

Eine neue Verwahrungsmethode von Schächten in Locker- und Halbfestgesteinen*

Günter Meier

ZUSAMMENFASSUNG :

Die Verwahrung von Schächten des Altbergbaues in Locker- und Halbfestgesteinen ist durch die reduzierte Stabilität des Verwahrungshorizontes nach der herkömmlichen Technologie des Einbaus von Scherbetonpfropfen nicht dauerhaft gegeben. Unter Beachtung der Nutzung der Tagesoberfläche lassen sich jedoch verschiedene geotechnische und bergtechnische Sicherungsarten im kraftschlüssigen Verbundsystem zusammenfassen, wodurch die Kriterien einer Verwahrung erfüllt werden. Die Effizienz dieser neuen Methode wird durch das Einbinden des Sicherungsausbaus beim Aufwältigen des Schachtes in die Systemverwahrung erhöht. Anwendungsgrenzen zeigen sich derzeit durch einen sehr hohen Grundwasser-Stand und eine geringe Konsistenz der anstehenden Gesteine.

ABSTRACT:

Numerous mineshafts are sunk in unconsolidated or soft rocks. Due to the reduced stability of in-situ rock, the conventional technology of placement a concrete plug at a certain horizon is not given permanently. Considering the use of day surface various supporting systems, both geotechnical and mining-constructional, may be summarized in a friction-lock interconnected system, whereby the criteria of a long-term securing are fulfilled. The efficiency of this new method is increased by integration the constructional shaft support system during clearing out of the mineshaft. Currently, limitations are shown in some regions, affected by high ground-water level and low consistency of in-place rocks.

* Veröffentlicht in: Tagungsband 11. Altbergbau-Kolloquium, Wrocław 03. - 05.11.2011, S. 71 - 78, VGE Verlag GmbH, Essen 2011

1 Problemstellung

In vielen historischen Altbergaurevieren, wie beispielsweise des Stein- und Braunkohlenbergbaues sowie des Kupferschieferbergbaues, besitzen die tagesnahen Gebirgsschichten in den meisten Fällen nicht die erforderlichen geotechnischen Eigenschaften für einen ausreichend tragfähigen und dauerhaft standfesten Verwahrungshorizont bezüglich einer kraftschlüssigen Einbindung kompakter Verwahrungskörper gemäß der Empfehlung des AK 4.6 „Altbergbau“ [1]. Insbesondere für eine uneingeschränkte Nutzung der Tagesoberfläche reichen dauerhafte Sicherungsmaßnahmen oft nicht aus oder schränken die Nutzung erheblich ein. Im Rahmen der derzeitigen Praxis werden in diesen Schächten durch bohrtechnische Maßnahmen Verfüll- und Injektionsarbeiten ausgeführt, durch die eine Beseitigung von Resthohlräumen und eine Stabilisierung der Verbruch- und Versturzmassen erzielt werden soll. Die Kriterien für eine Verwahrung werden jedoch durch diese sichernden Maßnahmen meist nicht ausreichend erfüllt und es verbleiben zumindest ein Monitoring und damit Einschränkungen für die Nutzung der Tagesoberfläche [2].

Bei diesen punktuellen bohrtechnischen Maßnahmen ist ebenfalls der Nachweis einer vollständigen Verfüllung und die Herstellung einer langzeitstabilen, verfüllten Schachtröhre in den meisten Fällen nicht gegeben. Hierbei ist das Holzproblem in den Schächten über dem Grundwasserspiegel ein großes Hindernis [3]. Alternativ werden aufwändige bautechnische Überbrückungsmaßnahmen notwendig, wobei auch nur die Kriterien für eine dauerhafte Sicherung erreicht werden. Aufgrund dieser Sachlage für Gebirgszonen, die als Locker- oder Halbfestgestein anzusprechen sind, stellte sich die Frage nach bergtechnischen Möglichkeiten, die die Kriterien einer Schachtverwahrung erfüllen. Unter Berücksichtigung der revier- und objektspezifischen altbergbaulichen und geotechnischen Gegebenheiten sowie der vorgesehenen Nutzung der Tagesoberfläche lassen sich jedoch verschiedenartige langzeitstabile berg- und geotechnische Sicherungs- und Verwahrungstechnologien zu einem Systemverbund zusammenschließen, wodurch die Kriterien einer Verwahrung erfüllt werden. Die dabei eingesetzten dauerhaft wirkenden geo- und bergtechnischen Sanierungsverfahren sind aufeinander abzustimmen und kraftschlüssig zu einem tragenden System langzeitstabil zu verketteten. Dabei sind die vorhandenen geotechnischen und hydrogeologischen Gleichgewichtsstrukturen zu berücksichtigen und auf einem ausgeglichenen Niveau dauerhaft zu belassen.

An mehreren Schächten des historischen Erz-, Stein- und Braunkohlenbergbaues wurde dieses Prinzip der „**Systemverwahrung**“ in den letzten Jahren erfolgreich eingesetzt.

2 Beschreibung der „Systemverwahrung“ von Schächten

Die Systemverwahrung ist somit eine komplexe Verzahnung von verschiedenen dauerhaften berg- und geotechnischen Sicherungs- und Verwahrungstechnologien unter Berücksichtigung der ingenieur- und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich von Schächten in Locker- und Halbfestgesteinen. Es werden dabei dauerhaft wirkende Stabilisierungstechnologien untereinander in Form einer kraftschlüssigen Verkettung mit einer speziellen Auswahl von Baustoffen in Verbindung mit einer Ertüchtigung des Verwahrungshorizontes kombiniert. Als Kernstück dieser Komplexmaßnahmen wird ein geeigneter Verwahrungskörper gemäß den bewährten Technologien als Plombe nach geometrischen Randbedingungen oder als Stahlbetonplatte nach statischen Kriterien dimensioniert. Es ist auch möglich, alten Schachtausbau, z. B. aus Stahl oder Mauerwerk, nach seiner Zustandsprüfung und erforderlichenfalls seiner Ertüchtigung in das Gesamtsystem als weiteren Stabilisierungsfaktor einzubinden.

Der Einsatz dieser Verwahrungsmethode setzt eine ausreichende Kenntnis der geotechnischen, hydrogeologischen und altbergbaulichen Objektverhältnisse und deren ingenieurgeologischen Umfeld sowie der Materialeigenschaften der eingesetzten Baustoffe voraus. Stets bestimmt die Nutzungsart der Tagesoberfläche die Auswahl der einzusetzenden Verfahren und Technologien. Es wird dabei grundsätzlich angestrebt, die vorhandenen Dauerstandeigenschaften des ausgewählten Verwahrungshorizontes zu verbessern und die eingebrachten Lasten auf eine möglichst große Fläche ausgleichend zu verteilen. Die Gleichgewichtsunterschiede sind langzeitstabil zu minimieren. Der Verwahrungshorizont kann beispielsweise zusätzlich durch Daueranker, Dauernägel, Verpresspfähle und Verfestigungsinjektionen stabilisiert und ertüchtigt werden.

Der Grundwasserstand setzt für eine Systemverwahrung Grenzen. Einerseits bildet die Lage des Grundwassers eine Barriere, da eine temporäre Absenkung des Grubenwassers meist nicht durchführbar ist. Andererseits sollte die Verwahrung bis zum Grundwasser-Spiegel reichen, um die holzkonservierenden Eigenschaften und die stabilisierende Wirkung des Grubenwassers zu nutzen. [3] Daraus ergibt sich aber die Notwendigkeit, einen möglichst dauerhaft stabilen Grundwasser -Horizont zu belassen.

Liegt der Bergwasserspiegel sehr tief und wird in höher liegenden Horizonten die Systemverwahrung realisiert, so ist der Holzvolumenschwund zu berücksichtigen. Dies setzt eine bohrtechnische Erkundung der Schachtröhre vor der Aufnahme der Sanierungsarbeiten voraus. Dabei wird der Anteil des Holzes im unteren, unveränderten Teil der Schachtröhre näherungsweise bestimmt. Der ermittelte Holzvolumenumfang wird unterhalb des Verwahrungskörpers noch als Volumen aus der alten, kleineren Schachtröhre entnommen. Dieser Teil der alten Schachtröhre wird mit bewehrtem Spritzbeton stabilisiert und mit Schotter aufgefüllt. Rutscht die unter dem Schotter befindliche Schachtröhre durch Holzvolumenschwund nach, stabilisiert die nachrutschende Schottersäule den ungesicherten Schachtabschnitt. Nach den bisherigen Erfahrungen an kleinen bis mittleren Altbergbauschächten, z. B. des Kupferschieferbergbaues, war hierfür eine Schottersäule von ca. 3 m Höhe ausreichend.

3 Verwahrungsbeispiele

3.1 Kupferschieferbergbau

Ausgelöst durch einen Schachtverbruch mit Fahrzeugschaden im unmittelbaren Straßenbereich (Abb. 1) wurden im Rahmen eines geotechnisch-markscheiderischen Erkundungsprogrammes mehrere teilverfüllte Schachtröhren des historischen Kupferschieferbergbaues bohrtechnisch im Asphaltband nachgewiesen.

Die Abstände von 4 Schächten auf etwa 200 m Länge im untersuchten Fahrbahnbereich betragen jeweils ca. 45 bis 55 m. Die rechteckigen Schachtquerschnitte variierten an den Längsseiten von 1,8 bis 2,1 m und an den kurzen Stößen von 0,8 bis 1,3 m. Die lange Schachtachse lag stets quer zur Fahrbahn, was der Einfallrichtung des Kupferschieferflözes (Einfallwinkel ca. 70°) entsprach. Die erbohrten vertikalen Schachttiefen bis zum Flöz lagen zwischen 34 und 60 m. Nur ein Schacht musste vollständig aufgewältigt werden, da er mittig in einem alten Erdfall abgeteuft war, der einen ovalen Durchmesser von 10 x 13 m aufwies. Pollenanalytische Untersuchungen an eingelagerten Braunkohlenschmitzen in den Sedimenten des Erdfalles wiesen ein eozänes Alter nach. Die anstehenden Verbruch- und Verfüllmassen eigneten sich durch ihre teilweise weiche bis breiige Konsistenz nicht für einen nutzbaren Verwahrungshorizont einschließlich der Anwendung einer „Systemverwahrung“. Zur Verwahrung dieses Schachtes wurde deshalb eine kohäsive Verfüllsäule im Liegenden des Kupferschiefers aufgesetzt.



Abb.1 : Das Auto verstärkte fahrbahnmittig in einen Schachtverbruch des Kupferschieferbergbaues (Foto: Aberle)

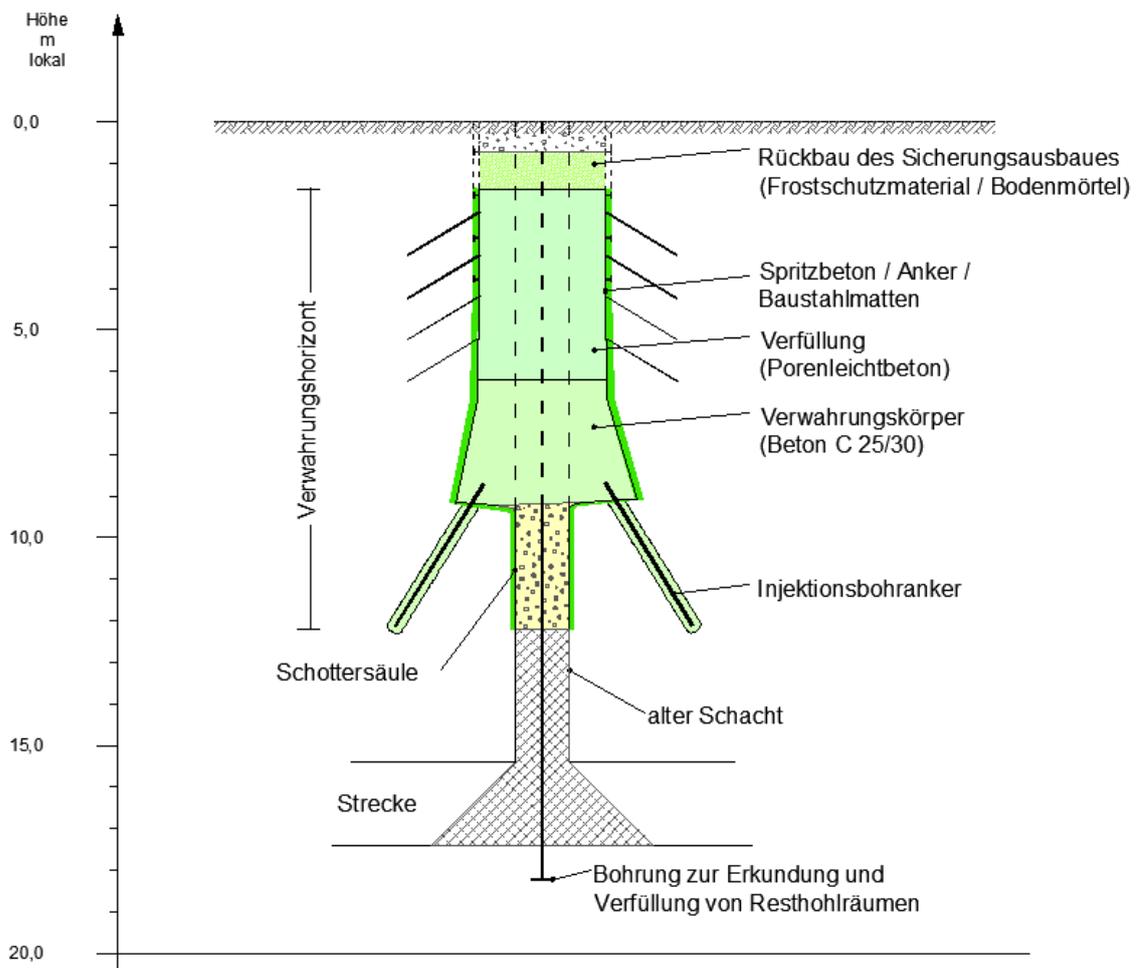


Abb.2 : Schematischer Schnitt durch eine Systemverwahrung im Kupferschieferbergbau

Für die Verwahrung von weiteren drei Schächten wurde die „Systemverwahrung“ erfolgreich realisiert. Grundvoraussetzung war dazu eine hinreichend genaue bohrtechnische Erkundung der Lage der Schächte und die Ermittlung der geotechnischen Eigenschaften der anstehenden Gesteine im schachtnahen Bereich. Dazu wurden unterschiedlich lange Kernbohrungen von 5, 10 und 30 m Tiefe unter Verwendung einer Sicherheitsbühne niedergebracht. Es erfolgte eine ingenieurgeologische Dokumentation der Bohrkerne und eine numerische Bewertung der Kernstücklängen mittels dem L_m -Wert [4]. Im Ergebnis dieser Erkundungsarbeiten konnte die Tiefenlage des Verwahrungshorizontes zwischen 10 und 15 m bestimmt werden.

Der Verwahrungshorizont und der Verwahrungskörper sind in Abb. 2 für eine Systemverwahrung im Kupferschieferbergbau vereinfacht dargestellt.

3.2 Braunkohlentiefbau

Die zahlreichen Schächte des Braunkohlentiefbaues werden bevorzugt mittels Injektionen aus Braunkohlenfilteraschen versetzt. Dabei sollen Resthohlräume verfüllt und die alte Schachtröhre stabilisiert werden. Der vorherrschende Holzausbau einschließlich Holzeinbauten verblieben stets bei einer Verfüllung oder bei einem Schachtverbruch. Befindet sich ein größerer Bereich der Schachtröhre in der luftegefüllten Gebirgszone, sind Holzzersetzungen zu erwarten und damit Bewegungen in der Schachtröhre unausbleiblich. Anhand der dargestellten Sachlage kann diese Sanierungsart nur in die Kategorie „dauerhafte Sicherung“ eingestuft werden. Die Folge sind Nutzungseinschränkungen insbesondere in der Bebaubarkeit, da Schäden auftreten können.

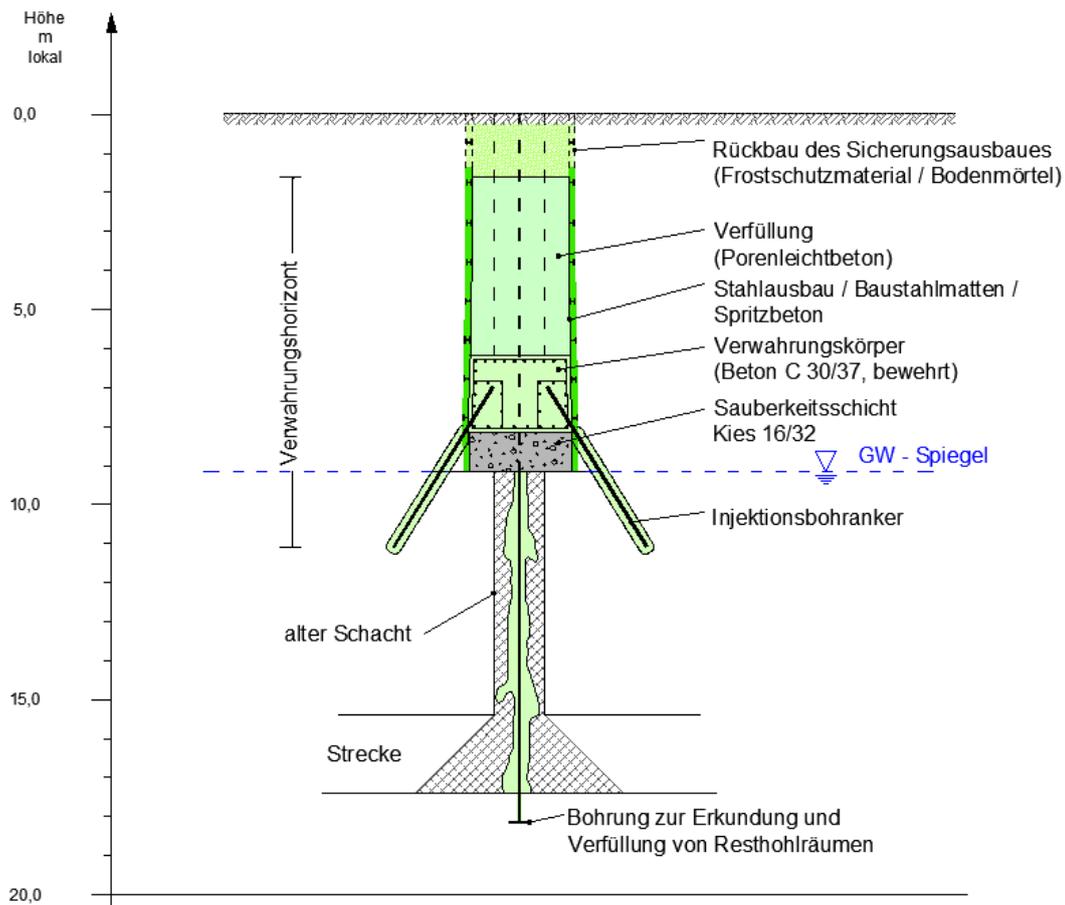


Abb.3 : Schnitt durch eine Systemverwahrung eines Braunkohlenschachtes

Im Rahmen einer Erweiterung eines Gewerbegebietes stand deshalb die Aufgabe, an einem Braunkohlenschacht eine Verwahrung vorzunehmen, wodurch eine Bebauung im unmittelbaren Randbereich des Schachtes sicher erfolgen konnte.

Zur Realisierung dieser Aufgabenstellung wurden zur ingenieurgeologischen Erkundung mehrere Kernbohrungen auch in der Schachtröhre gestoßen. Insbesondere wurden Resthohlräume in der Schachtröhre unterhalb des Grundwasserspiegels mit erhärtendem Versatzbaustoff verfüllt. Der Grundwasser-Horizont lag bei ca. 9 m Tiefe. Eine bergtechnische Aufwältigung des alten Schachtes erfolgte bis in diese Tiefe. Im Rahmen der bergtechnischen Aufwältigungsarbeiten wurde der alte Schachtquerschnitt von 1,4 x 4,1 m (Ausbruch) mit 2,3 x 4,5 m überteuft. Die Schachtkontur wurde mit Stahlrahmen, Baustahlmatten und Spritzbeton gesichert. In Abb. 3 ist die Systemverwahrung schematisiert dargestellt.

Im Kontaktbereich zum Grundwasser (GW) wurde eine Kiesschicht als Sauberkeitslage und als Übergangsschicht zum GW-Spiegel eingebaut. Ein Kranz von 10 Injektionsbohrankern wurde kraftschlüssig mit dem Bewehrungskorb des Verwahrungskörpers, dem Stahlrahmen, den Baustahlmatten und dem Spritzbetonausbau der Schachtsicherung verbunden. Ein darüber eingebauter Porenleichtbeton stabilisiert und konserviert den stählernen Schachtausbau. Durch die Vielzahl der kraftschlüssig verbundenen Sicherungs- und Verwahrungselemente erreicht der Verwahrungshorizont eine Länge von fast 10 m. In dieser Gebirgszone werden die eingebrachten Lasten allseitig in das anstehende Lockergestein vertikal und horizontal (flächig) abgetragen. Um ungleichförmige Setzungen bei einer Überbauung zu minimieren, wurde empfohlen, das geplante Streifenfundament der Werkshalle zu bewehren.

4 Fazit und Ausblick

Die vorgestellte Systemverwahrung kann durch eine sehr differenzierte Berücksichtigung der Gebirgs-, Wasser- und Bergbauverhältnisse sowie Anpassung an die jeweiligen Nutzungsanforderungen für eine effiziente, dauerhafte, langzeitstabile Verwahrung von Schächten flexibel angepasst werden. Durch eine geotechnische Erkundung der herzustellenden Gleichgewichtsstrukturen zwischen dem Verwahrungshorizont und dem Verwahrungskörper lassen sich auch nutzungsbezogene Optimierungen der berg- und geotechnischen Maßnahmen realisieren. Die grundsätzliche Zielstellung beinhaltet dabei die Langzeitstabilität und damit eine hohe Sicherheit an der Tagesoberfläche. Der Einfluss der geodynamischen Prozesse, vor allem die hydrogeologischen und geochemischen Bedingungen, auf mögliche Veränderungen der Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit von Verwahrungsmaßnahmen, sind im Komplex zu betrachten.

Der effiziente Einsatz einer Systemverwahrung in Schächten erweitert die bergtechnischen Verwahrungsmöglichkeiten in Lockergesteinsbereichen und Zonen mit veränderlich festen Gesteinen (Halbfestgesteinen). Grenzen werden vor allem durch einen sehr oberflächennahen Grundwasserstand und bei sehr weicher und breiiger Konsistenz der Schichten des Verwahrungshorizontes gesetzt. Eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz dieser Technologie ist eine hinreichende ingenieurgeologische Erkundung des Verwahrungshorizontes sowie der Schachtröhre selbst einschließlich der Randbereiche des Schachtes durch Kernbohrungen. Eine Bestimmung der geotechnischen Eigenschaften der anstehenden Schichten insbesondere im Bereich des ausgewählten Verwahrungshorizontes ermöglicht auch eine naturnahe numerische Modellierung der Gebirgsschichten. Erste Anwendungen im Freitaler Steinkohlengebirge und im Kupferschieferbergbau ergaben positive Ergebnisse beim Einsatz von Porenleichtbeton zur Herstellung des Verwahrungskörpers (Abb. 4).

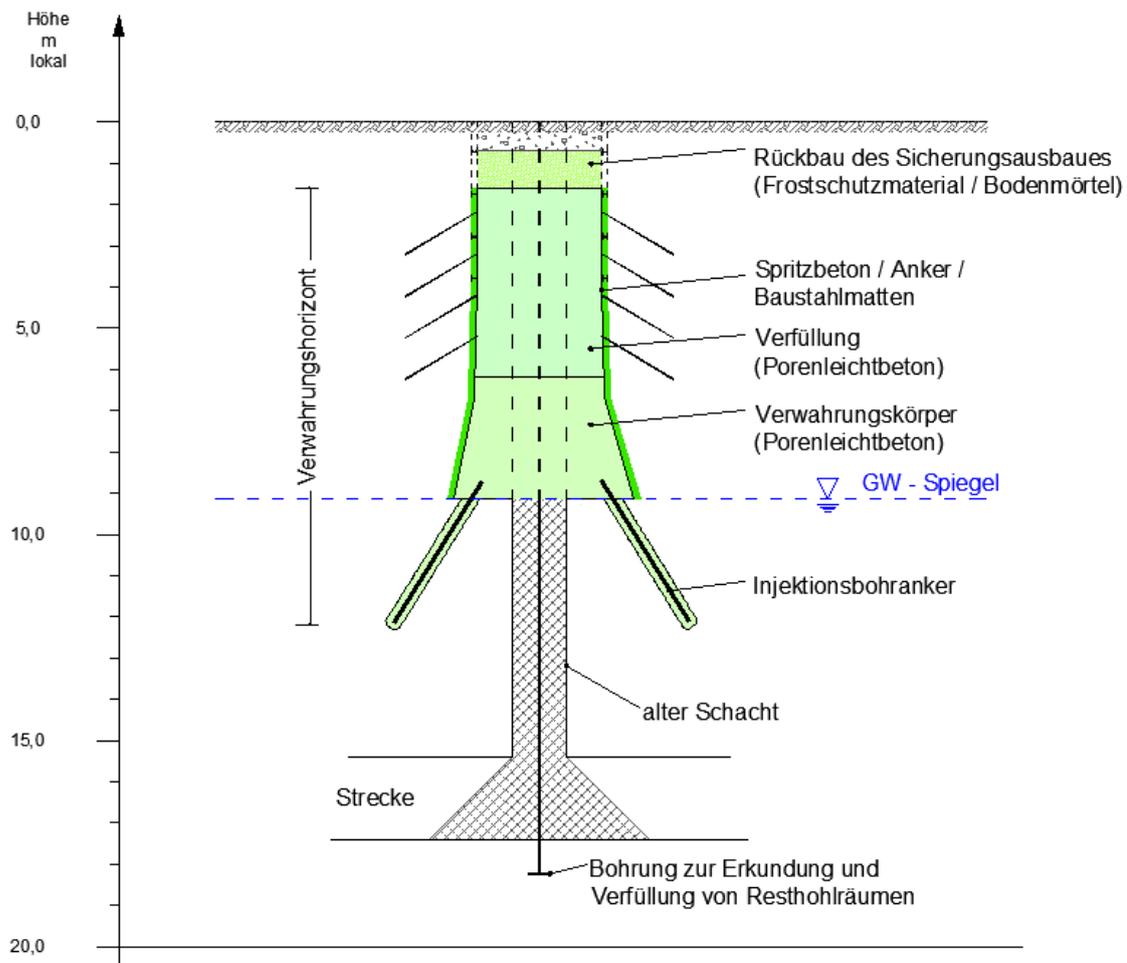


Abb.4 : Schematische Darstellung für den Einsatz von Porenleichtbeton als Verwahrungskörper in veränderlich festen Gebirgsbereichen mit hohem GW-Stand

Die vorgestellte Systemverwahrung kann durch ihre sehr differenzierte Berücksichtigung der Gebirgs-, Wasser- und Bergbauverhältnisse sowie deren Anpassung an die jeweiligen Nutzungsanforderungen für eine effiziente, dauerhafte, langzeitstabile Verwahrung von Schächten flexibel gestaltet werden. Im Rahmen von Forschungsleistungen zu geotechnischen Eigenschaftsbestimmungen bezüglich der herzustellenden Gleichgewichtsstrukturen zwischen dem Verwahrungshorizont und dem Verwahrungskörper lassen sich auch nutzungsbezogene Optimierungen der bergtechnischen Maßnahmen realisieren. Die grundsätzliche Zielstellung beinhaltet dabei die Langzeitstabilität und damit eine hohe, dauerhafte Sicherheit an der Tagesoberfläche. Der Einfluss der geodynamischen Prozesse, vor allem der hydrogeologischen Bedingungen, auf mögliche Veränderungen der Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit von Verwahrungsmaßnahmen sind stets im Komplex zu betrachten.

Neben der anzupassenden Dimensionierung des Verwahrungskörpers und den dauerhaften geotechnischen Sicherungsmaßnahmen im Bereich des Verwahrungshorizontes bedarf es auch einer Optimierung der Materialeigenschaften von erhärtenden Versatzbaustoffen.

Eine hohe Effizienz beim Einsatz der Systemverwahrung ergibt sich auch dadurch, dass die notwendigen berg- und geotechnischen Sicherungsmaßnahmen bei der Schachtaufwältigung im Schachtbereich dauerhaft verbleiben und in die komplexe Technologie kraftschlüssig integriert werden. Ein möglichst konstanter Bergwasserspiegel erhöht grundsätzlich die Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit der Systemverwahrung.

5 Literatur

- [1] AUTORENKOLLEKTIV (2010): Empfehlung des Arbeitskreises 4.6 der DGGT „Sicherungs- und Verwahrungsarbeiten im Altbergbau“. - Tagungsband 10. Altbergbau-Kolloquium, 4. bis 6.11.2010, TU Bergakademie Freiberg, Anhang: S. 1 bis 18, VGE Verlag GmbH, Essen
- [2] MEIER, G. (2007): Geotechnisch-markscheiderische Anforderungen an Sicherungen und Verwahrungen von Schächten im Altbergbau. - Tagungsband 7. Altbergbau-Kolloquium 8. bis 10.11.2007, TU Bergakademie Freiberg, S.188 bis 196, VGE Verlag GmbH, Essen
- [3] MEIER, G. (2006): Holz im Altbergbau.- Tagungsband 6. Altbergbau-Kolloquium 9. bis 11.11.2006, RWTH Aachen, S. 217 bis 229, VGE Verlag GmbH, Essen
- [4] MEIER, G. (1999): Ein repräsentatives Verfahren zur ingenieurgeologischen Bohrkernauswertung im Fels in Altbergbaugebieten. - Berichte 12. Nat. Tagung f. Ing.-Geologie, Halle, S.192 bis 199, Selbstverlag Fachbereich Geowissenschaften Uni. Halle/Saale