

Donnerstag 18. Oktober 2012

11:30-12:00

Stabilitätsbetrachtung von Untertagebauwerken unter Berücksichtigung von Lösungsprozessen in wassersensitiven Gebirgsformationen

Gunter Gschwandtner, Robert Galler

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Subsurface Engineering, Leoben

Viktoria WÖRGETTER BSc.

Paris-Lodron-Universität, Lehrstuhl Geographie und Geologie, Salzburg

KURZFASSUNG

Die Beurteilung der Langzeitstabilität sowie das Verhalten von komplexen Hohlrumbauten ist ein interdisziplinäres Aufgabengebiet, welches die Bereiche Geologie, Hydrogeologie, Vermessungswesen sowie Geotechnik und Gebirgsmechanik umfasst. Die Grundlage hierfür bieten umfangreiche Untersuchungen vor Ort sowie ein geeignetes Prüfprogramm im Labor, um ein möglichst realistisches numerisches Modell zu erstellen. Der Faktor Wasser, sei es Oberflächen- bzw. Niederschlagswasser oder Grundwasser, spielt in Abhängigkeit von den anstehenden geologischen Verhältnissen eine große Rolle für die Langzeitstabilität des Grubengebäudes. Wesentlich ist beispielsweise die chemische Sättigung des Bergwassers bedingt durch in Lösung gegangene Bestandteile anstehender Minerale. Ein nicht zu vernachlässigender Bestandteil, der in den meisten Betrachtungen bis dato unberücksichtigt blieb, ist die Austragung feinstkörniger Materialanteile, die chemisch nicht in Lösung gehen. Diese Feinstkornanteile können nach chemischer Umwandlung der wasserlöslichen Bestandteile ausgeschwemmt werden und erhöhen somit den gesamten Materialaustrag. Dieser fortschreitende Löseprozess führt zu einer Schwächung des umliegenden Gebirges und damit einhergehend zu einer Verringerung der Festigkeit; Prozesse welche in der Simulation berücksichtigt werden müssen.

Einleitung

Die felsmechanische und sicherheitsbezogene Betrachtung von Hohlrumbauten im Infrastrukturbereich sowie im Bergbau erfordert eine interdisziplinäre Herangehensweise. Durch eine meist eingeschränkte Menge an geologischen und felsmechanischen Basisdaten und dem komplexen Langzeit-Materialverhalten des Gebirges ergeben sich Schwierigkeiten, eine zuverlässige Vorhersage hinsichtlich der Stabilität zu treffen. Dieses komplexe Verhalten resultiert aus den vorherrschenden inhomogenen und anisotropen Verhältnissen, welche durch Genese und Vorbelastungen/Tektonik entstanden sind. Die für die felsmechanische Analyse erforderlichen Fachgebiete kann man grundsätzlich in die vier Bereiche Geologie, Hydrogeologie, Vermessungswesen und Geotechnik einteilen. [Gschwandtner, 2011]

Der erste Teil dieser Arbeit stellt dar, in welcher Art und Weise Informationen aus den unterschiedlichen Fachgebieten zusammengeführt werden können, um ein verständliches

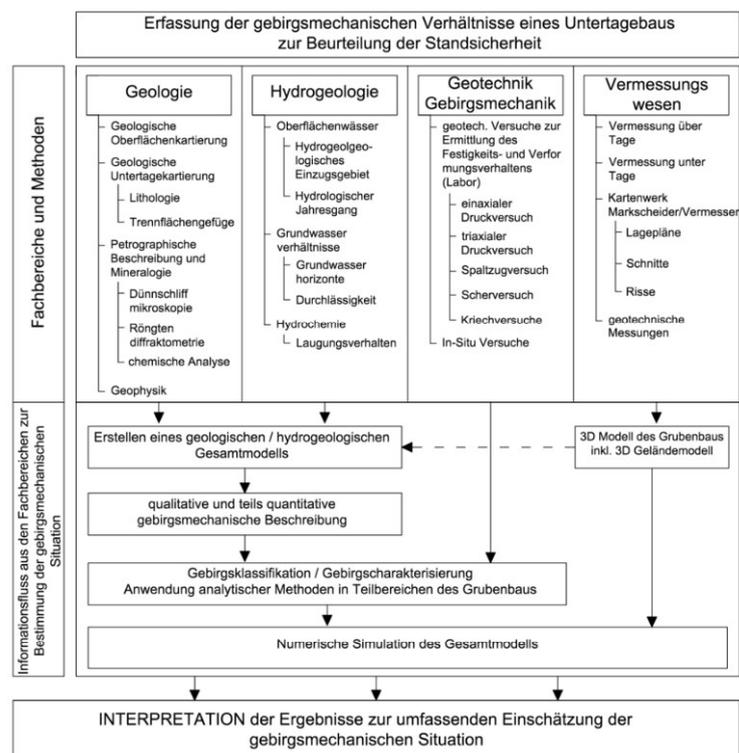
Gesamtkonzept für eine felsmechanische Auswertung zu erstellen. Es muss angemerkt werden, dass die hier vorgestellten Methoden nicht vollständig sind, da sie stark vom untersuchten Objekt abhängen. Die Art der Methoden muss für jedes Projekt adaptiert und abgestimmt werden. Eine Darstellung der erforderlichen interdisziplinären Kenntnisse hinsichtlich der technischen Durchführung und Betriebssicherheit im Bergbau wurde bereits von Dipl.-Ing. H. Weber [Weber, 2011] und em. O. Univ.-Prof. Dr. H. Wagner [Wagner, 2011] diskutiert. Die Datenerfassung sowie die Zusammenführung der Daten, um ein komplexes Modell zu erhalten, werden anhand eines aufgelassenen Gipsbergbaues erläutert.

Das Hauptaugenmerk des zweiten Teils dieser Arbeit ist der Bereich Hydrogeologie, da das Oberflächen- bzw. Niederschlagswasser oder Grundwasser, in Abhängigkeit von den anstehenden geologischen Verhältnissen eine große Rolle für die Langzeitstabilität des Grubengebäudes spielt. Dies gilt insbesondere für wassersensitive Bereiche; darunter werden Lithologien verstanden, welche wasserlösliche Bestandteile wie beispielsweise Gips enthalten.

Untersuchungen und Methoden der einzelnen Fachbereiche

Das Ziel ist alle zur Verfügung stehenden Daten aus den unterschiedlichen Gebieten zusammenzuführen. Diese Daten bilden die Basis für ein Modell, um die felsmechanischen Prozesse sowie die Stabilität zu beschreiben. (Abb. 1) zeigt einen Überblick der vier Fachbereiche Geologie, Hydrogeologie, Geotechnik / Felsmechanik (Gebirgsmechanik) und Vermessungswesen inklusive ihrer Methoden und deren Informationspotential. Eine wichtige Grundlage für eine reibungslose interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den unterschiedlichen Bereichen ist ein gut strukturiertes Datenmanagementsystem, welches schnellen und einfachen Zugriff auf benötigte Daten für weitere Prozesse ermöglicht. Folgende Punkte zeigen eine Übersicht der verschiedenen Methoden, welche zur Untersuchung eines aufgelassenen Gipsbergbaues herangezogen wurden.

Abb. 9 Übersicht der vier Fachbereiche und ihrer Methoden, inklusive Informationsfluss für die geotechnische Analyse eines Hohlraumbaus; [Gschwandtner, 2011]



Grubengebäude

Der aufgelassene Gipsbergbau besteht aus 2 Sohlen, welche über eine Rampe miteinander verbunden sind. Die Abmessungen der beiden Abbauhorizonte sind 160 m mal 180 m. Das Grubengebäude ist über einen Zugangsstollen mit einer Länge von rund 205 m in SW-NO Richtung befahrbar. Die obere Sohle hat eine Fläche von rund 6.000 m² bei einer Überlagerung zwischen 11 m im Eingangsbereich bis maximal ca. 27 m. Die untere Sohle ist bis auf eine Höhe von ca. 1,20 m mit Wasser gefüllt und hat eine Fläche von rund 6.200 m².

Vermessung

Die Erstellung eines detaillierten Kartenwerkes bildet die Grundlage für die nachfolgenden Untersuchungen. Hierfür muss ein geometrisch korrektes, vollständiges und eindeutiges Modell des Hohlraums sowie der Geländeoberfläche im Einflussbereich des Bergbaues erstellt werden. [MinroG, 2011] [Marscheideverordnung, 2001]

Das hier verwendete 3-dimensionale Geländemodell und das Modell für das Grubengebäude wurden mit Hilfe von Geo-Informations-Systemen (GIS) sowie alten Bergbaukarten erstellt. Da diese Informationen nicht ausreichend für eine Detaildarstellung waren, wurde eine weitere 3-dimensionale Vermessung durchgeführt. (Abb. 2a) und (Abb. 3a) zeigen das 3-dimensionale Gelände- und Untertagemodell.

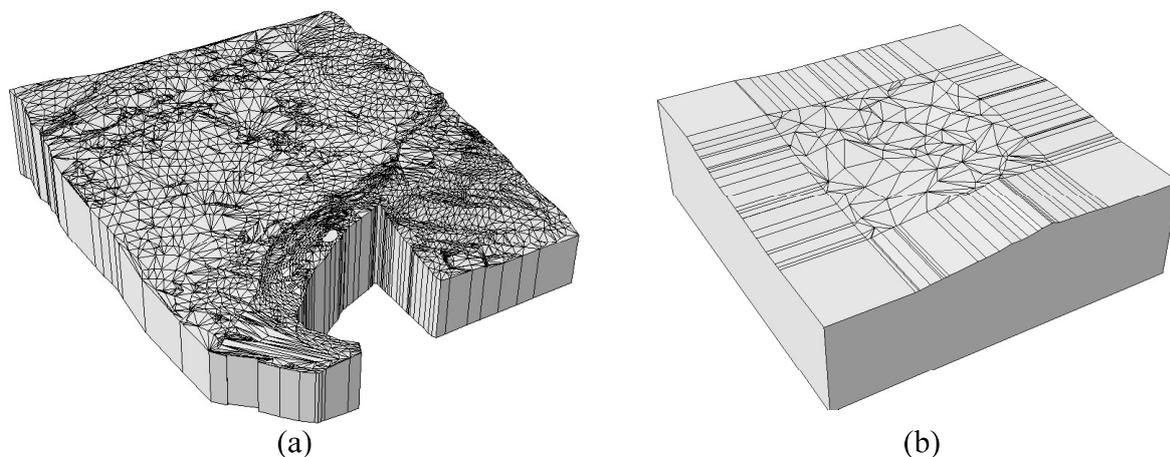


Abb. 10 3D Oberflächenmodell; (a) Vermessungsmodell; (b) überarbeitetes Modell

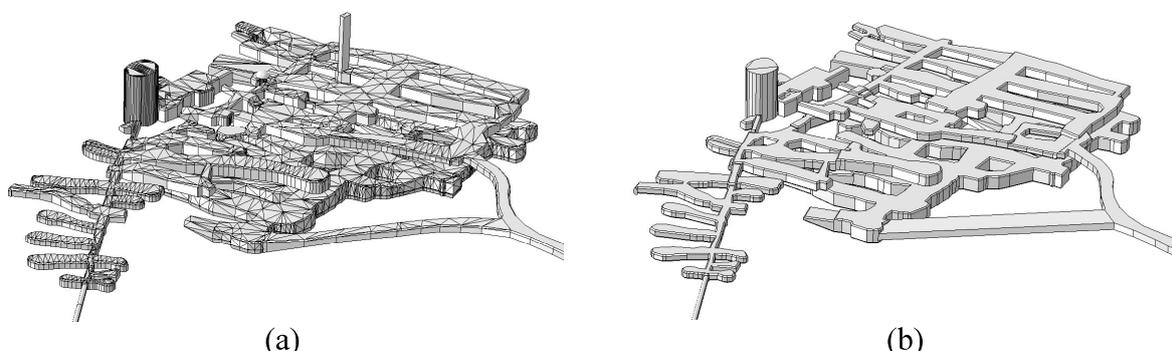


Abb. 11 3D Untertagemodell; (a) Vermessungsmodell; (b) überarbeitetes Modell

Zur besseren Implementierung der Daten in ein Simulationsprogramm wurde die Geometrie bearbeitet (Abb. 2b) (Abb. 3b) um eine fehlerfreie Vernetzung zu gewährleisten. Tabelle (Tab 1.) zeigt die

Verringerung der Einzelflächen im Modell. Die Bearbeitung bewirkte eine Änderung im Volumen (2%) und der Oberfläche (1%), weist jedoch bessere Eigenschaften für die Vernetzung auf. Mit der Modellbearbeitung konnten die fehlerhaften Elemente um den Faktor 100 verringert werden.

Tab. 1 Vergleich zwischen dem Modell aus der Vermessung und dem überarbeiteten Modell der Simulation

Modell:	Oberflächenelemente des Vermessungsmodells	Oberflächenelemente des überarbeiteten Modells
Oberfläche	9.667	333
Hohlraumbau	10.165	7.731

Geologie

Die Erstellung eines geologischen Modells ist ein wichtiger Beitrag zum Design jeglicher Untertagebauten. Geologische Strukturen inklusive der Geländeoberfläche und Untertagekarten müssen im Detail betrachtet werden. [Prinz, 2006] [Meschede, 2001] [Eisbacher, 1996] Die Arbeiten beinhalten eine Dokumentation von:

- vorherrschenden Lithologien,
- unter- und obertage Strukturen hinsichtlich geometrischer Daten, Grenzflächen, Klüften, Schichtflächen, Schieferungsflächen, Linearen, usw.
- Eigenschaften von Störzonen.

Im Fall des aufgelassenen Gipsbergwerkes können drei verschiedene Lithologien unterschieden werden. Der quantitativ häufigste Anteil in der Mine ist tonig-mergeliger Gips inklusive Konglomeraten („Haselgebirge“). Es wird zwischen gipsreichem und tonreichem „Haselgebirge“ unterschieden. Der Unterschied kann nur über eine chemische und mineralogische Analyse festgestellt werden. Zu diesem Zweck können folgende Tests verwendet werden [Matthes, 2000] [Tucker, 2001] [Gschwandtner, 2012]:

- Dünnschliffmikroskopie,
- Röntgendiffraktometrie,
- chemische Analyse,
- thermogravimetrische Analyse.

Des Weiteren finden sich linsenförmige Einlagerungen von schwarzgrauem Dolomit mit dunklen Tonschieferlagen. Mittels dieser Daten, die vor Ort und im Labor ermittelt wurden, kombiniert mit den Vermessungsdaten, können entsprechende Karten sowie ein geologisches 3-dimensionales Modell erstellt werden. Abbildung (Abb. 4) zeigt das 3-dimensionale Modell mit implementierter Geologie.

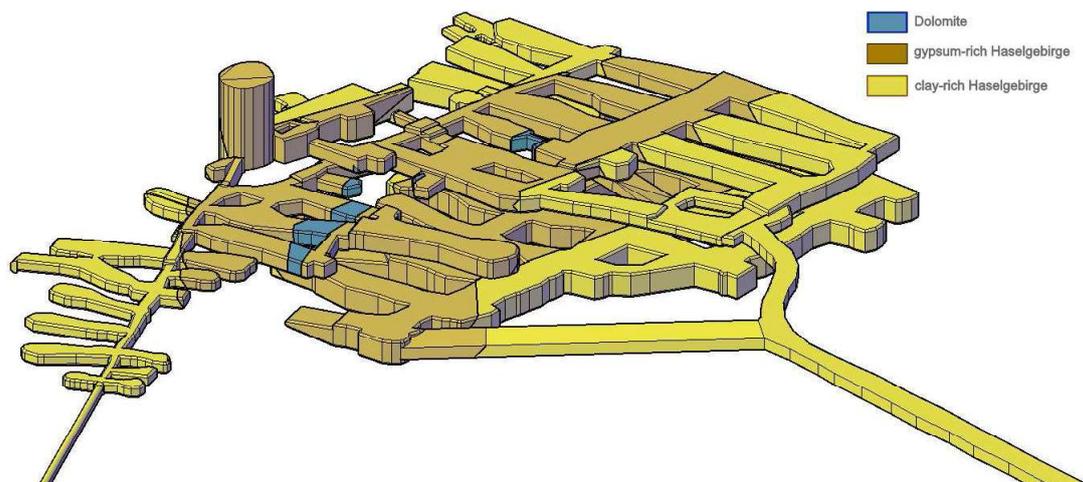


Abb. 12 3D- numerisches Modell inklusive Geologie [Gschwandtner, 2012]

Hydrogeologie

Abhängig von den vorhandenen geographischen und geologischen Bedingungen beeinflusst ein Hohlraumbau die hydrogeologischen Bedingungen in seinem Umfeld. Wasser, sei es Oberflächen- bzw. Niederschlagswasser oder Grundwasser, spielt in Abhängigkeit von den anstehenden geologischen Verhältnissen eine große Rolle für die Langzeitstabilität. Dies gilt insbesondere für wassersensitive Gebirgsbereiche, welche wasserlösliche und besonders stark verkarstungsfähige Bestandteile wie beispielsweise Gips oder Salze enthalten. Ein weiterer Punkt ist die Unterscheidung zwischen einer permanenten (langzeitlichen) bzw. temporären Beeinflussung der Grundwassers durch den Hohlraum bzw. der Wasserhaltung.

Die Geschwindigkeit der durch das Wasser verursachten Löseprozesse ist von mehreren hydrogeologischen Faktoren abhängig. Wesentlich ist die chemische Sättigung des Bergwassers bedingt durch die in Lösung gegangenen Bestandteile der anstehenden Minerale. Der fortschreitende Löseprozess führt im Weiteren zu einer Schwächung des umliegenden Gebirges und damit einhergehend zu einer Verringerung der Festigkeit.

Einer der wichtigsten Faktoren ist die Verweilzeit des Wassers im Boden / Gebirge in der Nähe des Hohlraums. Hierfür wurden die Schüttmengen aus zwei Messstellen im Untertagebauwerk mit den Niederschlags- und Temperaturdaten der nächstgelegenen Niederschlagsmessstelle in Beziehung gesetzt, um die Verweilzeiten der abfließenden Bergwässer abzuschätzen. Mit diesen Messdaten konnte eine Jahresganglinie (Abb. 5) erstellt werden. Diese zeigt die durchschnittliche Verweildauer des Wassers in welcher ein Großteil der Lösungsprozesse stattfindet. Die Messungen zeigen Durchgangszeiten der Niederschläge von rund 2-3 Tagen. Das Schüttungsminima liegt für den Zeitraum Mai 2011 bis Mai 2012 für den Gesamtabfluss bei 0,44 l/s im Tagesmittel. Die maximalen Abflussmengen liegen bei 0,76 l/s für den Gesamtabfluss. Der arithmetische Mittelwert des Gesamtabflusses liegt bei 0,54 l/s.

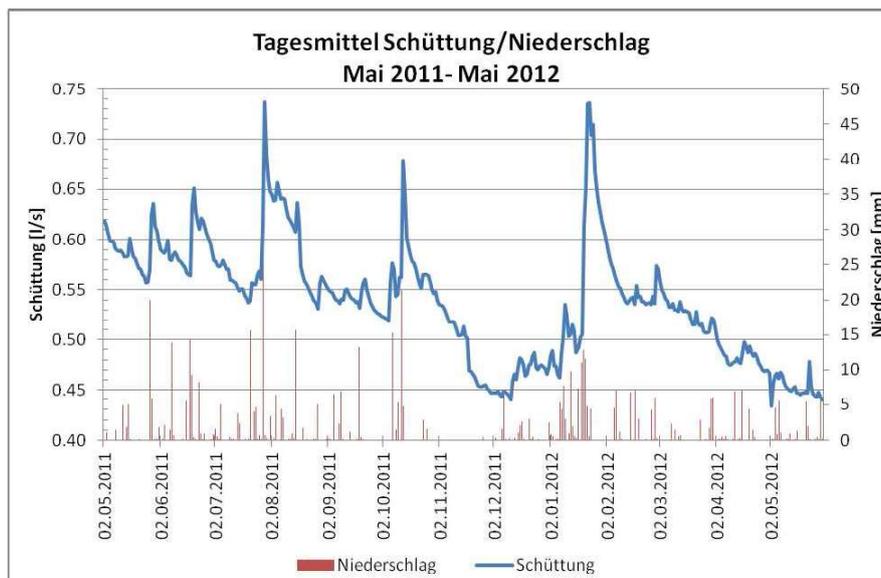
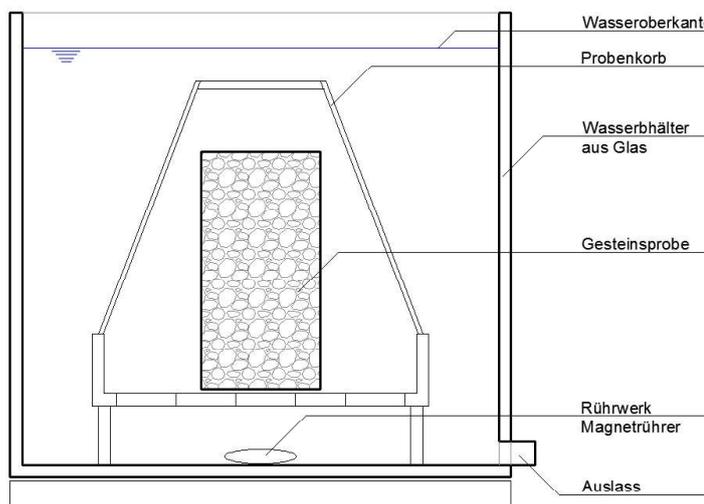


Abb. 13 Jahresganglinie

Mit Hilfe von chemischen Analysen in Verbindung mit Erkenntnissen über das Verhältnis kurzfristiger und damit korrosiver Wässer zu langfristigen gesättigten Wässern kann eine Rückrechnung der Lösungs- und Fällungsreaktionen mit dem hydrochemischen Modellierungsprogramm PhreeqC in Bezug auf die leicht löslichen Minerale durchgeführt werden. Eine Auskunft über die Verweildauer im Untergrund und das Einzugsgebiet bietet die Isotopenuntersuchung. Auf Grund einer auftretenden Trockenperiode von mehreren Wochen kann angenommen werden, dass in diesem Zeitraum die kurzfristigen Niederschläge komplett abgefließen sind, die Quellschüttungen ausschließlich aus einem weitläufigeren Grundwasserkörper gespeist werden und die hier zirkulierenden Wässer entsprechend lange Verweilzeiten aufweisen. Aus dem Jahresgang in Verbindung mit den Niederschlags- und Temperaturdaten kann auch die Einzugsgebietsfläche mit erhoben werden.

Ein nicht zu vernachlässigender Anteil, der in den meisten Betrachtungen bis dato unberücksichtigt blieb, wird bedingt durch die Austragung feinstkörniger Materialanteile, die chemisch nicht in Lösung gehen. Diese Feinstkornanteile können nach chemischer Umwandlung der wasserlöslichen Bestandteile ausgeschwemmt werden und erhöhen somit den gesamten Materialaustrag. Am Lehrstuhl für Subsurface Engineering der Montanuniversität Leoben wird eine neue Versuchsmethodik angewendet, um diese Fragestellungen zu untersuchen. Bei diesem sogenannten Elutionsversuch handelt es sich um eine Apparatur (Abb. 6) zur Simulation der Umströmung einer Gesteinsprobe.

Abb. 14 Versuchsaufbau des Elutionsversuchs



Die Bohrkernproben wurden in ein Glasgefäß eingebaut, in welchem sich ein Magnetrührer befindet, der zentral unter der Probe platziert ist. Dies gewährleistet eine allseitige Umspülung der Probe. Für diesen Versuchsaufbau wurden ca. 20 l Wasser verwendet. Nach einer gewählten Verweilzeit von ca. einem Tag wurde eine Eluatprobe gezogen. Diese Eluatprobe wurde zur Vorbereitung für die chemische Analyse filtriert. Anschließend wurde der Bohrkern behutsam aus dem Gefäß entfernt und das restliche Eluat durch den sich am Glasgefäß befindlichen Auslass über einen Filter abgelassen. Anschließend wurde das gefilterte Eluat wieder in das Gefäß eingebracht. Dieser Vorgang wurde 3-4 mal wiederholt, dies entspricht der zuvor festgestellten Verweildauer des Wassers im Gebirge von 3-4 Tagen. Anschließend konnte der Versuch mit „frischem“ Wasser erneut durchgeführt. Der Versuchsdurchlauf ist in der folgenden Abbildung (Abb. 7) dargestellt:

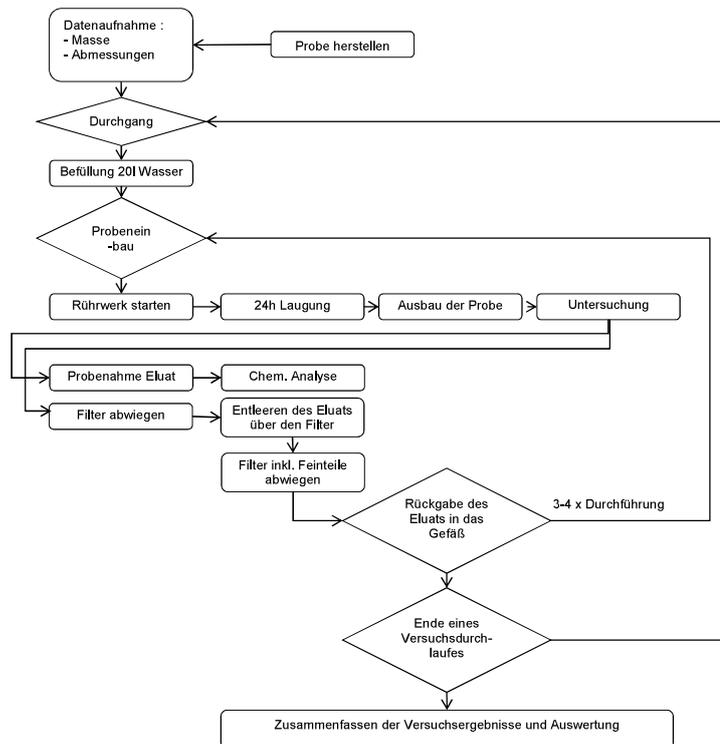


Abb. 15 Versuchsablauf / Flow-Chart des Elutionsversuchs

Der Calciumgehalt wurde nach FAAS DIN EN ISO 7980 und der Sulfatgehalt mittels Ionenchromatographie im Labor des Institutes für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik an der Montanuniversität Leoben ermittelt. Die Masse der getrockneten Filterpapiere wurde zur Bestimmung der nicht löslichen Bestandteile gemessen. Die Abbildung (Abb. 8) zeigt einen der Probekörper zu Beginn, nach 2 Wochen Wasserlagerung und nach 6 Wochen Wasserlagerung.

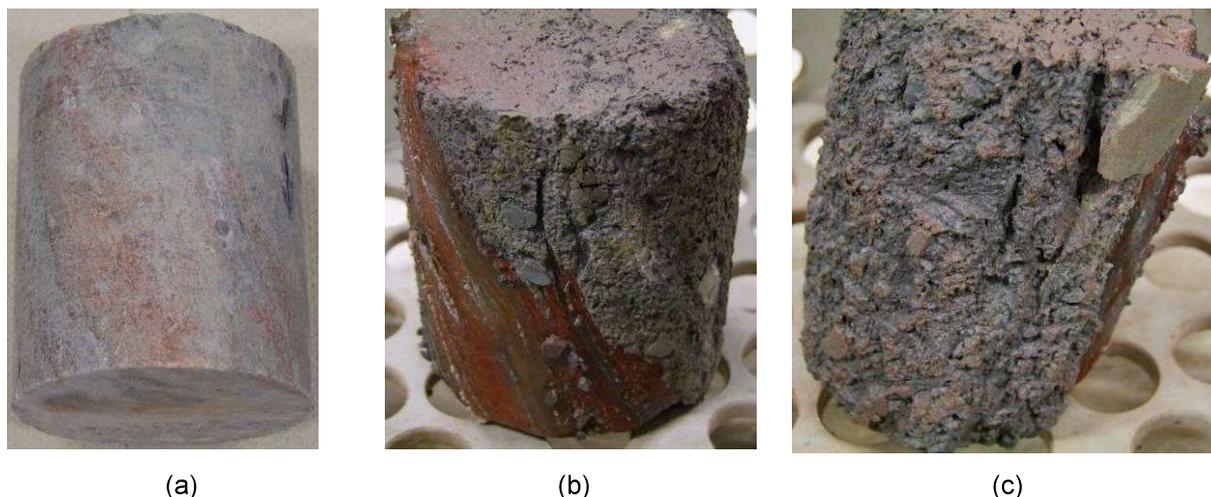


Abb. 16 Probekörper; (a) Original, (b) nach 2 Wochen und (c) nach 6 Wochen, Elution

Die Auswertung der chemischen Analysen und der nichtlöslichen Feinanteile ist in Abbildung (Abb. 9) dargestellt. Die max. Lösungsmenge von 38 g Gips nach ca. 3,8 Tagen und der max. Bestandteil der nichtlöslichen Feinanteile im Eluat von 5,2 g nach ca. 5 Tagen beziehen sich auf eine Wassermenge von 20 Litern.

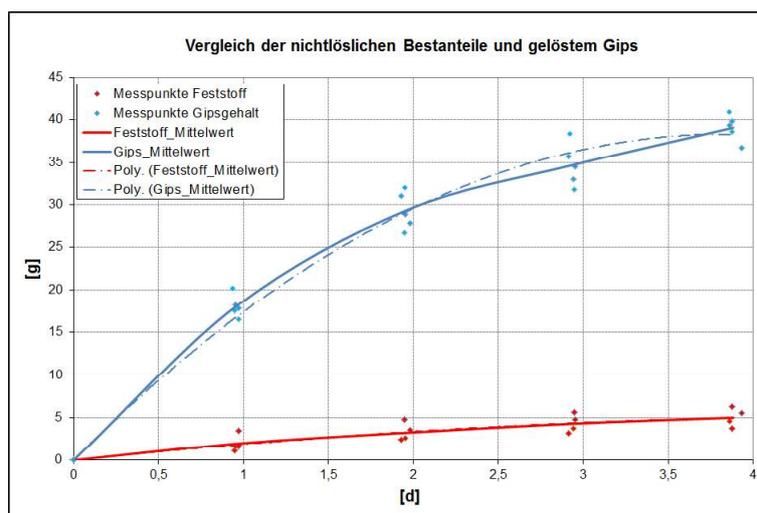


Abb. 17 Lösungsmenge Gips und unlösliche Feinanteile in Abhängigkeit der Verweildauer

Während des Versuchsdurchlaufes konnte augenscheinlich sowie in der Handhabung der Proben eine Verringerung der Festigkeit des Gesteinskörpers auf Grund des Laugungsfortschrittes festgestellt werden. Eine Verifizierung dieser Annahme konnte aus versuchstechnischen Gründen noch nicht durchgeführt werden, da die Proben bereits während der Probenapplizierung größtenteils zerstört wurden.

Geotechnik und Felsmechanik

Die geotechnischen Untersuchungen dienen zur Sammlung und Interpretation von geotechnischen Parametern, welche für die Bestimmung des Materialverhaltens notwendig sind. Für das hier besprochene Projekt wurden 28 einaxiale Druckversuche, 17 triaxiale Druckversuche, 51 Spaltzugversuche durchgeführt; Kriech- / Langzeitversuche befinden sich noch in Vorbereitung. Zur

Auswahl der Proben wurde an der oberen Sohle ein "Probenraster" von rund 20-30 m verwendet, um eine gleichmäßige Probenahme zu gewährleisten. Pro Position wurden vier Bohrkern entnommen, welche für die geotechnische und geologische / mineralogische Untersuchung verwendet wurden.

Für eine erste Abschätzung der Stabilität des Untertagebergwerkes können qualitative und quantitative felsmechanische Beschreibungen sowie analytische Verfahren verwendet werden. Häufige Verfahren sind zum Beispiel: RQD nach Deere [Deere, 1964], RMR nach Bieniawski [Bieniawski, 1993], RMR nach Laubscher [Laubscher, 1990], Q-System nach Barton [Barton, 2002] und GSI nach Hoek [Hoek, 2002]. Die analytischen Verfahren beinhalten eine Berechnung der Festenstabilität und der Spannungen am Hohlraumrand. Diese Prozeduren werden in der vorliegenden Arbeit nicht im Detail beschrieben.

Numerische Simulation

Die bisher häufigste Herangehensweise ist die Untersuchung der felsmechanischen Situation auf Basis von zweidimensionalen bzw. einfachen 3-dimensionalen Modellen. In vielen Fällen werden die 3-dimensionalen Modelle hochgradig vereinfacht. Die meisten Untertagebauten im Bereich des Bergbaues weisen komplexe geometrische und geologische Strukturen auf. In solchen Fällen ist ein zweidimensionaler bzw. stark vereinfachter 3-dimensionaler Ansatz aufgrund der Spannungsumlagerung um den Hohlraum, unzureichend. Um komplexe Strukturen realitätsnah zu untersuchen, wurde ein dreidimensionales numerisches Modell erstellt. Die Simulation wurde mit der Software ABAQUS 6.10 von Simulia durchgeführt. Die geometrischen Modelle welche für die Berechnung herangezogen wurden, sind in den Abbildungen (Abb. 2b) (Abb. 3b) und (Abb.4) dargestellt. Die Freiheitsgrade des Modells wurden in horizontaler Richtung an den seitlichen Kanten und in vertikaler Richtung an der Unterseite gesperrt. Die Entfernung zwischen Grubengebäude und Randfläche beträgt zwischen 98 m und 136 m in horizontaler Richtung und 88 m in vertikaler Richtung. Dies liegt im Bereich der erforderlichen Abstände von 4-5 Durchmessern zu den Seiten und 2-3 Durchmessern zur Basis. [Meißner, 1996]

Die ersten Berechnungsmodelle bestehen aus 3,5 Millionen Tetraederelementen mit linearer Ansatzfunktion. Die Elementlänge beträgt um den Hohlraum 0,4 m und im Randbereich zwischen 5 m und 10 m. Modelle mit einer Elementanzahl von > 8 Millionen Elemente befinden sich derzeit in der Ausarbeitung. Die Belastung wurde über eine Gravitation bei 9.81 m/s^2 induziert.

Tabelle (Tab. 2) zeigt die Minimal-, Maximal-, Mittelwerte und den Median aus den geotechnischen Versuchen. Auf Grund der starken Inhomogenität des Haselgebirges weisen die Ergebnisse eine sehr hohe Bandbreite auf. Die Versuchsergebnisse zeigen weiters einen sehr hohen Elastizitätsmodul des Haselgebirges. Dies kann durch die mehr oder weniger duktilen Eigenschaften des Gebirges und dem geringen elastischen Anteil erklärt werden.

Tab. 2 Materialparameter von Dolomit und Haselgebirge, Min-, Max-, Mittelwerte aus den geomechanischen Versuchen

		Dolomit				Haselgebirge			
		MIN	MAX	Mittel	Median	MIN	MAX	Mittel	Median
Dichte	g/cm ³	2,16	2,71	2,40	2,33	2,21	2,51	2,30	2,29
E-Modul	GPa	8,12	87,90	55,87	53,60	4,44	44,64	14,84	10,16
V-Modul	GPa	1,46	88,70	50,13	40,60	0,22	39,53	9,09	2,52
UCS	MPa	2,85	78,58	34,04	21,9	1,00	19,14	5,06	3,57
Reibungswinkel	°	25,22	47,60	35,22	30,59	20,78	30,11	26,30	27,00
Kohäsion	MPa	3,36	15,10	7,57	4,21	1,37	6,30	2,89	2,31
SPZ	MPa	0,33	3,17	1,51	1,31	0,16	1,91	0,52	0,43

Die Primärspannung beträgt, bei der größeren Überlagerung von 27 m (östlicher Bereich) 647 kN/m². Auf Grund der größeren Steifigkeit des Dolomits kommt es zu Spannungsspitzen im Ausmaß von ca. 1082 kN/m² bis maximal 2158 kN/m². Es zeigt sich, dass bei einer mittleren Druckfestigkeit von 5,06 MPa keine Überbeanspruchung der Feste auftritt. Die Festigkeitsparameter wurden anschließend in 5-10% Schritten verringert. Abbildung (Abb. 10) zeigt die sukzessive Vergrößerung der überbeanspruchten Bereiche bei einer Festigkeitsverringering von bis zu 60 %. Unter Ansatz einer einaxialen Druckfestigkeit von ca. 2,50 MPa zeigt die elastische Berechnung analog zu den analytischen Ansätzen eine Überbeanspruchung von zwei Feste der unteren Sohle.

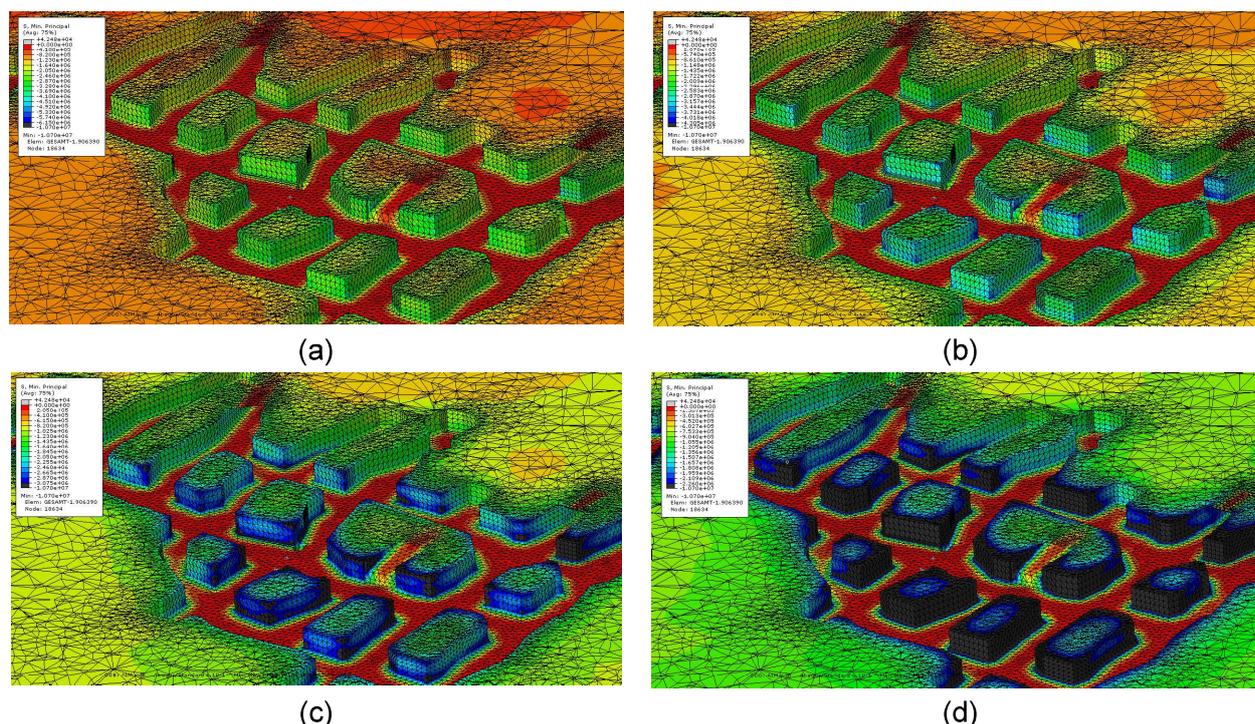


Abb. 18 Hauptspannungsverteilung in den Feste der zweiten Sohle; die „schwarzen“ Elemente weisen eine Überbeanspruchung auf; (a) 100 % Festigkeit; (b) 70% Festigkeit;(c) 50% Festigkeit; (d) 40% Festigkeit;

ZUSAMMENFASSUNG / Schlussfolgerung

Heutzutage stehen viele verschiedene Verfahren zur Erstellung eines 3D Modells für die Fachbereiche der Geologie, Hydrogeologie, Geotechnik / Felsmechanik und Vermessungswesen zur Verfügung. Der

Lehrstuhl für Subsurface Engineering an der Montanuniversität Leoben ist bestrebt, die Daten, Informationen und das Fachwissen aus diesen Gebieten sowie die numerischen Verfahren im Bereich der Geotechnik zu vereinen.

Das Ziel ist die Langzeitstabilität komplexer Strukturen untertage besser abschätzen zu können. Es hat sich gezeigt, dass vor der numerischen Simulation die Detaillierung und der Umfang der erforderlichen Informationen zwischen den einzelnen Fachgebieten genau festgelegt und ein stetiger Datenaustausch stattfinden muss. Dies beinhaltet die Fragestellung, in welchem Ausmaß die Komplexität der Geometrie die Stabilität sowie die Spannungs- und Verschiebungsverteilung beeinflusst und zu welchem Grad dies vernachlässigbar ist.

Der Einfluss von Gruben- und Oberflächenwässern insbesondere in wassersensitiven Gebieten darf bei der Betrachtung der Langzeitstabilität nicht vernachlässigt werden. Der Fortschritt des Laugungsprozesses führt zu einer langsamen, aber stetigen Verringerung der Festigkeitseigenschaften des anstehenden Gebirges. Es wird derzeit versucht, diesen Vorgang in ein FE-Programm zu implementieren, um aus den Ergebnissen mögliche Schwächezonen abzuleiten und frühzeitig Sicherungs- und Stabilisierungsmaßnahmen einleiten zu können.

Abschließend wird darauf hingewiesen, dass qualitative und quantitative gebirgsmechanische Beschreibungen, analytische Berechnungen und numerische Simulationen auch bei Einsatz der heute zur Verfügung stehenden Programme nur Näherungslösungen des Ist-Zustandes sein können. Ein fundiertes Wissen sowie Erfahrung in diesen Bereichen sind für die Interpretation der Ergebnisse unumgänglich.

LITERATUR

- Barton, N.R. (2002): *Some New Q-Value Correlation to Assist In Site Characterisation and Tunnel Design*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 39, No. 2, S. 185–216.
- Bieniawski, Z.T. (1993): *Classification of Rock Masses for Engineering: The RMR System and Further Trends*. Comprehensive Rock Engineering, Vol. 3, Rock Testing and Site Characterisation, John A. Hudson, Pergamon, ISBN 0-08-042066-0, S. 553 – 573.
- Deere, D.U. (1964): *Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes*. Rock Mechanics and Engineering Geology; Vol. 1 No.1, S. 17 – 22.
- Eisbacher, G. (1996): *Einführung in die Tektonik*. Spektrum Akademischer Verlag, 2. Auflage.
- Gschwandtner G., Galler R. (2012): *Stability analysis of complex underground structures - from data acquisition to 3D numerical simulation*. AIMS 2012 - 7th International Symposium Rockbolting and Rock Mechanics in Mining, VGE Verlag GmbH, Essen. S.75-87.
- Gschwandtner G., Galler R. (2011): *Einige Gedanken zur gebirgsmechanischen Beurteilung von Untertagebauten*. BHM 156, S. 1-5.
- Hoek, E. (2002): *A Brief History of the Development of the Hoek-Brown Failure Criterion*. Rocscience, Manual of RocLab Version 1.0.
- Laubscher, D.H. (1990): *A Geotechnical Classification System for the Rating of the Rock Mass in Mine Design*. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 90, No. 10, S. 257–273.
- Markscheideverordnung (2001): *Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über Vermessungen beim Bergbau, das Bergbauartenwerk und die Erfassung von Bodenbewegungen 2001*, Fassung vom 01.10.2011, www.ris.bka.gv.at
- Matthes, S. (2000): *Mineralogie: Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde*. Springer-Verlag Berlin und Heidelberg, 6. Auflage.

- Meißner H. (1996): *Empfehlungen des Arbeitskreis 1.6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik: „Numerik in der Geotechnik“*
Abschnitt 2. Geotechnik 19 (Nr.2), S. 99-108.
- MinroG (2011): *Bundesgesetz über mineralische Rohstoffe, über die Änderung des ArbeitnehmerInnenschutzgesetzes und des Arbeitsinspektionsgesetzes 1993 in der Fassung der Mineralrohstoffgesetznovelle 2001*. Fassung vom 01.10.2011.
www.ris.bka.gv.at
- Meschede, M. (2001): *Methoden der Strukturgeologie*. Spektrum Akademischer Verlag.
- Prinz, H., Strauß, R. (2006): *Abriss der Ingenieurgeologie*. Spektrum Akademischer Verlag, 4. Auflage.
- Schuscha, E. (2004): *Das Beeinträchtigungspotential bei österreichischen Erzbergbauen – Analyse, Bewertung und Sicherheitsleistung*. BHM 149, S. 433 – 438.
- Siefert, M. (2009): *Verfahren zur qualitativen und quantitativen Beschreibung des Gebirges, 2.Teil: Quantitative Gebirgsbeschreibung*. BHM 154, S. 426 – 440.
- Tucker, M. (2001): *Methoden der Sedimentologie*, Spektrum Akademischer Verlag.
- Wagner, H. (2011): *Beitrag zur Veröffentlichung von H. Weber: Betriebstechnisches und gebirgsmechanisches Sicherheitsmanagement im Bergbau*. BHM 156, S. 320 – 324.
- Weber, H. (2011): *Betriebstechnisches und gebirgsmechanisches Sicherheitsmanagement im Bergbau*. BHM 156, S. 313 – 319.