

Wasser führende Stollen im Altbergbau

Havarien • Analyse • Sicherung

Water leading galleries in abandoned mines
disaster • analysis • securing

Dr.-Ing. habil. Günter Meier

Ingenieurbüro Dr. G. Meier, Wegefarth / Freiberg

Zusammenfassung

Wasser führende Stollen im Altbergbau können durch Verbrüche in ihrer Funktionalität kollabieren und Standwasser mit hohem Risiko- und Gefahrenpotential bilden. Plötzliche Wasseraustritte und Beeinträchtigungen der Tagesoberfläche im Stollenverlauf sind dann häufige Erscheinungsbilder. Vor allem Hochwasser und Extremniederschläge sind Auslöser von differenzierten Verbruch-, Deformations- und Umlagerungsprozessen. Ausgehend von grundlegenden Definitionen, Umfängen und Dimensionen von Stollen werden typische Beispiele von Havarien und deren Ursachen aufgezeigt und analysiert. Anhand dieser Ergebnisse werden erforderliche geotechnisch-markscheiderische Erkundungen und Bewertungen an Stollen eingegrenzt und die notwendigen Umfänge an Kontroll-, Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen umrissen.

Abstract

Because of roof collapse water leading galleries in abandoned mines may be faulty in their function. Thus the water retains and a high potential of risk and danger is given. Sudden escape of water and interactions on the surface in the line of the gallery are frequently observed. First of all flood water and extreme rainfalls in initiating sophisticated processes of structural collapse, deformation and rearrangement. Basing on fundamental definitions, scales and dimensions of galleries typical examples of disasters and their cause are pointed out and are analysed. Considering the results necessary geotechnical investigations, mine-surveying and expertises on the galleries are narrowed down. Furthermore the required extent of controlling, securing and safe keeping procedures is identified.

1 Problemstellung

Von allen Hinterlassenschaften des historischen und stillzulegenden Bergbaus stellen Wasser führende Stollen einen bedeutenden Schwerpunkt für die geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung sowie bergtechnische Bearbeitung dar. Vor allem der dauerhafte und störungsfreie Wasserabfluss bildet, neben der Analyse von Bruch- und Deformationsprozessen auf tagesnahen Stollenabschnitten und Mundlochbereichen einschließlich der Schadensereignisse an Lichtlöchern, die entscheidende sicherheitsrelevante Fragestellung für die Tagesoberfläche. Wasser- ausbrüche aus Stollen, hervorgerufen durch Standwasserbildungen im angrenzenden Grubengebäude oder durch verstürzende Wässer von der Tagesoberfläche in Grubenbaue über Schächte, Abbaue und von höher liegenden Stollen bei Extrem-

niederschlägen, Hochwasser oder Tauwetter können zu katastrophalen Schadensereignissen führen. Aktuelle Ereignisbeispiele sind hierfür die Nassereither Bergwasserexplosion von 1999 /1/ oder der Verbruch des Rothschönberger Stollens von 2002 /2/.

Unter Ausnutzung des Reliefs und des freien Gefälles wurde fast in allen Altbergbaurevieren Mitteleuropas eine Vielzahl von Stollen zur Wasserableitung des Gebirgswassers und von Betriebswasser mit erheblichen Kostenaufwendungen und oft in Jahrzehntelangen Vortriebszeiten angelegt. Im historischen Bergbau können in Abhängigkeit von der Lagerstätte und der Morphologie jeweils Stollen oder Schächte in den einzelnen Revieren dominieren. So erfolgte beispielsweise der alpine Salzbergbau über Jahrtausende bis heute ausschließlich nur über Stollen.

Bereits RÖSSLER /3/ verwies 1700 in seinem Buch „Hellpolierter Berg-Bau-Siegel“ auf die fundamentale Bedeutung von Stollen für den Bergbau, „dass man das Gebirge damit auffschliesse / weil die Stollen der Gebirge Schlüssel synd.“ Über Jahrhunderte waren diese kosten- und vortriebsintensiven aber effizienten, meist multifunktionalen Grubenbaue in vielen Revieren die Grundlage für Wasserlösung, Erkundung, Erschließung, Abbau, Bewetterung, Fahrweg, Transport und für die wasserwirtschaftliche Energienutzung unerlässlich. Wasser mit Wasser heben bis auf das entwässernde Stollenniveau mittels Wasserkünsten war eines der technischen Entwicklungen für den immer tiefer reichenden Bergbau nach 1500. Oft mehrere untereinander hängende Wasserräder gekoppelt an hölzerne Pumpen waren keine Seltenheit. Später nutzte man eiserne Wasserhebeanlagen (Wassersäulenmaschinen), bis Dampf und Elektrizität die Energieträger wurden und Kreiselpumpen ab Mitte des 20. Jahrhunderts einen wesentlichen Entwicklungssprung in der Wasserhebung darstellten /4/. Die Bedeutung der Stollen zur Wasserlösung im aktiven Bergbau war damit weitestgehend hinfällig.

Auf das umgebende Gebirge des Stollens und den Ausbau wirken die ständigen Einflüsse der geodynamischen Prozesse und damit auch Spannungsveränderungen. Dadurch reduzieren sich zumindest partiell die Dauerstandssicherheiten des fast horizontal aufgefahrenen Hohlraumes mit und ohne Ausbau, wodurch die Funktionalität permanenten Angriffen und Veränderungen unterliegt. Wasser führende Stollen stellen deshalb für die Tagesoberfläche, bedingt durch ihre sehr unterschiedlichen Eigenschaften und Dimensionen, durch Alter, Lagerstätte, Geologie, Morphologie und Hydrologie, sehr hohe, aber auch recht unterschiedliche Gefahren- und Risikogrößen dar. Eine geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von ausgewählten Havariebeispielen und deren Analysen ergeben Schlussfolgerungen für effiziente Verwahrungs-, Sicherungs- und Kontrollmaßnahmen. Ebenfalls lassen sich aus diesen analytischen Betrachtungen grundsätzliche und revierbezogene Gesetzmäßigkeiten sowie objektspezifische Besonderheiten ableiten.

2 Begriffsbestimmungen und Umfänge

Unter einem Stollen wird eine fast horizontal verlaufende bergmännische Auffahrung verstanden, die an der Tagesoberfläche in Hanglage oder im Talgrund steigend angesetzt und durch ein Mundloch charakterisiert ist. Stollen ohne ein Mundloch an der Tagesoberfläche sind aus dem Mansfelder Kupferschieferbergbau bekannt, wo kleinere Stollen aus größeren Auslaugungshohlräumen (so genannte Schlotten) aufgefahren wurden. Im Allgemeinen wurden die Stollenansatzpunkte so gewählt, dass genügend Haldensturz vorhanden war und kleineres Hochwasser den Wasserabfluss nicht behinderte /5/.

In Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren kamen im Altbergbau sehr unterschied-

liche Stollenarten und stollenähnliche Auffahrungen über die Jahrhunderte zur Ausführung.

In der Tabelle 1 sind die verschiedenen Wasser führenden Stollenarten aufgeführt und kurz erläutert.

Tabelle 1: Einteilung von Wasser führenden Stollen im Altbergbau

Suchstollen (Erkundungsstollen, Schurfstollen)	Kleine horizontale Auffahrung zur Erkundung einer Lagerstätte, meist mit geringer, oft wechselnder Wasserführung
Förderstollen	Primär angelegt zum horizontalen Transport, meist wasserführend; vereinzelt erfolgte auch ein Kahntransport
Hauptstollen (Tiefer Stollen, Erbstollen, Revierstollen, Königlicher Stollen, Communstollen, fiskalischer Stollen, Wasserlösestollen)	Zentraler Wasser abführender horizontaler streckenartiger Grubenbau zur Entwässerung der Lagerstätte oder von Lagerstättenteilen, Auffahrung und Unterhaltung war meist zentral geregelt und finanziert (z. B. Vergabe von Stollenrechten, „Stollenneuntel“, staatliche Subventionen), Auffahrungszeiten von mehreren Jahrzehnten oder fortlaufende Verlängerung mit dem Abbau
Wasserstollen	Bergmännische Auffahrung zur Wasserversorgung von größeren Ansiedlungen (z.B. Bergstädten) oder Gehöften
Rösche	Wasserführender Teil des Stollens vom Mundloch bis zum natürlichen Vorfluter; offener oder abgedeckter Graben oder bergmännisch aufgefahrenen Strecke in geringer Tiefe zur Wasserab- bzw. -zuleitung, Bestandteil der bergbaulichen Wasserwirtschaft
Anzucht	Bergmännisch aufgefahrenen Strecke oder in offener Bauweise hergestellte Steinschleuse zur Entwässerung von tiefen Hauskellern
Bergkeller (Felsenkeller, Höhler)	Bergmännisch aufgefahrenen Lagerräume meist mit geringer, oft wechselnder Wasserführung

Das Gefälle eines Wasser führenden Stollens variiert im Allgemeinen zwischen 10 und 1.000 mm Anstieg auf 100 m Länge. Bei AGRICOLA /6/ wird ein Gefälle von 1.000 mm pro 100 m Stollen genannt. RÖSSLER /3/ verweist ebenfalls auf dieses Gefälle, jedoch sollten lange Stollen einen Anstieg von nur 250 mm pro 100 m bekommen. In älteren Stollen sind auch Absätze oder Stufen („Gesprenge“), meist lagerstättenbedingt, nicht selten.

In der Tabelle 2 sind einige Beispiele für Stollengefälle im Altbergbau zusammengestellt.

Tabelle 2: Beispiele für Stollengefälle

Stollenname	Revier	Gefälle auf 100 m Stollenlänge in mm
Ernst-August-Stollen	Oberharz	67,6
Tiefer Georgstollen	Oberharz	100
Froschmühlenstollen	Mansfelder Mulde	12 -18
Schlüsselstollen	Mansfelder Mulde	22
Erdeborner Stollen	Mansfelder Mulde	55
Rothschönberger Stollen	Freiberg (fiskalischer Teil)	31,6
Tiefer Hauptstollen	Geyer	924
Veltheim-Stollen	Mitteldeutsches Braunkohlenrevier (Tollwitz)	19,2
Heinitz-Stollen	Saarbrücken	62,5
Elbstollen	Freital	36
Bierschnabel-Stollen	Annaberg-Buchholz	1.000
Thelersberger Stollen	Brand-Erbisdorf	44,8

Nur mäßig ansteigende Stollensohlen verringerten die Verschlammung und erleichterten die Förderung.

Die Querschnitte von Wasser führenden Stollen wurden einerseits von der abzuführenden Wassermenge, den sonstigen Zweck des Stollens und der jeweiligen Bergbauphase bestimmt. Die untere Grenze für bergmännisch aufgefahrene Stollen und Röschen liegt etwa bei einer Höhe von 1,6 m und einer Breite von 0,6 m.

In der Tabelle 3 sind ausgewählte Beispiele von Stollenquerschnitten des Altbergbaus zusammengestellt.

Tabelle 3: Beispiele für Stollenquerschnitte des Altbergbaus

Stollenname	Ort / Revier	Höhe / Breite in m
Tiefer Friedrich-Stollen	Tarnowitz / Oberschlesien	3,75 / 2,25
Rothschönberger Stollen	Rothschönberg / Freiberg-Brand	Fiskalischer Teil: 3,0 / 2,5 Inneres Revier: 3,0 / 1,5 Rösche: 2,0 / 2,5
Erdeborner Stollen	Erdeborn / Mansfelder Mulde	Mundlochbereich: 1,5 / 1,5 ab 5. LL: 1,9 / 1,0
Veltheim-Stollen	Tollwitz / Mitteldeutsches Braunkohlenrevier	1,85 / 1,15 (eiförmig)
Jakob-Adolph-Stollen	Hettstedt / Mansfelder Mulde	1,5–2,2 / 0,8-1,2
Reiche Empfängnis-Stollen	Annaberg-Buchholz	1,6–1,8 / 0,8 (trapezförmig)
Ernst-August-Stollen	Gittelde / Oberharz	2,52 / 1,68 davon 0,84 / 1,32 Wasserseige
Tiefer Georgstollen	Bad Grund / Oberharz	2,5 / 2,0 davon 0,5 Wasserseige
ROESSLER /3/, Stolln-Ordnung /7/, KERN /8/	Sachsen 1700 bis 1769	≥ 2,5 / 1,0 davon Wasserseige ≤ 1,0
Tiefer Hauptstollen	Geyer	2,0-2,5/0,6-1,3

In den Stollen waren zu den Betriebszeiten ein hölzernes Tragwerk eingebaut und eine Wasserseite angelegt, wodurch die Kontrolle und Wartung erleichtert wurden. Bei einem dichten Verschluss des Tragwerkes zur Wasserseite konnte eine natürliche Wetterzirkulation erreicht werden, die bis über 600 m Länge funktionierte /3/.

In stark Wasser führenden Stollen wurden und werden Kähne zu Kontrollbefahrungen eingesetzt (z. B. Schlüsselstollen – Mansfelder Mulde, Rothschönberger Stollen – Freiberg).

Je nach Bergbauepoche, Lagerstätte und Morphologie wurden auf der Stollentrasse in verschiedenen Abständen Lichtlöcher angelegt, die nach der Fertigstellung des Stollens nur zum Teil zur Kontrolle und Wartung oder auch als Förderschächte vorgerichtet und genutzt wurden. In einigen Fällen wurde nach Beendigung des Bergbaus das Stollenwasser als Brauch- und Trinkwasser nachgenutzt und Lichtlöcher zu Brunnen ausgebaut.

Ein Schwerpunkt der Stollenauffahrungen liegt im Erzbergbau, wo insbesondere in den Mittelgebirgsregionen oft „Jahrhundertbauwerke“ bergmännisch vorgetrieben wurden.

In der Tabelle 4 sind einige Beispiele von bedeutenden Stollen des Erzgebirges aufgeführt.

Tabelle 4: Beispiele von bedeutenden Wasser führenden Stollen des Erzgebirges

Stollenname	Revier / Ort	Vortriebszeit	Gesamt-länge in km
Rotshönberger Stollen	Freiberg – Brand / Rothschönberg bei Meißen	1844 – 1877	50,9
Markus-Semmler- Stollen	Schneeberg / Niederschlema	1503 – 20. Jh.	44,0
Thelersberger Stollen	Freiberg - Brand / Linda	ab 1520	33,6
Alter Tiefer Fürstenstollen	Freiberg - Brand / Tuttendorf	begonnen vor 1384	30,1
Oberer Fürstenstollen	Schneeberg / Oberschlema	1473 – 1580	25,0
Tiefer Fürstenstollen	Schneeberg / Oberschlema	1481 -1570	18,3
Weißtaubner Stollen	Marienberg / Pobershau	1523 – 19. Jh.	16,0
Felberstollen	Marienberg / Wolkenstein	ab 1529	15,0
Wildemann-Stollen	Marienberg / Pobershau	1538 – 1855	12,5
Orgelstollen	Annaberg-Buchholz / Frohnau	Um 1500 – 1633	12,5

Aber auch im Steinkohlenbergbau, z. B. im Saarland, in Sachsen, Belgien, an der Ruhr oder in Südwales, dienten Stollen zur Wasserlösung /9/. Ebenfalls im historischen Braunkohlentiefbau Mitteldeutschlands sind Stollen keine Seltenheit. Dabei wurden geringe morphologische Höhenunterschiede ausgenutzt und längere Auffahrungen oft in Naturstein- oder Ziegelausbau in Kauf genommen.

Für die Sicherheit an der Tagesoberfläche besitzen sehr tagesnah verlaufende Stollen eine große Bedeutung, da Verbrüche zu Tagesbrüchen führen können, deren Einwirkungen auf die Tagesoberfläche jedoch numerisch abschätzbar sind /10/.

Wesentlich schadensintensiver sind massive Störungen des Wasserausflusses aus Stollen zu bewerten, die zu katastrophalen Auswirkungen auf die Tagesoberfläche insbesondere in Verbindung mit Extremniederschlägen oder Hochwasser führen können.

Die weiteren Ausführungen werden sich deshalb vorrangig auf die geotechnisch-markscheiderischen Probleme von Wasserlösestollen beziehen.

3 Ausgewählte Havarieereignisse an Wasserlösestollen

Nur wenige Literaturquellen beschreiben ausführlich katastrophale Havarieereignisse an Wasser führenden Stollen /1, 2, 11, 12/. In Archivunterlagen und Chroniken sind jedoch zahlreiche Havarieereignisse festgehalten, deren Aufarbeitung und Publikation, wenn überhaupt, nur lokal erfolgte. Als Beispiel sei hier die Veröffentlichung zum Markus-Semmler-Stollen in Schneeberg genannt, wo über zahlreiche Einwirkungen von Wasserfluten auf den Bergbau berichtet wird /12/. Oft sind nur pauschale Hinweise auf verheerende Auswirkungen auf den Bergbau bei Wasserfluten in den Chroniken vermerkt. In den historischen Bergbauakten stehen meist Standwasserprobleme und ihr Einfluss auf die Sicherheit bei den bergbaulichen Aktivitäten im Vordergrund oder es sind Beschreibungen von Unfällen in diesem Zusammenhang enthalten.

Ausführlich sind die Schadensereignisse im Einflussbereich des **Roths Schönberger Stollens** zu den Sommerhochwässern von 1897 und 2002 beschrieben /2, 11, 12/. Der Roths Schönberger Stollen wurde von 1844 bis 1877 als zentraler Entwässerungsstollen des Freiberger Reviers für den Silbererzbergbau angelegt. Er ist mit 50,9 km Länge der größte, bedeutendste und wasserreichste Stollen im Freistaat Sachsen. Ohne auf die bereits ausführlich veröffentlichten Details zu dieser Stollenauffahrung und den beiden herausragenden Havarieereignissen näher einzugehen, heben sich zusammenfassend folgende identische Schadensmechanismen und -bilder bei beiden Schadenszenarien hervor:

- Primäre Schadensauslöser waren nicht das zeitlich verzögerte, wohl anschwellende Eindringen und Ansteigen des Stollenwassers infolge der sommerlichen Extremniederschläge, sondern die unmittelbaren Direktverstürze von Hochwasser insbesondere der Freiberger Mulde und des Münzbaches, aber auch von entstandenen Rinnalen in die zum großen Teil leer stehenden Gangabbaue, Schächte, Stollen und Röschen sowie sonstigen Tagesöffnungen im unteren Teil der Talhänge und in den Talauen. Dabei traten umfangreiche Massenumlagerungen in den alten Schächten und Gangabbauen auf. Es bildeten sich größere Standwasserzonen in den Abbauen und Streckensystemen. Der Verbruch von labilen und geschwächten Stollenausbauten unter Einwirkung dieser freigesetzten hydraulischen und mechanischen Kräfte führte zum Kollaps und wiederum zu neuen Standwasserbildungen mit erneuten Einwirkungen auf Abbaue und Schächte. In den überfluteten Talauen mit tagesnahem Bergbau entstanden Verbruch- und Versturztrichter im Bereich von unverwahrten oder offenen Schächten und tagesnahen Gangabbauen insbesondere aber auch in Zonen von geschwächtem oder nicht tragfähigem Deckgebirge.
- Die vertikalen und horizontalen Massenumlagerungen im Gebirge in Folge des direkten Wasserversturzes von der überfluteten Tagesoberfläche bis zum Niveau des Stollens führten somit auch außerhalb der Überschwemmungsbereiche zu erheblichen Schadenswirkungen und Gefahrenzonen an der Tagesoberfläche.
- Durch den Direktversturz des Wassers in das Grubengebäude in den überfluteten Talauen oder beim Anstieg der Standwasserbereiche in Folge der Bildung von Durchflusshindernissen im Stollen (Verbruch, Verspiegelung) wurden auch alte Verbruch- und Deformationszonen aktiviert sowie auch neue Schadensbereiche geschaffen.

- Die Hochwasserereignisse von 1897 und 2002 zeigen deutlich, dass der Rothschönberger Stollen für Extremwasser nicht ausgelegt ist. Seine Abflusskapazität wurde mit 30 Rad Wasser geplant, was 1.135 l/s oder 68,1 m³/min entspricht. Der geschätzte Wasseraustrag des Stollens lag am 13. August 2002 bei etwa 10 bis 12 m³/s (durchschnittlicher Normalabfluss ca. 600 l/s). Kleinere Hochwasserereignisse wurden bisher verkraftet.
- Der Abfluss des Stollens nach den Havarieereignissen funktionierte grundsätzlich über die Verbruchstellen, jedoch waren an die Durchflusshindernisse dauerhaft größere Standwasserbildungen (> 100.000 m³) gebunden. Durch den Rückstau musste mit den bereits beschriebenen Folgen auf Abbaue und Schächte gerechnet werden.
- Schaden mindernd wirkten sich bei den Hochwasserereignissen die lufterfüllten Grubenbaue und deren partielle Abtrennung (z. B. Stauraum des ehemaligen Kavernenkraftwerkes Drei-Brüder-Schacht) und die weit verzweigten Verbindungen der Grubenbaue (z. B. Abfluss über die Grube Beihilfe) aus.
- Die zeitliche Häufigkeitsverteilung der Schadensereignisse an der Tagesoberfläche konzentrierte sich unmittelbar auf den Zeitraum der Extremwasserereignisse und unmittelbar danach. Spätfolgen lassen sich jedoch selbst noch nach etwa 70 Jahren beispielsweise in der Freiberger Altstadt (Terrassengasse) über dem Hauptstollengang Stehenden nachweisen. Zum Hochwasser von 1897 führten hier Bodenabsenkungen über dem durchgebauten Gangausbiss zu starken Verformungen und Totalschäden an Wohngebäuden. Diese Deformationsentwicklung kam über die Jahrzehnte nicht zur Ruhe und so mussten 1970 die Häuser Nr. 4 und 6 der Terrassengasse abgerissen werden /14/ (Abb. 1).



Abb. 1: Deformierte Fundamentmauern eines abgerissenen Wohngebäudes über dem Ausbiss des Hauptstollengang Stehenden in der Terrassengasse von Freiberg (archäologisch ausgegraben August 1997)

Die aufgeführten geotechnisch-markscheiderischen Zusammenhänge bei den Schadensszenarien im Rothschönberger Stollen machen deutlich, dass es sich bei extremen übertägigen Wasserzuläufen um eine komplexe Schadensentwicklung mit ket-

tenartigen Reaktionsabläufen im Unter- und Übergangsbereich handelt. Beim ungehinderten, direkten Wasserversturz ist die Wasserwegigkeit in ihren hydraulischen Eigenschaften vergleichbar mit einem Karstaquifer. Der Faktor Zeit ist für die Schadensentwicklung und das Schadensausmaß ein zu berücksichtigender Faktor.

Ein weiteres Beispiel für katastrophenartigen Wasseraustritt aus einem Stollen ist der **Tiefe Hauptstollen** in der Bergstadt Geyer im Erzgebirge /14/. Die Entstehung des Ortes wird auf den Zinnbergbau zurückgeführt, der schon im 14. Jahrhundert begann. Bereits 1462 wird auch die erste Silbergrube erwähnt. In den Jahren 1493 und 1494 wird eine hohe Silberausbeute ausgewiesen. Um die tieferen Gebirgszonen der Silbererzgänge zu entwässern, wurde in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts der Tiefe Hauptstollen auf dem Marktplatz der Stadt erst als 162 m lange Rösche begonnen und dann im bergmännischen Vortrieb mit geringmächtigen Deckgebirgsverhältnissen fortgesetzt. Eine genaue Jahreszahl für den Beginn und die Vollendung ist nicht bekannt. Der Stollen hat im 18. und 19. Jahrhundert durch den umfangreichen Abbau von „Kiesen“ (Eisenkies - Pyrit) und Bleierzen sowie dem Betreiben eines Vitriolwerkes eine wichtige Bedeutung erlangt. Es ist jedoch belegt, dass sogar eine Stollenverlängerung noch 1862 erfolgte. Die erste Nachricht über den Stollen bezieht sich auf das Jahr 1627. Der erste und einzige historische Grubenriss entstand 1677. Eine spätere Neuvermessung erfolgte nicht. Der Tiefe Hauptstollen verläuft in einer Talsohle mit dichter städtischer Bebauung. Er verlässt diese ungünstigen ingenieurgeologischen, geomechanischen und hydrologischen Gegebenheiten erst nach etwa 900 m am 9. Lichtloch. Hier wird eine Tiefe bis zur Stollensohle von 25,45 m erreicht. Die Abmessungen des Stollens betragen in der Höhe 2,0 bis 2,5 m und in der Breite 0,6 bis 1,3 m. Die Gesamtlänge des Stollens einschließlich der Rösche umfasst etwa 2.350 m. Er bringt eine maximale Tiefe von 70 m ein. Lagerstättenbedingt weist der Stollen in seinem Verlauf einen besonders großen Anstieg auf. So konnte in den neu vermessenen Stollenteilen etwa von den Lichtlöchern 8 bis 11 ein Gefälle 924 mm auf 100 m nachgewiesen werden. An den Stollen sind 11 Lichtlöcher und 5 Tages schächte gebunden, mindestens weitere 15 Tagesschächte befinden sich in unmittelbarer Trassennähe. Der Stollen ist nicht befahrbar, sein Zustand musste zu einem Großteil als labil und gebräch eingestuft werden. Zahlreiche Verbruchereignisse auf der Stollentrasse insbesondere im unmittelbaren Stadtgebiet belegen diese Situation. Zwischen dem 8. und 9. Lichtloch befindet sich eine artesische Wasseraustrittsstelle auf dem Stollen. Hier fließt das Stollenwasser aus 21,5 m Tiefe dem Stadtbach zu. Zu einem katastrophalen Ereignis kam es am 4. Januar 1932 an dieser Stelle (Abb. 2).

Nach einsetzendem Tauwetter und anhaltendem Regen konnten der Heideteich und die drei Hüttenteiche etwa am oberen Ende des Stollens kein Wasser mehr aufnehmen. Die in voller Dammbreite überlaufenden Wassermassen der Hüttenteiche ergossen sich größtenteils direkt in die Holzbruch-Pinge, da der direkt vorbei fließende Bach über die Ufer getreten war. Der Damm des unteren Hüttenteiches brach sogar und dieses Wasser verstürzte in die Pinge, aber auch mehrere Schachtpingen in der Talsohle nahmen ungebremst die Wassermassen auf. Die Holzbruch-Pinge befindet sich unmittelbar unterhalb der Hüttenteiche und ist ein Relikt des Kiesabbaus. Sie ist derzeit etwa 110 m lang und bis 40 m breit. Die aktuelle Tiefe beträgt 12 m, wobei sie ursprünglich ca. 60 m tief gewesen sein soll. Die der Pinge und den Schachtpingen zuströmenden Wässer verstürzten bis auf den Tiefen Hauptstollen. Es bildete sich ein gewaltiger Rückstau in den Grubenbauen und im Stollen selbst. Erhebliche Massenumlagerungen in den Abbauen, Lichtlöchern und Schächten waren die Folge. Die Auswirkungen auf den Stollen in diesem Gebirgsbereich sind im vollen Umfange bis heute noch nicht bekannt.



Abb. 2: *Wasserausbruch über tagesnahe Abbaue am 04.01.1932 in der Bergstadt Geyer (historische Aufnahme)*

Das artesisch empor quellende Stollenwasser spülte einen alten Gangabbau frei, der vom Stollen in etwa 23 m Tiefe bis fast an die Tagesoberfläche reichte. Infolge des Druckes kam es an der Austrittsstelle zu einer Hangrutschung mit 100 bis 150 m³ Erdmassen. Zusätzlich wurden aus dem Stollen oder den teilversetzten Abbauen Bergmassen ausgetragen und in die Stadt gespült. Die Wassermassen strömten von der Austrittsstelle über die Bachgasse, dann über die Straße der Freundschaft bis auf den Altmarkt (Abb. 3). Dabei kam es bis zu 1 m tiefen und 5 m breiten Erosionen auf den Straßen und zu Schäden an den Gebäuden. Erst nach 3 Tagen ließ die aus dem Tiefen Hauptstollen austretende Wassermenge nach. Am 24. Januar 1932 traten noch 80 l/min aus.

Dieses große Schadensereignis von 1932 verdeutlicht eindrucksvoll die unmittelbare Wirkungskraft und das Ausmaß von Gefahren bei direkt in das Berggebäude verstürzendem Extremwasser und dessen unterirdischem Abfluss über den Stollen.

Grundsätzlich machten die Archivrecherchen zur Stollengeschichte deutlich (Tabelle 5), dass einerseits das ungehinderte Eindringen von extremem Niederschlags- und Schmelzwasser in die Grubenbaue zu den Schäden führte. Andererseits wurden die Kontrolle und Wartung der dauerhaften Funktionalität des Stollens als entscheidende Faktoren für die maßgebliche Reduzierung von Schadenswirkungen und deren Ausmaß vernachlässigt.



Abb. 3: *Freigespülte Straße nach dem Abfluss des Stollenwassers (historische Aufnahme)*

Tabelle 5: Chronologie bekannter Schadensereignisse im Bereich des Tiefen Hauptstollens /15/

1720	Der Stollen ist vom Mundloch auf einer Länge von 230 m verbrochen. Am Ende des Bruches tritt Wasser aus. Eine Hauptreparatur erfolgte nicht, da das in der Kiesgrube anfallende Wasser noch abließ. Lediglich einige Lichtlöcher erhielten eine neue Auszimmierung und Verbühnung
1751	Am 25. Juni beschwert sich der Rat von Geyer beim Bergamt über die Schäden, welche das aus dem Tiefen Hauptstollen ausgetretene Wasser verursacht hat. Die Gewerkschaft des Vitriolwerkes, welcher der Stollen gehört, weigert sich, die Reparatur durchzuführen. Gleichzeitig wird erwähnt, dass die Bürger widerrechtlich Schächte, Pingen und Halden einebnen.
1759	Der Stollen wird aufgewältigt.
1768	An einigen Orten ist der Tiefen Hauptstollen verbrochen und nicht befahrbar. Das in der Kiesgrube anfallende Wasser wird trotz der Verbrüche gelöst. Aus dem 8. Lichtloch tritt artesisch Wasser aus.
1780	Der untere Teil des Stollens (600 m) wird wegen hoher Unterhaltungskosten und dem starken Ansteigen abgeworfen.
1783	Aus dem 8. Lichtloch tritt Wasser aus.
1803	Im oberen Teil von Geyer sowie nördlich bzw. nordwestlich tritt Wasser aus dem Tiefen Hauptstollen aus. Der Stollen ist verbrochen.
1809	Das Wasser tritt am Mundloch hervor und wird an Tagesbrüchen herausgedrückt. Die Austrittsstellen befinden sich im oberen Teil der Stadt Geyer. Am 23. September tritt unterhalb des Preußenhofes eine Menge von 570 l/min zu Tage.

1830	Auf dem Grundstück Bachstraße 28 wurde ein kleiner Schacht geteuft (Havariestelle von 1932). In einer Tiefe von 10 m wurde das Wasser des Tiefen Hauptstollens erschroten (Tiefe des Stollens etwa 23 m).
1858	Ausbruch des Stollens nach einer großen Überschwemmung
1861	Wasseraustritt aus einem Lichtloch
1880	Es fielen mehrere Brüche auf dem östlichen Stollenteil.
1884	Ausbruch des Stollens nach einem Hochwasser
1893	Am Haldenfuß des 9. Lichtloches tritt Wasser aus
1897	Die Geyersche Zeitung berichtet am 29. Juli: <i>“Die gewaltigen Regenmassen die im Laufe der letzten Tage ununterbrochen niedergingen, haben unberechenbares Unheil vielerorts angerichtet. ... Seit 30 Jahren wies der Hüttenstollen nicht soviel Wasser als an dem Tage auf. An drei Stellen strömte das Wasser aus dem Erdreich und den Mauern hinter der Wetzel'schen Spindelfabrik.“</i>
1905	Der Wasserstand im 8. Lichtloch reichte bis zur Tagesoberfläche.
1907	Am 15. Juli brach der Tiefe Hauptstollen aus.
1926	Im Juni war der Tiefe Hauptstollen wieder ausgebrochen, hatte aber nicht so gewütet wie 1897
1932	Ausbruch des Tiefen Hauptstollens (bereits im Text beschrieben)
1957	Das Gebäude Straße der Freundschaft 36 weist erhebliche Rissenschäden auf. Der Stollen liegt in 6 m Tiefe.
1980	Tagesbruch auf einem öffentlichen Weg (Flurstück 565), darunter befindet sich der Stollen
1981	Verbruch der Fahrbahn am Gebäude Ziegelsberg 2, darunter befindet sich der Stollen
1997	Im Keller des Gebäudes Straße der Freundschaft 26 bildete sich eine Senke, aus der artesisch Wasser austritt. Der Bereich befindet sich über dem Stollen.

- Die Analyse der Schäden am Tiefen Hauptstollen und insbesondere die Wasserschäden zeigen, dass über 340 Jahre eine deutliche Zunahme der Häufigkeit und der Intensität der Ereignisse zu beobachten ist.
- Grundsätzlich spielen extreme Wasserverhältnisse an der Tagesoberfläche und das unmittelbare Eindringen der Wassermassen durch Direktversturz in die Grubenbaue die entscheidende Rolle für das Schadensausmaß.
- Durch die direkten hydraulischen Verbindungen von der Tagesoberfläche in den Stollen unterliegt die austretende Wassermenge schnellen und extremen Schwankungen (z. B. am 26.02.1998 – 60 l/s, am 05.03.1998 – 250 l/s, am 17.03.1998 – 1.500 l/s), was den hydraulischen Verhältnissen in einem Karstaquifer entspricht.
- Durch den sehr tagesnahen Verlauf des Stollens in der Talsohle herrscht über weite Strecken auf dem ersten Stollenabschnitt ein gebräches Gebirge vor, was einen Ausbau erforderte, der stets in Holz ausgeführt wurde. Wiederholte Verbrüche, Massenumlagerungen und Verspiegelungen des alten Ausbauholzes blockierten den ungehinderten Wasserabfluss und führten zu erheblichen Standwasersbildungen mit den entsprechenden Folgen.

- Lagerstättenbedingt bildeten und bilden sich große Ockermengen, die insbesondere an Verbruchstellen und überfluteten Abbauen sedimentieren und abdichtend wirken. Bei erhöhten Wassermengen und Fließgeschwindigkeiten kommt es zum massiven Austrag von Ockerschlamm, der zur Belastung des natürlichen Vorfluters führt.
- Kontroll- und Wartungsarbeiten im Stollen unterblieben in der Regel
- Das angestaute Stollenwasser stieg an der schwächsten Stelle artesisch zu Tage, was bereits mehrfach zu erheblichen Schäden an der urbanen Bebauung führte.
- Abbaue und Streckensysteme, die sich bei Extremwasser füllen, stellen einen untätigten Puffer dar. In diesem Zusammenhang wurden jedoch auch zahlreiche Schacht- und Tagesbrüche registriert.
- Auch verbrochene Stollenteile führen Wasser und erfüllen zumindest eine Drainagefunktion für das angrenzende Gebirge, wie deutlich im unteren, überbauten Stollenteil zu beobachten ist.

Ab 1999 bis 2005 wurde ein Großteil des Stollens mit seinen Lichtlöchern beräumt und gesichert sowie seine Funktionalität von der artesischen Austrittsstelle am 8. Lichtloch bis zum 11. Lichtloch grundlegend wieder hergestellt.

In der Ortslage Erdeborn (Mansfelder Mulde) verläuft sehr tagesnah in einer flachen Talmulde der **Erdeborner Stollen** des historischen Kupferschieferbergbaus. Zahlreiche Verbruchereignisse auf der Trasse dieses Wasserlösestollens, insbesondere im Straßen- und Bebauungsbereich, verweisen auf ein hohes Gefahren- und Risikopotential für die öffentliche Sicherheit. Die altbergbaulich bedingten Schadensbilder werden punktuell und flächenhaft durch Auslaugungsprozesse im tieferen Untergrund überprägt und führen gemeinsam zur nachhaltigen Beeinträchtigung der dauerhaften und ungestörten Wasserabführung sowie Schwächung der Standsicherheit des Erdeborner Stollens /16/.

Der Erdeborner Stollen wurde 1756 angeschlagen. Er hatte die Aufgabe, den Froschmühlenstollen, der den südlichen Teil der Mansfelder Mulde entwässert und sich in einem sehr schlechten Zustand befand, zu entlasten. Der Erdeborner Stollen wurde 7,6 m unter dem Froschmühlenstollen angesetzt. Neben der Wasserlösung sollte er zugleich neue Abbaufelder aufschließen. Die schlechten Gebirgsverhältnisse im Verlauf des Erdeborner Stollens und die daraus resultierenden Schwierigkeiten beim Vortrieb hatten ein größeres Ansteigen der Sohle zur Folge. Bei dem 1800 erfolgten Durchschlag des Erdeborner Stollens mit dem Froschmühlenstollen wurde nur eine Höhendifferenz von 5 m erreicht. Der Erdeborner Stollen ist vom Mundloch bis zum Durchschlag auf den Froschmühlenstollen 6.100 m lang und besitzt 37 Lichtlöcher. Die offene Rösche mündet in den ehemaligen Salzigen See. Das durchschnittliche Gefälle des Stollens beträgt auf 100 m 55 mm. Bis zum 30. Lichtloch musste der Stollen durch die schlechten Gebirgsverhältnisse, wie Verwerfungen und druckhaftes Lettengebirge, vollständig in Natursteinmauerung ausgebaut werden. Die Archivalien lassen sogar den Schluss zu, dass der gesamte Stollen ausgebaut werden musste. Zwischen dem Mundloch und dem 9. Lichtloch wurde nach den historischen Berichten im „schwimmenden Gebirge“ aufgefahren. Ein besonders gebirgsmechanisch kritischer Stollenabschnitt lag zwischen den Lichtlöchern 6 und 8. Im Jahr 1816 wurde erstmals Druck auf der Gewölbemauerung zwischen dem 6. und 7. Lichtloch bemerkt. Bis zum September 1817 war bereits ein neuer Schacht nördlich des 7. Lichtloches 10,5 m bis auf den Stollen abgeteuft und der Durchschlag begonnen worden. In den Jahren 1819 bis 1823 wurde die Stollenmauerung auf einer Länge von 350 m zwischen dem 6. und 8. Lichtloch erneuert. Trotz dieser Maßnah-

men kam es zu weiteren Deformationen des Mauerwerkes und zum Eindringen von Wasser und Schlamm in den Stollen. Als Folge stellte sich 1820 ein Tagesbruch mit einem Durchmesser von 4 m und einer Tiefe von 2,5 m ein. Um das Eindringen des Wassers vom Erdeborner Graben zu verhindern, wurde ein Flutgraben für die Umleitung des Wassers vom Erdeborner Graben gebaut. Bei starken Regenfällen am 30. April und am 3. Mai 1821 brach der Damm im Bereich der Holzgerinne am 7. Lichtloch. Daraufhin kam es zu massiven Schlammmeinspülungen zwischen dem 7. und 3. Lichtloch. Weiterhin traten ein Verbruch in der Mauer des 3. Lichtloches und ein Tagesbruch auf. Ein bedeutender Tagesbruch fiel 1841 in der Nähe des 7. Lichtloches. In dessen Folge musste der Stollen und die Rösche von Schlamm befreit werden.

In der Tabelle 6 sind chronologisch wichtige Schadensereignisse im Stollenbereich zusammengestellt.

Tabelle 6: Bekannte Schadensereignisse zwischen dem Mundloch und dem 13. Lichtloch des Erdeborner Stollens

1787	Tagesbrüche 95 und 150 m nordwestlich des 6. Lichtloches
1818	Tagesbruch 75 m nordwestlich des 6. Lichtloches
1820	Tagesbruch im Bereich des 7. Lichtloches
1821	Tagesbruch im Bereich des 3. Lichtloches
1841	Bedeutender Tagesbruch im Bereich des 7. Lichtloches
1849	Verbruch der Abbühnung des 6. Lichtloches
1858	Verbruch der Abbühnung des 8. Lichtloches
1895	Tagesbruch 35 m südwestlich des 9. Lichtloches
1937	Tagesbruch in der Nähe des 3. Lichtloches
23.10.1958	Tagesbruch südlich des Gebäudes Ernst-Thälmann-Str. 16, Größe 4 x 15 m
August 1959	Tagesbruch beim 7. Lichtloch
Juli 1965	2 Tagesbrüche in der Nähe des 7. Lichtloches, 10 x 8 m, Tiefe 5 m und 40 x 12 m, Tiefe 5 m (Abb. 4) Verbruch des 4. Lichtloches, 4 x 6 m, Tiefe 4 m
6. 5. 1969	Zufluss von Wasser über 4. Lichtloch nach Starkniederschlag
22.7.1969	Senkung des Pflasters in Höhe des 7. Lichtloches
9.5.1980	Tagesbruch zwischen 6. und 7. Lichtloch
20.10.1981	Senkung im Bereich eines alten Verbruches am Wohnhaus Helftaer Weg 4
7.4.1983	Tagesbruch zwischen 6. und 7. Lichtloch, Durchmesser 3 m, Tiefe 2,5 m
25.5.1993	Tagesbruch am 6. Lichtloch, Durchmesser 4 m, Tiefe 2,5 m
21.1.2003	Nachbruch des 6. Lichtloches, elliptische Mauerung 1 x 1,55 m
August 2005	Tagesbruch am 6. Lichtloch



Abb. 4: *Tagesbruch über dem Erdeborner Stollen am 7. Lichtloch (historische Aufnahme von 1965))*

- Eine Häufung von Schadensereignissen liegt im Bereich zwischen 6. und 8. Lichtloch vor. Bereits bei der Auffahrung und kurze Zeit danach traten hier Tagesbrüche und Ausbaudeformationen auf. Das Vortreiben von Umbrüchen änderte an der Situation an diesem Stollenabschnitt nichts. Die Ursache hierfür liegt in diesem Bereich an den mächtigen tonig-schluffigen und organischen Sedimenten („schwimmendes Gebirge“). Die irreguläre Auslaugung in der tektonisch stark beanspruchten Zone der Hornburger Tiefenstörung im Kreuzungsbereich mit herzyn verlaufenden tektonischen Strukturen verweisen hier auf die Existenz einer größeren fossilen Auslaugungsstruktur (z. B. Erdfall oder Senkungskessel).
- In der Ortslage von Erdeborn sind zwei aktive Senkungskessel ausgebildet, die auf Salinarkarst zurückzuführen sind. Senkungsmessungen zwischen dem Mundloch und dem 13. Lichtloch des Erdeborner Stollens in der Zeit des aktiven Kupferschieferbergbaus ergaben im Zeitraum von 1955 bis 1976 Senkungsbeträge von 300 bis 700 mm. Nach dem Fluten der Grubenbaue konnten in den Jahren von 1976 bis 1989 sogar Hebungen von 40 bis 200 mm beobachtet werden. Im Bereich der Lichtlöcher 2 und 3 lag das Maximum bei 200 mm. Im übrigen Stollenverlauf konnten die Hebungen vernachlässigt werden. Die unterschiedliche Gefällesituation durch die Ausbildung der Senkungsmulden wirkt sich negativ auf die hydraulischen Verhältnisse des Stollens aus.
- Durch die abgelaufenen Senkungen und Hebungen und insbesondere deren Unterschiede ist von einer Schädigung der Stollenausmauerung auszugehen, wo-

durch die Standsicherheit zumindest partiell erheblich geschwächt ist und sich durch Teilverbrüche und Sedimenteinspülungen Standwasserbereiche gebildet haben.

- Trotz dieser geotechnischen und hydraulisch komplizierten Situation und der Reduktion des Stollenquerschnittes, z. B. am 2. Lichtloch auf 60 % durch eingespülte Sedimente, ist der Wasserabfluss derzeit bei normalen Verhältnissen gegeben. Im Oktober 2003 wurden 89 l/s bei einer sehr trockenen Witterung gemessen, wobei die Wasserstandsmarken im Stollen 30 cm höher lagen. In dem zumindest partiell verbrochenen und verschlämmten Stollenabschnitt zwischen dem 6. und 8. Lichtloch funktionierte bisher noch weitestgehend die hölzerne Wasserseite, da das anstehende Gebirge („schwimmendes Gebirge“) praktisch undurchlässig ist.
- Nach den Archivrecherchen wirkten als auslösendes Moment bei den meisten Schadensereignissen Extremniederschläge.
- Die geotechnisch-markscheiderische Analyse des Stollenbereiches zwischen dem Mundloch und dem 13. Lichtloch ergab, dass 67,7 % der ausgegrenzten altbergbaulich beeinflussten Bereiche der Risikoklassen I und II zuzuordnen sind, was die hohe Eintrittswahrscheinlichkeit und das große zu erwartende Schadensausmaß von unerwünschten Ereignissen in der bebauten Ortslage von Erdeborn unterstreicht.

In der Tabelle 7 sind einige Beispiele weniger spektakulärer Havarieereignisse bei Wasser führenden Stollen aufgeführt. Sie machen aber deutlich, dass auch bei kleineren Stollen mit größeren Gefahren- und Risikopotentialen gerechnet werden muss.

Tabelle 7: Ausgewählte Schadensbeispiele an kleineren Wasser führenden Stollen

Stollenname / Revier / Ort	Ereignisbeschreibung
Hüttenstollen / Straßberger Revier (Harz) / Straßberg	Nach einem starken Gewitterregen im Sommer 1930 bildete sich am verbrochenen Mundloch eine „Wasserfontäne“. Es kam zur Beschädigung eines Gebäudes in der Ortslage Straßberg. Nach Regenperioden im Sommer 1971 und November 1972 traten im Keller des Gebäudes Nr. 187 erhebliche Wassermengen aus.
Neuchristbescherung Tiefer Stollen (Gertraude und Irene) / Klingenthal	Aus dem verbrochenen Mundloch erfolgte im März 1981 zum wiederholten Mal ein schlagartiger Wasseraustritt. Das Bachbett des Zechenbaches (Goldbach) wurde dabei in Mitleidenschaft gezogen. Aus den Verbruchmassen am Mundloch war sonst ein ständiger Wasseraustritt zu beobachten.
Stollen beim Schacht 50 (Querschlag 2 a) / Tannenbergsthal	Im November 1981 entstand ein schlagartiger Wasserausbruch aus dem verbrochenen Mundloch. Es kam zu einem Verkehrsunfall auf der B 283.
Stollen I / Breitenbrunn	Schlagartiger Wasserausbruch aus dem verbrochenen Mundloch im Jahr 1970 und Überflutung eines Baches und mehrerer Forellenteiche.

Stollen 111 / Niederschlag (Erzgebirge)	Keine ordnungsgemäße Abführung der Stollenwässer, Bildung von Glatteis auf der B 95. Es kam zu einem Verkehrsunfall im Jahr 1980.
Trau auf Gott-Erbstollen / Lichtenberg (Erzgebirge)	Durch defekten Stollenabfluss im überbauten Mundlochbereich größerer Rückstau und in Folge Überschwemmung der Dorfstraße; Bildung von größeren Glatteisflächen im Winter, dadurch erhebliche Gefährdung des Straßenverkehrs (vor 1998)
Jakob Adolph-Stollen / Hettstedt	Wasserrückstau durch verbrochenes Mundloch und verlandeter Rösche, wodurch es zu Böschungsbewegungen und Deformationen im Bereich einer darüber liegenden Straßenkreuzung in der Stadt Hettstedt kam (vor 2003).

4. Erscheinungsbilder

Wasser führende Stollen können verschiedene Veränderungen und insbesondere Schäden im Unter- und Übergabebereich aufweisen, die sich durch revierspezifische und objektbezogene Eigenschaften modifizieren und überlagern können. Von großer Bedeutung sind dabei Erscheinungsbilder, die durch eine direkte hydraulische Verbindung von über Tage nach unter Tage oder umgedreht entstanden sind und Ereignisse, die eine gravierende Veränderung der hydraulischen Abflussverhältnisse bewirkten.

Im **Untergabebereich** muss mit folgenden wichtigen Veränderungen und Auswirkungen gerechnet werden:

- Partieller Voll- oder Teilverbruch des Stollens in Schwächezonen (Ausbau, Gebirge), dadurch bildet sich ein Fließhindernis und ein Rückstau (Standwasser), wodurch auch neue untertägige Fließwege entstehen, Auswirkungen auf das überstaute Grubengebäude und Veränderungen der Grundwasserverhältnisse möglich sind. Eine Umkehrung der Fließrichtung des Stollenwassers und ein Versturz auf tiefere Stollen ist ebenfalls möglich.
- Stollen weisen in ihren hydraulischen Eigenschaften durch die relativ großen Grubenbauquerschnitte und hohe Abflussgeschwindigkeiten Ähnlichkeiten mit einem Karstquifer auf.
- Massenumlagerungen und insbesondere Einspülungen von Verbruch-, Versatz- und Verwitterungsmaterial in den Stollen und damit Verkleinerung des Durchflussquerschnittes, Verspriegelung von Ausbauholz in der Fließzone
- Durch physikalische, chemische und biologische Verwitterungsprozesse entstehen Ablagerungen von Schlamm und Ocker sowie Sinterbildungen.
- Auslaufen von Verbruch- oder Versatzmassen aus angrenzenden Grubenbauen in den Stollen. Ausgelöst durch Holzzersatz und Veränderungen der bodenmechanischen Eigenschaften durch Verwitterungs- und Umlagerungsprozesse (z. B. innere Erosion, Suffosion)
- Im Rahmen von Gebirgsbewegungen sind Senkungen und Hebungen von Teilen der Stollensohle möglich, die insbesondere Veränderungen des Gefälles bewirken.
- Exogene, endogene und anthropogen geodynamische Prozesse führen im und um den Stollen sowie vor allem im Mundlochbereich zu Spannungsumlagerungen, wodurch es zu Verbruch- und Deformationsprozessen im anstehenden Gebirge und am Ausbau kommen kann.

Diese Erscheinungsbilder können in ihrer vertikalen Entwicklung von unten nach oben auch auf die Tagesoberfläche einwirken.

Im **Übertagebereich** sind folgende Veränderungen und Auswirkungen zu erwarten:

- Tagesbrüche, Schachtverbrüche und Senkungen durch Materialumlagerungen und Eigenschaftsveränderungen beim Wasseranstieg in den tagesnahen Gangabbauen, insbesondere bei Ausbissen von Lagerstättenstrukturen und Verbruchzonen. Gleiche oder ähnliche Auswirkungen stellen sich aber auch beim vertikalen Wasserversturz ein.
- Mundlochverbruch durch Verwitterungseinflüsse, insbesondere Frostwirkungen und Hangbewegung, verminderter Dauerstandssicherheiten bei geringer Überdeckung und durch statische und dynamische Einwirkungen in Abhängigkeit von der Geländenutzung
- Artesischer Wasseraustritt aus Schächten und tagesnahen Abbauen sowie plötzliches Ausbrechen aus Mundlochbereichen in Folge des Stollenverschlusses, oft mit katastrophalen Folgen (z. B. Wasser-, Schlamm- oder Ockerfluten, Mobilisierung von Schadstoffen) (Abb. 5)



Abb. 5: *Beim Öffnen des verbrochenen Mundloches eines alten Wismutstollens kam es zu einem plötzlichen Wasserausbruch mit intensiver Ockerbelastung*

- Bildung von Vernässungszonen vor allem in Mundlochbereichen und im Röschenverlauf
- Austritte von Gasen (z. B. CO₂, H₂S, Radon, Methan) aus dem Mundloch. Das Ausströmen von kalter Luft kann das Mikroklima im Mundlochbereich verändern.

Bei den unter- und übertägigen Erscheinungsbildern ist immer davon auszugehen, dass sie verschiedene Entwicklungsphasen durchlaufen. So können beispielsweise Verbrüche erst nach einem längeren Verharrungszustand als Späffolge eines Hochwassers die Tagesoberfläche erreichen. Dauerhafte und wirkungsvolle Sicherungsmaßnahmen an Wasserlösestollen im Unter- und Übertagebereich sind grundsätzlich nicht trennbar. Ebenfalls sind Hochwasserschutzmaßnahmen an Gewässern zu berücksichtigen und in die Gesamtmaßnahme bei Erfordernis einzubinden.

5. Einwirkungsursachen und deren Bewertung

Für die verschiedenen Einwirkungsbilder im Bereich von Wasserlösestollen spielen große Wassermengen in kurzer Zeit oder/und intensiver Wassereintrag über einen längeren Zeitraum die auslösende Rolle.

Die generellen Einwirkungsursachen an Wasser führenden Stollen lassen sich wie folgt unterteilen:

- Alterungs- und verschleißbedingte Veränderungen von Gebirge und Ausbau, was die Standsicherheit und Funktionalität des Stollens mindert. Eine besondere Rolle spielen dabei die Volumenreduzierung und der Tragfähigkeitsabbau beim Holzversatz.
- Einwirkungen durch Standwasserbildungen im Stollen und angrenzenden, hydraulisch verbundenen Grubengebäude infolge von Verbruch- und Deformationsprozessen und durch gebirgsmechanische Eigenschaftsveränderungen von Versturz- und Verbruchmassen (Einwirkung von „unten nach oben“)
- Einwirkungen durch Extremniederschläge auch in Verbindung mit Tauwetter und Hochwasser in Form von Materialumlagerungen und gebirgsmechanischen Eigenschaftsveränderungen im Gebirge und von Lockermassen (Einwirkung von „oben nach unten“)
- Einwirkungen durch Spannungsumlagerungen im Gebirge, Tektonik und Halokinese
- Einwirkungen von geodynamischen Prozessen, wie z. B. Hangbewegungen, Karst, Erdbeben und Verwitterung auf Gestein, Gebirge und Ausbau, dadurch erfolgt eine Schwächung der Dauerstandssicherheit

Stets sind dabei auch mögliche anthropogene Einwirkungsfaktoren wie z. B. die Nutzungsverhältnisse an der Tagesoberfläche, Einleitung von Abwässern oder chemischen Substanzen in Grubenbaue, Eintrag von Deponiegut und deren Folgewirkungen zu berücksichtigen.

Eine komplexe Betrachtungsweise der Wirkungskomponenten hat insbesondere Bedeutung für das zu erwartende Schadensausmaß und für effiziente Maßnahmen bei der Reduzierung der Risiken sowie Minimierung von Einwirkungsumfängen an der Tagesoberfläche. Es ist dabei auch zu berücksichtigen, dass sich die einzelnen Ursachen und deren Wirkungsbereiche gegenseitig beeinflussen können. Wie bei allen

Veränderungen gibt es eine Hauptursache und eine Vielzahl von abgestuften Nebenursachen.

Nur eine objektbezogene geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung /17/ stellt die Grundlage für eine aussagefähige Gefahren- und Risikoanalyse sowie für effiziente bergtechnische Maßnahmen dar. Speziell für die geotechnisch-markscheiderische Bearbeitung von Wasserlösestollen ergeben sich zusätzlich noch folgende Schwerpunktaufgaben:

- Detaillierte Aufarbeitung und Analyse von historischen Text- und Rissunterlagen zum Stollen und den Grubenbauen im Einzugsgebiet sowie zu bereits erfolgten Schäden und Havarien
- Erstellung eines markscheiderischen Risses vom Stollen und dessen Übertageslage
- Bewertung der hydraulischen Verhältnisse im untertägigen Einzugsgebiet des Stollens, Erstellung eines Wasserstammbaumes mit Mengenangaben, Chemismus, Temperatur, Wasserfracht und jahreszeitlichen Einflüssen sowie Hochwasserereignissen unter Berücksichtigung aller Wasser führenden Stollen im Untersuchungsgebiet
- Bewertung der hydraulischen Verhältnisse im übertägigen Einzugsgebiet des Stollens und der potentiellen Versturzstellen von Extremwässern in den Altbergbau
- Ausgliederung von Risikobereichen für Versturzstellen in den Altbergbau und potentieller Verbruchzonen
- Abschätzung möglicher Einwirkungsszenarien beim Versturz von Extremwasser in tagesnahe Grubenbaue und Schächte mit möglichen Veränderungen der hydraulischen Funktionalität des Stollens, Risikoanalyse und Gefahrenbewertung
- Erarbeitung von Handlungsempfehlungen mit Prioritätenliste für Monitoring, Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen im Über- und Untertagebereich sowie zur Nachnutzung bzw. Mitnutzung von Stollen und sicherheitsrelevanten Grubenbauern

6. Monitoring, Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen

Anhand einer Vielzahl von geotechnisch-markscheiderischen Analysen und bergtechnischen Bearbeitungen ergibt sich für Wasser führende Stollen folgender Grundsatz: *Einmal Wasser führender Stollen – immer Wasser führender Stollen*.

Nur Stand- und Fließwasser freie Stollenteile und Grubenbaue können risikofrei hydraulisch abgetrennt, abgeworfen oder verwahrt werden. Wasser führende Stollen mit allen hydraulisch wirksamen Flügelörtern, angeschlossenen Abbauzonen und Strecken müssen dagegen in ihrer vollen hydraulischen Funktionalität dauerhaft erhalten bleiben, was eine periodische Kontrolle, Wartung (Sicherung) und Reinigung insbesondere des sicherheitsrelevanten Stollenabschnittes beinhaltet. Bei den Verwahrungsarbeiten über oder an Stollen muss eine Verminderung der ursprünglichen Wasserwegigkeit grundsätzlich ausgeschlossen werden /17/. Je näher das Hindernis für den Wasserabfluss am Mundloch liegt, je höher ist das Risiko für ein „unewünschtes“ Ereignis und umso größer ist das zu erwartende Schadensausmaß. Die ungünstigste Situation ist demzufolge ein unkontrollierter, wasserdichter Verschluss des Mundloches.

Anhand der vorliegenden Untersuchungen lassen sich die notwendigen Kontroll-

maßnahmen und bergtechnischen Arbeiten an Wasserlösestollen in zwei Bearbeitungsbereiche unterteilen:

Untertägiger Bereich

Dieser Abschnitt beginnt am Stollen- bzw. Röschenmundloch. Seine Begrenzung im Gebirge ist mindestens an die Lage des letzten Wasserzuflusses oder wasserbringenden Stollenflügels gebunden. Größere potentielle Stauräume sind in die Bewertung einzubeziehen. Eine Analyse des Wasserstammbaumes des Stollens, Versturzstellen an der Tagesoberfläche bei Extremniederschlägen, Röschenanbindungen und nachträglich hergestellter Wassereinleitungen liefert hierüber Informationen. Voraussetzung für diese geotechnisch-markscheiderische Bewertung ist die Befahrbarkeit aller relevanten Wasserschüttenden Teile eines Stollens und ein vollständiges markscheiderisches Risswerk dieser Bereiche. Im Rahmen dieser Arbeiten ist die geotechnische Standsicherheitseinschätzung, die Bewertung von gebrächen Stollenabschnitten und von Lichtlöchern oder Schächten vorzunehmen, um daraus die Art und den Umfang von bergmännischen Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen ableiten zu können. In diesem Zusammenhang ist auch die langfristige Zugänglichkeit für Kontroll- und Wartungsarbeiten zu klären. Geeignete Lichtlöcher und Schächte oder sonstige Zugänge sind hierfür auszuwählen und bei Bedarf vorzurichten.

Übertägiger Bereich

Zu diesem Bearbeitungsbereich gehören die offene Rösche bis zur Einleitung in den natürlichen Vorfluter, die zum Stollen gehörigen Lichtlöcher und Schächte sowie Versturzstellen von Hoch-, Niederschlags- und Schmelzwasser. In die Betrachtungen sind ebenfalls nachträglich hergestellte übertägige Wasserzuflüsse einzubinden. Daraus lassen sich notwendige Kontrollen sowie Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen ableiten. Alle bergtechnischen Maßnahmen müssen einerseits den Kriterien zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit gerecht werden. Andererseits sind die Bergsicherungsarbeiten so auszuführen, dass ein unkontrolliertes Verstürzen von Extremniederschlägen und Hochwasser dauerhaft verhindert wird. Dieser Aspekt gewinnt deshalb an Bedeutung, da zukünftig eine klimatisch bedingte Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Hochwasser eine neue Dimension annehmen wird /19/.

Eine geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung /16/ von Wasser führenden Stollen unter besonderer Berücksichtigung der hydrologischen Aspekte ist die Grundlage für die effiziente Risiko- und Gefahreneinschätzung sowie für die sich daraus ergebenden Umfänge an Monitoring und objektspezifischen bergtechnischen Maßnahmen im Unter- und Übergabebereich. Je detaillierter die unter- und übergäigen Daten über einen Wasserlösestollen vorliegen, umso exakter lassen sich die Risiken eingrenzen sowie differenzierte Wartungs- und Kontrollmaßnahmen optimieren.

Nicht nur die Länge eines Wasserlösestollens und der Umfang des Wasserstammbaumes, sondern auch eine Vielzahl von natürlichen und anthropogenen Wirkungsfaktoren mit sehr differenzierter Wertigkeit im Unter- und Übergabebereich nehmen maßgeblich auf das Risiko- und Gefahrenpotential Einfluss. Stets bedarf die ingenieur- und bergtechnische Bearbeitung einer objektbezogenen Einzelfallbetrachtung, die durch ein funktional bezogenes Sicherungs- und Verwahrungskonzept für jeden Wasserlösestollen zu untersetzen ist.

Im Allgemeinen sind alle Maßnahmen an Wasser führenden Stollen sehr aufwands- und kostenintensiv, Kontrollbefahrungen erfordern einen hohen sicherheitstechnischen Standard.

Das Inspektionsintervall in Wasserlösestollen oder auch in deren Stollenteilen richtet sich nach objektspezifischen Gegebenheiten sowie nach den zeitlich zu erwartenden Veränderungen in der Dauerstandssicherheit und Funktionalität. Grundsätzlich ist von einem zeitlichen Abstand der Kontrollzyklen von 1 bis 10 Jahren auszugehen. Alle Untersuchungen, Bewertungen und Planungen an Wasserlösestollen sind mit durchzuführenden wasserbaulichen Arbeiten an den tangierenden ruhenden und fließenden Gewässern sowie mit Maßnahmen zum Hochwasserschutz abzustimmen. Bei allen geotechnisch-markscheiderischen Untersuchungen und Bewertungen an Stollen sollte eine Mehrfachnutzung geprüft werden (z. B. Energie- und Wassernutzung, Fledermausschutz, Besucherbergwerk, Heilstollen, Fischzucht, Lagerbereich). Für die Zukunft stellen die Gewährleistung der dauerhaften Funktionalität von Wasser führenden Stollen im Altbergbau und deren Risikominimierung an der Tagesoberfläche sowie das erforderliche Kontrollregime auch unter den sich verändernden Niederschlags- und Hochwasserverhältnissen eine große Aufgabe und Herausforderung dar.

Literatur

- /1/ WEBER, L. (2004): Die Nassereither Bergwasserexplosion als Folge einer unzureichenden Schließung eines Altbergbaus. - Tagungsband 4. Altbergbau-Kolloquium, 4. - 6.11.2004, Leoben, S.270 - 280, Verlag Glückauf, Essen
- /2/ MEIER, G. (2003): Der Verbruch des Rothschönberger Stollens zum Hochwasser vom 12./13.08.2002 und dessen Sanierung – Verbruchszenarien und Sanierungsvorschläge. - Tagungsband 3. Altbergbau-Kolloquium, 6. - 8.11.2003, Freiberg, S.47 - 58, Verlag Glückauf, Essen
- /3/ ROESSLER, B. (1700): Speculum metallurgiae politissimum. Oder: Hell-polierter Berg-Bau-Siegel. - Dresden Johann Jacob Winkler
- /4/ WAGENBRETH, O.; WÄCHTLER, E.; BECKE, A.; DOUFFET, H.; JOBST, W. (1990): Bergbau im Erzgebirge. Technische Denkmale und Geschichte. - Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig
- /5/ KÖHLER, G. (1900): Lehrbuch der Bergbaukunde. - Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig
- /6/ AGRICOLA, G. (1556): Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen.- Deutscher Taschenbuch Verlag, München 1994
- /7/ Stolln-Ordnung (1749): Ergangen, Dresden am 12. Junii, Anno 1749, Gedruckt bey der verwitt. Königl. Hof-Buchdr. Stößelin, Dresden
- /8/ KERN, J. G. (1769): Bericht vom Bergbau. - Bearbeitet und als Lehrbuch herausgegeben von Friedrich Wilhelm von Oppel, Reprint: Verlag Glückauf, Essen 1992
- /9/ HARTMANN, C. (1856): Handbuch des Steinkohlen-Bergbaues oder Darstellung des in den bedeutendsten Steinkohlen-Bergwerken Europa's zur Aufsuchung, Gewinnung und Förderung der brennbaren Mineralien angewendeten Verfahrens. Nach dem Werke des belgischen Bergingenieurs A. T. PONSON. - Verlag, Druck und Lithographie von Bernhard Friedrich Voigt, Weimar
- /10/ MEIER, J.; MEIER, G. (2005): Modifikation von Tagesbruchprognosen. - Geotechnik 28, Nr. 2, S. 119 - 125

- /11/ ARNSHELM, G. A. (1898): Die Wirkung der vorjährigen Hochfluth auf den Bergbau der Freiberger und Altenberger Revier. - Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreich Sachsen auf das Jahr 1898, S. 60 - 76, Craz & Gerlach Freiberg
- /12/ RÖSSEL, H. (2003): Folgen der Hochwasserkatastrophe vom August 2002 im sächsischen Altbergbau – eine Schadensbilanz. - Tagungsband 3. Altbergbau-Kolloquium, 6. - 8.11.2003, Freiberg, S. 28 - 36, Verlag Glückauf, Essen
- /13/ LAHL, B. (2003): Der Markus-Semmler-Stolln und der Schneeberg-Schlemaer Bergbau. - Druck- und Verlagsgesellschaft Marienberg
- /14/ JOBST, W. (1973): Bergschadenkundliche Analyse Freiberg. - angef. 1969 - 1973 im Auftrag von VEB Bergbau- und Hüttenkombinat „Albert Funk“ Freiberg (unveröff.)
- /15/ MEIER, G. (1998): Geotechnisch-bergschadenkundliche Begutachtung des Tiefen Hauptstollens in Geyer. - Ingenieurbüro Dr. G. Meier, Wegefarth (unveröff.)
- /16/ MEIER, G. (2004): Geotechnisch-markscheiderische Erkundung und Bewertung der Standsicherheit und der hydraulischen Verhältnisse des Erdeborner Stollens im Bereich der Ortslage Erdeborn. - Ingenieurbüro Dr. G. Meier, Wegefarth (unveröff.)
- /17/ AUTORENKOLL. (2004): Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“ des Arbeitskreises 4.6 der Fachsektion Ingenieurgeologie der DGGT e. V.- Tagungsband 4. Altbergbau-Kolloquium, 4. - 6.11.2004, Leoben, Anhang S. 1 - 23, Verlag Glückauf, Essen
- /18/ MEIER, G. (2001): Verwahrungsgrundsätze bei tagesnahem Altbergbau. - Tagungsband 1. Altbergbau-Kolloquium, 8./9.11.2001, Freiberg, S. 134 - 140, Verlag Glückauf, Essen
- /19/ RICHTER, B.; HABERECHT, L. (2005): Hochwasserschutzdeiche im Spannungsfeld zwischen Standsicherheit und Naturschutz. - Beratende Ingenieure VBI, Juli / August 2005, S. 49 - 52