Wasserführende Stollen – Erkundung, Bewertung, Sanierung

Empfehlung des Arbeitskreises 4.6 „Altbergbau“ der Fachsektion Ingenieurgeologie in der DGGT (Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V.) und des DMV (Deutscher Markscheider-Verein e. V.) · Veröffentlicht auf dem 17. Altbergbaukolloquium (16.–18.11.2017) in Freiberg/Sachsen

Inhalt

Vorbemerkungen **2**

1 Zielstellung **2**

2 Wichtige Stollenarten, Begriffe und Definitionen **3**

3 Zu beachtende Rechtsvorschriften, Verwaltungsanweisungen und Normen **5**

4 Kurzer historischer Abriss zum Stollenvortrieb und Röschenbau mit speziellem Bergrecht **5**

5 Hydraulische und hydrogeologische Grundlagen **7**

5.1 Hydraulische Grundlagen 7
5.2 Über- und untertägige Wasserzuläufe und deren Wirkungen 8
5.3 Ermittlung der Wassermenge und der Wasserqualität 9
5.4 Einwirkungen und Folgen von wetterbedingten Extremereignissen 10

6 Geotechnisch-markscheiderische Erkundung und Bewertung **11**

6.1 Datengrundlage zur Erkundung und Beschreibung des Stollensystems 11
6.2 Gebirgsmechanische Bewertung des Deckgebirges über dem Stollensystem 11
6.3 Geotechnisch-markscheiderische Zustandsdokumentation 14

7 Monitoring **16**

8 Schadensanalyse und Risikobewertung **16**

8.1 Schadensformen an Wasserlösestollen 16
8.2 Klassifizierung von wasserführenden Stollen unter Berücksichtigung der Risikobewertung 17

9 Grundsätze zu Sanierungsmaßnahmen **19**

10 Nachnutzung von Wasserlösestollen **20**

Liste der Autoren der Empfehlung **20**

Zusammenfassung

Im Rahmen der ingenieurtechnischen Bewertung und bergtechnischen Sanierung von altbergbaulichen Hinterlassenschaften stellen insbesondere wasserführende Stollen einen fachlichen Schwerpunkt dar. Der Arbeitskreis „Altbergbau“ der DGGT e. V. in Kooperation mit dem DMV e. V. nimmt deshalb die Analyse und Risikobewertung von den zahlreichen wasserführenden Stollen zum Anlass, eine Empfehlung als Basis für die sicherheitsrelevanten Zielstellungen, Definitionen von wichtigen Begriffen einschließlich deren Umsetzung von zu beachtenden Rechtsvorschriften, Verwaltungsanweisungen und Normen zu erarbeiten. Der Einfluss der geodynamischen Prozesse auf die Einwirkungsbereiche und deren Risikoklassen sowie deren hydraulischen Eigenschaftsverteilungen im Gebirgsverband einschließlich deren Ewigkeitslasten rücken ebenfalls in den Fokus der praxisbezogenen Teilempfehlung.

Vorbemerkungen

Die vorliegende Teilempfehlung ist Bestandteil einer abgestimmten Reihe von praxisorientierten Empfehlungen zum Umgang mit altbergbaulichen Hinterlassenschaften, die der Arbeitskreis 4.6 „Altbergbau“ der Fachsektion Ingenieurgeologie der DGGT e. V. in Kooperation mit dem DMV e. V. in loser Folge erarbeitet. Die Empfehlung zielt vor allem auf eine einheitliche, effiziente Bewertung und Herangehensweise an die Erkundung, Bewertung, Risikozuordnung, Sanierung und Nachnutzung des Altbergbaues. Die bereits vorliegenden vier Teilempfehlungen stellen für das Verständnis dieser Ausarbeitung eine wichtige Bezugsbasis dar.

1 Zielstellung

Wasserführende Stollen bilden ein untertägiges Drainage- und Abflusssystem, dessen Erhalt und Fortbestand in vielen Bergbauregionen eine wesentliche Voraussetzung für stabile hydraulische und geotechnische Verhältnisse ist. Ebenfalls haben die Stollen eine große Bedeutung für den konvektiven Grubengastransport im Deckgebirge. Der dauerhafte, kontrollierbare und störungsfreie Wasserabfluss bestimmt als Ewigkeitslast des Altbergbaues die grundlegenden sicherheitsrelevanten Eigenschaften für eine sichere Nutzung der Tagesoberfläche. Die wasserführenden Stollen stellen daher von allen schadensrelevanten Hinterlassenschaften des historischen sowie noch stillzulegenden Bergbaues einen bedeutenden Schwerpunkt bei der geotechnischen, hydrogeologischen und markscheiderischen Untersuchung, Bewertung sowie bergtechnischen Sanierung dar.

Wasserausbrüche aus Stollen, hervorgerufen durch unkontrollierte Standwasserbildungen im zu entwässernden Grubengebäude oder durch verstürzende Wässer von der Tagesoberfläche in Grubenbaue über Schächte und Abbaue bei Extremniederschlägen, Hochwasser oder Tauwetter können die öffentliche Sicherheit gefährden und zu erheblichen Schadensereignissen führen. Die Veränderungen der physikochemischen Eigenschaften des Stollenwassers bergen Potentiale für Umweltschäden. Die zunehmenden klimatischen Veränderungen in Form von Extremwetterlagen stellen wachsende Anforderungen an die Sanierungsplanung von Wasserlösestollen.

Unter Ausnutzung der Morphologie und des freien Gefälles wurde mit erheblichen Kostenaufwendungen in fast allen Bergbaurevieren Mitteleuropas eine Vielzahl von Stollen zur

Ableitung des Gruben- und Betriebswassers sowie zur Gebirgsdrainage angelegt. Wasserlösestollen besaßen und besitzen für den Altbergbau eine signifikante Bedeutung. In vielen Fällen sind sie als technische Jahrhundertbauwerke einzustufen. An die Erkundung und Sanierung stellen sie hohe Anforderungen.

Die vorliegende Empfehlung beinhaltet die notwendigen Erkundungs- und Sanierungsmaßnahmen für Wasserlösestollen aus geotechnischer, hydrogeologischer und markscheiderischer Sicht. Sie zeigt die erforderlichen Erkundungs- und Bewertungskriterien auf und umreißt die hydraulischen Rahmenbedingungen.

2 Wichtige Stollenarten, Begriffe und Definitionen

Die verschiedenen Stollenarten und wasserführenden Grubenbaue haben unterschiedliche Funktionen und Aufgaben zu erfüllen:

- Komplexe unter- und übertägige Ableitung des Grubenwassers bis zum Vorfluter
- Drainage des durchfahrenen Gebirges und insbesondere der Lagerstätte
- Bewetterung des Grubengebäudes
- Lagerstättenerkundung
- Abbau der Lagerstätte im unmittelbaren Stollenbereich
- Zugang und Transportweg nach über- und untertage

Aus den Stollenarten ergeben sich auch differenzierte schadensrelevante altbergbauliche Einwirkungen. Wasserlösestollen werden dabei in der nachfolgenden Beschreibung in den Fokus der Betrachtungen gestellt. Hierbei sind nicht nur aktive wasserführende Stollen, sondern auch solche, die diese Funktion einmal innehatten bzw. zukünftig wieder erhalten können, zu betrachten.

Wasserlösestollen (auch Erbstollen, Tiefer Stollen, Hauptstollen, Revierstollen, Königlicher Stollen, Communstollen, fiskalischer Stollen, wasserführender Stollen) sind streckenartige Grubenbaue zur Entwässerung des Gebirges im freien Gefälle. Sie wurden von Talflanken aus leicht ansteigend aufgefahren. Wasserlösestollen können als kapitale Grubenbaue enorme Längen erreichen (z. B. der Rothschönberger Stollen bei Freiberg mit ca. 50 km), zumal auch die abzweigenden Flügelörter (Haupt- und Nebenflügel) zur Gesamtlänge gezählt werden. Aufgrund der großen Längen waren zur Auffahrung der Stollen oft zahlreiche Lichtlöcher zur Förderung und Bewetterung notwendig. Insbesondere kann davon ausgegangen werden, dass – je älter ein Stollen und je geringmächtiger die Überdeckung – umso mehr Lichtlöcher pro Längeneinheit abgeteuft wurden. Untertägige Abzweigungen werden als Stollenflügel bezeichnet. Zum Stollen gehören auch die Lichtlöcher, die insbesondere zur Bewetterung und zum Transport bei der Auffahrung des Stollens angelegt wurden. Dabei handelt es sich vorrangig um vertikale Schächte, die bis zum Stollenniveau reichen und während der Betriebszeit und danach zur Wartung sowie Unterhaltung des Wasserlösestollens dienten und dienen. Wasserführende Strecken sind äquivalent zu den Stollen bzw. Stollenflügel einzustufen.

Nach der Funktion werden Wasser-, Wetter-, Förder-, Lager- und Versuchsstollen unterschieden. Generell gehört zu jedem Stollen ein Mundloch mit einer funktional angeschlossenen bis zur Vorflut führenden **Rösche** (Stollenbach). Diese kann ein offener oder abgedeckter Graben sowie eine bergmännisch aufgefahrene, stollenähnliche Strecke sein. Als Rösche werden auch die Wasserab- bzw. -zuleitung für bergbaulich genutztes Gruben- und Betriebswasser (z. B. Betreiben von Wasserrädern und Pumpen) bezeichnet. Ohne funktionierende Rösche gibt es keinen funktionierenden Stollen. Die Dimension der Rösche sollte sich stets am Durchflussquerschnitt des Mundloches orientieren.

Lagerstollen, wie Berg-, Felsen-, Eis- und Lagerkeller sowie Höhler sind meist bergmännisch aufgefahrene Hohlräume mit begrenztem Volumen und mit oft stark wechselnder Wasserführung.

Eine **Anzucht** ist eine bergmännisch aufgefahrene Strecke oder eine in offener Bauweise hergestellte Steinschleuse zur Entwässerung von tiefen Kellern, vor allem in den Bergstädten mit meist geringer und stark wechselnder Wasserführung.

Als **Mundloch** wird die Tagesöffnung eines Stollens, einer Tagesstrecke oder einer Rösche (Röschenmundloch) bezeichnet. Es existiert hier die Schnittstelle von übertage nach untertage und umgekehrt. Zum Mundloch gehören die beidseitigen Flügelmauern, das Verschlussbauwerk und der unmittelbare Übergangsbereich (ca. 2 bis 10 m) vom vorhandenen Stollenausbau.

Lichtlöcher wurden bei der Auffahrung eines Stollens beim fortschreitenden Vortrieb in gewissen Abständen als senkrechte Schächte abgeteuft, um vor allem die Bewetterung, aber auch die Transportwege bei der Auffahrung und den Zugang zu neuen Abbauen zu verbessern. In der Mehrzahl der Fälle wurden sie ab dem Mundloch bergwärts fortlaufend durchnummeriert. Die Tiefe der Lichtlöcher nahm bedingt durch die Morphologie stets bergwärts zu. Wurden einzelne Lichtlöcher als Abbauschächte nachgenutzt, so wurden Veränderungen im Querschnitt des Schachtes, im Ausbau und bei den Einbauten vorgenommen.

Die **Abbaue** wurden in Abhängigkeit von der Lagerstätte durch den Stollentrakt unmittelbar durchfahren. Offene, teilverfüllte, vollverfüllte oder verbrochene Abbaue begrenzen im Allgemeinen den Stollenverlauf.

Subrosion: Darunter werden die unterirdischen Lösungs-, Umbildungs-, Umlagerungs- und Transportprozesse in Locker- sowie Festgestein, insbesondere durch Sicker-, Grund- und Grubenwasserbewegungen, inkl. Hohlraumbildungen sowie deren Auswirkungen auf die Tagesoberfläche verstanden.

Verkarstung (Auslaugung): Gesamtheit aller noch andauernden und abgeschlossenen Lösungserscheinungen und -formen von löslichen Gesteinen sowie deren Auswirkungen auf die Tagesoberfläche. Die Verkarstung ist ein Teilbereich der Subrosion.

Grundwasser (Definition nach DIN 4049): „Unterirdisches Wasser, das Hohlräume der Lithosphäre zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegungsmöglichkeit ausschließlich durch die Schwerkraft bestimmt wird“. Nach DIN 4049-3 (1994) erfolgen weitere Unterteilungen in „Freies Grundwasser“, „(Artesisch) Gespanntes Grundwasser“, „Tiefes Grundwasser“, „Karstgrundwasser“ und „Kluftgrundwasser“.

Grubenwasser (Definition des AK Grubenwasser der Fachsektion Hydrogeologie der DGGV): „Alles Wasser, was mit Tief- und Tagebauen in Kontakt steht oder stand. Hierbei handelt es sich überwiegend um natürliches Wasser in Form von Sicker- und Grundwasser. Sogenanntes Tageswasser kann z. B. durch Niederschläge und Vorfluter bei fehlendem Deckgebirge unmittelbar in die Grubenbaue eindringen. Wasser aus dem Deckgebirge kann durch Poren-, Trennfugen und Karsthohlräume sowie durch anthropogene Auflockerungen, z. B. Schächte, in die Grubenbaue gelangen. Tiefes Grundwasser mit z. T. hohem Mineralgehalt kann den Grubenbauen aus dem angrenzenden und liegenden Gebirgskörper zufließen. Die Definition beinhaltet keine Aussage zur Grubenwasserbeschaffenheit. Diese ist in Abhängigkeit von der Genese des Grubenwassers stark unterschiedlich.“

3 Zu beachtende Rechtsvorschriften, Verwaltungsanweisungen und Normen

Bei der Bearbeitung der Wasserlösestollen sind die jeweils anzuwendenden rechtlichen Vorschriften, wie z. B. die wasser-, bodenschutz-, naturschutz- und baurechtlichen Regelungen zu beachten. Bezüglich der Normen wird insbesondere auf die anderen Empfehlungen des Arbeitskreises 4.6 und den EC 7 verwiesen.

Für die Fassung und Ableitung von Grubenwässern ist im Einzelfall zu prüfen, ob eine Genehmigungspflicht besteht. Dafür sind die Wassermenge und die Wasserqualität zu ermitteln. Mit den Ergebnissen ist eine entsprechende Anfrage oder sogar ein Antrag bei der jeweils zuständigen Behörde zu stellen. Oft kann die Behörde relevante Hinweise für die Sanierungsplanung eines Wasserlösestollens geben. Ebenfalls kann ein temporäres Umleiten von Stollenwasser im Rahmen der bergtechnischen Sanierungsmaßnahmen genehmigungspflichtig sein.

4 Kurzer historischer Abriss zum Stollenvortrieb und Röschenbau mit speziellem Bergrecht

Bereits ab dem 11. Jahrhundert gewannen in Mitteleuropa insbesondere der Silber- und Goldbergbau sowie der Abbau verschiedener anderer Metalle und Salze zunehmend an Bedeutung. Die Wichtigkeit der wasserführenden Stollen ergibt sich auch aus den umfangreichen Kodifizierungen in den verschiedenen Bergordnungen.

Das Iglauer und Freiberger Bergrecht aus dem 13. und 14. Jahrhundert bildeten hierfür die ersten bergrechtlichen Grundlagen. Auch die Lagerstättenentwässerung wurde bergrechtlich geregelt. Durch die hohen Kosten eines Wasserlösestollens war der bergmännische Vortrieb durch Einzelpersonen im Allgemeinen nicht finanzierbar. Erst die Beteiligung der feudalen Landesherren am Bergbau und die aufkommende Bildung von Gewerkschaften reicher Handelsherren legten den finanziellen Grundstein für eine systematische und umfängliche Auffahrung von Wasserlösestollen (Erbstollen). Auf der Basis des Regalbergbaues (Rechte des Fürsten) wurde der Stollenbau im Erzbergbau ab dem 15. Jahrhundert durch die Beteiligung von

reichen Handelsherren und der Fürsten neu geordnet. Eine richtungsweisende Bergordnung wurde 1499/1500 die Schreckenberger Bergordnung für das Revier Annaberg. Sie beruhte auf der aufkommenden zentralistischen Leitung des Bergbaues (Direktionsprinzip), welche auch den Umgang mit den Erbstollen (Wasserlösestollen) revierbezogen regelte. Erstmals wurden in dieser Bergordnung die erforderlichen Abmessungen eines Erbstollens festgelegt. Auf der Basis dieser Schreckenberger Bergordnung wurde 1509 die Annaberger Bergordnung durch den Herzog Georg von Sachsen als älteste, grundlegende Bergordnung Deutschlands erlassen. Sie war bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts die bergrechtliche Grundlage aller Bergordnungen Mitteleuropas.

Um den Bergbau nach dem 30-jährigen Krieg zu forcieren, wurde in den deutschen Bergbaurevieren der Bau von Erbstollen gefördert. Dazu diente die separate Sächsische Stollenordnung von 1749. Sie regelte die bergbaulichen Rahmenbedingungen von Erbstollen, deren Finanzierung und Unterhaltung sowie Rechte und Pflichten des Stöllners. In dieser Stollenordnung sind u. a. folgende ausgewählte Schwerpunkte enthalten:

- Aufnahme, Mutung, Gerechtigkeit und Erbkux durch den Stöllner
- Erbteufe: 10 Lachter senkrecht und eine Spanne unter der Rasensohle bzw. unter dem darüber liegenden Erbstollen in Sachsen, in Preußen 7 Lachter und eine Spanne, in anderen Ländern 9 Lachter senkrecht und eine Spanne

  Anmerkung: Die Maße weichen im Detail zwischen den einzelnen Ländern und z. T. auch zwischen den Revieren voneinander ab, was bei der geotechnisch-markscheiderischen Bewertung zu beachten ist. Der Schwankungsbereich beträgt bei einem Lachter zwischen 1,92 und 2,09 m (historisches Längenmaß 1 Lachter = Ø ca. 2 m)
- Stollenhieb: Anteil von gewinnbaren Erzen beim Vortrieb durch den Stöllner mit den maximalen Abmessungen: 2,5 m Höhe und 1 m Breite
- Gesprenge: Absatz in der Stollensohle durch Anhebung der Lagerstättenbasis
- Wartung und Unterhaltung des Stollens
- Größe des Gefälles der Sohle „… auf jede Hundert Lachter Länge über eine Viertels-Lachter Rösche oder Ansteigen, nicht zu gestatten.“
- Stollenquerschnitt: 1 m breit, 2 m hoch, z. T. auch unterschiedlich
- Auffahrung des Stollens und seiner Haupt- und Nebenflügel
- Lage und Funktion der Schächte und Lichtlöcher auf der Stollentrasse
- Gebühren und Steuern der Nutzer und Betreiber an den Stöllner (z. B. Stollenneunter)
- Sicherungsausbau des Stollens (Holz, Mauerwerk)
- Anlage und Unterhaltung der Wasserseige
- „Enterbung“ eines Erbstollens bei einer neuen, tieferen Stollenauffahrung

Mit der jeweiligen technischen Entwicklung des bergmännischen Vortriebes wurden auch die aufzufahrenden Stollenquerschnitte angepasst. Beispielsweise durfte nach dem sächsischen Berggesetz vom 22. Mai 1854 die Stollensohle nur zwischen 30 und 100 mm Gefälle auf 200 m

Länge aufweisen. Die Wasserseige sollte 1 m breit und tief sein. Darüber wird eine offene Höhe von > 2,5 m vorgegeben.

Die Stollenordnung war auch zur Verleihung der Erbgerechtigkeiten mit geringen Änderungen und Ergänzungen bis etwa zum Anfang der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in die Berggesetzgebungen aufgenommen worden. In dieser Zeit traten die Allgemeinen Berggesetze der Königreiche Sachsen und Preußen in Kraft, die wiederum die Vorbilder für andere deutsche Staaten waren. Auslöser für die teils grundlegend veränderten berggesetzlichen Festlegungen waren die Beendigung des Direktionsprinzips und auch die technischen Fortschritte des sich entwickelnden Bergbaues des Deutschen Reiches. Das Grubenwasser wurde durch den Einsatz von Dampf- und Elektropumpen bis auf das vorhandene Stollenniveau gehoben. Wasserableitungsstollen erhielten somit keine Erbgerechtigkeit mehr. Die bergrechtliche Sonderstellung war damit erloschen. Die vorhandenen Wasserlösestollen wurden teilweise in den Revieren weiterhin zur Wasserlösung genutzt und unterhalten. Mit der Stilllegung zahlreicher Bergwerke, besonders am Ende des 19. Jahrhunderts, unterblieben zunehmend Kontrollen und Wartungen, wodurch sich die Funktionalität der Wasserlösestollen größtenteils erheblich verschlechterte und sich schadensrelevante Havarien, insbesondere bei Stark- und Extremniederschlägen, häuften.

Nach den bergrechtlichen Vorgaben hatte ein Erbstollen folgende geometrische Mindestabmessungen zu erfüllen (Allgemeines Berggesetz für das Königreich Sachsen vom 16. Juni 1868, § 121. Erbstölln):

- Senkrechte Höhe: 1,25 Ltr. (2,5 m); untere Breite: 0,5 Ltr. (1,0 m) bis in 0,5 Ltr. (1,0 m) Höhe
- Erbstollen sind ohne Gesprenge aufzufahren.
- Anstieg der Stollensohle: nicht über 0,1 Ltr. (0,2 m) und nicht unter 0,03 Ltr. (0,06 m) auf 100 Ltr. (200 m)
- Der „Erbstöllner“ muss die Wasserseige des Stollens „wassertragbar“ unterhalten und ständig volle Funktionalität durch Säuberung sowie Unterhaltung gewährleisten.

> Anmerkung: Bei der geotechnisch-markscheiderischen Bewertung der Objekte ist zu berücksichtigen, dass sich erfahrungsgemäß in den zurückliegenden Jahrhunderten die geometrischen Mindestvorgaben für Wasserlösestollen, z. B. lagerstätten- und technologiebedingt, geändert haben können.

Die Auffahrung von Wasserlösestollen kann auch zukünftig im Rahmen der Sanierung von Altbergbau eine wichtige Rolle spielen.

5 Hydraulische und hydrogeologische Grundlagen

5.1 Hydraulische Grundlagen

Die Wasserführung der Stollen unterliegt erheblichen jahreszeitlichen und niederschlagsbedingten Schwankungen. Durch den bergbaulichen Einfluss auf das Deckgebirge

kommt es zu Auflockerungen um die Grubenbaue, wodurch die Drainagefunktion des Stollens verstärkt wird. Prinzipiell muss festgehalten werden, dass die realen untertägigen hydrogeologischen und hydraulischen Verhältnisse nur sehr schwer zu modellieren sind. Das bergmännische Risswerk und hydrologische Informationen liefern wesentliche Grundlagendaten.

Folgende Schwerpunkte stehen im Fokus der geotechnisch-markscheiderischen Bewertung:

- Das Stollensystem ist funktional in einem guten Zustand und führt das Grubenwasser ungehindert und gleichmäßig bis zum Vorfluter ab. Die niederschlags- und zulaufbedingten Schwankungen werden problemlos bewältigt.
- Der Stollenwasserabfluss wird durch einen oder mehrere Teilverbrüche im kontinuierlichen Wasserabfluss behindert. Es kommt häufig zu einem Rückstau einschließlich Sedimentablagerungen und zur Verockerung. Der Stollenquerschnitt besitzt durch diese Teilverbrüche „düsenartige“ Engstellen, wodurch sich die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers erhöht und sich durch den Rückstau weitere Verbruchpotentiale entwickeln können.
- Ausgelöst durch Extremniederschläge und durch Direktverstürze von Oberflächenwasser in tagesnahe Abbaue oder/und Schächte ist der Stollen vollständig verbrochen. Es kommt durch den erheblichen Rückstau in das gesamte Grubengebäude zu unkontrollierten Wasseraustritten aus höherliegenden, meist älteren Stollen oder sonstigen bergbaulichen Tagesöffnungen. Verfüllte Schächte, Tagesbrüche, Abbaugräben und sonstige Tagesverbindungen können durch die vertikale und horizontale Mobilisierung der Lockermassen zu sicherheitsrelevanten Deformationen an der Tagesoberfläche führen.
- Die hydraulischen Grundeigenschaften bleiben bei einem Wasserlösestollen auch ohne Wasserführung erhalten. Sie werden bei Extremwasserereignissen, Grund- bzw. Grubenwasseranstieg oder -rückstau verbunden mit Standwasserbildung wieder aktiviert. Es gilt deshalb der Grundsatz: **„Einmal wasserführender Stollen – immer wasserführender Stollen!“**
- Je näher ein Teil- oder Vollverbruch sowie eine Querschnittsveränderung, besonders eine Querschnittsverengung in einem Wasserlösestollen in Mundlochnähe liegt, desto größere Schadenswirkungen sind bei Extremwasserereignissen, Grund- und Grubenwasseranstieg oder Wasserrückstau zu erwarten.
- Neben dem Hauptstollenverlauf sind Stollenflügel, wasserführende Strecken und Schächte aus hydraulischer Sicht funktional gleichrangig.

5.2 Über- und untertägige Wasserzuläufe und deren Wirkungen

- Vor allem bei Extremniederschlägen und Deformationen im Stollenbereich gibt es verschiedene Möglichkeiten für übertägige Wassereinträge: Im Besonderen bei Starkregen können verschiedenartige, übertägige Wasserzuläufe zu flächenhaften Überflutungen führen. Diese können bei Direktverstürzen in alte Schachtpingen, Deformationsbereiche, Spaltenbildungen, durchgebrochene Abbaue von Flöz- und Gangausbissen sowie Stollen und Strecken – verstärkt durch die Umlagerung von

Verbruch- und Versturzmassen in den Grubenbauen und im Stollentrakt – die Wasserwegsamkeiten weiter einschränken.

- Durch die Wasserführung im Deckgebirge über dem Stollentrakt werden im Regelfall Subrosionsprozesse ausgelöst. Durch Trennflächen, Poren und offene Mauerwerksfugen kann feinkörniges Material in den Stollen eindringen und somit zu Versandungen, Verschlämmungen und Ockeranhäufungen führen.
- Bei hohen Wasserständen der Vorfluter kann Oberflächenwasser auch durch den Stollen rückläufig in das Grubengebäude eindringen und zur Destabilisierung des Gebirges sowie des Stollenausbaues führen.
- Bei Stollenverbrüchen innerhalb des Grubengebäudes kann das Grund- und Grubenwasser durch Rückstau und/oder Standwasserbildung auch durch andere Tagesöffnungen oder Verbruchzonen abfließen.

Generell liegen bei umgegangenem Bergbau im Fest- und Lockergestein gestörte hydrogeologische und hydraulische Verhältnisse vor, da natürliche Wasserwegsamkeiten wie Klüfte, Gesteinsgrenzen, schwebende Grundwasserhorizonte oder Störungen angefahren oder zerstört wurden. Es können sich künstliche Grund- bzw. Grubenwassereinzugsgebiete herausbilden. Diese können weit über die Grenzen des betrachteten Bergbaurevieres hinausreichen. Benachbarte Wasserlösestollen können ggf. räumlich verschiedene Grund- bzw. Grubenwassereinzugsgebiete herausbilden und sich als offene Systeme gegenseitig beeinflussen.

5.3 Ermittlung der Wassermenge und der Wasserqualität

Ein Wasserlösestollen besitzt grundsätzlich einerseits eine drainierende Wirkung auf das gesamte unterfahrene Gebirge. Andererseits hat er das Grund- und Grubenwasser unter Nutzung des freien Gefälles behinderungsfrei und kontrollfähig aus dem Grubengebäude abzuleiten. Neben dem Schwerpunkt einer geotechnisch-markscheiderischen Untersuchung und Bewertung sind Wasserlösestollen auch in Hinblick auf deren Transportgut, dem Wasser, von Interesse. Gesetzliche Vorgaben zur Charakterisierung der Oberflächengewässer, wie die Europäische Wasserrahmenrichtlinie, verlangen eine (Neu-)Bewertung der Wasserlösestollen bezüglich ihrer umweltrelevanten Ewigkeitslast, dem oft stark mineralisierten Grubenwasser. So kann es durch den Bergbau zu punktuellen bzw. kleinräumigen Einträgen von hohen Schadstofffrachten kommen, die eine Gefahr für das Grund- bzw. Oberflächenwasser darstellen können (Verschlechterungsverbot).

Die Wasserlösestollen können als Verbindungsglied zwischen Vorfluter und gefluteter Grube, auf der Grundlage chemischer Messwerte, bewertet werden. Um eine erste Aussage über die Schüttmenge, ihre natürlichen Schwankungen sowie die Wasserqualität eines Stollens zu erhalten, ist es sinnvoll, diese Parameter am Stollenmundloch zu ermitteln. Die einschlägigen Regelwerke und Empfehlungen sind zu beachten. Für eine genaue Erkundung des Verhaltens der Wassermenge und -qualität ist es notwendig, ein angepasstes Monitoringprogramm durchzuführen (siehe Abschnitt 7).

Falls möglich sollten Wasserzutritte im Stollen erfasst und ihre Menge sowie chemische Zusammensetzung ermittelt werden (zutretende Grund- und Sickerwässer, aufsteigendes Grubenwasser aus dem Flutungsraum). Die durch den Stollen transportierten Wassermengen und deren Geschwindigkeiten können u. a. durch den Einsatz von Tracern ermittelt werden.

Die hydrochemische Messung erfolgt zweigeteilt. Vor Ort werden Parameter wie Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, Redoxpotential, Sauerstoffgehalt und pH-Wert bestimmt. Hierbei ist gleichzeitig die Ermittlung des herrschenden Luftdruckes wichtig. Im Labor erfolgt die aufgabenspezifische Analyse umweltrelevanter Elemente, auf denen aufbauend Prozesse wie beispielsweise Verockerung, Sedimentation oder Auslaugung beschrieben werden können. Die zu bestimmenden Parameter und der jeweilige Untersuchungsaufwand können sich entsprechend der Aufgabenstellung nach der Trinkwasserverordnung, den Landeswassergesetzen der Bundesländer, der Mineral- und Tafelwasserverordnung sowie dem Arzneimittelgesetz im Falle von Heilwasser richten.

Aus den ermittelten Frachten können weiterhin Schadensereignisse wie Verbrüche oder Starkregenereignisse abgeleitet werden. Auch Wechselwirkungen zwischen den hydraulischen und den hydrochemischen Eigenschaften können geschlussfolgert werden.

In Bezug auf eine wasserrechtliche Überprüfung zur Einleitung des Grubenwassers in einen Vorfluter ist eine Analyse der gelösten Bestandteile und der Schwebstoffe im Grubenwasser für eine aussagekräftige Auswertung, entsprechend der länderspezifischen Vorgaben und in Absprache mit den zuständigen Behörden (Bergbehörde und Wasserbehörde), notwendig. Zu berücksichtigen ist zudem die hydrochemische Analyse bezüglich der Beton- und Stahlaggressivität (DIN 4030-1 und DIN 50929-3) hinsichtlich zukünftiger Sanierungsmaßnahmen. Bei der Bewertung der Analyseergebnisse ist der geogene Hintergrund nicht zu vernachlässigen. In Hinblick auf eine Reduzierung des Eintrages umweltrelevanter Elemente in die Vorflut ist ggf. eine lokale Anpassung der Grenzwerte notwendig. Bei Bedarf können auch Maßnahmen zur Wasseraufbereitung (Wassersanierung) erforderlich werden.

5.4 Einwirkungen und Folgen von wetterbedingten Extremereignissen

Wetterbedingte, schadensrelevante Ereignisse sind für Wasserlösestollen beispielsweise extreme Regenereignisse, extreme Kälte oder zu überdurchschnittlicher Trockenheit führende Hitze. All diese Phänomene haben Auswirkungen auf die Funktionalität des Stollentraktes und die dauerhafte Standsicherheit der Stollenlaibung mit den Stollenflügeln und wasserführenden Strecken.

Starke Regenereignisse können dazu führen, dass außerordentlich viel Wasser in das Deckgebirge/stollenüberlagernde Gebirge eindringt und es dadurch zu starken Erosions- und Subrosionsprozessen kommen kann. Mögliches Versagen der Tragfähigkeit des Deckgebirges/stollenüberlagernden Gebirges führt dann zu Teil- und Vollverbrüchen bevorzugt mit abnehmender Deckgebirgsmächtigkeit in Mundlochrichtung oder bei instabilen bzw. gestörten Gebirgszonen. Stollen und Tagesstrecken werden durch den Kamineffekt bei intensiven Frosteinwirkungen vom Mundloch bergwärts erheblich destabilisiert. Nicht selten reichen die Frostschäden an der Stollenlaibung bei unverbauten Konturen in Abhängigkeit vom Wetterzug bis

über 100 m Entfernung vom Mundloch. Vor allem sind frostempfindliche Gesteine in ihrer Dauerhaftigkeit begrenzt und angemessene bergtechnische Sicherungsmaßnahmen sowie Wetterregulierungen werden am Mundloch erforderlich, um die Frostwirkungen zu minimieren.

6 Geotechnisch-markscheiderische Erkundung und Bewertung

6.1 Datengrundlage zur Erkundung und Beschreibung des Stollensystems

Im Rahmen einer geotechnisch-markscheiderischen Beschreibung und Bewertung von wasserführenden Stollen stellt die im bergmännischen Risswerk und sonstigen Unterlagen zum Grubengebäude vermessungstechnisch erfasste Situation (einschließlich der Übertagesituation) eine wesentliche Grundlage dar. Eine ergänzende und aktualisierende Vermessung im Übertage- und nach Möglichkeit auch im Untertagebereich gestattet eine hinreichende Georeferenzierung und Prüfung der markscheiderischen Risse sowie sonstigen Unterlagen bezüglich der Stollentrasse. Berücksichtigung finden dabei die Lichtlöcher und Schächte sowie die schadensrelevanten Erscheinungsbilder im gesamten hydraulischen Einwirkungsbereich.

In der Mehrzahl der Fälle muss man aber davon ausgehen, dass das vorliegende ältere Risswerk nicht die Endkontur der Grubenbaue wiedergibt bzw. dass Risse z. T. oder nicht in Gänze verfügbar sind. Vorhandene Akten, Gutachten und Fachliteratur über die Stollen und zur Geologie sind ebenfalls in die geotechnisch-markscheiderische Bewertung einzubeziehen. Dabei sind im Besonderen Angaben zum Querschnitt und zur Neigung von Interesse.

Notwendige Voraussetzungen einer Standsicherheitsbewertung sind die aktualisierten markscheiderischen Vermessungsunterlagen und eine ingenieurgeologische Kartierung sowie eine ergänzende Dokumentation (z. B. Fotos, Videos, u. a.) der befahrbaren Stollenteile.

6.2 Gebirgsmechanische Bewertung des Deckgebirges über dem Stollensystem

Bei einer gebirgsmechanischen Bewertung des Deckgebirges über dem Stollensystem muss grundsätzlich zwischen Locker- und Festgestein unterschieden werden. Wasserführende Stollen im Lockergestein sind im Allgemeinen ausgebaut. So kamen Natursteine und Ziegel aber auch Grubenholz sowie bei jüngeren Auffahrungen und Reparaturmaßnahmen Stahlausbau, Anker (Nägel-)Baustahlgewebe sowie Spritzbeton zur Anwendung.

Wasserführende Stollen im Locker- wie auch im Festgestein unterliegen durch die geodynamischen Prozesse permanenten Einwirkungen auf die Langzeitstandsicherheit. Dies betrifft vor allem die stetig angreifenden physikalischen, chemischen und biologischen Verwitterungsprozesse. Aber auch die Veränderungen der gebirgs- und bodenmechanischen Situation treten in Abhängigkeit von der Teufe deutlich hervor. Zur Bewertung des sich ständig verändernden Deckgebirges eines Stollens sind die horizontalen und vertikalen Eigenschaftsveränderungen zu berücksichtigen.

Eine grobe vertikale Zonierung der Überdeckung lässt sich erfahrungsgemäß wie folgt vornehmen:

Tagesnaher Bereich (0 bis 20 m, ± 10 m)

Als tagesnah wird der Bergbau in einem Teufenbereich von 0 bis 20 m (± 10 m) unter GOK (Lockergestein) bzw. unter Felslinie (Festgestein) bezeichnet. In dieser Tiefenzone hat die Verwitterung einen intensiven Einfluss auf die Gefügestruktur und die Bodenbestandteile (Auflockerung, Auflösung, Subrosion). Ein Großteil der Poren in den Sedimentschichten und der Klüfte im Fels sind in diesem Teufenbereich lufterfüllt. Die herrschenden Gefügestrukturen (Störungen, Klüfte, Schichtungen und deren Raumlage) und Spannungsverhältnisse nehmen großen Einfluss auf das Dauerstandverhalten und die Standsicherheit der Grubenbaue. Es liegt meist ein intensiv gestörter Spannungszustand vor. Eine Beeinflussung erfolgt auch durch die Morphologie und durch die vorhandene Bebauung sowie Nutzung. In diesem Tiefenbereich dominiert im Festgestein der Überlagerungsdruck. Seiten- und Sohlendruck führen zusätzlich im Lockergestein zu Deformationen. Einwirkungen von Oberflächenwasser auf gebirgs- und bodenmechanische Eigenschaften sind in dieser Teufenzone zu erwarten.

Oberflächennaher Bereich (20 bis 50 m, ± 10 m)

Im oberflächennahen Altbergbau in 20 bis 50 m Tiefe (± 10 m) unter GOK (Lockergestein) bzw. unter Felslinie (Festgestein) verstärkt sich der Überlagerungs- und Seitendruck zunehmend. Die Gefügestruktur und der Einfluss der geodynamischen Prozesse werden maßgeblich von der eiszeitlichen Überprägung bestimmt. Die Verwitterungsintensität ist im Gegensatz zum tagesnahen Bergbau in dieser Tiefe stark abnehmend. Die Poren des Lockergesteins bzw. verfestigten Lockergesteins bilden die Wasserwege. Die Wasserdurchlässigkeit ist überwiegend materialabhängig. Charakteristisch ist ein Stockwerksbau mit mehreren, übereinanderliegenden Grundwasserleitern und -nichtleitern. Diese Tiefenzone ist weitestgehend grundwasserbeeinflusst. Die altbergbaulichen Grubenbaue sind meist unterhalb des tiefen Wasserlösestollens wassererfüllt. Der vorhandene Holzausbau ist hier kaum von den Zersetzungsprozessen betroffen. Das Auftreten von Tagesbrüchen wird für den oberflächennahen Altbergbau gegenüber dem tagesnahen Altbergbau als geringer eingeschätzt. Jedoch können Tagesbrüche weiterhin auftreten. Förderlich hierfür sind das Auftreten mächtiger Schwimmsandhorizonte und Eingriffe in das hydrogeologische Gleichgewicht.

Tieferliegender Bereich (> 50 m, ± 10 m)

In dieser Teufenzone besteht nur noch ein sehr geringer chemischer Verwitterungseinfluss auf das Gestein und Gebirge. Es herrscht im Wesentlichen ein dreidimensionaler Spannungszustand. Die Wasserdurchlässigkeit auf den Klüften wird weiter reduziert. Gesteinswechsel und Störungen sind markante Wasserbringer. Bei vertikalem Gang- oder Flözabbau existieren unter diesen abgebauten Lagerstättenbedingungen zahlreiche Verbindungswege von der Tagesoberfläche bis zum tiefsten Stollenniveau. Materialumlagerungen, Teil- und Vollverbrüche sowie Deformationen in alten Ausbauen verändern die Abflusssituation des Grubenwassers aus dem Stollentrakt erheblich. Im Prinzip kann man davon ausgehen, dass das Locker- und Festgesteinsgebirge durch den Bergbau als sehr unterschiedlich stark aufgelockert einzustufen ist. Die Intensität der Auflockerung kann von einem Bruchgebirge bis weitestgehend geringfügig verformter Gebirgskörper bewertet werden. Es sei hier darauf hingewiesen, dass die Verformungen und Substanzveränderungen in

Abhängigkeit von den Gesteins- und Gebirgseigenschaften langzeitbezogen sowie irreversibel ablaufen. (Anmerkung: Mächtige Lockergesteinsdecken sind zu berücksichtigen.)

Für den Mundlochbereich ist die unmittelbare Überdeckung und der Bewuchs bzw. die Oberflächennutzung von besonderem Interesse. Hier kommt es verstärkt zu Deformationserscheinungen wie Mauerwerksschäden, Rissbildungen, Rutschungen, Einwuchs von Baumwurzeln, Vernässungen und Vandalismus, was häufig zu funktionalen Störungen des Wasserabflusses führt. Der Mundlochbereich ist durch mögliche Störungen im freien Wasserabfluss und durch die massiven Einwirkungen der geodynamischen Prozesse eine der kritischen, schadensrelevanten Problemzonen eines Wasserlösestollens. Mögliche Verengungen des Stollen- und damit des Ausflussquerschnittes, z. B. bei Einbau von querschnittsverengenden Rohren, Mauerwerksdeformationen oder durch Dammbau im Mundlochbereich, führen vor allem bei Extrem- oder Starkwasserführung zu größeren, katastrophenartigen Schäden. Bei offen und ungenutzt gebliebenen Lichtlöchern konnten die geodynamischen Prozesse über einen langen Zeitraum ungehindert wirken. Besonders die Verwitterungsprozesse und der Frost, aber auch der Gebirgsdruck verändern die Dauerstandsicherheit der Schachtröhre mit ihren Ein- und Ausbauten. Diese Feststellungen gelten vor allem für die tagesnahe Gebirgszone. Wasserzuläufe und Vernässungen aus dem tagesnahen Gebirge reduzieren die Dauerhaftigkeit und Standsicherheit der z. T. ausgebauten Schächte.

Weiterhin ergibt sich bereits mit der Auffahrung des Stollens in Abhängigkeit von der Auffahrungstechnologie (z. B. Schlägel- und Eisenarbeit, Sprengtechnologie) eine unterschiedliche Auflockerungstiefe um den bergmännischen Hohlraum. Kann sich dadurch keine langzeitwirkende Standsicherheit für die Zone um den Stollenausbruch einstellen, sind dauerhaft wirkende bergtechnische Sicherungsmaßnahmen erforderlich. Begünstigt werden diese Auflockerungseinwirkungen noch durch einströmendes Gebirgswasser in den Stollen (räumliche Drainagewirkung). Die Dauerhaftigkeit der Stollenkontur ist dabei maßgebend von der Kompaktheit, Festigkeit und Verwitterungsbeständigkeit des anstehenden Gebirges sowie der Qualität des Sicherungsausbaues abhängig. In Stollenabschnitten mit anstehenden auslaugbaren Gesteinen (Salz, Gips, Anhydrit, Kalkstein) ergeben sich häufig Standsicherheitsprobleme.

Sollte das Gebirge nachgeben, kann nur eine kraftschlüssige Stabilisierung der Kontur durch bergtechnische Maßnahmen helfen. Der ursprüngliche Spannungszustand im Gebirge lässt sich durch bergtechnische Maßnahmen nicht wieder herstellen. Im Gegenteil, es tritt mit der Zeit stets ein Verzehr der vorhandenen Spannungen und Gebirgsstabilität auf. Da ein wasserführender Stollen eine altbergbauliche Ewigkeitslast ist, resultiert daraus, dass er einer periodischen Kontrolle, Wartung und Ertüchtigung bedarf.

Die geomechanischen Einflüsse um den Stollenhohlraum zeigen sich auch an größeren Wasserstandschwankungen bei Extremniederschlägen. Ausgelöst durch Extremwetterlagen kann es im Bereich der gesamten Stollentrasse vermehrt zu Verbrüchen und Materialumlagerungen kommen, was zu erheblichen schadensrelevanten Havarien führen kann. Durch die permanenten Einwirkungen der geodynamischen Prozesse besteht ein großer Sicherheitsverzehr. Dadurch können zunehmend Hindernisse für einen freien Wasserabfluss

entstehen. Es bilden sich Wasserrückstaue mit z. T. gravierenden Folgen durch die Mobilisierung von Verbruch- und Versturzmassen in Abbauen und verstürzten Schächten sowie bei einem plötzlichen Wasserausbruch im Mundlochbereich. Aber auch Schächte, Lichtlöcher und tagesnahe Abbaue werden unter Wasser gesetzt. Dies führt zu Tagesbrüchen, sonstigen Deformationen an der Tagesoberfläche und oft zu bleibenden Vernässungen.

Im Bereich der Abbaue reichen die Verbrüche in zahlreichen Fällen bis in den unmittelbaren Wasserabfluss hinein und führen zu einem mehr oder weniger großen Rückstau. Eine Beseitigung dieser Situation ist zeitnah anzuraten. Generell kann man bei intakten Verhältnissen davon ausgehen, dass die Stöße und die Firste punktuell, flächig oder linienartig Grubenwasser ableiten. Ein Problem ergibt sich noch durch Altholz, das einerseits verrottet und den Grubenbau dadurch schwächt. Andererseits kann Holz in den Stollenabfluss gelangen, wodurch Verspriegelungen möglich sind, die wiederum zu Rückstauen führen können.

Erhebliche Änderungen des Bergwasserspiegels und Wasserströmungen im Deckgebirge, auch im Lockergestein, nehmen Einfluss auf die Standsicherheit des anstehenden Gebirges und der vorhandenen bergtechnischen Sanierungsmaßnahmen. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass bei bergtechnischen Maßnahmen stets die Drainagefunktion nicht nur für das Wasser sondern auch für Grubengase erhalten bleiben muss.

Einen sicherheitsrelevanten Einfluss auf die Dauerstandsicherheit im ersten Abschnitt des Stollens nehmen die geodynamischen Prozesse und hierbei insbesondere der Einfluss des Frostes ein.

6.3 Geotechnisch-markscheiderische Zustandsdokumentation

Bei wasserführenden Stollen handelt es sich prinzipiell um technische Bauwerke, deren Funktion dauerhaft zu gewährleisten ist. Es gelten insoweit auch besondere Anforderungen hinsichtlich Wartung und Monitoring.

Durch die permanenten Einwirkungen der geodynamischen Prozesse auf die Stollen und/oder deren Umgebung besteht naturgemäß ein Sicherheitsverzehr. Dieser kann besonders im Falle von Extremwetterlagen verstärkt werden. Hierdurch können zunehmend oder schlagartig Hindernisse für einen freien Wasserabfluss, wie Verbrüche und Materialumlagerungen, entstehen. Es bilden sich Wasserrückstaue mit unvorhersehbaren Folgen durch die Mobilisierung von Verbruch- und Versturzmassen in Grubenbauen. Des Weiteren kann es zu plötzlichen Wasserausbrüchen im Bereich von Tagesöffnungen kommen. Diese Prozesse führen im Schadensbild zu Tagesbrüchen, sonstigen Deformationen an der Tagesoberfläche, Überflutungen oder auch zu bleibenden Vernässungen.

In diesem Zusammenhang sollten wasserführende Stollen als Bauwerke der geotechnischen Kategorie 3 gemäß dem Regelwerk DIN EN 1997-1/Eurocode 7 eingestuft werden.

Bei der grundsätzlichen Bewertung von Wasserlösestollen gelten die Herangehensweisen einer geotechnisch-markscheiderischen Bearbeitung (siehe bisherige Empfehlungen des Arbeitskreises 4.6). Hierzu gehört insbesondere zu Beginn jeder Prüfung bzw. Maßnahme eine

historische Recherche. Für die Zustandsdokumentation der wasserführenden Stollen sind im Wesentlichen die nachfolgenden Themenkomplexe zu beachten:

Geotechnik

- Geologie, Tektonik und Lagerstättenverhältnisse und deren Bewertung in Bezug auf Festigkeits- und Verformungsverhalten des umgebenden Gebirges sowie der Kontur des Ausbaus
- Verwitterungsarten und -intensität, Sedimentationsumfänge im Sohlenbereich und sonstige Einlagerungen im Stollen
- Umfang und Auflösungsintensität von verkarstungsfähigen Gesteinen
- Detailaufnahme von aktiven Schadensbereichen
- Kontrolle und Wartung, Monitoring

Hydrogeologie

- Grundwasserverhältnisse im Zu- und Abstrombereich
- Einflüsse von Wasserstandsschwankungen auf das Deckgebirgsverhalten
- Einzugsbereich und Durchflussvolumina im Bereich des Mundloches, aus den Stollenflügeln und wasserführenden Strecken
- Chemismus und dessen zeitliche Veränderungen, Einleittemperaturen

Markscheiderische Arbeiten

- Georeferenzierung der verfügbaren Risse einschließlich Archivrecherche
- Über- und untertägige Ergänzungsmessungen zum Stollen, dessen Schadensbilder und Lichtlöcher
- Erarbeitung von aktuellem Risswerk einschließlich Schnitten und Sonderdarstellungen

Bergtechnische Situation

- Geometrie, Ausbau und Zustand des wasserführenden Stollens einschließlich angrenzender Grubenbaue
- Wetterverhältnisse im gesamten Stollenbereich einschließlich Ausgasungsverhalten von Grubengasen
- Räumliche Funktionalität und Funktionsweise der Wasserführung im Grubengebäude, wie durch Überhauen bzw. Gesenke sowie auch durch Wasserrückstau

Sonstiges

- Nachnutzungen der Grubenbaue und vorhandene bzw. geplante Oberflächennutzung
- Rechtliche Vorgaben

Die Feststellung der vorgenannten Themenkomplexe bzw. deren Inhalt ist notwendig, um je nach Lastfall die möglichen Erscheinungsbilder (Schadensformen) und die damit verbundenen Risiken zu ermitteln und beurteilen zu können (siehe Abschnitt 8).

7 Monitoring

Für die Bewertung der Funktionalität der Wasserlösestollen ist ein angepasstes Monitoringprogramm notwendig. Durch dieses kann dann gegebenenfalls eine Veränderung des Grubenwasserstandes, der Schüttmenge und/oder der Grubenwasserqualität aufgezeigt werden. Wie ausgeprägt ein solches Monitoring sein muss, ist im Wesentlichen von der Schüttmenge des Stollens abhängig. Darüber hinaus sind die Anzahl und Größe der bisher aufgetretenen Schadensszenarien wie Tagesbrüche, untertägige Verbruchzonen und schwallartige Wasseraustritte von Bedeutung. Außerdem ist die jeweilige Nutzung der Tagesoberfläche zu berücksichtigen. Anhand der Nutzung der Tagesoberfläche ist der mögliche Schaden beim Versagen der Wasserlösung, z. B. durch Vernässung, Instabilität von Böschungen oder schwallartigen Wasseraustritten aus dem Mundlochbereich abzuleiten.

8 Schadensanalyse und Risikobewertung

8.1 Schadensformen an Wasserlösestollen

Die altbergbaulich bedingten Erscheinungsbilder (Schäden) lassen sich in Zusammenhang mit Wasserlösestollen, besonders als Folge von Extremniederschlägen, in zwei Einwirkungsbereiche gliedern:

- Schadensrelevante Ereignisse im Übertagebereich
- Schadensrelevante Ereignisse im Untertagebereich

Übertagebereich

- Geländesenkungen und Tagesbrüche über der Stollentrasse bei geringmächtigem Deckgebirge
- Vernässungszonen im Bereich des Mundloches als Folge eines Mundlochverbruches oder defekter Rösche
- Schlag- oder schwallartiger Wasseraustrag aus dem Mundlochbereich nach einem Verbruch oder Teilverbruch des Stollens („Bergwasserexplosion“)
- Verstürzen von Oberflächenwasser in freigespülte, durchgebaute tagesnahe Grubenbaue
- Verflüssigung von Lockermassen (z. B. Ocker) und dessen Austrag bis in den Vorfluter

Untertagebereich

- Teil- oder Vollverbruch von wasserführenden Stollenteilen und Rückstau
- Bildung von Hochbrüchen
- Flutung von Strecken und Abbauen als Standwasserbereiche als Folge von Fließhindernissen
- Vertikale und horizontale Materialumlagerungen sowie Verspriegelung

- Bei gestörtem Abfluss, ungeordneter Umkehrung der Fließrichtung des Stollenwassers und Einleitung in tiefer- oder höherliegende Stollen oder Strecken, woraus sich in vielen Fällen eine Aktivierung trockengefallener Stollen oder Strecken ergibt.

Nach dem vorliegenden Erkenntnisstand treten die meisten Schäden zum Zeitpunkt des Extremniederschlages oder unmittelbar danach ein. Spätfolgen lassen sich auch noch nach Jahrzehnten nachweisen.

8.2 Klassifizierung von wasserführenden Stollen unter Berücksichtigung der Risikobewertung

Die Risikobewertung mit der Vergabe von Risikoklassen erfolgt auf der Grundlage der 1. Empfehlung des Arbeitskreises 4.6 „Altbergbau“ von 2004 „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“ und deren Ergänzungen. In der Tabelle 1 ist die Risikozuordnung zusammengefasst.

In zahlreichen Bergbaurevieren existieren mehrere Wasserlösestollen in unterschiedlichen Höhenniveaus. In Abhängigkeit von der Größe des Revieres und der hydrogeologischen Situation variieren die austretenden Wassermengen und damit die möglichen umfangreichen, schadenswirksamen Wasseraustritte, speziell bei Extremniederschlägen oder Schneeschmelzen. Hauptsächlich kann davon ausgegangen werden, dass sich zwischen den vorhandenen Wasserlösestollen eine hydraulische und geotechnische Wertigkeit (Priorisierung) ergibt. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Grubenbaue im jeweiligen hydraulisch abgeschlossenen Revierbereich und insbesondere deren Höhenverhältnisse erhalten die Stollen innerhalb des dreidimensionalen Grubengebäudes eine differenzierte Bedeutung. Im Rahmen einer geotechnischen und hydrogeologischen Analyse der altbergbaulichen Grubenbaue bedarf es einer Risikobewertung sowie einer Priorisierung der Wasserlösestollen zwischen und innerhalb der einzelnen Risikoklassen.

Tabelle 1: Vereinfachtes Schema zur Vergabe von Risikoklassen

Sicherheit	Risikoklasse	Charakteristik	Handlungsbedarf
„Unsicher“	I (rot)	Sehr hohes Risiko (z. B. große aktive Gesteins- und Gebirgsbewegung, große Standwasserbildung im Abflussbereich, aktive Rutschungen)	**Umgehender Handlungsbedarf**, operative ingenieur- und bergtechnische Maßnahmen „Gefahr im Verzug“
	II (gelb)	Hohes Risiko (z. B. mittlere bis kleinere aktive Gesteins- und Gebirgsbewegung, mittlere bis kleinere Standwasserbildung im Abflussbereich)	**Zeitnaher, planmäßiger Handlungsbedarf** für ingenieur- und bergtechnische Maßnahmen
	III (grün)	Mittleres Risiko (z. B. inaktive Gesteins- und Gebirgsbewegung, unbekannte altbergbauliche Objekteigenschaften)	• **Klärungs- bzw. Erkundungsbedarf** • Monitoring (Beobachtung und Kontrolle)

Sicherheit	Risikoklasse	Charakteristik	Handlungsbedarf
		Grenzrisiko	
„Sicher“	**IV (blau)**	Dauerhaft gesichertes Objekt, Verbleib des Restrisikos, ungehinderter Wasserabfluss, auch Nachnutzung des Objektes	● **Monitoring** (Beobachtung und Kontrolle) ● bei Bedarf **Wartung**
	entfällt	Verwahrt oder keinen Einfluss auf die Sicherheit an der GOK, Verbleib des Restrisikos	● **Keine Maßnahmen** ● Nur in Sonderfällen Kontrolle des Verwahrungszustandes (z. B. Schächte des Kali- und Salzbergbaues)

Für die Klassifizierung stellt das aktualisierte bergmännische Risswerk mit Sonderdarstellungen die Voraussetzung dar. Eine hinreichende Klärung der geotechnischen und hydrogeologischen Gebirgs- und Standsicherheitsverhältnisse sowie der Grubenwassersituation ist die belastbare Basis aller weiteren ingenieurtechnischen berg- und bohrtechnischen Maßnahmen. Fachtechnische Erkundung und Bewertung sollten deshalb bei den Entscheidungen vorangestellt werden.

Aufgrund der hydraulischen Gegebenheiten, des Dauerstandverhaltens des Gebirgsverbandes und der Nutzung der Tagesoberfläche ergeben sich innerhalb der jeweiligen Risikoklassen folgende Priorisierungen der Wasserlösestollen eines Revieres:

- Die tiefliegenden, wasserführenden Stollen eines Grubengebäudes entwässern im freien Gefälle über eine Rösche zum Vorfluter: Die Dauerstandfestigkeit der Stollenlaibung wird durch einen langzeitsicheren Ausbau gewährleistet. Der ungehinderte Stollenwasserabfluss aus der Stollentrasse einschließlich deren Flügel und die Drainage des durchgefahrenen Gebirgsverbandes sind zu berücksichtigen. Der Stollenquerschnitt ist aus hydraulischer Sicht über die Gesamtlänge weitestgehend konstant zu halten. Holzein- und -ausbauten sowie düsenartige Verengungen des Querschnittes sind zu vermeiden. In Abhängigkeit von der Größe des Revieres können ein oder auch mehrere Wasserlösestollen in diesem Entwässerungsniveau existieren. Geeignete Lichtlöcher und Schächte sind für die Kontrolle und Instandhaltung der Stollenfunktion auszuwählen.
- Das nächsthöhere Entwässerungsniveau innerhalb des Grubengebäudes: Diese Wasserlösestollen können in vielen Fällen einer älteren Abbauepoche zugeordnet werden. Sie weisen gegenüber dem unteren Niveau im Allgemeinen einen reduzierten Wasserabtrag zur Vorflut auf. Sie besitzen jedoch eine große Bedeutung für die Drainage des mittleren und oberen bergbaulich veränderten Gebirges. Als Schwerpunkte bei der Sanierung sind der intakte und kontrollfähige Mundlochbereich bis etwa 50 bis 100 m Stollentrasse, geeignete Lichtlöcher oder Schächte und eine ausreichende Dauerstandsicherheit der Stollenlaibung in dem o. g. Bereich zu nennen. Stets ist zu prüfen, ob vertikale Grubenbaue zum Versturz von Grubenwasser auf das tiefere Entwässerungsniveau vorhanden sind und genutzt werden können. Auch vertikale oder geneigte Bohrungen eignen sich in Abhängigkeit vom anstehenden Gebirge zur vertikalen Wasserführung.

- Im obersten Bereich des Grubengebäudes befinden sich gewöhnlich die ältesten Stollen. Sie unterliegen durch ihre Oberflächennähe in der Wasserführung des Grubengebäudes stärkeren, zeitlich versetzten, niederschlagsabhängigen Schwankungen. Nicht selten sind sie über längere Zeiten trocken oder führen nur begrenzt Drainagewasser, was zu partiellen Vernässungen im Mundlochbereich führen kann. Geeignete Versickerungsstellen (z. B. Rigolen, Schotterpackungen) im erweiterten Mundlochbereich, Rohranbindungen zum geordneten Wasserabfluss oder der Bau von kleineren Dämmen zum begrenzten Rückstau sowie geordneten Wasserversturz über vertikale Grubenbaue oder Bohrungen auf ein niedrigeres Höhenniveau sind möglich. Das Mundloch und die ersten Stollenmeter (ca. 10 m) können durch den händischen Einbau von groben, wasserdurchlässigen Steinpackungen dauerhaft verschlossen werden.

Diese Dreiteilung der Wasserlösestollen spiegelt auch häufig die etappenweise, vertikale Erschließung insbesondere der gang- und flözartigen Lagerstättentypen wider.

Für die Sanierung der Wasserlösestollen ergeben sich basierend auf dieser Dreiteilung grundlegende Rückschlüsse und Sanierungsabstufungen bezüglich der dauerhaften Sicherstellung der Funktionalität und Kontrollfähigkeit von Wasserlösestollen zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit und zur Vermeidung von Hochwasserschäden.

Von Grund auf werden diese Stollen in die Sanierungskategorie „dauerhafte Sicherung“ eingeordnet. In dieser Rubrik ist stets ein festzulegendes Monitoring zu berücksichtigen.

9 Grundsätze zu Sanierungsmaßnahmen

Sanierungsmaßnahmen an Wasserlösestollen sind unter den Grundsätzen der dauerhaften funktionalen Erhaltung und Kontrolle (Monitoring), der ungestörten Wasserableitung des Stollenwassers sowie unter dem Aspekt der räumlichen Drainage des Gebirgs- und Grubenwassers im Bereich des gesamten Stollentraktes und dem gesamten Grubengebäude zu bewerten, zu planen und bergtechnisch zu realisieren. Das Auftreten von möglichen Grubengasen und deren Transport mit dem abfließenden Grubenwasser sind zu berücksichtigen. Auch die Aspekte der Ewigkeitslast eines wasserführenden Stollens sind im Rahmen von langzeitstabilen Sanierungsmaßnahmen für den Über- und Untertagebereich objektspezifisch auszuwählen. Die bewährten dauerhaften Sicherungs- und bergtechnischen Verwahrungsmethoden sind zu nutzen.

- Die Sanierungen von aktiven Wasserlösestollen sollten in der Regel am Einlauf der Rösche in den Vorfluter begonnen und gegen das Ansteigen des Stollens geführt werden. Dabei ist die Dimension der Rösche stets dem Durchflussquerschnitt des Mundlochbereiches anzupassen. Eine temporäre Wasserhaltung ist bei einer Sanierung stets einzuplanen. Die Standwasserproblematik und das mögliche Auftreten von Schwallwasser sind im Rahmen der Sanierungsarbeiten zu beachten.
- Gegenüber dem zentralen Stollenverlauf sind Stollenflügel und Abgänge aus hydraulischer Sicht als gleichrangige Grubenbaue einzustufen. Bei einer partiellen

Sanierung von Wasserlösestollen können jedoch nur lokale Schwächezonen beseitigt werden.

- Generell sind Holzaus- und -einbauten aus dem Stollentrakt zu entfernen. Der Holzausbau ist durch einen dauerhaften Ausbau auszuwechseln. Holzablagerungen sind vor Abschwemmungen wirksam zu sichern.
- Sind in einem größeren Grubengebäude wasserführende Stollen in verschiedenen Höhenniveaus vorhanden, so kann bei hinreichender Kenntnis der unterirdischen Wasserwege von dem darüber liegenden Niveau Wasser auf tiefere Ebenen über vertikale Grubenbaue, Bohrungen und/oder Rückstaue verstürzt werden. Noch anfallendes Drainagewasser kann in einem geeigneten übertägigen Bereich versickert werden. Voraussetzung der differenzierten Stollenzuordnung ist eine risikoorientierte, hydraulische Klassifizierung aller wasserführenden Stollen eines in sich abgeschlossenen Grubengebäudes.
- Wasserlösestollen sollten in bestimmten Intervallen (empfohlen von 1 bis 5 Jahren bzw. zeitnah nach extremen Wasserereignissen) kontrolliert und bei Bedarf saniert werden. Hier gilt eine vorzugsweise Begehbarkeit als zielführend. Bei der Sanierung sind naturschutzfachliche sowie ggf. weitere Aspekte im Einzelfall zu beachten.

10 Nachnutzung von Wasserlösestollen

Die Frage nach einer Nachnutzung von aktiven Wasserlösestollen oder deren Teile sollte vor einer Sanierung stets gestellt werden. Vor allem die Kontrolle des Objektes und die Wartung der Anlage wären damit effizient abgesichert. Folgende Schwerpunkte für eine Nachnutzung lassen sich beispielhaft nennen:

- Besucherbergwerk mit verschiedenen Erlebnisbereichen je nach Grubenbaugröße
- Sachzeuge der bergmännischen Wasserwirtschaft (Besucherbergwerk)
- Wassernutzung (Trink- und Brauchwasser)
- Geothermische Nutzung des Stollenwassers
- Heilstollen
- Fischzuchteinrichtung
- Seismologische Station
- Untertägiges Flora- und Faunabiotop
- Kombinationen verschiedener Nutzungsarten

Liste der Autoren der Empfehlung

Prof. Dr.-Ing. J. Benndorf
Dr. R. Bergner
Prof. Dr.-Ing. W. Busch
Prof. P. Goerke-Mallet

Dipl.-Ing. O. Heinke
Dr.-Ing. M. Heitfeld
Dipl.-Ing. P. Hogrebe
Dr.-Ing. W. Hüls
Dipl.-Ing. G. Jost
Prof. Dr.-Ing. H. Klapperich
Dr.-Ing. K.-H. Löbel
Dipl.-Ing. J.-P. Lux
Dr.-Ing. habil. G. Meier (Obmann des Arbeitskreises)
Dipl.-Ing. H. Mühlenbeck
Dipl.-Ing. E. Schuscha
Dipl.-Ing. M. Speer
Prof. Dr.-Ing. habil. Anton Sroka
Dipl.-Ing. P. Steinmetz
Dipl.-Geol. D. Tondera
Dipl.-Geol. A. Wehinger
Dipl.-Ing. R. Wings
Dipl.-Ing. F. Wollnik