Teileinsturz der Rheinufermauer am Basler Münsterhügel

Autor(en): **Huggenberger, Peter / Lardi, Rodolfo / Noher, Hans-Peter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **118 (2000)**

Heft 12

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-79891

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Peter Huggenberger, Rodolfo Lardi, Hans-Peter Noher, Basel

Teileinsturz der Rheinufermauer am Basler Münsterhügel

Am 4. Februar 1997 ereignete sich am Basler Münsterhügel zwischen der Wettsteinbrücke und der Pfalz ein Hangrutsch, der zum Einsturz der Rheinufermauer auf einer Länge von rund 32 Metern führte. Der vorliegende Artikel beschreibt die geologische Situation und geht der möglichen Ursache des Einsturzes nach.

Die historische Rheinufermauer ist im Bereich des Münsterhügels nach P. Ochs über vier Jahrhunderte alt. In dieser Quelle steht u.a. «..., dass in den Jahren 1592, 1593 und 1594 die Mauern am Rhein vom Collegium bis an die Pfalz, und von des Bischofs Hof hinauf bis an den fürstlichen Hof gemacht wurden; vorhin sey die Halden offen gestanden ...» [1].

In den 1930er Jahren erstellte der Kanton Basel-Stadt zwischen Wettstein- und Mittlerer Rheinbrücke teilweise unmittelbar hinter der historischen Rheinufermauer eine Kanalisation, den sogenannten Münsterstollen. Dieser Stollen dient unter anderem auch der Entsorgung der häuslichen Abwässer der Liegenschaften mit Rheinanstoss. Der Münsterstollen verläuft nicht auf Allmend, sondern innerhalb der parzellierten Grundstücke. Die Linienführung des Stollens ist aber mit Servituten gesichert (Bild 1).

Die Ufermauer steht im Wasser auf dem anstehenden Molassefels, eine Einbindung in den Fels ist nicht vorhanden. Die Mauer besteht aus verschieden grossen Sandsteinblöcken unterschiedlicher Stärke. Anlässlich einer Zustandskontrolle wurden Ende 1996 oberhalb der Pfalz Schäden an der Kanalisationsleitung sowie Risse an der Ufermauer festgestellt. Das für die Kanalisation zuständige kantonale Amt erteilte einen Auftrag zur Abklärung der Schadensursache und der lokalen geologischen Verhältnisse als Grundlage für ein Instandsetzungsprojekt.

Einsturz eines Mauerteils

Am 4. Februar 1997, unmittelbar vor Beginn der Sondierarbeiten, ereignete sich ein Hangrutsch, der zum Einsturz der Rheinufermauer auf einer Länge von rund 32 Metern führte (Bild 2). In diesem Bereich wurde auch die unmittelbar hinter der Stützmauer liegende Hauptkanalisation (Münsterstollen), deren Schadhaftigkeit, wie erwähnt, bereits bekannt war, mitgerissen und vollständig zerstört.

Erste Sicherungs- und Sofortmassnahmen

Nach dem Abräumen der Einsturzmassen wurde als Notmassnahme der Hangfuss mit einem provisorischen Blockwurf, bestehend aus 940 t granitischen Gesteinsblöcken, deren Einzelgewicht zwischen 1 und 3 Tonnen variiert, stabilisiert und gesichert. Der Blockwurf schützt das Ufer bei Hochwasser bis zum Wiederaufbau der Mauer gegen Auskolkung und Unterspülung im Prallhangbereich des Rheins. Als Nebeneffekt wird durch diese Massnahme auch die Rheinschifffahrtsrinne geschützt. Diese Arbeiten wurden am 7. März 1997 abgeschlossen.

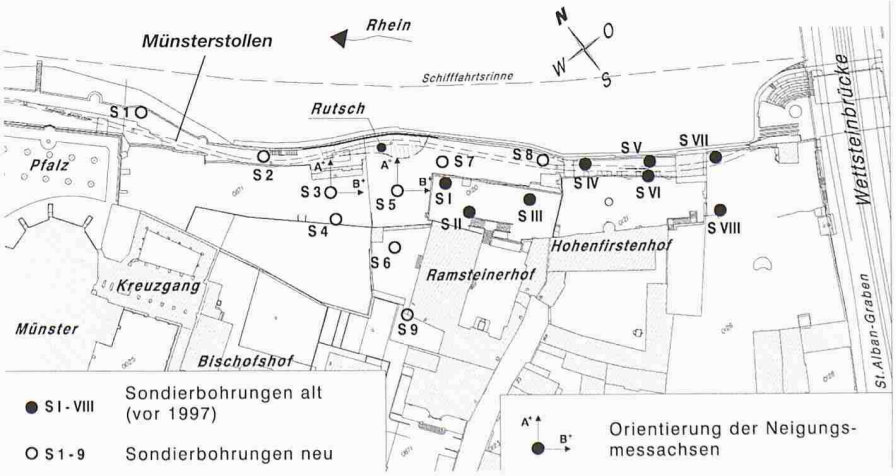
Die beim Ereignis ebenfalls zerstörten Liegenschaftsentwässerungen der Anwohner mussten provisorisch an nahegelegene andere Kanalisationsleitungen angeschlossen werden. Der Münsterstollen selbst ist seit dem Vorfall in diesem Bereich unterbrochen. Als weitere Sofortmassnahme wurde ab 5. März 1997 oberhalb der Einsturzstelle ein Messsystem eingerichtet, das erlaubt, kleinste Vertikalbewegungen zu erkennen. Das gewählte LAS-System (LAS = Large aera settlement system, Meier et. al. [2]) ist ein hydrostatisches Messsystem, das auf der Basis der Druckdifferenz zwischen Flüssigkeitsbehältern arbeitet. Es eignet sich insbesondere auch für grossflächige Deformationsmessungen. Das beim Münsterhügel eingesetzte Gerät kann mit einem Ventil die Differentialdruckmessung wahlweise zwischen zehn verschiedenen in der Erde eingelassenen Flüssigkeitsbehältern messen. Die Messungen werden kontinuierlich aufgezeichnet, und ein Modem erlaubt den Abruf der Daten von einem externen Rechner des geologisch-paläontologischen Instituts der Universität Basel. Ein solches Messsystem eignet sich ausgezeichnet als Frühwarnsystem für allfällige weitere Vertikalbewegungen. Die Messgenauigkeit des Geräts gestattet ein Erkennen von Bewegungen unter 1 mm.

Weitere Messeinrichtungen

Im Wissen um die geringen Stabilitätsreserven der Uferpartien wurden zwischen 1987 und 1995 insgesamt acht mit Neigungsmessrohren und teils auch mit Gleitmikrometern ausgerüstete Sondierbohrungen ausgeführt. Bei der Platzierung der Sondier- und Messstellen standen die historischen, in ihrer Ausbildung wenig bekannten Bruchsteinmauern im Vordergrund, deren Deformationsverhalten erkannt und beurteilt werden sollte. Die gemessenen Deformationen waren bis zum Zeitpunkt des ausserhalb des Messperimeters erfolgten Erdrutsches äusserst gering; sie bewegten sich im Bereich der Messgenauigkeit von rund ± 1 mm auf 19 m Messrohrlänge.

Nach dem Mauereinsturz wurden neun zusätzliche, ebenfalls mit Neigungs- und Gleitmikrometermessrohren ausgerüstete Sondierbohrungen abgeteuft. Diese dienen dazu, den lokalen und gross-

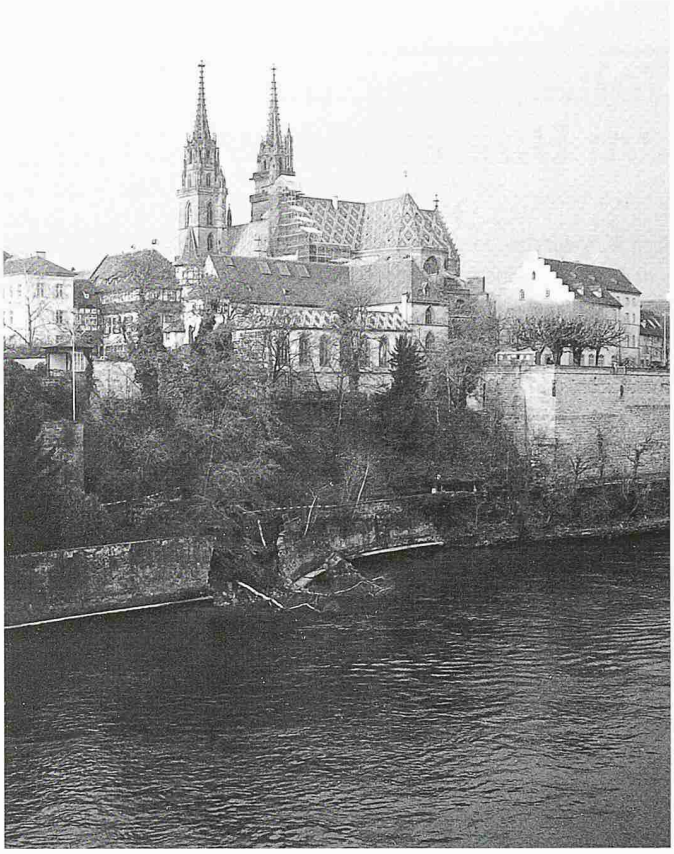
1
Situation Rheinufer beim Münster mit Übersicht über die Bohrungen



räumigen Kenntnisstand bezüglich der Geologie entlang des Rheinufers von der Wettsteinbrücke bis zur Pfalz (auf einer Länge von rund 200 m) zu verbessern und das Deformationsverhalten der Ufer- und Hangpartie aufzuzeigen, um insbesondere die Stabilität der unbebauten Hangpartien beurteilen zu können. Alle neu erstellten Sondierbohrungen und Messstellen reichen bis in den Fels.

Ab März/April 1997 wurden die Kontrollmessungen im Zweiwochen-Rhythmus aufgenommen, bis die Messergebnisse eindeutig zeigten, das das Rheinufer nach dem Einsturz keine aussergewöhnliche Deformationen mehr erlitt. Mit zunehmender Messdauer konnte dann der Messumfang reduziert werden.

Da zwischenzeitlich die ältesten Messinstallationen den Anforderungen nicht mehr genügten, wurden diese durch ein Distometersystem ersetzt, das aus vier räumlich angeordneten Messstrecken besteht, die die Relativbewegungen zwischen der Rheinmauer und den dahinter liegenden Liegenschaften festhalten. Die Messstrecken weisen eine Länge von je 12 bis 15 m auf und sind so angeordnet, dass sowohl Verschiebungen als auch Verdrehungen der Mauer relativ zu den Gebäuden erkannt werden können. Insgesamt stehen die in Bild 3 aufgeführten Messsysteme zur Verfügung.



2
Hangrutsch vom 4. Februar 1997

Die Messergebnisse im Einzelnen

Während die Schlauchwaagen und die Distometermessungen kaum Deformationen anzeigten (unwesentliche Vertikalbewegungen im LAS-instrumentierten Bereich des Hangs), konnten an einigen Neigungsmessstellen doch eindeutige Deformationen im mm-Bereich gemessen werden. Insbesondere die Messstellen um den Einsturzbereich (S3, S5 und S7 sowie S8) zeigten typische Charakteristiken. Die anschliessende Bautätigkeit bewirkte dann eine deutliche Deformationszunahme (Bild 4).

▪

Messstelle S3: Erkennbar sind die Deformationen in Richtung A+ (rheinwärts) auf den obersten etwa 2,5 m. Dieser Bereich entspricht einer künstlichen Auffüllung, die die Niederterrassenschotter bedeckt. Die Auslenkung am Kopf der Messstelle liefert einen Hinweis darauf, dass die künstlichen Auffüllungen im relativ steilen Hang oberflächlichen Kriecherscheinungen unterliegen.

▪

Messstelle S5: In den Messrohren deutlich erkennbar ist der markante Deformationshorizont in rund 7,5 m Tiefe mit Versetzungsbeträgen von 2 bis 4 mm rheinwärts. Dieser Horizont entspricht der Felsoberfläche. Das bedeutet, dass das ganze felsüberlagernde Lockergesteinspaket sich in der Zeitperiode vom 29.4.97 bis 17.3.98 in Richtung Rhein bewegt hat und zur Zeit in Ruhe ist.

▪

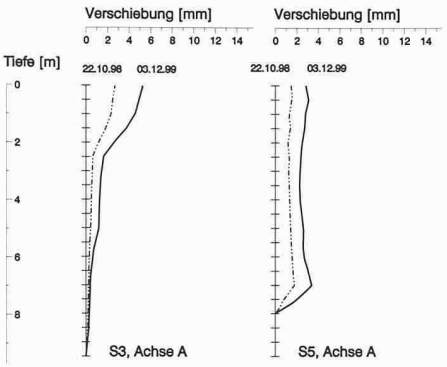
Die Messstellen S7 und S8 weisen ein sehr ähnliches Verhalten wie die Messstelle S5 auf. Die übrigen Messstellen zeigen kaum Deformationen oder eindeutige Verschiebungshorizonte.

Geologische und hydrogeologische Verhältnisse

Die bestehenden Kenntnisse der lokalen Geologie wurden durch die er-

Messsystem	Stück	Messzweck
Neigungsmesser	17	- Tiefe: 10 bis 20 m - Erkennen von Horizontaldeformationen und von Verschiebungshorizonten - Zeitliche Entwicklung von Deformationen
Gleitmikrometer	11	- Tiefe: 10 bis 20 m - Erkennen von Vertikaldeformationen, abgestuft nach Tiefe
Distometer	4	- Messlänge ca. 12 bis 15 m - Erkennen von horizontalen Relativverschiebungen zwischen der rheinseitigen Ufermauer und den Wohngebäuden
LAS-System	10	- Zwei Messketten zu je 5 Stück von 12,5 und 25 m Länge - Permanentes Registrieren der Änderung der Druckdifferenz zwischen den einzelnen Messdosen bei der Einsturzstelle und den Nachbarbereichen - Wichtiges Element des Alarmdispositivs

3
Übersicht über die Messsysteme



4
Inklinometermessungen

wähnten Sondierbohrungen zusätzlich vertieft. Der felsige Untergrund wird durch den tertiären Septarienton (Blauer Letten) gebildet. In seiner faziellen Ausbildung treten neben tonigen und sandigen Silten auch Sandsteinbänke auf. Auffallend sind schlecht verfestigte Feinsandzwischenlagen. Die obersten Meter im Fels sind teilweise verwittert und verhalten sich plastisch. Eine neuere Erkenntnis ist, dass die Felsoberfläche eine markante Topographie aufweist. Insbesondere wurden mit den Sondierbohrungen zwei Erosionsrinnen, die senkrecht zum Rhein verlaufen, erkannt.

Über dem Blauen Letten folgen die Niederterrassenschotter, die gegen den Rhein als Folge der Erosion auskeilen. Die Niederterrassenschotter weisen eine dichte Lagerung auf. Sie besitzen im Vergleich zu den sehr schlecht durchlässigen Einheiten des tonigen Felsgesteins hohe Durchlässigkeiten.

Eine neue Erkenntnis war ebenfalls, dass nahezu das gesamte Rheinbord im Bereich des Münsters bis zur Wettsteinbrücke durch künstliche Auffüllungen gebildet wird. Diese Auffüllungen stellen die Hinterfüllungen der Mauern dar oder bilden die Ausgleichsschicht von lokalen Unebenheiten. Ihre Zusammensetzung ist äusserst variabel, da sie entsprechend der Rheinbordgestaltung aus verschiedenen Epochen stammen. Silte, Sande und Kiese finden sich in den Auffüllungen häufig vermengt mit Mauerbruchstücken, Überresten von verkippten Blocksteinmauern und Ziegelbruch.

Die felsmechanischen Kennwerte von Septarienton, Niederterrassenschotter und Auffüllung sind in Bild 5 dargestellt. Klar ersichtlich ist, dass die Auffüllung im Allgemeinen sehr tiefe Scherfestigkeiten aufweist. Stabilitätsberechnungen zeigen, dass neben der ursprünglich bereits geringen Sicherheit vor allem der Rückgang der Hochwässer mit den dadurch ungünstig wirkenden Sickerströmungen von innen gegen aussen die Stabilität deutlich verringern kann.

Die Grundwasservorkommen über dem stauenden Blauen Letten sind in diesem Bereich eher bescheiden. So liegt der Grundwasserspiegel bei Niedrigwasser des Rheins nur wenig über der Felsoberfläche.

Vielfältige Ursachen des Einsturzes

Für den Einsturz der Rheinufermauer können mehrere einzelne oder über längere Zeit kumulierte Faktoren verantwortlich gemacht werden:

- Statische Einwirkungen durch Belastungsänderungen, wie künstliche Aufschüttungen und Abtragungen, Frost, Bewuchs in und hinter der Mauer oder Aktivierung des Erddrucks (Hangdruck) durch Abgleiten auf abfallender Molasseoberfläche (Gleitfläche).
- Dynamische Einwirkungen durch Erschütterung infolge Erdbeben, Bautätigkeiten in näherer und weiterer Umgebung oder Wellenschlag der Schifffahrt.
- Wassereinwirkungen durch Ausspülungen im Mauergefüge, Unterspülung des Mauerfusses, Sickerströmungen, hydraulischer Grundbruch, Staudruck oder Wasserstandsänderungen durch Hochwässer.
- Bis in die Dreissigerjahre lag der mittlere Rheinwasserspiegel in Basel um etwa 1,5 m unter dem heutigen Mittelwasser. Der Unterhalt von Teilen der Ufermauern konnte damals während längerer Perioden trockenen Fusses erfolgen. Mit dem Bau des Kraftwerks Kembs (Inbetriebnahme 1932) erfolgte der Einstau bis über den Fuss der auf den alten Rheinmauern fundierten Ufermauern, was die Zugänglichkeit für Unterhaltsarbeiten stark einschränkte.

Aufgrund der Analyse der Messdaten und der Beurteilung der verschiedenen Mechanismen ist der Einsturz auf ein Zusammenwirken mehrerer statischer und dynamischer Faktoren zurückzuführen. Für eine Wertung der möglichen Einwirkungen standen insbesondere keine quantitativen Informationen aus der Zeit vor dem Mauereinsturz zur Verfügung.

So führte wahrscheinlich der Rückgang des extremen Hochwassers vom Mai 1994 zu starken Sickerströmungen gegen den Rhein und dabei zu Ausspülungen im Bereich des Mauerfusses und in bereits existierenden Hohlstellen. Dieser Prozess ist unter dem Namen «innere Erosion» bekannt. Es ist deshalb wahrscheinlich, dass das Zusammenwirken von Grundwasser und Sickerströmung bei zu- und abnehmenden Hochwässern die an sich schon ungünstigen Stabilitätsverhältnisse der Rheinufermauer nochmals wesentlich verschlechterten.

5
Bodenmechanische Kennziffern

Bodenschicht	Beschreibung	Raumgewicht γ [kN/m^3]	Scherwinkel φ'	Kohäsion c' [kN/m^2]
künstliche Auffüllung	kiesig, sandig	19	30-32,5	0-5
	siltig / sandig	19	25-30	0-10
Niederterrassenschotter	kiesig	21-22	37,5-40	0-10
Septarianton	verwittert	21-22	37,5-40	0-10
	unverwittert	22-23	22,5-27,5	20-50

Adressen der Verfasser:
Peter Huggenberger, Dr. sc. nat., Geologisches-Paläontologisches Institut der Universität Basel, Bernoullistrasse 16, 4056 Basel, *Rodolfo Lardi*, Dr. sc. techn., Tiefbauamt Basel-Stadt, Münsterplatz 11, 4001 Basel, *Hans-Peter Noher*, dipl. Ing. ETH, Geotechnisches Institut AG Basel, Hochstrasse 48, 4002 Basel

Literatur

[1]
Ochs P.: Geschichte der Stadt und Landschaft Basel. Band VI, S. 522, Schweighaus'sche Buchhandlung, 1821

[2]
Meier et al.: Precision monitoring of displacements over large areas. Hydropower & Dams 6/1998, S. 77-80