

# **Empfehlung „Sicherungs- und Verwahrungsarbeiten im Altbergbau“**

*Arbeitskreis 4.6 „Altbergbau“ der Fachsektion Ingenieurgeologie in der DGGT*

*Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. - DGGT  
Deutscher Markscheider-Verein e.V. - DMV*

*Essen / Herne 2010*

*Veröffentlicht auf dem 10. Altbergbaukolloquium  
(04.-06.11.2010) in Freiberg / Sachsen*

# **Empfehlung**

## **„Sicherungs- und Verwahrungsarbeiten im Altbergbau“**

### **Zusammenfassung**

*Unter dem Dach des Arbeitskreises 4.6 „Altbergbau“ der Fachsektion Ingenieurgeologie der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT) und in Kooperation mit dem Deutschen Markscheiderverein e. V. (DMV) haben Fachleute aus Lehr- und Forschungseinrichtungen, Fachbehörden, Ingenieurbüros sowie Bergbau- und Sanierungsunternehmen ihre vielfältigen Erfahrungen auf dem Gebiet der Sicherungs- und Verwahrungsarbeiten zusammengetragen. Ziel dieser Empfehlung ist es, die grundlegenden Definitionen zu Sicherungs- und Verwahrungsarbeiten aufzuzeigen und die gegenwärtigen, dem Stand der Technik entsprechenden Kriterien bei bergtechnischen Maßnahmen prinzipiell zu beschreiben. Die vorliegende Empfehlung soll vor allem Ingenieurbüros und Fachfirmen, aber auch Behörden bei der Planung, Durchführung und Dokumentation von bergtechnischen Maßnahmen im Locker- und Festgesteinsbereich zur Herstellung der Sicherheit an der Tagesoberfläche über Altbergbau unterstützen.*

### **Vorbemerkung**

Der Arbeitskreis 4.6 „Altbergbau“ erarbeitet zu verschiedenen Schwerpunkten des Altbergbaus Empfehlungen. Sie sind Anleitungen zum einheitlichen und effizienten ingenieur- und bergtechnischen Umgang mit den altbergbaulichen, schadensrelevanten Hinterlassenschaften. Die differenzierten bergtechnischen Maßnahmen kommen zur Gewährleistung der Sicherheit insbesondere in Abhängigkeit von der Nutzung der Tagesoberfläche zum Einsatz.

Die vorliegende Empfehlung zu Sicherungs- und Verwahrungsarbeiten im Altbergbau behandelt den praktischen Teil der inhaltlich vielschichtigen Aufgabenstellung von bergtechnischen Maßnahmen im Locker- und Festgesteinsbereich. Sie baut insbesondere auf den Empfehlungen „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“ und „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Tagebaurestlöchern, Halden und Kippen des Altbergbaus“ auf.

## **1 Zielstellung**

Bei der Bearbeitung von altbergbaulichen Hinterlassenschaften stellen die Sicherungs- und Verwahrungsarbeiten im Ergebnis der geotechnisch-markscheiderischen Untersuchung und Bewertung den praktischen Schwerpunkt zur Beseitigung und Vermeidung von altbergbaulich bedingten Schäden dar. Durch häufig fehlende und unzureichende Datenbasis zum Altbergbau besteht bei den meisten bergtechnischen Maßnahmen eine untrennbare Einheit von Erkundung und Sicherung/Verwahrung. Mittels differenzierter bergtechnischer Maßnahmen werden die altbergbaulichen Erscheinungsbilder und deren Einwirkungsbereiche beseitigt, grundhaft verändert oder dauerhaft gesichert, um nachteilige Veränderungen an der Tagesoberfläche bei einer Nutzung auszuschließen und insbesondere die öffentliche Sicherheit nachhaltig zu gewährleisten. Grundsätzlich wird durch die bergtechnischen Maßnahmen im Unter- und Übertagebereich das Ausgangsrisiko auf ein akzeptables Restrisiko reduziert. Mittel- bis langfristig kann dann von einer zweckgebunden sicheren Nutzung der Tagesoberfläche in einem altbergbaulich beeinflussten Gebiet ausgegangen werden. In Abhängigkeit von den eingesetzten Maßnahmen sind dabei dauerhafte

Sicherungen und Verwahrungen zu unterscheiden. Als „Ewigkeitslast“ verbleibt jedoch in einem altbergbaulich überprägten Gebiet trotz hergestellter Sicherheit das altbergbaulich bedingte Restrisiko.

Die Empfehlung soll praxisorientierte, fachspezifische Grundlagen nach dem Stand der Technik aufzeigen und einen Überblick über die Herangehensweise bei den bergtechnischen Arbeiten im Altbergbau geben. Der Umfang der notwendigen Maßnahmen wird maßgeblich von der derzeitigen oder geplanten Nutzung der Tagesoberfläche bestimmt.

## 2 Begriffe

Bereits in den ersten beiden Empfehlungen des AK 4.6 „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“ von 2004 und „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Tagebaurestlöchern, Halden und Kippen des Altbergbaus“ von 2009 wurden wichtige Begriffe definiert. Auf sie wird in dieser Empfehlung aufgebaut. Bei einigen Definitionen war eine geringfügige Ergänzung notwendig:

### Grubenbaue

Alle bergmännisch angelegten Hohlräume zum Zwecke der Aufsuchung und Gewinnung von natürlichen Rohstoffen. Als wichtige Grubenbaue sind u. a. zu nennen: Schächte, Abbaue, Stollen, Strecken, Überhauen, Gesenke.

Sonstige bergmännisch angelegte Hohlräume (z. B. Tunnel, Bergkeller, Kavernen, Luftschutzanlagen) sowie Bohrungen und Brunnen sind äquivalent zu behandeln.

### Sanierung

Die Sanierung ist die Gesamtheit aller bergtechnischen Maßnahmen zur Herstellung der unter- und übertägigen Sicherheit im Einwirkungsbereich von altbergbaulichen Erscheinungsbildern.

Die Sanierung umfasst die Begriffe Sicherung und Verwahrung. In der Abbildung 1 sind die inhaltlichen Zusammenhänge grafisch dargestellt.

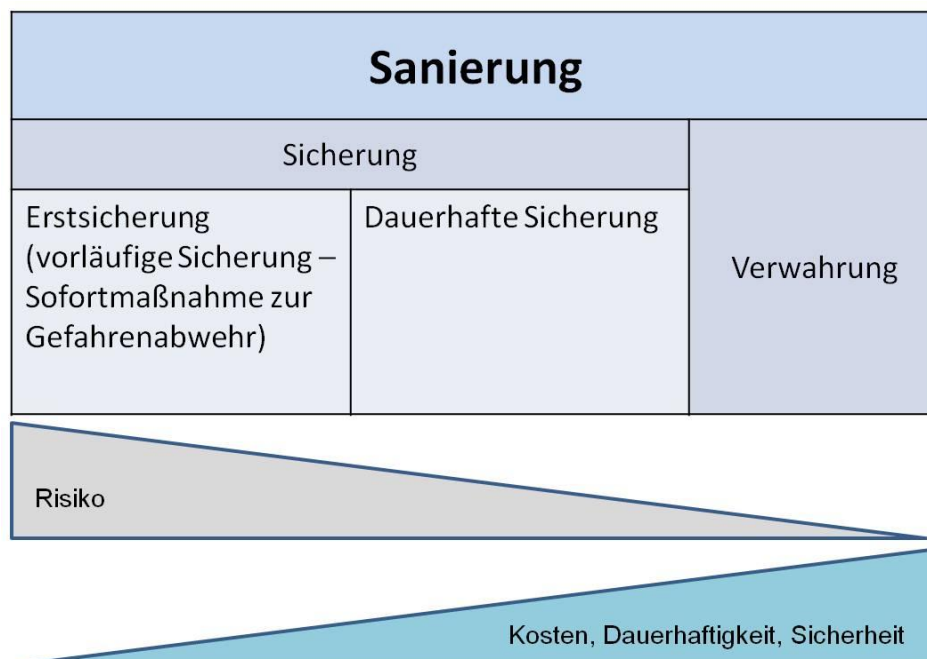


Abb.1 : Inhalte der bergtechnischen Sanierungsmaßnahmen

### **Erstsicherung (vorläufige Sicherung)**

Sofortmaßnahmen zur umgehenden Gefahrenabwehr im Rahmen der Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit bei altbergbaulichen Schadensereignissen, z. B. Absperrung mittels Warnband, Bau- oder Drahtzaun, Beschilderung, temporäre bergtechnische Maßnahmen. Auch eine sofortige Nutzungsänderung oder Evakuierung kann Bestandteil von Erstsicherungsmaßnahmen sein.

Monitoring und Unterhaltung der Erstsicherung sind in geeigneter Weise durchzuführen.

### **Dauerhafte Sicherung**

Gesamtheit aller Maßnahmen zur Abwehr von Schäden oder nachteiligen Einwirkungen auf die Tagesoberfläche (z. B. auf Leben und Gesundheit von Personen, bedeutende Sachwerte, Natur und Umwelt). Unter Berücksichtigung der Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit und der Nutzung der Tagesoberfläche wird jedoch die Schadstelle im altbergbaulichen Einwirkungsbereich nicht beseitigt. An den Erhalt der Wirksamkeit von Sicherungsmaßnahmen sind Monitoring und Unterhaltung gebunden, deren zeitliche Abfolge sich an den jeweiligen örtlichen Verhältnissen orientiert. Einer Entscheidung über Art und Umfang der im Einzelfall durchzuführenden dauerhaften Sicherungen geht eine geotechnisch-markscheiderische und hydrologische Bewertung der Situation voraus.

### **Verwahrung**

Gesamtheit aller Maßnahmen zur dauerhaften Abwehr von Schäden oder nachteiligen Einwirkungen auf die Tagesoberfläche. Das Bearbeitungsobjekt wird dabei in der Regel wesentlich verändert oder beseitigt. Der Umfang und die Art der Maßnahmen basieren auf einem hinreichend genauen geotechnischen und hydrogeologischen Erkenntnisstand zum Objekt. Die Maßnahmen sind der derzeitigen oder geplanten Nutzung der Tagesoberfläche anzupassen und nach dem jeweiligen Stand der Technik wartungs- und überwachungsfrei auszuführen (siehe DIN 21 913, Teil 6).

### **Verwahrungshorizont**

Gebirgszone mit nutzungsbezogener Dauerstandsicherheit außerhalb oder am Rand des altbergbaulichen Einwirkungsbereiches. In diesem geotechnisch-markscheiderisch und hydrogeologisch hinreichend bekannten Gebirgsniveau (Verwahrungsteufe) werden der oder die Verwahrungskörper (z. B. Betonplombe, Gewölbe, Stahlbetonplatte, Betondamm, Versatzkörper) eingebaut. Eine ingenieurgeologische Dokumentation und Bewertung dieser Gebirgszone ist die Voraussetzung für den Einbau von Verwahrungskörpern. Eine bohrtechnische Erkundung des Verwahrungshorizontes in Verbindung mit einer ingenieurgeologischen Bewertung ist als Eignungsnachweis zulässig.

Im Lockergestein befindet sich im Allgemeinen die Basis des Verwahrungshorizontes auf der unteren Sohle der Grubenbaue und reicht bis zur Tagesoberfläche. Die hydrogeologische Situation ist zu berücksichtigen.

Durch geeignete technische Verfahren (z. B. Daueranker, Injektionen, Pfähle, Schlitzwände) kann ein Verwahrungshorizont ertüchtigt werden.

### **Verwahrungskörper**

Bau-, berg- oder injektionstechnisch hergestellter Körper im Bereich des Verwahrungshorizontes zur Beseitigung von Schadstellen oder sonstigen altbergbaulichen Einwirkungen in Abhängigkeit von der Nutzung der Tagesoberfläche. Aufgaben- oder objektbezogen kommen Teilverfüllungen oder hohlraumfreie und sandwichartige Ausfüllungen sowie konstruktive Körper zur Ausführung. Eine Integration des vorhandenen dauerhaften Ausbaus in den Verwahrungskörper ist bei nachgewiesener Eignung möglich. Funktional bilden der Verwahrungshorizont und der Verwahrungskörper eine dauerhaft wirkende statische Einheit.

### 3 Geotechnisch-bergtechnische Randbedingungen

#### 3.1 Grubenwasser

##### 3.1.1 Grundlagen

Gleichzeitig mit der Betriebsstilllegung erfolgt in der Regel eine zumindest teilweise Flutung der Grubengebäude. Für die geotechnisch-bergtechnische Bearbeitung ist es von wesentlicher Bedeutung, ob der Grubenwasseranstieg bereits abgeschlossen ist (stationäres Regime) oder noch anhält (instationäres Regime). Es müssen unterschiedliche Einwirkungspotenziale auf die altbergbaulichen Hinterlassenschaften bei der Bewertung des Ist-Zustandes berücksichtigt werden (Tabelle 1).

Tab.1 : Grundlegende Daten bei der Bewertung der Grubenwässer

	Informationsquellen
Grubengebäude	Bergmännisches Risswerk
Grund-/ Grubenwasserspiegel	Betriebsdaten Hydrogeologische Karten Wasserstandsmessungen (z. B. Schächte, Bohrungen etc.) Wasserführende Stollen Grundwasserbarrieren
Hohlraumvolumen	Betriebsdaten Abschätzung über Bergmännisches Risswerk Abschätzung über Geschwindigkeit des Grubenwasseranstiegs (instationäre Phase)
Hydrochemische Verhältnisse	Betriebsdaten Hydrochemische Karten Probennahme aus Schächten, Bohrungen etc. und Analytik
Vorflutverhältnisse	Hydrologische Karten Kartierungen Abflussmessungen

Auf diesen Grundlagen können neben der Wasserbilanz für das Einzugsgebiet auch Prognosen des Grubenwasseranstiegs erstellt werden. Es können Extremereignisse simuliert und die Auswirkungen auf die altbergbaulichen Hinterlassenschaften beurteilt werden. Extreme Wasserverhältnisse an der Tagesoberfläche und ein unmittelbares Eindringen von Wassermassen durch Direktversturz in die Grubenbaue sind häufig Auslöser für Schadensereignisse.

Bei allen bergtechnischen Maßnahmen sind mögliche Standwasserbildungen einer sicherheitsrelevanten geotechnisch-markscheiderischen Betrachtung zu unterziehen.

Weiterhin ist eine Einschätzung zu den hydrochemischen Eigenschaften des Grubenwassers vorzunehmen. Folgende Parameter sind besonders zu beachten:

- Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase – Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte (DIN 4030-1 von 2008-06)
- Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase – Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben (DIN 4030-2 von 2008-06)

- Korrosion der Metalle; Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung; Rohrleitungen und Bauteile in Böden und Wässern (DIN 50929-3 von 1985-09)
- Lösungsprozesse (Karst)
- Oxidationsprozesse

In einigen Grubengebäuden ist auch der Einfluss von Thermalwasser zu beachten.

### **3.1.2 Grubenwasseranstieg (instationäre Phase)**

Im Rahmen der Passage durch die untertägigen Grubenbaue führen im Allgemeinen hydrochemische Prozesse zu einer Veränderung der Wasserqualität sowie zur Durchmischung von Wässern, die natürlicherweise nicht miteinander in Kontakt stehen. Darüber hinaus ist mit einer Beeinflussung der Wasserqualität durch Betriebswasser und Betriebsstoffe zu rechnen.

In der Prognose der zukünftigen Entwicklung der Wassersituation sollten mindestens die folgenden Kenngrößen und Zusammenhänge betrachtet werden:

- Anstiegsgeschwindigkeit und -niveau
- Standwasservolumen, Volumenbilanzen
- Künftige Vorflutsituation
- Langfristige hydrochemische Zusammensetzung (Betriebsstoffe, Lösungsprozesse etc.)
- Auswirkungen eines Grubenwasseranstiegs auf die Standsicherheit der altbergbaulichen Hinterlassenschaften sowie auf die Tagesoberfläche
- Mögliche hydraulische Fenster, Barrieren im Untergrund und Wasserleiter
- Wasserführende Stollen
- Geotechnische Eigenschaften von Locker- und Festgesteinen an Böschungen bezüglich Standsicherheit (z. B. Rutschung)
- Auswirkungen eines Grubenwasseranstiegs auf die Entgasung

#### **Standsicherheit**

Der Grubenwasseranstieg kann vielfältige Folgen auslösen. Beispiele möglicher Folgen wurden bereits in der Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“ exemplarisch aufgelistet.

Der chemischen Belastung von Oberflächengewässern kann bei konzentriert austretendem Grubenwasser durch eine entsprechende Behandlung oder Aufbereitung entgegengewirkt werden. Schwieriger gestaltet sich hingegen das Problem bei diffus in das Grundwasser übertretendem bzw. in Oberflächengewässer austretendem Grubenwasser. In solchen Fällen kann der Anstieg des Grubenwassers auf ein unkritisches Niveau z. B. durch eine dauerhafte Sicherung der Drainagefunktion einzelner Wasserlösestellen erzielt werden.

Durch das ansteigende Grubenwasser kann Grubengas aus Klüften oder Grubenbauen verdrängt werden. Es finden verstärkt Grubengasaustritte z. B. an der Tagesoberfläche statt (vgl. Kap. 3.2). Wenn der Wasserspiegel die Oberkante der Verwitterungsdecke erreicht hat, ist im Allgemeinen mit einem Nachlassen der Grubengasaustritte zu rechnen.

Als mögliche Verbruchbereiche im Stollen, die zu einem Verschluss des Stollenquerschnittes und damit zum Versagen seiner Drainagefunktion führen können, kommen hauptsächlich die am Stollen angeschlagenen Lichtlöcher und Schächte, die im unmittelbaren Stollenbereich geführten Abbaue, gebirgsbedingte Schwächezonen (z. B. Störungen) sowie der in der Regel nur unzureichend

standsichere Mundlochbereich mit geringer Überdeckung in Frage. Das Verbrechen des Hangenden kann Tagesbrüche an der Tagesoberfläche zur Folge haben. Ein möglicher Aufstau des Wassers im Stollen kann dadurch angekündigt werden, dass über einen längeren Zeitraum über das Stollenmundloch ein reduzierter oder gar kein Abfluss erfolgt. Infolge starker Strömungen während des schwallartigen Wasseraustrittes muss auch mit Auswirkungen auf die Stabilität des Grubengebäudes und der Schächte gerechnet werden. Derartige Szenarien müssen grundsätzlich für alle wasserführenden Stollen des Altbergbaus berücksichtigt werden.

Im Rahmen der Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen ist darauf zu achten, dass das bestehende Wasserregime im Hinblick auf die Strömungsverhältnisse und die hydrochemischen Verhältnisse durch die Maßnahmen selbst nicht ungünstig beeinflusst wird. Das bedeutet, dass zum Beispiel die Entwässerungsfunktion von Stollen dauerhaft aufrechterhalten werden muss, damit sich kein Rückstau bildet und das Wasser an anderer Stelle unkontrolliert austritt, den bisher trockenen Untergrund im Bereich von Kellern vernässt oder das oberflächennahe Grundwasser verunreinigt. Die Veränderung der Standsicherheit von Böschungen einschließlich von Halden und Kippen ist zu beachten.

Durch die Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen darf die Wasserqualität nicht verschlechtert werden, zum Beispiel durch Erhöhung der Aggressivität des Wassers. Es sind geeignete, ökologisch unbedenkliche Verfüllmaterialien zu wählen, die unter den gegebenen hydrochemischen Verhältnissen eine ausreichende Langzeitstabilität aufweisen. Wasserhaltungsmaßnahmen sind auch unter umweltrechtlichen und wasserrechtlichen Gesichtspunkten zu gestalten.

### **3.1.3 Stationäre Phase**

Auch nach dem Abschluss des Grubenwasseranstiegsprozesses (stationäre Phase) verbleiben gewisse Restrisiken. Dazu gehören u. a. umwelt- und wasserrechtliche Probleme durch Änderungen der Wasserzusammensetzung, Probleme bei der Ableitung des Wassers im Rahmen von Wasserhaltungsmaßnahmen, schwallartige und unkontrollierte Entlastung aus Stollenmundlöchern durch plötzliches Versagen von Strömungshindernissen oder Barrieren (z. B. Verbrüche, Schlitzwände, Injektionsschleier) sowie das Zersetzen von Ausbauelementen oder Entfestigung von tragenden Schichten durch aggressives Wasser. Schwankungen des Wasserstandes sind ebenfalls zu berücksichtigen.

## **3.2 Gase**

In vielen Bergbauzweigen, Revieren und Einzelgruben haben Gasaustritte aus der Lagerstätte und deren Ansammlungen, Gasbildungen bei der Zersetzung des Ausbauholzes oder als postvulkanische Erscheinungen eine erhebliche Einwirkung auf die Tagesoberfläche insbesondere dann, wenn eine Bebauung vorliegt. Im Rahmen der bergtechnischen Maßnahmen bei Sicherungs- und Verwahrungsarbeiten sind die Austritte und Ansammlungen ebenfalls sicherheitsrelevant. In der Tabelle 2 sind einige wichtige Gase zusammengestellt.

Tab.2 : Ausgewählte Gase und deren Eigenschaften im Altbergbau

Gasart	Lagerstätte/Herkunft	Eigenschaften	Grenz- und Richtwerte
Kohlenmonoxid CO	Flöz-, Halden-, Schwelbrände	sehr toxisch brennbar explosionsfähig	30 ppm
Kohlendioxid CO <sub>2</sub>	in allen Lagerstätten und Grubenbauen möglich organische Zersetzung	toxisch farblos im Wasser löslich	5000 ppm (0,5 Vol.-%)
Methan CH <sub>4</sub>	Steinkohle Braunkohle Kupferschiefer organische Zersetzung	farb- und geruchlos brennbar explosionsfähig	zwischen 4,4 und 16,5 Vol.-% und > 12 Vol.-% mit O <sub>2</sub> explosionsfähig oberhalb 16,5 Vol.-% und > 12 Vol.-% O <sub>2</sub> brennbar
Radon <sup>222</sup> Rn	Erzlagerstätte Steinkohle Kupferschiefer	farb- und geruchlos krebserregend	gemäß Richtwerte der Strahlenschutzverordnung
Schwefelwasser- stoff H <sub>2</sub> S	Steinkohle Braunkohle Kupferschiefer organische Zersetzung	toxisch farblos riecht nach faulen Eiern gut wasserlöslich	10 ppm (15 mg/m <sup>3</sup> )

### 3.3 Deckgebirge

Die geotechnischen Eigenschaften des Deckgebirges einschließlich dessen altbergbaulicher Überprägung, die hydrologischen Verhältnisse und die Grubengase bestimmen maßgeblich die effiziente Verwendbarkeit der verschiedenen Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen gemäß der Aufgabenstellung. Die geotechnischen und hydrogeologischen Eigenschaften des Deckgebirges stellen die Grundlage für die Eignungsbewertung eines Verwahrungshorizontes dar. Sie nehmen ebenfalls großen Einfluss auf die Arbeitssicherheit und den technologischen Ablauf der bergtechnischen Maßnahmen. Bergbauzweigbezogene, revier- und objektspezifische Besonderheiten sind hierbei grundsätzlich vor Aufnahme der bergtechnischen Arbeiten zu berücksichtigen.

### 3.4 Vorhandener Ausbau und Versatz

Vorhandener Ausbau und Versatz kann erst nach Eignungsprüfung in geplante Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen integriert werden. Der Nachweis ist durch direkte Erkundungsmethoden (Schurf, Schacht, Stollen, Kernbohrung) mit entsprechenden Labortests zu führen. Ein Verwahrungshindernis stellt Holz über dem Grundwasser durch den erheblichen Volumenschwund dar. Holz als Aus- und Einbauten unter Wasser kann im Allgemeinen als dauerhaft in seiner Funktionalität eingestuft werden. Zeitlich begrenzt in seiner Funktionalität ist Stahlausbau ohne Korrosionsschutz einzustufen. Die hydrogeologischen und geochemischen Randbedingungen sind grundlegende Indikatoren der Bewertung für die Dauerhaftigkeit von Ausbau und Versatz. Ein gutes Langzeitverhalten weisen im Allgemeinen Naturstein-, Beton- und Ziegelausbau auf. Ungeeigneter Versatz, desolater Ausbau oder alte Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen, die nicht den Eignungskriterien und der nutzungsorientierten Aufgabenstellung entsprechen, sind als Verwahrungshindernisse einzustufen und nach dem Stand der Technik zu überarbeiten.

Größere Abbaue mit Teilversatz und altem Sicherungsausbau, die durch Firtenstoß- und Strossenbau hergestellt wurden, stellen für Sicherungs- und Verwahrungsarbeiten sicherheitsrelevante Problemzonen dar, da sie in ihrer vertikalen Standsicherheit als sehr labil einzustufen sind.



Im Altbergbau erlangt der Versatz in Abhängigkeit vom Abbaufahren teils größere Bedeutung. In vielen Fällen ist er als Teilversatz aus Berge (Abraum, taubes Gestein, Aschen u. a.) anzutreffen. Im jüngeren Bergbau ist umfangreiche untertägige Versatzwirtschaft durch sogenannte „Bergmühlen“ möglich (z. B. Kalibergbau, Erzbergbau). Werden kontaminierte Versturzmassen (z. B. Munition, Chemikalien, Öle und Fette) angetroffen, sind Sondermaßnahmen erforderlich.

### **3.5 Bergbauzweigbezogene Besonderheiten und Bohrungen**

Grundsätzlich nehmen die geotechnischen Eigenschaften von Locker- und Festgestein maßgeblichen Einfluss auf die bergbauzweigbezogenen Besonderheiten bei der Sicherung und Verwahrung im Altbergbau. Folgende Schwerpunkte sind dabei besonders zu berücksichtigen:

- Geologie und Lagerstättenverhältnisse
- Deckgebirgseigenschaften und deren Beeinflussungen durch den Abbau einschließlich Einwirkungen von geodynamischen Prozessen (z. B. Verwitterung)
- Tektonik, Strukturgeologie und Karst
- Alter, Tiefe und Größe der Grubenbaue sowie Abbauepochen
- Abbautechnologien, Versatz und verbliebene Ein- und Ausbauten
- Grundwasserverhältnisse und wasserführende Stollen
- Gasentstehung und Migrationen
- Bereits durchgeführte Sicherungen und Verwahrungen
- Nachnutzungen der Grubenbaue und vorhandene bzw. geplante Oberflächennutzung

Bei den Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen im Kali- und Salzbergbau sind die Laugenzuflüsse in die Grubenbaue und Laugenausstritte an der Tagesoberfläche ein besonderes Problem.

Mit der technischen Entwicklung des Bohrwesens im 19. Jahrhundert wurden zunehmend Bohrungen zur Lagerstätten erkundung und als Produktionsbohrungen hergestellt. Durch die im Allgemeinen mangelhafte Verfüllung der Bohrungen stellen sie wirksame, aber unkontrollierte Verbindungen für Wasser, Gase und fließfähige Materialien einschließlich Versatzstoffe dar. Bohrlochverbrüche führen zu Tagesbrüchen, verbliebener Bohrlochausbau stellt ein tagesnahes Nutzungshindernis dar.

Grundwasserwiederanstiege und Flutungen von Grubenbauen und Tagebauen bedürfen bei Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen einer besonderen Beachtung. Der Einfluss auf bereits vorhandene Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen ist zu berücksichtigen.

## **4 Ingenieurgeologische Dokumentation und Bewertung des Verwahrungshorizontes**

Der Verwahrungshorizont muss zunächst im Rahmen einer geotechnischen Untersuchung bewertet werden. Die geotechnische Dokumentation sollte in Anlehnung folgender Normen erfolgen:

- DIN EN 1997-1 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1: 2004 + AC: 2009 (09.2009)

- DIN EN 1997-2 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds; Deutsche Fassung EN 1997-2: 2007 (10.2007)

Die Dokumentation soll ausreichende Erkenntnisse über die natürlichen und bergbaulich bedingten Verhältnisse des Verwahrungshorizontes liefern. Dazu gehören u. a. die Geologie, boden- bzw. felsmechanische Bemessungswerte sowie die Hydrogeologie. Darüber hinaus sollten auch Hinweise auf die geodynamische Veränderlichkeit des Verwahrungshorizontes berücksichtigt werden.

Die geotechnisch-markscheiderische Aufnahme der freigelegten Grubenbaue bildet die Bearbeitungs- und Entscheidungsgrundlage für die geotechnische Bewertung insbesondere des Verwahrungshorizontes und für die Auswahl eines geeigneten Sicherungsverfahrens bzw. Verwahrungskörpers. Daraus resultieren auch eine operative geotechnisch-markscheiderische Betreuung und eine objektbezogene Anpassung der Detailplanungen der bergtechnischen Maßnahmen. Die Abschätzung der geotechnischen Gebirgseigenschaften kann auf der Grundlage von Feld- bzw. Laboruntersuchungen sowie Schätzwerten aus Kennwerttabellen erfolgen. Die Anforderungen an Feld- und Laboruntersuchungen sind der DIN EN 1997-2 (10.2007) zu entnehmen.

In vielen Fällen ist der Verwahrungshorizont nicht mehr zugänglich; hier erfolgt im Allgemeinen eine bohrtechnische Erkundung. Kernbohrungen bieten dabei den größten Informationsgehalt. Sie erfordern jedoch eine detaillierte ingenieurgeologische Betreuung, Dokumentation und geotechnische Auswertung der Bohrkerne. Die Bohrarbeiten sind von einer erfahrenen Fachfirma auszuführen.

Die Untergrunderkundung mittels Kernbohrungen nach DIN EN ISO 22475-1 Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung (ISO 22475-1: 2006); Deutsche Fassung EN ISO 22475-1: 2006 (2007-1) ist ausführlich zu dokumentieren. Dazu gehören zum Beispiel seitens der ausführenden Bohrfirma Tagesberichte mit Bohrandruck, Bohrfortschritt, angetroffenen Hohlräumen, Spülverlusten und Bohrwasserständen. Die Bohrkerne sind in Kernkisten zu lagern und fotografisch zu dokumentieren. Die Boden- bzw. Gesteinsansprache muss durch einen ausgebildeten Geotechniker oder Ingenieurgeologen erfolgen. Bei Bedarf sind gestörte oder ungestörte Proben zu nehmen und Laboruntersuchungen zur Bestimmung der geotechnischen Kennwerte durchzuführen. Die Erkundungsmaßnahme ist in einem Lageplan und Profilen zu dokumentieren.

Die Untersuchung des Verwahrungshorizontes bildet die Basis für folgende weitere Bearbeitungsschritte:

- Dokumentation der Auf- bzw. Widerlager des Verwahrungskörpers
- Dokumentation der hydrogeologischen Verhältnisse
- Geotechnische Dimensionierung des Verwahrungskörpers
- Fachtechnische Entscheidung für weitere notwendige Erkundungsmaßnahmen

Im Fels erfolgt die ingenieurgeologische Abnahme von schonend hergestellten Auf- und Widerlagern nach einer gründlichen Säuberung der Gesteinsoberfläche. Folgende wichtige Parameter sind im Bereich des Verwahrungshorizontes zu erfassen sowie qualitativ und quantitativ zu beschreiben:

- Petrografische Verhältnisse, z. B. Gesteinsart, Gangmaterial
- Lagerungsverhältnisse im Gebirge, z. B. Faltenstrukturen

- Strukturgeologische Kennwerte, z. B. Lagebestimmung der Klüfte und Störungen, Kluftbelag und Kluftabstände in Abhängigkeit von den Hauptkluftrichtungen
- Verwitterungsspuren und -intensität, z. B. Umbildung von Mineralien
- Bewertung der Festigkeitseigenschaften von Gestein und Gebirge
- Bewertung der geogenen und anthropogenen Auflockerungsfaktoren und wirksamen geodynamischen Prozesse
- Hydrogeologische Situation, z. B. Wasserzutritte, Chemismus (Stahl- und Betonaggressivität), Wasserstände, Wasserwegigkeit, Grubenwasseranstieg
- Bewertung der Existenz möglicher nahe liegender Grubenbaue und deren Einfluss auf den Verwahrungshorizont, z. B. Abgänge in einem Schacht unterhalb einer gesetzten Plombe, Gebirgsbewegungen
- Bereits durchgeführte Erkundungs-, Sicherungs- und Verwahrungsarbeiten

Das Deckgebirge einschließlich Halden und Restlöcher über dem gesamten altbergbaulich bedingten Einwirkungsbereich des zu verwahrenden Grubenbaus ist in die Standsicherheitsbetrachtung und bei Erfordernis in die Verwahrung mit einzubeziehen. Die Auflockerung des Deckgebirges ist zu bewerten. Dabei sind insbesondere Deformations- und Verbruchprozesse sowie Einflüsse durch den Grubenwasseranstieg bei der Flutung des Grubengebäudes und von Tagebaurestlöchern zu berücksichtigen.

Im Lockergestein erfolgt in vielen Fällen die Bewertung des Verwahrungshorizontes mittels Kernbohrungen und Schürfen oder es liegen genügend dokumentierte Altaufschlüsse vor. Insbesondere stellt sich die Frage nach möglichen Verbindungen innerhalb des Grubengebäudes und dessen hydraulischen und chemischen Verhältnissen.

Folgende wichtige geotechnische Parameter der Deckschichten sind im Lockergestein zu beschreiben:

- Petrografie und Lagerungsverhältnisse
- Bodenmechanische Bewertung, z. B. Parameter je Gesteinsschicht
- Hydrogeologische Situation, z. B. Grundwasserverhältnisse, Chemismus, Auswirkungen von Grubenwasseranstiegen und -absenkungen
- Bewertung der geogenen und anthropogenen Auflockerungsfaktoren und wirksamen geodynamischen Prozesse
- Räumliche Anordnung der Grubenbaue und deren möglicher Einfluss auf den Verwahrungshorizont
- Einschätzung abgelaufener oder/und aktiver Verbruchprozesse, Tagesbrüche und sonstiger Deformationen
- Bereits durchgeführte Erkundungs-, Sicherungs- und Verwahrungsarbeiten

Die Bewertung erfolgt in einem geotechnischen Bericht auf der Grundlage der bergbaulichen Hintergründe und Randbedingungen sowie einer Auswertung der Erkundung. Darin muss auch die Herkunft der angegebenen Boden- und Gesteinskennwerte (z. B. Festigkeit, Witterungsbeständigkeit, Kluft- bzw. Porenräume etc.) dokumentiert sein.

Die Darstellung der Dokumentationsergebnisse erfolgt grafisch in Form von Grundrissen und Schnitten. In einer Dokumentationsbeschreibung werden die Ergebnisse in kurzer Form textlich zusammengefasst. Geomechanische oder bodenmechanische Standsicherheitsberechnungen können

dem Bericht bei Bedarf beigelegt werden. Eine ausführliche Fotodokumentation ergänzt die Unterlagen.

Schließlich erfolgt ein fachlich begründeter Vorschlag zu Sicherungs- oder Verwahrungsmaßnahmen vor dem Hintergrund der vorgenommenen Bewertung des Verwahrungshorizontes. Gegebenenfalls muss durch geeignete technische Verfahren und Maßnahmen ein Verwahrungshorizont geschaffen bzw. ertüchtigt werden.

## **5 Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen**

### **5.1 Einsatzbereich**

Die geotechnisch-markscheiderisch ausgewiesenen Einwirkungsbereiche an der Tagesoberfläche der verschiedenen altbergbaulich bedingten Erscheinungsbilder bilden die konkreten Ansatzpunkte für die bergtechnischen Maßnahmen. Diese Arbeiten sind grundsätzlich nur in Kombination von indirekten und direkten Erkundungsmaßnahmen und bergtechnischen Arbeiten effizient. Alle bergtechnischen Tätigkeiten zur Herstellung der Sicherheit sind unter Berücksichtigung der jeweiligen Nutzung der Tagesoberfläche stets zweckorientiert. Ändern sich die Nutzungsverhältnisse, sind die Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen der jeweiligen Nutzung neu anzupassen. Der Wirkungsbereich aller Arbeiten ist räumlich exakt abzugrenzen und zu definieren.

Durch die Verwahrungsarbeiten werden die altbergbaulichen Erscheinungsbilder verändert. Eine spurenlose Beseitigung der altbergbaulichen Hinterlassenschaften ist nur durch eine vollständige Beseitigung der beeinflussten Gebirgsschichten möglich und nur in Ausnahmefällen realisierbar. Bei allen Sicherungs- und Verwahrungsarbeiten ist die Herstellung der Sicherheit das Ziel, jedoch verbleibt stets in einem altbergbaulich beeinflussten Gebiet ein Restrisiko.

### **5.2 Erstsicherung**

Die Erstsicherung oder auch vorläufige Sicherung wird umgehend im Rahmen der Gefahrenabwehr zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit durchgeführt. Als Erstsicherung kommen folgende Gefahrenabwehrmaßnahmen zur Anwendung:

- Beschilderung, Umgrenzung: z. B. mittels Warnband, Seil, Stacheldraht, Holzstangen, Bauzaun u. a.
- Durch die im Allgemeinen anfänglich vorhandene Unkenntnis des möglichen Einwirkungsbereiches des altbergbaulichen Erscheinungs- bzw. Schadensbildes sind die äußeren Absperrgrenzen großzügig zu wählen.
- Temporäre bergtechnische Sofortmaßnahmen im Rahmen der weiteren Gefahrenabwehr und Schadensbegrenzung sind objekt- und schadensspezifisch möglich, z. B. bautechnische Abstützung von Wänden, Fundamentunterfangung, Einsatz von Pumpen, Schüttung von Wällen, Auffüllung von Verbrüchen mittels Sand, Kies oder Schotter. Bei einem unkontrollierten Verströmen mit erhärtendem Versatz (z. B. Beton) wird in den meisten Fällen ein Verwahrungshindernis geschaffen und die Wasserwegigkeit grundhaft gestört.
- Durch die begrenzte Haltbarkeit und Zerstörungsanfälligkeit sind kurzperiodische Kontroll-, Unterhaltungs- und Monitoringmaßnahmen (z. B. Nivellements, Rissmonitore und lasertechnische Überwachungen u. ä.) vorzusehen.

### 5.3 Dauerhafte Sicherung

Die Zielstellung einer dauerhaften Sicherung an altbergbaulichen Erscheinungsbildern ist die mittel- bis längerfristige Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit bei einer meist eingeschränkten, aber sicheren Nutzung der Tagesoberfläche. Die Haltbarkeit und volle Funktionalität der Maßnahmen soll Jahre, Jahrzehnte oder länger betragen.

Fester Bestandteil ist ein Monitoringprogramm. Die Kontrollintervalle sind objekt- und nutzungsspezifisch festzulegen.

Eine dauerhafte Sicherung kann über- und untertägige berg- und bautechnische Maßnahmen umfassen.

Folgende Einzelmerkmale sind für eine dauerhafte Sicherung charakteristisch:

- Schad- bzw. Risikostelle wird nicht beseitigt.
- Art und Umfang setzen geotechnisch-markscheiderische und hydrogeologische Bewertungen voraus
- Monitoring und periodische Unterhaltung
- Bei einer Nachnutzung von Grubenbauen ist stets eine dauerhafte Sicherung erforderlich.

Tab.3 : Übersicht über bergtechnische Maßnahmen zur dauerhaften Sicherung

Altbergbauobjekte	Bergtechnische Maßnahmen	Charakteristik und Einsatzbereiche
offener oder unsicher verfüllter Schacht mit standsicherem Schachtkopf	Stahlbetonplatte mit statischem Nachweis, mit Kontroll- und Nachfüllluke, mit/ohne Entgasungsvorrichtung bauliche Umhausung des Schachtkopfes (sog. „Orlasverschluss“) Partielle Injektion der Verfüllmassen im Schacht mit und ohne Anker, injektionstechnischer Einbau von auffüllbaren Geokunststoffkörpern, Schachtkopfsicherung (z. B. Verpresspfähle, HDI, Ausbauverstärkung)	Einsatz in Bereichen ohne direkte Überbauung, jedoch stets mit Umgrenzung und Beschilderung  Begehbarkeit zu Kontroll- und Unterhaltungszwecken erforderlich
alle altbergbaulichen Erscheinungsbilder	stabiler Zaun, Seilabspernung, Erdwall, Graben, Hecke, Wände aus unterschiedlichen Materialien	z. T. sehr zerstörungsanfällig
Verfüllung von Schächten, Verbrüchen, Restlöchern u. ä.	Kontrollierte Verfüllung des Grubenbaus unter Verwendung von Haldenberge und Abraum mit Aufhügelung, Umgrenzung	Einsatz außerhalb einer unmittelbaren Überbauung, mit vertikalen Bewegungen des Verfüllkörpers muss stets gerechnet werden. Umgrenzung und Beschilderung

Anmerkung: Bei einer dauerhaften Sicherung sollte der Einsatz von erhärtendem Versatz (z. B. Beton) grundlegend geprüft werden, da er bei einer späteren Verwahrung ein erhebliches Verwahrungshindernis darstellen kann.

Bei den dauerhaften Sicherungsmaßnahmen sind noch über- und untertägige Sicherungsbereiche zu unterscheiden. Der **übertägige Sicherungsbereich** umfasst den Einwirkungsbereich um

altbergbaubedingte Schadstellen und Risikozonen an der Tagesoberfläche, z. B. offene oder unsicher verfüllte Schächte, Tagesbrüche, Schachtverbrüche, Stollen und Böschungen. An offenen und zugänglichen Grubenbauen (z. B. Stollen, Schächte) besteht häufig die Forderung nach biotoperhaltenden Sicherungsmaßnahmen, z. B. für Lurche, Fledermäuse, Insekten.

Dem **untertägigen Sicherungsbereich** können Grubenbaue mit verringerter Standsicherheit (z. B. tagesnahe Abbaue, Strecken, wasserführende Stollen) und Grubenbaue, die nachgenutzt werden (z. B. Gas- und Wassergewinnungsanlagen, untertägige Geothermieanlagen, Lagerräume, Besucherbergwerke) zugeordnet werden.

In der Tabelle 3 sind die bergtechnischen Maßnahmen für eine dauerhafte Sicherung zusammengestellt.

In der Abbildung 2 sind zwei Beispiele für dauerhafte Schachtkopfsicherungen im Steinkohlenbergbau schematisch dargestellt.

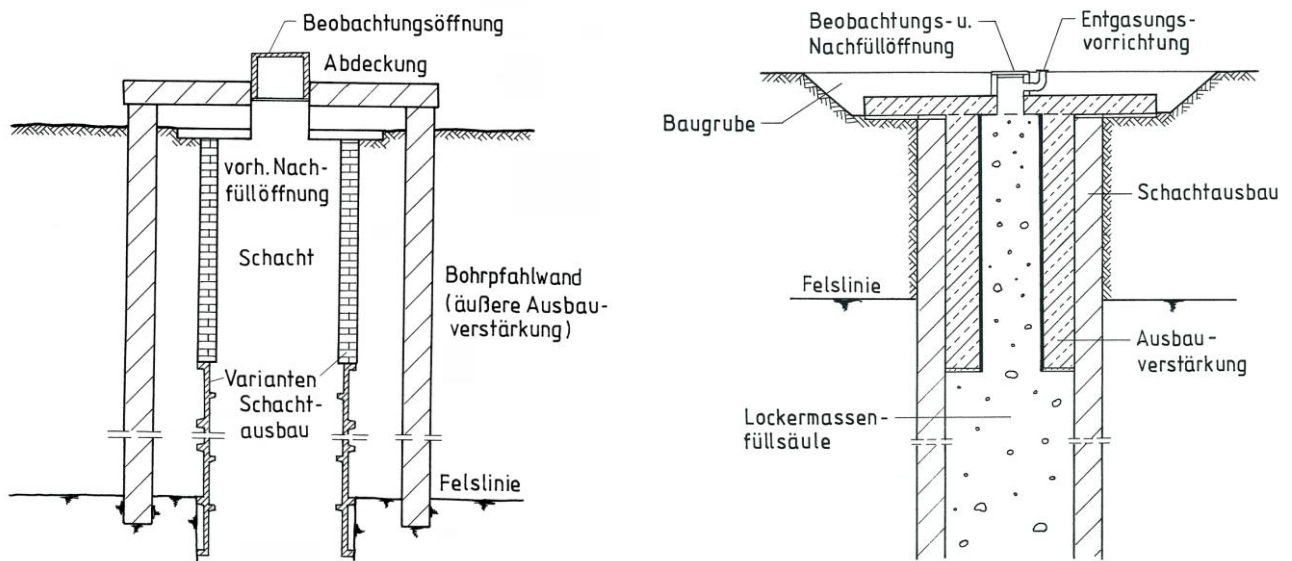


Abb.2 : Schematische Schnitte von dauerhaften Schachtkopfsicherungen im Steinkohlenbergbau (vereinfacht)

## 5.4 Verwahrung

Die Verwahrung umfasst die Gesamtheit aller über- und untertägigen bergtechnischen Maßnahmen zur dauerhaften Abwehr und Beseitigung von Schäden im Altbergbau. Das Altbergbauobjekt wird dabei wesentlich bergtechnisch verändert oder weitestgehend beseitigt. Art, Umfang und Wirksamkeit der Maßnahmen müssen der aktuellen oder geplanten Nutzung der Tagesoberfläche angepasst werden. Kernstücke sind die Nutzung eines dauerstandsicheren Verwahrungshorizontes und eines langzeitstabilen Verwahrungskörpers (Abbildung 3).

Die bergtechnischen Maßnahmen werden nach dem Stand der Technik unterhaltungs- und überwachungsfrei ausgeführt. Alle Verwahrungsmaßnahmen sind grundsätzlich im frostsicheren Niveau anzulegen. Auslaugbare und wassereränderliche Gesteine sind nur unter bestimmten Bedingungen als Verwahrungshorizont geeignet.

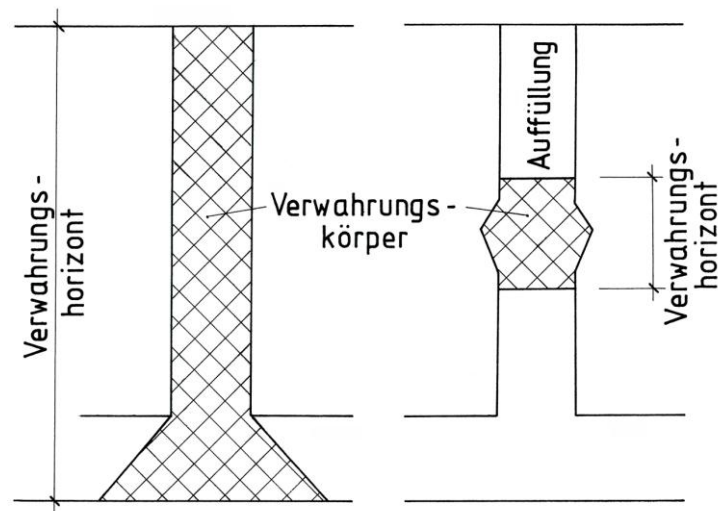


Abb.3 : Schematische Darstellung von Verwahrungshorizont und Verwahrungskörper

Folgende grundlegenden Varianten und Technologien kommen bei der Verwahrung im Altbergbau zum Einsatz:

- Kontrollierter Einbau von erhärtendem und nicht erhärtendem Versatz, z. B. Beton, Mörtel, Filterasche, Dämmen, Schotter, klassierte Haldenberge (Abbildungen 4 und 5)
- Bautechnische Maßnahmen, z. B. Betonplomben (Abbildung 6), Betonriegel (Abbildung 7), Stahlbetonplatte, Betondamm, Gewölbe, Brücke
- Sondermaßnahmen, z. B. Injektion, Hochdruckinjektion, Pfähle, Schlitzwand, Daueranker, Sprengung (nur in Ausnahmen)

Folgende Kriterien sind für die Auswahl der Verwahrungsvariante zu berücksichtigen:

- Bergbauzweig und dessen Besonderheiten, z. B. Einfluss und Wirkung von wasserlöslichen Gesteinen (z. B. Kali- und Salzbergbau, Kupferschieferbergbau)
- Ingenieur- und hydrogeologische Situation
- Einfluss von geodynamischen Prozessen, z. B. Auslaugung, Verwitterung
- Lagerstätten- und Deckgebirgsverhältnisse
- Abbautechnologie, Alter und Abbauepochen, Aus- und Einbauten, Versatz, alte Sicherungen und Verwahrungen
- Verbruch- bzw. Deformationsszenarien
- Art, Größe, Form und Tiefe des zu verwahrenden Grubenbaus und dessen räumliche Verbindungen
- Eigenschaften des Verwahrungshorizontes
- Wasser- und Gasverhältnisse, Einwirkungen bei Wasserstandsänderungen
- Vorgesehene Nutzung der Tagesoberfläche

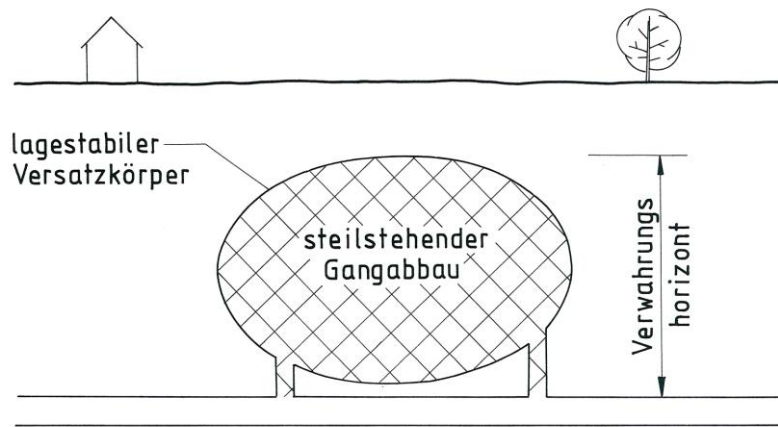


Abb.4 : Schema zum Einbau eines lagestabilen Versatzkörpers in einem Gangabbau

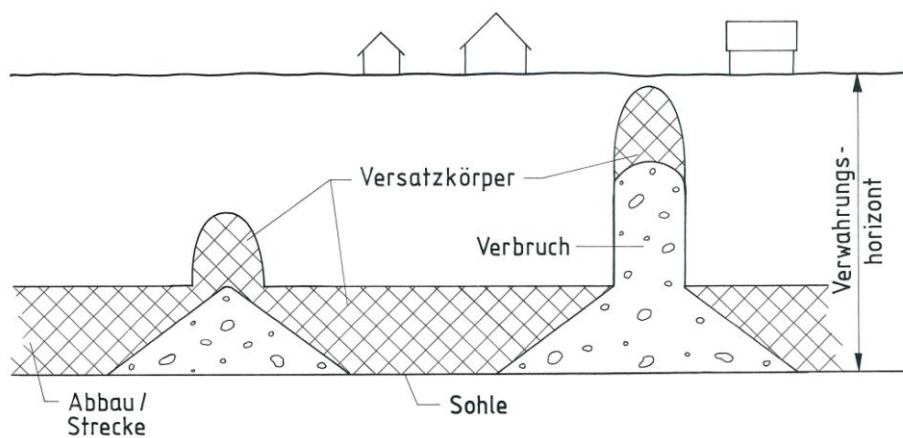


Abb.5 : Der kontrollierte, hohlraumfreie Einbau von Versatzkörpern stabilisiert das Deckgebirge und stoppt die Verbruchentwicklung, z. B. im Braunkohlentiefbau  
Abb.6 :

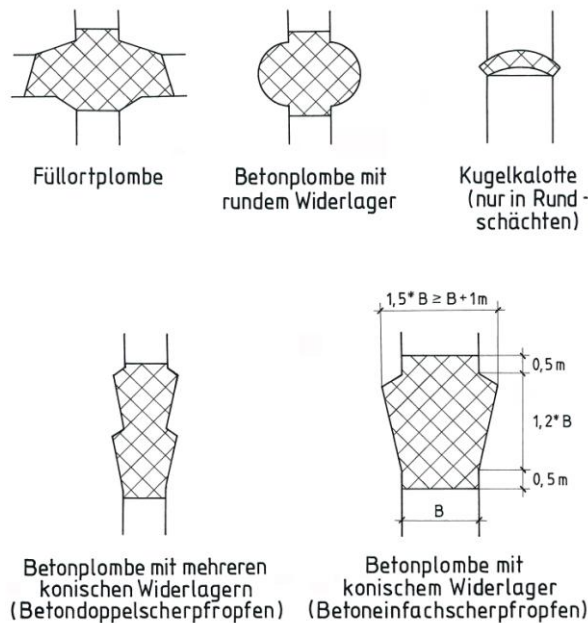


Abb.7 : Schematische Darstellung von Betonplomben zur Schachtverwahrung



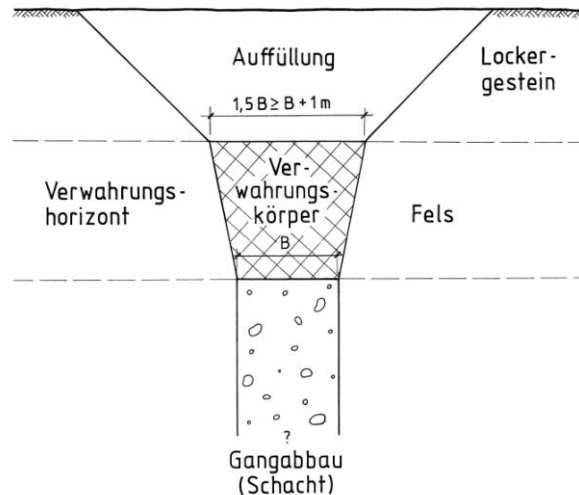


Abb.8 : Schema für den Einbau eines Betonriegels in durchgebauten Gängen und in kleineren Schächten bei geeignetem Fels (in Anlehnung an Betonplombe mit konischem Widerlager)

In Abhängigkeit vom altbergbaulichen Erscheinungsbild können auch Kombinationen verschiedener Verwahrungsvarianten zum Einsatz kommen. Jede Variante für sich muss jedoch die notwendigen Verwahrungskriterien erfüllen.

Der Verwahrungserfolg ist durch geeignete Maßnahmen (z B. Kernbohrungen, Wasserdurchlässigkeits-Test u. a.) nachzuweisen.

## 6 Dokumentation von Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen

Im Ergebnis der durchgeführten Sicherungs- und/oder Verwahrungsmaßnahmen ist eine abschließende Dokumentation zum gesamten Vorgang zu erarbeiten, die alle wesentlichen geotechnischen, hydrogeologischen, hydrochemischen, markscheiderischen, altbergbaulichen und bergtechnischen Informationen zusammenfasst. Anhand dieser textlichen Ausarbeitungen und risslichen Darstellungen sollte der Sicherungs- bzw. Verwahrungsvorgang auch später lückenlos reproduzierbar sein. Ältere Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen im Bearbeitungsbereich sind zu beachten. Die Leistungsgrenzen sind exakt zu markieren und deren Festlegung zu begründen. Volumenbilanzen und der Verfüllungsgrad bei Versatzarbeiten sollte Bestandteil der Dokumentation sein. Auf mögliche Einflüsse von lagerstättenbedingten Gasbildungen ist hinzuweisen. In Karstgebieten sind die möglichen Überschneidungen von Altbergbaueinwirkungen und Auslaugungsprozessen zu berücksichtigen.

Auf verbleibende spezifische Risiken oder Nutzungseinschränkungen des bearbeiteten altbergbaulich bedingten Einwirkungsbereiches ist zu verweisen. Für die grafische Darstellung bilden die Normen für das Bergmännische Risswerk (DIN 21 901 bis DIN 21 921) und insbesondere die DIN 21 913-6: Bergmännisches Risswerk; Tiefbau; Teil 6: Verwahrung bergmännisch hergestellter Hohlräume (2004-07) die Grundlage.

Die Dokumentation von Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen stellt das Kernstück für nachfolgende sicherheitsrelevante Bewertungs- und Entscheidungsvorgänge an bergtechnisch bearbeiteten, altbergbaulich bedingten Einwirkungsbereichen dar:

- Entscheidungsgrundlage für Bebauungsplanungen bzw. Nutzungsänderungen
- Grundlage für die Erstbewertung von aufgetretenen altbergbaubedingten Einwirkungen auf die Tagesoberfläche und für die Festlegung von Erstsicherungsmaßnahmen
- Bewertung der Dauerhaftigkeit und Funktionalität von vorhandenen Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen beim Wiederanstieg des Grundwassers oder bei Wasserstandsschwankungen
- Langzeitfunktionalität und Wirkungsweise von wasserführenden Stollen im Bearbeitungsbereich

Nachfolgende Grobgliederung einer Dokumentation für bergtechnische Maßnahmen zur Sicherung oder/und Verwahrung ist jeweils im Detail an das konkrete Altbergbauobjekt anzupassen:

1. Veranlassung und Ziel der Arbeiten
2. Allgemeine Angaben zum Objekt und verwendete Unterlagen
3. Markscheiderische Arbeiten und Erstellung des Risswerkes
4. Geotechnisch-bergbauliche Situation
  - 4.1 Lage und Zustand des Objektes vor der Bearbeitung
  - 4.2 Bergbauliche Verhältnisse
5. Durchgeführte Maßnahmen, Erkundungsergebnisse und Art der Sicherung / Verwahrung
  - 5.1 Aufwältigungsarbeiten und Erkundungsergebnisse
  - 5.2 Sicherungs-/ Verwahrungsmaßnahmen
  - 5.3 Ergebnisse der Verwahrungskontrolle
6. Beurteilung der eingesetzten Bau- und Verfüllstoffe
7. Zeitraum der Bearbeitung und ausführende Firmen
8. Geotechnisch-markscheiderische Einschätzung zur Nachnutzung des gesicherten / sanierten Bereiches
9. Anlagenverzeichnis

Bilddokumentation  
Anlagen

Der Dokumentation sind folgende Unterlagen beizufügen:

- Ausschnitt aus der topografischen Karte M: 1 : 10 000 (wenn nicht vorhanden, dann als Verkleinerung aus der Deutschen Grundkarte DGK 5 M: 1 : 5 000)
- Katastersituation M: 1 : 1 000
- Lageplan M: 1 : 50 bis 1 : 500 (im Lageplan sind die Flurstücksgrenzen mit darzustellen.)
- Schnitte M: 1 : 50 bis 1 : 500 (entsprechend Lageplan) mit Darstellung der technischen Maßnahmen
- Prüfprotokolle, sonstige Qualitätsnachweise, Bohrprotokolle
- Standsicherheitsnachweise
- Abnahmeprotokolle

Die ingenieurgeologische Abnahme des Verwahrungshorizontes ist in die Dokumentation einzuarbeiten oder als Anlage beizufügen. Wichtige Bearbeitungsschritte und Abnahmen von standsicherheitsrelevanten Gebirgszonen sind fotografisch festzuhalten. Die Dokumentation ist den jeweils zuständigen Behörden vorzulegen.

### **Liste der Autoren der Empfehlung**

Dr. R. Bergner	Dipl.-Geol. P. Maasewerd
Dipl.-Ing. K. Büttner	Dr.-Ing. habil. G. Meier (Obmann des Arbeitskreises)
Dipl.-Ing. M. Geuer	Dipl.-Ing. H. Mühlenbeck
Dipl.-Ing. O. Heinke	Prof. Dr.-Ing. D. Placzek
Dr.-Ing. M. Heitfeld	Dipl.-Ing. H. G. Schramm
Dipl.-Ing. U. Hoppe	Dipl.-Chem. J. Schreyer
Dipl.-Ing. G. Jost	Dipl.-Ing. P. Steinmetz
Prof. Dr.-Ing. H. Klapperich	Dipl.-Geol. D. Tondera
Dipl.-Ing. J.-P. Lux	