

Donnerstag 16. Oktober 2014

15:30-16:00

Gipsbergbau im Siedlungsgebiet – Erkennen und Beherrschen der Risiken

Leopold Weber

Ministerialrat i.R. Univ.-Prof. Dr.

Einleitung

Sobald Gips in den Einflussbereich einer Grundwasserströmung gelangt, können sich Lösungshohlräume bilden, die sich im Laufe der Zeit bis zur Geländeoberfläche hochentwickeln und dolinenartige Landschaften nach sich ziehen. Durch künstliche Hohlräume, wie z.B. Gipsbergbau kann die Wasserwegigkeit zusätzlich erhöht werden.

Risiko ist das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensschwere. Die Eintrittswahrscheinlichkeit von Erdfällen (ausgelöst durch Gipslösung ohne bergbauliche Einwirkung) bzw. Tagbrüchen (ausgelöst und / oder verstärkt oder durch untertägigen Gipsbergbau) ist zwar teufenabhängig, aber grundsätzlich hoch. Während die Schadensschwere in nichtbebautem Gebiet mitunter (vernachlässigbar) gering ist, kann diese im Siedlungsgebiet so hoch sein, sodass mitunter sogar „Gefahr in Verzug“ gegeben sein kann.

Im Bereich der Marienhöhe bei Maria Enzersdorf im Südwesten Wiens wurde in den 1970-er Jahren über einem untertägigen Gipsbergbau eine Siedlung errichtet. Im Laufe der Zeit ereignete sich im Siedlungsgebiet eine Reihe von Tagbrüchen. An Hand dieses Fallbeispiels wird dargelegt, wie Risiken erkannt und evaluiert werden können bzw. wie derartige Risikobereiche erfolgreich gesichert werden können.

Vorbemerkung: Für diese Arbeit wurde bewusst auf eine kartenmäßige Darstellung von Erkundungsergebnissen verzichtet. Ziel dieser Arbeit ist es vielmehr, die Bearbeitungsmethode, ihre Möglichkeiten und Grenzen aufzuzeigen.

1 Grundsätzliches zur Löslichkeit von Gips und Bildungsmöglichkeiten von Hohlräumen

Wasser kann durch Lösung von Gips bis zu 2 g/l Sulfat führen. Lösungsgeossen wie Chloride können die Sulfatführung bis zu 10 g/l erhöhen (H. PRINZ 1997). Die Löslichkeit ist temperaturabhängig. Anhydrit weist bei niedrigeren Temperaturen die höchste Löslichkeit auf, die bei steigenden Temperaturen deutlich sinkt. Demgegenüber weist Gips sein Löslichkeitsmaximum bei Temperaturen zwischen ca. 30 °C bis 40 °C auf.

Niederschlagswässer, die in den Untergrund infiltrieren, sind sulfatarm und vermögen daher Gips in hohem Maße bis zur Löslichkeitsgrenze zu lösen. Werden somit Niederschlagswässer in den Untergrund versickert, wird erfolgt eine Lösung des Gipses. Sind Wässer jedoch an Sulfat gesättigt (z.B. Grubenwässer unterhalb einer gesättigten Zone), sind diese Wässer aus hydrochemischen Gründen nicht mehr in der Lage, Gips zu laugen.

Im Gegensatz zu einer flächigen, natürlichen Versickerung von Niederschlägen im Bereich von nicht befestigten Flächen, die zu einer ebenso flächigen, mehr oder weniger gleichmäßigen Lösung des

Gipskörpers beiträgt, führt jede punktuelle Infiltration, wie beispielsweise das Versickern von Dachwässern zu einer lokal konzentrierten Gipslösung, die lokal sich ständig erweiternde Hohlräume hinterlässt.

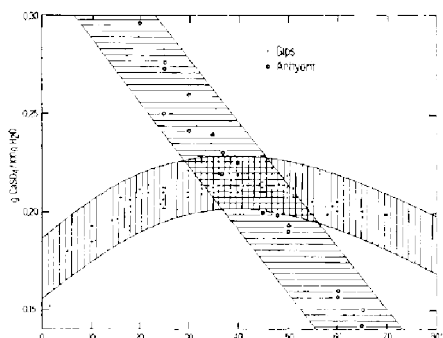


Abb. 1: Abhängigkeit der Löslichkeit von Gips und Anhydrit von der Temperatur (nach H.-J. VOIGT, 1990, aus H. PRINZ 1991).

Das Volumen von durch Gipslösung verursachten Hohlräumen lässt sich über die Dichte des Gipses ($2,3 \text{ g/cm}^3$) abschätzen. Beispielhaft wird aufgezeigt, welches Hohlraumvolumen sich in einem Jahr durch Gipslösung infolge Versickerung von Dachwässern bei einem Einfamilienhaus bilden kann.

Jährliche Niederschlagsmenge:	1.000 l/m ²
Dachfläche	100 m ²
gelöste Menge an Gips	200 kg/Jahr
durch Gipslösung verursachter Hohlraum	0,087 m ³ /Jahr

2 Erkundung der künstlichen und natürlichen Hohlräume

Vorbemerkung

Da es sich um einen Altbergbau handelte, wurde von der Montanbehörde ein geologisch – geotechnisches Gutachten gemäß §213 Abs 1 MinroG „zur Frage des vom ehemaligen Gipsbergbau auf der Marienhöhe ausgehenden Risikos“ ausgearbeitet (WEBER, L. & HOLNSTEINER, R. 2006).

Die hierauf aufbauenden Sicherungsarbeiten wurden von IC Consulente (Dr. M. BERGMAIR) und der Fa. S-Consult (Dipl.Ing (FH) Mag. Martin SCHEIBER) geplant. Beiden Herren gebührt dabei für die sorgfältigen Planungen, die erfolgreiche Umsetzung besondere Anerkennung, insbesondere aber Dank für die hervorragende Zusammenarbeit.

Von der Montanbehörde wurde schließlich im Amtshilfeweg für die Bezirkshauptmannschaft Mödling ein geologisch – geotechnisches Gutachten zur Evaluierung des vom ehem. Gipsbergbau ausgehenden Gefährdungspotentials nach Abschluss der Sicherungsarbeiten erstattet (WEBER, L. 2008).

2.1 Geologischer Rahmen

Die geologische Situation im Bereich der Marienhöhe (Maria Enzersdorf bei Wien) ist infolge des Nichtvorhandenseins von Gesteinsaufschlüssen nur aus regionalgeologischen Analogieschlüssen ableitbar. Das Gipsvorkommen ist in untertriadischen Werfener Schichten (bunte Tonschiefer und Rauhwacken) eingeschaltet und oberflächlich nicht unmittelbar aufgeschlossen.

Im südlichen Teil der Marienhöhe werden die Werfener Schichten von jungtertiären Schottern, Konglomeraten und Breccien überlagert. Diese jungtertiären Sedimente - hauptsächlich aus Flyschkomponenten bestehend - verdecken auch die Grenze zwischen Göller Decke zum Frankenfesler-Lunzer-Deckensystem. Einzelheiten sind der Geologischen Karte (Blatt 58 Baden) zu entnehmen.

2.2 Montanhistorische Vorerkundung

Im Bereich der Marienhöhe wurde Ende des 19. Jahrhunderts untertägig Gips abgebaut. Bedauerlicherweise existiert kein bergbauliches Kartenwerk. Während der Abbautätigkeit stand das Unternehmen unter der Aufsicht der damaligen Gewerbebehörden. Zudem sind während der Kriegszeit Archivbestände der Behörden durch Brände vernichtet. Aus weiteren, äußerst spärlichen Unterlagen ergeben sich keine aussagekräftigen Hinweise über die Ausdehnung und Tiefenerstreckung des seinerzeitigen Bergbaues.

TIETZE, E. (1873) gab einen Hinweis, dass auf sein Anraten „auf einem zu Hochleuten (Gemeinde Gießhübl) gelegenen Grundstücke, unfern der Strasse, welche von Brunn nach Hochleuten führt“, ein Schacht abgeteuft wurde, der nach 18 Klafter (1 Klafter = 1,896 m, somit ca. 34 m Tiefe) einen Gipsstock aufgeschlossen habe.

Der Schacht soll eine „wenig mächtige Lössdecke“, darunter Gesteine „der oberen Kreide vom Typus der Gosau Schichten, welche nach unten zu als grüne Conglomerate entwickelt waren“, durchteuft haben. Darunter wären kalkige und dolomitische Schichten, augenscheinlich schon der Trias gehörend, welche schon in der Nähe des grünen Conglomerats in einer Schachttiefe von 10 Klaftern ca. 18 m) einen mergeligen Gips geringer Mächtigkeit und Qualität enthielten, angetroffen worden. Bis zum Gips wurde eine poröse, bräunliche Rauhwaacke durchteuft.

Die exakte Örtlichkeit des Schachtes, sowie dessen Zweck und Form (saiger, geneigt; Schurfschacht, Steigschacht, Förderschacht, Wetterschacht?), Ausbau (Holzzimmerung, Mauerung) geht aus dieser Beschreibung allerdings nicht hervor.

Aus einem im Zuge historischer Recherchen (GEO-PLAN 2000) aufgefundenen „Gesellschaftsvertrag“ vom September 1874 geht u.a. eine Beschreibung der Fabrikanlage hervor:

„Verzeichnis der in den Kaufschilling mit inbegriffenen Realitäten, Maschienen und Utensilien

Das von Riegelwänden erbaute Maschienenhaus, enthaltend:

eine Maschine mit zwei stehenden Kesseln Hangröhren System: sämtliche zum Betriebe gehörigen Transmissionen und Leitungsröhren u. einen Vorwärmer, dann das Holzgebäude, unter welchen sich der gezimmerte Schacht, die Förderungs u. Führungsmaschine, Ventilationseinrichtung, die Brechermaschine nebst der Säuberungsvorrichtung, zwei Aufzügen für großes und feines Material, zwei französische Mühlen, vollkommen eingerichtet, sammt den für jede Mühle dazu gehörigen Aufzügen, ferner die im ersten Stockwerke des Gebäudes befindlichen zwei Cylinder, nebst allen zum Betriebe derselben erforderlichen Transmissionen, Riemscheiben und Riemen befinden und das vollständig gemauerte Brennhaus sammt Brennöfen mit zwei Pfannen, Vorwärmer und zwei großen Kasten zum einlagern des gebrannten Gypses. Die Binderei mit der Cirkularsäge, einen Kohlen Schuppen, eine separat aufgestellte Schmiedwerkstätte mit Feldschmiede, Ambos und Schraubstock.

Grund und Boden:

Das Haus Nr. 85 sammt Garten und anstoßenden Grund per 1534 Quadratklaffer, innliegend im Grdb. Lichtenstein fol 224 über Gießhübl und die im Grundbuche Lichtenstein über Enzersdorf fol 993v/ 1195 v und 1196 v innenliegenden Grundstücke.“

Die Lage des in Rede stehenden Grundstückes ist auf Grund der dem Gesellschaftsvertrag beiliegenden Plandarstellung rekonstruierbar.

Aus diesem „Gesellschaftsvertrag“ geht deutlich hervor, dass der abgebaute Gips über einen Schacht zur weiteren Verarbeitung hochgefördert wurde. Über diesen Schacht erfolgte offensichtlich auch die Bewetterung des Stollensystems. Keine Angaben finden sich allerdings darüber, ob über diesen Schacht auch die Grubenwässer ausgeleitet wurden. Auch geht aus diesen Beschreibungen nicht hervor, ob der Schacht vertikal oder geneigt und neben dem Fördertrum auch über ein Fahrtrum verfügte.

SIEGMUND, A. (1909) stützte sich in seiner Darlegung weitgehend auf die o.a. Ausführungen TIETZES, wonach „bei Hochleiten das Gipslager in einer Tiefe von 20 m durch einen Schacht erreicht wurde, der durch das Hangende, einen Gosausandstein getrieben wurde. „Die Schachtmündung befindet sich am Kamme des Bergrückens auf freiem Felde vor der Ortschaft.“

Auch wurde ein Faksimile einer Chronik der Schule Gießhübl aufgefunden, aus welcher hervorgeht, dass im Schuljahr 1891/92 einer Schulklasse die Gelegenheit geboten wurde, den Gipsbergbau zu befahren. Dabei wird von einem 42 m tiefen Schacht, der eine Neigung von 43° und 110 Stufen aufgewiesen haben soll, berichtet. Die tatsächliche Raumlage des vermuteten Schrägschachtes kann wie folgt rekonstruiert werden:

Unter Annahme einer korrekten Beschreibung des Schrägschachtes durch eine fachkundige Person (Schulchronist) sowie versuchter richtiger Interpretation dieser Informationen ergibt sich bei einer beschriebenen Länge (nicht Tiefe!) des Schachtes von 42 Meter, einer Neigung von 43° und 110 Stufen eine tatsächliche (realistische und den Erkundungsergebnissen entsprechende) Vertikaldistanz von 28,64 m. Unter dieser Annahme würde die Stufenhöhe ca. 26 cm betragen, während bei der beschriebenen Tiefe des Schachtes von 42 m die Stufenhöhe ca. 38 cm betragen hätte, die für Schüler wohl nur mühsam steigbar gewesen wäre.

2.3 Geländenutzung und –entwicklung nach der Bergbautätigkeit

Im Jahre 1936 wurde auf einem Teil der Marienhöhe offensichtlich aus guten Gründen ein Bauverbot erlassen.

Aus Luftbildern des Jahres 1938, die offensichtlich für den Bau der Reichsautobahn hergestellt wurden, sind mehrere kreisrunde Einmündungen erkennbar, die (auch angesichts des Befliegungsdatums!) keineswegs als Bombenrichter gedeutet werden dürfen.

Im Jahre 1945 wurde dieser Geländeabschnitt in „Grünland“ umgewidmet. Schlussendlich wurde der Bereich um die Marienhöhe im Jahre 1969 als Bauland ausgewiesen.

Im Jahre 1993 ereignete sich ein erster Tagbruch in der bereits errichteten Wohnsiedlung. Bodensonierungen und geophysikalische Untersuchungen erbrachten aber keine Hinweise auf allfällige bergbauliche oder künstliche Hohlräume.

Ein weiterer Tagbruch erfolgte im Jahre 1997. Bemerkenswerterweise entstand dieser unmittelbar neben dem Fallrohr zur Versickerung der Dachwässer. Durch drei Erkundungsbohrungen wurden zwar weitere

tagnahe Lösungshohlräume, aber keine Bergbauhohlräume angetroffen. Die Hohlräume wurden mittels einer speziellen Zementsuspension verfüllt.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde gemeinsam mit der Landesgeologie der Gemeinde empfohlen, weitere Erkundungsarbeiten durchzuführen, jedenfalls aber die Regenwasserversickerung einzustellen und das Kanalsystem zu sanieren.

Im Jahre 2002 wurde durch eine ortspolizeiliche Verordnung für den Bereich der Marienhöhe das Verbot der Versickerung von Oberflächenwässern erlassen.

2.4 Geophysikalische Vorerkundung

Auf Veranlassung der Landesgeologie erfolgte in den Wintermonaten 2003/2004 im Einvernehmen mit der Gemeinde Maria Enzersdorf durch die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) eine geophysikalische Vermessung im Bereich der Marienhöhe (SEREN, S., 2004 a, b)

2.4.1 Refraktionsseismik

Durch refraktionsseismische Messungen werden petrophysikalische Eigenschaften von Böden und/oder Gesteinen erfasst. Wie richtigerweise in der Expertise der ZAMG festgestellt wurde, können nur Schichtgrenzen erfasst werden, an denen die seismische Geschwindigkeit mit der Tiefe ansteigt. Da kompakter Gips höhere seismische Geschwindigkeiten aufweist als ein bergbaulich durchbauter Gips mit noch offenen oder (teil-)verbrochenen Hohlräumen, sind derartige Hohlformen unterhalb einer intakten Schwebel mit dieser Methode nicht messbar.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass massive, ungestörte Gesteinskörper höhere Laufzeitgeschwindigkeiten aufweisen als solche, die aufgelockert, geklüftet oder hohlraumführend sind.

Durch die ungleichmäßigen seismischen Geschwindigkeiten der Überlagerung ergaben sich rechnerisch bedingte Unschärfen bei der Ermittlung der Höhenlage des Refraktors (= Gipsoberkante). Dessen ungeachtet gab jedoch die Verteilung von Flächen mit gleichen Laufzeitgeschwindigkeiten wichtige orientierende Hinweise über die unterschiedlichen petrophysikalischen Eigenschaften des Untergrundes. Eine isolierte Betrachtung dieser refraktionsseismischen Ergebnisse war daher unzulässig.

Durch die in den Folgemonaten niedergebrachten Bohrungen konnte nachgewiesen werden, dass das Gipsvorkommen innerhalb des Bohrbereiches flächenhaft entwickelt ist. Daher waren gemessene Laufzeitunterschiede im Gips im Wesentlichen auf unterschiedliche qualitative Beschaffenheit im Gips zurückzuführen. Laufzeitgeschwindigkeiten größer als 2600 m/s wurden als Hinweis auf einen relativ kompakten, bergbaulich unbeeinflussten Gipskörper angesehen, während Laufzeitgeschwindigkeiten kleiner als 2600 m/s als Auflockerungszonen innerhalb des Gipskörpers interpretiert wurden. Dabei konnte es sich einerseits um natürliche (lösungsbedingte) Auflockerungen an der Gipsoberkante, andererseits aber auch um Auflockerungen, die sich über offenen oder (teil-)verbrochenen natürlichen oder künstlichen Hohlräumen bilden können, handeln.

Aus der Darstellung der Flächen mit gleichen seismischen Geschwindigkeiten konnte jedenfalls nicht eindeutig rückgeschlossen werden, ob sich dadurch tatsächlich Bergbauhohlräume abbildeten, wohl aber, dass bei gleichem Untergrundmaterial unterschiedliche Ausbildungen vorlagen.

2.4.2 Geoelektrik

Da die geoelektrischen Profile messtechnisch außerhalb des Stollensystems ausgelegt werden mussten und somit keine direkten bzw. indirekten Hinweise auf untertägige Hohlräume mit hinreichender Sicherheit ableitbar waren, wurde auf eine weitere Interpretation verzichtet.

2.5 Bohrungen

Im Rahmen der ersten Erkundungskampagne wurden im Jahr 2000 im Nahbereich eines Tagbruches drei Kernbohrungen niedergebracht. Durch Einbringen einer mit Wasserglas stabilisierten Zementsuspension wurden angetroffene Hohlräume in einer Gesamtkubatur von rund 190 m³ verfüllt.

Im Jahre 2005 wurden in einer zweiten, großangelegten Bohrkampagne auf Basis der Erkenntnisse der geophysikalischen Messungen 77 Bohrungen mit über 2500 Laufmetern abgeteuft.

Durch die Bohrungen der Erkundungskampagnen 2000 und 2005 wurde unter einer sedimentären Überlagerung unterschiedlicher Lagerungsdichte die morphologisch äußerst variable Gipsoberkante zwischen ca. 12,0 m und ca. 31,5 m unter GOK (Durchschnitt ca. 21,9 m) flächenhaft nachgewiesen. Durch eine Bohrung wurde die Gipsoberkante sogar in lediglich 8 m unter GOK erkundet.

Auffällig war bei einigen Bohrungen auch die weiche, breiige Ausbildung des tiefsten Bereiches der sedimentären Überlagerung des Gipses. Bemerkenswert waren auch bis zu 15 m mächtige künstliche Anschüttungen. Aus den Aussagen von Zeitzeugen sollen Geländeeinsenkungen (Tagbrüche?) mit Müll aufgefüllt worden sein.

Erstmals wurden durch 12 Bohrungen der Bohrkampagne 2005 auch eindeutige Hinweise auf Bergbauhohlräume aufgefunden.

2.6 Druckluftmessungen

Aus diesen Bohrungen erfolgte zwar eine erste vage Abschätzung der Ausdehnung des Grubengebäudes, nicht aber, ob zwischen den angetroffenen Hohlräumen tatsächlich eine Verbindung bestand. Eine möglichst genaue Kenntnis über die Volumina und die räumlichen Zusammenhänge war aber erforderlich, um ein Verfüllkonzept ausarbeiten zu können. Aus diesem Grunde wurde versucht, über eine Bohrung ein Qualmmittel einzubringen und zu beobachten, ob dieses bei einer der Nachbarbohrungen wieder austritt. Der Versuch einer Verqualmung mit herkömmlichem (umweltunbedenklichem) „Theaternebel“ scheiterte. Anstelle dessen wurde versucht, die räumlichen Zusammenhänge der Hohlräume mittels Wetterstrommessungen zu erkunden. Dabei wurde über ein zentral gelegenes Bohrloch mittels eines Baustellenkompressors Druckluft mit 17 bar eingeblasen. Mittels eines kalibrierten Anemometers (Fabrikat Luft-Gas Paul Grohe) wurde versucht, die sich über das (verbrochene) Stollensystem bzw. andere Hohlräume ausbreitende Druckluft zu messen. Die Messungen wurden an zwei verschiedenen Terminen vorgenommen.

Tatsächlich traten bei einer Reihe von Bohrungen deutlich messbare Luftmengen aus, wobei bei einem Bohrloch sogar ein deutlicher Gipsmehlaustrag beobachtet werden konnte. Selbst bei Bohrlöchern, die mehrere hundert Meter von der Einblasbohrung entfernt lagen, wurde noch ausströmende Luft gemessen. Dabei kann auch von einer zusätzlichen Ausbreitung über Lösungshohlräume im Grenzbereich Überlagerung zu Gips ausgegangen werden

Aus der Verteilung der Bohrlöcher mit massiven Luftaustritten konnte zumindest die Kontur des zusammenhängenden Grubengebäudes besser abgeschätzt werden.

3 Abschätzung der flächigen Erstreckung des möglichen Beeinträchtigungsbereiches und Evaluierung des Risikos

Als theoretisch möglicher Beeinträchtigungs- (Nachwirkungsbereich) wird jener Bereich verstanden, in welchem es grundsätzlich zu Auswirkungen an der Geländeoberfläche durch Senkungen, Setzungen, Tagbrüche oder Erdfälle, bzw. zu Schäden an Gebäuden, Verkehrswegen, Versorgungs- oder Entsorgungseinrichtungen als Folge von Verbrüchen im darunterliegenden Stollensystem kommen kann. Er setzt sich aus den Zonen 1 und 2 zusammen.

- Als **Zone 1** wird üblicherweise ein Bereich um einen Schacht (Wetterschacht, Wetterbohrloch), Streckenkreuz oder Stollenmundloch, jeweils Kreisfläche von $r = 5\text{ m}$; bzw. Bereiche über dem Stollensystem mit einer Überlagerung von $<20\text{ m}$ verstanden. Bei Gips im Untergrund gelten jedoch keine Überlagerungsgrenzen. Da die exakten Schachtlokationen nicht genau genug bekannt sind, wurde der Radius r aus Sicherheitsgründen mit 10 m bemessen.
- Als **Zone 2** wird üblicherweise die grundrissliche Darstellung der Umhüllenden des Stollensystems durch den Grenz-/Wirkungswinkel ohne Zone 1 verstanden. Bereiche mit einer Überlagerung von $>20\text{ m}$ bleiben unberücksichtigt. Bei Gips im Untergrund gelten jedoch keine Überlagerungsgrenzen.
- Als **Zone 2a** wird ein Bereich verstanden, von dem auf Grund der vorgefundenen Untergrundverhältnisse (geringe Schwebenmächtigkeit, Defekte in der Schwebenausbildung) ein höheres Verbruchsrisiko ausgeht.
- „**Zone 3**“: Unter Zone 3 wird jener Bereich verstanden, in welchem sich grundsätzlich nur mehr Erdfälle oder Senkungen über dem gipsführenden Untergrund ohne ursächlichen Zusammenhang mit bergbaulichen Aktivitäten ereignen können.
- Als „**Zone 3a**“ wird jener Bereich verstanden, in welchem sich wie in der Zone 3 nur mehr Erdfälle oder Senkungen über dem gipsführenden Untergrund ohne ursächlichen Zusammenhang mit bergbaulichen Aktivitäten ereignen können. Auf Grund der örtlichen geologischen – hydrogeologischen Verhältnisse ist jedoch die Oberfläche des Gipskörpers bereits so ausgebildet, dass eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit für Auswirkungen bis zur Geländeoberfläche als in der Zone 3 gegeben ist.
- Als **Grenzwinkel** wird jener Winkel verstanden, der zwischen der Horizontalen durch die Hohlraumkante und dem Winkelschenkel liegt, der vom jeweiligen Hohlraum zum Nullrand der über Tage eintretenden Senkungsmulde zeigt. Im vorliegenden Fall wurde der Grenzwinkel für Gips mit 70° , jener für die Überlagerung auf Grund der stellenweise lockeren Lagerung bzw. der unterschiedlichen Durchfeuchtung mit 30° angesetzt.
- Als **Wirkungswinkel** wird jener Winkel verstanden, der jeweils unter Berücksichtigung der Winkel der inneren Reibung der jeweiligen Gesteine rechnerisch oder empirisch ermittelbar ist (da die Kohäsion in den gg. Fällen gleich 0 anzusetzen ist, kann der Scherwinkel mit dem Reibungswinkel gleichgesetzt werden). Auf Grund der unterschiedlichen Mächtigkeit der Überlagerung und der morphologischen Verhältnisse ist der Wirkungswinkel variabel, jedenfalls aber flacher als der Grenzwinkel.

Gebäuden können dabei Schäden an der Bausubstanz auftreten. Durch Bodensenkungen können auch Schäden an Energieversorgungsleitungen, Wasserleitungen, Kanal) eintreten.

Schadensschwere:

Die Schadensschwere ist in bebauten Bereichen höher als in nichtbebauten Bereichen. Somit war von einem hohen Risiko auszugehen.

Auf Grund der Untersuchungsarbeiten ergaben sich die nachstehend angeführten Zwischenergebnisse:

- Jene Geländeeinbrüche, die sich in den vergangenen Jahren auf der Marienhöhe im Gemeindegebiet von Maria Enzersdorf ereignet haben, sowie auf Luftbildern aus den Jahren 1938 und 1958, somit vor der Verbauung feststellbar sind, sind Folgen einer vorangegangenen untertägigen Bergbautätigkeit auf Gips, somit Bergschäden.
- Aus der örtlichen Tiefenlage der ehemaligen Bergbauhöhlräume und der örtlichen Oberflächennutzung resultiert ein Risiko für Personen und Sachgüter.
- Zur Konturierung der Nulllinie wurden eine durchschnittliche Überlagerungsmächtigkeit von 21,9 m, die 2600 m/s Isoseiste sowie ein Grenzwinkel von 30° in der sedimentären Überlagerung herangezogen und durch die Ergebnisse der Bohrungen kalibriert. Die Ergebnisse wurden durch die Strömungsmessungen, Luftbildauswertungen und historischen Informationen auf Plausibilität überprüft.
- Das vom ehemaligen Bergbau ausgehende Beeinträchtigungspotential war ausschließlich auf die konstruktiv ermittelten Zonen 1 und 2 bzw. 2a beschränkt. Die Aussagegenauigkeit wurde durch das Fehlen von Grubenkarten und der hinreichend genauen Kenntnis über die tatsächliche Ausdehnung und Dimension der Abbaukammern reduziert. Durch die integrative Auswertung von Refraktionsseismik, Untersuchungsbohrungen, Wetterstrommessungen und historischen Unterlagen konnten aber die bergbaubedingten Risikobereiche (Zonen 1 und 2) hinreichend genau abgegrenzt werden.

4 Sicherungskonzept und Umsetzung

Von den planenden Unternehmen IC Consulanten und S-Consult wurde für die Sicherung der Hohlräume ein für solche Fälle speziell angepasstes Sicherungskonzept erarbeitet:

- Sicherung der Hohlräume ausschließlich mit flüssigem Verfüllgut über Bohrungen von der Geländeoberfläche aus.
- Verfüllung in 2 Phasen:
 - 1) Verfüllung eines „Außenringes“ um den bekannten Bergbaubereich (Zone 2), um den Verlust von Verfüllgut in den Gipskarst zu minimieren. Um die Reichweite des Verfüllbaustoffes zu begrenzen, wurde ein relativ rasch aushärtendes Verfüllgut (Festigkeit > 1 MPa in 3 Tagen) gewählt.
 - 2) Verfüllung des Zentralbereiches (i. W. Zonen 1 und 2) ohne Anforderung an eine frühe Festigkeitsentwicklung des Verfüllgutes.

Für den Außenring wurden in der Planungsphase in Ergänzung zu den Erkundungsbohrungen weitere 20 Bohrungen, für den Zentralbereich 59 Bohrungen festgelegt. Die Bohrtiefen variierten in Abhängigkeit von deren Position zwischen 37 und 25 m.

Das Sicherungsvorhaben wurde im November 2006 wasserrechtlich verhandelt und mit Bescheid genehmigt. Wesentliche Auflage war ein Beweissicherungsprogramm, welchem die Herstellung von 5 Grundwasserbeobachtungspegeln und deren regelmäßige Beobachtung im Zeitraum zwischen 1.02.2007 und 31.01.2008 zu Grunde lag.

Die Bohrungen wurden planlich festgelegt und vor der Herstellung gemeinsam mit der ausführenden Firma und den Grundstückseigentümern endgültig festgelegt.

Die Bohrungen wurden grundsätzlich als Hammerbohrungen mit Luftspülung ausgeführt. Der Bohrdurchmesser betrug in Abhängigkeit des verwendeten Bohrgerätes 114,3 und 139,7 mm. Zum Einsatz gelangten in Abhängigkeit von der Zugänglichkeit des Bohrpunktes Bohrgeräte vom Typ Hütte 505 und eine Beretta T43. Um im bebauten Gebiet möglichst wenig Flurschäden anzurichten, wurden die Gerätschaften mittels Autokranes auf die Bohrplätze eingehoben.

Die Bohrlöcher wurden nach der Fertigstellung mit einem 2“ Verfüllschlauch und einer Abdichtung am Bohrlochkopf gegen während der Bauphase allenfalls eindringendes Niederschlagswasser ausgebaut. Eine Bohrung wurde als Kernbohrung mit einem Durchmesser von 419 bzw. 368 mm ausgeführt. Grund für den großen Durchmesser war der Einbau einer leistungsfähigen Unterwasserpumpe zum Sumpfen des aufgefundenen Schachtes.

4.1 Kamerabefahrungen:

Jedes Bohrloch wurde mit Videokamera untersucht. Primäres Ziel der Videosondierung war, die Art, Ausdehnung und den Zustand von angetroffenen Hohlräumen zu erkunden. Insbesondere erwies sich die Abschätzung der Größe und Ausdehnung von Hohlräumen auf Grund fehlender Größenmaßstäbe oft als schwierig. Der mit dem angebauten Kompass feststellbare Verlauf der Hohlräume erlaubte in der Regel auch nur grobe Abschätzungen. Für die Erkundung des Abbauhohlraumes am Schachtfuß wurde ein eigens entwickeltes Kameraboot mit Erfolg eingesetzt.

4.2 Laser Hohlraumvermessung

Um angetroffene Bergbauhohlräume lagemäßig besser als mit der Videosonde erfassen zu können, wurde beim Antreffen größerer Hohlräume zusätzlich ein Laserscanner eingesetzt. Die Reichweite (ohne Reflektor) betrug in Abhängigkeit der Oberfläche max. 150 m. Die Genauigkeit der Auflösung wurde für die Längenmessung (ohne Reflektor) mit 5 cm, die Genauigkeit der Winkelmessung mit 0,02° angegeben.

Für die Orientierung des Führungsgestänges wurde von obertage aus vom Vermesser eine geodätisch ermittelte Ausgangsrichtung abgesteckt und die Absolutkoten des Bohransatzpunktes ermittelt. Die Darstellung der vermessenen Hohlräume erfolgte als Grundriss und als Seitenansicht von Osten.

4.3 Verfülltätigkeit (Planung und Umsetzung)

Die erforderlichen Verfüllmassen wurden im Rahmen der Ausschreibungsplanung durch eine mit Elementen der Wahrscheinlichkeitsrechnung versehene Massenberechnung ermittelt. Wesentliche Eingangsgrößen hierfür waren:

- Die vermutete Ausdehnung des Grubengebäudes
- Die aus Videosondierungen und Bohrungen bekannten Stollenquerschnitte
- Produktionszahlen aus Abgaben an das (damalige) Finanzamt

- Abschätzungen über den Verlust von Verfüllgut in den Gipskarst

Als Erfordernis wurde eine Verfüllmenge von 16.000 m³ ermittelt.

Die Verfüllung der Hohlräume sollte ausschließlich über Bohrungen mit flüssigem, hydraulisch abbindendem Verfüllmaterial erfolgen. An das Material wurden daher folgende Mindestanforderungen gestellt:

- Enddruckfestigkeit (90 Tage) > 2 MPa
- Absetzmaß < 2 Vol.% nach 24 h
- Sulfatbeständigkeit nach EN 197-1
- Unbedenklichkeit des langfristigen Verhaltens gegenüber Grundwasser (gem. Deponieverordnung „Bodenaushubdeponie“ bzw. Bundesabfallwirtschaftsplan 2006 A2-G)

Der Antransport des Verfüllgutes erfolgte pulverförmig im Silo LKW, direkt vom Hersteller auf die Baustelle. Die Mischung des Verfüllgutes geschah in einer mobilen Mischanlage direkt vor Ort unter Beigabe von Wasser. Die Verbringung des Verfüllgutes von der Mischanlage zum Bohrloch wurde über Schlauchleitungen bewerkstelligt.

4.3.1 Verfüllung des Außenringes:

Für die Bohrungen im Außenring wurde ein modifiziertes Verfüllgut verwendet. Da die Reichweite des Verfüllgutes begrenzt werden sollte, wurde zusätzlich zu den oben genannten Kriterien eine 3 Tages Festigkeit von > 1 MPa gefordert. Als Abbruchkriterium wurde die maximale Verfüllmenge pro Tag und Bohrloch auf 120 m³ festgesetzt.

Zwischen April und Mai 2007 wurden ca. 3117 m³ Verfüllgut eingebracht. Die Aufnahme von Verfüllgut schwankte zwischen (fast) 0 und über 552 m³ pro Bohrloch. Die unterschiedliche Aufnahme des Verfüllgutes konnte so gedeutet werden, dass nicht mit allen Bohrungen im Außenbereich tatsächlich auch offene Strukturen (z.B.: Gipskarst) angetroffen werden konnten.

Zwischen Juni und Juli 2007 wurden weitere 905 m³ als Nachverfüllung in den Außenring eingebracht.

4.3.2 Verfüllung des Innenbereiches

Die Verfüllung des Bergbaubereiches (Zonen 1 und 2) erfolgte zwischen Juni und August 2007.

Der im Innenbereich angetroffene Schacht war vollständig mit Wasser gefüllt und musste vorerst mit einer Tauchpumpe gesümpft werden. Am Schachtfuß wurde eine ca. 20 m lange und rund 5 m hohe Kaverne angetroffen. Schacht und Kaverne wurden, nachdem keine weiteren Grubenbaue vom Schacht festgestellt werden konnten, mit ca. 870 m³ Verfüllmaterial „Außen“ verfüllt. Verfüllmaterial „Außen“ erreichte eine höhere Endfestigkeit als das Verfüllmaterial „Innen“ und wurde wegen der auf Grund der Teufenlage zu erwartenden höheren Festigkeitsanforderungen verwendet.

Ingesamt wurden im inneren Bereich ca. 11.542 m³ Verfüllgut in den Untergrund eingebracht, die sich wie folgt aufteilen:

Verfüllung „Außenring“	4.022,71 m ³
Verfüllung innen, inkl. Schacht	11.541,62 m ³
Verfüllung Kernbohrungen	37,05 m ³
Summe	15.601,38 m³

4.4 Kontrollbohrungen

Zur Kontrolle des Verfüllerfolges wurden nach Abschluss der Verfüllarbeiten vier Kernbohrungen in besonders sensiblen Bereichen festgelegt

- Bereich Kaverne am Schachtfuß (1 Bohrung)
- Hohlräume unter Wohngebäude (2 Bohrungen)
- Große Bergbauhohlräume (1 Bohrung)

Zusätzlich zur Kerngewinnung wurden alle Kontrollbohrungen mit der Videosonde untersucht.

In den Bohrungen wurde sowohl anhand der Bohrkerns, als auch durch die Videosondierung die vollständige Verfüllung der angetroffenen Bergbauhohlräume nachgewiesen. In der Überlagerung wurden keine Spuren des Verfüllmaterials beobachtet.

Eine Bohrung wurde so loziert, um den Hochpunkt der Kaverne am Schachtfuß zu erreichen. Aus der Laserscanner-Vermessung war zu vermuten, dass sich im konkav nach oben gewölbten Firstbereich eine Luftblase gebildet haben könne. Tatsächlich wurde im Firstbereich der Kaverne ein größerer Hohlraum angetroffen, der mit ca. 24 m³ Verfüllmaterial nachgefüllt wurde.

5 Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse

Der in den vorangegangenen Untersuchungskampagnen erarbeitete und im Gutachten WEBER & HOLNSTEINER (2006) zusammengefasste Kenntnisstand über die Ausdehnung des Grubengebäudes des Gipsbergbaus Hochleiten wurde im Wesentlichen bestätigt.

Trotz des Einsatzes verbesserter Techniken (Laserscanner) wurden im Zuge der Bohrarbeiten keine solchen Bergbauhohlräume gefunden, die über die Zone 2 im Gutachten WEBER & HOLNSTEINER (2006) hinausreichen. Andererseits wurde auch trotz verschiedener Verdachtsmomente und daraufhin verdichtetem Bohrraster der (vermutete) Verbindungsstollen zum (vermuteten) Tagschacht nicht gefunden. Die Ergebnisse der Sicherungsarbeiten im Jahr 2007 legen daher den Schluss nahe, dass sich die Gewinnungstätigkeit des Gipsbergbaus Hochleiten ausschließlich auf die Zone 1 und 2 nach WEBER & HOLNSTEINER beschränkte. Ungeklärt bleibt die Verbindung zwischen dem Grubengebäude Gipsbergbau Hochleiten auf KG Maria Enzersdorf und dem, in historischen Quellen eindeutig beschriebenen Tagschacht.

Das Auffinden eines Blindschachtes gab Anlass zu Befürchtungen, dass sich am Niveau des Schachtfußes ein noch tiefer gelegener Abbauhorizont befinden könnte. Durch Videosondierungen (z.T. mit Kameraboot) und Laserscannermessungen wurde aber nachgewiesen, dass zumindest von diesem Blindschacht keine weiteren Grubenbaue abgingen. Bei den übrigen Bohrungen wurden keine Hinweise auf weitere Schächte gefunden.

Bei den Verfüllarbeiten im Bergbaubereich hat sich auch herausgestellt, dass durch die Wahl des relativ dünnflüssigen und langsam erhärtenden Verfüllgutes eine weite Umläufigkeit des Materials im Grubengebäude gegeben war. Der überwiegende Teil der Verfüllmasse wurde daher über lediglich 6 Bohrungen eingebracht. In den übrigen Bohrungen wurde mit dem Lichtlot das kontinuierliche Ansteigen des Verfüllgutes im Grubengebäude beobachtet.

Die in der Planungsphase als Barrieren für das Verfüllgut erachteten Verbrüche in den Strecken erwiesen sich glücklicherweise nicht wirksam. Nach dem Prinzip der kommunizierenden Gefäße wurde so das

gesamte Grubengebäude und die unmittelbar damit in Verbindung stehenden Gipskarst Hohlräume vollständig verfüllt.

Isolierte Hohlräume mit wenigen cm Höhe im Bereich von Hochpunkten einer intakten Stollenfiste konnten allerdings nicht ausgeschlossen werden. Sobald allerdings durch Klüfte, Gipskarst oder Risse geschwächtes Gebirge vorliegt, welches das Entweichen von Luft in die Überlagerung erlaubt, war von einer vollständigen Verfüllung – auch von isolierten Hochpunkten – auszugehen.

Der Verfüllerfolg wurde zudem durch die Kontrollbohrungen nachgewiesen.

6 Schlussfolgerung

Die Errichtung von Gebäuden über lösungsfähigem Untergrund ist in bestimmten Fällen durchaus möglich, wenn vor der Baumaßnahme entsprechende Bodenuntersuchungen bzw. entsprechende Maßnahmen ergriffen werden.

Im konkreten Fall mussten diese technisch aufwendigen Maßnahmen zur Abwendung von Gefahren nachträglich durchgeführt werden.

Über insgesamt 88 Bohrungen wurden in zwei Verfüllphasen ca. 15.601 m³ Verfüllgut eingebracht und somit die Bergbau- und Lösungshohlräume vollständig verfüllt.

Der Verfüllerfolg wurde sowohl während des Einbringens durch Verfolgung eines kontinuierlichen Aufspiegeln des Verfüllgutes in den Verfüllbohrungen, sowie durch Kontrollbohrungen nach Abschluss der Sicherungsarbeiten beobachtet.

Damit wurde das vom Altbergbau „Gipsbergbau Hochleiten“ ausgehende Risiko auf ein vernachlässigbar geringes Risiko reduziert. Durch die zwangsläufige Verfüllung von Gipskarsthohlräumen kann von einer signifikanten Verringerung der Wasserwegigkeit in den Gipsstock ausgegangen werden. Damit ist auch eine Verminderung des Risikos der Ausbildung von Setzungen der Oberfläche durch eine natürliche Gipskarstbildung im Untergrund gegeben.

7 Quellen

GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT: Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000 Blatt 58 Baden.- Geol.-B.-A., 1997.

GEO-PLAN Beratungs- und Planungsges. m.b.H. (2000): Untersuchung über ein verschollenes Gipsbergwerk in Hochleiten in der Gemeinde Gießhübl / NÖ.- 70 S., erstellt im Auftrag des Bauamtes Maria Enzersdorf).

IC-Consulanten ZT GmbH. Ergebnisse von 50 + 22 + 4 Bohrungen (Stand 14. November 2005) im Rahmen des Projektes „Sanierung der Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsanlage – Untergrunderkundungen Marienhöhe“

KRATSCH, H. (1983): Mining Subsidence Engineering.- 543 p., 380 fig., *Springer*, Berlin-Heidelberg New York 1983.

PRINZ, H. (1991): Abriss der Ingenieurgeologie.- 466 S., Enke

SCHRÖCKENFUCHS, G. (2005): Gips-Bergbau Hochleiten - Gießhübl.- Bergbaukundliche und historische Nachforschungen, erstellt für die Marktgemeinde Maria Enzersdorf.- 24 S., Beilagen.

SCHWARZ, A. (2003): Bericht über die Recherchen zum Gipsbergwerk Hochleiten.- unveröffentl. Zusammenstellung von Zeitzeugenberichten und Dokumenten, 18 S.,

- SEREN, S. /2004 a): Bericht über geophysikalische Untersuchungen Maria Enzersdorf-Marienhöhe.- ZAMG., 19 S., Anlagen.
- SEREN, S. (2004 b): Bericht über geophysikalische Untersuchungen Maria Enzersdorf-Marienhöhe, Ergänzung.- ZAMG., 5 S., Anlagen.
- SIEGMUND, A. (1909): Die Minerale Niederösterreichs.- Franz Deuticke.
- TIETZE, E. (1873): Über ein neues Gypsvorkommen am Randgebirge des Wiener Beckens.- Verh. Geol. R.-A., S. 184 ff.
- WEBER L. & BERGMAIR M. (2002): Risk Evaluation for Air Raid Shelters from World War II by deterministic and probabilistic methods. *UEF: Probabilistics in GeoTechnics*, Graz, September 2002.
- WEBER, L., STEININGER, H., HOLNSTEINER, R. (2000) Geologisch-Geotechnischer Bericht zu Bohrungen Marienhöhe .- 6 S., 28. 09. 2000
- WEBER, L. & HOLNSTEINER, R. (2006): Geologisch – geotechnisches Gutachten ge., § 213 Abs. 2 MinroG zur Frage des vom ehem. Gipsbergbau auf der Marienhöhe (Marktgemeinde Maria Enzersdorf und Gemeinde Gießhübl / NÖ) ausgehenden Risikos (Unveröffentl. Gutachten für die Montanbehörde Ost).
- WEBER, L. (2008): Geologisch – geotechnisches Gutachten zur Evaluierung des vom ehemaligen Gipsbergbau ausgehenden Gefährdungspotentials nach Abschluss der Sicherungsarbeiten in den Gemeindegebieten von Maria Enzersdorf und Gießhübl (Unveröffentl. Gutachten, erstattet für die BH Mödling).