

**Bergbaulich-geotechnische Untersuchungen zur Entwicklung eines Nutzungs-  
und Sicherungskonzeptes im Bereich der Dogger-Erzgrube Kahlenberg**

P. Rosner, G. Gibis, M. Heitfeld, H.R. Schulz, B. Thal

10. Altbergbau-Kolloquium,  
15 S. 9 Abb.; Freiberg (2010)

## **Bergbaulich-geotechnische Untersuchungen zur Entwicklung eines Nutzungs- und Sicherungskonzeptes im Bereich der Dogger-Erzgrube Kahlenberg**

**Peter Rosner<sup>1)</sup>, Georg Gibis<sup>2)</sup>, Dr.-Ing. Michael Heitfeld<sup>1)</sup>,  
Dr. H. Richard Schulz<sup>3)</sup>, Bernhard Thal<sup>4)</sup>**

<sup>1)</sup> Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH, 52074 Aachen; <sup>2)</sup> Zweckverband Abfallbehandlung Kahlenberg, 77975 Ringsheim; <sup>3)</sup> Büro für Angewandte Gravimetrie, 74538 Rosengarten;

<sup>4)</sup> Ingenieurbüro Thal, 79379 Müllheim

### **ZUSAMMENFASSUNG:**

*Im Bereich der Eisenerzgrube Kahlenberg wurden im Zeitraum von 1938 bis 1969 am Ost- rand des Rheintalgrabens gering vererzte Doggererze sowohl im Tagebau als auch im Tiefbergbau gewonnen.*

*Im Februar 2008 ereignete sich in einem heute durch Weinanbau gekennzeichneten un- tertägigen Abbaufeld ein Tagesbruch, der zwischenzeitlich einen Durchmesser von rd. 30 m und eine Bruchtiefe von ca. 25 m aufweist. Der Tagesbruchbereich wurde auf Veranlassung der zuständigen Bergbehörde großräumig abgesperrt; weiterhin wurde vom Bergwerkseigentümer eine bergbaulich-geotechnische Untersuchung als Grundlage für die Festlegung des zukünftigen Umgangs mit der Fläche gefordert.*

*Das Einwirkungspotenzial der bergbaulichen Hinterlassenschaften wurde auf der Grund- lage der geologisch-tektonischen Verhältnisse und in Abhängigkeit vom Abbauverfahren bewertet. In Bereichen mit sensibler Nutzung und hohem Einwirkungspotenzial wurden weitergehende Untersuchungen (u.a. Gravimetrie, Kernbohrungen) durchgeführt. Weiter- hin erfolgte eine untertägige Erkundung des Grubengebäudes. Auf dieser Grundlage wur- de ein Nutzungskonzept aus einer Kombination von Flächenstilllegungen und unterschied- lichen Monitoringmaßnahmen erarbeitet; auf aufwändige Sicherungsmaßnahmen kann so verzichtet werden.*

### **ABSTRACT:**

*In the iron ore mine of Kahlenberg, located at the eastern margin of the Upper Rhine gra- ben, between 1938 and 1969 ore with a low iron content was exploited in an open cast mine as well as by underground mining.*

*In February 2008 a sink hole happened with a diameter of about 30 m and a depth of 25 m, located above a subterraneous exploitation area in a present vineyard area. On behalf of the Mining Authority the sink hole area was amply fenced off. The owner of the mine was forced to elaborate a mining and geotechnical investigation as base for deci- sions about potential risks and the future usage of the area in question.*

*The impact of the mining legacies was evaluated on account of the geological and tectonic conditions. In highly susceptible areas of serious impacts further investigations were executed (gravimetric measurements, core borings). Furthermore an underground inspection of the mining openings was carried out. Based on these results a usage concept was developed comprehending the suspension of some areas and various monitoring measures. Thus, from expensive supporting measures could be dispensed with.*

## 1 Einführung

Der Zweckverband Abfallbehandlung Kahlenberg, 77975 Ringsheim (im Folgenden kurz ZAK genannt), betreibt in einem ehemaligen Tagebaubereich der Eisenerzgrube Kahlenberg eine Abfalldeponie; ZAK ist auch Inhaber des Bergwerkseigentums an der gesamten Grube. Die ehemalige Grube liegt in Herbolzheim im Landkreis Emmendingen (Region südlicher Oberrhein) und gehört zum Regierungsbezirk Freiburg, Baden-Württemberg (Abb.1).

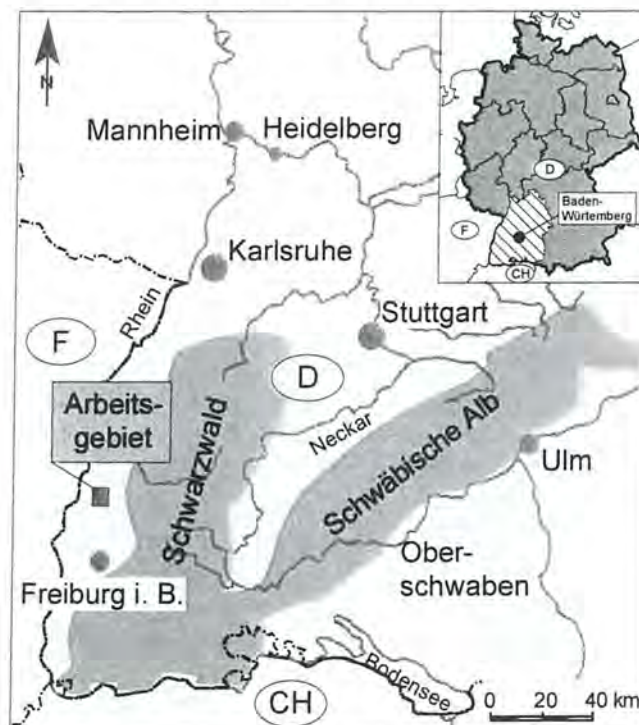


Abb.1 :Lage des Arbeitsgebietes (ehemaliges Eisenerzbergwerk Kahlenberg) am Ostrand des Rheintalgrabens (Baden-Württemberg)

Im Februar 2008 ereignete sich in dem untertägigen Baufeld Stollen IV bei Herbolzheim auf einer landwirtschaftlich genutzten Fläche ein Tagesbruch mit einem Durchmesser von rd. 6,0 m und einer Bruchtiefe von ca. 25 m. Der Tagesbruchbereich wurde auf Veranlassung des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB), Freiburg, großräumig (Fläche ca. 4,0 ha) abgesperrt. Weiterhin wurde eine bergbaulich-geotechnische Untersuchung als Grundlage für die Festlegung des zukünftigen Umgangs mit der Fläche gefordert.

Im Rahmen der nachfolgenden Untersuchungen wurde eine Bestandsaufnahme der bergbaulichen, geologischen und geotechnischen Verhältnisse im Bereich des Abbaufeldes Stollen IV vorgenommen und das Einwirkungspotenzial der bergbaulichen Hinterlassenschaften bewertet.



## 2 Lage und Aufbau des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet liegt am östlichen Rand der Rheinebene im nördlichen Grenzbereich des Breisgaus zur Ortenau, Südbaden. Morphologisch ist das Untersuchungsgebiet geprägt durch den Übergang von der oberrheinischen Tiefebene im Westen zu der dem Schwarzwald vorgelagerten Hügellandschaft im Osten, der sogenannten Vorbergzone. Ausgehend von einer Geländehöhe im Rheingraben von rd. 160 mNHN steigt das Gelände in östlicher Richtung kontinuierlich an und erreicht nordöstlich von Herbolzheim mit einer Höhe von 308 mNHN, am nördlich des Untersuchungsgebiets gelegenen Kahlenberg, die höchste Erhebung. Um das steile Gelände landwirtschaftlich nutzen zu können, wurde das Gelände in weiten Bereichen terrassiert.

Das Bergbaurevier am Kahlenberg liegt in der Vorbergzone auf der Ostflanke des Rheintalgrabens. Der Untergrund wird hier im Wesentlichen von den Schichten des Jura und den darüber lagernden tertiären Löss- und Lösslehmablagerungen aufgebaut (Abb.2). Die flach gelagerte jurassische Schichtenfolge ist zum Rheintal hin in staffelartigen Brüchen abgeschoben.

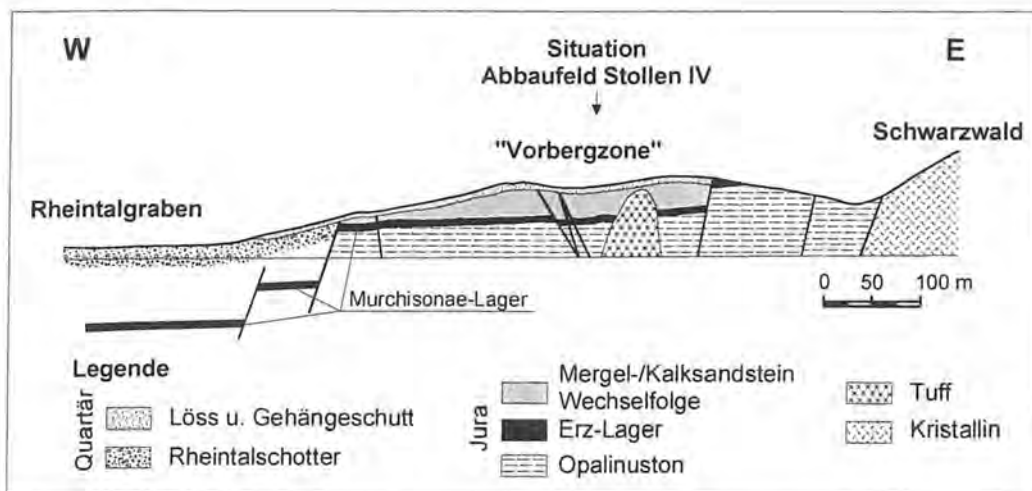


Abb.2 : Schematisches Profil durch die Lagerstätte am Kahlenberg (nach [5])

Das Erzlager des Kahlenbergs („Murchisonae-Lager“) liegt stratiform in der Schichtenfolge des Braunen Jura (Dogger Beta) und weist eine Mächtigkeit von 10 bis 12 m auf. Der Aufbau ist gekennzeichnet durch eine Wechsellagerung von dünn- bis dickbankigen Echinodermen-Breccien und Schillkalken mit wechselnden Eisen-Gehalten, die zumeist nesterartig auftreten. Der mittlere Eisengehalt des Erzlagers beträgt 20 %.

Im Liegenden des Erzlagers schließt sich unterhalb der wenige Meter mächtigen „Liegenden Sandkalke“ der rd. 80 m mächtige Opalinuston (Dogger Alpha) an. Im Hangenden des Erzlagers ist eine bis zu mehreren Zehner Metern mächtige Wechselfolge von Sandkalken, Mergeln, Tonen und Kalksteinen ausgebildet; abgeschlossen wird die jurassische Schichtenfolge von den Kalksteinen des Rogensteinhorizontes, die allerdings nur lokal auftreten. Diese Hangendschichten sind in Abhängigkeit von den tektonischen Verhältnissen in den einzelnen Lagerstättenbereichen in sehr unterschiedlicher Mächtigkeit ausgebildet. Am Ostrand des Rheintalgrabens tritt das Erzlager im Rheintalhang unter einer Deckschicht von etwa 10 bis 90 m Mächtigkeit vergleichsweise nahe an die Tagesoberfläche. Das Erzlager am Kahlenberg ist tektonisch bedingt durch die NW-SE-streichenden Hauptstörungen und zahlreiche senkrecht dazu in SW-NE-Richtung orientierte Kleinstörungen in einzelne tektonische Schollen mit unterschiedlicher Höhenlage des Erzlagers zerlegt.

### 3 Bergbauliche Verhältnisse

Der planmäßige Abbau der vergleichsweise gering vererzten Doggererze des Kahlenbergs begann 1938 sowohl im Tiefbergbau als auch im Tagebau. Der Tagebau war hier bis zu einer Deckschichtmächtigkeit von etwa 40 m rentabel. 1952 wurde die Berechtsame an die damalige Barbara Erzbergbau AG in Siegen übertragen. Zwischen 1938 und 1969 wurden insgesamt rd. 15 Mio. t Roherz gefördert; zuletzt war nur noch der Tagebau Kahlenberg in Betrieb.

Im Rahmen des Abschlussbetriebsplans wurden die bergbaulich genutzten Flächen rekultiviert. Zur Betreibung einer Deponie für Siedlungsabfälle auf dem ehemaligen Bergwerksgelände wurde 1971 der „Zweckverband Abfallbeseitigung Kahlenberg“ (ZAK) gegründet, in dessen Besitz das ehemalige Bergwerkseigentum und damit auch die untertägigen Abbaufelder überging. Im potenziellen Einwirkungsbereich des untertägigen Abbaus wurde im Laufe der Zeit ein Teil der Grundstücke durch den Bergwerkseigentümer erworben.

Der für die Untersuchungen ursächliche Tagesbruch ereignete sich in dem rd. 11 ha großen Abbaufeld „Stollen IV“, wo das Erzlager zwischen 1940 und 1954 in verschiedenen Varianten des Kammerbaus untertägig abgebaut worden ist. Das Erzlager ist hier in mehrere tektonische Teilschollen mit unterschiedlicher Deckgebirgsmächtigkeit gegliedert. Auf der südlichen Hauptscholle (Teilscholle Süd), südlich Stollen IV, beträgt die Deckgebirgsmächtigkeit im Allgemeinen weniger als 50 m und sinkt lokal bis auf rd. 25 m ab. Auf der nördlichen Hauptscholle (Teilscholle Nord) betragen die Deckgebirgsmächtigkeiten demgegenüber im Wesentlichen über 55 m; mit dem Anstieg der Morphologie in nordöstlicher Richtung steigen die Deckgebirgsmächtigkeiten bis auf über 100 m an.

Das Erzlager wurde im Abbaufeld Stollen IV durch einen rd. 500 m langen Stollen von der Rheintalebene aus in östlicher Richtung erschlossen; die in der Lagerstätte aufgefahrenen Hauptstrecken haben einen mittleren Querschnitt von 3 x 3 m. Neben dem Stollenmundloch war der im östlichen Randbereich der Lagerstätte abgeteufte, zwischenzeitlich verfüllte Wetterschacht betriebszeitlich die einzige Tagesöffnung. Von den Hauptstrecken aus wurden Abbauförderstrecken in der Lagerstätte aufgefahren und diese dann zu Kammern aufgeweitet. Einen Überblick über den Aufbau des Grubengebäudes gibt Abb.3.

Die Abbaukammern wurden je nach Vererzungsgrad und tektonischen Verhältnissen in unterschiedlichen Dimensionen aufgefahren. Die voll ausgebauten Kammern haben im Allgemeinen eine Breite von 5 bis 7 m bei Längen zwischen 50 und 70 m sowie Höhen zwischen 7 und 9 m. Die Breite der zwischen den Kammern stehen gelassenen Pfeiler beträgt dabei im Allgemeinen rd. 3 m, lokal weniger. Einzelne Abbaukammern erreichen Längen von 120 m und Höhen von bis zu 12 m; lokal wurden diese Kammern auf eine Breite von rd. 8 bis 10 m erweitert. In der Endphase der Abbautätigkeit wurden lokal auch die Hauptstrecken zu Kammern erweitert. In den weniger erzhaltigen Partien wurden die Abbauförderstrecken nicht weiter ausgebaut. Die entstandenen Kammern weisen hier geringere Dimensionen mit einem Querschnitt von rd. 4 x 4 m auf; die Pfeiler sind entsprechend breiter.

Im Rahmen des Abbaus wurde das Erzlager unterhalb des gebrächen Deckgebirges in einer Mächtigkeit von rd. 1,5 m als Firstsicherheitspfeiler stehen gelassen; technische Sicherungsmaßnahmen wurden in den Kammern nicht durchgeführt. Einige Abbaufelder wurden nach Abschluss des Abbaus zu Bruch geschossen, um beim weiteren Abbau Gebirgsschlägen vorzubeugen. Dazu wurde der in der Kammerfirste verbliebene Firstsicherheitspfeiler hereingeschossen; das überlagernde gebräche Gebirge ist dabei nachgebrochen.

Heute ist das Grubengebäude über den Stollen IV nur noch in Teilbereichen zugänglich. Insbesondere im Umfeld der Bruchfelder sind auch die Hauptstrecken vielfach verbrochen.



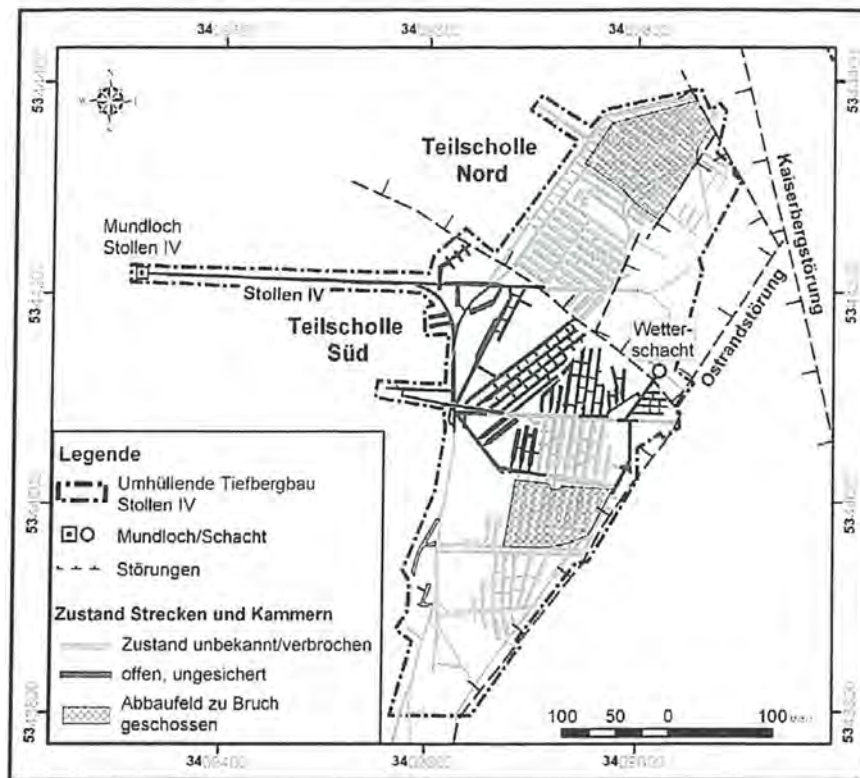


Abb.3 :Überblick Abbaufeld Stollen IV

#### 4 Flächennutzung und Auftreten von Tagesbrüchen

Für das Abbaufeld des Stollen IV wurde gemäß Abschlussbetriebsplan nach Beendigung des Abbaus ein Fallen von Tagesbrüchen über den noch vorhandenen Kammern erwartet. Konkrete Erkenntnisse über die seit den 1970er Jahren insgesamt aufgetretenen Geländebewegungen liegen aber nicht vor. Das Gelände im Bereich des Abbaufeldes Stollen IV wird überwiegend landwirtschaftlich genutzt (Weinanbau).

In den 1990er Jahren traten im nordöstlichen Teil des Abbaufeldes verstärkt sogenannte „Einspüllöcher“ auf. Dabei handelt es sich um kreisrunde Löcher mit Durchmessern bis zu rd. 1 m bei Tiefen bis zu rd. 1 m und Spalten mit einer Breite bis zu 0,6 m und einer Länge von mehreren Metern (Abb.4).

Auf Anforderung der Bergbehörde (LGRB) wurde eine Gefährdungsbeurteilung vorgenommen und eine „Risikozone“ von rd. 2 ha Größe ausgewiesen, die gegen Betreten unbefugter Personen zu sichern war. Eine bergbauliche Ursache für die „Einspüllöcher“ konnte jedoch nicht eindeutig nachgewiesen werden. Auch eine Verkarstung des oberflächennah anstehenden Kalksteins als natürliche Ursache der „Einspüllöcher“ konnte nicht ausgeschlossen werden. Die betroffenen Grundstücke wurden schließlich von ZAK erworben und stillgelegt. Nach 1996 sind keine weiteren „Einspüllöcher“ mehr in diesem Bereich bekannt geworden.

Ein kleinerer Tagesbruch mit einem Durchmesser von 0,5 m und einer Tiefe von rd. 2,0 m ist im südwestlichen Teil des Abbaufeldes dokumentiert, wo sich im Grubengebäude mehrere Strecken im Bereich einer Abbaukammer kreuzen; die Deckgebirgsmächtigkeit beträgt in diesem Bereich rd. 43 m.

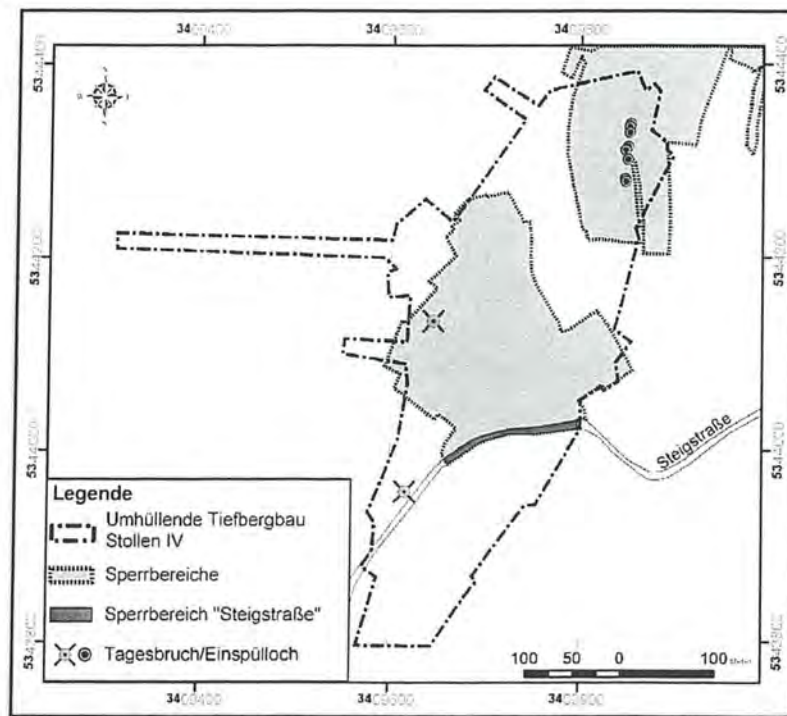


Abb.4 :Tagesbrüche, bergbehördliche Sperrbereiche und Eigentumsflächen ZAK im Bereich des Abbaufeldes Stollen IV

Der die vorliegenden Untersuchungen auslösende Tagesbruch ereignete sich im Februar 2008 auf einer landwirtschaftlich genutzten Fläche im zentralen westlichen Randbereich des Abbaufeldes. Anfänglich wies der Tagesbruch einen Durchmesser von rd. 6 m und rd. 25 m Tiefe auf (Abb.5). Im Niveau der Lössüberdeckung war eine rd. 7 m tiefe steile Böschung ausgebildet; an der Lössbasis verjüngte sich der Einbruchschlot in den darunter folgenden Mergeln. Zum Durchmesser dieser Öffnung in den Mergeln liegen keine Angaben vor. Innerhalb der Mergelschichten war dann nach etwa 1 m wieder eine Erweiterung des Hohlraums erkennbar, ohne dass die seitlichen Begrenzungen einsehbar waren. Der Durchmesser des Tagesbruches hat sich im Weiteren sukzessive bis auf rd. 30 m erweitert.



Abb.5 :Tagesbruch im Abbaufeld Stollen IV, 02.2008



Die Grubenbildauswertung ergab, dass der Tagesbruch auf der größten im Grubenbild dokumentierten Abbaukammer gefallen war. Im Rahmen untertägiger Begehungen wurde festgestellt, dass diese Abbaukammer auf einer Länge von rd. 50 m mit Mergelbruchmaterial verfüllt war. Das Bruchmaterial wies eine teilweise weiche bis breiige Konsistenz auf mit eingelagerten Gesteinsblöcken.

Zur Sicherung des Tagesbruches wurde auf Veranlassung der Bergbehörde (LGRB) eine engere Gitterabspernung um den Tagesbruch errichtet; darüber hinaus wurde das weitere Umfeld des Tagesbruches auf einer Fläche von rd. 4,0 ha gegen unbefugtes Betreten abgesperrt. Die Sperrung betrifft auch eine Verbindungsstraße („Steigstraße“) zwischen Herbolzheim und den oberhalb des Sperrgebietes gelegenen landwirtschaftlichen Flächen, die für die lokalen Weinbauern von großer Bedeutung ist.

Die Bewertung des Gefährdungspotenzials für die Tagesoberfläche im Bereich dieser Verbindungsstraße sowie gegebenenfalls erforderliche Sicherungsmaßnahmen waren daher auch eine bedeutsame Fragestellung der vorliegenden Bearbeitung.

## 5 Systematik zur Bewertung des Einwirkungspotenzials

Für die systematische Bewertung der potenziellen Einwirkungen der Hinterlassenschaften des Eisenerzbergbaus im Bereich des Abbaufeldes Stollen IV wurden in einem ersten Ansatz als wesentliche Parameter die Größe des primären Hohlraumvolumens im Untergrund sowie die Ausbildung und Mächtigkeit des Deckgebirges herangezogen. Im Hinblick auf die Bewertung der geotechnischen Eigenschaften der Deckgebirgsschichten im Hangenden des Erzlagere wurde eine Dreiteilung des Schichtenpaktes vorgenommen:

- ein wasserempfindliches „gebräches“ Mergel-/Kalksandsteinpaket im unmittelbaren Hangenden des Erzlagere („DS1“)
- ein vergleichsweise massives Kalksteinpaket (Rogenstein) am Top der jurassischen Schichtenfolge („DS2“), das eher in der Lage ist, einen tragfähigen Deckel oberhalb einer Bruchzone auszubilden und
- den überlagernden Decklehm.

Das Schichtenpaket DS1 ist bei Spannungsumlagerungen im Bereich von untertägigen Hohlräumen nicht in der Lage, ein tragendes Stützgewölbe auszubilden, sondern bricht langfristig sukzessive nach. Die Empfindlichkeit gegenüber zusickerndem Niederschlagswasser ermöglicht eine größere Mobilität des Verbruchmaterials, was bei entsprechend großem Hohlraumvolumen im Niveau der Lagerstätte trotz großer Deckgebirgsmächtigkeit ein „Totlaufen“ des Hochbruchs infolge Selbstverfüllung erschwert (Abb.6).

Große primäre Hohlraumvolumina sind heute insbesondere im Bereich von intakten Abbaukammern von 8 bis 10 m Höhe oder aber im Bereich von Streckenknotenpunkten und -kreuzungen mit übereinander verlaufenden Auf- und Abhauen vorhanden. Diese Bereiche weisen hinsichtlich der Verteilung des Materials aus einem in den Primärhohlraum verstürzenden lokalen Hochbruch das größte Potenzial auf.

Bei dem gezielten flächenhaften zu Bruch schießen der Abbaukammern in den 1950er Jahren sind offensichtlich keine Tagesbrüche an der Geländeoberfläche entstanden. Über den Zustand des Gebirges im Bereich der Bruchfelder lagen keine konkreten Erkenntnisse vor. Es musste mit dem Vorhandensein von größeren Resthohlräumen im Firstbereich der ehemaligen Kammern oder hoch reichenden Auflockerungszonen gerechnet werden. Daher sind auch im Bereich der Bruchfelder Auswirkungen auf die Geländeoberfläche nicht auszuschließen.



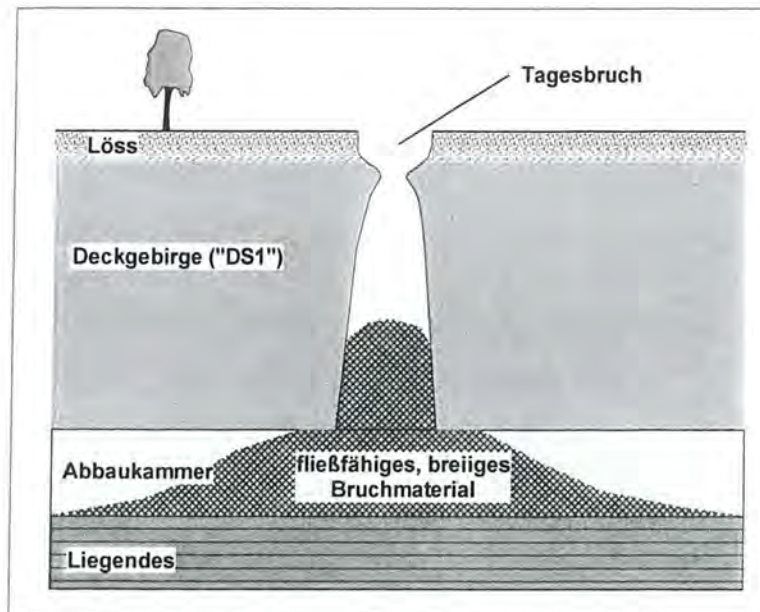


Abb.6 :Tagesbruchmodell

Als generelles Bewertungsschema für die Klassifizierung von Einwirkungspotenzialen des Altbergbaus wurde in Anlehnung an die in Nordrhein-Westfalen eingeführte Vorgehensweise sowie die Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“ [1] folgende Gliederung zugrunde gelegt (Abb.7):

- EK 1:** Tagesbruch-, Senkungs-/Setzungsgefährdung mit hoher Wahrscheinlichkeit vorhanden
- EK 2:** Tagesbruch-, Senkungs-/Setzungsgefährdung wahrscheinlich vorhanden
- EK 3:** Tagesbruch-, Senkungs-/Setzungsgefährdung mit nur geringer Wahrscheinlichkeit vorhanden

Bei dieser Klassifizierung handelt sich zunächst um eine Einteilung nach Eintrittswahrscheinlichkeiten von Tagesbruch-, Senkungs-/Setzungsereignissen an der Geländeoberfläche. Erst durch die Verschneidung der Eintrittswahrscheinlichkeit mit den Abmessungen der Bruchkörper an der Geländeoberfläche und der Nutzung der Geländeoberfläche ergibt sich für die entsprechenden Flächen eine Einteilung in Risikoklassen.

Dieser Ansatz berücksichtigt für die Einteilung der Einwirkungsklassen die folgenden Kriterien:

- EK 1:** offene Abbaukammern mit voller Abbauhöhe im Erzlager bei Deckgebirgsmächtigkeiten  $< 70$  m (Mächtigkeit DS2  $< 10$  m);  
Knotenpunkte des Hauptstreckensystems mit übereinander verlaufenden Strecken bei Deckgebirgsmächtigkeiten  $< 70$  m (Mächtigkeit DS2  $< 10$  m);  
Randbereich eines Bruchfeldes in tektonisch stärker beanspruchten Zonen des Verbreitungsgebietes der Kalksteine des Rogesteinniveaus.
- EK 2:** offene Abbaukammern mit voller Abbauhöhe im Erzlager bei Deckgebirgsmächtigkeiten  $\geq 70$  m (Mächtigkeit DS2  $\geq 10$  m);  
Abbaukammern, teilaufgefahren, mit Abbauhöhe  $< 4$  m bei Deckgebirgsmächtigkeiten  $< 70$  m (Mächtigkeit DS2  $< 10$  m);  
Bruchfeld in Bereichen mit Deckgebirgsmächtigkeiten  $< 70$  m (Mächtigkeit DS2  $< 10$  m).

- EK 3:** Bruchfeld in Bereichen mit Deckgebirgsmächtigkeit  $\geq 70$  m (Mächtigkeit DS2  $\geq 10$  m).

Auf der Grundlage dieses Bewertungsschemas wurde der Bereich des Abbaufeldes Stollen IV flächenhaft in Bereiche mit unterschiedlichen Einwirkungspotenzialen infolge der Hinterlassenschaften des Tiefbergbaus eingeteilt (Abb. 7).

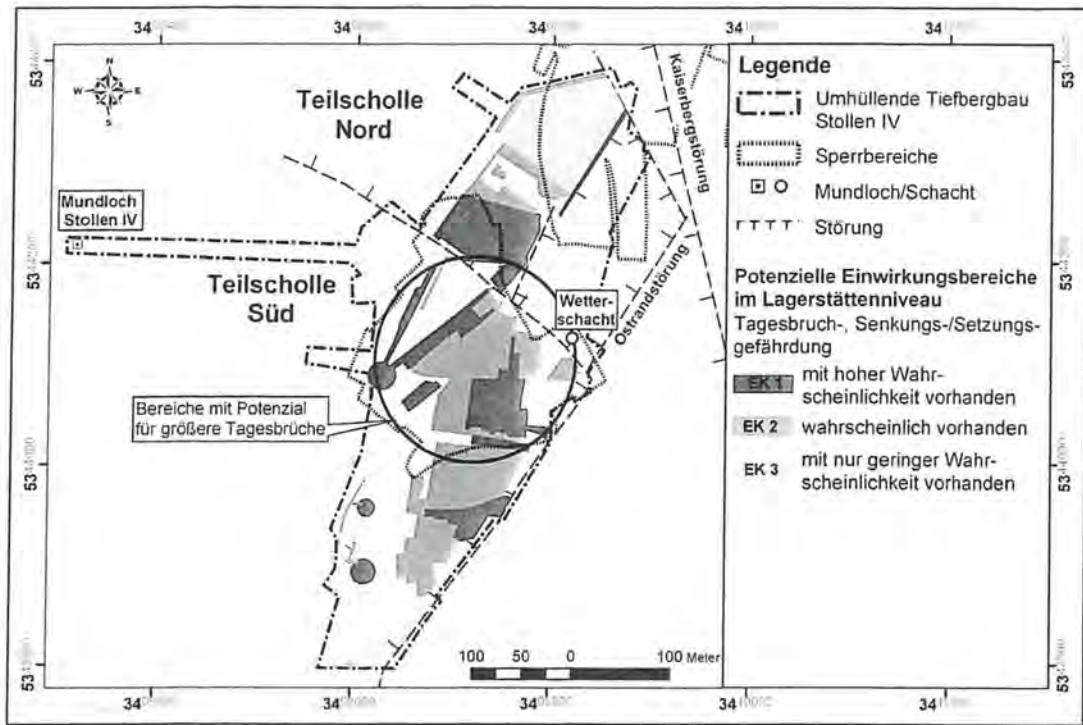


Abb.7 :Einwirkungsbereiche der bergbaulichen Hinterlassenschaften im Lagerstättenniveau

## 6 Bewertung der Risiken

Als Bereiche mit einer hohen Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Tagesbrüchen bzw. Bodensenkungen/-setzungen (EK 1) wurden vor allem die Bereiche mit großen, noch offen stehenden Abbaukammern bewertet. Dabei wurde den Abbaufeldern im nördlichen Teil der Teilscholle Süd aufgrund der hier insgesamt geringsten Deckgebirgsmächtigkeit das vergleichsweise größte Einwirkungspotenzial zugeordnet. Weiterhin wurden mehrere markante Streckenknotenpunkte auf der tektonischen Teilscholle Süd der Einwirkungsklasse 1 zugeordnet.

Die möglichen Auswirkungen der in den einzelnen Bereichen zu erwartenden Einbrüche an der Geländeoberfläche können aber aufgrund des unterschiedlichen Zustandes der Primärhohlräume und der Deckgebirgsmächtigkeit/-ausbildung bei gleicher Eintrittswahrscheinlichkeit innerhalb der Einwirkungsklasse 1 sehr unterschiedlich sein. Dies ist vor allem im Hinblick auf die Bewertung der Risiken (Eintrittswahrscheinlichkeit x Schadensausmaß) von Bedeutung.

So sind im Bereich der Bruchfelder eher Einbrüche in Form der „Einspüllöcher“ mit begrenzten Abmessungen im Wesentlichen im Dezimeterbereich zu erwarten. Dort allerdings, wo bei vergleichsweise geringer Deckgebirgsmächtigkeit noch heute offene Kammern mit lichten Höhen bis zu 10 m vorhanden sind, muss auch mit deutlich größeren Tagesbrüchen im Meter- bis Dekameterbereich gerechnet werden; dies verdeutlicht eindrucksvoll der in 2008 gefallene Tagesbruch. Dementsprechend wurde im zentralen Bereich des Abbaufeldes Stollen IV eine Zone mit „Potenzial für größere Tagesbrüche“ (Durchmesser von mehreren Metern) abgegrenzt (Abb.7). Anhand der ausgewiesenen Einwirkungsbereiche des untertägigen Erzabbaus, den Abschätzungen über die Größe möglicher Tagesbrüche und der vorhandenen Flächennutzung wurden für das Abbaufeld Stollen IV als primäre Risikobereiche die der Einwirkungsklasse 1 zugeordneten Straßen, Wirtschaftswege und landwirtschaftlich genutzten Flächen zwischen dem Stollen IV und der Steigstraße ausgewiesen.

Auf der Grundlage der Risikobewertung wurde empfohlen, die vorhandenen Absperrungen vorbehaltlich weiterer Erkenntnisse aufrecht zu erhalten. Besonderes Augenmerk lag auf dem weiteren Umgang mit dem Sperrbereich „Steigstraße“, da diese Straße von den Weinbauern benötigt wird.



Da eine Verlegung der Straße außerhalb des Abbaufeldes nicht möglich war, mussten weitergehende Untersuchungen zur Konkretisierung des Einwirkungspotenzials und möglicher Sicherungserfordernisse durchgeführt werden.

Im Hinblick auf den zukünftigen Umgang mit den gesperrten Flächen einerseits sowie auch den bisher nicht gesperrten Flächen in den potenziellen Einwirkungsbereichen des untertägigen Bergbaus andererseits wurden weitergehende Maßnahmen empfohlen:

- Untertägige Bestandsaufnahme der begehbaren Streckenabschnitte und Kammern mit Bewertung der Standsicherheitsverhältnisse; Aufstellung eines Monitoringkonzeptes für Untertage.
- Erkundung der Untergrundverhältnisse entlang der „Steigstraße“ durch Kernbohrungen im Hinblick auf eine Überprüfung der Notwendigkeit zur Absperrung der Straße.
- Überprüfung der Bewertungskriterien anhand der weiteren Untersuchungsergebnisse.
- Erarbeitung eines Sicherungs- und Nutzungskonzeptes mit entsprechenden Monitoringmaßnahmen für den Gesamtbereich des Abbaufeldes Stollen IV unter Berücksichtigung der ausgewiesenen Einwirkungsbereiche.

Im Hinblick auf die Befahrung des Sperrbereichs „Steigstraße“ mit Bohrgeräten wurde aus Sicherheitsüberlegungen eine geophysikalische Vorerkundung durchgeführt. Aufgrund des Untergrundaufbaus und der zu erkundenden Strukturen wurde die Gravimetrie als geeignetes Verfahren gewählt.

## 7 Untertägige Erkundung

Im Rahmen einer untertägigen Erkundung des Grubengebäudes wurden die noch zugänglichen Grubenteile auskartiert und der Zustand der einzelnen Baufelder dokumentiert; als zugänglich erwies sich nur der zentrale Teil des Abbaufeldes südlich Stollen IV bis in den Bereich nördlich der Steigstraße (Abb.3). Dabei konnten die Darstellungen im Grubenbild weitgehend bestätigt werden. Die großen Kammern im zentralen westlichen Teil des Abbaufeldes wurden weitgehend noch offen vorgefunden und das erhebliche Einwirkungspotenzial damit bestätigt. Die weiteren zunächst der Einwirkungsklasse 1 zugeordneten Kammern im östlichen Teil des zentralen Abbaufeldes nördlich der Steigstraße erwiesen sich demgegenüber als zu Bruch geschossen oder als nur von geringer Höhe. Hier konnte somit ein entsprechend geringeres Einwirkungspotenzial (Einwirkungsklasse 2) angesetzt werden.

Die Begehung bestätigte, dass insbesondere der Bereich unterhalb der Steigstraße untertägig nicht zugänglich war und daher von der Tagesoberfläche aus erkundet werden musste.

## 8 Geophysikalische Vorerkundung im Bereich Steigstraße

### 8.1 Methodenbeschreibung

Das Schwerfeld der Erde wird durch die Massenverteilung im Untergrund beeinflusst. Durch die Beobachtung des Erdschwerfeldes können Aussagen über den Untergrund getroffen werden. Bei Fragen der Altbergbauproblematik sind die Einflüsse in vielen Fällen gering, so dass hier von mikrogravimetrischen Messungen ausgegangen werden muss. Dies bedeutet, dass auch weitere Parameter in die anschließenden Berechnungen eingehen müssen, um eine verlässliche Aussage zu erhalten.

Ebenfalls von Bedeutung ist das geologische Umfeld. Je mehr geologische Grunddaten bekannt sind (Schichtlagerung, Lithologie, Tektonik), desto eher lassen sich die Randbedingungen bei Modellierungen einschränken.

Bei dieser Art des Vorgehens werden Genauigkeiten im Gelände von 2 bis 3  $\mu\text{gal}$  ( $10^{-8} \text{ m/s}^2$ ) erreicht. Dies erlaubt eine gesicherte Interpretation von kleinen Anomalien ab 8  $\mu\text{gal}$ .

Der Vorteil der Gravimetrie als Untersuchungsmethode ist, dass kein Eingriff in den Untergrund erfolgt, durch den z.B. Füllsäulen mobilisiert und letztlich Tagesbrüche ausgelöst werden können. Die Gravimetrie bietet die Möglichkeit, flächige Untersuchungen durchzuführen, und ist somit nicht auf punktuelle Aussagen beschränkt. Die Messungen können sowohl auf versiegeltem als auch auf naturbelassenem Untergrund stattfinden.

## 8.2 Messanordnung im Bereich Steigstraße

Das auf dem rd. 135 m langen Sperrbereich der Steigstraße eingerichtete Messnetz umfasste drei Profile mit insgesamt 204 Messpunkten. Um eine sichere Bewertung zu gewährleisten wurde an 20 Umfeldpunkten ebenfalls die Schwere beobachtet. Insgesamt flossen 794 Messwerte in die Auswertung ein.

Es sollten Hohlräume ab einem Durchmesser von 2 m detektiert werden. Daraus ergab sich ein Punktabstand von 2 m. Das Untersuchungsgebiet liegt im Bereich des Grabenrandbruches des Oberreintalgrabes. Hieraus ergibt sich, dass das regionale Schwerfeld einen deutlichen Trend aufweist. Dies muss bei der Auswertung berücksichtigt werden. Die Lage der Messpunkte, zum Teil in einem Hohlweg (Abb.8), erfordern eine sehr detaillierte Berücksichtigung der Geländeform ([4], [6]). Das Messnetz wurde an das Schwerfestnetz angeschlossen, um bei zeitlich versetzten Messungen mögliche auftretende Umlagerungen im Untergrund zu erfassen (Monitoring). Das verwendete Gravimeter ZLS Burris B25 wurde mehrfach auf seine erreichbare Genauigkeit hin überprüft ([2], [3]).



Abb.8 :Örtliche Situation

## 8.3 Ergebnisse der angewandten Gravimetrie

Als Grundlage der Interpretation zur Fragestellung, wo mögliche Hohlräume und Auflockerungen sich im Untergrund befinden, wurde die Bougueranomalie zugrunde gelegt. Deutlich ist dabei der regionale Trend von West nach Ost festzustellen. Die Interpretation im vorliegenden Fall muss auf Grund der Beeinflussung dieses Trends erfolgen.

Die ungeglättete Auswertung der Profilschnitte (Abb.9) macht die Situation deutlich. Es ließen sich drei Bereiche mit möglichen Hohlräumen oder Auflockerungen abgrenzen. **Anomalie 1** liegt in einem zu Bruch geschossenen Abbaufeld und wurde als größerer Hohlraum oder größere Auflockerungszone in rd. 25 m Tiefe interpretiert (etwa 10 bis 20 m oberhalb der ehemaligen Abbaukammern).



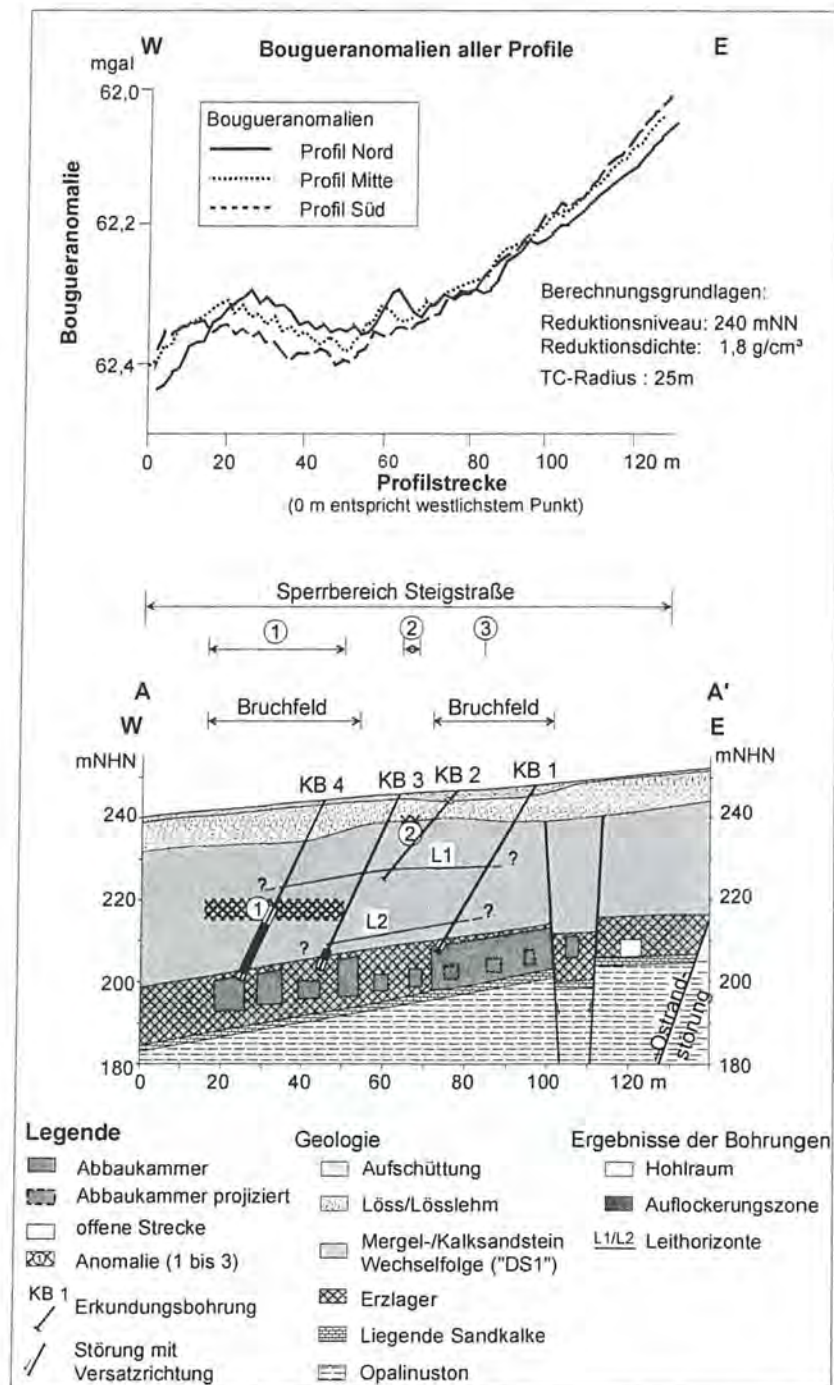


Abb.9 : Untergrundaufbau im Bereich Steigstraße mit Darstellung der Bougueranomalien entlang von drei Profilschnitten und den Ergebnissen der Erkundungsbohrungen

Die kleinere oberflächennahe **Anomalie 2** (vermutete Tiefe rd. 6 m, hier als „Anomalie 2“ bezeichnet) liegt im Randbereich zwischen dem zu Bruch geschossenen 3. Liegenden Aufhauen im Norden und dem Bruchfeld im Süden. Als Ursache für die **Anomalie 3** wurden Auflockerungszonen oder kleinere Resthohlräume im Hangenden des zu Bruch geschossenen 3. Liegenden Aufhauen angenommen.

Im weiteren Verlauf nach Osten wechselt die Größe der Bougueranomalien nach dem Queren der Grabenstruktur. Sehr deutlich kommt der ungestörte Verlauf aller drei Kurven im restlichen östli-

chen Profil zum Ausdruck. In diesem östlichen Bereich treten keine Auflockerungen oder große Hohlräume auf, die zum Zeitpunkt der Messungen eine Gefahr bedeutet hätten.

## 9 Befunde der Erkundungsbohrungen

Auf der Grundlage der gravimetrischen Befunde konnte eine Befahrung des Sperrbereichs mit dem Bohrgerät freigegeben werden. Die Erkundungsbohrungen wurden gezielt auf die ermittelten Anomalien und nach Grubenbild zu erwartenden Abbaukammern angesetzt. Die Ergebnisse der Bohrungen sind in Abb.9 dargestellt.

Die Kernbohrungen ergaben, dass der Untergrund in dem durch die Bohrungen KB 1 bis KB 3 erkundeten östlichen Abschnitt der Steigstraße weitgehend ungestört ist. Dies konnte insbesondere durch zwei Leithorizonte (L1, L2 in Abb.9) nachgewiesen werden, die in allen drei Bohrungen in einem einheitlichen Niveau angetroffen wurden. In den Bohrungen KB 1 und KB 3 wurden bis etwa 7 m oberhalb des Firstniveaus der ehemaligen Abbaukammern Resthohlräume bis 2,5 m Höhe und Auflockerungszonen angetroffen.

Mit der Bohrung KB 4 wurde dagegen deutlich oberhalb der zu Bruch geschossenen ehemaligen Abbaukammern erwartungsgemäß in rd. 29 m Tiefe ein Hohlraum von 3,5 m Höhe erbohrt; darunter war das Gebirge stark aufgelockert. Der Befund der gravimetrischen Messungen wurde hier bestätigt (Anomalie 1).

Mit der Bohrung KB 2 wurde im Grenzbereich zwischen der Aufschüttung und dem Decklehm ein Hohlraum von rd. 1 m<sup>3</sup> Größe angetroffen. Die Ursache für diesen Hohlraum konnte noch nicht ermittelt werden. Aufgrund der geringen Größe wurde dieser Hohlraum bei dem gewählten Messpunktabstand durch die gravimetrischen Messungen nicht ermittelt. Bei den gravimetrisch ermittelten Anomalien 2 und 3 handelt es sich wahrscheinlich um vergleichbare oberflächennahe Hohlräume, die aber vermutlich nicht bergbaulich bedingt sind, da das Gebirge unterhalb ungestört ist.

Die Bohrerergebnisse zeigen, dass nur im Bereich des Bruchfeldes größere, für die Tagesoberfläche einwirkungsrelevante Resthohlräume im Untergrund vorhanden sind. Aufgrund der Tiefenlage dieser Resthohlräume ist aktuell im Bereich der Steigstraße kein Tagesbruch zu besorgen. Da die gravimetrischen Befunde durch die Ergebnisse der Bohrungen gut bestätigt werden konnten, ist weiterhin davon auszugehen, dass keine weiteren, evtl. höher gelegenen größeren Hohlräume vorhanden sind, die aktuell zu einem größeren Tagesbruch führen könnten.

## 10 Zukünftiges Nutzungskonzept

Anhand der Ergebnisse der untertägigen Begehung konnte der im Rahmen der Bestandsaufnahme ausgewiesene Bereich mit „Potenzial für größere Tagesbrüche“ stärker eingegrenzt und Teilflächen aus der Einwirkungsklasse 1 in die Einwirkungsklasse 2 zurückgestuft werden. Die so auch innerhalb des bergbehördlichen Sperrbereichs der Einwirkungsklasse 2 zugeordneten Flächen können aufgrund des begrenzten Risikos für eine landwirtschaftliche Nutzung möglicherweise wieder freigegeben werden.

Für die weiterhin der Einwirkungsklasse 1 zugeordneten Flächen im Bereich der „Großkammern“ unmittelbar östlich des Tagesbruches von 2008 ist die Sperrung aus gutachterlicher Sicht aufrecht zu erhalten. Eine Sicherung des Tagesbruches oder der untertägigen Kammern ist nicht vorgesehen.

Die für die Landwirtschaft wichtige Steigstraße könnte aus bergbaulicher Sicht derzeit ebenfalls wieder für den landwirtschaftlichen Verkehr freigegeben werden; aufgrund der begrenzten Größe der ermittelten Resthohlräume und deren Tiefenlage besteht derzeit keine erhöhte Tagesbruchgefahr. Eine Verfüllung der untertägigen Resthohlräume ist aufgrund der zu erwartenden großen Volumina und des damit verbundenen wirtschaftlichen Aufwandes aus Gründen der Verhältnismäßig-



keit nicht vorgesehen. Zur Überwachung der Entwicklung der im tieferen Untergrund der Steigstraße ermittelten bergbaulichen Resthohlräume ist ein Monitoring (u.a. regelmäßige Wiederholung der gravimetrischen Messungen) geplant.

Allerdings müssen vor einer Freigabe des Sperrbereichs „Steigstraße“ noch die Ursachen der nach derzeitigem Kenntnisstand als nicht bergbaulich bedingt angesehenen oberflächennahen Hohlräume erkundet und die weitere Vorgehensweise mit der zuständigen Bergbehörde abgestimmt werden.

Für die übrigen im Abbaufeld Stollen IV ausgewiesenen potenziellen bergbaulichen Einwirkungsbereiche ist aufgrund der begrenzten Größe möglicher Tagesbrüche vom Grundsatz her eine landwirtschaftliche Nutzung weiterhin möglich; für die Bewirtschaftung sind jedoch Zusatzmaßnahmen zu berücksichtigen.

Grundlage für die weitere Bewirtschaftung ist ein regelmäßiges Monitoring, das neben den gravimetrischen Untersuchungen im Bereich Steigstraße die untertägige und übertägige Befahrung der Einwirkungsbereiche umfasst. Die entsprechenden Vorschläge werden mit der zuständigen Bergbehörde abgestimmt.

## 11 Ausblick

Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen erarbeiteten Bewertungsmaßstäbe sowie die gewonnenen Erkenntnisse über den Aufbau des Untergrundes und den Zustand des Gebirges in den unterschiedlichen Abbaubereichen bilden die Grundlage für die Bewertung des gesamten ehemaligen Abbaufeldes der Grube Kahlenberg. Da auch in den übrigen Abbaufeldern weite Bereiche noch zugänglich sind, wird ein wesentlicher Bestandteil des zukünftigen Sicherungskonzeptes die Weiterführung der regelmäßigen untertägigen Kontrollen sein. Dies kann in sensiblen, nicht zugänglichen Bereichen ergänzt werden durch ein „gravimetrisches Monitoring“. Nur in Ausnahmefällen werden so weitergehende Flächenstilllegungen oder gar aufwändige Sicherungsmaßnahmen erforderlich werden.

Das Beispiel der ehemaligen Erzgrube Kahlenberg verdeutlicht, wie man in landwirtschaftlichen geprägten Gebieten durch eine gezielte bergbauliche Bewertung der Einwirkungspotenziale aus ehemaligem untertägigen Bergbau mittels gezielter Stilllegung von kritischen Flächen und ein den Untergrundverhältnissen angepasstes Monitoring ohne eine aufwändige und in der Regel wirtschaftlich nicht darstellbare „Vollsicherung“ eine sichere Bewirtschaftung aufrecht erhalten kann.

## Quellenangaben

- [1] DGGT e.V. (2004): Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“. - 23 S., 3 Abb., 8 Tab.; Leoben.
- [2] JENTZSCH, G.M. (2007): The automated BURRIS gravity meter - a new gravimeter using an old principle.- International Symposium on terrestrial gravimetry; static and mobile measurements, Proceedings: p. 21-28; St. Petersburg.
- [3] JIANG, Z. (2010): Preliminary results of the BIPM relative gravity measurement campaign during the 8<sup>th</sup> international comparison of absolute gravimetry (2009).- IAG Symposium on Terrestrial gravimetry, static and mobile measurements; Proceedings, St. Petersburg.
- [4] KESSLER-SCHULZ, K.U. & SCHULZ, H.R. (2010): Modelling of gravity variations at the microgal Level; IAG Symposium on Terrestrial gravimetry, static and mobile measurements.- Proceedings, St. Petersburg (im Druck).
- [5] REICHENBACH, B., BOSCH, K., GIBIS, G. & SCHULTE-FISCHEDICK, W. (1998): Der Kahlenberg und seine Schätze.- 472 S., 479 Abb.; Ringsheim.

- [6] SCHULZ, H.R. (2007): Improvement of the evaluation of micro-gravity data with the help of an integrated software solution with the focus on the improved terrain correction.- International Symposium on terrestrial gravimetry; static and mobile measurements, Proceedings: p. 86-89; St. Petersburg.
- [7] ZWECKVERBAND ABFALLBEHANDLUNG KAHLENBERG (2006): Blickpunkt Kahlenberg.- 221 S.; Ringsheim.