



TECHNISCHER BERICHT

PROJEKT

ÜBERPRÜFUNG ERDBEBENSICHERHEIT SCHULHAUS MOOSMATT, LUZERN

AUFTRAGGEBER

Stadt Luzern, Immobilien, Hirschengraben 17, 6002 Luzern

PROJEKT-NR.

3201-0373

VERFASSER

Wälli AG Ingenieure
Stirnrütistrasse 45
6048 Horw

DATUM

Horw, 9. April 2020

Inhaltsverzeichnis

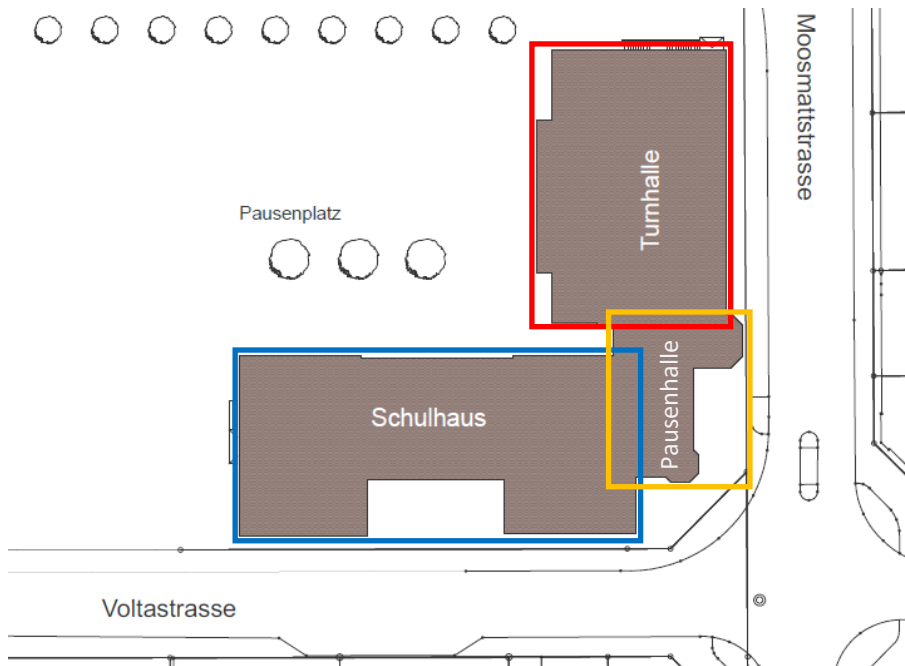
| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 3 |
| 1.1 | Situation und Auftrag | 3 |
| 1.2 | Objektbeschreibung | 3 |
| 2 | Grundlagen | 7 |
| 2.1 | Plangrundlagen | 7 |
| 2.2 | Normen, Dokumentationen und Merkblätter | 7 |
| 2.3 | Erdbebeneinwirkung | 7 |
| 2.4 | Gebäudelasten | 8 |
| 2.5 | Materialeigenschaften | 8 |
| 3 | Erdbebenüberprüfung | 9 |
| 3.1 | Tragwerksanalyse | 9 |
| 3.2 | Berechnungsmodell | 11 |
| 3.2.1 | Verformungsbasiertes Verfahren gemäss D0237 | 11 |
| 3.2.2 | Push-Over Verfahren mit 3muri | 15 |
| 3.3 | Konstruktive und konzeptionelle Durchbildung | 20 |
| 3.4 | Gebrauchstauglichkeit | 20 |
| 3.5 | Sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtung | 20 |
| 3.6 | Resultate | 20 |
| 3.6.1 | Erfüllungsfaktor | 20 |
| 3.6.2 | Grenzwert für die sicherheitsbezogenen Investitionskosten | 22 |
| 4 | Ertüchtungskonzept | 24 |
| 4.1 | Sondagen | 24 |
| 4.2 | Massnahmen | 24 |
| 4.2.1 | Schulgebäude | 24 |
| 4.3 | Beurteilung der Zumutbarkeit / Verhältnismässigkeit | 25 |

1 EINLEITUNG

1.1 Situation und Auftrag

Die Schulanlage Moosmatt ist ein Gebäudekomplex, der zusammengesetzt ist aus dem Schulgebäude, der Turnhalle mit darüber liegenden Schulräumen und der Pausenhalle mit darüber liegender Abwartwohnung. Die Stadt Luzern hat das Ingenieurbüro Wälli AG beauftragt das Schulhaus Moosmatt bezüglich seiner Erdbebensicherheit im Ist-Zustand zu untersuchen. Falls erforderlich, bzw. verhältnismässig sind ebenfalls Massnahmenkonzepte auszuarbeiten.

1.2 Objektbeschreibung



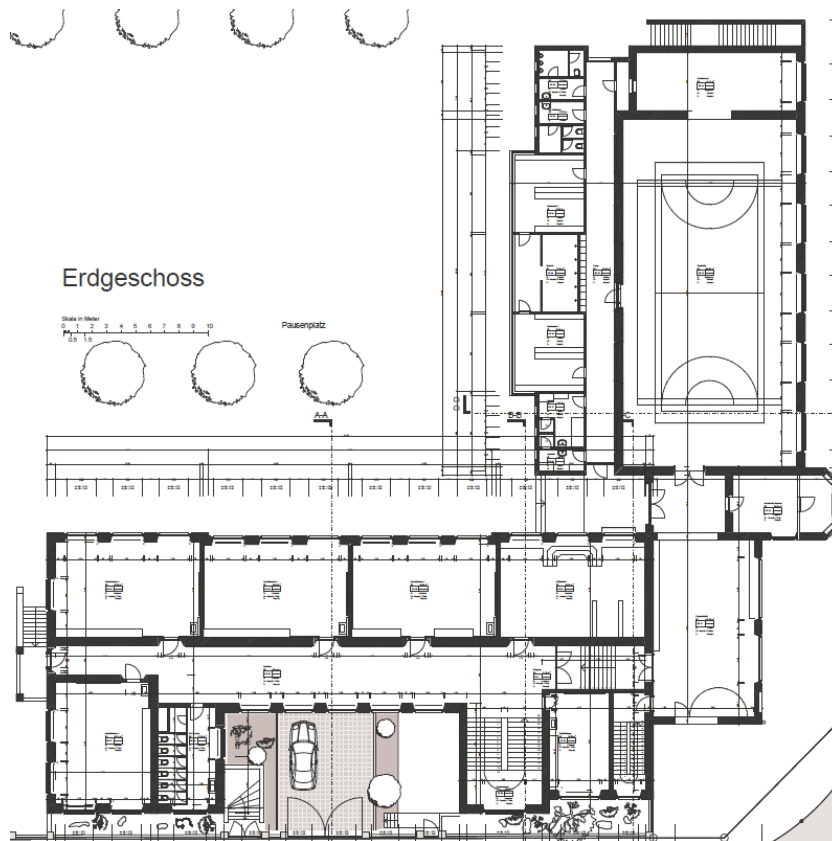
Situation Schulanlage Moosmatt Luzern

Die Schulanlage Moosmatt wurde 1913 erbaut und besteht aus mehreren Gebäudeteilen.

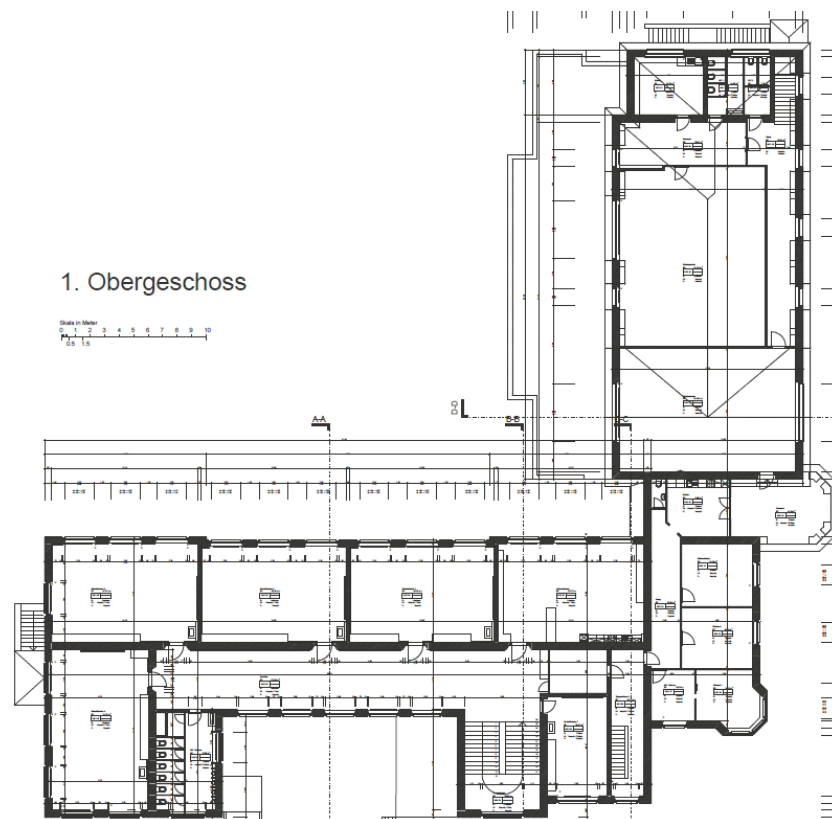
Das Schulhaus verfügt über ein Untergeschoss (UG), das zum Teil im Erdreich eingebunden ist. Weiter gibt es ein Erdgeschoss (EG) und 3 Obergeschosse (1., 2., 3.OG), sowie ein Dachgeschoss (DG). Im Schulhaus befinden sich die Schulzimmer für den regulären Unterricht. Die maximalen Abmessungen des Schulhauses betragen ca. 34.8 m x 19.4 m.

Die Pausenhalle wurde zur gleichen Zeit erstellt und ist am Schulhaus angebaut. Dieser Gebäudeteil verfügt über zwei Geschosse. Die Pausenhalle befindet sich im EG und im 1.OG befindet sich die Abwartwohnung. Dieser Gebäudeteil ist nicht unterkellert. Die maximalen Abmessungen der Pausenhalle betragen 13.4 x 16.7 m.

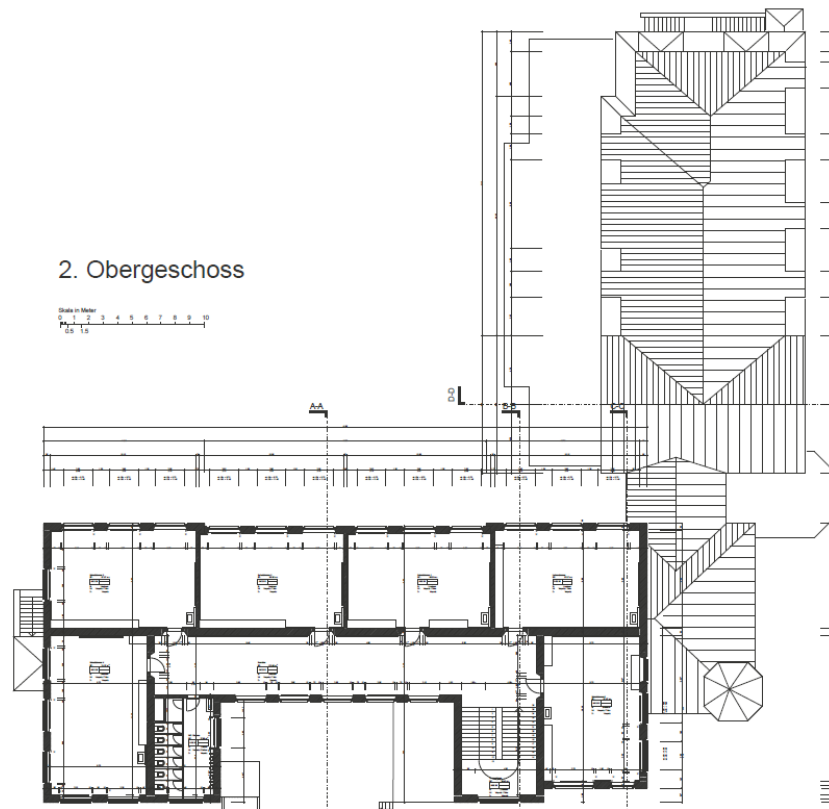
An der Pausenhalle angebaut ist die Turnhalle, die ebenfalls über zwei Geschosse verfügt. Die Turnhalle befindet sich im EG, während sich im 1.OG Schulräume befinden. Dieser Gebäudeteil ist ebenfalls nicht unterkellert. Die maximalen Abmessungen der Turnhalle betragen 13.2 x 29.7 m.



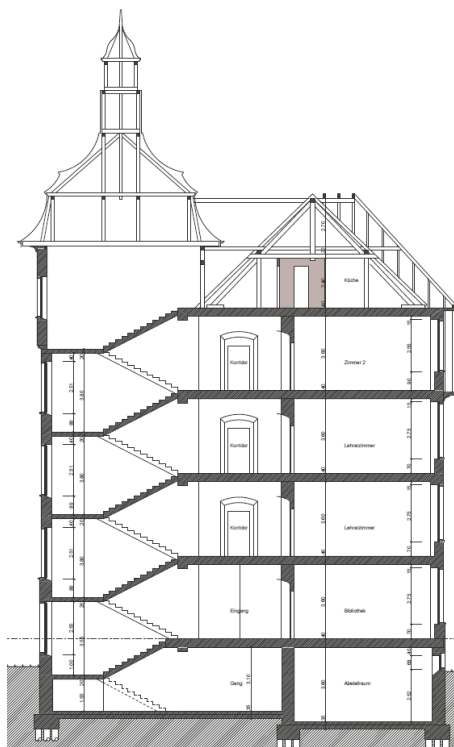
Grundriss EG



Grundriss 1.OG



Grundriss 2.OG



Querschnitt



Ansicht Schulgebäude



Ansicht Pausenhalle und Turnhalle



Pausenhalle von Innen

2 GRUNDLAGEN

2.1 Plangrundlagen

- Ingenieurpläne Bestand: Max Münch Ing. Arch., 1913
- Aufnahmepläne Bestand: Stadt Luzern Immobilien, 2006

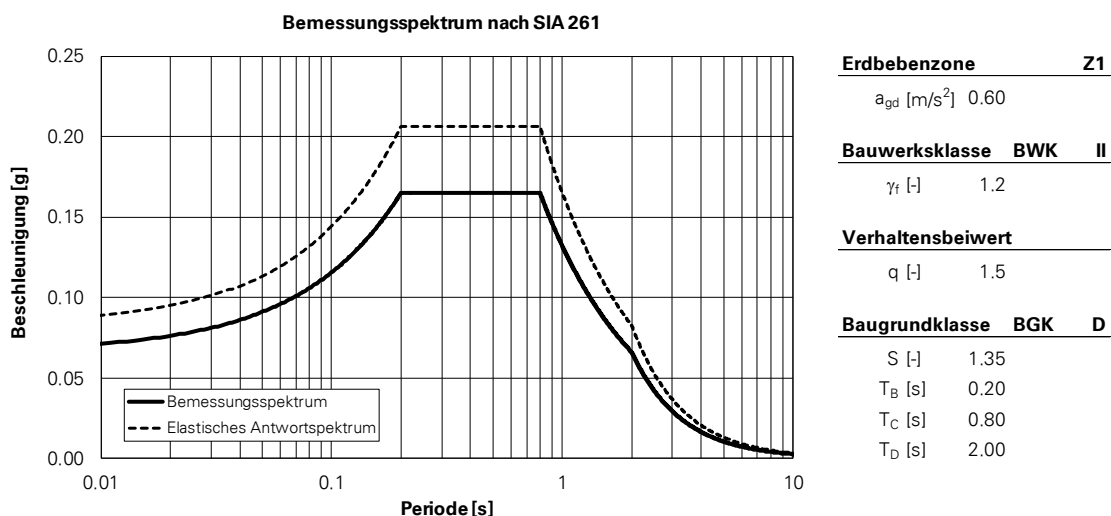
2.2 Normen, Dokumentationen und Merkblätter

- SIA 260 „Grundlagen der Projektierung von Tragwerken“ (2013)
- SIA 261 „Einwirkungen auf Tragwerke“ (2014)
- SIA 262 „Betonbau“ (2013)
- SIA 266 „Mauerwerk“ (2015)
- SIA 296/8 „Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben“ (2017)
- SIA Dokumentation D0237 „Beurteilung von Mauerwerksgebäuden bezüglich Erdbeben“ (2010)

2.3 Erdbebeneinwirkung

Das Objekt liegt in der Erdbebenezone Z1 gemäss SIA 261 und ist gemäss dem Geoportal des Kantons Luzern auf einem Untergrund der Baugrundklasse D fundiert. Aufgrund der hohen Personenbelegung und der Nutzung als Schule wird das Objekt der Bauwerksklasse II-s eingeteilt.

Das Aussteifungssystem des Gebäudes besteht aus Mauerwerkswänden aus Bruchstein (Verhaltensbeiwert $q=1.5$). Beim verformungsbasierten Verfahren ergibt sich der Verhaltensbeiwert aus der Berechnung. In der folgenden Abbildung ist das Bemessungsspektrum dargestellt.



Bemessungsspektrum nach SIA 261 (Z1, BGK D, BWK II-s)

Die Magnitude eines Erdbebens ist ein Mass für die freigesetzte seismische Energie infolge einer Erdbebeneinwirkung. Je nach Tiefe des Epizentrums und geologischer Randbedingungen kann ein Erdbeben einer bestimmten Magnitude unterschiedliche Auswirkungen an der Erdoberfläche haben (hinsichtlich maximaler Bodenbeschleunigung und geographischer Ausdehnung). In der Norm ist das Spektrum des massgebenden Erdbebens über die Beschleunigung definiert. Aus der Beschleunigung des Normbebens werden unter Anwendung eines Verfahrens die auf das Gebäude wirkenden Kräfte und Verformungen berechnet. Da die Magnitude keinen direkten Bezug zur Erdbebenbeschleunigung hat, kann der Erfüllungsfaktor (als Ergebnis des Erdbebennachweises) umgekehrt auch keine Rückschlüsse auf die maximale Erdbebenmagnitude liefern, der das Gebäude Stand hält.

2.4 Gebäudelasten

Ein Erdbeben ist gemäss SIA Norm ein aussergewöhnlicher Lastfall und entsprechend wird für die Gebäudelasten kein Sicherheitsbeiwert berücksichtigt, bzw. die Nutzlasten werden nur als quasi-ständiger Lastfall angesetzt. Die Nutzlasten werden gemäss Norm angesetzt und die Auflasten werden abgeschätzt.

Folgende Lasten werden für die Erdbebenberechnung des Gebäudes angenommen:

- Eigengewicht: Flächenlast von 2.75 kN/m^2 für das Eigengewicht der Betondecke
Raumlaster von 24 kN/m^3 für die Wände aus Bruchsteinmauerwerk
- Auflast: Flächenlast von 2.50 kN/m^2 für alle Decken
- Nutzlasten: Flächenlast von $3 \text{ kN/m}^2 \times 0.6 = 1.8 \text{ kN/m}^2$ für alle Decken
(quasiständiger Lastfall; Einwirkung Kat. C1, gem. SIA 261)
Schneelast muss gemäss SIA 261 in diesem Fall für aussergewöhnliche
Einwirkungen nicht berücksichtigt werden

2.5 Materialeigenschaften

Die Materialkennwerte werden nach SIA 296/1-8 („Erhaltung von Tragwerken“) festgelegt.

- Mauerwerk: Wände aus Bruchsteinmauerwerk
 $f_{xd} = 2 - 3 \text{ N/mm}^2$ (Annahme / Sensitivitätsanalyse)
 $E_{xd} = 2000 - 3000 \text{ N/mm}^2$
- Beton: Rippen- & Flachdecken mit Zementgehalt 250 kg/m^3

Die Qualität, resp. Festigkeit des Mauerwerks ist noch mittels Sondagen zu prüfen. Erfahrungsgemäss liegt die Festigkeit von Bruchsteinmauerwerk zwischen $f_{xd} = 2 - 3 \text{ N/mm}^2$. Innerhalb dieser Spanne wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um den Einfluss der Mauerwerksfestigkeit auf den Erfüllungsfaktor zu erfassen.

3 ERDBEBENÜBERPRÜFUNG

3.1 Tragwerksanalyse

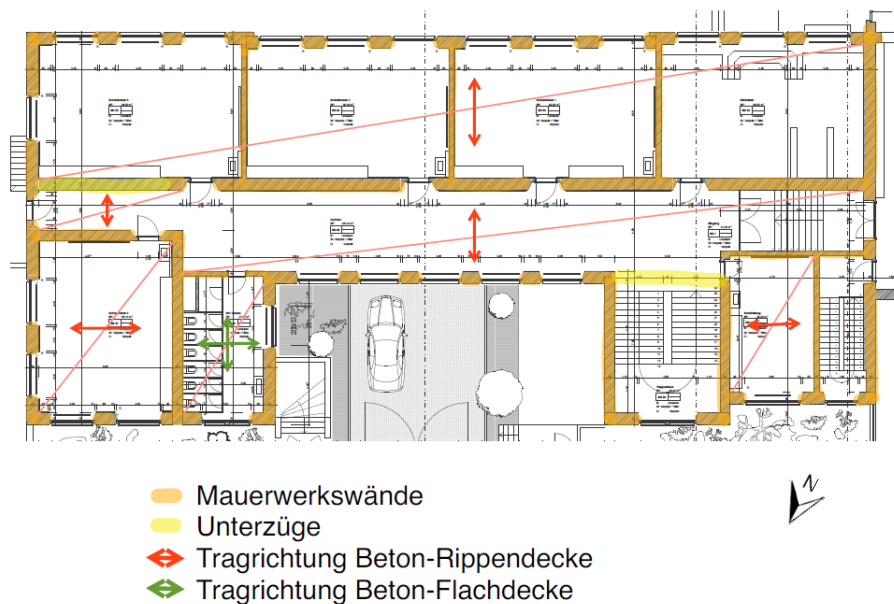
Das Schulgebäude, die Pausenhalle und die Turnhalle weisen Stahlbetondecken auf, die als Rippendecken oder als Flachdecken ausgebildet sind. Die Stahlbetondecken lagern auf Wänden aus Bruchsteinmauerwerk auf. Der Dachstock aller Gebäudeteile besteht aus Holz.

Das Schulgebäude verfügt über fünf oberirdische Geschosse (EG bis 3.OG und DG) mit einer Stockwerkhöhe von ungefähr 3.9 m. Die Mauerwerkswände weisen eine maximale Stärke von 60 cm im UG auf und verjüngen sich über die Stockwerke. Im Schulgebäude laufen die meisten Wände über alle Geschosse durch, das Gebäude weist somit eine Regelmässigkeit im Aufriss auf. Im Grundriss ist das Gebäude in Längsrichtung regelmässig ausgesteift, während es in Querrichtung eine Unregelmässigkeit aufweist. Die westliche Gebäudehälfte weist mehr lange Wandscheiben auf und verhält sich dementsprechend etwas steifer. Folglich werden Torsionsbeanspruchungen infolge einer Erdbebeneinwirkung erwartet.

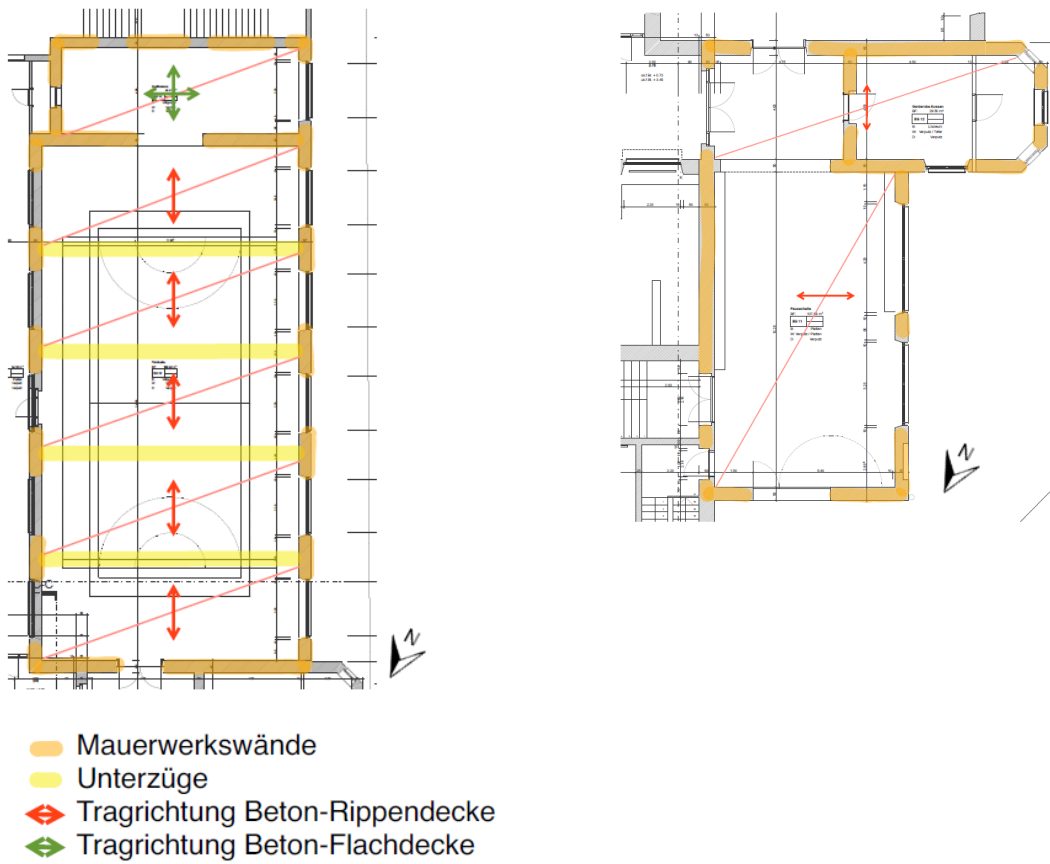
Die Gebäudeteile der Turn- und Pausenhalle verfügen über zwei Geschosse (EG & 1.OG). Die Stockwerkhöhe im EG beträgt 6 m. Die Mauerwerkswände weisen eine maximale Stärke von 60 cm im EG auf und verjüngen sich über die Stockwerke. Die Turnhalle ist im Aufriss und im Grundriss relativ regelmässig ausgesteift. Lediglich in Gebäudequerrichtung werden Torsionsbeanspruchungen erwartet.

Die Pausenhalle verfügt an den beiden angebauten Seiten (Ost und Süd) über lange Wandscheiben während die andere beiden Fassaden viele Aussparungen aufgrund von Fenstern und Toren aufweisen. Folglich sind in diesem Gebäudeteil grössere Torsionsbeanspruchungen zu erwarten.

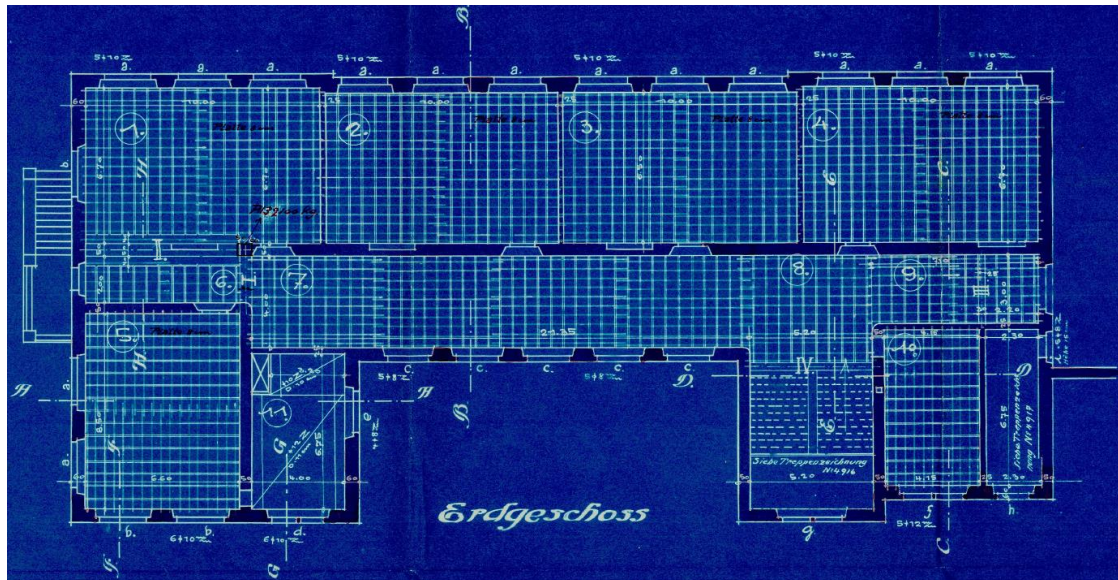
Die folgenden Abbildungen zeigen die Tragstruktur der verschiedenen Gebäudeteile.



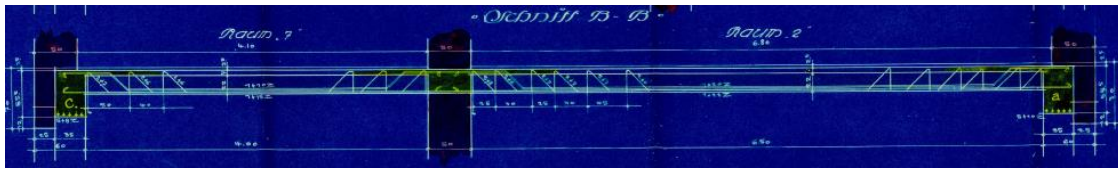
Tragstruktur Decke EG vom Schulgebäude



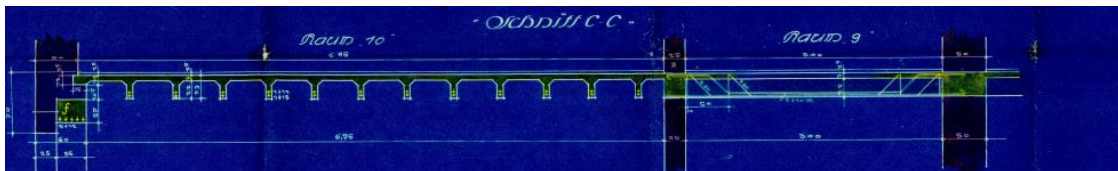
Tragstruktur Decke EG der Turnhalle (links) & Pausenhalle (rechts)



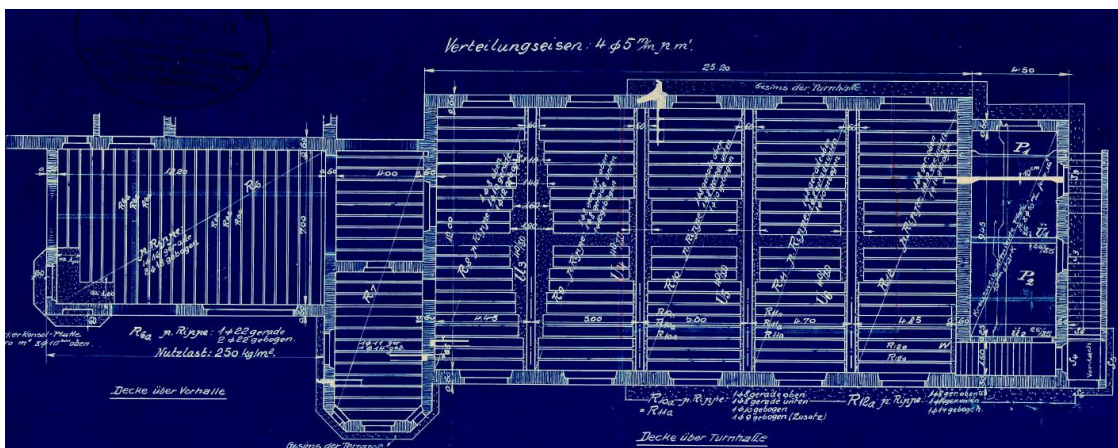
Original-Ingenieurplan – Decke über EG vom Schulgebäude



Original-Ingénieururplan – Längsschnitt durch Rippe der Betondecke



Original-Ingénieururplan – Querschnitt durch Rippen der Betondecke



Original-Ingénieururplan – Decke über EG von der Turn- und Pausenhalle

3.2 Berechnungsmodell

3.2.1 Verformungsbasiertes Verfahren gemäss D0237

Für den globalen Erdbebennachweis und zur Ermittlung des Erfüllungsfaktors wird das verformungsbasierte Verfahren gemäss SIA Dokumentation D0237 verwendet. Das Verfahren eignet sich am besten bei geringer Torsionseinwirkung, das heisst wenn eine Regelmässigkeit im Aufriss und im Grundriss gegeben ist.

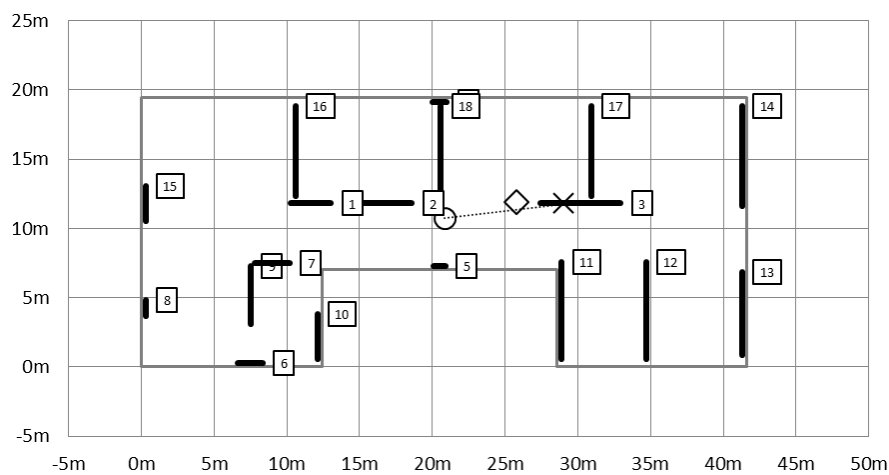
Das Schulgebäude und die Turnhalle weisen jeweils in eine Gebäuderichtung eine leichte Unregelmässigkeit im Grundriss auf, was zu einer Torsionseinwirkung führt. Die Turnhalle verfügt über Unregelmässigkeiten im Grundriss in Gebäudelängs- und Querrichtung. Aufgrund dessen werden grössere Torsionseinwirkungen erwartet. Das verformungsbasierten Verfahren gemäss SIA Dokumentation D0237 kann trotzdem angewendet werden, die Resultate (vor Allem die Resultate der Pausenhalle) müssen jedoch aufgrund der Torsion mit Sorgfalt interpretiert werden.

Für das verformungsbasierte Verfahren (Berechnung mit Push-Over) wird ein Modell erstellt, das nur die Mauerwerkswände berücksichtigt, die über die Geschosse durch laufen und zur Abtragung der Erdbekbenkräfte beitragen.

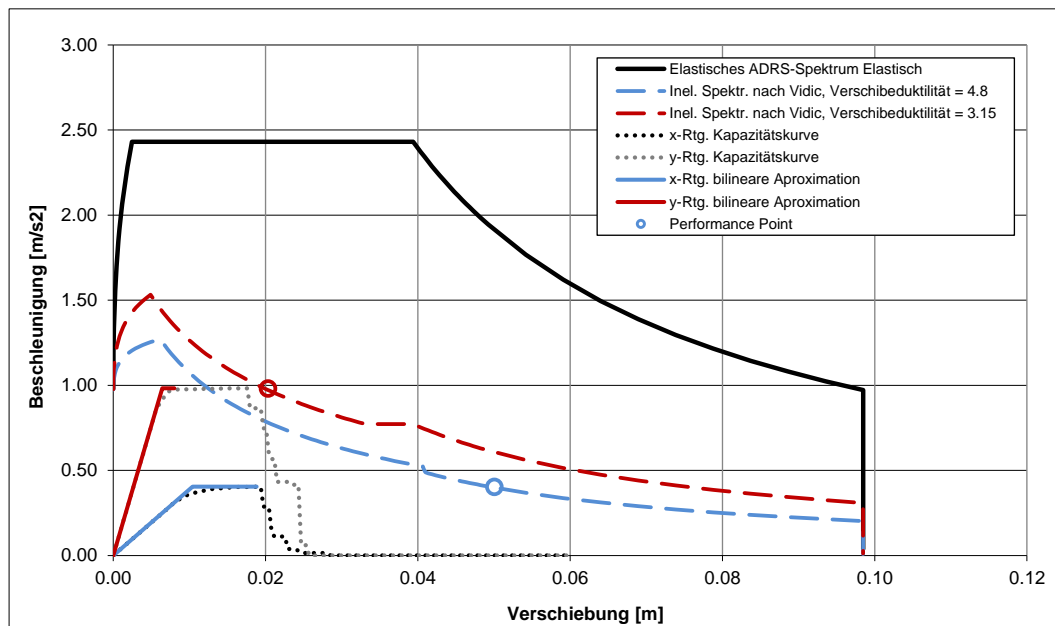
Die Ergebnisse der Berechnungen werden anschliessend analysiert und der Erfüllungsfaktor wird auch unter der Berücksichtigung der konstruktiven und konzeptionellen Durchbildung bestimmt.

Die Materialeigenschaften im Modell wurden gemäss Kapitel 2.5 festgelegt, und die Erdbebeneinwirkung ist in Kapitel 2.3 definiert.

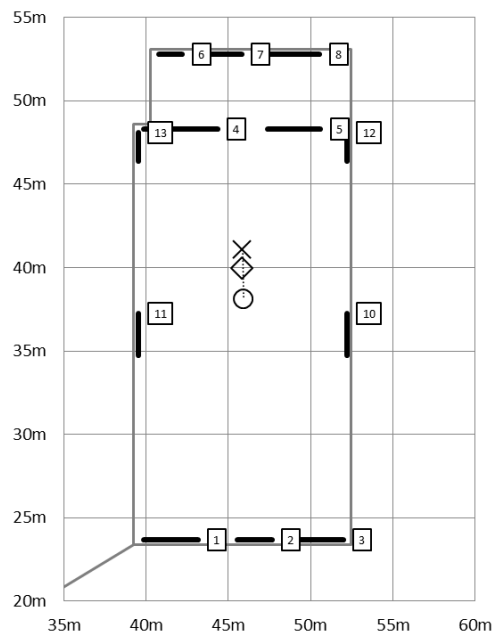
Beim verformungsbasierten Verfahren wird davon ausgegangen, dass der Momentennullpunkt der inneren Aussteifungswände jeweils über der Stockwerkhöhe liegt ($h_0 = 2.0 h_{st}$). Da die Aussenwände des Schulgebäudes aufgrund der Brüstungen und Stürze über den Fensteröffnungen eine gewisse Rahmenwirkung aufweisen wird hier von einem Momentennullpunkt auf Stockwerkhöhe ausgegangen ($h_0 = 1.0 h_{st}$). Zudem wird die Torsion berücksichtigt (vereinfachtes Verfahren Version von Sommer (2000)) gemäss SIA D0237. In den folgenden Abbildungen sind die Berechnungsmodelle und die resultierenden Push-Over-Kurven aus dem verformungsbasierten Verfahren zu sehen.



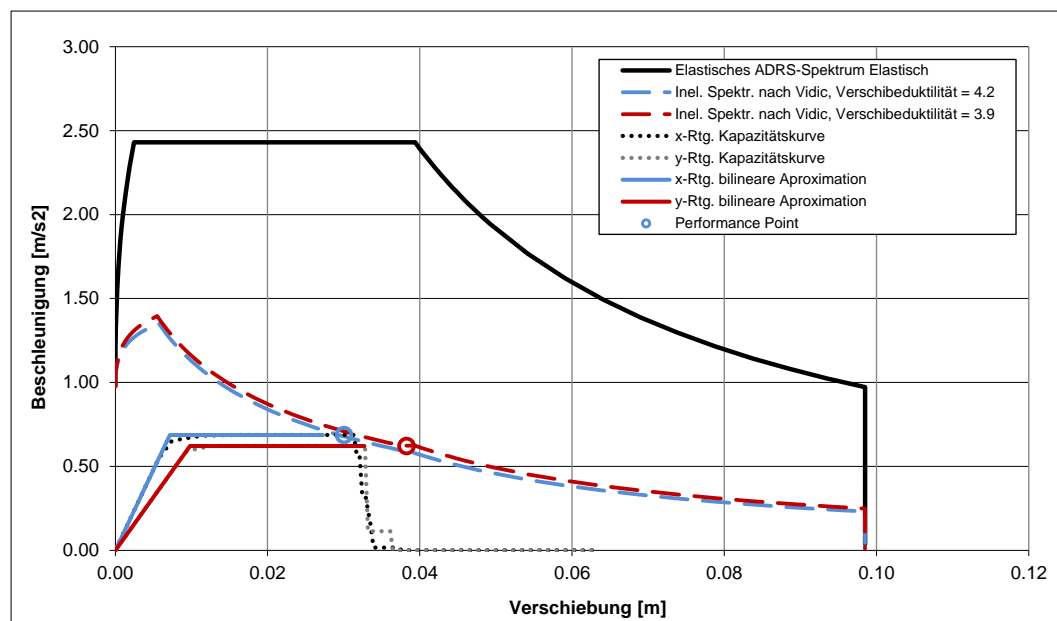
Modell der berücksichtigten Erdbbenwände im Grundriss - Schulgebäude

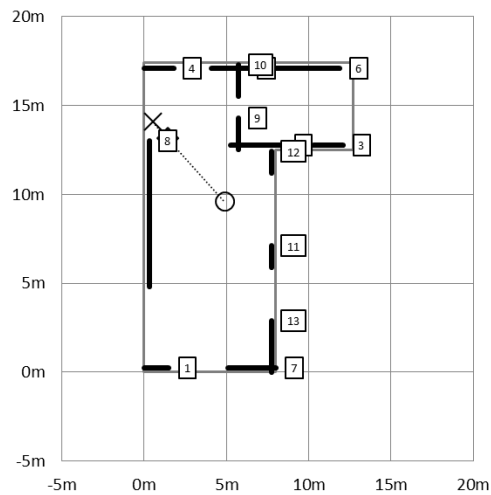


Push-Over-Kurve des verformungsbasierten Verfahrens gem. SIA Dok. D0237 - Schulgebäude ($f_{kd} = 2 \text{ N/mm}^2$)

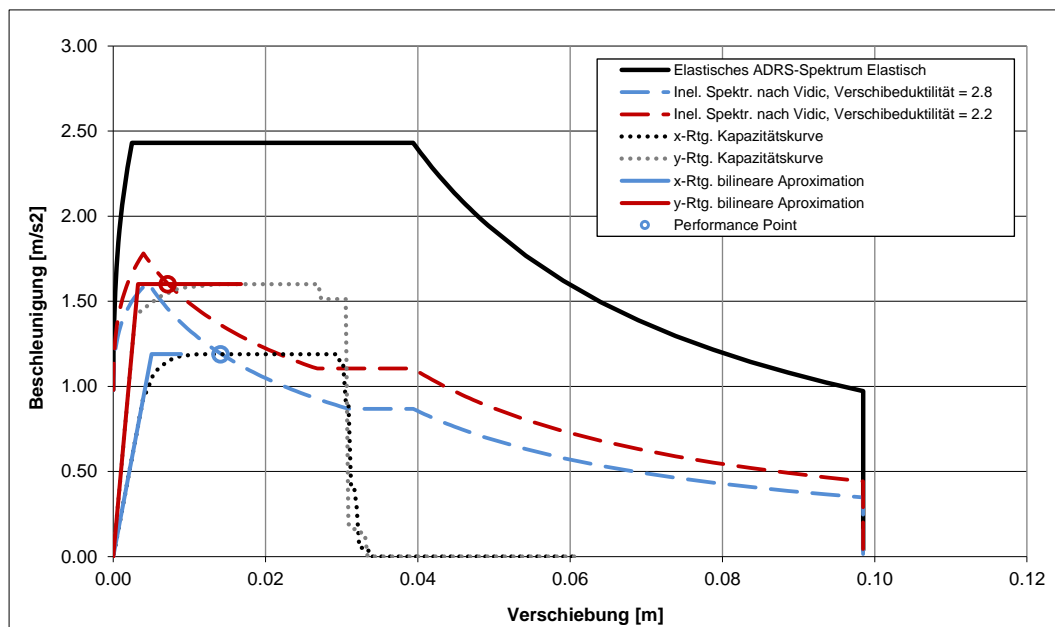


Modell der berücksichtigten Erdbebenwände im Grundriss - Turnhalle

Push-Over-Kurve des verformungs-basierten Verfahrens gem. SIA Dok. D0237 – Turnhalle ($f_{xd} = 2 \text{ N/mm}^2$)



Modell der berücksichtigten Erdbebenwände im Grundriss - Pausenhalle

Push-Over-Kurve des verformungsbasierten Verfahrens gem. SIA Dok. D0237 – Pausenhalle ($f_{xd} = 2 \text{ N/mm}^2$)

3.2.2 Push-Over Verfahren mit 3muri

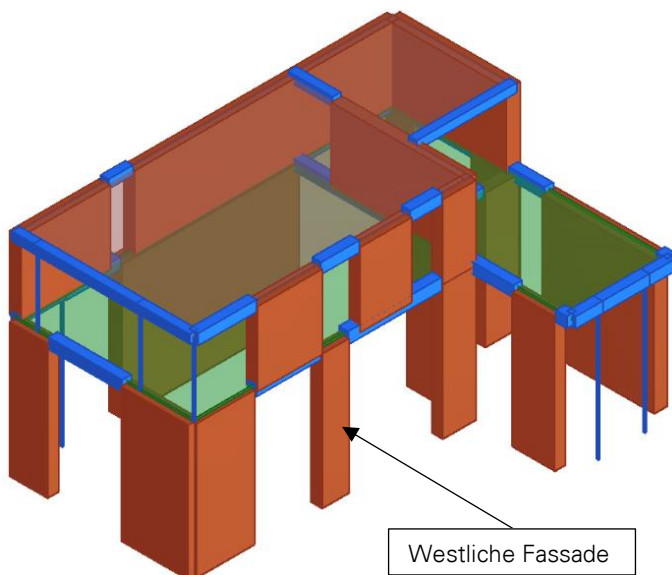
Die Pausenhalle verfügt über grosse Unregelmässigkeiten im Grundriss und Aufriss, was zu hohen Torsionseinwirkungen führt. Das verformungsbasierte Verfahren ist in diesem Fall nur beschränkt anwendbar. Da die horizontale Aussteifung massgeblich durch die vorhandenen Mauerwerkswände gewährleistet wird, eignet sich die Pausenhalle für eine Erdbebenüberprüfung mit dem Push-Over-Verfahren im Programm 3muri. Durch die unregelmässige Aussteifung im Grundriss werden grosse Torsionsbeanspruchungen erwartet, die im Programm 3muri wirklichkeitsnah abgebildet werden können. Dafür wird das Tragwerk 3-dimensional modelliert.

Beim Push-Over-Verfahren handelt es sich um ein nicht lineares statisches Berechnungsverfahren. Das verformungsbasierte Verfahren nimmt im Gegensatz zum kraftbasierten Verfahren die Erdbelastungen nicht als konstant an, sondern wendet variable Ersatzlasten an, um die verschiedenen Verformungszustände zu erreichen. Als Kontrollknoten wird ein Knoten in der obersten Ebene möglichst nahe am Torsionszentrum gewählt. Die Ausgabe der Berechnungsergebnisse erfolgt als Push-Over-Kurve, die die Kraft in Funktion der Verschiebung darstellt.

Die Materialeigenschaften im Modell wurden gemäss Kapitel 2.5 festgelegt, und die Erdbebeneinwirkung ist in Kapitel 2.3 definiert.

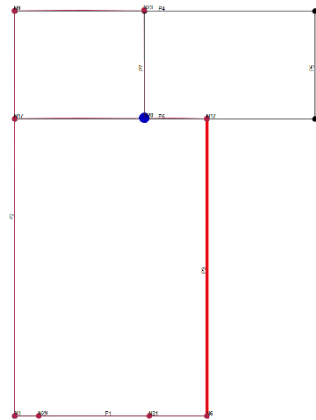
Im 3muri-Modell wurde die Mauerwerkssteifigkeit der Pausenhalle als gerissen definiert (konservative Annahme), da es sich um ein bestehendes Gebäude handelt. Zudem wurde die Begrenzung der Verschiebungen des bestehenden Gebäudes auf 6 ‰ reduziert. Durch die entsprechende Steifigkeitsreduktion und die Verschiebungsbegrenzung werden die Ergebnisse aus dem Push-Over-Verfahren konservativ ausfallen.

Im Programm 3muri wurde in einem ersten Schritt ein Modell generiert, bei dem die Stürze und Brüstungen im Bereich der Fenster und Eingangstore vernachlässigt werden. In den folgenden Abbildungen sind das Modell und die Berechnungsergebnisse dargestellt.

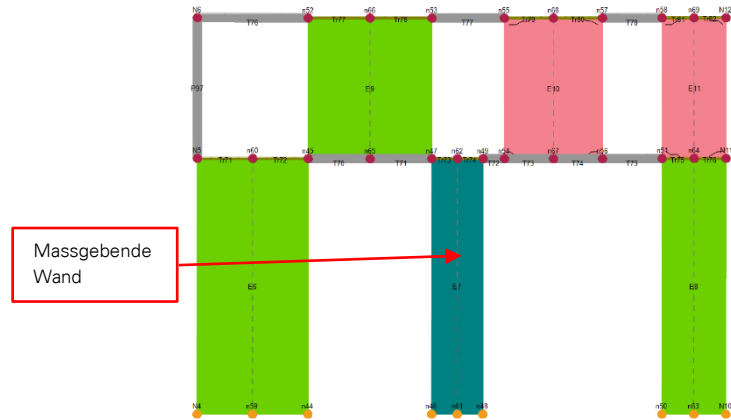


3D-Modell der Pausenhalle in 3muri (ohne Stürze und Brüstungen)

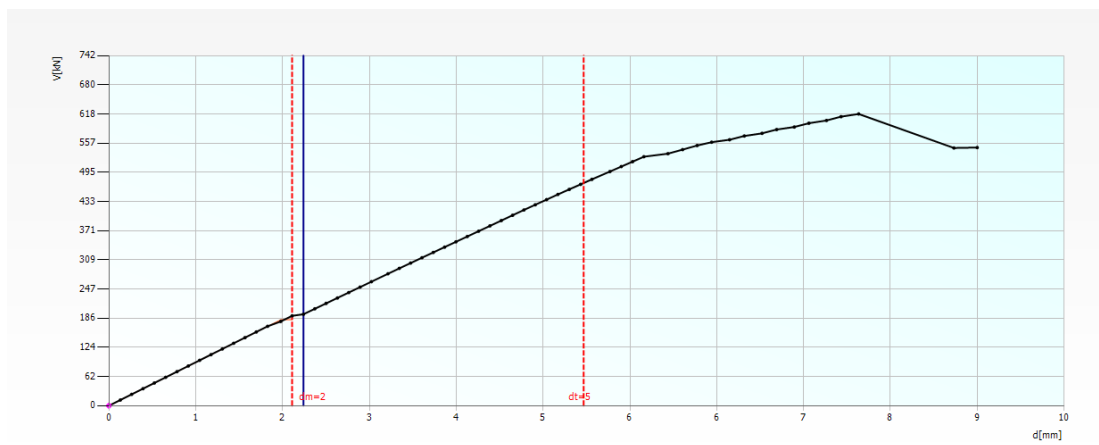
Bei einem Erdbeben in Gebäudequerrichtung wird die westliche Fassade der Pausenhalle massgebend. Eine Mauerwerksscheibe des unteren Geschosses versagt zuerst. Die dazugehörige Push-Over-Kurve mit der Zielverschiebung d_t und der maximalen Verschiebung d_m beim Versagen der Mauerwerksscheibe, ist ebenfalls in der folgenden Abbildung ersichtlich.



Grundriss

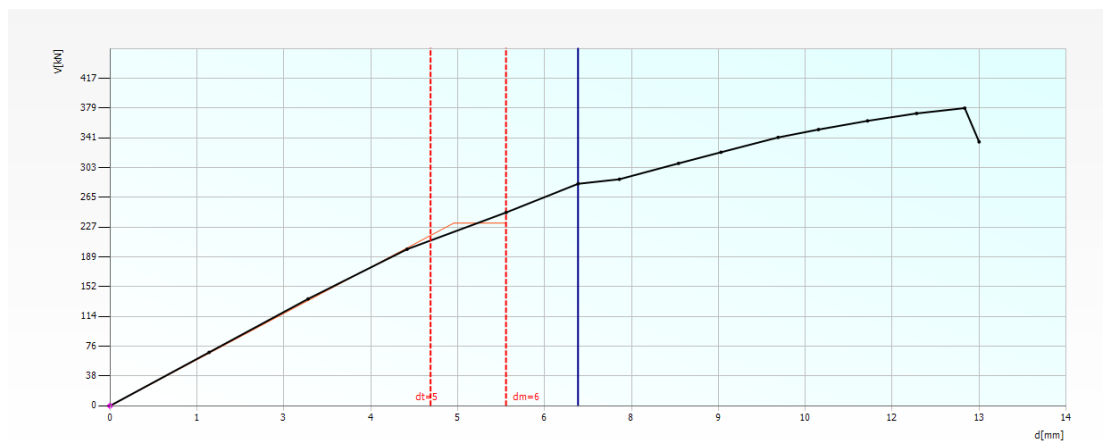
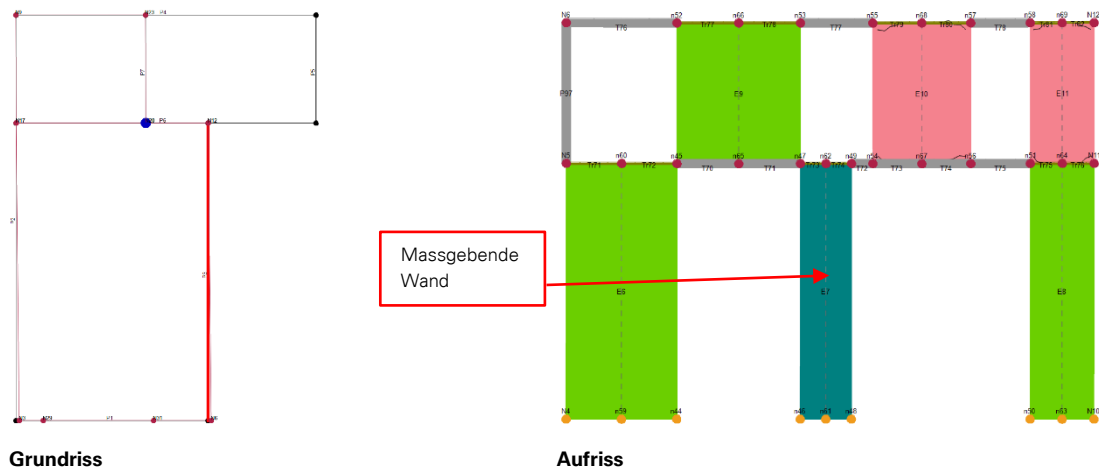


Aufriss



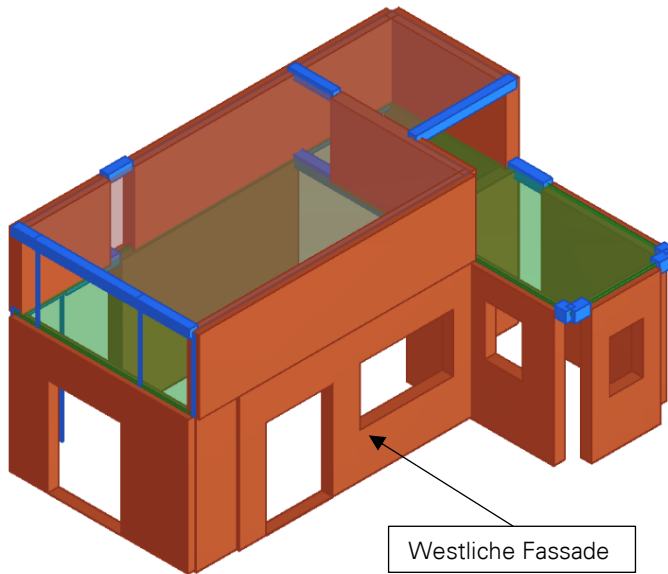
Push-Over-Kurve der Pausenhalle & massgebende Wand bei Erdbeben in Gebäudequerrichtung

Bei der Pausenhalle wird, bei einem Erdbeben in Gebäudelängsrichtung, ebenfalls die westliche Fassade massgebend. Eine Mauerwerksscheibe des unteren Geschosses versagt zuerst. Die dazugehörige Push-Over-Kurve mit der Zielverschiebung d_t und der maximalen Verschiebung d_m beim Versagen der Mauerwerksscheibe, ist ebenfalls in der folgenden Abbildung ersichtlich.



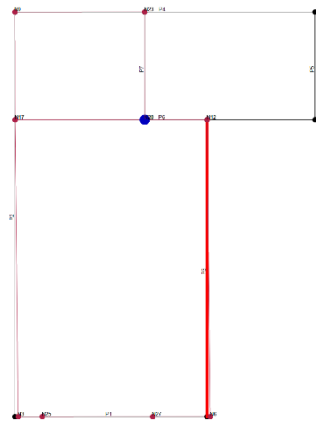
Push-Over-Kurve der Pausenhalle & massgebende Wand bei Erdbeben in Gebäudelängsrichtung

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Wände im EG und speziell die westliche Fassade massgebend werden. Infolge einer Begehung und aus dem entsprechenden Fotomaterial der Pausenhalle wurde ersichtlich, dass Ertüchtigungsmassnahmen schwierig sind aufgrund des Denkmalschutzes, sowohl im Innen – als auch im Aussenbereich der Pausenhalle. Da die Annahmen des ersten Modells konservativ sind, wurde mit Hilfe der Informationen aus der Begehung und den Ansichten aus den Aufnahmeplänen des Bestandes ein neues Modell erstellt. In diesem Modell werden die Aussenfassaden im EG genauer modelliert (speziell die westliche Fassade), da diese im vorherigen Modell massgebend waren. Die Stürze und Brüstungen im Bereich von Fenstern und Eingangstoren werden neu im Modell berücksichtigt. Aufgrund der Komplexität der Fassadenstruktur konnte nur das EG entsprechend modelliert werden. Im 1.OG musste vereinfachend eine durchgehende Mauerwerksscheibe vorgesehen werden. In der folgenden Abbildung ist das neue 3D-Modell zu sehen.

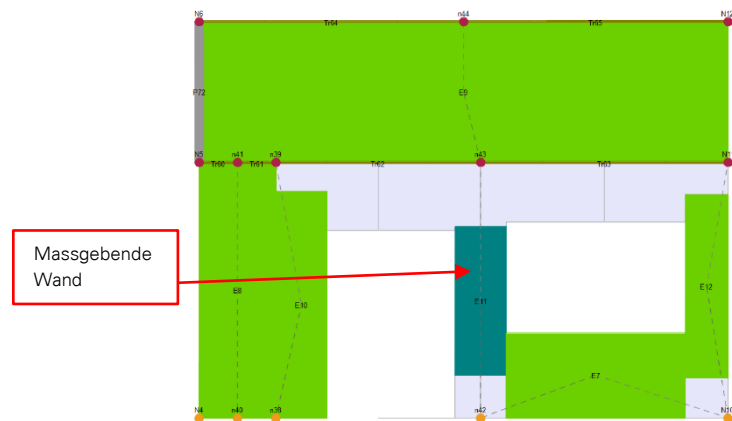


3D-Modell der Pausenhalle in 3muri (mit Stürzen und Brüstungen)

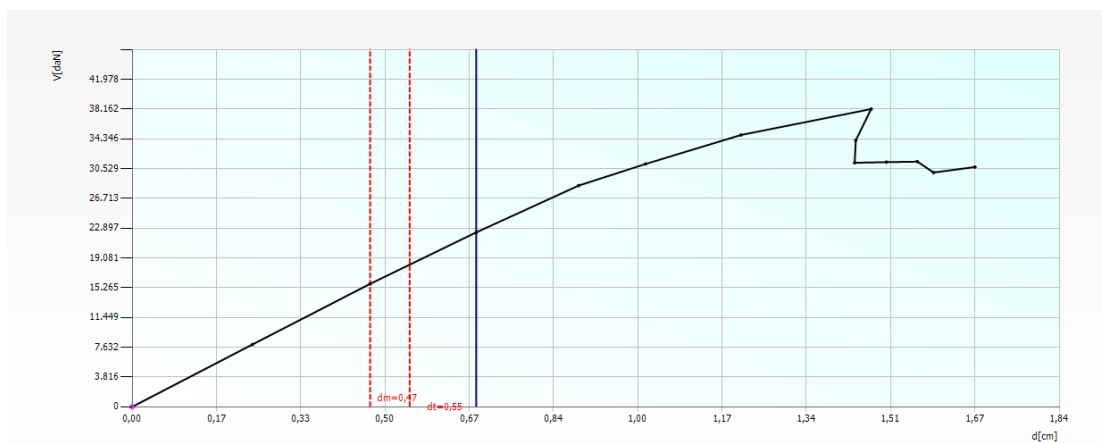
Bei einem Erdbeben in Gebäudequerrichtung wird die westliche Fassade der Pausenhalle massgebend. Es versagt die gleiche Mauerwerksscheibe im EG wie beim vorherigen Modell. Die dazugehörige Push-Over-Kurve mit der Zielverschiebung d_t und der maximalen Verschiebung beim Versagen der Mauerwerksscheibe d_m , ist ebenfalls in der folgenden Abbildung ersichtlich.



Grundriss

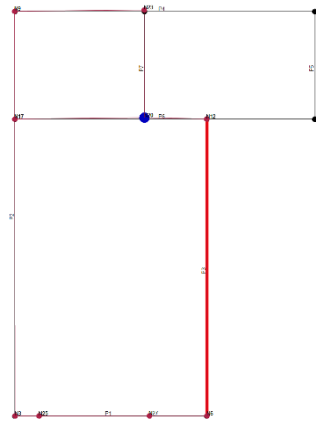


Aufriss

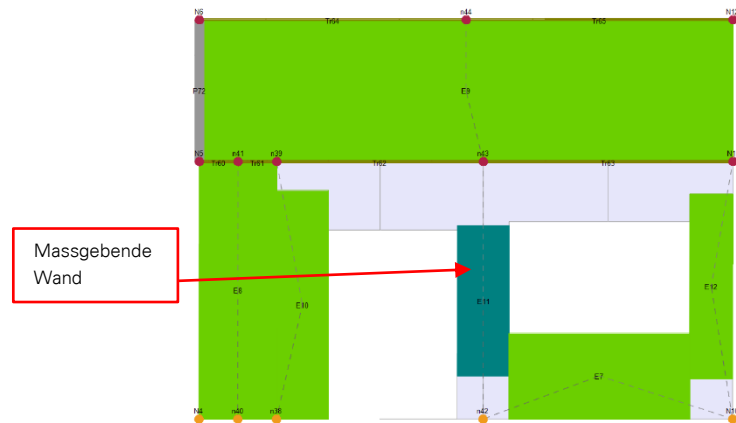


Push-Over-Kurve der Pausenhalle & massgebende Wand bei Erdbeben in Gebäudequerrichtung

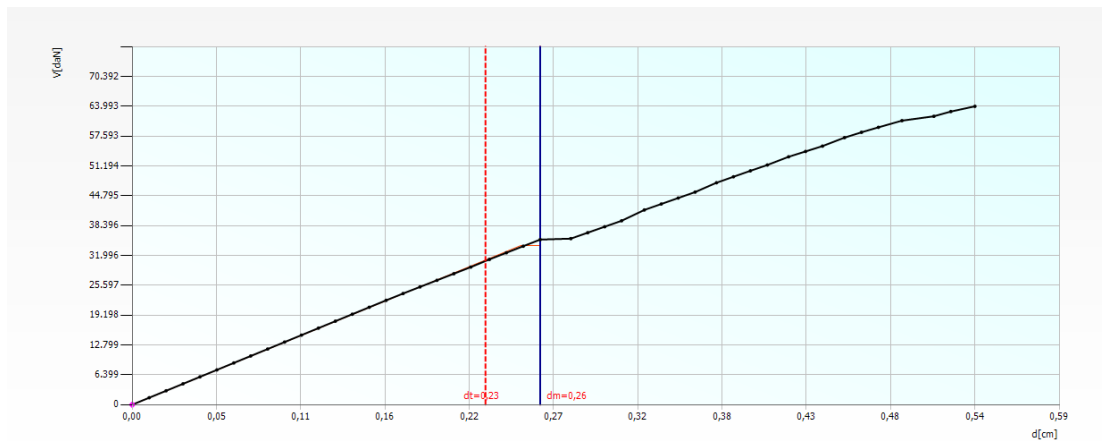
Bei einem Erdbeben in Gebäudelängsrichtung wird ebenfalls die westliche Fassade der Pausenhalle massgebend. Es versagt die gleiche Mauerwerksscheibe im EG. Die dazugehörige Push-Over-Kurve mit der Zielverschiebung d_t und der maximalen Verschiebung beim Versagen der Mauerwerksscheibe d_m , ist ebenfalls in der folgenden Abbildung ersichtlich.



Grundriss



Aufriss



Push-Over-Kurve der Pausenhalle & massgebende Wand bei Erdbeben in Gebäudelängsrichtung

Durch die Ungenauigkeit des zweiten Modells in Bezug auf das 1.OG ergibt die Berechnung in 3muri etwas zu gutmütige Resultate im Vergleich zum vorherigen 3muri-Modell. Der wirkliche Erfüllungsfaktor liegt zwischen den Werten, die sich aus diesen beiden Berechnungen ergeben.

3.3 Konstruktive und konzeptionelle Durchbildung

Alle Gebäudeabschnitte des Schulhauses verfügen über Rippendecken aus Stahlbeton, die auf Mauerwerkswänden aus Bruchstein aufgelagert sind. Die Stahlbetondecken wirken als Scheiben, die die horizontalen Lasten aus der Erdbebeneinwirkung auf die Wände verteilen.

Das Schulgebäude weist einen regelmässigen Aufriss auf, da die meisten Wände über alle Geschosse durch laufen. Im Grundriss ist das Gebäude in Längsrichtung regelmässig und in Querrichtung unregelmässig ausgesteift. Die westliche Gebäudehälfte verfügt über mehr lange Wandscheiben und verhält sich dementsprechend etwas steifer. Folglich wird eine Torsionsbeanspruchung infolge einer Erdbebeneinwirkung erwartet. Durch die hohen Geschosse und die begrenzte Anzahl aussteifender Wände in Gebäudelängsrichtung verfügt das Gebäude in dieser Richtung über ein weiches Tragwerk.

Die Turnhalle verfügt über einen relativ regelmässigen Grundriss und Aufriss und weist viele aussteifende Wände in beide Gebäuderichtungen auf. In Gebäudelängsrichtung ist die Südseite des Gebäudes etwas besser ausgesteift durch die zwei Wandreihen. Bei einer Erdbebeneinwirkung in Gebäudelängsrichtung werden Torsionsbeanspruchungen erwartet.

Die Pausenhalle verfügt über grosse Unregelmässigkeiten im Grundriss, die sich aus der Lage der Pausenhalle ergeben. Die Pausenhalle ist mit der östlichen Seite an dem Schulgebäude angebaut und mit der südlichen Seite an der Turnhalle. Zu den beiden Gebäuden hin verfügt die Pausenhalle entsprechend über längere Wandscheiben. An den von aussen ersichtlichen Fassaden der Pausenhalle hingegen befinden sich grosse Aussparungen für Fenster und Eingangstore. Da die Aussteifung vor allem durch die Aussenwände erfolgt, sind dementsprechend grosse Torsionseinwirkungen zu erwarten.

Da die Decken der Erdgeschosse für alle Gebäudeteile in der gleichen Ebene liegen, werden im Erdbebenfall keine Wände aus der Ebene beansprucht.

3.4 Gebrauchstauglichkeit

Die Gebäude sind in die Bauwerksklasse II-s eingeteilt, weshalb es im Erdbebenfall keine Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit gibt.

3.5 Sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtung

Bei einem allfälligen Umbau, resp. einer Sanierung sollten sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtung, welche bei einem Versagen Personen gefährden können, fest mit der Tragstruktur verbunden werden.

3.6 Resultate

3.6.1 Erfüllungsfaktor

Als Grundlage für die Beurteilung der Erdbebensicherheit eines Gebäudes wird der Erfüllungsfaktor ermittelt. Der Erfüllungsfaktor α_{eff} ist ein Mass für die Erfüllung der Erdbebensicherheit nach den aktuellen SIA Normen. Ist der Erfüllungsfaktor $\alpha_{\text{eff}} = 1.0$, erfüllt das Gebäude die aktuellen Anforderungen bezüglich Erdbebensicherheit.

Beim verformungsbasierten Verfahren gemäss SIA Dokumentation und beim Push-Over-Verfahren mit 3muri ergibt sich der Erfüllungsfaktor durch das Verhältnis von Verformungsvermögen zum Verformungsbedarf ($\alpha_{\text{eff}} = w_{\text{Rd}}/w_{\text{Ed}}$).

Aufgrund der durchgeführten Berechnungen und unter Berücksichtigung der konzeptionellen und konstruktiven Durchbildung ergibt sich für das Schulgebäude ein Erfüllungsfaktor von $\alpha_{\text{eff}} = 0.4$. Die

Turnhalle weist einen Erfüllungsfaktor von $\alpha_{\text{eff}} = 0.9$ auf und die Pausenhalle verfügt über einen Erfüllungsfaktor von $\alpha_{\text{eff}} = 0.6$. In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse für die einzelnen Gebäudeteile ersichtlich.

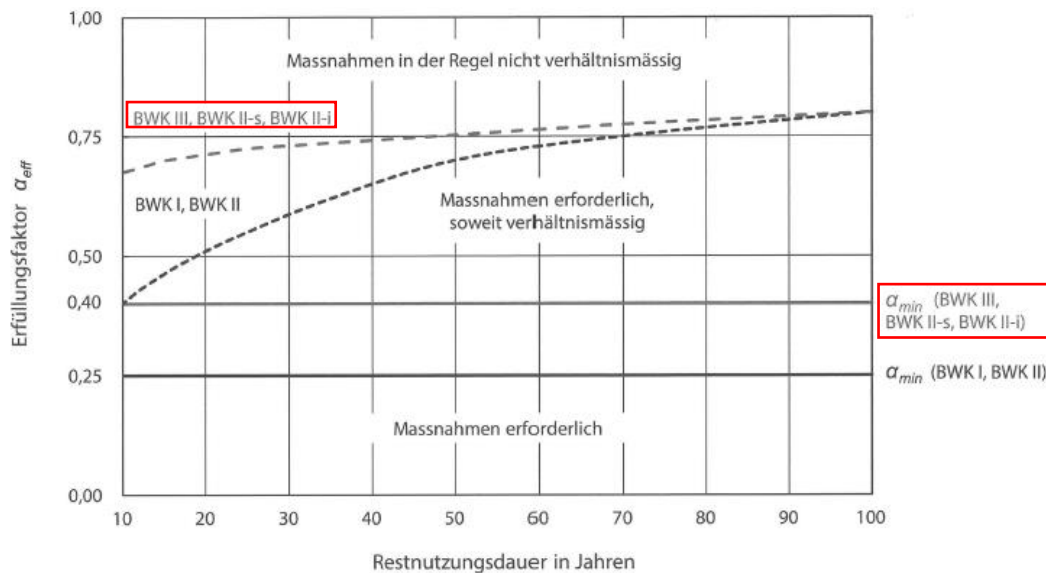
| Nachweis Ist-Zustand Schulgebäude | Erfüllungsfaktor | |
|---|----------------------------|-----------------------------|
| | Querrichtung (y) | Längsrichtung (x) |
| | $\alpha_{\text{eff,Quer}}$ | $\alpha_{\text{eff,Längs}}$ |
| Verformungsbasiertes Verfahren gem. SIA D0237 Annahme $f_{\text{xd}} = 2.0 \text{ N/mm}^2$ | 0.4 | 0.4 |
| Verformungsbasiertes Verfahren gem. SIA D0237 Annahme $f_{\text{xd}} = 3.0 \text{ N/mm}^2$ | 0.5 | 0.5 |
| Globaler Erfüllungsfaktor | 0.4 | |

| Nachweis Ist-Zustand Turnhalle | Erfüllungsfaktor | |
|---|----------------------------|-----------------------------|
| | Querrichtung (y) | Längsrichtung (x) |
| | $\alpha_{\text{eff,Quer}}$ | $\alpha_{\text{eff,Längs}}$ |
| Verformungsbasiertes Verfahren gem. SIA D0237 Annahme $f_{\text{xd}} = 2.0 \text{ N/mm}^2$ | 0.9 | 0.9 |
| Verformungsbasiertes Verfahren gem. SIA D0237 Annahme $f_{\text{xd}} = 3.0 \text{ N/mm}^2$ | 1.0 | 1.0 |
| Globaler Erfüllungsfaktor | 0.9 | |

| Nachweis Ist-Zustand Pausenhalle | Erfüllungsfaktor | |
|---|----------------------------|-----------------------------|
| | Querrichtung (y) | Längsrichtung (x) |
| | $\alpha_{\text{eff,Quer}}$ | $\alpha_{\text{eff,Längs}}$ |
| Verformungsbasiertes Verfahren gem. SIA D0237 Annahme $f_{\text{xd}} = 2.0 \text{ N/mm}^2$ | 0.6 | 0.6 |
| Verformungsbasiertes Verfahren gem. SIA D0237 Annahme $f_{\text{xd}} = 3.0 \text{ N/mm}^2$ | 1.0 | 1.0 |
| Push-Over-Verfahren mit Programm 3muri Annahme $f_{\text{xd}} = 2.0 \text{ N/mm}^2$ | 0.6 | 0.9 |
| Globaler Erfüllungsfaktor | 0.6 | |

3.6.2 Grenzwert für die sicherheitsbezogenen Investitionskosten

Die SIA 269/8 gibt aufgrund einer Kosten-Risiko-Überlegung Hinweise für die Entscheidung, ob ein bestehendes Gebäude bezüglich Erdbeben ertüchtigt werden soll oder ob der vorhandene Zustand weiterhin akzeptiert werden kann. Grundsätzlich wird immer ein normgerechter Zustand des Gebäudes angestrebt.



Beurteilung der Zumutbarkeit / Verhältnismässigkeit

Liegt der Erfüllungsfaktor α_{eff} unter dem minimalen Erfüllungsfaktor von $\alpha_{\text{min}} = 0.4$ für BWK II-s müssen Erdbebenertüchtigungsmassnahmen unabhängig von den Kosten ausgeführt werden. Liegt der Erfüllungsfaktor α_{eff} zwischen dem minimalen Erfüllungsfaktor α_{min} und dem zulässigen Reduktionsfaktor α_{adm} ist die Verhältnismässigkeit der Ertüchtigungsmassnahme zu beurteilen. Liegt der Erfüllungsfaktor α_{eff} über dem zulässigen Reduktionsfaktor α_{adm} ist die Verhältnismässigkeit der Ertüchtigungsmassnahme in der Regel nicht gegeben.

Zur Überprüfung der Verhältnismässigkeit der Ertüchtigungsmassnahme werden folgende Parameter berücksichtigt:

| | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| – Erfüllungsfaktor des Schulgebäudes | $\alpha_{\text{eff}} = 0.4$ |
| – Erfüllungsfaktor der Pausenhalle | $\alpha_{\text{eff}} = 0.6$ |
| – Erfüllungsfaktor der Turnhalle | $\alpha_{\text{eff}} = 0.9$ |
| – Erfüllungsfaktor nach Ertüchtigung | Abhängig von Ertüchtigungsmassnahmen |
| – Bauwerksklasse | BWK II-s |
| – Personenbelegung Schulgebäude | 80 Personen/Jahr |
| – Personenbelegung Pausenhalle | 11 Personen/Jahr |
| – Restnutzungsdauer (RND) | 60 Jahre (Annahme) |

Für die Personenbelegung des Schulgebäudes im Jahresschnitt wird davon ausgegangen, dass die Räumlichkeiten grösstenteils als Klassenzimmer genutzt werden. Im DG befindet sich zudem noch eine Wohnung. (Annahme für das Schulhaus: 3 Pers * Anzahl Klassenzimmer; Annahme für die Wohnung im DG: 0.4 * Anzahl Zimmer gemäss SIA 269/8, Tab.2).

Für die Personenbelegung des Gebäudeabschnitts mit der Pausenhalle im Jahresschnitt wird davon ausgegangen, dass die Pausenhalle zwei Mal der Personenbelegung eines Klassenzimmers entspricht (aufgrund der Fläche). Die Personenbelegung der Garderobe im EG entspricht der eines Klassenzimmers. Im 1.OG befindet sich zudem noch die Abwartwohnung mit 3 Zimmern. (Annahme für

die Pausenhalle: 3 Pers * Anzahl Klassenzimmer; Annahme für die Garderobe: 3 Pers. * Anzahl Klassenzimmer; Annahme für die Wohnung: 0.4 * Anzahl Zimmer gemäss SIA 269/8, Tab.2).

Für das Schulgebäude ergibt sich ein Erfüllungsfaktor von $\alpha_{\min} \leq \alpha_{\text{eff}} = 0.4 \leq \alpha_{\text{adm}}$. Ertüchtigungsmassnahmen sind somit erforderlich, wenn diese verhältnismässig sind.

Die Turnhalle verfügt über einen Erfüllungsfaktor von $\alpha_{\text{eff}} = 0.9 > \alpha_{\text{adm}}$. Folglich sind Ertüchtigungsmassnahmen in der Regel nicht verhältnismässig.

Die Pausenhalle weist einen Erfüllungsfaktor von $\alpha_{\min} \leq \alpha_{\text{eff}} = 0.6 \leq \alpha_{\text{adm}}$ auf. Das heisst Ertüchtigungsmassnahmen müssen umgesetzt werden, sofern diese verhältnismässig sind.

Erdbebenertüchtigungsmassnahmen sind verhältnismässig, wenn die in Geldeinheiten bewertete Risikoreduktion infolge der Erdbebensicherheitsmassnahmen die Kosten der Erdbebensicherheitsmassnahmen übersteigt.

Zur Berechnung der Risikoreduktion des Schulgebäudes von $\alpha_{\text{eff}} = 0.4$ auf $\alpha_{\text{eff}} = 0.7$ und in einem zweiten Schritt auf $\alpha_{\text{eff}} = 1.0$ wird im Folgenden lediglich die Reduktion der Personenrisiken berücksichtigt.

Aus der Reduktion des Personenrisikos lässt sich ein Grenzwert für die sicherheitsbezogenen Investitionskosten SIC_M bestimmen, unterhalb dessen die Investitionskosten als verhältnismässig betrachtet werden können.

Von $\alpha_{\text{eff}} = 0.4$ auf $\alpha_{\text{eff}} = 0.7$: $SIC_M = 83'000 \text{ CHF}$

Von $\alpha_{\text{eff}} = 0.7$ auf $\alpha_{\text{eff}} = 1.0$: $SIC_M = 25'000 \text{ CHF}$

Für das Schulgebäude Moosmatt sind demzufolge sicherheitsbezogene Investitionskosten bis zu CHF 108'000.- als verhältnismässig einzustufen, um einen normgerechten Zustand bzw. einen Erfüllungsfaktor von $\alpha_{\text{eff}} = 1.0$ zu erreichen.

Gemäss der Norm umfassen die sicherheitsbezogenen Investitionskosten alle Kosten, die der eigentlichen Erdbebenertüchtigung gelten und die nicht auf andere Anforderungen (ohnehin nötige Instandsetzungen und Veränderungen) abgewälzt werden können.

Die Pausenhalle weist im Gegensatz zum Schulgebäude eine wesentlich geringere Personenbelegung von 11 Personen im Jahresschnitt auf. Entsprechend fällt auch der Grenzwert für die sicherheitsbezogenen Investitionskosten niedrig aus.

Von $\alpha_{\text{eff}} = 0.6$ auf $\alpha_{\text{eff}} = 1.0$: $SIC_M = 5'000 \text{ CHF}$

Rein aus Sicht der Reduktion des Personenrisikos sind Kosten für die Erdbebenertüchtigung bis zu CHF 5'000.- als verhältnismässig einzustufen. In diesem Fall muss bei der Beurteilung der Verhältnismässigkeit zudem der Aspekt des Denkmalschutzes berücksichtigt werden, da Ertüchtigungsmassnahmen im Bereich der Pausenhalle nur schwer möglich sind ohne den erhaltenswerten Innenbereich (Wandmalereien und Wandfliesen) und Aussenbereich (Fassade) der Pausenhalle zu verändern (siehe Fotos im Kapitel 1.2). Dadurch wird der Grenzwert für die sicherheitsbezogenen Investitionskosten noch niedriger ausfallen.

Da für die Pausenhalle in diesem Kostenrahmen keine Ertüchtigungsmassnahmen umgesetzt werden können, sind die Ertüchtigungsmassnahmen somit als unverhältnismässig einzustufen.

4 ERTÜCHTIGUNGSKONZEPT

4.1 Sondagen

Zur genauen Bestimmung der erforderlichen Erdbebenertüchtigungsmassnahmen wird empfohlen die Mauerwerkswände zu sondieren, um Rückschlüsse auf den Zustand und die Festigkeit der Mauerwerkswände zu ziehen. Zudem sollten die Aussparungen insbesondere in den Innenwänden in Gebäudelängsrichtung sondiert werden, um deren genaue Ausdehnungen zu erfassen.

Im EG stimmen die Aufnahmepläne des Bestandes nicht mit den Ingenieurplänen überein. Die Wandscheibe die im UG ergänzt werden soll (siehe Kapitel 4.2.1) sollte im EG gemäss Aufnahmeplänen bereits bestehen. In den Ingenieurplänen ist im EG lediglich ein Unterzug vorgesehen. Es muss sondiert werden, ob diese Wand tragend ausgebildet ist, da die Durchlaufwirkung der Wandscheibe bis ins UG essentiell ist für die Aussteifung des Gebäudes.

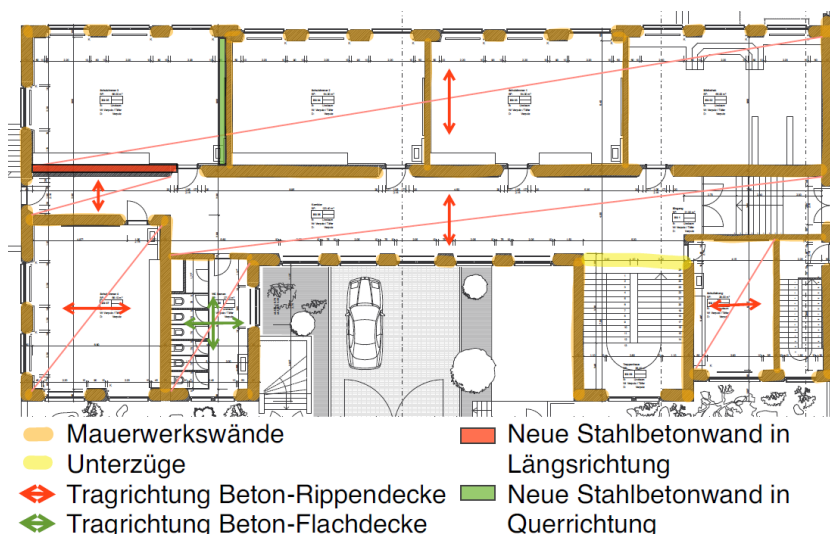
4.2 Massnahmen

4.2.1 Schulgebäude

Der Erfüllungsfaktor des Schulgebäudes beträgt $\alpha_{\min} \leq \alpha_{\text{eff}} = 0.4 \leq \alpha_{\text{adm}}$. Ertüchtigungsmassnahmen sind somit erforderlich, sofern diese verhältnismässig sind.

Als Ertüchtigungsmassnahme bietet es sich an, eine Innenwand im UG zu ergänzen (rote Wand in der folgenden Abbildung), die gemäss Aufnahmeplänen ab dem EG bis in das 2.OG weiterläuft. Die neue Wand befindet sich im östlichen Gebäudeteil und verläuft in Gebäudelängsrichtung. Durch die Ergänzung dieser Wand aus Stahlbeton wird das Gebäude in Gebäudelängsrichtung zusätzlich ausgesteift. Die Wand wird mindestens bis UK Decke EG ergänzt, da davon auszugehen ist, dass die Wand im EG nachträglich aufgemauert wurde und so als nichttragend gilt. (siehe Kapitel 4.1).

In Gebäudequerrichtung ergibt sich der niedrige Erfüllungsfaktor nicht aus einer ungenügenden Anzahl an Wänden und somit einem mangelnden Widerstand, sondern der Erfüllungsfaktor folgt aus der hohen Torsionsbeanspruchung durch die unregelmässige Verteilung der Wände in Querrichtung. Die westliche Gebäudeseite ist durch die langen Aussenwände viel steifer als die Ostfassade mit den vielen Fensteröffnungen. Als Ertüchtigungsmassnahme wird eine Aufdopplung der schlanken Innenwand im östlichen Gebäudeteil mit einer Stahlbetonwand vorgeschlagen. Die Wand sollte vom UG bis ins 1.OG hochgezogen werden. So wird einerseits die Torsion reduziert und andererseits kann die höhere Beanspruchung infolge der restlichen Torsion besser aufgenommen werden.



Ertüchtigungskonzept Schulgebäude

Diese Massnahmen haben eine Erhöhung des Erfüllungsfaktors von $\alpha_{\text{eff}} = 0.6$ bis 0.8 zur Folge, je nach Mauerwerksfestigkeit.

Um den Erfüllungsfaktor weiter zu steigern müssten weitere Wände vor Allem in Gebäudelängsrichtung neu erstellt oder in Beton aufgedoppelt werden.

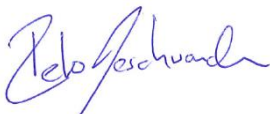
4.3 Beurteilung der Zumutbarkeit / Verhältnismässigkeit

In einem ersten Schritt wird vorgeschlagen beim Schulgebäude eine Wand in Gebäudelängsrichtung im UG weiterzuführen und zur Reduktion der Torsion eine Wand in Gebäudequerrichtung in Stahlbeton über drei Geschosse aufzudoppeln. Um diese Massnahmen umzusetzen und den Erfüllungsfaktor vom Schulgebäude von $\alpha_{\text{eff}} = 0.4$ auf $\alpha_{\text{eff}} = 0.7$ zu erhöhen sind sicherheitsbezogene Investitionskosten bis zu CHF 83'000.- verhältnismässig.

Für eine weitere Erhöhung des Erfüllungsfaktors von $\alpha_{\text{eff}} = 0.7$ auf von $\alpha_{\text{eff}} = 1.0$ sind Kosten bis zu CHF 25'000.- verhältnismässig. Weitere Ertüchtigungsmassnahmen, wie neue Wände aus Stahlbeton zu erstellen, sind in der Regel innerhalb dieses Budgets nicht umsetzbar und somit nicht verhältnismässig.

Aufgrund niedriger Personenbelegung und dem erhaltenswerten Innen- und Aussenausbau der Pausenhalle sind Ertüchtigungsmassnahmen in diesem Gebäudeteil nicht verhältnismässig.

Horw, 9. April 2020
Wälli AG Ingenieure



Reto Deschwanden
Dipl. Bauingenieur FH / SIA



Elisabeth Goerens
MSc ETH Bauingenieurwissenschaften