

Investigation, Securing and Remediation of the Former Coal Mine Vihovići in Mostar, Bosnia-Herzegovina

The City of Mostar is located in the South of Bosnia and Herzegovina. In the West and in the North of the city, lignite was exploited in underground mining in the suburban municipalities Ilići, Cim, Vihovići and Raštani since the mid of the 19th century. In Vihovići, lignite was also mined in open pit. Since the 1980ies, large parts of the exploitation area were overbuilt by expanding residential areas.

The lignite was sedimented in a basin formation with maximum five seams. Each seam shows a thickness of up to 20 m. The seams are embedded in a carbonate rock sequence consisting of limestone and clay with a thickness of about 240 m interbedded with sandstone banks. Due to tectonic conditions, the overburden of the seams in the area of the former open pit mining varies from 20 to 80 m.

Between 1919 and 1992, more than 11 mt of high quality coal were mined, 3,5 mt thereof from the open pit mine in Vihovići. The open pit extended to an area of approximately 120 ha and was partly used as a waste deposit site by the City of Mostar from 1991 to 1998.

Now there is a remaining pit of approximately 20 to 35 ha and a maximum depth of approximately 75 m, partly filled with water. In 2006, the necessity of a sealing of the landfill surface was assessed. Drillings revealed a self-ignition of the underground coal in the north of the remaining open pit. In the framework of the underground coal fire extinguishing works, 68 drillings were sunk. In total, approximately 58,000 m³ of water, 3,250 t of fly ash and 436 m³ sand were pumped into the underground.

Since 2012, Fichtner Mining & Environment GmbH, Essen/Germany, is assigned by the City of Mostar to geotechnically stabilize the remaining pit containing a magnitude of gravity slopes, to improve the ecologic conditions, to minimize the potential of self-ignition of the underground coal by surface sealing and to prepare the area for a reuse. Therefore, steeply inclined slopes of the remaining open pit were removed and hillsides were leveled. The material thus extracted was used as an embankment supporting the southern gravity slope in the form of two berms. The surface of the leveled hillsides was sealed with cohesive topsoil.

Erkundung, Sicherung und Verwahrung des Tagebaurestlochs der ehemaligen Kohlengrube Vihovići in Mostar, Bosnien-Herzegowina

Die Stadt Mostar liegt im Süden von Bosnien und Herzegowina. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts bis ins Jahr 1996 wurde westlich und nördlich der Stadt in den Ortslagen Ilići, Cim, Vihovići und Raštani Braunkohle im Tiefbau sowie in Vihovići auch im Tagebau gewonnen. Seit den 1980er Jahren wurden durch die expandierende Wohnbebauung weite Teile der ehemaligen Bergbaufelder überbaut.

Die Braunkohle ist in einer Beckenstruktur mit maximal fünf Flözen mit Mächtigkeiten bis zu 20 m abgelagert. Dabei sind die Flöze in eine rund 240 m mächtige karbonatische Gesteinsabfolge aus Kalksteinen und Mergeln eingebettet, in die vereinzelt Sandsteinbänke eingeschaltet sind. Die Überdeckung der Flöze im Bereich des ehemaligen Tagebaus variiert tektonisch bedingt zwischen 20 und 80 m.

In den Jahren 1919 bis 1992 wurden mehr als 11 Mio. t Kohle gefördert, davon etwa 3,5 Mio. t aus dem Tagebau Vihovići. Der Tagebau erstreckte sich über eine Fläche von ca. 120 ha und wurde in den Jahren zwischen 1991 und 1998 von der Stadt Mostar als Mülldeponie genutzt, so dass heute ein Tagebaurestloch von etwa 25 bis 30 ha Fläche und einer maximalen Tiefe von etwa 75 m verblieben ist.

Im Jahr 2006 wurde die Notwendigkeit einer Deponieabdeckung untersucht. Bei Bohrarbeiten wurde festgestellt, dass sich die Kohle im Untergrund nördlich des Tagebaurestlochs entzündet hatte. Im Rahmen der Brandbekämpfung wurden 68 Bohrungen abgeteuft. Insgesamt wurden ca. 58.000 m³ Wasser sowie 3.250 t Flugasche und 436 m³ Sand als Löschmittel in den Untergrund verbracht.

Im Jahr 2012 wurde die Fichtner Mining & Environment GmbH, Essen, durch die Stadt Mostar beauftragt, das Tagebaurestloch so weit wie möglich geotechnisch zu sichern, ökologisch zu verbessern, das Selbstentzündungspotential der Kohle im Untergrund durch Oberflächenabdichtung zu vermindern und das Restloch für eine mögliche Nachnutzung vorzubereiten. Hierzu wurden steilstehende Böschungen des Tagebaurestlochs im Norden heruntergebrochen und die Hänge abgeflacht. Die Oberfläche der abgeflachten Hangbereiche wurde mit bindigem Oberbodenmaterial abgedichtet. Das gewonnene Material wurde im Süden als abstützende Anschüttung mit zwei Bermen vor eine Steilwand gelegt.

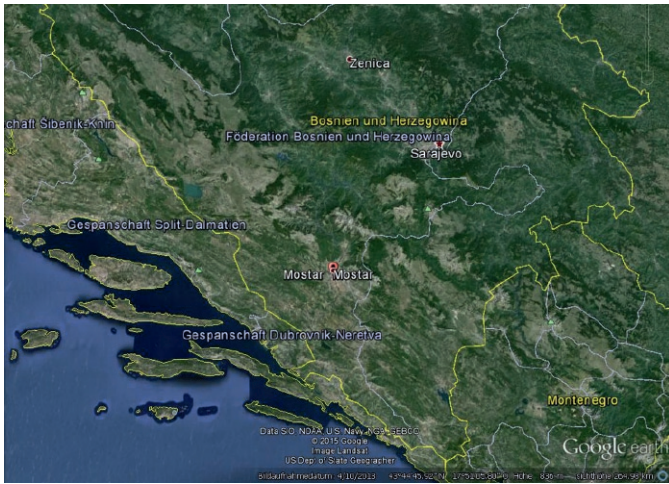


Fig. 1. Location of the remaining pit Vihovići (South BiH).
Bild 1. Lage des Tagebaurestlochs Vihovići (Süd BiH).
Source/Quelle: Google Earth

1 Introduction

1.1 Location

The remaining pit of the former lignite mine Vihovići is located in the north of the city of Mostar in the south of Bosnia and Herzegovina (Figure 1).

The upper terrain rim of the remaining pit is located in the South at approximately 70 m above sea level (a.s.l.) and rises in the north to approximately 125 m a.s.l. In the south and east, the terrain borders on dense settlement, in the north and west isolated residential houses are located (Figure 2). The remaining lake is fed by ground water. The water level in the lake is on an average of 54 m a.s.l. and shows an annual amplitude of up to 5 m (1).

1.2 Historic development of the site

From the mid of the 19th century until 1996, lignite was mined westward and northward of the city in the settlements Ilići, Cim, Vihovići and Raštan by underground mining, in Vihovići by open pit mining. During this process, the open pit mining partly covered older underground mining areas. However, originating from the open pit, roadways were driven in the northern direction. From 1919 to 1992 more than 11 mt high quality coal was mined, 3,5 mt thereof from the Vihovići mine (1). The open pit mine covered an area of approximately 120 ha and was used as a household waste dump by the City of Mostar until 1998. Thus, a pit of approximately 25 to 30 ha and a maximum depth of approximately 75 m, partly filled with water, remained. Since the 1980ies, wide areas of the former mining areas and of the open pit mining area in the southwest were covered by dense housing construction.

1.3 Local Geology

The Vihovići site is located in the northern part of a basin structure called "Central Mostar Basin" (2,3). In the vicinity of the deposit, the stratigraphy in general shows an inclination of 10° to 15° to the south. In the underlying bed, stratification begins with limestone and limestone breccia originating from the Cretaceous and the Paleogene, followed by a carbonatic stratification of limestone and marl originating from the Neogene with a thickness of approximately 240 m, occasionally interbedded with sandstone

1 Einleitung

1.1 Lokalität

Das Tagebaurestloch des ehemaligen Braunkohlentagebaus Vihovići befindet sich am nördlichen Stadtrand der Stadt Mostar im Süden von Bosnien und Herzegovina (Bild 1).

Die obere Geländekante des Tagebaurestlochs liegt im Süden bei ca. 70 m NHN und steigt nach Norden bis auf ca. 125 m NHN an. Das Gelände grenzt im Süden und Osten an dichte Wohnbebauung, im Norden und Westen stehen vereinzelt Häuser (Bild 2). Der Restsee ist durch Grundwasser gespeist, wobei der Seewasserspiegel im Jahresmittel bei etwa 54 m NHN liegt und eine Jahresamplitude von bis zu 5 m aufweisen kann (1).

1.2 Historische Entwicklung des Standorts

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts bis zum Jahr 1996 wurde westlich und nördlich der Stadt in den Ortslagen Ilići, Cim, Vihovići und Raštan Braunkohle im Tiefbau sowie in Vihovići auch im Tagebau abgebaut. Dabei hat der Tagebau teilweise älteren Tiefbau überfahren, aber es wurden auch aus dem Tagebau heraus Strecken in nördlichen Richtungen aufgefahren. In den Jahren von 1919 bis 1992 wurden mehr als 11 Mio. t hochwertige Kohle gefördert, davon etwa 3,5 Mio. t aus dem Tagebau Vihovići (1). Der Tagebau erstreckte sich über eine Fläche von ca. 120 ha und wurde zwischen den Jahren 1991 und 1998 von der Stadt Mostar als Mülldeponie genutzt, so dass heute ein Tagebaurestloch von etwa 25 bis 30 ha Fläche und einer maximalen Tiefe von etwa 75 m, teilweise mit Wasser gefüllt, verblieben ist. Seit den 1980er Jahren wurden durch die expandierende Wohnbebauung weite Teile der ehemaligen Bergbaufelder und des südwestlichen Tagebaubereichs überbaut.

1.3 Lokale Geologie

Der Standort Vihovići liegt im nördlichen Teil einer Beckenstruktur des sogenannten Zentralen Mostar Beckens (2, 3). Die Stratigraphie zeigt im Bereich der Lagerstätte grundsätzlich ein Einfallen von 10° bis 15° in südlicher Richtung. Im Liegenden beginnt die Schichtenfolge mit Kalksteinen und Kalksteinbrekzien der Oberkreide und des Paläogen. Es folgt eine rd. 240 m mächtige karbonatische Gesteinsabfolge aus Kalksteinen und Mergeln aus dem Neogen, in die vereinzelt Sandsteinbänke und Tonsteinbänder eingeschaltet sind. Innerhalb dieses Schichtpakets sind maximal fünf Flöze mit Mächtigkeiten zwischen 1 und 20 m abgelagert. Überlagert wird die Schichtenfolge aus bis zu 30 m mächtigen

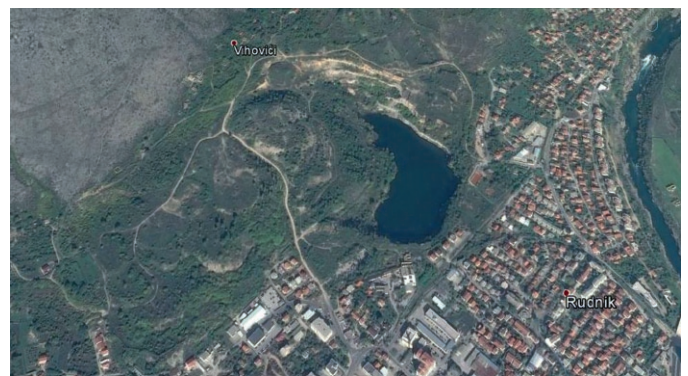


Fig. 2. Remaining pit Vihovići in Mostar.
Bild 2. Tagebaurestloch Vihovići in Mostar. Source/Quelle: Google Earth



Fig. 3. Drilling device JANEZ-600 at drillhole B 43 (4).
Bild 3. Bohrgerät JANEZ-600 am Bohrloch B 43 (4).

and streams of claystone. Within this stratifications seams with a thickness of 1 to 20 m are deposited. The stratification is overlaid with quaternary sediments consisting of diluvial conglomerates and breccia as well as alluvial sands and gravels. Due to tectonic conditions, the thickness overlying ground of the seams in the vicinity of the former open pit mine varies between 20 and 80 m.

2 Investigation and safeguarding

2.1 Former investigations and measures

In 2006, the necessity of a sealing and coverage of the landfill surface was assessed. Additional to the fact that most of the slopes of the remaining pit and the waste body geotechnically are not safe, a self-ignition of the underground coal north to the remaining pit was revealed. For the localization and the extinction of the fire source, in total 68 drillings (in total 3,660 drilling meters) were carried out (Figure 3). In order to cool the neighbouring rock and for the extinction of the fire 58,000 m³ of water, 3,250 t of fly ash and 436 m³ of sand were mixed to obtain slurry and injected into the underground. The material was filled in buckets, transported by pickup truck and mixed at every drill hole (Figure 4). The water was taken from the Vihovići Lake at the bottom of the open pit hole.

2.2 Geotechnical safeguarding and ecological improvement

Since 2012, Fichtner Mining & Environment GmbH (FME), Essen/Germany, is contracted by the City of Mostar funded by the German Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) to geotechnically safeguard the remaining pit with its variety of slopes as far as possible, to ecologically improve it, to decrease the self-ignition potential of the underground coal by surface sealing and to prepare it for recreational reuse.

2.2.1 Research and site investigations

In the framework of the project, the available documents of the former mining company and of the City of Mostar were examined in a first step. In total, approximately 200 reports, operation-



Fig. 4. Blending and injection of slurry (5).
Bild 4. Anmischen und Einbringen des „Slurry“ (5).

quartären Sedimenten aus diluvialen Konglomeraten und Brekzien sowie alluvialen Sanden und Kiesen. Die Überdeckungsmächtigkeit der Flöze im Bereich des ehemaligen Tagebaus variiert tektonisch bedingt zwischen 20 und 80 m.

2 Erkundung und Sicherung

2.1 Vorherige Untersuchungen und Maßnahmen

Im Jahr 2006 sollte die Notwendigkeit für eine Deponieabdichtung und -abdeckung untersucht werden. Neben der Feststellung, dass die meisten Hänge des Tagebaurestlochs und des Abfallkörpers geotechnisch nicht sicher sind, wurde erkannt, dass die Kohle im Untergrund nördlich des Tagebaurestlochs brennt. Um den Brandherd einzugrenzen und ihn bekämpfen zu können, wurden in den Jahren 2008 und 2009 insgesamt 68 Bohrungen mit insgesamt 3.660 Bohrmeter abgeteuft (Bild 3). Zur Kühlung des Nebengesteins und zum Löschen der Brände wurden ca. 58.000 m³ Wasser sowie 3.250 t Flugasche und 436 m³ Sand – mit Wasser zu „Slurry“ angerührt – in den Untergrund verbracht. Dabei wurde das Material in Eimern per Kleintransporter (Pickup) zu jedem einzelnen Bohrloch transportiert, dort mit Wasser vermischt und in das Bohrloch eingeleitet (Bild 4). Das verwendete Wasser wurde dem See im Tagebaurestloch Vihovići entnommen.

2.2 Geotechnische Sicherung und ökologische Verbesserung

Im Jahr 2012 beauftragte die Stadt Mostar – finanziert durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) – die Fichtner Mining & Environment GmbH (FME), Essen, das Tagebaurestloch soweit wie möglich geotechnisch zu sichern, ökologisch zu verbessern, das Selbstentzündungspotential der Kohle durch Oberflächenabdichtung zu vermindern und das Restloch für eine erholungs-technische Nachnutzung vorzubereiten.

al documentations and studies almost 350 maps were assessed and evaluated regarding geology, hydrogeology, tectonics, deposit conditions, conditions of the underground and open pit mining as well as of the urban development.

The remaining pit was measured, the slopes were examined and geotechnically evaluated. Above this, four measuring stations of the fire fighters, positioned at the site were visited. Here the temperature and the gas composition in the underground were measured and samples for laboratory examination were taken.

The examination of the measuring stations revealed that although water vapour occasionally leaks from the measuring stations and cracks in the terrain, neither the gas composition nor the temperatures indicate active coal ignition or underground fires. However, several geological-geotechnical risk factors were identified. These are especially:

- instable (steep) slopes/cliffs;
- strong tectonical overprint of the solid rock (disruption, decomposition of the natural rock formation);
- unsecured mining waste and household waste dumps and
- unsecured cracks, fissures and terrain disruptions at the surface.

North to the remaining pit, the slopes form four steps, the height of which varies between 10 and 25 m. The entire formation is located approximately 70 m above lake water level (Figure 5). In the south arises a front of steep slopes approximately 10 to 15 m above the water level in the pit. The slope front continues below the water level and has a total height of 50 m. The slopes consist of limestone and clay, interbedded with clay stone respectively marl clay stone and occasional stray sands (Figure 6). Hillside weathered rock fans and block-falls, as well as a newly built overlap consisting of strongly detritus clayey silt, occur.

At the northern side of the lake alone, more than 100 larger cracks were documented. The largest crack extended to more than 30 m, was 1.5 m wide and up to 12 m deep.

2.2.2 Measures

In the framework of the planning, the abrasion of the steep slopes in the north and the flattening of the slopes to an overall angle of inclination of 37° as well as the establishment of drains for the controlled derivation of surface water and precipitation were developed for geotechnical safeguarding measures.

According to plan, the rock masses extracted in the north should be banked up as a supportive structure against the southern slopes with its residential houses and thus prevent a further breaking down of the steep slopes, as the gardens of the residential houses have lost up to 6 m of spatial depth from 2006 to 2015. As extensive waste depositions did not permit any intervention with the terrain, the eastern side of the remaining pit was excluded from the planning.

To prevent a new self-ignition of the coal in the underground, the sealing of the newly created terrain surfaces in the north with cohesive material was foreseen as an ecological improvement. Therefore, the marl clay topsoil should be collected and, after the abrasion of the rock, be used to backfill the crevices and to cover the terrain surface 0.3 m high. As an immediate measure



Fig. 5. Steep slopes in the N, E and S of the remaining pit.
Bild 5. Steilwände im Norden, Osten und Süden des Tagebaurestlochs.

2.2.1 Recherchen und Vor-Ort-Untersuchungen

Im Rahmen des Projekts wurden in einem ersten Schritt die verfügbaren Unterlagen des ehemaligen Bergbaubetreibers und der Stadt Mostar recherchiert und gesichtet. Insgesamt wurden rd. 200 Berichte, Betriebsunterlagen und Studien sowie etwa 350 Planwerke geprüft und im Hinblick auf die Geologie, Hydrogeologie, Tektonik, Lagerstättensituation, Situation der Tiefbaue und des Tagebaus sowie die städtebauliche Entwicklung ausgewertet.

Das Tagebaurestloch wurde vermessungstechnisch aufgenommen, die Hänge und Steilwände vor Ort wurden inspiziert und geotechnisch bewertet. Darüber hinaus wurden vier Messstellen der Kohlebrandbekämpfung im Gelände ausgesucht, die Temperatur und die Gaszusammensetzung im Untergrund gemessen sowie Proben für eine Laboruntersuchung genommen.

Die Untersuchungen der Messstellen zeigten weder in der Gaszusammensetzung noch in den Temperaturen signifikante Hinweise auf aktive Kohleentzündung oder Brände, obwohl vereinzelt Wasserdampf aus den Messstellen und Klüften im Gelände austritt. Es wurden mehrere geologisch-geotechnische Risikofaktoren erkannt. Dazu gehören insbesondere:

- nicht standsichere Felsböschungen / Steilwände,
- starke tektonische Überprägung des anstehenden Gesteins (Zerrüttung, Gefügauflösung),
- ungesicherte Abraum- und Abfallhalden und
- ungesicherte Klüfte, Risse und Spalten an der Geländeoberfläche.

Auf der Nordseite des Restlochs stehen die Steilwände in insgesamt vier Stufen an. Dabei variiert die jeweilige Wandhöhe zwischen 10 und 25 m, das gesamte System erhebt sich etwa 70 m über den Seewasserspiegel (Bild 5). Im Süden erhebt sich eine Steilwandfront etwa 10 bis 15 m über den Wasserspiegel. Die Steilwand setzt sich unter dem Wasserspiegel fort und erreicht eine Gesamthöhe bis zu 50 m. Die Steilwände bestehen aus Kalksteinen und Mergeln, in die einzelne Tonstein- bzw. Tonmergelsteinbänder zwischengeschaltet und lokal sandige Linsen eingebettet sind (Bild 6). Es treten Hangschuttfächer und Blockmeere sowie eine schluffig-tonige, stark gesteinsgrusige Überdeckung als jüngere Bildungen auf.

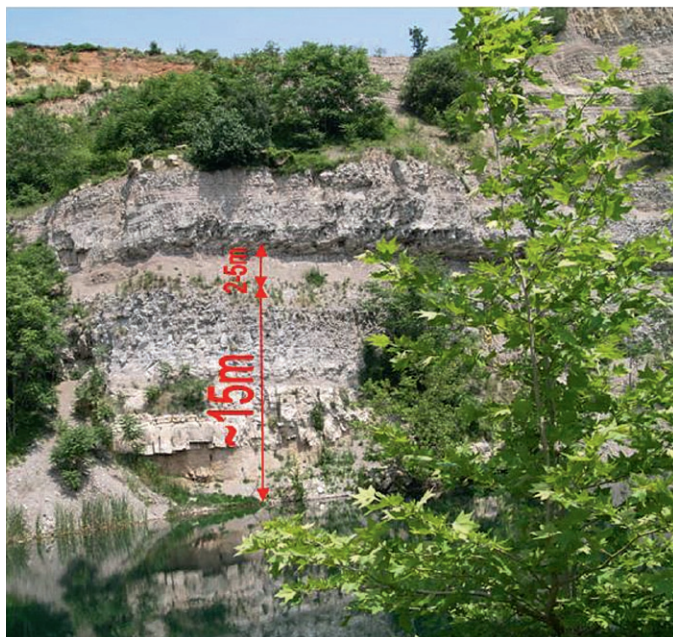


Fig. 6. Steep slope area with marl clay stone interbedding (2 to 5 m).
Bild 6. Steilwandbereich mit Tonmergelsteinband (2 bis 5 m).

to protect the soil from erosion and to cover it, hydroseeding was planned as plantation for the newly created surfaces.

The total budget was limited to 1,425,000 €. The safeguarding measures were carried out from May 2014 to April 2015. They were accompanied by a supervision program for the underground coal fire situation.

For the redesign of the northern terrain, in total 463,000 m³ of rock were removed, 184,000 m³ thereof were loosened by the help of 20 blastings (43,000 kg of blasting means) from August 2014 on. The flattened slope areas with a surface of approximately 32,200 m² and a multitude of crevices were sealed with 28,000 m³ of cohesive topsoil (approximately 0.8 m high) and revegetated. They are drained by approximately 1,600 m horizontal, and almost 450 m vertical drains.

The extracted rock mass was hauled to the south of the remaining pit by dumpers via 820 m of construction road. There, it was dumped into the lake against the steep slope. The supportive structure is approximately 250 m long and arises with an average width of 25 to 30 m approximately 12 m above the water level of the remaining pit. Both berms form platforms at approximately 57 m a.s.l. and almost 65 m a.s.l.

3 Results from the remediation

Due to the limited budget, not the entire area could be safeguarded. The slope situation, however, could be geotechnically stabilized in the north as well as in the south. Especially in the northern part, a qualified surface sealing that prevents the intrusion of air into the underground was established to avoid new self-ignitions of the remaining coal in the underground.

The original four steps formed by the slopes with a total height of 70 m above lake water level., located in the north, have been abraded, excluding the last one. The steep slope located in the south (< 20 m above the water level in the pit) is approximately 50 m high and could be supported. The detached lateral

Allein auf der nördlichen Seeseite wurden über 100 größere Risse und Spalten aufgenommen. Die größte Spalte erstreckte sich über rd. 30 m, war bis zu 1,5 m weit und bis zu 12 m tief.

2.2.2 Maßnahmen

Im Rahmen der Planung wurden als geotechnische Sicherungsmaßnahmen die Abtragung der Steilwände im Norden und die Abflachung der Hangsituation auf einen generellen Hangneigungswinkel von maximal 37° sowie die Schaffung von Entwässerungsgräben zum kontrollierten Abführen der Ober- und Niederschlagswasser entwickelt.

Die im Norden gewonnenen Gesteinsmassen sollten gemäß Planung als geotechnisches Stützbauwerk vor den südlichen Steilwandbereich mit der existierenden Wohnbebauung angeschüttet werden und somit das weitere Abbrechen der Steilwand – die Gärten haben zwischen den Jahren 2006 und 2015 bis zu 6 m Raumtiefe verloren – unterbinden. Die östliche Seite des Tagebaurestlochs wurde von der Planung ausgenommen, da hier umfangreiche Abfallablagerungen einen Eingriff in das Gelände nicht zulassen.

Um einer neuerlichen Entzündung der Kohle im Untergrund präventiv entgegenzuwirken, sah die Planung als ökologische Verbesserung vor, die neu geschaffenen Geländeoberflächenbereiche im Norden mit bindigem Material abzudichten. Hierzu sollte die schluffig-tonige Überdeckung (Topsoil) aufgenommen und seitlich gelagert werden, um nach Abtrag des Gesteins die freiliegenden Risse und Spalten aufzufüllen und die Geländeoberfläche 0,30 m stark abzudecken. Als Sofortmaßnahme zur Erosionsminderung für die Oberflächenabdeckung wurde für die erstellten Flächen Hydroseeding als Begrünung geplant.

Das Gesamtbudget für die baulichen Maßnahmen war auf max. 1.425.000 € festgelegt. Die Baumaßnahmen wurden im Zeitraum Mai 2014 bis April 2015 ausgeführt und durch ein Überwachungsprogramm für den Kohleentzündungszustand im Untergrund begleitet.

Zur Neugestaltung des nördlichen Projektfelds wurden insgesamt 463.000 m³ Gestein heruntergebrochen, 184.000 m³ davon wurden ab August 2014 mit 20 Sprengkampagnen unter Verwendung von 43.000 kg Sprengmittel aufgelockert. Die abgeflachten Hangbereiche mit einer Fläche von rund 32.200 m² und einer Vielzahl von Rissen und Spalten wurden mit ca. 28.000 m³ bindigem Oberbodenmaterial abgedichtet (ca. 0,8 m stark) und technisch begrünt. Die Hangfläche wird durch rd. 1.600 m horizontale und ca. 450 m vertikale Gräben entwässert.

Das gewonnene Gesteinsmaterial wurde mit Dumpfern über eine gut 820 m lange Baustraße in den Süden des Tagebaurestlochs transportiert und dort als Stützkörper in den See vor die Steilwand vorgeschüttet. Der Stützkörper ist ungefähr 250 m lang und erhebt sich mit einer durchschnittlichen Breite von 25 bis 30 m etwa 12 m über den Wasserspiegel. Die beiden Bermen bilden Plattformen bei etwa 57 m NHN und ca. 65 m NHN.

3 Ergebnisse der Verwahrung

Aufgrund des begrenzten Budgets konnte nicht das gesamte Areal saniert werden. Jedoch wurde die Hangsituation sowohl im Norden als auch im Süden geotechnisch stabilisiert. Insbesondere im nördlichen Bereich wurde eine qualifizierte Oberflächendich-



Fig. 7. Northern steep slopes (06/2012).
Bild 7. Nördliche Steilwandbereiche (06/2012).



Fig. 8. Northern slope area with drains and berm (05/2015).
Bild 8. Nördlicher Hangbereich mit Gräben und Berme (05/2015).



Fig. 9. Southern steep slope area (06/2012).
Bild 9. Südlicher Steilwandbereich (06/2012)



Fig. 10. Southern embankment area (05/2015).
Bild 10. Südlicher Anschüttungsbereich (05/2015).



Fig. 11. Aerial view on the remaining pit Vihovići (06/2015).
Bild 11. Luftbildaufnahme Tagebaurestloch Vihovići (06/2015).

edge is only 8 m high and the deconstruction was stopped according to the state of knowledge due to the protection of the nearby residential houses.

The terrain in the north temporarily shows medium to low erosion, the supportive structure in the south only shows low settlement occurrences. In the framework of the Warranty Period, these ground motions will be further supervised. The underground monitoring (coal ignition) is carried out on a regular basis as well.

The figures 7 to 11 give an impression of the alterations of the project terrain caused by the safeguarding measures.

4 Review

Due to the limited budget, not the entire area could be safeguarded. Should the City of Mostar obtain further financial means for the development of the terrain, the landscaping works in the north could be continued based on the already existing design.

tung hergestellt, die ein Eindringen von Luft in den Untergrund minimiert und somit einer neuerlichen Selbstentzündung der noch vorhandenen Kohle im Untergrund entgegenwirkt.

Die ursprünglich vorhandenen vier Steilwandstufen im Norden mit einer Gesamthöhe von rd. 70 m wurden bis auf die letzte Wand (Höhe < 20 m über dem Wasserspiegel) abgetragen. Die rd. 50 m hohe Steilwand im Süden (rd. 20 m über dem Wasserspiegel) konnte mit einem Stützkörper abgefangen werden. Die noch freistehende Wandkante ist nur etwa 8 m hoch und das Abbrechen der Kante wurde nach bisherigem Kenntnisstand gestoppt (Sicherung der vorhandenen Wohngebäude).

Das Gelände im Norden zeigt derzeit eine nur mäßige bis geringe Erosion und der Stützkörper im Süden nur sehr geringe Setzungserscheinungen. Im Rahmen der Gewährleistungsphase werden diese Bodenbewegungen weiter beobachtet. Auch das Monitoring des Untergrunds (Kohleentzündung) wird derzeit in einem regelmäßigen Intervall fortgesetzt.

Die Bilder 7 bis 11 geben einen Eindruck von den Veränderungen der Projektfläche durch die Baumaßnahmen.

4 Ausblick

Aufgrund der Budgetobergrenze konnte nicht das gesamte Areal saniert werden. Sollte die Stadt Mostar weitere Geldmittel zur Entwicklung des Geländes erhalten, so könnten die geländepro-

The rock masses thus obtained – approximately 150,000 m³ – could be dumped against the eastern and southeastern steep slopes and thus geotechnically safeguard these areas.

Thus, in Mostar a forward-looking safeguarding concept could be developed and implemented in substantial parts even with a limited budget.

flierenden Arbeiten im Norden basierend auf der vorhandenen Planung fortgesetzt werden. Die dabei freiwerdenden Massen – ca. 150.000 m³ – könnten vor die östlichen und südöstlichen Steilkippen vorgeschüttet werden, wodurch auch diese Bereiche eine geotechnische Sicherung erfahren würden.

In Mostar konnte so auch mit einem begrenzten Budget ein zukunftsweisendes Sanierungskonzept aufgestellt und in wesentlichen Teilen umgesetzt werden.

References / Quellenverzeichnis

- (1) ARGE Fichtner GmbH & Co. KG, dplan gmbh und HarbourDom GmbH (2006): Rehabilitation of the Coal Mining Complex Vihovići in Mostar – Bosnia and Herzegovina, Feasibility Study - Preparatory Stage Report. Nov. 2006, Stuttgart.
- (2) Prinz, P.; Strauß, R. (2006): Abriss der Ingenieurgeologie 4., bearbeitete und erweiterte Auflage. Elsevier GmbH, München.
- (3) Schmidt, H.-H.; Vogt-Breyer, C. (2014): Grundlagen der Geotechnik, 4. Auflage. Springer Verlag, Wiesbaden.
- (4) Šerifović, E.; Marić, I. (ARGE Geomarić – Geotechnika 94 – SIK Mostar) (2009): Final Report on the works on extinction and rehabilitation of the former Vihovići coal mine – performed works of module 1 and module 2 – book 1 (created boreholes); 06.08.2009; Mostar.
- (5) Šerifović, E.; Marić, I. (ARGE Geomarić – Geotechnika 94 – SIK Mostar) (2009): Final Report on the works on extinction and rehabilitation of the former Vihovići coal mine – performed works of module 1 and module 2 – book 2 (cooling, measurements, extinction and final works); 06.08.2009; Mostar.

Authors / Autoren

Dipl.-Geol. Michael Mackenbach, Dipl.-Geol. Nikolaus Linder, Abteilung Mining & Environment der Fichtner Water & Transportation GmbH, Essen