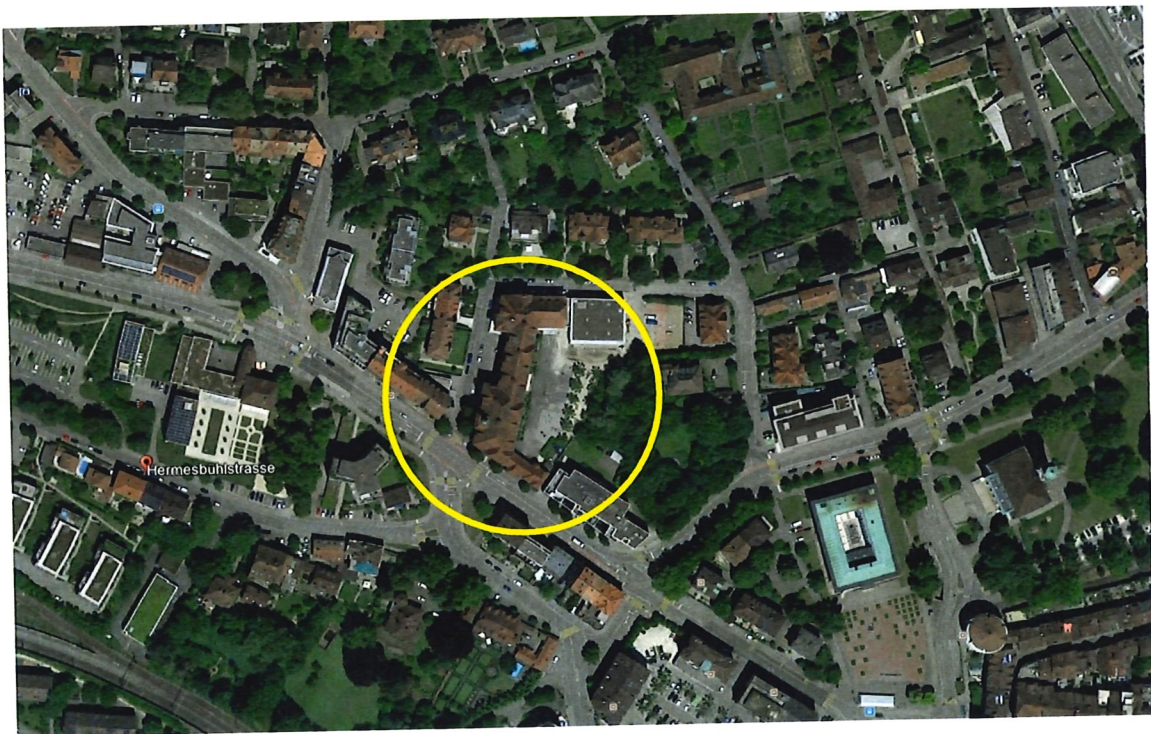


Abbildung 1: Standort

1.3. Objektbeschreibung

Das Schulhaus Hermesbühl an der Hermesbühlstrasse in 4500 Solothurn wurde mehrmals erweitert. Das ursprüngliche Gebäude besteht aus einem Sockel-, drei Obergeschosse, einem Dach- und einem doppelstöckigen Estrichgeschoss. Der Grundriss des Objektes hat die Form eines U. Das Aussenmauerwerk des Sockelgeschosses besteht aus Stampfbeton. Die Innen- sowie die Aussenwände ab dem Erdgeschoss bestehen aus Natur- resp. Backsteine. Die Decken vom Sockelgeschoss bis zum 3. Obergeschoss sind bewehrte Rippendecken. Die Decke über das Dachgeschoss ist eine Holzbalkendecke. Der Estrichteil ist komplett aus Holz.

2. Grundlagen Erdbebenberechnung

2.1 Einleitung

Die Erdbebenüberprüfung bestehender Gebäude gemäss der neuen SIA-Normen-Generation basiert im Wesentlichen auf einem Vergleich der Erdbebeneinwirkungen mit dem vorhandenen Widerstand des bestehenden Bauwerkes. Daraus resultiert ein sogenannter Erfüllungsgrad.

Aufgrund dieses Erfüllungsgrades und verschiedener Faktoren wie Bauwerksklasse und Restnutzungsdauer wird festgelegt, ob Verstärkungen erforderlich sind.

2.2 Beurteilung des Erfüllungsgrades gemäss SIA 269/8 «Erhaltung von Tragwerken - Erdbeben»

Die Überprüfung eines bestehenden Bauwerks bezüglich Erdbeben erfolgt in vier Schritten:

- **Zustandserfassung:** Das Verhalten des Bauwerks unter Erdbebeneinwirkung wird untersucht
- **Rechnerische Untersuchung:** Berechnung des Erfüllungsfaktors
- **Zustandsbeurteilung:** weist das Bauwerk eine akzeptierte Sicherheit auf, unter Berücksichtigung der Verhältnismässigkeit
- **Massnahmenempfehlung:** basierend auf den Ergebnissen der Zustandsbeurteilung

Bei der Zustandsbeurteilung wird jedes Tragelement, welches für die Abtragung von horizontalen Kräften geeignet ist, überprüft. Dabei wird der «effektive» Erfüllungsfaktor α_{eff} ermittelt.

Für die Ermittlung des Faktors werden die normgemässen Auswirkungen mit den normgemässen Widerständen verglichen. Nach dem kraftbasierten Verfahren berechnet sich der Faktor folgendermassen:

$$\alpha_{eff} = \frac{A_R}{A_{d,actM}}$$

Dabei gilt: A_R = nominelles Versagen von Bauteilen
 $A_{d,act}$ = Überprüfungswert der Erdbebeneinwirkung

Für die Beurteilung des vorhandenen Erdbebenwiderstandes wird der ermittelte Erfüllungsfaktor α_{eff} mit den Schwellenwerten α_{min} verglichen:

- $\alpha_{eff} < \alpha_{min}$ Massnahmen erforderlich
- $\alpha_{eff} \geq \alpha_{min}$ Beurteilung der Verhältnismässigkeit. Massnahmen sind erforderlich, falls die Verhältnismässigkeit gegeben ist.

Bauwerksklasse	Mindesterfüllungsfaktor α_{min}
BWK I	0.25
BWK II (ohne BWK II-s und BWK II-i)	0.25
BWK II-s (Schulen und Kindergärten)	0.40
BWK II-i (Bauwerke mit bedeutender Infrastrukturfunktion)	0.40
BWK III	0.40

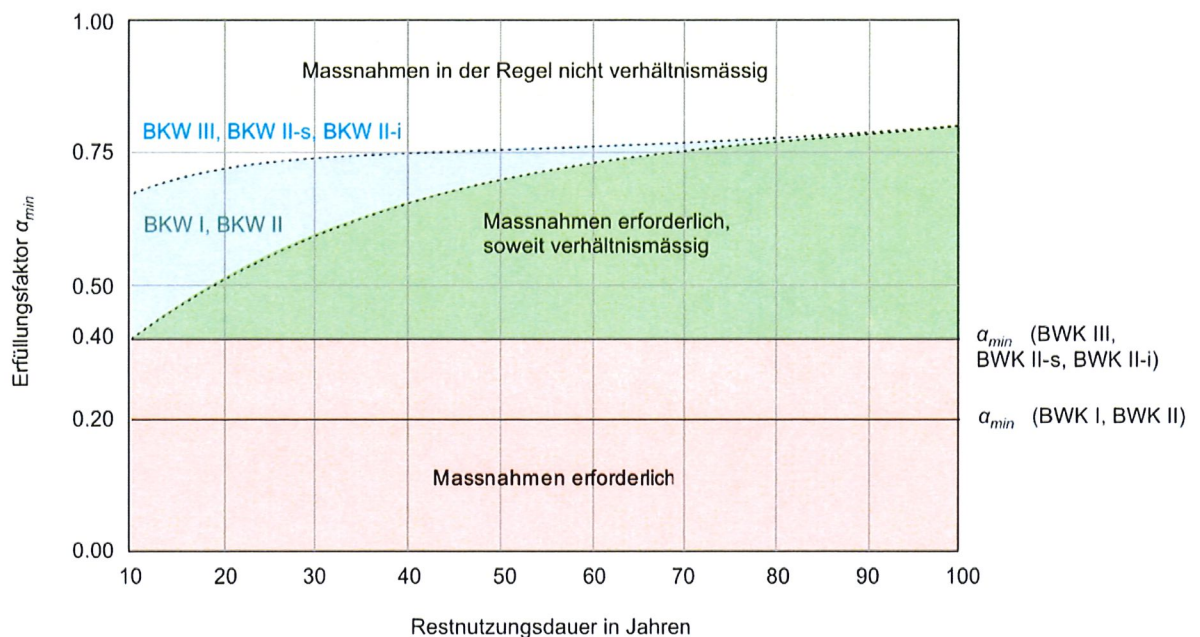
Tabelle 1: Mindesterfüllungsfaktor α_{min} der Tragsicherheit

Abbildung 2: Rechnerische Beurteilung der Tragsicherheit

Das Gebäude wird gemäss SIA Norm 269/8 in die Bauwerksklasse II-s (Schulen und Kindergärten) eingestuft. Die Restnutzungsdauer wird auf 50 Jahren festgesetzt. Der Mindesterfüllungsfaktor (α_{min}) der Erdbebensicherheit beträgt 0.40. Der Erfüllungsfaktor für die erforderlichen Massnahmen und soweit diese verhältnismässig sind, liegt zwischen 0.40 und 0.70. Werte welche über die 0.70 liegen sind in der Regel nicht mehr verhältnismässig.

2.3 Randbedingungen gemäss SIA 261

Für die Erdbebenüberprüfung des Objektes wurden gemäss SIA-Norm 261 folgende Parameter festgelegt:

- Erdbebenzone: Z1 ($a_{gd} = 0.6 \text{ m/s}^2$)
- Bauwerksklasse: II-s ($\gamma_f = 1.0$)
- Baugrundklasse: C
- Verhaltensbeiwert: $q = 1.5$ (für die Push-Over Analyse nicht relevant)

- Anzahl Obergeschosse: 4 (inkl. Dachgeschoss) + 2 Estrichgeschosse
- Anzahl Untergeschosse: 1 (Sockelgeschoss)
- Angenommener Einbindungshorizont: Boden Sockelgeschoss

2.4 Verformungsverhalten und Berechnungsverfahren

Es wurde eine Push-Over-Analyse gemäss den vorher beschriebenen Grundlagen und Randbedingungen durchgeführt.

Das verwendete Push-Over-Verfahren ist ein nichtlineares Analyseverfahren für bestehende Bauten, das den Eigenschaften von Mauerwerk unter Erdbebeneinwirkung Rechnung trägt. In stark erdbebengefährdeten Gebieten (Kalifornien, mittlerer Osten, Japan) ist Push-Over das am häufigsten eingesetzte Verfahren zur Erdbebenberechnung.

Die Berechnung erfolgte mit dem Statikprogramm „3Muri“ (Version 10.1.0.3), betrieben durch die Firma Ingware GmbH.

2.5 Normen

Als Grundlage für die statische Berechnung dient das SIA-Normenwerk (2003):

- SIA 260 (2013), Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
- SIA 261 (2014), Einwirkungen auf Tragwerke
- SIA 262 (2013), Betonbau
- SIA 263 (2013), Stahlbau
- SIA 266 (2003), Mauerwerk
- SIA 269/8 (2017), Erhaltung von Tragwerken - Erdbeben
- SIA D0211 Dokumentation zum Merkblatt SIA 2018
- SIA D0237 Beurteilung von Mauerwerksgebäuden bezüglich Erdbeben

2.6 Qualität der Grundlagen

- | | |
|---|--|
| <input type="radio"/> Sehr Gut | Baupläne vollständig vorhanden, detaillierte Kenntnis der Bauteilabmessungen und der Materialeigenschaften, keine Unsicherheiten bezüglich der relevanten Berechnungsannahmen und der Ausführungsqualität. |
| <input type="radio"/> Gut | Baupläne teilweise vorhanden, gute Kenntnisse der Bauteilabmessungen und der Materialeigenschaften, geringe Unsicherheiten bezüglich der relevanten Berechnungsannahmen und der Ausführungsqualität. |
| <input checked="" type="radio"/> Mittel | Baupläne teilweise vorhanden, ungefähre Kenntnisse der Bauteilabmessungen und der Materialeigenschaften, Verwendung von Schätzwerten bei Berechnungsannahmen erforderlich. Sondagen vor Ort fanden statt. |

- Gering Baupläne nur vereinzelt, resp. nicht vorhanden, geringe Kenntnisse der Bauteilabmessungen und der Materialeigenschaften, erhebliche Unsicherheiten bei den Berechnungsannahmen.

2.7 Für die Berechnung angenommene Materialeigenschaften

- **Backstein**
 $f_{xd} \approx 1.80 \text{ N/mm}^2$
- **Baustahl (Innenstützen):**
Annahme: St. 42, entspricht der Stahlsorte S 275 ($f_y=275 \text{ N/mm}^2$, $f_u=430 \text{ N/mm}^2$)

2.8 Für die Berechnung angenommene Massen

Lage des Einbindehorizont: OK Decke über Untergeschoss

Beschreibung der Bauteile	$g_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	γ_g	$\gamma_g^* g_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$
Eigenlasten Backsteinmauerwerk	$\gamma_b = 13 \text{ kN/m}^3$	1.0	$\gamma_b = 13 \text{ kN/m}^3$
Eigenlasten Kalksandsteinmauer.	$\gamma_b = 18 \text{ kN/m}^3$	1.0	$\gamma_b = 18 \text{ kN/m}^3$
Auflast OG	2.0	1.0	2.0
Auflast Dachgeschoss	2.0	1.0	2.0
Auflast Estrich	2.0	1.0	2.0
Auflast Dach	2.0	1.0	2.0
Nutzlasten gemäss SIA 261	$q_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	Ψ_{2l}	$\Psi_{2l}^* q_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$
Schnee	1.0	0.0	0.0
Dachgeschoss	2.0	0.3	0.6
Obergeschosse (Kat. C1)	3.0	0.3	0.9
Dach	0.4	0.0	0.0
Treppen (Kat. A3)	4.0	0.3	1.2

Tabelle 2 Angenommene Massen

3. Resultate Erdbebenberechnung

3.1 IST-Zustand

Analyse	Richtung	Lastansatz	dt [cm]	dm [cm]	α_{eff}	Bemerkungen
1	+X	Massen	0.8	2.68	2.52	
2	+X	1°Modus	0.76	2.53	3.30	
3	-X	Massen	0.59	2.76	4.64	
4	-X	1°Modus	0.68	3.34	4.91	
5	+Y	Massen	0.03	0.66	21.67	
6	+Y	1°Modus	0.03	0.65	18.70	
7	-Y	Massen	0.03	0.65	22.31	
8	-Y	1°Modus	0.03	0.64	19.25	
9	+X	Massen	0.68	2.22	0.80	Kleinsten Wert
10	+X	Massen	0.81	2.84	3.49	
11	+X	1°Modus	0.76	2.28	2.98	
12	+X	1°Modus	0.77	2.87	3.71	
13	-X	Massen	0.59	2.75	4.63	
14	-X	Massen	0.6	3.44	5.74	
15	-X	1°Modus	0.68	2.71	4.00	
16	-X	1°Modus	0.69	3.31	4.84	
17	+Y	Massen	0.03	0.65	22.15	
18	+Y	Massen	0.03	0.66	21.29	
19	+Y	1°Modus	0.03	0.65	19.14	
20	+Y	1°Modus	0.04	0.66	18.35	
21	-Y	Massen	0.03	0.65	22.72	
22	-Y	Massen	0.03	0.41	13.84	
23	-Y	1°Modus	0.03	0.64	19.52	
24	-Y	1°Modus	0.03	0.64	18.74	

Tabelle 3 Resultate

Legende:

Analyse	Analyse Nr.
Richtung	Schwingungsrichtung
Lastansatz	Verteilung seismische Last
dt	Verschiebungsvermögen
dm	Elastische Verschiebung
α_{eff}	Erfüllungsgrad

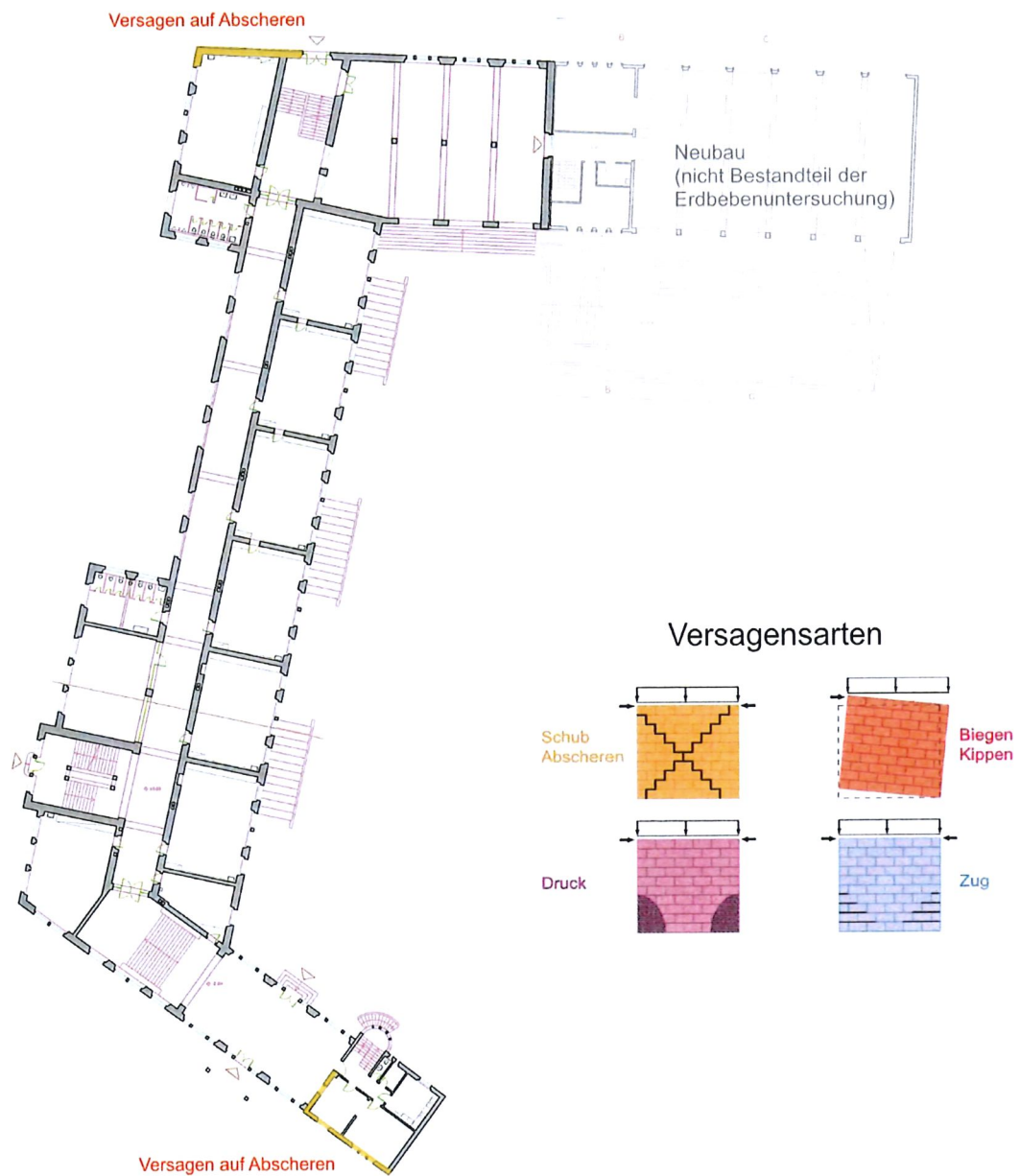


Abbildung 3: Schadensbild (Erdgeschoss)

4. Verhältnismässigkeit von Erdbbensicherheitsmassnahmen

Erdbbensicherheitsmassnahmen umfassen Massnahmen zur Verbesserung des Schutzes von Personen, Sachwerten, kulturellen Werten und der Umwelt vor den Folgen eines Erdbebens sowie zur Vermeidung von Infrastruktur- oder Betriebsunterbrüchen infolge von Erdbeben.

Die Verhältnismässigkeit von Erdbbensicherheitsmassnahmen wird durch Gegenüberstellung des für die Massnahmen erforderlichen Aufwands und der damit erzielten Risikoreduktion bestimmt.

4.1 Personen

Geschoss	Spez. Personenbelegung (Pers./Gebäudekennzahl)	Gebäudekennzahl (Anzahl Klassenzimmer)	Personenbelegung
Sockel	2	3	6
1. OG	5	9	45
2. OG	5	9	45
3. OG	5	9	45
DG	5	9	45

Tabelle 4 Richtwerte für spezifische Personenbelegung

	B_i (Personen)	h_i (Stunden/Tag)	d_i (Tage/Woche)	w_i (Woche/Jahr)	$PB = B_i \cdot h_i \cdot d_i \cdot w_i / 8736$ (Personen/Jahr)
Sockel	6	4	5	40	0.55
1.OG	45	8	5	40	8.24
2.OG	45	8	5	40	8.24
3. OG	45	8	5	40	8.24
DG	45	8	5	40	8.24
					33.51

Tabelle 5 Personenbelegung

4.2 Beurteilung der Verhältnismässigkeit

Sicherheitskosten $SC_M = DF \times SIC_M = 9'150 \text{ Fr./Jahr}$

Personenrisikos $\Delta RP_M = \Delta PRF_M \times PB \times GK = 1'206 \text{ Fr./Jahr}$

Massnahmeneffizienz $EF_M = \frac{\Delta R_M}{SC_M} = \frac{1'206}{9'150} = 0.13 < 1$

Die Massnahmeneffizienz ist kleiner als 1 und entspricht gemäss Definition der SIA269/8 der Erbebensicherheitsmassnahmen als nicht verhältnismässig.

Legende

ΔR_M	Jährliche, in Geldeinheiten bewertete Risikoreduktion infolge von Erdbebensicherheitsmassnahmen, in Fr./Jahr
SC_M	Jährliche Kosten der Erdbebensicherheitsmassnahmen, in Franken/Jahr
SIC_M	Sicherheitsbezogene Investitionskosten, in Franken (geschätzt 150'000.-)
DF	Diskontierungsfaktor (SIA 269/8, Kap. 10.7.2) = 0.061
ΔRP_M	Personenrisikos in Franken/Jahr
ΔPRF_M	Differenz der massgebenden Risikofaktoren, pro Jahr = 3.6E-6
PB	Erwartungswert der Personenbelegung, als Anzahl Personen (siehe Ta. 5, Personenbelegung = 33.51)
GK	Grenzkosten (SIA 269/8, Kap. 10.3.9) = 10 Mio. pro gerettetes Menschenleben

5. Zusammenfassung

Nach erfolgter Überprüfung zeigt sich, dass der Mindesterfüllungsfaktor von 0.40 erreicht wird. Der kleinste ermittelte Erfüllungsfaktor liegt bei 0.80 und somit unter dem geforderten Wert von 1.0. Um den Erfüllungsfaktor zu erhöhen, haben wir verschiedene Erdbebenmassnahmen abgeschätzt und deren Verhältnismässigkeit überprüft.

Die Massnahmeneffizienz liegt unter dem Schwellenwert von 1.0 und gilt somit gemäss Definition der SIA269/8 als nicht verhältnismässig.

Zum jetzigen Zeitpunkt sind daher keine zusätzlichen Massnahmen für eine Erdbebenverstärkung vorzusehen.

Die Resultate dieses Berichtes schliessen aber eine zukünftige Sanierungspflicht nicht aus.

6. Revisionen

Index	Datum	Änderung	Verfasser
1.00	31.01.2018	Erstfassung	Ro
1.10	26.03.2018	Restnutzungsdauer auf 50 Jahre erhöht. Möglicher Schadensbild eingeführt.	Ro

Solothurn, 26. März 2018

Emch+Berger AG Solothurn



Claudio Romere
Projektleiter



Fredy Biedermann
Projektleiter