

## Verwahrungsgrundsätze im Altbergbau \*

Dr.-Ing. habil. G. Meier

Ingenieurbüro Dr. G. Meier, Wegefath/Freiberg

### Zusammenfassung

Die sanierungstechnische Bearbeitung von Gefährdungsbereichen im Altbergbau erfolgt effektiv nur in der Kombination von Erkundung und Verwahrung. Die Gefahrenreduzierung und -beseitigung ist durch eine Vielzahl von Sicherungs- und Verwahrungstechnologien auf der Basis allgemeingültiger Sanierungsgrundsätze objektspezifisch möglich. Die Verwahrung gewährleistet den höchsten und dauerhaftesten Sicherheitseffekt sowie die geringsten Einschränkungen bei der Geländenutzung. Mittels geotechnischer Bewertungen wird der Verwahrungshorizont bestimmt und geeignete Verfahren zur Herstellung eines angepassten Verwahrungskörpers ausgewählt. Die Beachtung der Holz- und Wasserproblematik ist eine grundlegende Voraussetzung für den Erfolg von Sanierungsmaßnahmen im Altbergbau. In einer abschließenden Verwahrungsdokumentation werden textlich, risslich und bildlich die Bearbeitungsetappen und das Verwahrungsergebnis dargestellt.

### 1. Problemstellung

Durch Schadensereignisse über Altbergbau oder im Ergebnis von bergschadenkundlichen Analysen heben sich Gefährdungszonen hervor, die zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit oder zur gefahrlosen und uneingeschränkten Nutzung der Geländeoberfläche einer Sanierung bedürfen. Die Beseitigung oder maßgebliche Reduzierung dieser Gefahrenmomente in Altbergbaugebieten machen in Abhängigkeit von der Nutzung der Geländeoberfläche und den spezifischen Gegebenheiten der vorhandenen Bergbau- und Hohlraumsituation sehr differenzierte Bergsicherungsarbeiten unumgänglich. Diese Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen werden wie folgt unterteilt: <sup>1</sup>

- **Erstsicherung** (auch **vorläufige Sicherung** genannt): Umgehende Absicherung von Schadensbereichen zur Abwendung einer weiteren Gefährdung für Leib und Leben sowie Sachwerten (z. B. durch Warnband, Bauzaun, Beschilderung).

---

\* Veröffentlicht in: Tagungsband 1. Altbergbau-Kolloquium, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg , 08. - 09.11.2001, S. 5 - 17, VGE Verlag Glückauf GmbH, Essen 2001

- **Dauerhafte Sicherung:** Das Schadensereignis oder Altbergbaurelikt wird nicht grundlegend beseitigt oder verändert. Die Gefährdung der öffentlichen Sicherheit wird durch haltbare Sicherungsmaßnahmen, wie z. B. massive Zäune, Abdeckung aus Stahlbeton, Einbau von Formkörpern in vertikale Tagesöffnungen, Erdwälle, Netze, Hecken, Geotextil, Ab- und Ummauerung und Verfüllungen, über einen begrenzten Zeitraum (Jahre bis Jahrzehnte) beseitigt oder maßgeblich reduziert. Periodische Kontrollen oder Monitoring sind fester Bestandteil dieser Sanierungsmaßnahmen.
- **Verwahrung:** Dauerhafte, wirkungsvolle und wartungsfreie Maßnahme zur vorbeugenden Abwehr und Beseitigung von Schäden oder anderer nachteiliger Einwirkungen auf die Geländeoberfläche oder grundlegenden Reduzierung von möglichen Gefährdungspotentialen, die durch Grubenbaue oder sonstige Altbergbaurelikte verursacht werden. Der Umfang und die Art der Maßnahme ist der bestehenden oder geplanten Nutzung der Geländeoberfläche angepasst. Die Haltbarkeit sollte langzeitwirksam mehrere hundert Jahre betragen oder bergbauzweigspezifisch auch länger (mindestens jedoch  $\geq 100$  Jahre). Als Sanierungsmaßnahme werden z. B. erhärtender oder nicht erhärtender Versatz, Betonplombe, Stahlbetonplatte, Gewölbe und Dämme eingesetzt.

Zwischen den aufgeführten Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen sind Kombinationen möglich. Im allgemeinen unterliegen diese vorrangig bergmännischen Spezialleistungen einer bergbehördlichen Aufsicht. Die Dauerhaftigkeit und der Wirkungsgrad, aber auch die Aufwendungen der verschiedenen Maßnahmen zur Gewährleistung und Wiederherstellung der öffentlichen Sicherheit nehmen von der Erstsicherung zur Verwahrung sprunghaft zu.<sup>2</sup>

Die Verwahrung ist das Kernstück der praktischen Bergsicherungstätigkeit. Sie ist jedoch ohne baubegleitende geotechnisch-bergschadenkundliche Erkundungs-, Vermessungs- und Bewertungsmaßnahmen nicht effektiv durchführbar, auch wenn Bergschadensanalysen als wichtige Arbeitsgrundlage vorliegen. Bei unzugänglichen Hohlräumen fehlen ausreichende Kenntnisse zur Geometrie, zu den Wasserverhältnissen und zum Zustand sowie zum Deckgebirge. Die aktuell gewonnenen geotechnisch-bergschadenkundlichen Erkundungsergebnisse stellen jedoch die Basis für die konkreten und objektbezogenen Verwahrungskriterien dar. Der Komplex - Erkundung und Verwahrung - bildet deshalb nicht nur aus fachspezifischen Erfordernis sondern auch aus Wirtschaftlichkeitsgründen eine untrennbare Einheit.

Die Bergsicherungsarbeiten im Altbergbau basieren einerseits auf allgemeingültigen Verwahrungsgrundsätzen, andererseits modifizieren die Besonderheiten des jeweiligen Bergbauzweiges mit den historisch-technologischen, lagerstättenspezifischen und ingenieur- und hydrogeologischen Gegebenheiten sowie vor allem auch die Größe und Tiefe des Hohlraumes das Sanierungskonzept. Eine grundlegende Klassifikation der Grubenbaue des

Ruhrgebietes nach der Teufe gibt HOLLMANN<sup>3</sup>, die sich auch in der Bergsicherungspraxis als Orientierungsgröße bewährt hat.

- *Tagesnaher Bergbau:* Tagesöffnungen und Grubenbaue von 0 bis 40 m ± 10 m Tiefe
- *Oberflächennaher Bergbau:* Grubenbaue von 40 bis 60 m ± 10 m Tiefe
- *Tiefer liegender Bergbau:* Grubenbaue > 60 m Tiefe

Nach dieser teufenabhängigen Klassifikation lassen sich die Mehrzahl aller Verwahrungsarbeiten im Altbergbau dem tagesnahen Bereich zuordnen.

In allen Altbergbaubereichen stellen offene Tagesöffnungen der unterschiedlichsten Art, verbruchgefährdete tagesnahe Hohlräume und Schadensereignisse wie Tages- und Schachtverbrüche die Bearbeitungsschwerpunkte für die Verwahrung dar. Die Beseitigung von Verbrüchen und Bodensenkungen überwiegt im allgemeinen gegenüber prophylaktischen Maßnahmen zu Gefahrenabwehr.

Für die Verwahrung besitzt das Grubengebäude als Ganzes in den einzelnen Bergbauzweigen eine unterschiedliche Bedeutung. Eine große Rolle in der Gesamtbetrachtung spielt das Grubengebäude beim Fluten der Baue im Bereich wasserlöslicher Gesteine, wie z. B. im Salz- und Kupferschieferbergbau. Auch beim dauerhaften Erhalt der Entwässerung der Grubenbaue und zur Vermeidung von Standwasserbildungen besteht Untersuchungs- und Bewertungsbedarf. Auf die Problematik der Ansammlung von Radon oder anderer Gase und deren jahreszeitliche Zirkulationsmechanismen insbesondere in Bebauungsgebieten sei an dieser Stelle hingewiesen.

Im Ergebnis der Erkundung und geotechnisch-bergschadenkundlichen Bewertung der Dauerstandfestigkeit der Grubenbaue zeigt sich auch, für welche Hohlräume überhaupt eine Verwahrungsnotwendigkeit besteht und welche Verwahrungskriterien in Abhängigkeit von der Art der Geländenutzung anzusetzen sind.

## **2. Verwahrungshorizont**

Gemäß der Zielstellung einer Verwahrung sollen durch geeignete technischer Maßnahmen mögliche Gefahrenpotentiale des Bergbaus für die Geländeoberfläche dauerhaft beseitigt oder zumindest maßgeblich reduziert werden. Die Auswahl einer effektiven Verwahrungstechnologie sowohl im Locker- als auch im Festgesteinsbereich setzt eine ausreichende Kenntnis zum konkreten Hohlraum, zur bergbaulich beeinflussten Gebirgszone und zum Deckgebirge voraus. Neben den geometrischen Verhältnissen des zu verwahrenden Grubenbaus sind die geotechnischen und hydrogeologischen Verhältnisse von entscheidender Bedeutung. Anhand einer ingenieurgeologischen Dokumentation der Gebirgsparameter unter Beachtung der teufenbezogenen Situation können Gebirgsabschnitte ausgegliedert werden, die vor allem im Fels geeignet sind, dauerhaft tragende Elemente aufzunehmen. Im

allgemeinen wirkt diese Zone als Auf- oder Widerlager für bautechnische Verwahrungselemente, z. B. für Stahlbetonplatten, Gewölbe oder Betonplomben. Dieser statisch wirksame Verwahrungshorizont ist der Gebirgsbereich, der alle anfallenden Kräfte dauerhaft aufnimmt und in das anstehende Nebengestein ableitet. Auch für den Einbau eines Versatzkörpers im Lockergesteinsbereich muss ein Verwahrungshorizont nachgewiesen werden. Aus diesen Sachverhalten ist ersichtlich, dass sich an einen Verwahrungshorizont sehr unterschiedliche geotechnisch-bergschadenkundliche Anforderungen stellen. Grundsätzlich gilt, dass das Grubengebäude unterhalb des Verwahrungshorizontes unverändert verbleibt. Keine nachteiligen Einflüsse auf die Dauerstandssicherheit und Funktionalität des Verwahrungshorizontes einschließlich des Verwahrungskörpers dürfen deshalb von diesen abgeworfenen Grubenbauen ausgehen. Eine geotechnisch-bergschadenkundliche Bewertung bildet hierfür die Grundlage.

Die Tiefenlage einer Verwahrungsmaßnahme unterliegt vor allem geotechnisch-bergschadenkundlichen Kriterien, woraus sich keine pauschalen Verwahrungstiefen ableiten lassen. Im Festgesteinsbereich herrschen im allgemeinen Tiefen der Verwahrungszone von Oberfläche Fels bis in etwa 30 m vor. Vor allem bei Kali- und Salzschächten mit ihrer Karstspezifik ergeben sich größere Tiefenlagen und besondere Anforderungen an den Verwahrungshorizont einschließlich an die Langzeitbeständigkeit des Verwahrungskörpers.

Im Lockergestein sind Tiefen bis ca. 60 m und mehr keine Seltenheit. Als ein Kriterium für die Festlegung der Verwahrungstiefe wird auch das Auftreten von Tagesbrüchen herangezogen.<sup>4</sup> Grundsätzlich sind Verwahrungsmaßnahmen in der frostfreien Zone auszuführen.

Im Rahmen der Dokumentation und Bewertung der Eigenschaften des Verwahrungshorizontes haben sich angepasste ingenieurgeologische Kartierungsmethoden als besonders effektiv erwiesen. Im Fels wurden hierfür auch spezielle Auswerteverfahren von Bohrkernen entwickelt.<sup>5</sup> Grundsätzlich sind diese ingenieurgeologischen Unterlagen auch Bestandteil der komplexen Verwahrungsdokumentation.

Eine schwierige Situation ergibt sich, wenn bei einem Sanierungsvorhaben unzureichende Gebirgseigenschaften für einen Verwahrungshorizont vorgefunden werden. In vielen Fällen schafft bereits eine Änderung der vorgesehenen Verwahrungsart Abhilfe, da auch die unterschiedlichen Varianten verschieden hohe Anforderungen an einen Verwahrungshorizont stellen, um das geforderte Verwahrungsziel zu erreichen. Eine weitere Möglichkeit ergibt sich durch den Einsatz von geotechnischen Spezialverfahren wie z. B. Pfähle, Anker oder Injektionen, um sich einen geeigneten Verwahrungshorizont zu schaffen oder die Eigenschaften einer Gebirgszone so zu verbessern, dass sie die erforderlichen Kriterien erfüllen.

Pauschale Empfehlungen können hier nicht gegeben werden, da die notwendigen Verwahrungsaufwendungen auch maßgeblich von der vorhandenen oder vorgesehenen Nutzung der Geländeoberfläche abhängen. Auch Kombinationen mit dauerhaften

Sicherungsmaßnahmen oder sogar Nutzungseinschränkungen sind möglich. Auch bereits existierende Verwahrungen können den heutigen Sicherheitskriterien nicht mehr genügen, Nutzungsänderung an der Tagesoberfläche oder Alterungs- und Verschleißprozesse können dann eine neue Verwahrung oder auch „Nachverwahrung“ erforderlich machen.

### **3. Verwahrungsvarianten und -technologien**

Unter der Zielstellung der Dauerhaftigkeit und hohen Wirksamkeit von Verwahrungsmaßnahmen sind bei der Auswahl möglicher Sanierungsvarianten und -technologien folgende Kriterien und objektspezifische Sachkenntnisse zu beachten:

- Bergbauzweig und dessen Besonderheiten (z. B. Locker- und Festgesteine, auslaugbare Gesteine)
- Ingenieur- und hydrogeologische Situation einschließlich Schichtenfolge, Deckgebirgseigenschaften und Lagerstättenverhältnisse
- Abbautechnologie, Alter des Bergbaus, Aus- und Einbauten, Versatz, bereits durchgeführte Verwahrungsmaßnahmen
- Vorhandene Einwirkungen auf die Geländeoberfläche und Verbruch- bzw. Deformationsszenarien
- Art, Größe und Tiefe des zu verwahrenden Grubenbaus (z. B. Schacht, Abbau, Strecke) und dessen horizontale und vertikale Verbindungen
- Eigenschaften des vorgesehenen Verwahrungshorizontes
- Wasser- und Gasverhältnisse
- Nutzung der Geländeoberfläche

Nur auf der Grundlage ausreichender Kenntnisse zu den o. g. Kriterien können effektiv aus der Vielzahl bewährter Standardtechnologien und geotechnischer Spezialverfahren geeignete Verwahrungsvarianten ausgewählt und dem jeweiligen Objekt angepasst werden. Durch die Komplexität der konkreten geotechnisch-bergschadenkundlichen Problemstellungen herrschen deshalb modifizierte Einzelfalllösungen vor, deren ingenieurtechnische Bearbeitung auch Erfahrungen des Ingenieurs voraussetzt.

Bei der Sanierung von Altbergbau kommen folgende grundlegenden Verwahrungsvarianten zu Einsatz:

- Erhärtender und nicht erhärtender Versatz (z. B. Beton, Dämmen, Schotter, Sand)
- Bautechnische Maßnahmen (z. B. Betonplombe, Stahlbetonplatte, Damm, Gewölbe, Brücke)
- Sondermaßnahmen (z. B. Injektion, Pfahl, Anker, Sprengung)

Durch den Einbau von Versatz sollen nachteilige Einwirkungen der Hohlräume auf die Geländeoberfläche (Tagesbruch, Schachtverbruch, Senkung) dauerhaft verhindert werden. In Abhängigkeit von der Art der Geländenutzung, der Hohlraumgeometrie, der Deckgebirgs- und Wasserverhältnisse sowie der Versatzmedien werden Voll- und Teilversatz mittels unterschiedlicher Technologien eingebracht. Häufig ist eine sichere Verplombung oder Verdämmung des Versatzes zu den horizontal und vertikal angrenzenden Grubenbauen erforderlich. Als Verwahrungshorizont wirkt hier der gesamte zu versetzende Hohlraum. Durchdringt bereits das Auflockerungs- und Verbruchgeschehen das Deckgebirge, so ist dies in die Erkundung und Verwahrung mit einzubeziehen. Der Versatzeinbau sollte stets systematisch und kontrollfähig erfolgen. Das Entweichen von Luft und Wasser ist zu ermöglichen. Als Kontrollverfahren sind vor allem Massenbilanzen, Bohrungen, untertägige Befahrungen sowie Foto- und Fernsehsondierungen einschließlich Qualitätsprüfungen am Versatz in Anwendung.

Die bautechnischen Sanierungsvarianten umfassen alle Maßnahmen, die nach statischen und geometrischen Gesichtspunkten dimensionierte Mauer-, Beton- und Stahlbetonkörper zur Verwahrung anwenden. Hohe Anforderungen werden dabei an den Verwahrungshorizont gestellt, da hiervon maßgeblich der Erfolg und die Dauerhaftigkeit der Maßnahme abhängt. Eine ingenieurgeologische Abnahme und Dokumentation des vorbereiteten Verwahrungshorizontes ist deshalb fester Bestandteil einer ingenieurtechnischen Baubetreuung. Häufig werden aus Effektivitätsgründen bautechnische Verfahren mit anderen Sanierungsvarianten, wie beispielsweise mit Versatz, kombiniert.

Eine bewährte und häufig verwendete bautechnische Technologie ist der Einbau von Betonplomben der unterschiedlichsten Art als Verwahrungskörper in Schächten der Festgesteinszone (Bild 1).<sup>6</sup>

Anhand von Standardtechnologien werden jeweils objektbezogene Anpassungen durchgeführt. In Anlehnung an diese Technologien werden auch horizontale Betonriegel in tagesnahe Gangabbaue eingebaut.

Hohe Anforderungen an den Verwahrungshorizont stellen Stahlbetonplatten, wenn sie als Verwahrungsmaßnahme und nicht nur als dauerhafte Sicherung anerkannt werden sollen.<sup>7</sup>

Verstärkt kommt bei Verwahrungsarbeiten die Injektionstechnologie zum Einsatz. Über Bohrungen werden Verfüll-, Verfestigungs- und Abdichtungsmaßnahmen realisiert. Insbesondere bei Hohlraum- und Schachtverfüllungen sind auch die Kriterien für einen Verwahrungshorizont sowie die Holz- und Wasserproblematik zu beachten. Eine Erfolgskontrolle ist besonders kritisch durchzuführen.

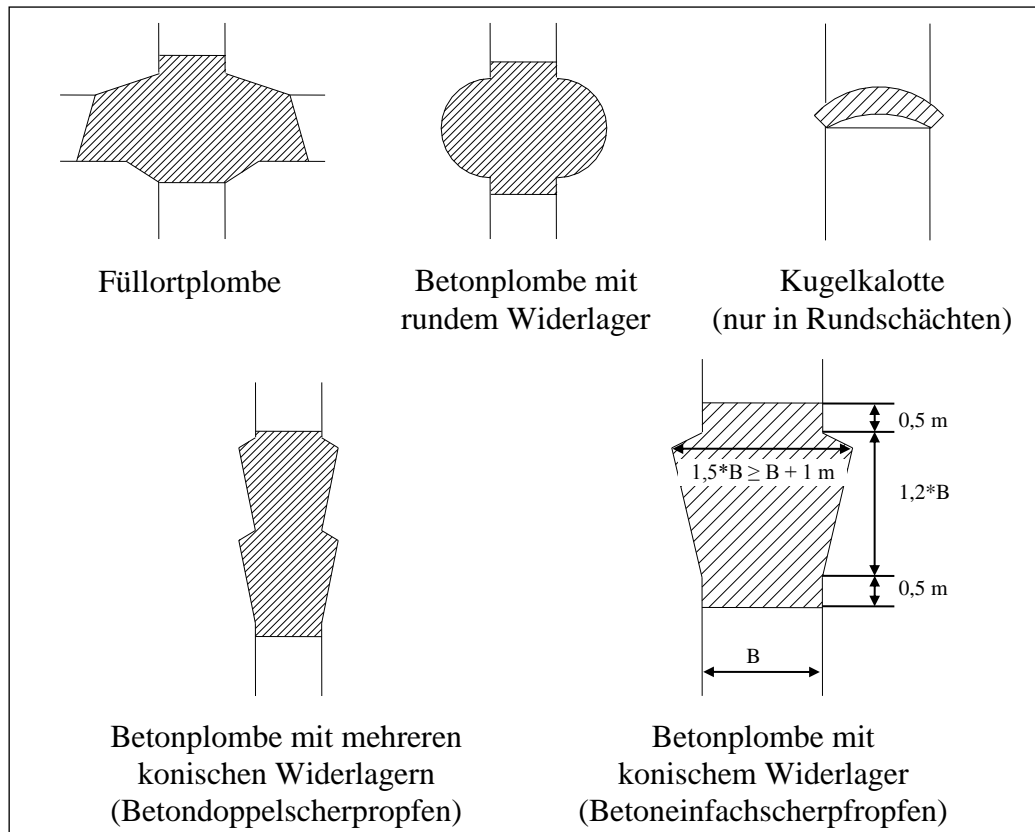


Bild 1: Schematische Darstellung von verschiedenen Formen massiver Betonplomben

Als ein neues Feld für die Verwahrung eröffnet sich der Einsatz von Geotextilien, wobei hier verstärkt Übergänge zur dauerhaften Sicherung der Geländeoberfläche vorliegen.

#### 4. Holz- und Wasserproblematik

Vor allem im Bereich des jüngeren Altbergbaus (z. B. Altwismutbergbau, Braunkohlentiefbau) verblieben in den Abbauen, Strecken und Schächten Unmengen an Holz durch Aus- und Einbauten. Bei Verwahrungsmaßnahmen und insbesondere beim Versatz lässt das Altholz keine vollständige Hohlräumverfüllung zu. Durch das sich zersetzende Holz (Verwesung, Fäulnis) kommt es zu erheblichem Volumenschwund und damit zu Verbrüchen, erhöhten Wasserzirkulationen und damit zu Auswirkungen auf die Geländeoberfläche. Bei günstigen Konservierungsbedingungen für das Holz (z. B. Standwasser) kann aber auch der Ausbau mehrere hundert Jahre erhalten bleiben und seine Funktionalität größtenteils erfüllen. Über dem Grundwasserspiegel ist die Funktionalität des Holzbaus bereits nach mehreren Jahrzehnten nicht mehr vorhanden, wobei der Holzkörper als Volumen im allgemeinen noch existieren kann (Bild 2).

Diese Holzproblematik zeigt sich deutlich beispielsweise an vollständig verfüllten Schächten des Altwismutbergbaus mit verbliebenem Holzbaus. Eine Berechnung der maximalen Absenkungen von Versatzsäulen bei vollständigem Volumenschwund des Holzbaus ergibt unter Berücksichtigung von Schachttiefen zwischen 40 und 250 m sowie rechteckigen, lichten

Schachtquerschnitt von 2 bis 2,5 m x 2,5 bis 5 m folgende Richtwerte für die prozentuale Absenkung der Versatzsäule bezogen auf die Gesamttiefe des Schachtes:

- Voller Schrot                      20 ... 30 %
- Sparschrot                         8 ... 15 %



Bild 2: Holzausbau in einer Strecke des Altwismutbergbaus (Alter ca. 50 Jahre)

Folgende Bedingungen wurden der Berechnung zugrunde gelegt:

- Das Ausbauholz besitzt eine mittlere Kantenlänge von 200 mm, der Verzug ist 40 mm stark.
- Es liegt eine völlig verfüllte Schachtröhre vor.
- Der Schachtausbau ist vollständig hinterfüllt.
- Es wurden keine verbliebene Holzeinbauten berücksichtigt (z. B. Fahrtenbühnen, Vertonnung, Wandruten).
- Es treten keine geohydraulischen Verformungen und kein Ausfließen von Versatz aus der Schachtröhre in Strecken, Abbauen und Füllörter auf.

Da im allgemeinen Kombinationen zwischen vollem Schrot und Sparschrot zur Ausführung kamen, ist beispielsweise bei einem 100 m tiefen Schacht mit einer möglichen Absenkung durch vollständigen Holzvolumenschwund des Ausbaus mit ca. 15 m zu rechnen.



Eine grundlegende, dauerhafte und kontrollfähige Problemlösung bei Verwahrungsmaßnahmen ist dem Wasser zuzuordnen. Einen Schwerpunkt im Altbergbau stellen wasserführende Stollen dar, deren Funktionalität dauerhaft und kontrollfähig herzurichten ist. Grundsätzlich sollte durch Verwahrungsmaßnahmen kein größerer Wasserstau erzeugt werden.

Auch bei Altbohrungen sind die Schäden bevorzugt an die Wasserproblematik gebunden. Abdichtungsmaßnahmen unter Berücksichtigung der anstehenden Grundwasserhorizonte sollten stets fester Bestandteil der Sanierungsmaßnahmen sein.

Bei der Verwahrung von unterirdischen Hohlräumen nicht bergbaulichen Ursprungs (z. B. Bergkeller), insbesondere unter dem urbanen Bebauungsbereich, ergeben sich besonders hohe Anforderungen an die Verwahrungsqualität.

## **5. Verwahrungsdokumentation**

Jede Erkundungs- und Verwahrungsmaßnahme ist mit einer detaillierten Dokumentation abzuschließen. Dies setzt voraus, dass baubegleitend alle Erkundungsergebnisse und angepassten Sanierungsarbeiten dokumentiert werden. Die Kontrolle und Erfassung der Leistungen für die einzelnen Bearbeitungsetappen ist bei der Altbergbauverwahrung vor allem deshalb von qualitätsbestimmender Bedeutung, da der Verwahrungskörper und der Verwahrungshorizont nach Abschluss der Maßnahme nicht mehr direkt zugänglich und damit kontrollfähig sind.

Die Verwahrungsdokumentation enthält folgende Bestandteile:

- Textteil
- Vermessungstechnische Darstellungen (Riss, Schnitt, Sonderdarstellung)
- Bilddokumentation

Im Textteil werden die Veranlassung und das Ziel der durchgeführten Arbeiten dargelegt. Die Objektlage und der Zustand vor der Sanierung werden beschrieben sowie die verwendeten Unterlagen aufgelistet. Die durchgeführten Maßnahmen werden dargestellt, der Zeitraum der Bearbeitung angegeben, die Erkundungsergebnisse bewertet und die Art der Verwahrung erläutert. Es erfolgt die Bewertung der geotechnischen Eigenschaften des Verwahrungshorizontes bezüglich der Dauerhaftigkeit. Die Parameter und charakteristischen Eigenschaften der eingesetzten Bau- und Verfüllstoffe des Verwahrungskörpers werden beschrieben. Gütenachweise und Kontrollmaßnahmen der unterschiedlichsten Art werden als Anlage beigefügt. Abschließend sind die Erkundungs- und Verwahrungsmaßnahmen aus bergschadenskundlicher Sicht einzuschätzen, auf mögliche Nutzungseinschränkungen ist hinzuweisen.

Die vermessungstechnische Darstellung des Istzustandes hat hinreichend genau zu erfolgen. Grundsätzlich sind Verwahrungen höhen- und koordinatenmäßig zu erfassen. Grundriss und Schnitte sowie Sonderdarstellungen von Dokumentationen und Bohrergebnissen vervoll-

ständigen die Unterlagen. Durchgeführte Sanierungsmaßnahmen sollten grafisch auch in das vorhandene Gesamtgrubenbild eingefügt werden.

Die Bilddarstellungen geben einen Einblick in den Ablauf der einzelnen Bearbeitungsphasen der Verwahrung und dokumentiert die Qualität der Ausführung. Grundsätzlich werden Fotos verwendet, auch Videoaufnahmen kommen zum Einsatz. Hier stellt sich derzeit noch die Frage nach der Langzeithaltbarkeit der Medienträger.

### **Literaturverzeichnis**

---

<sup>1</sup> MEIER, G.: Grundsätze von Bergsicherungsarbeiten im Gangbergbau. - Wiss.-Techn. Info.-Dienst, Ges. f. Umwelt- u. Wirtschaftsgeol. mbH i. G. Berlin, 32 (1991) R.A, H.1, 69 S.

<sup>2</sup> MEIER, G.: Zu Verwahrungsgrundsätzen für Anlagen des Altbergbaues im Fels. - Neue Bergbautechnik 17 (1987) 2 S.76-79

<sup>3</sup> HOLLMANN, F.: Tagesnaher Bergbau und Bebauungsplanung im Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebiet. - Bergfreiheit, Bochum 33 (1968) S.109-117

<sup>4</sup> MEIER, G.: Numerische Abschätzung von Tagesbruchgefährdungen in Altbergbaugebieten.- Geotechnik, 13. Nat. Tag. F. Ing.-Geol. Karlsruhe (2001) S.95-100

<sup>5</sup> MEIER, G.: Ein repräsentatives Verfahren zur ingenieurgeologischen Bohrkernauswertung im Fels in Altbergbaugebieten. - Tagungsband 12. Nat. Tag. F. Ing.-Geol. Halle/S. (1999) S.192-199

<sup>6</sup> ECKARDT, D.: Ergebnisse von Untersuchungen über Schäden an stillgelegten Bergwerksanlagen - Freiburger Forschungshefte, A 526, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1973

<sup>7</sup> REUTER, F.; DÖRING, T.; MEIER, G.: Ein Vorschlag zur Schachtverwahrung mittels Stahlbetonplatten in einem Altbergbaugebiet. - Z. angew. Geol. Berlin 31 (1985) 9, S.232-235