

Hohe Promenade

Autor(en): **Ciari, Anna**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **134 (2008)**

Heft 36: **Transformiert**

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-108971>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

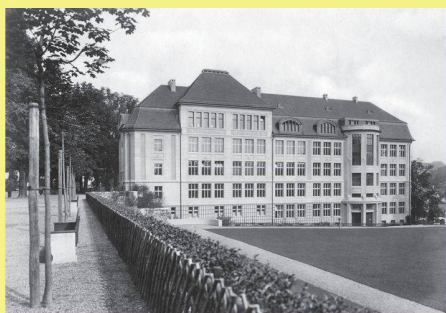
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

HOHE PROMENADE



01

Die 1912–1913 nach einem Entwurf von Gustav Gull erbaute Kantonsschule Hohe Promenade in Zürich wird seit Sommer 2008 saniert. Vorgängig musste die Erdbebensicherheit des Gebäudes nachgewiesen werden. Ein neues, verformungsbasiertes Verfahren für Mauerwerksbauten wurde aus diesem Grund für die Anwendung an einem Altbau adaptiert.

Im Zuge der geplanten Gesamtsanierung (2008–2010) des Gebäudes musste die Erdbebensicherheit nachgewiesen werden. Um Einwirkung und Widerstand möglichst wirklichkeitsgetreu zu erfassen, wurde das verformungsbasierte Verfahren gewählt¹. Für Mauerwerksbauten ist dieses Verfahren neu und in der Schweizer Norm bis dato nicht erfasst. Es wurde erstmals 2002 für die Anwendung an Neubauten vorgestellt. Mit dem verformungsbasierten Verfahren können Trag- und Verformungsreserven des Bauwerks erfasst werden, die bei der Anwendung der konventionellen kräftebasierten Verfahren unberücksichtigt bleiben. Nachdem Abschätzungen mit dem Ersatzkraftverfahren nach SIA 261 gezeigt haben, dass bezüglich Erdbebensicherheit Defizite vorliegen, konnte durch Anwendung des verformungsbasierten Verfahrens die Erdbebensicherheit nachgewiesen werden.

DAS SCHULHAUS HOHE PROMENADE

Das Schulhaus Hohe Promenade südlich des Heimplatzes in Zürich wurde vom damaligen Stadtbaumeister Gustav Gull geplant und von den Architekten Rudolf Streiff und Gottfried Schindler in den Jahren 1912–1913 gebaut. Im Erdgeschoss ist im halboffenen Hofbereich eine zweigeschossige Turnhalle eingesetzt. Das Untergeschoss wurde in Stampfbeton erstellt, die Wände im Erdgeschoss und in den vier Obergeschossen in Mauerwerk. Bewehrte Stahlbetonrahmen mit aufgesetztem Holzdachstuhl bilden die Dachkonstruktion. Die Decken sind als bewehrte Hohlkörperdecken mit einem dünnen unbewehrten Betonüberzug ausgeführt und ein- bzw. zweiachsig gespannt. Das Gebäude wurde mit Streifenfundamenten auf den Endmoränen des Linthgletschers gegründet. Der Kellerboden liegt schwimmend zwischen den Fundamenten. Beim Bau der Tiefgarage Hohe Promenade in den 1970er-Jahren wurde ein Gebäudetrakt über deren Zufahrt auf einer Länge von ca. 18m abgefangen und unterfahren.

DAS GEBÄUDE VON GUSTAV GULL WIRD SANIERT

Die Kantonsschule ist ein Baudenkmal von kommunaler Bedeutung. Lange aufgeschobener Unterhalt und erhöhte Ansprüche der Schule erfordern eine Sanierung. Die Anpassungen bezüglich feuerpolizeilicher, energetischer und baubiologischer Anforderungen und Behindertenzugänglichkeit müssen in schonendem Umgang mit der Bausubstanz erfolgen. Wesentliche bauliche Änderungen an der Konstruktion sind der Lifteinbau, die Neugestaltung des Hofbereichs, die Umnutzung der Turnhalle in eine Mediothek sowie in Teilbereichen die Absenkung der Bodenplatte um bis zu 80cm. Im Kellergeschoss sind Wanddurchbrüche erforderlich, die teilweise die kräftigen Abfangungsträger von 1970 erheblich schwächen und eine erneute Abfangung erfordern.

KONZEPTIONELLE ÜBERLEGUNGEN ZUR ERDBEBENSICHERHEIT

Das Kellergeschoss kann unter Berücksichtigung der geplanten baulichen Massnahmen als «steifer Kasten» betrachtet werden. Diese Massnahmen umfassen eine neue Bodenplatte, bereichsweise neue Kellerdecken und den Neubau von Schulräumen auf Höhe des Untergeschosses im Hofbereich. Die Konstruktion der Hohlkörperdecken entspricht, vor

01+02 Die Kantonsschule Hohe Promenade, ehemals Töchterschule, wurde vom damaligen Stadtbaumeister Gustav Gull (1858–1942) entworfen. Sie wird zwischen 2008 und 2010 für rund 35 Mio. Fr. saniert (Bilder: Wolf-Benders, Baugeschichtliches Archiv Zürich)



02

alles aufgrund des unbewehrten Betonüberzugs, nicht den Anforderungen der heute gültigen Erdbebennormen. Abschätzungen zeigten, dass dennoch von einer ausreichenden Scheibenwirkung ausgegangen werden kann. Eine Ausnahme bildet die im Dachraum liegende Decke, die nur von einem minderwertigen Mörtel überzogen ist. Dieser soll bei der Sanierung durch einen bewehrten Betonüberzug ersetzt werden. Die Deckenaufleger auf den Wänden sind grosszügig ausgebildet, sodass ein Herunterfallen der Decken bei Erdbeben ausgeschlossen werden kann. Die versteifende Flanschwirkung von Querwänden wurde nicht berücksichtigt, da unter Erdbebeneinwirkung bei Gebäuden mit vorwiegendem Schubverhalten mit einem Aufreissen der Flansch-Steg-Fugen zu rechnen ist.²

ERSCHWERTE BESTIMMUNG DER MATERIALKENNWERTE DES MAUERWERKS

Mit materialtechnologischen Untersuchungen an den Wänden werden die tatsächlichen Materialkennwerte bestimmt. Insgesamt wurden 53 Bohrkern entnommen. Die Steinroh-dichte, die Mörtel- und Steindruckfestigkeiten wurden gemessen sowie das Mauerwerkgefüge aufgenommen. Es zeigte sich, dass alle Lager- und Stossfugen vollflächig vermörtelt sind. Die Mörtelfestigkeit streute jedoch erheblich. Teilweise wurde kompakter Mörtel gefunden, teilweise zerbröselte er in der Hand. Die mittleren Druckfestigkeiten des kompakten Mörtels betragen rund 50 % des für den Mauerwerktyp MB (Einsteinmauerwerk aus Backsteinen) zu verwendenden Mörtels nach heutigen Anforderungen. Lange Bohrkern zeigten, dass es sich auch bei den fast 1 m starken Wänden um ein im Verbund gemauertes Mauerwerk handelte, das sich aus unterschiedlichen Steintypen zusammensetzte. Die Eigenschaften variierten bezüglich Festigkeit, Lochanteil und Farbe, ohne dass dabei eine Systematik zu erkennen war.

Aus den Druckfestigkeiten von Stein und Mörtel sowie dem E-Modul des Steins wurden die Mauerwerkskennwerte durch empirische Formeln ermittelt. Die errechneten mittleren Kennwerte des vorgefundenen Mauerwerks liegen ca. 10% über denen des in der SIA 266

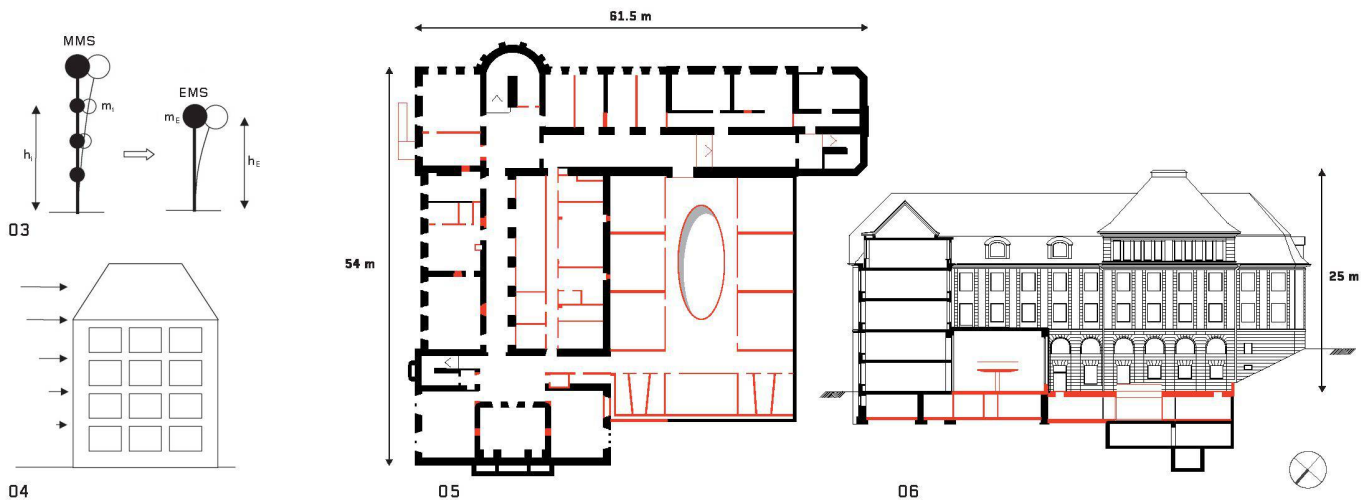
MAUERWERKSKENNWERTE BERECHNEN

$$f_{MWK} = \alpha_1 \times f_{Stein}^{\beta_1} \times f_{Mörtel}^{\gamma_1}$$

$$E_{MWK} = \alpha_2 \times f_{Stein}^{\beta_2} \times f_{Mörtel}^{\gamma_2}$$

mit f Würfeldruckfestigkeit
 α, β, γ Parameter, variieren
 je nach Versuchsserie

Zahlenwerte und dazugehörige Bestimmtheitsmasse sind in der Literatur³ zu finden.



ERDBEBEN- UND BAUWERK-SPEZIFISCHE ECKDATEN ALS EINGANGSPARAMETER FÜR DAS ANTWORTSPEKTRUM

Erdbebenzone	Z1
Bodenbeschleunigung	0.6 m/s ²
Baugrundklasse	E
Bauwerksklasse	II
Eigenschwingzeiten des Gebäudes	0.26–0.41 s

AUFWAND SCHÄTZEN

Den eingesparten Baukosten von rund 700 000 Fr. stehen Mehraufwendungen für die Tragwerkkanalyse von rund 50 000 Fr. gegenüber. Dies bestätigt die Erfahrung der Verfasser, dass durch die Anwendung des aufwendigen Nachweisverfahrens meist deutliche Einsparungen bei den Verstärkungsmassnahmen erzielt werden können – bei gleichzeitiger Erfüllung der verlangten Erdbebensicherheit. Der Aufwand für die Analyse eines bestehenden Bauwerks mit dem verformungs-basierten Verfahren oder mit dem Antwortspektrenverfahren kann vorgängig nicht verlässlich geschätzt werden. Abhängig von den Randbedingungen, von der Art und Grösse der Tragstruktur sowie vom tatsächlichen Tragwiderstand der einzelnen Teile kann der Berechnungsaufwand für ein Gebäude zwischen 100 h und 500 h liegen. In manchen Fällen auch darüber. Obwohl die Auftraggeber heute mehrheitlich dazu neigen, Planungsaufträge zu pauschalisieren, ist diese Art der Honorierung für die Nachweisführung der Erdbebensicherheit zielfremd. Da sich diese Dienstleistung vor allem bei bestehenden Bauwerken nicht ausreichend genau quantifizieren lässt, ist die Entschädigung nach Aufwand auf der Basis einer groben Aufwandschätzung der richtige Ansatz. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung, damit der beauftragte Planer die erforderlichen Nachweise normgemäss führt sowie mithilfe von Variantenstudien und Iterationen jene optimale Lösung findet, die das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweist: die Erfüllung der Erdbebensicherheit bei minimalen Verstärkungsmassnahmen.

standardisierten Mauerwerks des Typs MB. Aufgrund der Streuung der Stein- und Mörtelkennwerte sowie der inhomogenen Mauerwerkzusammensetzung sind deutliche und unsystematische Unterschiede im Verhalten und im Tragwiderstand der einzelnen Wände zu erwarten. Zusätzliche Unsicherheiten ergeben sich bezüglich der nicht geprüften Wände. Die Proben wurden deshalb statistisch so ausgewertet, dass sinnvolle obere und untere Grenzwerte sowie Mittelwerte für die Mauerwerkeigenschaften definiert werden konnten.

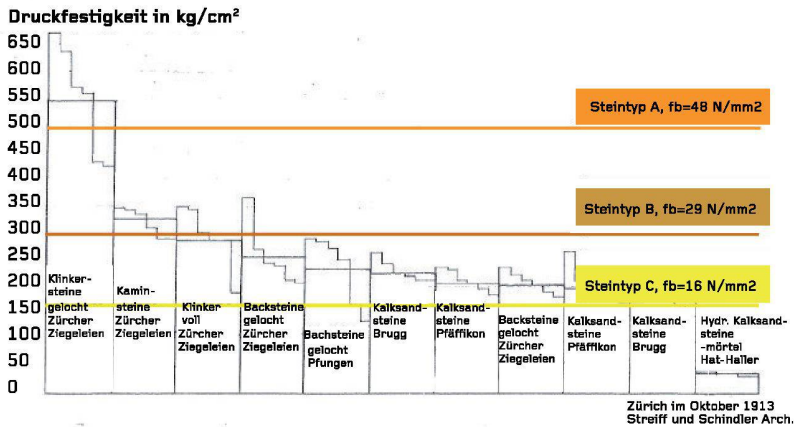
GEBÄUDEMODELLIERUNG

Für die Anwendung des verformungs-basierten Verfahrens war eine zweidimensionale Modellierung des Gebäudes ausreichend. Jede Wand wurde als Scheibe modelliert, deren Einspannhorizont der Höhe Kellerdecke entspricht. Es wurden drei Szenarien mit geringen, mittleren und hohen Druckfestigkeiten zur Modellierung der Mauerwerkskonstruktion definiert. Die Rissbildung unter dynamischer Anregung wurde im Modell mit einem Steifigkeitsabfall von 30% und von 50% berücksichtigt.¹

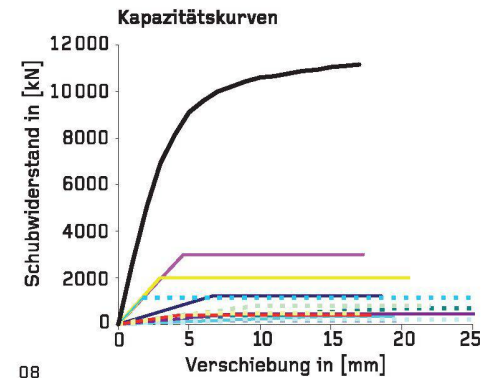
UNTERSUCHUNG DER ERDBEBENSICHERHEIT

Das Hauptaugenmerk bei den Analysen wurde auf den Nachweis der Erdbebensicherheit des Mauerwerks und auf eine ausreichende Mitwirkung der Decken gelegt. Die Masse des Dachgeschosses wurde beim Nachweis der Mauerwerkskonstruktion berücksichtigt. Unter Anbringen von dreiecksförmig verteilten Einzellasten wurde die Steifigkeit jeder Wand ermittelt (Bild 4). Schubwiderstand, Fliess- und Bruchverschiebung wurden als Koordinaten der bilinearen Kapazitätskurve unter Berücksichtigung der erdbebenwirksamen Normalkräfte berechnet. Die Erdbebensicherheit des Gebäudes wurde in Längs- und Querrichtung separat nachgewiesen. Die Summe aller Wandkapazitätskurven ergibt die Kapazitätskurve des Gebäudes für die betrachtete Richtung (Bild 8). Die Bruchverschiebung definiert das Ende des horizontalen Astes der Gebäudekapazitätskurve und entspricht der Bruchverschiebung der Wand, die den kleinsten Wert für die Verschiebung bei Versagen aufweist. Dieser Wert wird auch als Verschiebvermögen (= Widerstand) bezeichnet. Das Mass für die Bruchverschiebung einer unbewehrten Mauerwerkswand beruht auf empirischen Grundlagen und ist dementsprechend mit Unsicherheiten behaftet. Das grösste Verschiebvermögen wies das «weichste» Gebäudemodell auf, dessen Wände mit der grössten angenommenen Steifigkeitsabminderung infolge Rissbildung und den geringsten Mauerwerksfestigkeitswerten modelliert wurden.

Der Verschiebebedarf (= Einwirkung) wurde anhand des Antwortspektrums für einen äquivalenten Einmassenschwinger (Bild 3) ermittelt, dessen Steifigkeit mit der Steifigkeit des Gebäudes im linear elastischen Bereich identisch ist. Anschliessend wurde der Verschiebebedarf mittels Partizipationsfaktor auf die Dachkante des Gebäudes umgerechnet. Die Eigenschwingzeit des Gebäudes errechnete sich aus äquivalenter Masse und Steifigkeit zu – je nach gewähltem Modell und Gebäuderichtung – 0.26 bis 0.41 s. Der Verschiebebedarf



07



08

für Einmassenschwinger mit dieser Schwingzeit ist gering und liegt bei 4 bis 10 mm. Je länger die Eigenschwingzeit des Gebäudes ist, desto grösser ist dessen Verschiebebedarf. Für die untersuchten Szenarien bedeutet das, dass das «weichste» Gebäudemodell den grössten Verschiebebedarf aufweist. Die Torsion wurde berücksichtigt,⁴ sie hat jedoch keinen Einfluss auf die Erfüllungsfaktoren, da die durch den Torsionseffekt am stärksten beanspruchten Wände in den vom Massenzentrum am weitesten entfernt liegenden Gebäudeecken die massgebende Bruchverschiebung nicht aufweisen. Aufgrund des unregelmässigen Grundrisses ist es nicht auszuschliessen, dass sich die Trakte entlang ihrer Fugen voneinander trennen und unabhängig schwingen. Die drei Trakte wurden aus diesem Grund separat nachgewiesen. Für alle drei Trakte konnten Erfüllungsfaktoren grösser 1.0 nachgewiesen werden, womit die Erdbebensicherheit des Gebäudes auch bei unabhängig voneinander schwingenden Gebäudetrakten gegeben ist.

ERGEBNIS DER TRAGWERKSANALYSE

Für die tragenden Wände konnte die Erdbebensicherheit gemäss aktuellem Stand des Wissens mit Sicherheiten von 1.3 bis 2.0 – je nach Modell und Richtung – nachgewiesen werden. Vergleichsrechnungen mit dem Ersatzkraftverfahren ergaben Erfüllungsfaktoren in der Grössenordnung von 0.6 bis 1.0. Dank dem verformungsbasierten Nachweisverfahren für Mauerwerk kann auf kostspielige Massnahmen verzichtet werden. (Wäre das Schulhaus aufgrund der Ergebnisse des Ersatzkraftverfahrens z. B. mit drei neuen Gebäudekernen in Stahlbeton verstärkt worden, wären Kosten von rund 800 000 Fr. entstanden.) Die gewählten Verstärkungsmassnahmen beschränken sich auf Eingriffe im Keller- und im Dachgeschoss. Die Massnahmen im Dachgeschoss kosten ca. 100 000 Fr. Sie sind auch aufgrund höherer Lasten infolge neuer Haustechnikgeräte nötig: Der Druckgurt der Rippendecke muss mit einem bewehrten Betonüberzug verstärkt werden. Die baulichen Massnahmen im Keller entsprechen den ohnehin geplanten Anpassungen, die der Aussteifung des Untergeschosses dienen und dessen Modellierung als «steifer» Kasten rechtfertigen. Sind die genannten Massnahmen ausgeführt, erfüllt das Schulhaus Hohe Promenade die Anforderungen an die Erdbebensicherheit gemäss den heute gültigen Normen und Richtlinien.

Anna Ciari, dipl. Bauing. TU; Synaxis AG, Zürich; a.ciari@synaxis.ch

Carlo Bianchi, dipl. Bauing. ETH, Synaxis AG, Zürich; c.bianchi@synaxis.ch

03 Mehrmassenschwinger (MMS) wird in einen Einmassenschwinger (EMS) überführt
04 Wand mit dreiecksförmiger Belastung zur Bestimmung der Steifigkeit
05+06 Grundriss und Schnitt des Schulgebäudes

■ Bestand

■ Sanierungsmassnahmen

(Bilder: Meletta Strebel Architekten)

07 Gegenüberstellung der Steifigkeiten der vor Einbau geprüften Steine und der im Rahmen der Materialprüfung entnommenen Bohrkern. Steintyp A: Steinfarbe Hellorange, Lochanteil 30 %; Steintyp B: Steinfarbe Dunkelorange, Lochanteil 60 %; Steintyp C: Steinfarbe gelb, Lochanteil 50 %.

08 Kapazitätskurven der Wände und des Gebäudes (schwarze Linie) in Gebäudelängsrichtung (Bilder: Autorin)

AM PROJEKT BETEILIGTE

Bauherrschaft: Kanton Zürich

Bauingenieure: Synaxis AG Zürich, Bauingenieure und Planer SIA/USIC

Experte Erdbebenertüchtigung: Prof. Dr. Dr. h. c. Hugo Bachmann

Architekten: Meletta Strebel Architekten, Zürich und Luzern

Anmerkungen/Literatur

- 1 Bachmann H., Lang K.: Zur Erdbebensicherung von Mauerwerksbauten. Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, 2002
- 2 Tomazevic M.: Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings. Imperial College Press, 1999
- 3 Mauerwerk-Kalender 1985, S. 691ff. Verlag Ernst & Sohn
- 4 SIA-Dokumentation D0171: Erdbebugerechter Entwurf und Kapazitätsbemessung eines Gebäudes mit Stahlbetontragwänden. SIA Zürich, 2002