

PARKHAUS MUSEGG, STADT LUZERN

GUTACHTEN ZUR GEFÄHRDUNG DER DENKMALGESCHÜTZTEN BAUWERKE



Verfasser: Andreas Kälin, dipl. Bauing. ETH/SIA
Datum: 19.08.2016

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage und Ziel des Gutachtens	3
2	Grundlagen für das Gutachten	4
3	Beurteilung des Gefährdungspotenziales	5
	3.1 Einflussgrössen	5
	3.2 Beurteilung	6
4	Empfehlungen für das weitere Vorgehen	8
5	Schlussfolgerungen	9

1 Ausgangslage und Ziel des Gutachtens

Ausgangslage:

In der Stadt Luzern ist unter dem Musegg Hügel ein Parkhaus geplant. Es besteht aus einer unterirdischen fünfstöckigen Kaverne sowie einer unterirdischen Erschliessung. Die Zu- und Wegfahrt soll ab der Autobahn A2 über die Geissmattbrücke erfolgen. Das Portal kommt in unmittelbarer Nähe des Nöllitürms zu liegen. Auf der untersten Ebene des Parkhauses soll durch eine rund hundert Meter lange Passage zu Fuss die Luzerner Altstadt erreicht werden. Die mittelalterliche Museggmauer mit ihren neuen Türmen bekrönt die Luzerner Altstadt. Sie gilt als eine der bedeutendsten mittelalterlichen Befestigungsanlagen der Schweiz und ist mit ihren neun Türmen seit dem 30. Januar 1964 im kantonalen Denkmalverzeichnis eingetragen. Seit dem 30. Oktober 1995 steht sie auch unter Schutz des Bundes.

Vor dem Hintergrund der ausserordentlichen Bedeutung der Museggmauer ist es notwendig, das Risiko einer allfälligen Gefährdung des Kulturdenkmals durch das bergmännische Erstellen eines Kavernenbauwerks zu beurteilen. Dabei geht es insbesondere darum die kurz- und langfristigen Auswirkungen (Erschütterungen und Deformationen) zu ermitteln und zu beurteilen.

Ziel des Gutachtens:

Durch den Bau des Parkhauses Musegg in der Stadt Luzern entstehen naturgemäss verschiedenartige Immissionen auf die angrenzenden, bestehenden Bauwerke. Unter diesen Bauwerken befinden sich auch denkmalgeschützte Objekte. Das Gutachten soll die Auswirkungen des Projektes Parkhaus Musegg auf diese Objekte aufzeigen und eine mögliche Beschädigung der denkmalgeschützten Bauwerke beurteilen. Dabei geht es insbesondere um die Beurteilung der Immissionen durch den sprengtechnischen Felsabbau, d.h. einer allfälligen Gefährdung der Museggmauer durch das bergmännische Erstellen des geplanten Kavernenbauwerks, sowie der resultierenden kurz- und langfristigen Auswirkungen (Erschütterungen, Deformationen und Setzungen).

Das Gutachten wird auf Basis des Vorprojektes des geplanten Parkhauses mit Stand Mitte Juli 2016 erstellt.

2 Grundlagen für das Gutachten

Als Grundlage für die Ausarbeitung des Gutachtens standen folgende Dokumente der Musegg Parking AG zur Verfügung:

- Technischer Bericht Umzonungsprojekt Untertagbau mit Planbeilagen vom 22. Juli 2016.
Verfasser: ewp bucher dillier AG, Luzern
- Vorprojekt, Auszug aus dem Bericht Felsmechanische Machbarkeitsstudie zur Vorprüfung durch Sachverständigen Museggmauer vom 22. Juli 2016.
Verfasser: B+S AG, Bern
- Probesprengungen / Erschütterungsmessungen vom 13. Juli 2016
Verfasser: Explosiv Service / Steiger Baucontrol AG, Luzern

Im Weiteren wurde mir das Projekt am 10. Juni 2016 von den Herren André Marti, Projektleiter und Peter Bucher, Projektverfasser anlässlich einer Besprechung vorgestellt und am 29.07.2016 konnte ich vor Ort die Projektumgebung unter Leitung von Herr Markus Weh, Geologe, besichtigen.

Die für den vorliegenden Fall anwendbaren Schweizerischen Normen bilden ebenfalls eine wichtige Grundlage für das Gutachten.

3 Beurteilung des Gefährdungspotenziales

3.1 Einflussgrössen

Um die Gefährdung der denkmalgeschützten Bauten beurteilen zu können, müssen zuerst die Einflussgrössen und die möglichen Schadensbilder definiert werden.

Im vorliegenden Fall, sind die möglichen **Geländedeformationen**, welche beim Bau der unterirdischen Kavernen entstehen und die **Erschütterungen**, hervorgerufen durch die Bauarbeiten als wesentliche Gefährdungsbilder zu untersuchen.

Beide Gefährdungsbilder können an den betroffenen Gebäuden Rissbildungen hervorrufen. Im Extremfall können die Tragstrukturen der Gebäude so stark beschädigt werden, dass die Tragsicherheit nicht mehr gewährleistet ist.

Das Parkhaus ist grundsätzlich unterirdisch angelegt. Der Bau des Parkhauses erfolgt bergmännisch, das heisst die Kavernen werden über einen Zugangstunnel unterirdisch erstellt. Obwohl der anstehende Fels als standfest und „hart“ bezeichnet werden kann, sind Setzungen an der Geländeoberfläche nicht zu vermeiden. Die geplanten Kavernen liegen im Bereich Zeitturm bis Schirmerturm direkt unter der Museggmauer. Aus diesem Grunde ist den Geländedeformationen unter der Museggmauer in diesem Bereich besondere Beachtung zu schenken. Die Geländedeformationen (Setzungen) können aufgrund der Form und Lage der Kavernen, und aufgrund der geologischen Prognose mit einer hohen Zuverlässigkeit rechnerisch ermittelt werden. Die Geländedeformationen führen dazu, dass sich die betroffenen Gebäude oder Gebäudeteile mit dem Gelände ebenfalls deformieren. Die kann zu Rissbildungen führen. Die Art und Anzahl der zu erwarteten Risse aufgrund der Setzungen ist ein wichtiges Beurteilungskriterium.

Aufgrund der geologischen Prognose ist davon auszugehen, dass der Zugangstunnel und die Kavernen sprengtechnisch ausgebrochen werden müssen. Der relativ „harte“ Fels lässt einen mechanischen Abbau (ohne Verwendung von Sprengstoff) nicht zu. Aufgrund der Lage der Kavernen direkt unter der Museggmauer stellen die Erschütterungen aus den Sprengungen ein wesentliches Gefährdungsbild dar. Die Erschütterungen können ebenfalls wie die Setzungen zu Rissbildungen an den Gebäuden führen. Erschütterungen können auch Inneneinrichtungen in Gebäuden beschädigen. Die für einen bestimmten Gebäudetyp zulässigen Erschütterungen sind aufgrund langjähriger Erfahrungen gut bekannt und sind in den anwendbaren Normen entsprechend dargestellt.

Die Auswirkungen aus dem Betrieb der Parkhausanlage wie zum Beispiel zusätzlicher Verkehr oder die Abführung der Abgase sind im vorliegenden Fall für die Museggmauer nicht als Gefährdung einzustufen.

3.2 Beurteilung

Vollständigkeit und Qualität des Vorprojektes

Für die Beurteilung der Gefährdung der denkmalgeschützten Gebäude sind die vom Projektverfasser vorgelegten Unterlagen ausreichend.

Die wesentlichen Untersuchungen und Berechnungen liegen vor. Die Resultate sind plausibel und entsprechen den Resultaten an anderen ausgeführten Projekten.

Insbesondere die durchgeführten Sprengversuche in unmittelbarer Nähe der Museggmauer liefern wertvolle Ergebnisse für die Erschütterungsprognosen.

Betrachtungssperimeter

Der Betrachtungssperimeter meiner Beurteilung bezieht sich auf den Bereich der Museggmauer zwischen dem Zeitturm und dem Schirmerturm. Im Bereich vom Zeitturm bis zur Reuss sind die beschriebenen Gefährdungsbilder zwar grundsätzlich ebenfalls vorhanden. Aufgrund der räumlichen Distanz zum Zugangsstollen und zu den Kavernen werden aber die Auswirkungen wesentlich geringer sein. Darum ist es zulässig in dieser Projektphase die Beurteilungen auf den Bereich mit dem grössten Schadenspotenzial zu beschränken.

Geländedeformationen

Die Berechnungen des Projektverfassers zeigen, dass mit Geländesetzungen von rund 20mm zu rechnen ist. Diese Setzungen zeigen sich an der Oberfläche als Trichter direkt über dem Scheitel der Kaverne K2. Der Trichter hat eine prognostizierte Breite von rund 20m. Die maximale Winkelverdrehung wird mit 1/500 angegeben.

Die Museggmauer ragt rund 7m über die Geländeoberfläche hinaus. Eine Winkelverdrehung von 1/500 bedeutet in einer sehr groben Näherung, dass sich am Fuss der Mauer ein vertikaler Riss von $700\text{cm}/500=1.40\text{cm}$ Breite bilden kann. In der Praxis zeigen sich in solchen Situationen eher mehrere kleinere vertikale Risse. Diese Risse beeinträchtigen weder die Stabilität noch die Tragfähigkeit der Mauer. Es handelt sich lediglich um ein „optisches Defizit“. Die zu erwartenden Risse können mit einfachen Methoden am Ende der Bauzeit saniert werden.

Der Projektverfasser erwähnt in seinem Bericht mehrere mögliche Massnahmen um die Setzungen und damit die mögliche Rissbildung reduzieren zu können. Aus bautechnischer Sicht ist es mit geeigneten Massnahmen sicherlich möglich die Setzungen um 50% zu reduzieren. Die Rissbildung an der Museggmauer kann aber dadurch nicht ausgeschlossen werden.

Es ist also davon auszugehen, dass sich unmittelbar über dem Scheitel der Kavernen am Fuss der Museggmauer sichtbare, vertikal verlaufende Risse bilden werden.

Erschütterungen aus dem Sprengvortrieb

Die Museggmauer ist grundsätzlich gemäss Norm SN 640 312a als Gebäude mit erhöhter Empfindlichkeit einzustufen. Daraus leiten sich nach der Norm die zulässigen Erschütterungswerte ab.

Der massgebende Wert für die Beurteilung der Schädlichkeit einer Erschütterung ist der Wert des Geschwindigkeitsvektors gemessen in mm/sec.

Eine Sprengung unter Tage besteht in der Realität aus vielen „kleinen Sprengungen“ welche in sehr geringen zeitlichen Abständen mit sogenannten Zündstufen, elektronisch gesteuert nacheinander gezündet werden. Massgebend für das Mass der Erschütterung ist die Menge des zur Zündung gebrachten Sprengstoffes pro Zündstufe. Eine sogenannte schonende Sprengung kann dadurch erzielt werden, dass die Sprengstoffmenge pro Zündstufe im Vergleich zu einer produktionstechnisch optimalen, vollen Ladung reduziert wird.

Die Sprengversuche zielen darauf ab, die Ausbreitung der Erschütterungen in Abhängigkeit der Distanz zwischen Sprengladung und Messstelle und in Abhängigkeit der Lademenge pro Zündstufe zu ermitteln.

Das Ziel ist es, nachzuweisen, dass mit einem schonenden Sprengverfahren die maximal zulässigen Erschütterungswerte eingehalten werden können.

Die Probesprengungen wurden am 23. Juni 2016 durchgeführt. Die Resultate und Schlussfolgerungen sind in einem ausführlichen Bericht dargestellt.

Die Probesprengungen zeigen, dass es mit den heutigen, bekannten Technologien (schonendes Sprengen mit reduzierten Lademengen) möglich ist, die Erschütterungsgrenzwerte für Gebäude mit erhöhter Empfindlichkeit einzuhalten. Der kritische Bereich der Gefährdung liegt wie beim Thema Setzungen unmittelbar über dem Scheitel der Kavernen. Den Sprengungen in diesem Bereich mit dem geringsten Abstand zwischen der Museggmauer und dem neu zu erstellenden Bauwerk ist in der Ausführung besondere Beachtung zu schenken. Die Sprengarbeiten müssen durch laufende Messungen überwacht werden.

Die Normen legen Grenzwerte aus Sicht des Gefährdungspotenziales der betroffenen Gebäude fest. Der Mensch ist aber gegenüber Erschütterungen viel empfindlicher als Gebäude. Erschütterungen, welche für Gebäude ohne Bedenken toleriert werden, können vom Menschen als sehr unangenehm empfunden werden. Dieses Thema ist für die Beurteilung der Gefährdung der Museggmauer nicht direkt von Relevanz. Anlässlich meiner vor Ort Begehung habe ich festgestellt, dass viele Touristen die Museggmauer besuchen. Diese Besucher können die Erschütterungen der Sprengungen als unangenehm und störend empfinden. Dieser Problematik kann durch eine zweckmässige Terminierung der Sprengungen und eine proaktive Information begegnet werden.

4 Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Es liegt in der Natur der Sache, dass sich die Randbedingungen für die Beurteilung des Gefährdungspotenziales im Verlauf des Projektes ändern können. Das Projekt kann beispielsweise angepasst werden oder es ergeben sich neue Erkenntnisse zur Geologischen Prognose.

Aus diesem Grunde ist es sehr wichtig, dass in den kommenden Projektphasen das Gefährdungspotenzial vom Projektverfasser jeweils neu beurteilt wird. Dazu ist vom Projektverfasser ein Bericht zu verfassen, welcher die relevanten Aspekte für die Beurteilung des Gefährdungspotenziales aufzeigt.

Insbesondere sind in den zukünftigen Projektphasen folgende, zusätzliche Untersuchungen und Nachweise zu erstellen:

- Ausweitung der Setzungsberechnungen auf den ganzen Projektbereich einschliesslich Zugangsstollen und Portalbereich
- Prognose zur Rissbildung an der Museggmauer aufgrund der zu erwartenden Setzungen im ganzen Projektbereich einschliesslich Zugangstollen und Portalbereich
- Nachweis der Unbedenklichkeit der zu erwartenden Risse in Bezug auf die Stabilität und Tragfähigkeit der Museggmauer
- Vorschlag zu Sanierung der zu erwartenden Risse an der Museggmauer
- Konkretisierung der Erschütterungsprognose unter Einbezug des geplanten Bauverfahrens für den ganzen Projektbereich einschliesslich Zugangstollen und Portalbereich
- Überprüfung der Inneneinrichtungen der Museggmauer in Bezug auf die Erschütterungsempfindlichkeit
- Darlegung des Messkonzeptes zur Überwachung der Setzungen und Erschütterungen
- Aufzeigen der möglichen "Störfälle", welche im Laufe der Ausführung dazu führen können, dass Schäden an der Museggmauer auftreten. Beispiel: Welche Massnahmen werden ergriffen, wenn sich der Verlauf der Setzungen während der Bauarbeiten schlechter einstellt als prognostiziert ?
- Darlegung der organisatorischen Massnahmen zur Sicherstellung der Einhaltung der definierten Grenzwerte.

5 Schlussfolgerungen

Der Bau des Parkhauses Musegg wird auf Basis des vorgelegten Vorprojektes aus meiner Sicht keine unzulässigen Beschädigungen an der Museggmauer hervorrufen.

Aufgrund der zu erwartenden Setzungen direkt über dem Scheitel der unterirdischen Kavernen ist am Fuss der Museggmauer mit vertikal verlaufenden Rissen zu rechnen. Diese Risse stellen keine Gefährdung der Stabilität oder der Tragfähigkeit der Museggmauer dar und können mit einfachen Mitteln am Ende der Bauzeit saniert werden. Es handelt sich aus meiner ingenieurtechnischen Sicht nur um ein „optisches Defizit“.

Die Akzeptanz dieser „optischen Defizite“ aus Sicht der Denkmalpflege muss separat beurteilt werden.

Die Erschütterungen infolge Sprengvortrieb können mit den heute bekannten Technologien soweit reduziert werden, dass sie keine Gefährdung für die Museggmauer darstellen.

Die Erschütterungen werden allerdings vom Menschen als unangenehm empfunden. Durch eine sinnvolle Terminierung der Sprengungen und eine proaktive Information kann dem begegnet werden.

Die im Vorprojekt getroffenen Annahmen und Randbedingungen müssen in den nächsten Projektphasen verifiziert werden. (Siehe dazu Ziffer 4 oben)

In der Ausführung müssen insbesondere die auftretenden Setzungen und die Erschütterungen laufend überwacht werden. Bei unzulässigen Abweichungen gegenüber den Prognosen, müssen wirksame Massnahmen umgesetzt werden. Dazu sind die notwendigen organisatorischen Voraussetzungen zu schaffen. (Siehe dazu Ziffer 4 oben)

Wilten den 19.08.2016

Andreas Kälin, dipl. Bauing. ETH/SIA

