

## **Ingenieurgeologische Problemstellungen bei der Erkundung und Verwahrung von tagesnahen Hohlräumen und Altbergbau im mitteldeutschen Raum\***

---

### **Kurzfassung**

Der mitteldeutsche Raum ist seit über 1 000 Jahren Gegenstand intensivsten Bergbaus der unterschiedlichsten Art. Enorm viele Tagesöffnungen und oberflächennahe Hohlräume stellen ein großes Gefahrenpotential für die Nutzung der Geländeoberfläche dar. In den historischen Stadtkernen sind Tiefkelleranlagen bergmännischer Bauweise angelegt, die ebenfalls ein hohes Schadensrisiko analog dem Altbergbau aufweisen. Für die Erkundung, Bewertung und Sanierung dieser Hohlräume stellen ingenieurgeologische Arbeitsweisen eine maßgebliche Grundlage dar. Interdisziplinäre Analysen und komplexe Betrachtungen in der Kombination von Erkundung und Sanierung bilden stets für eine effektive Lösung der stark differenzierten Problemstellungen eine Einheit.

### **Summary**

Since more than 1 000 years the middle part of Germany is an area of intensive mining. Surface holes and surface near caves are an endangering potential for the utilisation of the Surface area. In historic town centres, deep basements have been constructed in the same way as mining caves. These basements are representing the same risk as the mining caves. Geological engineering methods are giving a decisive base for the investigation, assessment and rehabilitation of these caves. For the investigation and rehabilitation, interdisciplinary analysis and complex consideration are necessary in finding an effective solution for the strongly different problem definitions.

### **1 Einleitung**

Die tiefgreifenden anthropogenen Veränderungen der tagesnahen Erdschichten sind im mitteldeutschen Raum an die intensive Erschließung des Landes mit der allseitigen Nutzung verfügbarer natürlicher Ressourcen seit etwa 1 000 Jahren geknüpft. Vor allem

---

\* Veröffentlicht in: Berichte 12. Nat. Tagung f. Ing.-Geol., Halle 1999, S. 39-47

die relativ dicht besiedelten Regionen der neuen Bundesländer Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt sind durch eine Vielzahl von tagesnahen, bergmännisch hergestellten Hohlräumen in Form von Altbergbau und Tiefkelleranlagen durchsetzt. Hauptsächlich in Bebauungsgebieten und im Bereich von Verkehrsträgern geht von diesen Relikten partiell ein hohes Gefährdungspotential für Leib und Leben sowie für Sachwerte aus. Zumindest Nutzungseinschränkungen an der Geländeoberfläche sind dabei notwendige Reaktionen, was jedoch keine Endlösung der Probleme darstellen kann.

Durch lokale Veränderungen des Grundwasserspiegels, Erhöhungen von Auflasten durch Nutzungsänderungen an der Geländeoberfläche und Festigkeitsminderungen des Deckgebirges durch Verwitterungsprozesse über diesen untertägigen Hohlräumen kommt es wiederholt zu Senkungen und Brucherscheinungen in sehr differenzierten Größenordnungen an der Oberfläche mit teilweise katastrophalen Auswirkungen.

Aufgrund der meist sehr lange zurückliegenden Bergbauaktivitäten, der fehlenden oder unvollständigen Unterlagen (speziell von bergmännischem Rißwerk) und der vorherrschenden Unzugänglichkeit der Hohlräume wird die Bewertung der Auswirkungen kompliziert.

Die Erkundung und Verwahrung dieser tagesnahen Hohlraumobjekte stellt insbesondere auch an die ingenieurgeologische Dokumentation und Bewertung sehr differenzierte und komplexe Anforderungen.

Im Rahmen der Bearbeitung von Hohlraumproblemen erschweren häufig die lückenhaften oder meist fehlenden rechtlichen Regelungen den Erkundungs- und Sanierungsfortgang. Im allgemeinen obliegt es den Ländern, vertreten durch die Bergbehörden oder sogar nur dem Grundstückseigentümer, die Sicherung, Erkundung und Sanierung der Schäden im Sinne einer Gefahrenabwehr zu veranlassen [1]. Nur der Sächsische Freistaat definiert in der Hohlraumverordnung vom August 1996 [2] detailliert die verschiedenen Hohlräume als rechtliche Grundlage der weiteren Bearbeitung.

## **2      Umfang, Verteilung und Schadensformen**

Die systematische Erschließung des mitteldeutschen Raumes und seine spätere tiefgreifende industrielle Entwicklung ist eng und untrennbar mit dem Bergbau auf Erze, Kohle, Salze sowie Steine und Erden verknüpft. In Abhängigkeit von den Lagerstättenverhältnissen ergeben sich daraus die unterschiedlichsten Hohlraumformen und -größen sowie deren Verteilungen. Auch Übergänge von Tagebau zu Tiefbau sind häufig, wobei im Rahmen dieser Betrachtungen Tagebaue keine Berücksichtigung finden.

Bei der Analyse der Umfänge an tagesnahe Altbergbau und deren Verteilung zeigte sich deutlich, dass eine Vollständigkeit nicht erreichbar ist. Einerseits ist es die enorme Vielzahl an Objekten nicht nur in den traditionellen Bergbaurevieren, sondern auch die zahlreichen kleinen Bergbauversuche an unzähligen Orten sind potentiell gefährdungswirksam. Andererseits fehlen aber auch historische Aufzeichnungen, Risse und Beschreibungen zu den einzelnen Gruben oder die Archivalien sind lückenhaft. Grundsätzlich muss man davon ausgehen, dass verwertbare rißliche Darstellungen von Grubenbauen erst nach dem 30-jährigen Krieg angefertigt wurden. Davor fehlen mindestens 600 Jahre markscheiderische Risse.

Zwar ist die Bergbautätigkeit in diesen Jahrhunderten sicherlich in ihrem Umfang begrenzt gewesen, jedoch liegen dafür die Grubenbaue sehr tagesnah vor. Ihre Gefährdungspotentiale für die Geländeoberfläche und damit auch für die öffentliche Sicherheit müssen deshalb als sehr hoch eingestuft werden.

Als traditionelle Schwerpunkte an Altbergbau heben sich im mitteldeutschen Raum die Mittelgebirge Erzgebirge, Thüringer Wald und Harz sowie das Mansfelder Land mit ihren Bergbaurevieren hervor, Stein- und Braunkohle sowie Salzbergbau folgten zeitlich.

Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand kann beispielsweise davon ausgegangen werden, dass etwa 75 % der besiedelten Fläche des Freistaates Sachsen durch Altbergbau beeinflusst wird [1]. In den großen historischen Bergrevieren von Freiberg, Annaberg-Buchholz, Schneeberg, Marienberg, Johanngeorgenstadt, Eibenstock, Geyer, Ehrenfriedersdorf, Altenberg und Zinnwald wurden vor allem Silber, Zinn, Kupfer, Blei, Eisen, Wismut, Kobalt, Zink und Uran abgebaut.

Der Bergbau begann in Freiberg 1168 auf Silbererze und breitete sich von dort etappenweise auf alle anderen Lagerstättenbezirke des Erzgebirges aus (Tab. 1).

In der Erzgebirgsvorsenke sind zahlreiche größere und kleinere Steinkohlenbecken ausgebildet, die über Jahrhunderte Bergbauzentren waren. Das Revier von Zwickau - Oelsnitz - Lugau ist mit etwa 60 km<sup>2</sup> das größte Abbaugbiet [3].

Die Gewinnung von bis zu 20 übereinander liegenden Flözen bei einer mittleren Mächtigkeit von je 1 bis 4 m erreichte Teufen bis 1 100 m. Geländeabsenkungen bis zu 17 m verursachten erhebliche Schäden an der Bebauung und an den Leitungssystemen. Die bis heute noch nicht abgeschlossene Flutung führt zu ungleichförmigen Bewegungen an der Geländeoberfläche, wie beispielsweise im Stadtkern von Zwickau. Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand sind über 1 200 Schächte in diesem Revier vorhanden und ein Großteil muss als nicht oder unzureichend verwahrt eingestuft werden. Bedeutung erlangte auch das Steinkohlenrevier von Freital bei Dresden mit etwa 25 km<sup>2</sup> und einer maximalen Abbauteufe von ca. 700 m.

Tabelle 1: Beispiele von Altbergbaurevieren im Erzgebirge [1]

Revier	Bergbauumfang / Lagerstättenverhältnisse
Freiberg (ab 1168)	> 1 100 bebaute Erzgänge auf ca. 150 km <sup>2</sup> (Kernrevier); Einzelgänge bis 15 km lang und 10 m mächtig (? 0,1 bis 1,0 m), maximale Abbauteufe 500 bis 700 m, minimale Schachtabstände 20 bis 50 m, derzeit sind 943 Schächte und 388 Stollen bekannt; Abbau vor allem von Silber- und Buntmetallerzen
Schneeberg (ab ca. 1450)	> 150 bebaute Gänge mit Silber-Wismut-Kobalt-Nickel-Uran-Erzen auf etwa 15 km <sup>2</sup> , Abbauteufe bis ca. 40 m, über 500 Tagesöffnungen bekannt
Annaberg-Buchholz (ab 1492)	> 300 bebaute Gänge mit Silber-Wismut-Kobalt-Nickel-Uran-Erzen auf etwa 56 km <sup>2</sup> , Abbauteufe bis ca. 400 m, über 1 000 Schächte

Auf dem heutigen Territorium von Sachsen konzentriert sich der alte Braunkohlentiefbau auf folgende Gebiete:

- Nordwestsachsen: Leipzig, Borna, Wurzen, Delitzsch
- Nordostsachsen: Weißwasser, Bad Muskau, Niesky
- Ostsachsen: Zittau, Görlitz

Die Abbauteufen betragen bis zu 100 m. Die Flözmächtigkeit schwankte von wenigen Metern bis etwa 30 m. Der Kammerpfeilerbruchbau oder Kammerpfeilerbau beeinflusste die Geländeoberfläche grundlegend. Oftmals liegen die alten Gruben unmittelbar an bebauten Gebieten, in Zittau fast im Stadtzentrum [3].

Tabelle 2: Förderzahlen des Kupferschieferbergbaus im Mansfelder Land [4]

Abbauzeitraum	Bergbaubezirk	Erz in t	Kupfer in t	Silber in t
1200 bis 1990	Mansfeld	80 760 000	2 009 800	11 111
	Sangerhausen	28 140 000	619 200	3 102
Gesamt		108 900 000	2 629 000	14 213

Die untertägige Gewinnung von Steinen und Erden konzentrierte sich in Sachsen vor allem auf den Kalksteinabbau. Durch den Kammerbau entstanden tagesnah größere Hohlräume, deren Dauerstandssicherheit bei Unterdimensionierung der Pfeiler in vielen Fällen nicht gewährleistet ist. Zahlreiche Tagesbrüche führten und führen zu großen Pingenbildungen

an der Geländeoberfläche mit bis zu 30 m Durchmesser und 25 m Tiefe (z. B. ehem. Kalkwerk Ludwigsdorf).

Vor allem in den Ländern Thüringen und Sachsen-Anhalt ist der Kupferschieferbergbau sehr intensiv verbreitet. Er konzentriert sich auf die Mansfelder und Sangerhäuser Mulde, aber auch an allen Rändern des Zechsteinmeeres, am Ausbiß des Kupferschieferflözes, ob am Thüringer Wald, Kyffhäuser oder Harz, sind zahllose Gruben des Kupferschieferbergbaus anzutreffen.

In der Mansfelder und Sangerhäuser Mulde (Sachsen-Anhalt) rechnet man mit etwa 3 000 bis 4 000 Schächten des Kupferschieferbergbaus, dazu sind weiterhin einige tausend kleinere Halden-Pingen-Komplexe im unmittelbaren Flözausbißbereich des schüsselförmigen Lagerstättentypes zu zählen. Das Muldenzentrum ist etwa 1 000 m tief. Die abbauwürdige Flözverbreitung (Mächtigkeit ca. 60 cm, davon maximal 24 bis 32 cm vererzt) wird mit etwa 200 km<sup>2</sup> angegeben [4]. In der Tabelle 2 sind Fördermengen an Erz und das daraus gewonnene Kupfer und Silber zusammengestellt.

Diese Zahlen verdeutlichen den enormen Bergbauumfang, aber insbesondere auch den dabei geschaffenen Hohlraum und vor allem auch die zahllosen Schächte mit unbekanntem Zustand. Für die ingenieurgeologische Bearbeitung von Schadensproblemen des Altbergbaus ergeben sich hierbei stets komplexe Zusammenhänge zu Karstprozessen, da im Hangenden des Kupferschieferflözes auslaugbare Gesteine (Kalk, Gips, Salz) anstehen und dadurch die Wasserzirkulation eine zentrale Bedeutung erlangt. Die sich an der Geländeoberfläche einstellenden Schadensbilder sind deshalb sehr differenziert zu betrachten.

Einen besonderen Schwerpunkt des Altbergbaus stellen die Braunkohlentiefbaue des mitteldeutschen Raumes dar. Folgende wichtige Braunkohlenreviere Mitteldeutschlands lassen sich ausgliedern [5]:

- *Braunschweig-Magdeburger Bezirk* mit den Braunkohlenbecken von Helmstedt-Oschersleben, Egelu-Staßfurt, Nachterstedt-Aschersleben sowie zahlreichen Einzelbecken am Huy, Wienrode-Thale und zwischen Bernburg und Schönebeck.
- *Thüringisch-Sächsischer Bezirk* mit den Revieren von Köthen, Halle, Geiseltal, Zeitz-Weißenfels, Meuselwitz-Altenburg, Borna, Bitterfeld und den Vorkommen in der Altmark.

Die Zusammenstellung lässt erkennen, dass der mitteldeutsche Raum großflächig von Relikten des Braunkohlenbergbaus beeinträchtigt wird. Der Tagebau war die vorherrschende Abbaumethode in diesem Jahrhundert. Im 19. Jahrhundert ist aber vor

allem mit Braunkohlentiefbau zu rechnen. So konnte nachgewiesen werden, dass auf dem Gebiet des ehemaligen Bezirkes Halle (8 771 km<sup>2</sup>) etwa 120 km<sup>2</sup> mit Braunkohlentiefbau durchsetzt sind, Entwässerungsstrecken der Tagebaue (237 km<sup>2</sup>) sind hierbei nicht berücksichtigt [6].

Im Rahmen dieser Betrachtungen werden für dieses ehemalige Bezirksareal weitere Flächen mit bergbaulicher Einwirkung ausgewiesen:

- Erzbergbau (vor allem Kupferschieferbergbau): 264 km<sup>2</sup>
- Kali, Steinsalz: 55 km<sup>2</sup>
- Steinkohle: 6 km<sup>2</sup>

So werden vom historischen Steinkohlenbergbau bei Wettin, Löbejün und Halle-Dölau mehr als 250 Schächte mit unbekanntem Verwahrungszustand genannt [12].

Der Kali- und Steinsalzbergbau besitzt in Sachsen-Anhalt 59 Schächte, die zum Altbergbau (ohne Rechtsnachfolger) fallen und größtenteils einer Erkundung und Verwahrung bedürfen. Welche Dimensionen die Bergschäden des Kalibergbaus an der Geländeoberfläche entwickeln können, verdeutlicht die Situation in und um Staßfurt. Die zahlreichen Salinen und unzähligen Bohrungen sind hier nicht berücksichtigt.

Tabelle 3: Abbauumfänge von Zechsteinkalktiefbauten in Gerbstedt und Hettstedt

<b>Umfänge</b>	<b>Gerbstedt Sperlingsberg</b>	<b>Hettstedt Windmühlenstr.</b>	<b>Hettstedt Hadebornstr.</b>
Abbaufläche in m <sup>2</sup>	14 975	2 415	2 860
davon Pfeilerfläche in m <sup>2</sup>	2 476	180	507
Gesamtvolumen in m <sup>3</sup>	54 115	7 200	6 320
davon Hohlraum m <sup>3</sup>	22 600	1 645	3 400

Neben diesen wirtschaftlich dominanten Bergbauzweigen und Gangbergbau im Harz, Kyffhäuser und Thüringer Wald auf Silber, Kupfer, Flußspat, Schwerspat und Eisen können aus geotechnisch-bergschadenkundlicher Sicht auch untertägige Kalkstein- und Sandabbau Bedeutung erlangen. So wurden beispielsweise in den Städten Gerbstedt und Hettstedt im Mansfelder Land umfangreiche untertägige Zechsteinkalkabbau in den zurückliegenden Jahrhunderten angelegt. Mit den Steinen baute man Häuser, Stadtmauern und Sakralbauten der urbanen Ansiedlungen.

Die Tabelle 3 verdeutlicht am Beispiel von Gerbstedt und Hettstedt die sehr tagesnahen Bergbauumfänge in diesen bebauten Stadtbereichen.

Tabelle 4: Beispiele von Umfängen an Altbergbau in Ostthüringen

<b>Revier</b>	<b>Umfang des Bergbaus</b>
Saalfeld-Kamsdorf [8]	> 2 000 Schächte, vor allem des Silber-, Kupfer-, Kobalt-, Baryt- und Eisenerzbergbaus; Abbauteufen bis etwa 100 m (max. 300 m)
Schleiz	> 540 Bergbauanlagen, davon 44 Stollen, vor allem Bergbau auf Eisen, Schiefer, Antimon, Silber, Kupfer
Lobenstein	> 100 bebaute Gänge auf 10 km <sup>2</sup> , vor allem Eisenerzbergbau mit 43 Schächten, 56 Stollen sowie 1 169 Pingen und Tagesbrüchen; Abbauteufen bis ca. 100 m

Die teilweise unmittelbare Überbauung dieser sehr tagesnahen Grubenbaue ruft eine erhebliche potentielle Gefährdung hervor. Der geringe Pfeileranteil, geringmächtige tragende Gebirgsschichten und direkte Beeinflussung sowie Überprägung der Hohlräume durch darunterliegenden Kupferschieferbergbau mit den zahllosen Schächten labilen Zustandes erhöhen maßgeblich das Gefährdungspotential an der Geländeoberfläche.

Auch im Thüringer Wald sowie in dessen Randzonen und in Ostthüringen sind zahllose Bergbaurelikte bekannt. Gold, Silber, Kupfer, Antimon, Alaun, Eisen, Flußspat, Baryt, Steinkohle, Mangan, Kobalt, Schiefer und Farberden prägen das historische Bergbaubild [7]. In der Tabelle 4 sind einige Beispiele zusammengestellt.

Zu den umfangreichen anthropogenen Hohlräumen im tagesnahen Bereich durch den historischen Bergbau sind im mitteldeutschen Raum die Tiefkelleranlagen der brauberechtigten Städte hinzuzurechnen, die mit bergmännischen Methoden angelegt wurden. Die systematischen bergmännischen Auffahrungen von Tiefkellern, Bergkellern oder Höhlern sind untrennbar mit der Einführung des Brauens von Lagerbier etwa ab dem Jahr 1509 verbunden [9]. Die Privilegien des Brauens und Schenkens der Bürger machten das Brauwesen zu einem bedeutenden Wirtschaftszweig der Städte Mitteldeutschlands. Nur tiefe Keller von mindestens 3 bis 4 m Überdeckung zusätzlich zu den Hauskellern gewährleisteten dabei eine qualitätsgerechte Lagerung [10]. Welche Umfänge diese Tiefkelleranlagen bergmännischen Ursprungs aufweisen können, verdeutlicht die Tabelle 5.

Eine detaillierte Übersicht über diese unterirdischen Hohlräume nichtbergbaulichen Ursprungs existiert von Mitteldeutschland nicht. Nur auf dem Territorium des Freistaates Sachsen sind über 180 historische Orte mit ehemaliger Brau- und Schankberechtigung davon betroffen.

Tabelle 5: Ausgewählte Städte mit Tiefkelleranlagen

Stadt	Anzahl	Länge in km	Geologische Verhältnisse
Altenburg	300	9	Lößlehm / Löß
Crimmitschau	60	3	Zechsteinkonglomerat
Gera	230	9	Auesedimente, Zechsteinkalk
Glauchau	80	4	Lößlehm / Löß
Hohenstein	40	2	Glimmerschiefer
Lichtenstein	50	2	Rotliegendes
Lommatzsch	85	3	Lößlehm / Löß
Mittweida	50	2	Granulit
Ronneburg	38	2	Schiefer, Diabas
Waldenburg	90	3	Lößlehm / Löß, Phyllit
Zeitz	200	8	Unterer Buntsandstein, Lößlehm / Löß
Zwickau	80	4	Rotliegendes

In Abhängigkeit vor allem von den geologischen Verhältnissen kommt es teilweise zu katastrophalen Verbruchereignissen in den alten Stadtzentren und zu erheblichen Beeinträchtigungen der öffentlichen Sicherheit.

Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass die Schadensbilder dieser Hohlräume ähnlich oder gleich denen des tagesnahen Altbergbaus sind.

In der Tabelle 6 sind die wichtigsten Schadensformen zusammengestellt.

Tabelle 6: Ausgewählte Städte mit Tiefkelleranlagen

<b>Tagesbrüche</b>	Verbruch des natürlichen Deckgebirges über tagesnahe Hohlräume
<b>Schachtverbrüche</b>	Meist plötzliches Abgehen von Versatz- oder Verbruchmassen sowie Abbühnungen in oder auf Schächten
<b>Mundlochverbrüche</b>	Verschluß von horizontalen Tageszugängen durch Deformationen und Verbrüche des Überganges von Ausbau und Deckgebirge
<b>Senkungen</b>	Geländedeformationen über verbrochenen oder verbrechenden Hohlräumen, dabei kommt es zu Zerrungen, Pressungen, Schiefungen und Krümmungen
<b>Riß- und Spaltenbildungen</b>	Bruchartige Geländeverschiebungen am Rande von Deformationszonen und Verbrüchen

Jährlich werden etwa 70 bis 100 markante Schadensereignisse in Sachsen registriert, die einer bergsicherungsspezifischen Bearbeitung bedürfen [1]. Im Aufsichtsbereich des Bergamtes Halle wurden vom 01.01.1969 bis 30.06.1976 349 Tagesbrüche erfasst, was einer durchschnittlichen Schadenshäufigkeit von 46,5 Ereignissen im Jahr entspricht [6]. In Thüringen ist von vergleichbaren Größenordnungen der Ereignishäufigkeit auszugehen. Diese statistische Analyse sagt jedoch noch nichts über die Größe der Schäden aus. Grundsätzlich kann zu jedem Zeitpunkt ein Schadensereignis eintreten, jedoch sind vor allem in den Monaten März / April, Juni oder Oktober Peaks zu erwarten [8].

### **3 Erkundungs- und Sanierungsmaßnahmen**

Für alle Erkundungs- und Sanierungsmaßnahmen im Altbergbau wie auch bei Tiefkelleranlagen ist eine genaue vermessungstechnische Aufnahme und ihre Zuordnung zur Geländeoberfläche die Grundlage [9]. Darauf aufbauend folgt eine ingenieur-geologische Dokumentation, die Auskunft über den derzeitigen Zustand und das Dauerstandsverhalten des tagesnahen Hohlraumes gibt.

Zur Bewertung von möglichen Bruch- und Deformationsprozessen sowie zur Gefährdungseinschätzung sind folgende Untersuchungen notwendig:

- Bergbauhistorische Recherchen, Sichtung von Archivalien und Literatur
- Klärung der Geologie und der lagerstättenkundlichen Verhältnisse
- Beschreibung der Art, Geometrie und Tiefenlage der Hohlräume
- Untersuchung der ingenieurgeologischen und hydrogeologischen Situation
- Bewertung der geomechanischen Eigenschaften von Gestein und Gebirge sowie der wirkenden Spannungsverhältnisse einschließlich Dauerstandsverhalten der Hohlräume
- Analyse der bergbautechnologischen Verhältnisse (z. B. Abbautechnologie, Versatzart und -umfang, Ausbau)
- Bewertung von bereits erfolgten Bruch- und Deformationsprozessen

Zu einem optimalen Erkundungsergebnis führt nur eine komplexe, interdisziplinäre Herangehensweise. Folgende Methoden kommen u. a. bei der Erkundung zum Einsatz:

- Direkte Methoden: Bergmännische Aufwältigung, Schürfe, Bohrungen
- Indirekte Methoden: Geophysik, Sondierungen
- Spezialmethoden: Foto- und Fernseh-sonden, aerogeologische Aufnahmen, Tracerversuche bei Wasser- und Wetterbewegungen

Bei den standortspezifischen Untersuchungen werden Umfang und Untersuchungstiefe wesentlich von der gegenwärtigen und zukünftigen Nutzung der Geländeoberfläche und der Risikoabschätzung bestimmt. Aufgrund der vorherrschenden fehlenden Kenntnis über den unterirdischen Hohlraum ist aus Effektivitätsgründen eine untrennbare Einheit aus Erkundung und Sanierung zwingend geboten. Bei der Sanierung wird bei den meisten Schadensereignissen eine Verwahrung des Hohlraumes angestrebt. Dabei kommen sehr unterschiedliche Verfahren zum Einsatz, die differenziert an die Art des Objektes, z. B. durch Versatz, bautechnische Verfahren, Injektionen sowie durch die jeweilige Zielstellung, insbesondere der Nutzung der Geländeoberfläche, angepasst werden [8]. Für eine wirkungsvolle Sanierung muß ein geeigneter Verwahrungshorizont im Gebirge genutzt oder auch geschaffen werden. Ingenieurgeologische Erkundungen stellen hierzu jeweils die Grundlage dar. Dieser Sachverhalt zeigt deutlich, dass jedes Objekt einer Einzelfalllösung bedarf, an die jedoch bewährte Standardtechnologien angepasst werden können. Auch für die geotechnische Erkundung und Bewertung von Altbergbauanlagen der unterschiedlichsten Bergbauzweige sind Empfehlungen als Hilfsmittel für die Untersuchenden und Planenden in Vorbereitung [11].

## **Literatur**

- [1] MEIER, G.: Erkundung und Verwahrung tagesnaher Hohlräume in Sachsen. - Glückauf 133 (1997) 5 S. 241 - 245
- [2] Polizeiordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit über die Abwehr von Gefahren aus unterirdischen Hohlräumen vom 2. August 1996
- [3] Das Bergwesen im Freistaat Sachsen. - Bericht des Sächsischen Oberbergamtes für 1995. Herausgegeben vom Präsidenten des Sächsischen Oberbergamtes, Freiberg 1996
- [4] KNITZSCHKE, G.: Der Kupferschieferbergbau im Mansfelder Land (1200 - 1990). - Festschrift 225 Jahre Oberbergämter und Bergbehörden in Halle an der Saale, S. 135 - 150, Herausgeber Bergamt Halle, Landesamt für Landesvermessung und Datenverarbeitung, Sachsen-Anhalt, Halle 1998
- [5] PIETZSCH, K.: Die Braunkohlen Deutschlands - Handbuch der Geologie und Bodenschätze Deutschlands. - Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin 1925

- [6] OTT, M.: Gefährdung der Tagesoberfläche durch Tagesbrüche in Braunkohlentiefbaubereichen des Bezirkes Halle. - unveröff. Diplomarbeit, Bergakademie Freiberg, 01.12.1976
- [7] FREYBERG, V. B.: Erz- und Minerallagerstätten des Thüringer Waldes. - Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin 1923
- [8] MEIER, G.: Grundsätze von Bergsicherungsarbeiten im Gangbergbau. - Wiss.-Techn. Informationsdienst 32 (1991) Reihe A, Nr. 1, 69 S., Berlin, Ges. f. Umwelt- u. Wirtschaftsgeologie mbH i. G.
- [9] MEIER, G.: Höhlen und Bergkeller im sächsisch-thüringischen Raum. - Tagungsband hohlraum 95 - Konferenz zu Hohlraumfragen in Siedlungsgebieten, vom 12. bis 15. September 1995 in Waldenburg, S. 13 - 17, Herausgeber: Stadt Waldenburg 1995
- [10] MEIER, G.: Tiefkelleranlagen des sächsisch-thüringischen Raumes - erläutert am Beispiel der Geraer Höhlen. - Internationales Kolloquium in Oppenheim am Rhein vom 14. bis 17.04.0994. Historische Keller und Gangsysteme in Europa. Probleme der Erforschung, Erhaltung, Nutzung, S. 99 - 117, Herausgeber: Landesamt für Denkmalpflege Rheinland Pfalz, Mainz 1997
- [11] MEIER, G.; SKRZYPPEK, J.: Altbergbau - geotechnische Erkundung und Bewertung. - Taschenbuch FlächenRecyclingGeoProfi 1999, S. 331 - 336, Verlag Glückauf GmbH, Essen 1998
- [12] BUNN, E.; HARTMANN, O.: Kali- und Steinsalzaltbergbau im Bereich des Bergamtes Halle. - Exkurs. f. Veröfftl. GGW 205 (1999) S. 99 - 104