

Markscheiderische Beiträge zur Bergschadenkundlichen Analyse für das Altbergwerk Friedrichshall

Jörg Fugmann¹

Mine Surveying Support for the Investigation and Assessment of the Abandoned Mine-Site Friedrichshall (Southwestern Germany)

In 1895 the salt mine Friedrichshall (Southwestern Germany) was shut down after a catastrophic water inrush. The following leaching and relocating processes led to a considerable subsidence, whose influences are still significant. In the run-up to the preparation of the building land, the mining authority in 2004 demanded further investigations to assess remaining risks at the surface.

A lot of problems - which had to be solved first - were caused by discrepancies between the existing mine maps, particularly with regard to the orientation marks. By the use of digital terrain models, based both on current airborne-laserscans and historical maps, it was possible to describe the course of subsidence.

Comparing the former volume of the underground mine workings as well as the volume of the surface depression, a remaining potential of the subsidence could be estimated.

Starting from these results a geomechanical modelling led to a differentiated risk assessment for the designated building sites and other areas of influence.

Key words: digital terrain models, underground mine workings, surface depression

Bergwerk Friedrichshall

In weiten Teilen Südwestdeutschlands stehen Salinarschichten der Trias-Formation (Mittlerer Muschelkalk) im tieferen Untergrund an. Vereinzelt ist auch Steinsalz in bauwürdigen Mächtigkeiten abgelagert worden, beispielsweise im Bereich der bis heute tätigen Bergwerke Heilbronn und Stetten. Erstmals war 1817 nördlich von Heilbronn versucht worden, das Jagstfelder Steinsalzlager bergmännisch zu erschließen. Die Wasserzuflüsse konnten mit den zur Verfügung stehenden Mitteln jedoch nicht bewältigt werden und führten zur Aufgabe des Projektes in einer Teufe von 63 m (Carlé 1968).

Im Jahre 1854 wurde ein zweiter Versuch unternommen. Auch hier waren die zusitzenden Wässer zunächst nicht zu bewältigen. Erst nach Abteufen eines zusätzlichen Sumpfschachtes zur Unterstützung der Wasserhaltung im Oberen Muschelkalk konnte das Abteufen des Hauptschachtes fortgesetzt und das flach gelagerte Salzlager im Jahre 1859 schließlich in einer Teufe von rund 150 m erreicht werden. Das *Friedrichshall* benannte Bergwerk wurde mit zunehmendem Erfolg betrieben. Als Abbaufverfahren wählte man einen Kammer-Pfeiler-Bau mit zunächst 6 m weiten Abbaustrecken und 6x6 m messenden Steinsalzpfeilern, später ging man zu längeren Kammern und einem deutlich größeren Stützflächenanteil über. Die Abbauhöhen lagen zwischen 6 und 12 m.

Im September 1895 kam es zu einem Firstverbruch in einem Teilbereich des Örterbaufeldes, in welchem besonders große Stützweiten vorlagen (Abb. 1). Die durch den Verbruch eindringenden großen Wassermengen (ca. 1.000 m³/h) führten innerhalb weniger Tage zum Ersaufen der Grube.

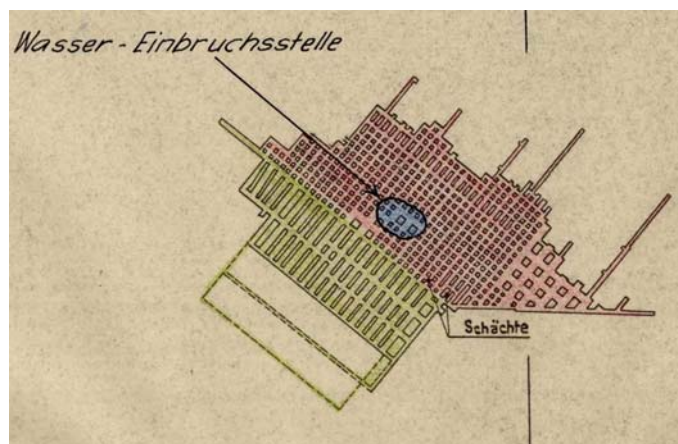


Abb. 1. Grubenriss mit der Lage der vermutlichen Einbruchsstelle (Schulz 1955).

Fig. 1. Mining chart with position of localized sinking.

¹ dipl. Ing. Jörg Fugmann, Arguplan GmbH, Karlstrasse 123, D-76137 Karlsruhe, tel.: ++49-7 21/16 11 00, fax: ++49-7 21/16 11 0-10, Deutschland, fugmann@arguplan.de,
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 3. 5. 2007)

Infolge des Einbruches war in unmittelbarer Nähe der Tagesanlagen des Bergwerks eine ausgeprägte Senkungshohlform entstanden (Abb. 2).



Abb. 2. Übertagesituation nach dem Einbruch (Foto Bohnert, um 1896).
Fig. 2. Surface after caved ground.

Die mit dem Einbruch verbundenen starken Bodenbewegungen an der Tagesoberfläche kamen während weniger Monate zur Ruhe und die aufgetretenen Risse und Spalten wurden verfüllt. Ab den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden Teile der Senkungsmulde verfüllt und man begann, die ersten Wohngebäude über dem abgesoffenen Grubengebäude zu errichten. Ende der 70er Jahre wurde nach Abbruch der verbliebenen Tagesanlagen im Schachtbereich ein Wohngebiet errichtet, so dass heute große Teile der Tagesoberfläche über dem ehemaligen Grubengebäude bebaut sind.

Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Im Vorfeld der geplanten Ausweisung eines Neubaugebietes innerhalb der teilweise aufgefüllten Senkungsmulde sollte im Auftrag der Bergbehörde durch eine bergschadenkundliche Analyse das verbleibende Gefährdungspotenzial für die Tagesoberfläche ermittelt werden.

Aufgrund der verschlossenen Schächte sowie der unbekanntenen Verhältnisse innerhalb des laugengefüllten Grubengebäudes waren Befahrungen und Bohrungen zur Erkundung ausgeschlossen. Die markscheiderische Bearbeitung ging daher von den vorhandenen Unterlagen zum Bergwerk, von den Grubenbildern sowie von den vorliegenden Daten zur Entwicklung der Tagesoberfläche aus.

Die wesentlichen Ziele der Bearbeitung waren:

- die Ermittlung des maximal aufgefahrenen untertägigen Hohlraumvolumens,
- die Abschätzung des Einwirkungsbereiches,
- die Ermittlung des bisherigen Senkungsgeschehens,
- eine bergschadenkundliche Bewertung,
- die Einschätzung der geplanten Bebauung, ggf. Erarbeitung baulicher Vorgaben.

Untertägige Hohlräume und übertägiger Einwirkungsbereich

Für das Bergwerk Friedrichshall war ein markscheiderisches Grubenbild geführt worden, wobei der letzte Nachtragungsstand nicht erhalten ist. Zur Auswahl eines Referenzgrubenbildes aus

den vorliegenden Rissen der letzten Betriebsperiode mussten zunächst zahlreiche Widersprüche geklärt werden.

Abgesehen von den üblichen Problemen mit unterschiedlichen Abbildungssystemen erwies sich die Orientierung innerhalb der heutigen Tagessituation als besonders schwierig, weil die angegebenen magnetischen und geographischen Richtungen widersprüchlich waren und nur einer der beiden Schächte die Salzlagerstätte erreicht hatte. Nach Entzerrung und Georeferenzierung zahlreicher historischer Karten konnte die Orientierung schließlich mit Hilfe des Schachtes sowie eines risskundlichen Bohrloches erfolgen.

Grundlage für die Ermittlung des Gesamtvolumens der untertägigen Hohlräume bildete das Referenzgrubenbild aus dem Jahre 1893, wobei für die Abbauhöhen und die Auffahrungen der letzten beiden Jahre plausible Werte aus erhaltenen Betriebsakten entnommen werden konnten.

Mit Hilfe des Grenzwinkels kann der sogenannte Einwirkungsbereich abgeschätzt werden, in welchem Bodenbewegungen nicht auszuschließen sind. Der Grenzwinkel für das Bergwerk Friedrichshall kann aus benachbarten Revieren mit ca. $45^\circ = 50\text{gon}$ abgeschätzt werden. Bei einer mittleren Teufe von rund 150 m bedeutet dies, dass der Rand des Einwirkungsbereiches rund 150 m außerhalb des grundrisslichen Abbaurandes an der Tagesoberfläche verläuft.

Bodenbewegungen an der Tagesoberfläche

Verlässliche Angaben zum Verlauf von Bodenbewegungen an der Tagesoberfläche in den 110 Jahren seit der Aufgabe des Bergwerkes liegen nicht vor. Erst ab den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts waren für rund 20 Jahre Senkungsbeobachtungen durch Nivellements durchgeführt und ohne verwertbare Ergebnisse wieder eingestellt worden. Da keine vertrauenswürdigen Messwerte in ausreichendem Umfang vorliegen, wurde von einer umfassenden Senkungsberechnung und insbesondere vom Einsatz EDV-gestützter Rechenverfahren abgesehen.

Um Aufschluss über die Gesamtsenkungen zu erhalten, wurden daher die ersten Höhenaufnahmen des Geländes (um 1880), eine Detailaufnahme von 1899 sowie die Daten einer aktuellen Laserscanner-Befliegung (2001) herangezogen.

Im Vergleich des ersten Aufmaßes von 1899 mit dem Digitalen Geländemodell 2001 zeigten sich Übereinstimmungen in wesentlichen Bereichen - die seither aufgetretenen Bodenbewegungen waren gering. Das Volumen der bis heute erfolgten Geländeauffüllungen im Kernbereich übersteigt sehr wahrscheinlich deutlich den Betrag der seit 1899 aufgelaufenen Senkungen. Daher kann die Topographie von 1899 zur Modellierung der maximalen Senkungsmulde herangezogen werden (Abb. 3).

Durch Verschneidung des mit einem Urgelände-Modell der Geländeaufnahme von 1880 konnte schließlich ein plausibler Wert für das an der Tagesoberfläche bis heute aufgelaufene Senkungsvolumen ermittelt werden.

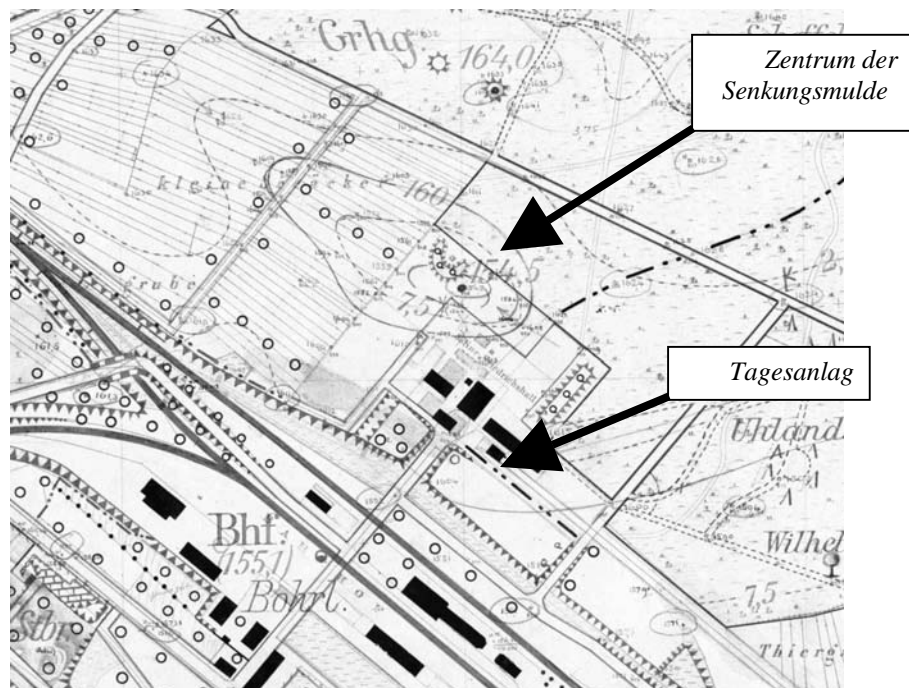


Abb. 3. Topographie an der Tagesoberfläche nach dem Einbruch (Höhenflurkarte 1899).
Fig. 3. Topographic map of surface after caved ground.

Bergschadenkundliche Bewertung

Es zeigte sich, dass im vorliegenden Fall die Senkungen nicht nur durch den Verbrauch und die Bruchmassenbewegungen in benachbarte Grubenräume, sondern zusätzlich durch Lösevorgänge hervorgerufen wurden. Insbesondere der Kernbereich der übertägigen Senkungshohlform wird - bedingt durch den Süßwasserzutritt über den Verbrauch - in erheblichem Maße durch die Ablaugung von Salz beeinflusst worden sein. Auf diesen Sachverhalt kann der hohe ermittelte Betrag der Maximalsenkung von rund 8 m zurückgeführt werden, welcher - auch unter Berücksichtigung der unsicheren Datengrundlagen - deutlich über dem rechnerisch abgeschätzten Wert von ca. 6,0 m liegt. Diese Vollsenkung von ca. 6,0 m wäre überdies erst zum Zeitpunkt der Senkungsruhe zu erwarten, welche 1899 mit Sicherheit noch nicht eingetreten war.

Die Gegenüberstellung des untertägigen Gesamt-Hohlraumvolumens (ca. 1,03 Mio. m³) mit dem Volumen der Senkungsmulde (ca. 0,29 Mio. m³) lässt erkennen, dass im Untergrund noch ein grundsätzliches Senkungspotenzial vorhanden ist, beispielsweise in Form von offenen bzw. verbrochenen laugeengefüllten Hohlräumen. Auffällig ist die Übereinstimmung der Größenordnungen zwischen dem Ausbruchsvolumen des zentralen Grubenbereichs mit quadratischen Pfeilern (ca. 0,3 Mio. m³) und dem Volumen der übertägigen Senkungsmulde (ca. 0,29 Mio. m³). Die Projektion der Senkungsmulde zeigt ebenfalls einen auffälligen Zusammenhang mit den genannten Grubenbauen. Es ist daher davon auszugehen, dass dieser Grubenbereich vollständig zu Bruch gegangen ist.

Die übertage an den Muldenflanken aufgetretenen Spalten und Risse sind auf die senkungsbegleitend aufgetretenen Zerrungen (Längenänderungen infolge unterschiedlicher Horizontalbewegungsbeträge) zurückzuführen, deren Maximum oberhalb der steileren Muldenränder zu erwarten ist. Die Ausmaße der meisten Spalten muss begrenzt gewesen sein, da bereits Ende 1895 die landwirtschaftliche Nutzung der Oberfläche in vollem Umfang wieder möglich war.

Das sehr flache Auslaufen der Senkungsmulde gegen den Nullrand ist für den Salzbergbau typisch und wurde auch regional bestätigt. Die besonders steile Muldenflanke nördlich des Schachtes und die dortige nördliche Einbuchtung können auf ein direktes Zusammentreffen von vollständig verbrochenen Bereichen und dem standsicheren Schachtsicherheitspfeiler, ggf. auch auf die Wirkung des eingebrachten Versatzes zurückgeführt werden.

Die im Umfeld der Senkungsmulde festgestellten Gebäudeschäden der letzten Jahre lassen einen zwingenden Zusammenhang mit andauernden Bodenbewegungen nicht erkennen. Sie könnten ebenso auf Gründungsmängel zurückzuführen sein. Im Einzelfall könnte auch die Morphologie der Senkungshohlform ursächlich sein, z.B. infolge der noch nicht vollständig konsolidierten Flankenböschungen oder aufgrund der ggf. nur oberflächlich abgedeckten ehemaligen Spalten.

Von den beiden anderen gefluteten deutschen Salzbergwerken im Muschelkalk, Erfurt Nord (Ilversgehofen) und Wilhelmsglück, liegen keine bzw. keine aussagekräftigen Informationen über die Entwicklung der Bodenbewegungen an der Tagesoberfläche vor. Durchgehende Messreihen existieren von Betrieben am Hochrhein, bei denen über längere Zeiträume Süßwasser in die Lagerstätte eingespeist und aus Bohrlöchern Sole gewonnen wurde. Nach Einstellung der Betriebe blieben - analog zu den genannten Bergwerken - laugeerfüllte Hohlräume zurück. Die Entwicklung der Senkungsbeträge zeigt hier nach den Stilllegungen eine deutlich abnehmende Tendenz, wobei aber langfristig mit geringen Senkungen zu rechnen sein wird.

Geomechanische und hydrogeologische Bewertung

Ergänzend zur bergschadenkundlichen Bewertung wurde eine geomechanische Modellierung durchgeführt. In Abhängigkeit vom jeweiligen Stützflächenanteil einzelner Grubenbereiche erfolgte eine Parzellierung des Grubengebäudes und die Berechnung der Standsicherheiten von Pfeilern und Firsten. Diese Vorgehensweise erlaubte eine nachträgliche festigkeitsmechanisch gestützte Analyse und Neubewertung des Ereignisses im Jahre 1895. Das erkannte Bruchgeschehen und seine Abfolge führte widerspruchsfrei zu einer Neubewertung des Initialbruchs und seiner Folgeereignisse.

Der Vergleich mit anderen Salzbergwerken bestätigte im Wesentlichen die in Friedrichshall erkannten Schwachstellen und geomechanischen Zusammenhänge. Wichtig war für den vorliegenden Fall, dass Pfeiler mit Sicherheitszahlen $\eta \geq 2,0$ in der Lage sind, die Senkungen an der Tagesoberfläche längerfristig, d.h. über die Nutzungsdauer von Gebäuden, auf ein geringes Maß zu beschränken.

Die bisherigen geologischen Kenntnisse lassen erwarten, dass der Salzkörper das Grubengebäude [in seiner horizontalen Erstreckung] vollständig umschließt und kein Kontakt zum gelegentlich gering grundwasserführenden Salzhang besteht. Dies setzt allerdings voraus, dass auch die Erkundungsstrecken den Salzhang nicht erreicht haben und innerhalb des Salzkörpers enden bzw. im Fall des Erreichens

des Salzhangs dort keine wasserführenden Schichten angeschnitten haben. Unter dieser Voraussetzung kann lateral eine Bewegung der Sole und damit ein Austreten aus dem Grubenbereich bzw. ein Zutreten von Wasser in die Grubenbaue im Salinar mit der Folge einer fortdauernden Salzlösung mit großer Sicherheit verneint werden (Rogowski et. al. 2004).

Ergebnis

Für das geplante Neubaugebiet ergibt sich nach der abbauspezifischen Parzellierung eine vergleichsweise ungünstige Lage. Im direkten Untergrund befinden sich Abbaufelder mit Sicherheitszahlen von $\eta_g = 1,9$, $\eta_g = 1,6/1,5$ und $\eta_g = 1,2$, deren Tragsystem in Teilen verbrochen und in anderen Teilbereichen keine ausreichenden Sicherheitszahlen aufweist.

Für die Zeit der voraussichtlichen Nutzungsdauer der Gebäude wird die Wahrscheinlichkeit von relevanten Bodenbewegungsbeträgen jedoch als gering eingeschätzt. Dennoch besteht - abgeleitet aus den bekannten Senkungsgradienten - für wesentliche Teile des Baugebietes ein Schiefstellungspotenzial von mehr als 1 cm/m innerhalb der nächsten 50 - 100 Jahre.

Eine Prognose des zeitlichen Ablaufes ist mangels Vergleichsdaten nicht möglich, wenn auch ein gebirgsschlagartiges Ereignis im Bereich der ehemaligen Grubenbaue mit der Folge eines großflächigen Tagesbruchs ausgeschlossen werden kann. Es ist davon auszugehen, dass auftretende Bodenbewegungen sehr langsam ablaufen. In Teilbereichen - insbesondere an der Tagesoberfläche über den noch nicht verbrochenen Abbaufeldern mit geringen Sicherheitszahlen - können auf der Basis der vorliegenden Unterlagen Senkungsbeträge von einigen Millimetern pro Jahr sowie relevante Horizontalbewegungen nicht ausgeschlossen werden.

Die Realisierung des geplanten Baugebiets ist damit möglich. Zur Prophylaxe von Schäden und zur Ermöglichung ggf. erforderlicher Sanierungen wurden die folgenden Empfehlungen ausgesprochen:

- Plattengründung mit ausreichend starker oberer/unterer Bewehrung entsprechend statischer Berechnung.
- Ausführung des Untergeschosses in bewehrtem Beton.
- Segmentierung längerer Baukörper (Reihenhäuser) in max. ca. 15 – 17 m lange Teilbereiche.
- Ausbildung ausreichender Bewegungsfugen zwischen den einzelnen Teilen längerer Baukörper, von Unterkante der Gründung bis zum First (ca. 10 cm Weite), Freihaltung der Fugen.

Literatur - References

- Akten der Bergbehörde sowie Grubenbilder in den Staatsarchiven Ludwigsburg und Stuttgart sowie Akten des Landesamtes für Geologie, *Rohstoffe und Bergbau*.
- Brunner, Horst: Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25.000, Blatt 6721 Bad Friedrichshall, Erläuterungen und Karte; LGRB, Freiburg, 2001.
- Carlé, W.: Beiträge zur Geschichte der württembergischen Salinen. *Veröffentlichungen der Kommission für Geschichtliche Landeskunde in Baden-Württemberg, Reihe B, 43. Band. Stuttgart: W. Kohlhammer, 1968.*
- Fugmann, J., Otfried N.: Bergschadenkundliche Analyse für das Steinsalzbergwerk Friedrichshall. *Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2005.*
- Hansch, W., Simon, T.: Das Steinsalz aus dem Mittleren Muschelkalk Südwestdeutschlands. *museo 20/2003. Heilbronn: Städtische Museen, 2003.*
- Hilbig: Über Bodenbewegungen und gebirgsmechanische Vorgänge im Kali- und Steinsalzbergbau. *Kali und Steinsalz, Bd. 1, Heft 7, 1954.*
- Kratzsch, H.: Bergschadenkunde. 3. ergänzte Auflage, *Deutscher Markscheider-Verein, Bochum, 1997.*
- Rogowski, E., Kobler H. U. Simon T.: Geologisch-hydrogeologische Stellungnahme im Rahmen einer bergschadenkundlichen Analyse für das Altbergwerk Friedrichshall in Bad Friedrichshall-Jagstfeld. *Unveröffentlichtes Gutachten des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, 07. 10. 2004.*
- Schulz: Gutachten über die geologischen Voraussetzungen für das Schaffen eines zweiten Ausganges der Steinsalzbergwerke Heilbronn und Kochendorf a./N., 1955.