

62. Jahrestagung für Sicherheit im Bergbau

Bergmännischer Abbau der Kapfchlucht zur Erweiterung der III hinsichtlich des Hochwasserschutzes der Weltkulturerbe Stadt Feldkirch

Abstract

Bereits 2005 war die Feldkircher Innenstadt nur knapp einer folgenschweren Überflutung entgangen. Die Überflutungen verursachten erhebliche Schäden im Bereich des rechten Ufers der Feldkircher Altstadt. Ein weiteres Hochwasser ist zu erwarten. Ein solches Hochwasser hätte für die Feldkircher Altstadt aber schwere Folgen. Zwei Drittel der Innenstadt würden bis zu drei Meter unter Wasser stehen. Zahlreiche Wohn- und Gewerbeobjekte wären betroffen. Experten rechnen in so einem Fall mit einem Sachschaden von rund 100 Millionen Euro. Durch den Klimawandel können Hochwasser aber jetzt schon in kürzeren Abständen vorkommen. Durch das Hochwasserschutzprojekt sollen 1.661 Menschen und 195 Objekte geschützt werden.

Schlüsselwörter: Bergbau, Sicherheit, Umwelt

Back in 2005, Feldkirch's city center only narrowly escaped serious flooding. The flooding caused considerable damage to the right bank of Feldkirch's old town. Another flood is to be expected. However, such a flood would have serious consequences for Feldkirch's old town. Two thirds of the city center would be up to three meters under water. Numerous residential and commercial properties would be affected. In such an event, experts estimate property damage of around 100 million euros. Due to climate change, however, floods can now occur at shorter intervals. The flood protection project is intended to protect 1,661 people and 195 properties.

Keywords: mining, safety, environment

1. Das Projekt Hochwasserschutz Stadt Feldkirch

Bereits 2007 wurde Richtung flussaufwärts eine teilweise permanente und mobile Mauererhöhungen umgesetzt und für die gesamte III ein Gefahrenzonenplan und ein Gewässerentwicklungskonzept ausgearbeitet. Ein Kernpunkt im Gewässerentwicklungskonzept ist das bekannte Abflussdefizit im Bereich der Kapfchlucht im Stadtgebiet von Feldkirch. Zur Verbesserung der Hochwassersituation wurden 9 Varianten ausgearbeitet und einer Bewertungsmatrix mit wasserbaulichen, verkehrstechnischen und städtebaulichen Kriterien gegenübergestellt.

Das nachfolgende Projekt war die Detailausarbeitung der Bestvariante aus diesem generellen Projekt. Vorwiegend sollen Linearausbaumaßnahmen im bestehenden

Flusslauf im Bereich der Kapfchlucht umgesetzt werden. Am rechten Ufer ist eine Aufweitung des Abflussquerschnittes vorgesehen. Nachdem der Verfasser ca. fünf Jahre in die Planung der Sprengabläufe maßgeblich involviert war, können explizite Aussagen über jeden Teil der Abläufe darlegt werden.

2. Geplante Maßnahmen für das Projekt Hochwasserschutz Stadt Feldkirch

- Die Kapfchlucht wird auf eine Länge von ca. 200 m um bis zu 8 m aufgeweitet.
- Abtrag und Neubau der Heiligkreuzbrücke.
- Erneuerung der Heiligkreuzbrücke als Bogenbrücke.
- Abtrag und Neubau der Kapfstraße.
- Verkehrsführung des Rad- und Fußweges durch die Kapfchlucht auf einer Auskragung entlang der Galerie für den Busverkehr.
- Abtrag und Neubau der Ardetzenbergstraße auf eine Länge von ca. 80 m, höhenmäßig unverändert auf der neuen Galerie.
- Ab- und Neubau der Montfortbrücke mit einer Länge von ~38 m und einer Breite von 17 m

3. Einzuhaltende Vorschriften

Bei der *Überwachung und Kontrolle* der erwarteten Immissionen lagen zahlreiche Berührungspunkte der betrieblichen Abläufe zwischen den Aspekten *Qualität, Umweltschutz (inkl. ISO 14001) und Arbeitsschutz*.

Diese Anforderungen waren fokussiert auf:

- dem Schutz von Personen vor einer Gefährdung des Lebens und der Gesundheit (Beschäftigte und Nachbarn)
- Schutz von fremden nicht zur Benützung überlassenen Sachen vor einer Gefährdung (z.B. Gebäude von Nachbarn)
- Umweltschutz (Wasser)

4. Informationen für das Umfeld

Eine öffentliche Ankündigung des Wasserverbands ILL-WALGAU vom März 2023 lautete: „Seit Ende März werden Probe-Sprengungen für notwendige geologische Messungen durchgeführt.“

Danach beginnen die Haupt-Sprengungen. Es wird insgesamt ungefähr 80-mal gesprengt, vermutlich jede Woche zweimal. Die Sprengarbeiten finden nur an Wochentagen zwischen 9 und 16 Uhr statt. Die Stadt hat eine SMS-Alarmierung für die Spreng-Arbeiten eingerichtet. Das Abtrags Volumen beträgt 15.000 Kubikmeter“.

5. Immissionsschutz

Zum Immissionsschutz gehörte die Aufstellung 15 von Erschütterungsmessgeräten, die bereits vor Beginn des Felsabtrags installiert wurden.



Abb.1 : Aufstellungsorte der Messgeräte

6. Erschütterungsprognosen

Für den Beginn der Sprengarbeiten wurde eine Erschütterungsprognose notwendig, wobei nachfolgende, empirische Vorausermittlungen zur Verfügung standen:

$V = 80 \times L_s^{0,5} \cdot R^{-1}$	(Koch, 1958)
$V = 1350 \cdot L_s^{0,495} \cdot R^{-1,5}$	(Mossinez, 1980)
$V = 1299 \cdot L_s^{0,6} \cdot R^{-1,52}$	(Bottcher, 1982)
$V = 969 \cdot L_s^{0,6} \cdot R^{-1,5}$	(Lüdeling, 1986)
$V = 138 \cdot L_s^{0,67} \cdot R^{-1,32}$	(Wieck, 1994)
$V = 450 \times L \times R^{-1,6}$	(ÖNORM S 9020, 2015)

Die Prognose zur Ermittlung der Erschütterungen wurde nach dem Erschütterungszahlverfahren durchgeführt.

$$v_{\max} = k \cdot L_s^b \cdot R^{-m} \quad \text{wobei}$$

v_{\max} maximale Bodenvibration (Schwinggeschwindigkeit) in mm/s

k, b, m empirisch ermittelte Faktoren oder Exponenten, welche die geologisch

geomechanischen Verhältnisse und die verwendete Sprengtechnologie beschreiben

L_s Lademenge pro Zündzeitstufe in kg

R Entfernung vom Sprengort zum betrachteten Bereich in m

Für die Ermittlung wurde die u.a. empirische Tabelle hinzugezogen.

z.B. Granit, Granodiorit	z.B. Gneise	z.B. Massenkalk	Hartes Gestein	z.B. weicher Kalk	z.B. Schiefer
206	235	646	897	969	1299
0,80	0,80	0,59	0,68	0,60	0,60
-1,30	-1,27	-1,52	-1,51	-1,50	-1,52

Tabelle 1: Empirische Werte nach Schillinger et al. 2009 u. 2023

Werte nach der Bergbau-Sprengverordnung-BSpV 2009 (\approx mit DIN 4150/3, 2016)

Tabelle BSpV: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit

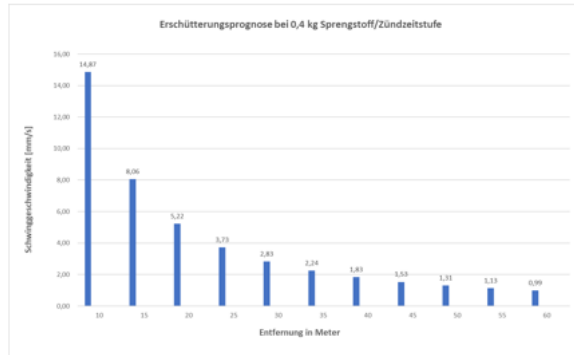
Art des Bauwerks	größte Schwinggeschwindigkeit v_i [mm/s]			
	Frequenz f [Hz] am Fundament			Oberste Deckenebene horizontal
	1-10 Hz	10 bis 50 Hz	50 bis 100 Hz	Alle Frequenzen
Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten	20	$15 + 0,5 f$	$30 + 0,2 f$	40
Wohngebäude	5	$2,5 + 0,25 f$	$10 + 0,1 f$	15
Besonders erschütterungsempfindliche Bauwerke (z.B. denkmalgeschützte)	3	$1,75 + 0,125 f$	$6 + 0,04 f$	8

Tabelle 2: Bergbau SpV 2009

Beispiel für den Beginn der Sprengungen: Prognose mit Größenordnung der Sprengerschütterungen:

Beispiel für den Beginn der Sprengungen: Prognose mit Größenordnung der Sprengerschütterungen:

Objekt	R (m)	Gebäude	V _{max} (mm/s)
Ardetzenbergstraße 1	48	Wohngebäude	≈2,2
Ardetzenbergstraße 3	57	Wohngebäude	≈1,7
Ardetzenbergstraße 4	90	Wohngebäude	≈0,9
Ardetzenbergstraße 6a	93	Wohngebäude	≈0,8
Ardetzenbergstraße 6b	85	Wohngebäude	≈1
Ardetzenbergstraße 6	64	Wohngebäude	≈1,4
Veitskapfgasse 4	85	Wohngebäude	≈1,4
Veitskapfgasse 6	72	Wohngebäude	≈1,3
Churer Straße 17	30	Wohngebäude	≈4,5
Lichtensteiner Straße 8	60	Wohngebäude	≈1,6
Im Kehr 2	60	Wohngebäude	≈1,6
Im Kehr 4	50	Wohngebäude	≈2,1
Im Kehr 6	40	Wohngebäude	≈2,9
Im Kehr 9	72	Wohngebäude	≈1,2
Kirche Im Kehr	65	hist. Bauwerk	≈1,4



Grafik 1: Darstellung Erschütterungsgrößen

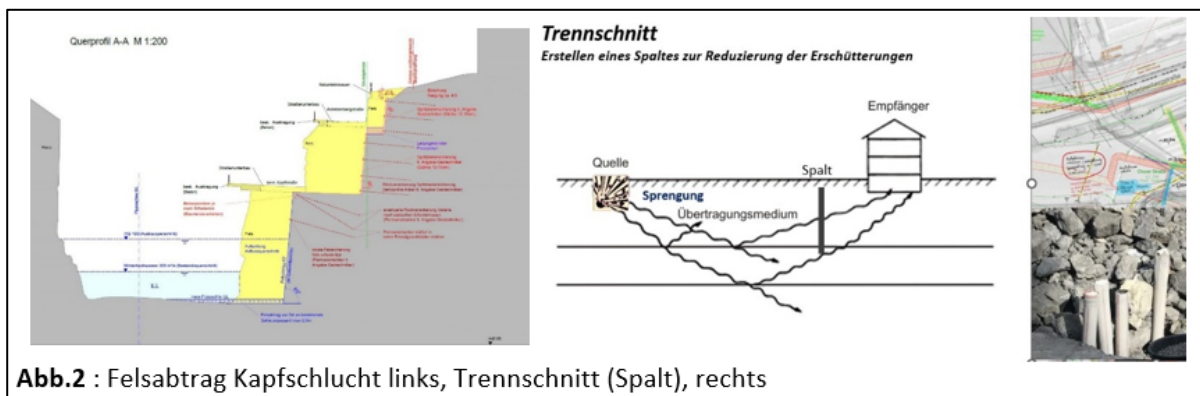
Tabelle 3: Werte mit 0,4 kg Lademenge

Die während der Sprengungen durchgeführten Schwingungsmessungen und deren Auswertungen ermöglichten es, die jeweiligen Prognosen zu überprüfen und die Sprengparameter umgehend zu verändern.

7. Vorbereitung Sprengarbeiten

7.1. Planung Felsabtrag

Wie bereits angeführt, war ein Volumen von 15.000 Kubikmeter Fels, durch Sprengarbeiten abzutragen. Ein Querschnitt des Felsabtrags ist nachfolgend in Abb. 2 dargestellt.



Der Felsabtrag war auch dahingehend zu planen, dass ein Trencnschnitt (Spalt) zur Reduzierung von Erschütterungen auf nahestehende Gebäude, mit eingeplant werden musste.

Zudem mussten die Bermen für den Felsabtrag im sog. Pilgerschrittverfahren (Pilgerschritt= 2 Schritte nach vorne, 1 Schritt zurück), abgetragen werden. Im gegenständlichen Fall war dies ein alternierendes Herstellungsverfahren z. B. bei einer

überschnittenen Betonwand, bei der zunächst nach Fertigstellung eines betonierten Bereiches, der jeweils übernächste Bereich erstellt wird und in einem zweiten Schritt der dazwischenliegende Bereich betoniert wird. Die Vorgehensweise ist nachfolgend in den Abb. 3, 4 und 5 dargestellt.

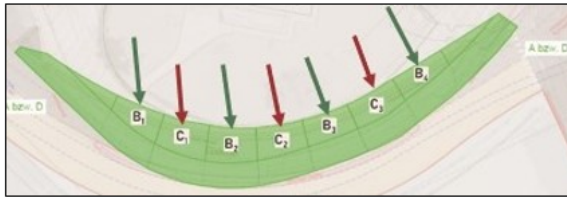


Abb. 3 : Pilgerschrittverfahren

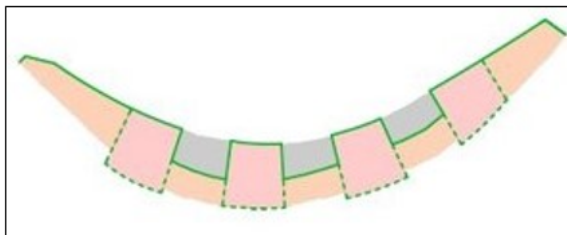


Abb.4 : Pilgerschrittverfahren

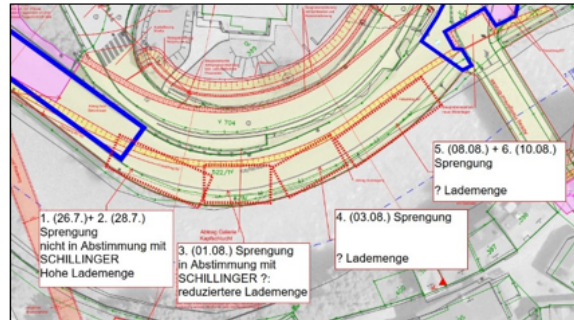


Abb.5 : Abbauschritte

7.2. Sprengprotokolle

Alle Sprengungen wurden ausschließlich nur in Absprache mit Bau- und Sprengaufsicht abgetan. Dazu gehörte u.a. die Überprüfung der Sprengprotokolle, wie im Beispiel Abb. 6 aufgezeigt. Alle Sprengprotokolle hatten diesen Umfang und wurden als Beweissicherung dokumentiert.

62. Jahrestagung für Sicherheit im Bergbau, 19.-21. Juni 2024, Anif bei Salzburg

Vorbereitung Sprengen

SPRENGPROTOKOLL - 1. Sprengung

Stand der Sprengstoffe

Spezialsprengstoffe	Spezialsprengstoffe	Spezialsprengstoffe	Spezialsprengstoffe	Spezialsprengstoffe	Spezialsprengstoffe	Spezialsprengstoffe	Spezialsprengstoffe	Spezialsprengstoffe	Spezialsprengstoffe
...

Sprengung M103 Reduziert
Erstschüttungssprengung
Sprengung 1

Pre-igniting
abstand Pre-igniting zu Produktionssprengung
Produktionssprengung
vorgabe

Emulsion 1 35/700
abschlagtiefe
max. Lademenge/Drillrohrabzweig
Besatzlänge

Entfernung z

Abstand	Entfernung z
400 Tarsale	20,00 m
404 Bergplatte	28,85 m
499	40,00 m
524	40,00 m
599 (im castr. horizontale Entfernung)	52,00 m

ICEM UG
Innovations Center
EUREC
Einführung in die
Tagebau-Management

Rolf B. Schillinger, CEO
Sachverständiger für Sprengtechnik über und unter Tage

Abb.6 : Beispiel Sprengprotokoll

7.3. Bohrprotokolle für das Festgestein

Es war bekannt, dass In der Schrattenkalk- oder Tierwis-Formation auch parallel verlaufende Spaltenfüllungen aus Sandstein auftreten werden. Im Bereich des Vorhabens steht dieser Festgesteinsuntergrund über weite Strecken an. Es handelt sich hierbei um die Gesteinseinheiten des „Gault Grünsandsteins“, dies ist ein glaukonitischer Sandstein. Das Gestein wurde unter schwer sprengbar eingeordnet. Zudem war eine permanente Winkel- und Richtungskontrolle über GPS bei den Bohrarbeiten notwendig. Nur so konnte ein genauer Vorgabe-Seitenabstand ermittelt werden. Die Daten wurden, wie vorher aufgezeigt, in Bohrprotokollen festgehalten und mit den Abdeckmaßnahmen dokumentiert. In den Abb. 7, 8, 9 und 10 ist ein Felsabschnitt dargestellt.



8. Durchführung Sprengarbeiten

Für die Durchführung der Sprengarbeiten waren umfangreiche organisatorische und technische Maßnahmen notwendig. Die Maßnahmen mussten permanent durchgeführt und dokumentiert werden. Dies waren

- Prüfung der Möglichkeit zur Reduzierung der Immissionen
- Überprüfung der Sprengarbeiten
- Überarbeitung der Sprengparameter
- Aktualisierung der Bohr- und Sprengarbeit
- Festlegung von Maßnahmen, wie Datenauswertung und bei Bedarf schnelle Änderung der Parameter
- Einbeziehen der Nachbarschaft durch Feststellen der gefühlten Einwirkung
- Möglichkeit der schnellen Benachrichtigung an die Betriebsleitung



Abb. 11,12,13,14,15 und 16: an die Bermen angepasste Sprengarbeiten

8.1. Datenauswertung

Die Auswertung der Erschütterungsmessungen erfolgte nach den abgetanen Sprengungen. Anhand der Einwirkungen wurden evtl. Änderungen umgehend eingeleitet und überprüft.

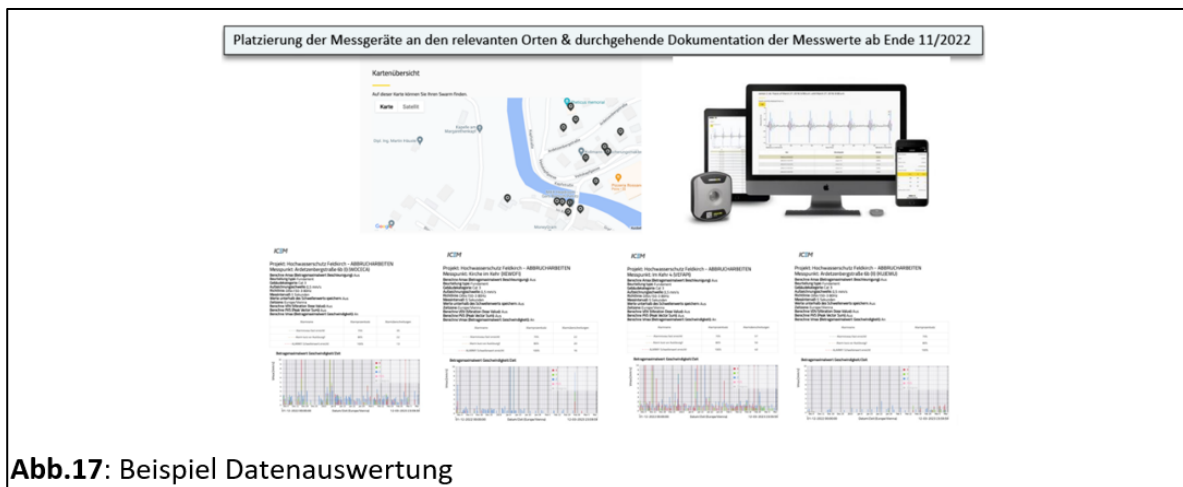


Abb.17: Beispiel Datenauswertung

Weitere Maßnahmen wurden im Rahmen eines KVP (Kontinuierlicher Verbesserungsprozess) aus den o.a. Erkenntnissen ermittelt, und flossen in die Festlegung der Sprengparameter bei den Sprengungen ein. An allen weiterführenden Maßnahmen wie die Veränderung der Neigungswinkel der Bohrlöcher sowie auch einer veränderten Zündung der Bohrlöcher, wurde entsprechend der Regel der Technik weitergearbeitet. Es wurden dabei unterschiedliche Veränderungen in den Erschütterungswerten erkannt. Die Sprengungen wurden deshalb, wie o.a., unter ständiger Beobachtung der Abläufe mit ihren Analysen fortgeführt. Die Erkenntnisse daraus wurden wiederum in die weiteren betrieblichen Maßnahmen und Kontrollen, hinsichtlich der höchstmöglichen Reduzierung

von Sprengimmissionen, einbezogen. Die Beurteilungsgrößen wurden nach der Bergbau-Sprengverordnung – BSpV, dargestellt.

Dabei bildete die Stärke bzw. die Größenordnung, der einwirkenden Erschütterungen für die an den Bauwerken ausgelösten, dynamischen Spannungen, den wichtigsten Parameter. Letztere konnten in der Lage sein, um evtl. Schäden an Bauwerken herbeizuführen. Um diesem Umstand entgegenzuwirken, mussten in der Regel grundsätzlich mehrere Faktoren beim Felsabtrag berücksichtigt werden:

- Die Intensität der Erschütterungen (Stärke, Frequenzen, besonders unter 8 Hz, Schwingungstyp, Einwirkungsdauer u.a.)
- Die dynamischen Eigenschaften der Baumaterialien und der Baukonstruktion
- Eigenschaften des bauwerknahe Untergrundes

Die auftretende Intensität der Erschütterungen wird maßgeblich bestimmt durch

- Die Entfernung zur Erschütterungsquelle
- Das Ausmaß der Erschütterung, z.B. die Größe der Sprengladung je Zündzeitstufe, Umsetzung des Sprengstoffes, Besatz, Verspannungen usw.
- Die geologischen Eigenschaften des Untergrundes in Front des Ausbreitungsweges der Erschütterungswellen

Die Fähigkeit dynamische Spannungen aufzunehmen, wurde durch eine Zuordnung in die entsprechenden Gebäudeklassen festgelegt. Die dort aufgeführten Richtwerte der zulässigen Schwinggeschwindigkeiten ließen nicht erwarten, dass bis zu deren Erreichen schädliche dynamische Spannungen auftraten. Auf evtl. Beschwerden wurde sofort eingegangen.

9. Zusammenfassung

Bei allen Sprengungen wurden nachfolgende Maßnahmen durchgeführt:

- Eingehen auf eine evtl. wechselhafte Geologie
- Genaue Ermittlung der Sprengparameter (Laservermessung, Sprengmittelkontrolle)
- Zündung aus dem Bohrlochtiefsten (redundant) oder geteilte Ladesäule
- Sprengschnur und Zünder unter dem Endbesatz
- Endbesatzmaterial aus fischigem Splitt
- Abdeckung der Sprengstelle mit schweren Matten
- Fotodokumentation zu jeder Sprengung
- Datenauswertung (Erschütterungsmessungen)
- Einbeziehung der Nachbarschaft

10. Schluss

Die eingeleiteten Maßnahmen wurden weiterhin mit einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) nach ISO 14001, Umweltmanagement, durchgeführt, welcher beinhaltet:



Die kontinuierliche Verbesserung wurde durch die Beobachtung und Einhaltung der jeweiligen Kennzahlen dokumentiert. Dabei erfolgten während der gesamten Sprengarbeiten Informationen an die Anrainer.



Autor:

Rolf Schillinger, CEO
ICEM UG- (haftungsbeschränkt)
Interdisciplinary Consultancy
& Environmental Management
Burgfriedenstraße 19
86159 Augsburg
rolf.schillinger@icem-consulting.de
www. icem-consulting.de