

Schulanlage Horbern

Erdbebenüberprüfung

Überprüfung der Erdbebensicherheit gem. SIA 269/8

Abbildung der überprüften Bauwerke



Bauherr : Einwohnergemeinde Muri, Thunstrasse 74, 3074 Muri b. Bern
Objektnummer und Objektname: 10938 Schulanlage Horbern Muri
Beauftragter Bauingenieur: Bächtold & Moor AG, Giacomettistrasse 15, 3000 Bern 31

Erstellt am	Teilphase	Ersteller	Geprüft	Freigegeben
09.04.2020	Vorstudie	Stefan Stähli	Michael Gundi	Michael Gundi

Zusammenfassung: Erdbebenüberprüfung

Im Rahmen unseres Auftrags, Sanierung und Gesamtkonzept Schulanlage Horbern, wurde die Erdbebensicherheit der drei Gebäude Klassentrakt (Teil Nord und Süd), Tagesschule und Turnhalle in einer ersten Stufe analog dem Vorgehen für Bundesbauten (Standard nach BAFU, Formular 7) überprüft und beurteilt.

Die horizontal aussteifenden Wände im Klassentrakt und in der Tagesschule bestehen aus Mauerwerk. Das Tragwerk der Turnhalle ist eine Rahmenkonstruktion in Stahlbeton. Die Decken sind mit Ausnahme der nachträglich eingebauten Massivholzdecke im OG der Tagesschule in Stahlbeton erstellt. Die Schulgebäude sind der Bauwerksklasse BWK II-s zuzuordnen und weisen daher erhöhte Anforderungen an den Erdbebenwiderstand auf.

Die Überprüfung der bestehenden Gebäude hinsichtlich Anforderungen an heutige Neubauten hat ergeben, dass grundsätzlich die Tragsicherheit gegen Einwirkungen aus Erdbeben in einem annehmbaren Zustand ist. Einzelne Gebäudetrakte und Bauteile hingegen weisen konstruktive Mängel und eine unzureichende Tragfähigkeit auf. Die Ergebnisse mit Schwachstellen und möglichen Massnahmenkonzepten sind nachfolgend zusammengefasst:

- Klassentrakt Nord:

Der Erdbebenwiderstand ist grundsätzlich unzureichend. Grund dafür ist, dass eine Haupttrennwand in Gebäude Querrichtung bei einem Umbau abgebrochen wurde (Bühnensaal) und generell verhältnismässig wenige, über alle Geschosse durchlaufenden Wandscheiben vorhanden sind. Als mögliche Massnahme kann mit dem Einbau des neuen Lifts (Stahlbeton) der Erdbebenwiderstand erhöht und das Gebäude ausreichend ausgesteift werden. Alternativ kann statisch geprüft werden, ob die beiden Gebäudeteile Klassentrakt Nord und Süd bei der Dilatationsfuge verbunden werden können, um so ebenfalls das gesamte Gebäude robuster zu gestalten.

- Klassentrakt Süd:

Da der Südtrakt in beiden Richtungen verhältnismässig viele, durchlaufende Wandscheiben aufweist, liegt der Erdbebenwiderstand in einem akzeptablen Bereich. In Gebäudequerrichtung reduzieren diverse Türöffnungen in den Wänden den Erdbebenwiderstand, deshalb liegt der Erfüllungsfaktor etwas tiefer, in einem Bereich wo Massnahmen auf Verhältnismässigkeit zu prüfen sind. Optional wäre das Schliessen von Wanddurchbrüchen zu prüfen oder zumindest ist sicherzustellen, dass keine weitere, erhebliche Schwächung durch neue Durchbrüche im Rahmen einer Sanierung erfolgen.

- Tagesschule:

Der globale Erdbebenwiderstand des im Jahr 2009 umgebauten Gebäudes ist in einem akzeptablen Zustand. Die lokale Zwischendecke im Obergeschoss weist in Längsrichtung nur wenige aussteifende Wandscheiben auf. Deshalb liegt der Erdbebenwiderstand lokal in einem Bereich, wo Massnahmen auf ihre Verhältnismässigkeit zu prüfen sind.

Als Massnahme wäre statisch genauer zu prüfen wie die Zwischendecke und der Dachaufbau stabilisiert sind. Allenfalls ist eine zusätzliche Aussteifung notwendig, um den Erdbebenwiderstand zu erhöhen. Der Widerstand des Erdgeschosses ist unproblematischer und liegt im akzeptablen Bereich.

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

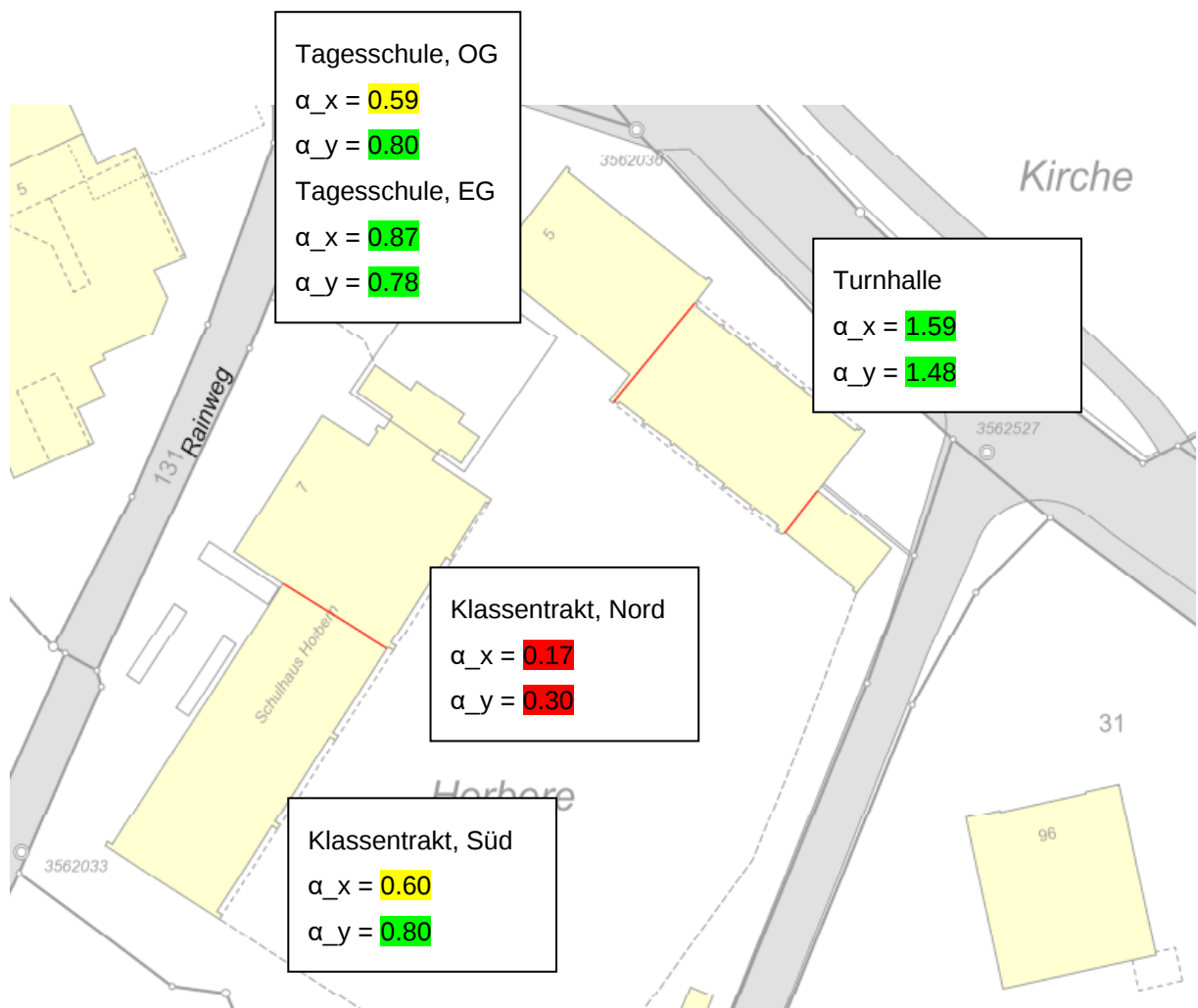
- Turnhalle:

Die Turnhallendecke ist eine Betondecke mit Unterzügen. Anhand der Bewehrungsliste (Bauwerksakten) kann davon ausgegangen werden, dass die Unterzügen zusammen mit den Stützen als Rahmentragwerk wirken. Der Erdbebenwiderstand des angenommenen Modells liegt im akzeptablen Bereich. Eine Vergleichsrechnung hat gezeigt, dass die Decke im Lastfall Tragsicherheit mit Schneelast stärker ausgelastet ist, als im Erdbebenfall, und damit Erdbeben nicht massgebend ist. Die Tragsicherheit ist mit einem Erfüllungsfaktor von 1.48 bis 1.59 erfüllt.

Als Massnahmen, ist mit der weiterführenden Projektierung mittels Sondagen vor Ort zu prüfen und verifizieren, ob die getroffenen Annahmen bzgl. Rahmentragwirkung auch effektiv der Realität entsprechen.

Abb. 1: Übersicht der massgebenden Erfüllungsfaktoren:

grün = Massnahmen in der Regel nicht verhältnismässig, gelb = Massnahmen erforderlich, soweit verhältnismässig, rot = Massnahmen erforderlich



Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

Inhaltsübersicht

Schulanlage Horbern.....	1
Erdbebenüberprüfung.....	1
Zusammenfassung: Erdbebenüberprüfung.....	2
Inhaltsübersicht	4
Projektinformationen und Grundlagen.....	5
1 Objekt und Projektbeteiligte	5
2 Nutzung und Bauwerksklasse	5
3 Besondere Anforderungen und Randbedingungen des Bauherrn.....	5
Generelle Untersuchung: Zustandserfassung und Zustandsbeurteilung	7
4 Beschreibung des Bauwerks.....	7
5 Konzeptionelle Gestaltung und konstruktive Durchbildung.....	13
6 Baustoffeigenschaften.....	15
7 Einwirkungsparameter.....	16
8 Tragwerksanalyse	16
9 Zustandsbeurteilung.....	21
10 Fazit und Massnahmenempfehlungen	25

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

Projektinformationen und Grundlagen

1 Objekt und Projektbeteiligte

Objektnummer / -name: 10938 Schulanlage Horbern

Adresse/PLZ Ort: Rainweg 5, 3074 Muri b. Bern

Gemeinde/Kanton: Muri / Bern

Bauherr, Projektleiter: Einwohnergemeinde Muri, Thunstrasse 74, 3074 Muri b. Bern

Architekt, Gesamtleiter: Bürgi Schärer Architekten AG, Stefan Schärer, Optingenstrasse 54, 3000 Bern 22

Bauingenieur: Bächtold & Moor AG, Giacomettistrasse 15, 3000 Bern 31

Projektart: ☐ Instandsetzung ☒ Umbau ☐ Nutzungsänderung

Geplante Ausführung: Gesamtsanierung über die nächsten Jahre.

Geplante Inbetriebnahme: Der Schulbetrieb soll durchgehend vor Ort gewährleistet werden.

2 Nutzung und Bauwerksklasse

Benutzer, Mieter: Primar- und Tagesschule

Bauwerksnutzung: Schulanlage

Personenbelegung:

Klassentrakt, Nord	☒ ≤ 50	☐ > 50	6 Klassenzimmer + 3 Zimmer
Klassentrakt, Süd	☒ ≤ 50	☐ > 50	9 Klassenzimmer
Tagesschule	☒ ≤ 50	☐ > 50	ca. 6 Klassenzimmer + 6 Zimmer
Turnhalle	☒ ≤ 50	☐ > 50	Annahme: 2 Klassen gleichzeitig

Bauwerksklasse: ☐ BWK I ☐ BWK II
☐ BWK II-i ☒ BWK II-s ☐ BWK III

Begründung: Schulgebäude

Baujahr: 1955 **Restnutzungsdauer:** n = 30 Jahre (Annahme Gesamtnutzungsdauer Tragwerk = 80 bis 100 Jahre)

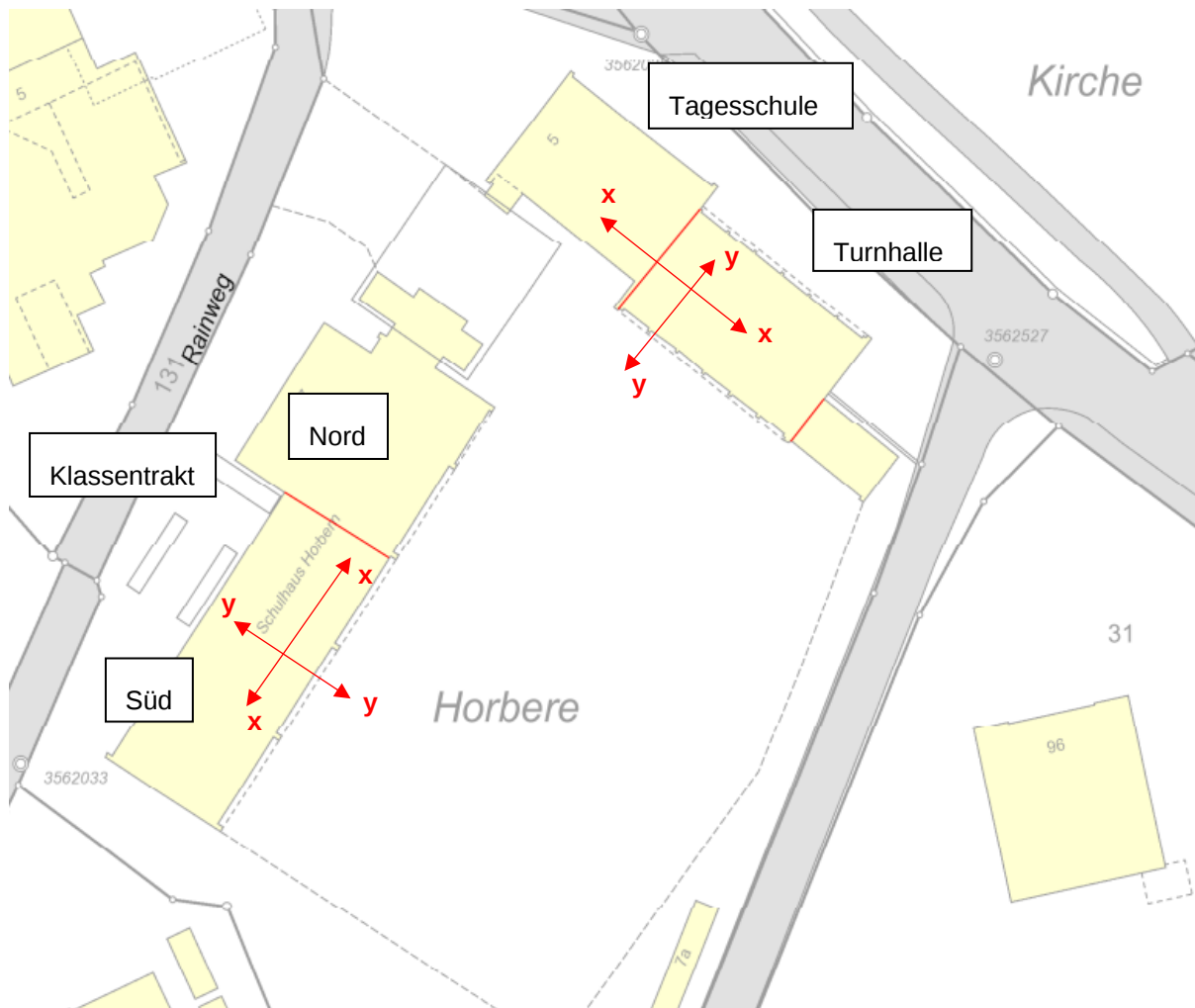
3 Besondere Anforderungen und Randbedingungen des Bauherrn

Die Schulanlage Horbern wurde 1957 erbaut. Mit Ausnahme der Tagesschule wurden die Gebäude noch nicht umfassend saniert. In den nächsten Jahren sollen Klassentrakt und Turnhalle einer Gesamtsanierung unterzogen werden. Im Rahmen der geplanten Umbauarbeiten soll die Erdbebensicherheit der drei Gebäude überprüft werden und Empfehlungen zu Ertüchtigungsmassnahmen in Zusammenarbeit mit den Architekten und Nutzungsanforderungen Auftraggeber festgelegt werden.

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

Abb. 2: Überblick über die zu untersuchenden Gebäude



Im Rahmen des Grundauftrages wird die Erdbebensicherheit der drei Gebäude Haupthaus, Tagesschule und Turnhallen in einer ersten Stufe analog dem Vorgehen für Bundesbauten (Standard nach BAFU, Formular 7) nachgerechnet und beurteilt.

Generelle Untersuchung: Zustandserfassung und Zustandsbeurteilung

4 Beschreibung des Bauwerks

4.1 Grundlagen

4.1.1 Plangrundlagen

- ☒ Architektenpläne
- ☒ Bauingenieurpläne (Schalungs- und Armierungspläne)
- ☐ Ursprüngliche statische Berechnungen
- ☐ Baugrunduntersuchungen

Bemerkungen: keine

☒ Begehung erfolgt am: 29.01.2020

☒ Bauwerksuntersuchungen notwendig: Verifikation Rahmentragwerk Turnhalle (Stufe 2)

Beschreibung: Zur Zeit sind für die Erdbebenüberprüfung keine Untersuchungen notwendig

4.1.2 Normative Grundlagen

- ☒ SIA 269/8 (2017) Erhaltung von Tragwerken - Erdbeben
- ☒ Andere:
- SIA 260 (2013) Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
- SIA 261 (2014) Einwirkungen auf Tragwerke
- SIA 261/1 (2003) Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen
- SIA 262 (2013) Betonbau
- SIA 262/1 (2013) Betonbau – Ergänzende Festlegungen
- SIA 266 (2013) Mauerwerk
- SIA 266/1 (2003) Mauerwerk – Ergänzende Festlegungen
- SIA 269 (2011) Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken
- SIA 269/1 (2011) Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen
- SIA 269/2 (2011) Erhaltung von Tragwerken – Betonbau

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

4.2 Geometrie

Anzahl Geschosse über Terrain:	Klassentrakt:	4 Geschosse (UG, EG, OG, DG)
	Tagesschule:	3 Geschosse (EG, OG, DG)
	Turnhalle:	2 Geschosse (EG, DG)
Höhe über Terrain:	Klassentrakt:	10.5 m über Terrain (exkl. DG)
	Tagesschule:	5.3 m über Terrain (exkl. DG)
	Turnhalle:	5.7 m über Terrain (exkl. DG)
Anzahl Untergeschosse:	Klassentrakt:	1 Geschoss (Kriechkeller)
	Tagesschule:	1 Geschoss
	Turnhalle:	1 Geschoss
Hohe unter Terrain:	Klassentrakt:	1.2 m
	Tagesschule:	2.5 m
	Turnhalle:	3.1 m
Einzelne Stockwerkshöhen:	Klassentrakt:	3.5 m
	Tagesschule:	EG 2.8 m, OG 2.5 m
	Turnhalle:	5.7 m
Länge des Bauwerks:	Klassentrakt:	43.4 m
	Tagesschule:	16.0 m
	Turnhalle:	18.8 m
Breite des Bauwerks:	Klassentrakt:	11.35 m
	Tagesschule:	10.0 m
	Turnhalle:	10.4 m
Grundrissform:	Klassentrakt:	Rechteck
	Tagesschule:	Rechteck
	Turnhalle:	Rechteck

Zwischengeschosse: ☐ ja ☒ nein Bemerkung: keine

Zusammenprall mit Nachbarbauten möglich: ☐ ja ☒ nein

Bemerkung: Der Klassentrakt wird durch eine Dilatationsfuge in einen Nord- und einen Südteil getrennt.
Die Tagesschule wird mit einer Dilatationsfuge von der Turnhalle getrennt.

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

4.3 Bestehendes Tragwerk (inklusive Baustoffe)

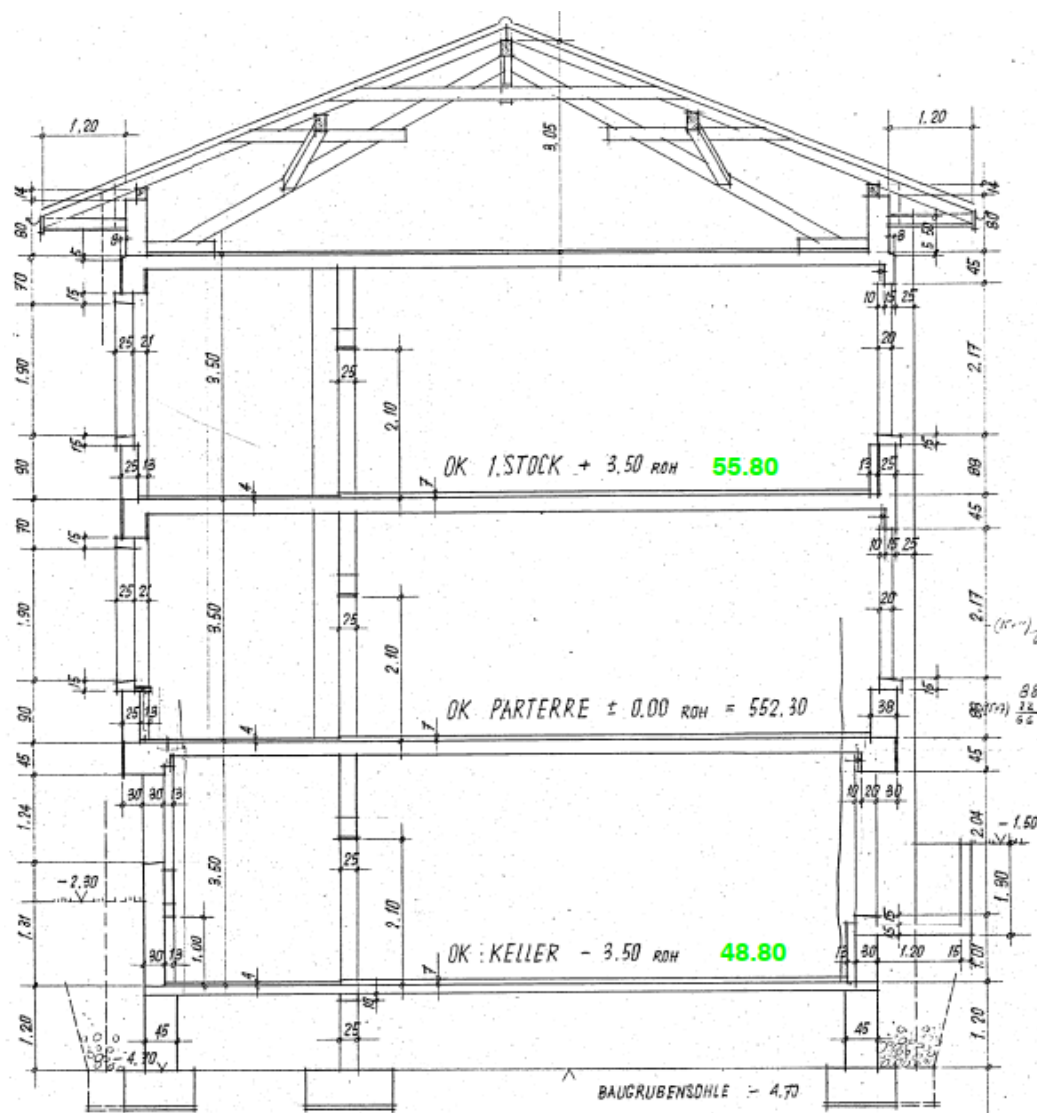
4.3.1 Bestehendes Tragsystem für Vertikallasten (Eigen-, Auf- und Nutzlasten)

Vertikale Tragelemente:

Klassentrakt: Das Gebäude wird durch eine Dilatationsfuge in zwei Abschnitte aufgeteilt. Der nördliche Teil inkl. Anbau Treppenhaus ist im Grundriss fast quadratisch, der südliche Teil rechteckig.

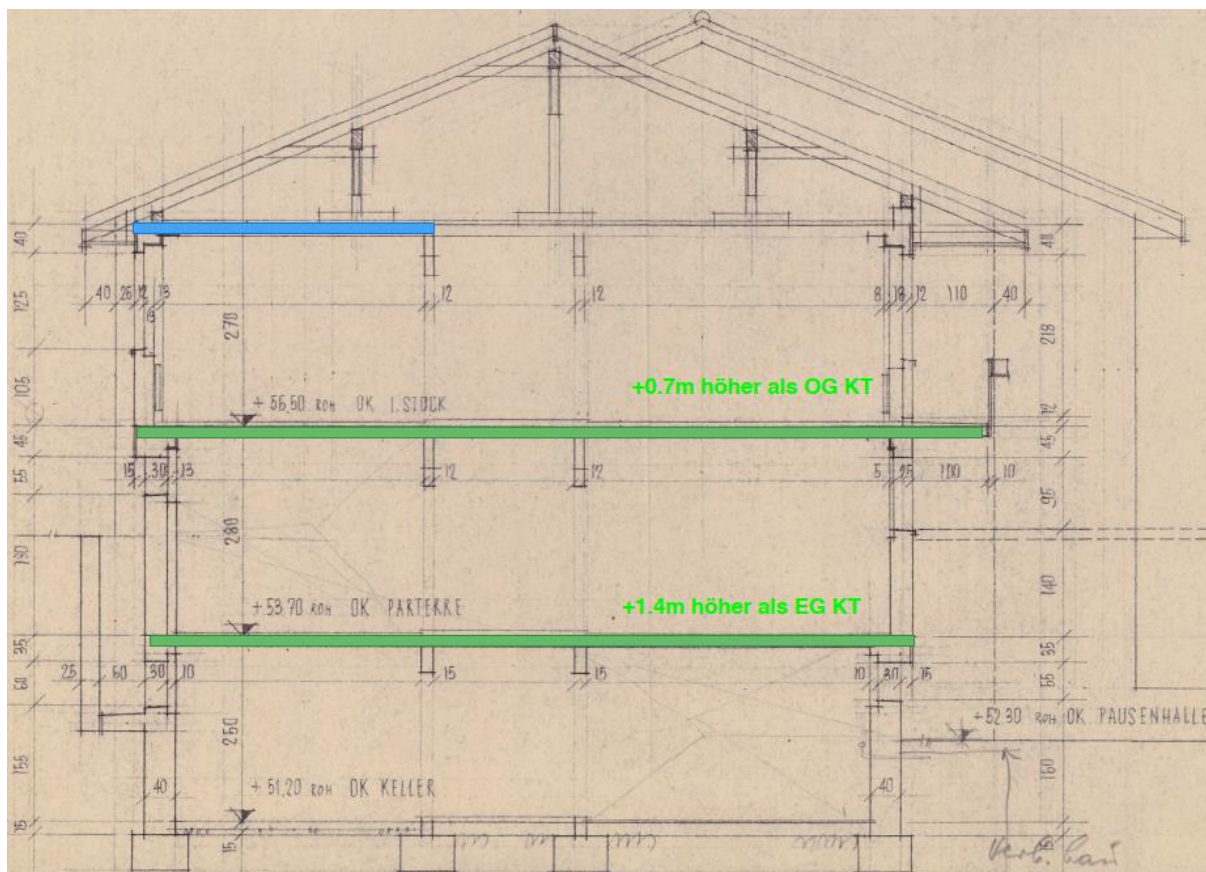
Die Decken wirken in beide Richtungen als Zwei- / Dreifeldträger. Die grössten Spannweiten betragen 7.70 bis 9.25 m. Die Auflager sind tragende Mauerwerks- wände: Aussenwände und eine längs verlaufende Innenwand.

Abb. 3: Querschnitt Klassentrakt, Süd



Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

Abb. 4: Querschnitt Tagesschule: grün = Stahlbetondecken, blau = Massivholzdecke

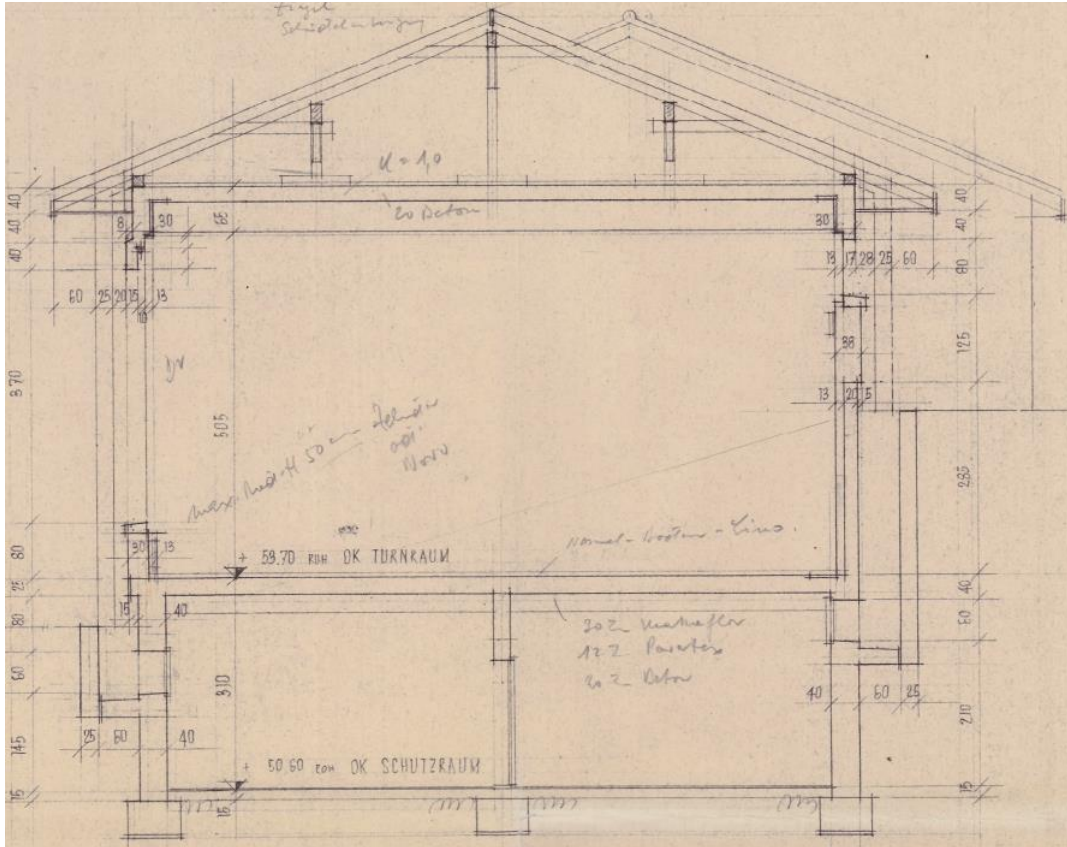


Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

Turnhalle: Das Gebäude wird durch eine Dilatationsfuge von der Tagesschule getrennt. Die Turnhallendecke ist eine Betondecke mit Unterzügen. Anhand der Bewehrungsliste kann davon ausgegangen werden, dass die Unterzüge zusammen mit den Stützen als Rahmen in Stahlbeton wirken. Die Spannweite der Unterzüge beträgt 10.9 m.

Abb. 5: Querschnitt Turnhalle



Decken:

Klassentrakt:	Decke über UG / EG / OG	= 20 cm dicke Massivbetondecken mit Überzügen
	Kellerboden	= 16 cm dicke Massivbetondecke
Tagesschule:	Decke über OG	= 20 cm dicke Massivholzdeck
	Decke über EG	= 14 - 20 cm dicke Massivbetondecken
	Decke über UG	= 14 - 20 cm dicke Massivbetondecken
Turnhalle:	Decke über OG	= 10 cm dicke Betondecke mit Unterzügen
	Decke über UG	= 25 cm dicke Massivbetondecke

Fundationen:

Klassentrakt:	Einzel- und Streifenfundamente in Kriechkeller
Tagesschule:	Streifenfundament
Turnhalle:	Streifenfundamente

4.3.2 Bestehendes Tragsystem für Horizontallasten

Für die kraftbasierte Erdbebenberechnung (Stufe 1), werden alle Wände im Bestand betrachtet, welche durch über alle Stockwerke vertikal durchlaufen, ohne durch Aussparungen unterbrochen zu werden. In Abb. 6 bis Abb. 8 sind diese Wände gelb markiert und beschriftet.

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

Abb. 6: Klassentrakt, über alle Geschosse durchgehende Erdbebenwände

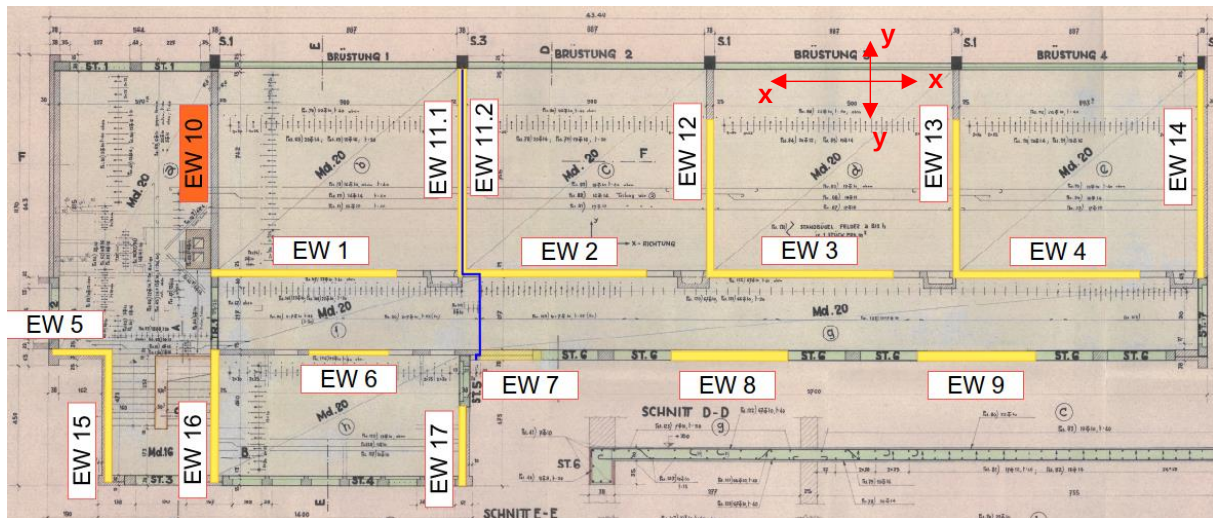


Abb. 7: Tagesschule, durchgehende Erdbebenwände (blaue Wände nur im EG und UG)

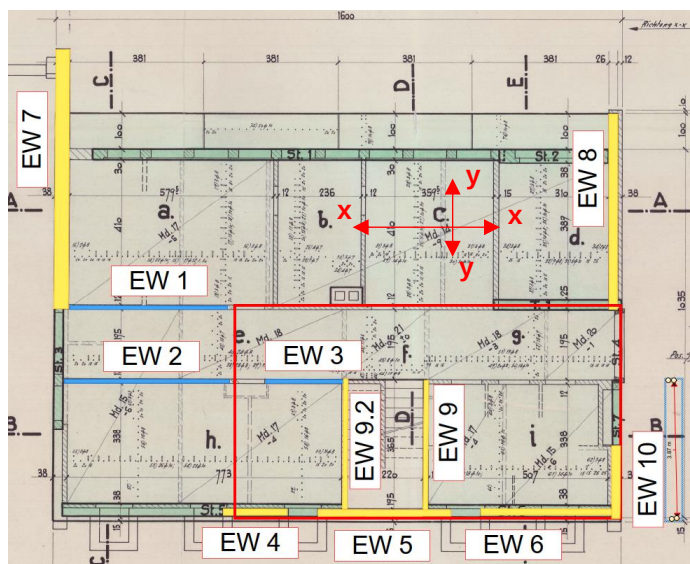
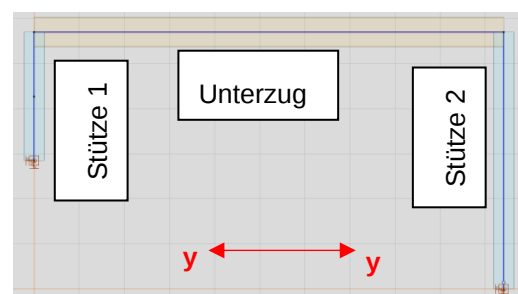
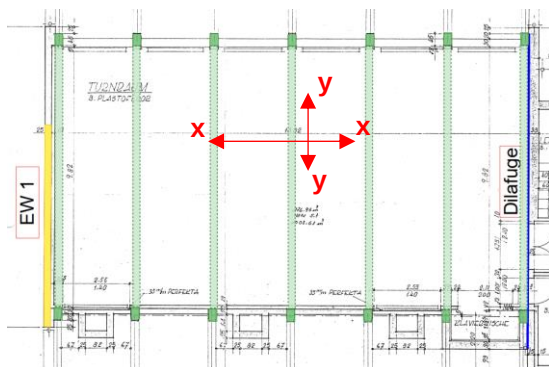


Abb. 8: Turnhalle, links Stahlbetonrahmen im Grundriss (grün), rechts Stahlbetonrahmen im Schnitt



Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

4.4 Geplante bauliche Eingriffe

☒ Bauliche Eingriffe in das Tragwerk sind vorgesehen und bei der Überprüfung zu berücksichtigen.

Genauere Beschreibung:

Klassentrakt: Neubau Lift, Zusätzliche Deckendurchbrüche für Steigzonen.

Tagesschule: Genaue Umbaumassnahmen noch nicht definiert.

Turnhalle: Genaue Umbaumassnahmen noch nicht definiert.

5 Konzeptionelle Gestaltung und konstruktive Durchbildung

Klassentrakt, Nord

Durch Dilatation vom Südteil weist das Gebäude einen rechteckigen Grundriss auf. Die Grundrissform ist dabei kompakt und regelmässig. Der Einspannhorizont liegt auf Höhe der Bodenplatte über dem Kriechkeller, somit ragen drei Stockwerke aus dem Baugrund heraus.

Das Bauwerk weist in X- und in Y-Richtung nur sehr wenige durchlaufende, horizontal aussteifende Tragwände aus Mauerwerk auf, welche sich hauptsächlich im Bereich des Treppenhauses befinden. Das Gebäude weist somit strukturell grosse Mängel auf.

Die Deckentragwerke sind auf allen Stockwerken Stahlbetonplatten und damit homogen ausgeführt. Die tragenden Mauerwerkswände sind gegen Kippen durch die Decken zurückgehalten.

Klassentrakt, Süd

Der rechteckige, über alle Stockwerke identische Grundriss weist eine kompakte und regelmässige Form auf. In Y-Richtung sind in regelmässigen Abständen aussteifende Mauerwerkswände in allen Stockwerken vorhanden. Auch in X-Richtung stehen über die gesamte Gebäudelänge in allen Stockwerken tragende Mauerwerkswände, die durch Öffnungen, z.B. Türdurchbrüchen, teilweise aufgelöst sind. Der Einspannhorizont liegt auf Höhe der Bodenplatte über dem Kriechkeller, somit ragen drei Stockwerke schwingungsanfällig aus dem Baugrund heraus. Die Deckentragwerke sind auf allen Stockwerken homogen als massive Stahlbetondecken ausgeführt. Das Gebäude weist somit keine konzeptionellen oder konstruktive Mängel auf.

Tagesschule

Das Gebäude weist einen rechteckigen Grundriss auf, der durch eine Dilatationsfuge von der Turnhalle getrennt ist. Der Einspannhorizont liegt auf Höhe Decke über UG. Das EG und das OG ragen aus dem Baugrund heraus. Bei Umbauarbeiten wurde die gesamte Decke über OG abgebrochen und somit das Obergeschoss mit dem Dachgeschoss verbunden. Im Bereich des Treppenaufgangs wurde eine neue Decke in Massivholz eingebaut. Dadurch müssen das Erdgeschoss und das Obergeschoss Erdbeben technisch separat beurteilt werden.

Im EG weist das Bauwerk in X- und in Y-Richtung durchlaufende, horizontal aussteifende Tragwände aus Mauerwerk auf. Die Massivbetondecke hält die tragenden Wände gegen Kippen zurück. Das EG weist somit keine konzeptionellen oder konstruktive Mängel auf.

Im Obergeschoss sind nur noch wenige aussteifende Mauerwerkswände vorhanden. Anhand der Unterlagen kann nicht beurteilt werden, wie die Holzdecke und das Dach ausgesteift und mit den Fassadenwänden verbunden sind. Das OG weist somit in X-Richtung strukturelle Mängel auf.

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

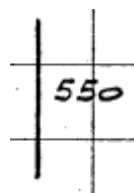
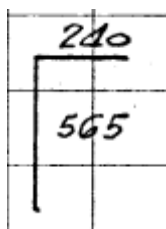
Turnhalle

Das rechteckige, kompakte Bauwerk wird von einer Unterzugsdecke aus Stahlbeton überspannt. Einspannhorizont ist die Decke über UG. Die einzige aussteifende Wand steht in Y-Richtung auf der Seite des Geräteraums. Ansonsten liegt die Decke auf Stahlbetonstützen auf. In den Archivunterlagen ist vom Tragwerk einzig die Eisenliste Nr. 54/17 vorhanden. Darauf sind die Stützen und die Unterzüge als Rahmen beschrieben. Anhand der Abmessungen der Bewehrung kann davon ausgegangen werden, dass die Ecken zwischen Stützen und Unterzügen in Querrichtung biegesteif verbunden sind. Nachfolgend sind die massgebenden Bewehrungen aus der Eisenliste Nr. 54/17 zusammengefasst.

Stützen:

$d=22, 10 \cdot 3 / D=20, 4 \cdot 3$
→ 3 Stück pro Stütze $d=22$

$D=22, 5 \cdot 7 + 5 \cdot 6 / D=20, 3 \cdot 7 + 1 \cdot 6$
→ 6 Stück pro Stütze $d=22$

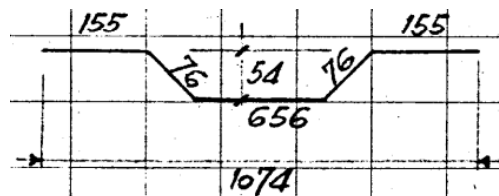
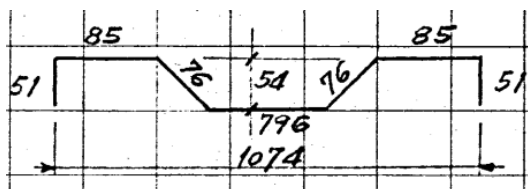


Bemerkung: Vermutlich sind die zehn Randstützen der Turnhalle mit den Bewehrungen $d = 22$ mm und die vier Eckstützen mit $d = 20$ mm bewehrt.

Unterzüge:

$d=22, 5 \cdot 2 / D=20, 2 \cdot 2$
→ 2 Stück pro Unterzug $d=22$

$D=22, 5 \cdot 1 / D=20, 2 \cdot 1$
→ 1 Stück pro Unterzug $d=22$



Bemerkung: Vermutlich sind die fünf mittigen Unterzüge mit den Bewehrungen $d = 22$ mm und die zwei am Rand mit $d = 20$ mm bewehrt.

Decke über Turnhalle:

In Stahlbetondecke ist 10 cm dick angegeben und mit Eisen $d = 8$ bis 10 mm bewehrt.

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

6 Baustoffeigenschaften

- ☒ Plangrundlagen vorhanden (alte Pläne, etc.)
- ☐ Bauwerksuntersuchungen vorhanden (Sondagen und/oder Materialprüfungen)
- ☒ Anhänge der Normen SIA 269ff
- ☐ andere Annahme

Bemerkungen: Die Steifigkeit des Mauerwerks wird um 50% vermindert, um der Öffnung von Rissen Rechnung zu tragen. $E_{xd} = 1000 \cdot f_{xd}/2$

Das Mauerwerk ist auf den Bestandesplänen nicht spezifiziert. Der angenommene Mauerwerkstyp wurde anhand von Vergleichsprojekten mit ähnlichen Baujahren gewählt. Die Materialkennwerte sind der Erhaltungsnorm SIA 269/2 entnommen.

Tab. 1: Angenommene Materialkennwerte

Baustoff 1955	Materialkennwerte					
Beton «P 300 hochwertig»	f_{ck} [N/mm ²] 16.3	f_{cd} [N/mm ²] 10.9	τ_{cd} [N/mm ²] 0.81			
Betonstahl «Torstahl»	f_{sk} [N/mm ²] 390					
Mauerwerk	f_{xd} [N/mm ²] 2.25	f_{yd} [N/mm ²] 1.1	E_{xd} [N/mm ²] 1125	μ_d [-] 0.6		

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

7 Einwirkungsparameter

7.1 Standortspezifische Bemessungsparameter

Erdbebenzone: Z1

$a_{gd} = 0.6 \text{ m/s}^2$

Baugrundklasse: C ☐ geotechnischer Bericht ☒ Karte der Baugrundklassen

7.2 Objektspezifische Bemessungsparameter

Bauwerksklasse: II-s Bedeutungsfaktor γ_f : 1.2

Verhaltensbeiwert: Längsrichtung (X): $q = 1.5$ Querrichtung (Y) $q = 1.5$

Begründung: Der Verhaltensbeiwert beträgt bei Mauerwerk im Allgemeinen 1.5.

8 Tragwerksanalyse

8.1 Berechnungsverfahren

☒ Ersatzkraftverfahren ☐ Antwortspektrenverfahren

Begründung: Überprüfung der Erdbebensicherheit, Stufe 1

8.2 Grundschwingzeit

Aus Tragwerksmodell bei angewandter Methode : SIA 261 (39), $T = C_t \cdot h^{0.75}$

Klassentrakt, Nord: $T_{1x} = 0.44 \text{ sec}$ Der Wert liegt auf dem Plateau

Klassentrakt, Süd: $T_{1x} = 0.44 \text{ sec}$ Der Wert liegt auf dem Plateau

Tagesschule: $T_{1x} = 0.26 \text{ sec}$ Der Wert liegt auf dem Plateau

Turnhalle: $T_{1x} = 0.28 \text{ sec}$ Der Wert liegt auf dem Plateau

Steifigkeitsabminderung ($E_{I\text{gerissen}}/E_{I\text{ungerissen}}$): 0.5 für Stahlbeton und Mauerwerk

8.3 Bemessungsspektrum der Beschleunigung

☒ Norm SIA 261 Spektren ☐ spektrale Mikrozonierung ☐ andere:

8.4 Modellbildung

☒ 2-D Modell ☐ 3-D Modell

Software: -

Berücksichtigung der Torsionswirkung: Für Handrechnung mit Ersatzkraftverfahren vernachlässigt.

Weitere wichtige Annahmen, z.B. Rahmenwirkung: nur Turnhallendecke

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

8.5 Ergebnisse des kraftbasierten Verfahrens

8.5.1 Tragwerksanalyse

☒ Ersatzkraftverfahren

☐ Antwortspektrenverfahren

8.5.2 Klassentrakt Nord: Ersatzkräfte

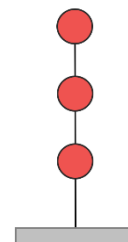
Lage des Einbindungshorizontes: Bodenplatte UG (Decke über Kriechkeller)

Begründung: das Terrain liegt mehrheitlich knapp über der Bodenplatte des UG's.

Verteilung der Massen auf die Geschosse sowie Ersatzkräfte gemäss der Norm SIA 261, Formel (42)

Tab. 2: Ersatzkräfte Klassentrakt Nord

Geschoss	Masse [kN]	Ersatzkräfte [kN]
Decke über OG	2'696	580
Decke über EG	2'996	430
Decke über UG	3'044	218



Längsrichtung X: $F_{dx} = 1'228 \text{ kN}$ Querrichtung Y: $F_{dy} = 1'228 \text{ kN}$

8.5.3 Klassentrakt Süd: Ersatzkräfte

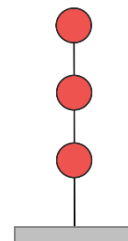
Lage des Einbindungshorizontes: Bodenplatte UG

Begründung: das Terrain liegt mehrheitlich knapp über der Bodenplatte des UG's.

Verteilung der Massen auf die Geschosse sowie Ersatzkräfte gemäss der Norm SIA 261, Formel (42)

Tab. 3: Ersatzkräfte Klassentrakt Süd

Geschoss	Masse [kN]	Ersatzkräfte [kN]
Decke über OG	3'402	731
Decke über EG	3'750	537
Decke über UG	3'794	272



Längsrichtung X: $F_{dx} = 1'540 \text{ kN}$ Querrichtung Y: $F_{dy} = 1'540 \text{ kN}$

8.5.4 Tagesschule: Ersatzkräfte

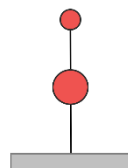
Lage des Einbindungshorizontes: Bodenplatte UG

Begründung: das Terrain liegt mehrheitlich knapp über der Bodenplatte des UG's.

Verteilung der Massen auf die Geschosse sowie Ersatzkräfte gemäss der Norm SIA 261, Formel (42)

Tab. 4: Ersatzkräfte Tagesschule

Geschoss	Masse [kN]	Ersatzkräfte [kN]
Decke über OG	403	96
Decke über EG	2'552	320



Längsrichtung X: $F_{dx} = 416 \text{ kN}$ Querrichtung Y: $F_{dy} = 416 \text{ kN}$

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

8.5.5 Turnhalle: Ersatzkräfte

Lage des Einbindungshorizontes: Bodenplatte UG

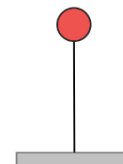
Begründung: das Terrain liegt mehrheitlich knapp über der Bodenplatte des UG's.

Verteilung der Massen auf die Geschosse sowie Ersatzkräfte gemäss der Norm SIA 261, Formel (42)

Tab. 5: Ersatzkräfte Turnhalle

Geschoss	Masse [kN]	Ersatzkräfte [kN]
Decke über OG	1'304	183

Längsrichtung X: $F_{dx} = 183 \text{ kN}$ Querrichtung Y: $F_{dy} = 183 \text{ kN}$



8.6 Berücksichtigung der Torsionswirkung

Für das kraftbasierte Verfahren Stufe 1 werden die Exzentrizitäten zwischen Massen- und Steifigkeitszentrum vernachlässigt. Die Aufteilung auf die einzelnen Erdbebenwände erfolgt über deren Steifigkeiten.

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

8.7 Massgebende Schnittgrössen

In den folgenden Tabellen sind die einwirkenden Schnittkräfte auf die aussteifenden Bauteile zusammengefasst. In den Tabellen werden von oben nach unten zuerst die Wände in Y- und dann in X-Richtung betrachtet. Von links nach rechts sind die einzelnen Geschosse unterschieden.

Tab. 6: Klassentrakt Nord: Schnittkräfte der aussteifenden Bauteile

Tragelement und Baustoff	OG		EG		UG	
	N _d [kN]	V _d [kN]	N _d [kN]	V _d [kN]	N _d [kN]	V _d [kN]
EW 10	Wand wurde bei Umbauarbeiten abgebrochen.					
EW 11.1	190	255	395	443	600	539
EW 15	40	142	158	248	277	302
EW 16	60	142	167	248	274	302
EW 17	51	41	138	71	226	87
EW 1	274	545	577	949	872	1'151
EW 5	57	25	126	44	194	53
EW 6	63	10	151	18	245	24

Tab. 7: Klassentrakt Süd: Schnittkräfte der aussteifenden Bauteile

Tragelement und Baustoff	OG		EG		UG	
	N _d [kN]	V _d [kN]	N _d [kN]	V _d [kN]	N _d [kN]	V _d [kN]
EW 11.2	190	146	395	270	600	370
EW 12	367	212	758	327	1'146	344
EW 13	367	212	758	327	1'146	344
EW 14	212	161	463	343	723	482
EW 2	274	205	579	356	883	430
EW 3	274	205	579	356	883	430
EW 4	274	205	579	356	883	430
EW 8	125	57	271	100	422	125
EW 9	125	57	271	100	422	125

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

Tab. 8: Tagesschule: Schnittkräfte der aussteifenden Bauteile

Tragelement und Baustoff	OG		EG	
	N_d [kN]	V_d [kN]	N_d [kN]	V_d [kN]
EW 7			291	223
EW 8			167	68
EW 9 (Beton im OG)	38	36	103	46
EW 9.2 (Beton im OG)	38	36	101	39
EW 10	30	23	93	39
EW 1			108	69
EW 2			114	79
EW 3			49	9
EW 4 (Beton im EG)	39	19	108	26
EW 5 (Beton im EG)	37	38	120	109
EW 6 (Beton im EG)	36	38	137	123

Bei der Turnhalle werden die Biegegewiderstände der Stützen mit den einwirkenden Schnittkräften betrachtet. Zum Vergleich der Rahmenschnittgrössen aus der horizontalen Erdbebenbeanspruchung wird auch der Grenzzustand der Tragsicherheit unter dem massgebenden Lastfall Schnee betrachtet. Aus den Berechnungen wird ersichtlich, dass im Lastfall Schnee die Schnittgrössen grösser sind als im Erdbeben. Somit ist für das Rahmentragwerk der Turnhalle Erdbeben als aussergewöhnliche Einwirkung nicht der massgebende Lastfall und damit die Tragsicherheit gegen Erdbebeneinwirkungen erfüllt.

Tab. 9: Turnhalle: Schnittkräfte im Erdbebenfall der aussteifenden Rahmen

Lastfall	Stütze 1		Stütze 2	
	N_{Ed}	M_{Ed}	N_{Ed}	M_{Ed}
Erdbeben Y-Richtung+			127	100
Erdbeben Y-Richtung-	126	112		
Erdbeben X-Richtung	122	37	123	8

Tab. 10: Schnittkräfte im Lastfall Tragsicherheit

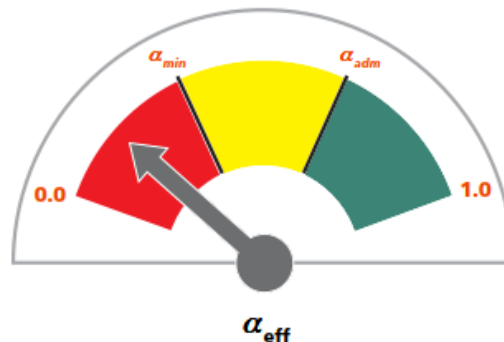
Lastfall	Stütze 1		Stütze 2		Unterzug
	N_{Ed}	M_{Ed}	N_{Ed}	M_{Ed}	M_{Ed}
Tragsicherheit	201	142	203	152	325

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

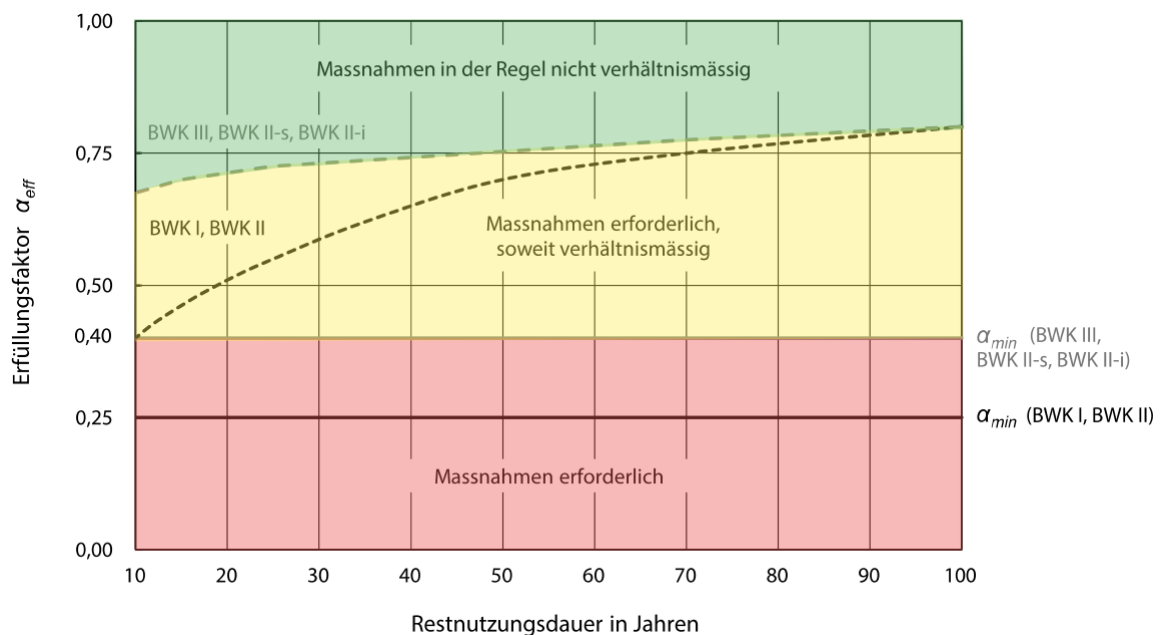
9 Zustandsbeurteilung

9.1 Massgebender Erfüllungsfaktoren α_{eff}



Der effektive Erfüllungsfaktor beschreibt, in welchem Mass ein bestehendes Tragwerk eines Gebäudes die rechnerischen Anforderungen an Neubauten gemäss geltender Norm erfüllt. Er variiert zwischen 0.0 (zu 0% und damit überhaupt nicht erfüllt) und > 1.0 (zu 100% oder mehr erfüllt)

Der erforderliche minimale Erfüllungsfaktor ist abhängig von der Restnutzungsdauer und der Bauwerksklasse. Unter einer wirtschaftlichen Betrachtung der Verhältnismässigkeit von allfälligen Massnahmen und zugehörigen Baukosten ist es nach Norm auch zulässig, den Zustand von Bauwerken, welche die Neubaunormen nicht zu 100% erfüllen, zu akzeptieren.



■ $\alpha_{\text{eff}} < \alpha_{\text{min}} = 0.40$

Massnahmen erforderlich

■ $\alpha_{\text{eff}} \geq \alpha_{\text{min}} = 0.40$

Beurteilung der Verhältnismässigkeit.

Massnahmen erforderlich, falls die Verhältnismässigkeit gegeben ist.

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

Für die Ermittlung der Erfüllungsfaktoren werden die Querkraftwiderstände für Gleiten und für Materialversagen der Mauerwerkswände in Abhängigkeit der günstig wirkenden Wandnormalkraft betrachtet. Der kleinere Wert wird mit der einwirkenden Querkraft verglichen.

Tab. 11: Klassentrakt Nord: Schnittkräfte der aussteifenden Bauteile

Tragelement und Baustoff	OG	EG	UG
	α_{eff}	α_{eff}	α_{eff}
EW 10	Wand wurde bei Umbauarbeiten abgebrochen.		
EW 11.1	0.45	0.49	0.41
EW 15	0.17	0.38	0.49
EW 16	0.25	0.40	0.48
EW 17	0.54	0.75	0.89
EW 1	0.30	0.33	0.31
EW 5	0.69	0.76	0.84
EW 6	1.45	1.36	1.66

Tab. 12: Klassentrakt Süd: Schnittkräfte der aussteifenden Bauteile

Tragelement und Baustoff	OG	EG	UG
	α_{eff}	α_{eff}	α_{eff}
EW 11.2	0.78	0.81	0.60
EW 12	1.04	0.96	0.60
EW 13	1.04	0.96	0.60
EW 14	0.79	0.81	0.90
EW 2	0.80	0.90	0.85
EW 3	0.80	0.90	0.85
EW 4	0.80	0.90	0.85
EW 8	1.17	1.23	1.38
EW 9	1.17	1.23	1.38

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

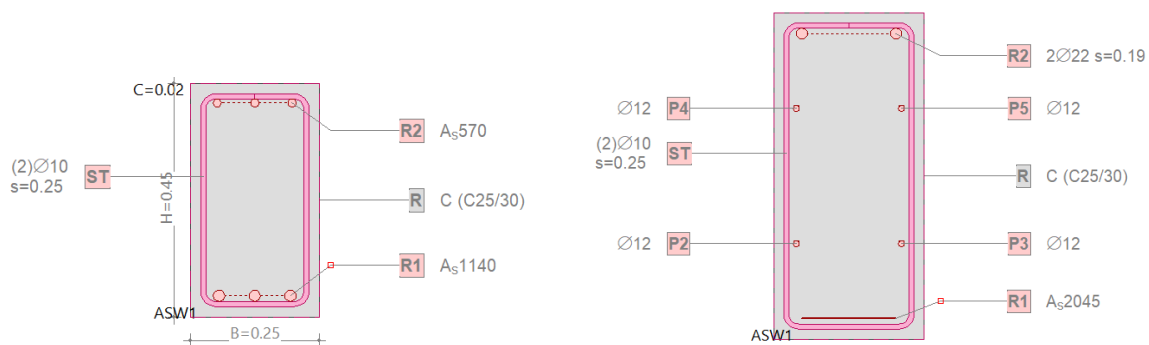
Tab. 13: Tagesschule: Schnittkräfte der aussteifenden Bauteile

Tragelement und Baustoff	OG	EG
	α_{eff}	α_{eff}
EW 7		0.78
EW 8		1.48
EW 9 (Beton im OG)	0.80	1.49
EW 9.2 (Beton im OG)	0.80	0.80
EW 10	0.79	1.34
EW 1		0.92
EW 2		0.87
EW 3		1.74
EW 4 (Beton im EG)	0.61	14.98
EW 5 (Beton im EG)	0.59	6.87
EW 6 (Beton im EG)	0.56	3.19

Für den Erfüllungsfaktor der Turnhalle werden die Biege Widerstände der Stützen mit den einwirkenden Schnittkräften betrachtet. Zum Vergleich der Rahmenschnittgrössen aus der horizontalen Erdbebenbeanspruchung wird auch der Grenzzustand der Tragsicherheit unter dem massgebenden Lastfall Schnee betrachtet. Aus den Berechnungen wird ersichtlich, dass im Lastfall Schnee die Schnittgrössen grösser sind als im Erdbeben. Somit ist für das Rahmentragwerk der Turnhalle Erdbeben als aussergewöhnliche Einwirkung nicht der massgebende Lastfall und damit die Tragsicherheit gegen Erdbebeneinwirkungen erfüllt.

Die Bemessung der Biege Widerstände erfolgt mit den in Abb. 9 dargestellten Querschnitten: Bei der Stütze sind die drei stehenden Eisen einseitig nur zu 50% angesetzt, da diese gemäss der Bewehrungsliste nicht genügend Stosslänge mit dem Unterzug aufweisen und somit nicht vollkommen biegesteif mit dem Unterzug verbunden sind.

Abb. 9: links Querschnitt Stütze, rechts Querschnitt Unterzug (Programm: Fagus 8)



Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

Tab. 14: Turnhalle: Schnittkräfte im Erdbebenfall der aussteifenden Rahmen

Lastfall	Stütze 1				Stütze 2			
	N_{Ed}	M_{Ed}	M_{Rd}	α_{eff}	N_{Ed}	M_{Ed}	M_{Rd}	α_{eff}
Erdbeben Y-Richtung+					127	100	166	1.66
Erdbeben Y-Richtung-	126	112	166	1.48				
Erdbeben X-Richtung	122	37	59	1.59	123	8	59	7.38

Tab. 15: Turnhalle: Schnittkräfte im Grenzustand der Tragsicherheit unter dem massgebenden Lastfall Schnee (als Vergleichsrechnung)

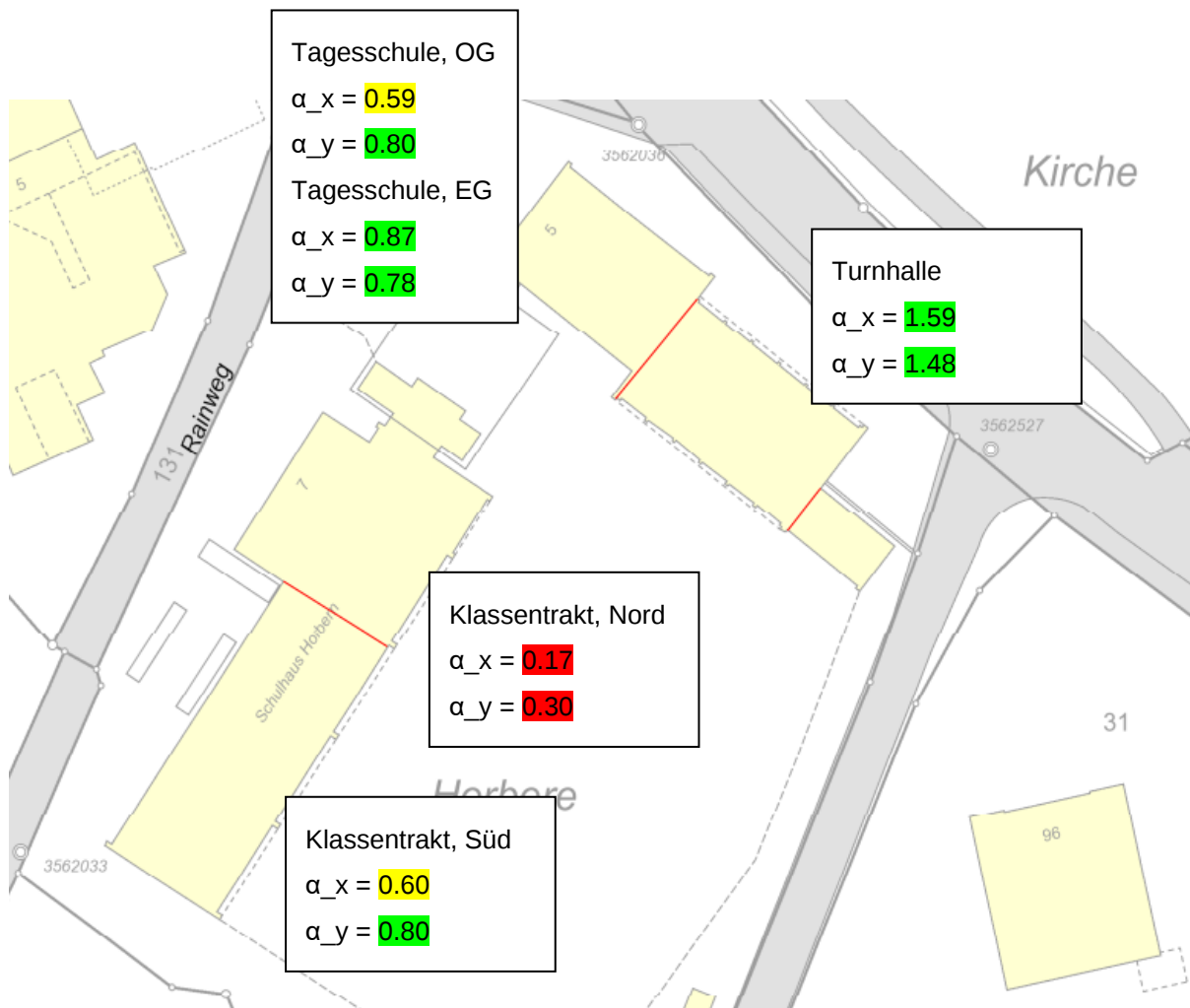
Lastfall	Stütze 1				Stütze 2				Unterzug		
	N_{Ed}	M_{Ed}	M_{Rd}	α_{eff}	N_{Ed}	M_{Ed}	M_{Rd}	α_{eff}	M_{Ed}	M_{Rd}	α_{eff}
Tragsicherheit	201	142	176	1.24	203	152	176	1.16	325	423	1.30

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

10 Fazit und Massnahmenempfehlungen

Abb. 10: Übersicht der massgebenden Erfüllungsfaktoren



Gebäude	α_{eff}		Bemerkungen
	Y	X	
Klassentrakt, Nord	0.30	0.17	In beiden Richtungen zu wenig Tragwände vorhanden.
Klassentrakt, Süd	0.80	0.60	X-Richtung: Türöffnungen in EW 12 und EW 13 reduzieren Erdbebenwiderstand, deshalb liegt Erfüllungsfaktor im gelben Bereich.
Tagesschule OG	0.59	0.80	Aussteifung Holzdecke mit Fassadenwänden zu überprüfen
Tagesschule EG	0.78	0.87	
Turnhalle	1.48	1.59	Stahlbetonstützen und Unterzüge als biegesteife Rahmen modelliert

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

Klassentrakt, Nord

Der Erdbebenwiderstand ist mit einem minimalen Erfüllungsfaktor von 30% ungenügend. Aufgrund der Bauwerksklasse BWK II-s für Schulgebäude sind unter 40% Erfüllungsfaktor Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit zwingend zu ergreifen. Grund für die geringe Erdbebensicherheit ist, dass die Haupttrennwand in Y-Richtung bei einem Umbau abgebrochen wurde und generell konstruktiv kaum aussteifende Tragwände vorhanden sind.

Für die weitere Projektierung werden folgende Massnahmen empfohlen:

- Prüfung und Vorbemessung Erdbebenertüchtigung Nordtrakt in Kombination mit Einbau des neuen Lifts mit aussteifendem Stahlbetonkern und allfälliger Mikropfahlfundation.
- Erhöhung der Erdbebensicherheit und bessere Gebäudeaussteifung durch die Kopplung des Nord- und Südtrakts durch ein kraftschlüssiges Verbinden der bestehenden Dilatationsfuge.
- Beurteilung und Prüfung einer zusätzlichen Schwächung des Tragwerks im Rahmen der Gesamtsanierung (neue Durchbrüche HLKSE oder Änderungen im Raumkonzept)

Klassentrakt, Süd

In X-Richtung liegt der Erdbebenwiderstand im grünen Bereich und ist damit ohne weitere Massnahmen erfüllt. In Y-Richtung reduzieren die Türöffnungen in EW 12 und EW 13 den Erdbebenwiderstand, deshalb liegt der Erfüllungsfaktor mit ca. 60% im kritischen, gelben Bereich.

Im Rahmen der weiteren Projektierung empfehlen wir folgendes Vorgehen:

- Prüfung der Verhältnismässigkeit von allfälligen Massnahmen in Y-Richtung, wie das Schliessen oder verschieben von Türdurchbrüche in EW 12 und EW 13 in allen Geschossenebenen.
- Prüfung des Einflusses Ertüchtigung Trakt Nord durch das kraftschlüssige Verbindungen der bestehenden Dilatationsfuge zwischen Nord- und Südtrakt.
- Beurteilung und Prüfung einer zusätzlichen Schwächung des Tragwerks im Rahmen der Gesamtsanierung (neue Durchbrüche HLKSE oder Änderungen im Raumkonzept)

Tagesschule

Bei diesem Gebäude wurde das EG und das OG aufgrund des Umbaus 2009 separat betrachtet. Der globale Erdbebenwiderstand ist im grünen Bereich. Die lokale Zwischendecke im Obergeschoss liegt in Y-Richtung im gelben Bereich, da die horizontale Aussteifung der Holz-Zwischendecke aus den Bauwerksakten nicht klar hervor gehen. Der Erdbebenwiderstand des Erdgeschosses liegt in X- und in Y-Richtung im grünen Bereich.

Für die weitere Projektierung werden folgende Massnahmen empfohlen:

- Als Massnahme muss überprüft werden, wie die Zwischendecke und der Dachaufbau stabilisiert und mit den Fassadenwänden verbunden sind. Allenfalls ist eine zusätzliche Aussteifung notwendig, um den Erdbebenwiderstand zu gewährleisten.
- Beurteilung und Prüfung einer zusätzlichen Schwächung des Tragwerks im Rahmen der Gesamtsanierung (neue Durchbrüche HLKSE oder Änderungen im Raumkonzept)

Erdbebenüberprüfung Schulanlage Horbern

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8

Turnhalle

Die Turnhallendecke ist eine Betondecke mit Unterzügen. Anhand der Bewehrungsliste (Bauwerksakten) kann davon ausgegangen werden, dass die Unterzüge zusammen mit den Stützen als Rahmentragwerk wirken. Der Erdbebenwiderstand des angenommenen Modells liegt im grünen Bereich. Eine Vergleichsrechnung hat gezeigt, dass die Decke im Lastfall Tragsicherheit mit Schneelast stärker ausgelastet ist, als im Erdbebenfall, und damit Erdbeben nicht massgebend ist. Die Tragsicherheit ist mit einem Erfüllungsfaktor von 1.16 erfüllt.

Massnahmen im Rahmen der weiteren Planung:

- Vor dem Umbauprojekt muss vor Ort mittels Sondagen geprüft werden, ob die getroffenen Annahmen bzgl. Rahmentragwirkung der Realität entsprechen (Bewehrungssondage, Ferrosan, Abklärung der Zugänglichkeit, etc.)
- Beurteilung und Prüfung einer zusätzlichen Schwächung des Tragwerks im Rahmen der Gesamtsanierung (neue Durchbrüche HLKSE oder Änderungen im Raumkonzept)

Bächtold & Moor AG

Bern, 09. April 2020



Stefan Stähli

Bauingenieur BSc FH



Michael Gundi

Bauingenieur MSc ETH/SIA