Dr.-Ing. habil. G. Meier
Oberschöna OT Wegefarth
http://www.dr-gmeier.de

„Bergschadenkundliche Analyse“ Grundlagen - Stand - Inhalt - Risikobewertung *

"Bergschadenkundliche Analyse" Basics - status - content - risk assessment

Günter Meier

Zusammenfassung:

Seit 1971 werden Bergschadenkundliche Analysen (BSA) zur sicherheitsrelevanten Bewertung von bergbaulichen und altbergbaulichen Hinterlassenschaften erarbeitet. Zu Beginn waren dazu behördliche Rahmenbedingungen vorgegeben. Ausgehend von archivalischen Unterlagen, markscheiderischen Vermessungen und geotechnischen Dokumentationen werden den Einwirkungsbereichen der altbergbaulichen Objekte Risikoklassen zugeordnet und nach der Handlungsnotwendigkeit klassifiziert. Diese Prioritätenliste ist die Basis für eine effiziente, differenzierte bergtechnische Bearbeitung zur Herstellung einer dauerhaften Sicherheit in bergbaulich überprägten Gebieten.
In der vorliegenden Ausarbeitung sind die vielschichtigen Erfahrungen bei der bisherigen Erstellung von Analysen berücksichtigt.

Abstrakt:

Analyses of subsidence damages (BSA) are being worked out for safety-related assessment of mining and abandoned mining legacy since 1971. Therefore the official frame conditions were given at the beginning. Risk classes will assigning to the affected overburden of abandoned mining objects based on archival documents, survey measuring and geotechnical documentation. It follows the classification of objects and the necessity of acting. This priority list is the basis for an efficient mining work to establishing a steady safety in mining areas.
This article followed the complex experience of the previous preparation of analysis.

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangssituation	2
2	Wichtige Definitionen und Begriffe	4
3	Historischer Hintergrund, rechtliche Grundlagen und Definitionen	11
4	Bearbeitungsschwerpunkte	12
4.1	Sichtung von Literatur, Archivalien und markscheiderische Arbeiten	12
4.2	Geotechnische Dokumentationen und Erkundungsmaßnahmen	14

* Veröffentlicht in: Tagungsband 15. Altbergbau-Kolloquium, Leoben, 05. bis 07.11.2015, S. 57 bis 99, Wagner Digitaldruck und Medien GmbH, Nossen 2015

5 Numerische Tagesbruchabschätzung 14
5.1 Grundlagen, Randbedingungen und Formeln 14
5.2 Parameterermittlung 16
6 Altbergbauliche Einwirkungsbereiche 18
6.1 Problemstellung und Definitionen 18
7 Abgrenzungen von altbergbaulichen Einwirkungsbereichen 20
7.1 Schächte 20
7.2 Strecken, Schiefe Ebenen, Tageszugänge und Stollen 25
7.3 Abbaue 27
8 Prognose von altbergbaulichen Ereignissen 29
9 Schlussfolgerungen 31
10 Vergabe von Risikoklassen 31
10.1 Grundlagen 31
10.2 Ermittlung der Risikoklassen und empfohlene Maßnahmen 33
11 Prioritätenliste, Empfehlungen von Erkundungs- und Sanierungsvarianten 38
12 Gliederung einer BSA, Nachträge und Aktualisierungen 39
13 Quellenverzeichnis 40

1 Ausgangssituation

Die Menschen unternahmen bereits sehr früh in ihrer Entwicklung bergbauliche Aktivitäten, beispielsweise in Form von Gräbereien auf Feuerstein und Rötel oder Stollenbetrieb sowie Solegewinnung aus Salzquellen, was auch in Mitteleuropa mehrfach nachgewiesen wurde. Intensiver, über tausend Jahre alter tagesnaher und oberflächennaher Bergbau fand, beginnend am Harzer Rammelsberg bei Goslar, und seit dem 11. Jahrhundert mit geregeltem Abbau u. a. von Gold-, Silber-, Zinn-, Eisen- und Kupfererzen in den deutschen Mittelgebirgen statt. Aber auch die Gewinnung von Natursteinen als Baumaterial hinterließ fast flächendeckend tiefgreifende gebirgsmechanische und strukturelle Veränderungen im tages- sowie oberflächennahen Gebirge. Die hydrogeologischen Verhältnisse wurden dadurch ebenfalls grundhaft verändert. Seit dem 18. Jahrhundert kam es zunehmend zu größeren flächendeckenden, umweltbeeinflussenden und sicherheitsrelevanten bergbaulichen Eingriffen in das Gebirge. Bis heute finden diese irreversiblen anthropogenen Veränderungen noch in einem großen Umfang statt. Dazu zählen vor allem der Braun- und Steinkohlenbergbau sowie die Steine- und Erden-Industrie aber auch der Kali- und Salzbergbau. In vielen Bergbaurevieren gab es über die Jahrhunderte mehrfache Abbauepochen. Oft kamen in einem bestimmten Gebiet auch verschiedene Rohstoffe, meist zeitlich verschoben, zum Abbau.

Im Rahmen der Durchsetzung der industriellen Revolution mit dem Beginn des 19. Jahrhunderts wurde der Braun- und Steinkohlentiefbau, aber auch der Steinsalz- und Kalibergbau forciert. Der Braunkohlenbergbau wurde durch die Entwicklung der Tagebautechnik seit etwa um 1900 verstärkt übertägig betrieben. Begrenzter untertägiger Braunkohlenbergbau ging jedoch bis in die 80er Jahre des 20. Jahrhunderts um. Insbesondere in den mitteldeutschen Braunkohlenrevieren einschließlich der Lausitz kam es durch die großflächige Tief- und Tagebautätigkeit zu einer scherenartigen Entwicklung zwischen Abbau und Sanierung, wo zunehmend devastierte Flächen brachfielen und somit einer Nutzung

entzogen wurden. Nach 1945 erfolgte diese progressive Landnahme in fast allen Bergbauzweigen, wie z. B. im Braun- und Steinkohlenbergbau oder im Uran-, Zinn-, Eisen- und Spatbergbau.

Diese tiefgreifenden anthropogenen Veränderungen des tages- und oberflächennahen Gebirgskörpers führten zu zahlreichen altbergbaulichen Ewigkeitslasten sowie zu sicherheits- und schadensrelevanten Einwirkungen auf die Tagesoberfläche. Sie bilden heute die Ausgangssituation für notwendige ingenieur- und bergtechnische Erkundungs- und Sanierungsarbeiten an verschiedenen Altbergbauobjekten sowie deren Einwirkungsbereichen in fast allen Bergbauzweigen. Dabei nehmen die stets angreifenden geodynamischen Prozesse in ihrer Einheit von endogenen, exogenen und anthropogenen Bestandteilen z. T. massiven Einfluss auf den Zustand der Altbergbaurelikte und deren schadensrelevante Veränderungen. Durch die zunehmende intensive Nutzung der bergbaulich überprägten Geländeoberfläche sind die Verhinderung bzw. Minimierung der altbergbaulichen Einwirkungen, insbesondere auf die öffentliche Sicherheit, zwingende ingenieur- und bergtechnische Aufgaben.

Die Hinterlassenschaften des Altbergbaues sind in Abhängigkeit von den Eigenschaften der hangenden Gesteinsschichten, den Lagerstättenverhältnissen, dem Abbaugegenstand, dem Alter der Auffahrungen, der Wassersituation und den eingesetzten Abbautechnologien sehr vielschichtig. Weitere Unterschiede ergeben sich durch die Überlagerung von über- und untertägigem Bergbau oder deren Kombination. Die altbergbaulichen Gegebenheiten sind bei der Bearbeitung von möglichen schadensrelevanten Einwirkungen auf die Tagesoberfläche in ihrer Komplexität zu behandeln. Die geotechnischen Eigenschaften des bergbaulich überprägten Gebirges sind auch in den drei physikalischen Phasen (fest, flüssig, gasförmig) zu bewerten. Einen sehr hohen Einfluss auf die Schadenswirkung nehmen dabei die hydrogeologischen Verhältnisse.

Mit den teils flächendeckenden Stilllegungen von Tage- und Tiefbauen sowie ganzer Reviere nach dem 2. Weltkrieg und insbesondere nach der „Wende“ ergab sich verstärkt die Notwendigkeit, die Hinterlassenschaften dieser Bergbauepochen zu erfassen, zu dokumentieren und bei Bedarf zu sanieren. Zusätzlich zu der Beseitigung von zahlreichen Schadensereignissen war es notwendig, neben der Wiederherstellung der Sicherheit an der Geländeoberfläche, besonders die bergbaulich in Anspruch genommenen Flächen einer sicheren, umweltgerechten Nachnutzung zuzuführen. Ein wichtiges Instrumentarium bildete und bildet dabei die Bergschadenkundliche Analyse (BSA). Sie ist die komplexe Grundlage für die Vorbereitung der nutzungsorientierten sowie der umweltgerechten, bergtechnischen Erkundungs- und Sanierungsmaßnahmen. [9]

Mit der Erstellung einer BSA sollten folgende Schwerpunkte aus fachlicher Sicht bearbeitet werden:

- Klare Trennung von sicheren und unsicheren altbergbaulich beeinflussten Bereichen.
- Bei der fachlichen Bewertung sind allgemeingültige Gesetzlichkeiten, revierbezogene Zusammenhänge und objektspezifische Besonderheiten der altbergbaulichen Einwirkungen zu trennen.
- Der Inhalt einer BSA sollte sich nach dem derzeitigen Stand der Technik orientieren. Die Grundlagen dazu sind die Empfehlungen des Arbeitskreises „Altbergbau“ der DGGT und DMV.
- Der Umfang einer BSA sollte überschaubare Größenordnungen aufweisen und stets auf die fachlich orientierte Aufgabenstellung mit einem klaren Sanierungsziel fokussiert sein.
- Bergschadenkundliche Analysen sind anwenderfreundlich und klar verständlich zu gestalten. Eine Vereinheitlichung von Text, Riss und Dokumentation erleichtert die Arbeit mit verschiedenen BSA eines Revieres oder einer Bergbauregion.

- Die Vergabe von Risikoklassen an altbergbauliche Einwirkungsbereiche sollte unter Zugrundelegung der Genese von altbergbaulichen Erscheinungsbildern und aktuellen, objektspezifischen, geotechnischen Kennwerten erfolgen.
- Im Ergebnis einer BSA sind nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung der Sanierungsziele und der Nutzung der Tagesoberfläche angepasste Erkundungs- und Sanierungstechnologien vorzuschlagen. [4], [11] In vielen Fällen werden auch Kostenbetrachtungen und eine Prioritätenliste der Sanierungsobjekte gewünscht.

2 Wichtige Definitionen und Begriffe

Altbergbau

Aus fachlicher Sicht wird unter Altbergbau die „Gesamtheit aller bergmännisch hergestellten Hohlräume (Grubenbaue) einschließlich Bohrungen sowie Tagebaue, Kippen und Restlöcher verstanden, die bergbaulich nicht mehr genutzt werden.

Sonstige in geschlossener Bauweise aufgefahrene unterirdische Hohlräume nicht bergbaulichen Ursprungs, wie z. B. Bergkeller, Höhler, Luftschutzstollen und Tunnel erfahren durch ihre Vergleichbarkeit mit Grubenbauen eine sinngemäße Zuordnung. [1], [2] Sie werden äquivalent betrachtet.

Von Altbergbau wird aus fachlicher Sicht dann gesprochen, wenn die unmittelbaren Abbaueinwirkungen des aktiven Bergbaues abgeklungen sind und die Gebirgs- sowie Grubenbauveränderungen auf den Einwirkungen der geodynamischen Prozesse beruhen.

Geodynamische Prozesse

Es handelt sich um Veränderungen der geologischen Körper und deren sicherheitsrelevanten Eigenschaften an der Tagesoberfläche sowie in den oberen natürlichen und künstlichen Gebirgsschichten, die vor allem auf die Nutzung als Baugrund und Bauraum oder als natürlicher Baustoff sowie Umwelt einwirken. Als Hauptwirkungsgrößen dominieren im Altbergbau die exogen-geodynamischen Prozesse (Abb. 1).

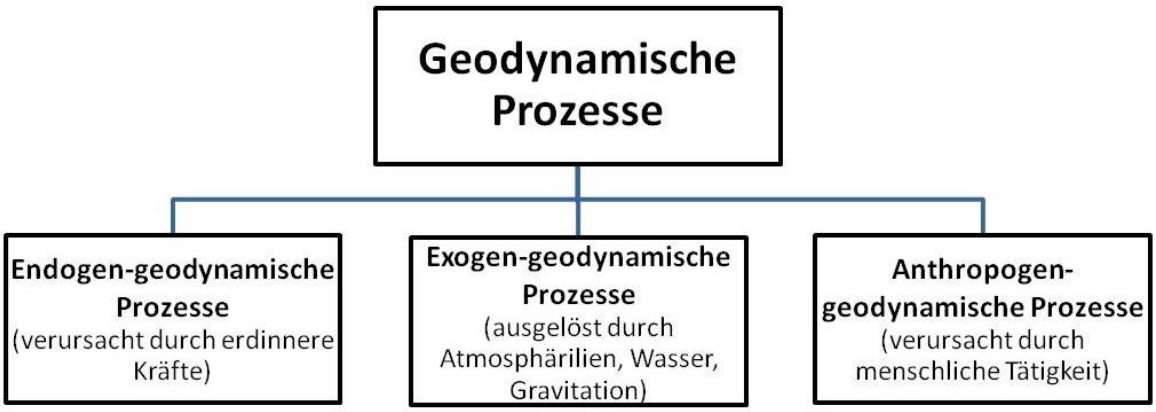


Abb. 1 Bestandteile der geodynamischen Prozesse

Bergschadenkundliche Analyse (BSA)

Sie beinhaltet eine zusammenfassende textliche und graphische Darstellung, Betrachtung und sicherheitsrelevante Bewertung der gesamten altbergbaulichen über- und untertägigen Situation für ein abgegrenztes, altbergbaulich beeinflusstes Gebiet. Verfügbare Archivalien und markscheiderische Rissunterlagen sowie Altrisse und aktuelle Vermessungen, geotechnische Erkundungen und Dokumentationen sind die Grundlage für die Bearbeitung. Den Abschluss bildet eine differenzierte, priorisierte Risikobewertung mit Sanierungshinweisen. Grundsätzlich besitzt eine BSA Gutachtencharakter und ist datumsbezogen.

Im Gebrauch sind verschiedene Synonyme: Geotechnisch-bergschadenkundliches Gutachten, Geotechnisch-altbergbauliches Gutachten, Geotechnisch-markscheiderisches Gutachten und Bergschadenkundliche Eruierung. [1]

Sanierung

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

Die Sanierung umfasst die Begriffe Sicherung und Verwahrung. In der Abb. 2 werden die inhaltlichen Zusammenhänge grafisch dargestellt. [4]

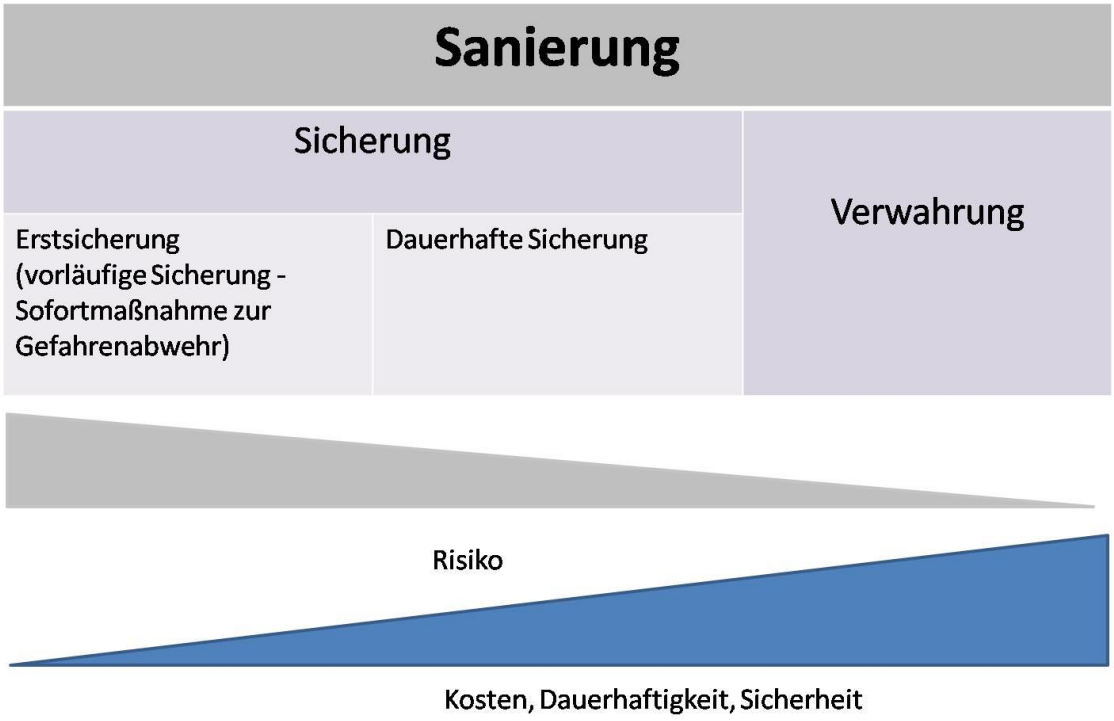


Abb. 2 Inhalte der bergtechnischen Sanierungsmaßnamen und deren Zusammenhänge mit Risiko, Dauerhaftigkeit, Kosten und Sicherheit

Erstsicherung (vorläufige Sicherung)

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

Erstsicherungsmaßnahmen sein. [4] Monitoring und Unterhaltung der Erstsicherung sind in geeigneter Weise durchzuführen. Die volle Funktionalität der Maßnahmen soll einige Wochen betragen.

Dauerhafte Sicherung

Sie ist die Gesamtheit aller Maßnahmen zur Abwehr von Schäden im Über- und Untertagebereich oder nachteiligen Einwirkungen auf die Tagesoberfläche (z. B. auf Leben und Gesundheit von Personen, bedeutende Sachwerte, Natur und Umwelt). Unter Berücksichtigung der Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit und der Nutzung der Tagesoberfläche und/oder ausgewählter Grubenbaue (z. B. Wasserlösestollen) wird jedoch die Schadstelle im altbergbaulichen Einwirkungsbereich nicht beseitigt. An den Erhalt der Wirksamkeit von Sicherungsmaßnahmen im Über- und Untertagebereich sind Monitoring und Unterhaltung gebunden, deren zeitliche Abfolge sich an den jeweiligen örtlichen Verhältnissen orientiert. Einer Entscheidung über Art und Umfang der im Einzelfall durchzuführenden dauerhaften Sicherungen geht eine geotechnisch-markscheiderische und hydrologische Bewertung der Situation voraus. [4] Die volle Funktionalität der Maßnahmen soll einige Monate bis Jahre betragen.

Verwahrung

Die Verwahrung ist die Gesamtheit aller Maßnahmen zur dauerhaften Abwehr von Schäden oder nachteiligen Einwirkungen auf die Tagesoberfläche. Das Bearbeitungsobjekt wird dabei in der Regel wesentlich verändert oder beseitigt. Der Umfang und die Art der Maßnahmen basieren auf einem hinreichend genauen geotechnischen sowie hydrogeologischen Erkenntnisstand zum Objekt. Die Maßnahmen sind der derzeitigen oder geplanten Nutzung der Tagesoberfläche anzupassen und nach dem jeweiligen Stand der Technik wartungs- sowie überwachungsfrei auszuführen (siehe DIN 21 913, Teil 6). [4] Die volle Funktionalität der Maßnahmen soll > 100 Jahre betragen.

Verwahrungshorizont

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

Im Halbfestgestein (veränderliches Festgestein) und im Lockergestein kann durch die objektspezifische Anpassung eine Systemverwahrung genutzt werden. [41]

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

Durch geeignete technische Verfahren (z. B. Daueranker, Injektionen, Pfähle, Schlitzwände) kann ein Verwahrungshorizont ertüchtigt werden. [4]

Verwahrungskörper

Der Verwahrungskörper ist ein bau-, berg- oder injektionstechnisch hergestellter Körper im Bereich des Verwahrungshorizontes zur Beseitigung von Schadstellen oder sonstigen altbergbaulichen Einwirkungen in Abhängigkeit von der Nutzung der Tagesoberfläche. Aufgaben- oder objektbezogen kommen Teilverfüllungen oder hohlraumfreie und sandwichartige Ausfüllungen sowie konstruktive Körper zur Ausführung. Eine Integration des vorhandenen dauerhaften Ausbaues in den Verwahrungskörper ist bei nachgewiesener Eignung möglich. Funktional bilden der Verwahrungshorizont und der Verwahrungskörper eine dauerhaft wirkende statische Einheit. [4]

Systemverwahrung

Als Systemverwahrung wird die dauerhafte komplexe Verzahnung von verschiedenen berg- und geotechnischen Sicherungs- und Verwahrungstechnologien unter Berücksichtigung der ingenieur- und hydrogeologischen Verhältnisse verstanden. Eine kraftschlüssige Verkettung von dauerhaft wirkenden, bewährten Standardtechnologien und Baustoffen sowie auch eine Ertüchtigung des Verwahrungshorizontes einschließlich intaktem Altausbau sind die Kernelemente einer Systemverwahrung. [41], [42] Einsatzmöglichkeiten ergeben sich vor allem in Halbfestgesteinen, teilverfestigten Lockergesteinen oder endfestigten Festgesteinen bevorzugt bei kleineren und mittleren Schächten.

Altbergbauliche Erscheinungsbilder

Altbergbauliche Erscheinungsbilder (Tab.1 :) sind quasi zu einem großen Anteil das Äquivalent zu Bergschäden. Bergschäden sind dem umgehenden Bergbau mit einem bergamtlich genehmigten Betriebsplan zuzuordnen. Altbergbauliche Erscheinungsbilder sind nicht nur sicherheitsrelevante Veränderungen an der Tagesoberfläche, wie Tagesbrüche und Deformationen, sondern grundsätzlich alle altbergbaulichen Hinterlassenschaften (z. B. offene Schächte, Stollen, Halden, Tagebaurestlöcher) sowie auch Deformations- und Verbrucherscheinungen, die in den tages- und oberflächennahen Grubenbauen sowie im Deckgebirge ablaufen. Ihre Ursachen sind vor allem an geodynamische Prozesse gebunden. Sie setzen dann ein, wenn direkte Abbaueinwirkungen ausklingen. Aus fachlicher Sicht gibt es deshalb zwischen Bergschäden und altbergbauliche Erscheinungsbildern keine scharfe Grenze.

Tab.1 : Zusammenstellung von altbergbaulichen Erscheinungsbildern (altbergbaulichen Objekten) [1] (ergänzt)

Altbergbauliches Erscheinungsbild	Erläuterungen [1]
Offener Abbau und Schacht, Strecke, Stollen und Blindschacht, Tagesstrecken, Schiefe Ebene,	Durchgebauter oder tagebauartiger Grubenbau der unterschiedlichsten Art und Größe Unverfüllte abgedeckte, nur teilverfüllte oder offene Schächte Offene horizontale Tageszugänge
Tagesbruch (im eigentlichen Sinne)	Verbruch des natürlichen oder künstlichen Deckgebirges über bergmännisch hergestelltem Hohlraum (Verflüssigungen, Auflösungen und strömungsbedingte Umlagerungen werden bei einer numerischen Tagesbruchabschätzung ausgeschlossen)

Altbergbauliches Erscheinungsbild	Erläuterungen [1]
Schachtverbruch	Meist plötzliches Abgehen von Versatz- oder Verbruchmassen sowie Abbühnungen in Schächten oder Verbruch durch Versagen des Ausbaues. An der Tagesoberfläche bildet sich meist eine trichterförmige Bruchform oder es zeichnet sich die Kontur des Schachtes ab. Eine Sonderform ist der Blindschachtverbruch.
Mundlochverbruch	Verschluss von horizontalen Stollen- und Tageszugängen durch Deformationen und Verbrüche von Ausbau und Deckgebirge, erhebliche Einflüsse durch Hangbewegungen und Frost auf den Deformationsprozess, großes Schadenspotential durch Wasserrückstau bei Verschluss des Grubenbaues
Bohrlochverbruch	Versagen der Bohrlochwandung, Materialaufnahme des Bohrloches aus dem anstehenden Gebirge und dem offenen Ringraum zwischen Verrohrung und Gebirge. Im Bereich des Bohrlochkopfes stellt sich meist eine trichterförmige Bruchform an der Tagesoberfläche ein. Bei fließfähigen und wasserführenden Gesteinshorizonten kommt es auch zu vertikalen und horizontalen Materialtransporten zwischen Verrohrung und Bohrlochwand. Das Material fließt in die angebohrten Grubenbaue aus (Piping).
Riss- und Spaltenbildung	Bruchartige Geländeverschiebungen am Rand von Deformationszonen und Verbrüchen mit horizontalen sowie vertikalen Bewegungsanteilen einschließlich Abtreppungen
Tagesbruch durch Piping	Verflüssigung (Liquefaktion) von Schwimmsand, Sand, Ton, Schluff, Salz
Senkung/Hebung	Vertikale Geländedeformation über verbrochenem oder verbrechendem Hohlraum; in deren Folge kommt es zu Schieflagen und Krümmungen Vertikale Bodenbewegungen treten auch in Verbindung mit bergbaulich bedingten Grundwasserstandsbewegungen auf (Leerlaufen oder Fluten von Grubenbauen oder sonstige Eingriffe in den Grundwasserhaushalt).
Zerrung/Pressung	Relative horizontale Längenänderungen, konzentrische Spaltenbildung im Zerrungsbereich
Abflusslose Senke	Elliptische Hohlform über verbrochenen tages- und oberflächennahen bergbaulichen Hohlraum im Locker- und Halbfestgestein, häufig bei mächtigen tonig-schluffigen Deckschichten und dicken Schwimmsandlagen, dauerhaftes oder periodisches Standwasser; im Randbereich Zerrungen, auch Spaltenbildungen; meist sehr lange Deformationsdauer (> 100 Jahre)
Wasseraustritt	Vernässung, Veränderung des Grundwassers, schwallartiger Wasseraustritt, Standwasserbildung, Verockerung, Verschlammung, Aktivierung von Karstprozessen, Versalzung, sonstige Kontaminationen

Altbergbauliches Erscheinungsbild	Erläuterungen [1]
Gasaustritt	Austritt von Grubengasen (z. B. Methan, Radon, CO_2) aus aufgelockertem Deckgebirge, Verbrüchen, Rissen, Spalten, verfüllten und offenen Grubenbauen Geogene (z. B. lagerstättenbedingte) und anthropogene (z. B. Zersetzung des Holzausbaues) Ursachen

[1] Definitionen z. T. siehe DIN 21 917, Teil 1

Tagesbruch

In der Abb. 3 sind die genetisch verschiedenen Tagesbrucharten zusammengestellt.

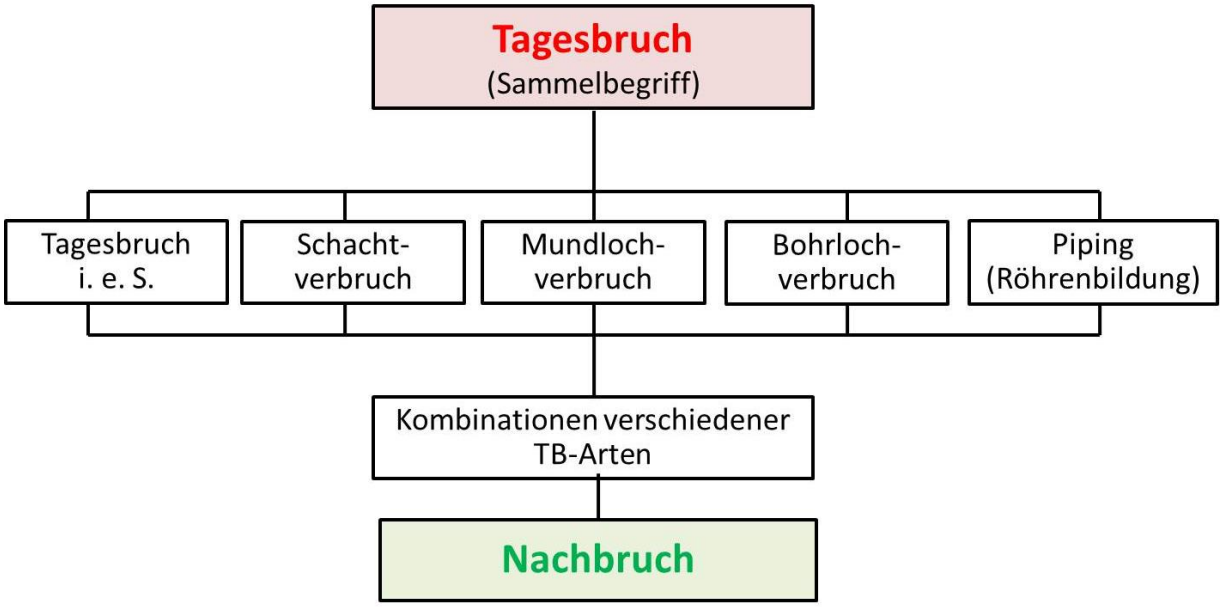


Abb. 3 Einteilung der Tagesbrüche (TB) aus genetischer Sicht (ergänzt) [15]

Eine numerische Einschätzung der Volumenbilanzen beim Verbruchprozess lässt sich nur unter bestimmten Randbedingungen bei Tagesbrüchen i. e. S. durchführen.

Folgende Bedingungen müssen hierbei erfüllt sein:

- Das im Verbruchschlot anfallende Material muss im verbrechenden Grubenbau einen Schuttkegel ausbilden können.
- Es darf kein Verbruchmaterial weggespült, verflüssigt, aufgelöst oder entnommen werden.
- Der Verbruchprozess muss im natürlichen oder künstlichen Deckgebirge nach der Schwerkraft ablaufen und kein Nachbruch eines bereits gegangenen Bruches sein.

Grubenwasser

Der Begriff "Grubenwasser" wird verwendet für alle Wässer, die durch unter- oder übertägigen Bergbau hinsichtlich des Volumenstromes und/oder der hydrochemischen Zusammensetzung beeinflusst sind.

Im Rahmen der Passage durch die bergbaulich beeinflussten Locker- oder Festgesteine, Halden und Kippen oder Deformationsbereiche führen hydrogeochemische Prozesse zu einer Veränderung der Wasserqualität sowie zur Durchmischung von Wässern, die natürlicherweise nicht miteinander in Kontakt stehen. Darüber hinaus ist mit einer Beeinflussung der Wasserqualität durch Betriebswasser und Betriebsstoffe zu rechnen. Grubenwasser bezeichnet in diesem Sinne auch das im Rahmen des Grubenwasseranstieges aus den untertägigen Abbaubereichen in das Deckgebirge aufsteigende Wasser, welches sich im Deckgebirge mit dem natürlich zirkulierenden Grundwasser mischt. Wesentlich für die Beurteilung/Bewertung ist dessen Nettoalkalität oder -acidität. [11]

Die Unterscheidung Grubenwasser/Grundwasser stellt ausdrücklich keine rechtliche Bewertung dar.

Grundwasser

Das Grundwasser ist das unterirdische Wasser, das die Hohlräume der Lithosphäre zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegungsmöglichkeit ausschließlich durch die Schwerkraft bestimmt wird (DIN 4049-3: 1994-10). [11]

Geotechnisches Gleichgewicht

Unter einem Gleichgewicht wird die Ausgewogenheit aller Potentiale und Flüsse in einem geschlossenen oder offenen System verstanden. Im Altbergbau werden die verschiedenen offenen Gleichgewichtssysteme und deren Wirkungsprovinzen von Gesetzmäßigkeiten sowie Zufälligkeiten geprägt, vergleichbar mit Homogenbereichen in der Geotechnik. Für den Altbergbau sind instabiles, metastabiles und stabiles Gleichgewicht von Bedeutung. Im Rahmen der Bewertung altbergbaulicher Erscheinungsbilder und deren geotechnischen Gleichgewichtszuständen erfolgt grundsätzlich eine abgestufte Risikobewertung unter Berücksichtigung der Nutzung der Geländeoberfläche zwischen „sicher“ und „unsicher“. [11]

Monitoring

Das Monitoring im Altbergbau ist die geplante und wiederkehrende Überwachung von Objekten sowie deren Erscheinungsbildern mit dem Ziel, ihre Veränderungen zu kontrollieren und zu dokumentieren. Gegebenenfalls können daraus geeignete Maßnahmen zur Risikominderung abgeleitet werden. Unter dem Objektbegriff sind in diesem Zusammenhang altbergbauliche Objekte selbst sowie auch vom Altbergbau beeinflusste Objekte und deren Umfeld zu verstehen. [11]

3 Historischer Hintergrund, rechtliche Grundlagen und Definitionen

Das Berggesetz vom 12. Mai 1969 und die Verwahrungsanordnung vom 19. Oktober 1971 der DDR [3] haben die Grundlage für den fachlichen Rahmen zur Anfertigung von Bergschadenkundlichen Analysen (BSA) gelegt. Ursprünglich basierten auf dieser Anordnung die bergtechnischen Erkundungs- und Sanierungsarbeiten an schadensrelevanten Einwirkungen aus dem stillzulegenden Bergbau mit einem Abschlussbetriebsplan. Eine Erweiterung der Anordnung auf die Hinterlassenschaften des Altbergbaues erfolgte nachträglich. Grundsätzlich wurde dabei auch die Forderung nach einer Verwahrungsdokumentation mit entsprechendem Inhalt nach Abschluss der Sanierungsarbeiten gestellt. Anlass für diese gesetzlichen Regelungen war der enorm angestiegene Sanierungsrückstau von den stillgelegten (und stillzulegenden) Gruben verschiedener Bergbauzweige (z. B. Braunkohlentief- und -tagebau, Uran-, Zinn-, Spat-, Kupferschiefer-, Eisenerz-, Kali-Salz-Bergbau). Aber auch die zahlreichen Hinterlassenschaften des Altbergbaues aus den zurückliegenden Jahrhunderten wirkten sich durch die geodynamischen Prozesse negativ bezüglich einer sicheren Nutzung der Tagesoberfläche aus. Die Verwahrungsanordnung berücksichtigte dabei vorhandene und mögliche Bergschäden des Bergbaues mit Rechtsnachfolger wie auch Schäden und Einwirkungen des Bergbaues ohne Rechtsnachfolger gleichermaßen. Sie war gleichzeitig die Rechtsgrundlage zur Gründung von sogenannten „Bergsicherungseinrichtungen“, die in den jeweiligen Bezirksverwaltungen als Sanierungsfirmen installiert wurden. Als Bestandteil dieser Fachfirmen wurden ferner Analysengruppen geschaffen, die u. a. in Abstimmung mit den zuständigen Bergbehörden bezüglich der Anfertigung von Bergschadenkundlichen Analysen beauftragt wurden. Diese Fachfirmen und Ausgliederungen von Ingenieurbüros existieren zum größten Teil privatisiert auch heute noch.

In der Verwahrungsanordnung [3] wurden die grundsätzlichen Inhalte einer BSA für den stillzulegenden und den historischen Bergbau wie folgt definiert:

- Angaben zu den tagesnahen Grubenbauen und deren räumliche Verbindungen zur Tagesoberfläche
- Abbau und Versatzverfahren
- Geologischer, hydrogeologischer und geomechanischer Zustand der Lagerstätte sowie des Deckgebirges
- Bereits durchgeführte Verwahrungsarbeiten
- Weitere Grubenbaue und unterirdische Hohlräume, die sich im Einwirkungsbereich der stillzulegenden sowie bereits stillgelegten Grubenbaue befinden
- Nutzung und Bebauung der Tagesoberfläche
- Bereits eingetretene Schäden und andere nachteilige Einwirkungen
- Durchgeführte bergschadenkundliche Messungen (Lage- und Höhenmessungen)
- Künftig zu erwartende Schäden und andere nachteilige Einwirkungen
- Übersichtskarten und rissliche Unterlagen sowie Fotos sind beizufügen.

Die ersten Erfahrungen bei der BSA-Ausarbeitung im Braunkohlentiefbau wurden von LEITENROTH & SCHIRMER 1978 [9] veröffentlicht. So wurde empfohlen, dass ein Analysengebiet nicht größer als 1 km² sein sollte, um die Übersichtlichkeit und Nachtragbarkeit nicht zu überfordern.

MEIER [10] veröffentlichte die Erfahrungen und die Inhalte bei der Erarbeitung von Bergschadenkundlichen Analysen für den Zeitraum 1971 bis 1989 und verwies auf die komplexen Inhalte dieser Grundsatzdokumente. Sie gestatten Aussagen zur möglichen

Gefährdung der öffentlichen Sicherheit und enthalten Schlussfolgerungen für bergtechnische Sanierungsarbeiten innerhalb altbergbaulich beeinflusster Gebiete. Für eine sicherheitsrelevante Priorisierung der altbergbaulichen Hinterlassenschaften wurden vier Gefährdungsstufen ausgegliedert und somit auch die Sanierungsreihenfolge empfohlen. Zum 01.03.1991 wurde vom Bergamt Chemnitz eine Anweisung für die Erarbeitung von Bergschadenkundlichen Analysen mit Grundsätzen und Gliederungshinweisen erteilt [16]. Die BSA bildete auch hier die Grundlage für die Planung und Durchführung von Sanierungsmaßnahmen, so auch für die Zulassung des Abschlussbetriebsplanes gemäß BbergG bei Bergbaubetrieben mit Rechtsnachfolger.

In der ersten Empfehlung von 2004 des AK 4.6 „Altbergbau“ [1] lauten die Definition und die fachlichen Inhalte für eine BSA (Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung) wie folgt:

> *„Sie beinhalten eine interdisziplinäre Analyse der für ein Untersuchungsgebiet verfügbaren Informationen zum Altbergbau und zu den ingenieurgeologisch-hydrogeologischen Verhältnissen einschließlich der textlichen und risslichen Darstellung der Untersuchungsergebnisse.*
> *Es werden altbergbaubedingte Einwirkungsbereiche abgegrenzt, deren Standfestigkeit möglicherweise oder nachgewiesenermaßen nicht oder nur eingeschränkt gewährleistet ist. Bei Bedarf sind bergbaulich beeinflusste und/oder geogene Bereiche mit erhöhter Gas- und/oder Wasserwegigkeit zusätzlich zu analysieren. Die dauerhafte Funktionalität von wasserführenden Stollen ist zu berücksichtigen. Abschluss der geotechnisch-markscheiderischen Untersuchung und Bewertung ist die Durchführung einer Risikoanalyse und -bewertung, deren Ergebnis in Karten dargestellt wird. In Abhängigkeit von der gegenwärtigen oder geplanten Nutzung der Tagesoberfläche werden Empfehlungen für ggf. weitere Untersuchungen sowie Sicherungs- und Sanierungs-/ Verwahrungsmaßnahmen oder für Nutzungseinschränkungen erarbeitet.“*

Anmerkung: In der Empfehlung von 2010 des Arbeitskreises „Altbergbau“ [4] wurde die Sanierung als Überbegriff von (dauerhafte) Sicherung und Verwahrung definiert.

4 Bearbeitungsschwerpunkte

4.1 Sichtung von Literatur, Archivalien und markscheiderische Arbeiten

Grundlage jeglicher geotechnisch-markscheiderischer Erarbeitung für eine BSA ist die möglichst vollständige Sichtung sowie Aufarbeitung von archivalischen und aktuellen Text- und Rissunterlagen gemäß Aufgabenstellung zum gesamten Berggebäude. Die Informationsquellen lassen sich wie folgt zusammenfassen [1] (ergänzt):

- Markscheiderische Altrisse
- Betriebliches Risswerk
- Bergbehördliches Kartenwerk
- Verwahrungs- und Sicherungsdokumentationen
- Bergschadenkundliche Analysen und geotechnische Gutachten
- Historische und aktuelle Karten sowie Stadtpläne
- Geologische, ingenieurgeologische und hydrogeologische Karten mit Erläuterungen
- Flutungsstrategie und Flutungsverlauf von Grubenbauen
- Bohrdatenbanken

- Tagesbruch- und Schadensdateien, Sachstandsanzeigen
- Baugrundgutachten und geotechnische Berichte
- Textliche und bildliche Archivalien, Grubenakten
- Literatur (Fachbuch, Heimat- und Regionalliteratur, Zeitschriften, Zeitungen)
- Historische und aktuelle Luftbilder sowie Fotos und Airborne Laser Scanning
- Archäologische Quellen
- Befragungen von Zeitzeugen bei jüngeren bergmännischen bzw. bergbaulichen Tätigkeiten

Neben der Lage und dem Zustand der Grubenbaue sind vor allem Informationen zur ingenieurgeologischen Situation des Deckgebirges von primärem Interesse. Die verfügbaren geotechnischen Parameter stehen ebenfalls im Fokus der Analyse, jedoch sollten sie stets unter Berücksichtigung abgelaufener Deformations- und Verbruchprozesse im Deckgebirge bei Abbaueinwirkungen betrachtet werden. Auch der Einfluss der geodynamischen Prozesse auf die Standsicherheitsverhältnisse unter Berücksichtigung der Nutzung der Tagesoberfläche ist Bearbeitungsgegenstand.

Die Einpassung von historischen Rissen und Karten in das aktuelle Risswerk gestaltet sich, trotz Einsatz von leistungsfähigen Computern, oft aufwändig und kompliziert. Die Risse werden gescannt und hauptsächlich im Maßstab 1 : 1 000 dargestellt. In einem ersten Bearbeitungsschritt werden die Risse entzerrt. Dazu werden entweder die auf den Rissen vorhandenen Gitterkreuze oder die Transversalmaßstäbe genutzt. Anschließend werden die Unterlagen mittels Drehung und Verschiebung möglichst deckungsgleich auf die Passpunkte verschoben. Für diese Georeferenzierung werden im Gelände geeignete Passpunkte, insbesondere auch Altbergbaurelikte, vermessungstechnisch erfasst und für eine hinreichend genaue Einpassung sowie Entzerrung der Altunterlage verwendet. Geeignete Punkte sind dazu im historischen Risswerk und bei Geländebegehungen auszuwählen. In den meisten Fällen sind auch ergänzende markscheiderische Vermessungsleistungen im Übertagebereich und nach Möglichkeit untertägig notwendig. Die Auswertung der Vermessungsdaten erfolgt im Allgemeinen rechnergestützt, beispielsweise in den Programmen „AutoCAD“ der Firma Autodesk GmbH oder „MicroStation V8.1“ der Firma Bentley Systems, Incorporated.

In vielen Fällen sind die verfügbaren Aufmessungen der Grubenbaue unvollständig oder sie fehlen vollkommen. Es kann davon ausgegangen werden, dass verwertbare Grubenrisse erst nach dem 30-jährigen Krieg angelegt wurden. Historische Grubenrisse stellen die bergbauliche Situation zu einem bestimmten Zeitpunkt unter einem bestimmten Erkenntnisstand und oft zweckorientiert dar. Es ist zu berücksichtigen, dass die eingesetzte Vermessungstechnik und das Messverfahren den Stand der jeweiligen Zeit widerspiegelt sowie die Datenträger auch ungleichförmig verzerrt sind. Auch die Vermessungsqualität und die Genauigkeit der unterschiedlichen Maßstäbe sind zu berücksichtigen.

Endaufmessungen fehlen in vielen Fällen im verfügbaren behördlichen Risswerk. So ist es keine Seltenheit, dass beispielsweise bis zu 30 % der Abbauflächen und horizontale sowie vertikale Grubenbaue fehlen. [18] Eine Ursache für diese Unvollständigkeit ist insbesondere darin begründet, dass in den Archiven vor allem nur markscheiderisches Behördenrisswerk zur Verfügung steht. Die Nachtragungspflicht wurde von den verschiedenen Bergbehörden sehr unterschiedlich geregelt. Zeitliche Abstände der Nachtragungen von 1 oder 2 Jahren sind die Regel. Das vollständigere Grubenrisswerk, das aktuell weitestgehend nachgetragen war, wurde häufig im Rahmen der Grubenstilllegung vernichtet oder ging verloren.

4.2 Geotechnische Dokumentationen und Erkundungsmaßnahmen

Die Umfänge und Inhalte der geotechnischen Dokumentationen sowie bergtechnischen Erkundungsmaßnahmen sind vor allem vom Bergbauzweig, von der Zugänglichkeit der Grubenbaue und von der Nutzung der Tagesoberfläche abhängig. Auch die Erfassung der Grubenwasserverhältnisse ist ein wichtiger Bestandteil der Dokumentations- und Erkundungsmaßnahmen.

Die Inhalte der geotechnischen Dokumentationen sind darauf gerichtet, Verbruch- und Deformationssituationszustände zu erfassen sowie das schadensrelevante Risiko einzustufen. Je nach Bergbauzweig und Zugänglichkeit der Grubenbaue ergibt sich daraus eine über- und untertägige geotechnische Dokumentation. Neben dem Istzustand der altbergbaulichen Hinterlassenschaften werden auch die ingenieurgeologischen Verhältnisse kartiert und geotechnische Parameter bestimmt.

In zahlreichen Bergbauzweigen und Grubenbereichen ist eine geotechnische Dokumentation nur noch an übertägigen altbergbaulichen Hinterlassenschaften möglich. Insbesondere Tagesbrüche, Bodendeformationen und Gas- sowie Wasseraustritte (z. B. Stollen, Vernässungen, Standwasserbildungen in abflusslosen Senken) sind die Indizien von sicherheitsrelevanten, altbergbaulich bedingten Ereignissen.

Als eine wichtige Informationsquelle zur Bewertung des geomechanischen Verhaltens vom Deckgebirge stellen auch die Archivalien dar.

Für die Erkundungsmaßnahmen an altbergbaulichen Erscheinungsbildern und deren Einwirkungsbereichen stehen eine Vielzahl von direkten, indirekten sowie Sonderverfahren zur Verfügung.

Direkte Verfahren: Bohrungen (Kern-, Voll-, Kleinrammkernbohrungen), Schürfe, bergmännische Aufwältigungen, Schurfschächte, Suchstrecken, Flächenfreilegungen

Indirekte Verfahren: Geophysik, Sondierungen (z. B. Rammsondierungen)

Spezialverfahren: Foto- und Fernsehsonde, aerogeologische Aufnahmen, Tracerversuche bei Wasser- und Wetterbewegungen, Airborne Laser Scanning

Werden indirekte Verfahren eingesetzt, ist stets ein direktes Verfahren zur Eichung und ingenieurgeologischen Zuordnung der Gesteinsschichten erforderlich. Den besten Erkundungserfolg lassen Kombinationen von verschiedenen Verfahren erwarten.

5 Numerische Tagesbruchabschätzung

5.1 Grundlagen, Randbedingungen und Formeln

Die Beurteilung und Prognose von Tagesbruchereignissen in altbergbaulich beeinflussten Gebieten sowie deren Nutzung stellt einen wesentlichen Schwerpunkt bei der geotechnisch-markscheiderischen Untersuchung und Risikobewertung dar. Für die Tagesbruchereignisse wurden verschiedene numerische Ansätze entwickelt. Im Allgemeinen liegen hierfür empirische, analytische und numerische Ansätze vor.

Auf dem Grundprinzip der Hohlraum-Bruchmassen-Bilanzen (H-B-Bilanzen) empfiehlt MEIER [21] eine relativ einfache numerische Tagesbruchabschätzung mittels geometrischer und geotechnischer Parameter. Unter der Voraussetzung der Gültigkeit bestimmter Randbedingungen besteht das Grundprinzip darin, dass ein Hohlraum verbricht und sich dabei ein zylinderförmiger Verbruchschlot ausbildet. In Abhängigkeit von der Auflockerung des verbrechenden Deckgebirges und dessen Mächtigkeit stellt sich ein Tagesbruch ein oder der Verbruch läuft sich tot (Abb. 4).

In der Tab.2 : sind verschiedene Hohlraum-Bruchmassen-Bilanz-Modelle zusammengestellt.

Folgende Parameter sind Bestandteil der Formeln:

$H_{Gebirge}$ - Deckgebirgsmächtigkeit in [m]

H_{max} - maximale Höhe des Verbruchschlotes in [m]

h - Höhe des Grubenbaues in [m]

s - Auflockerungsfaktor

φ - Innerer Reibungswinkel der Verbruchmassen in [^{o}]

2b, l - Durchmesser des Verbruchschlotes in [m]

In der Regel bildet sich am Bruchkopf ein Rotationsellipsoid aus, darunter folgt senkrecht ein zylinderförmiger Verbruchschlot, an dessen Fuß sich in den Hohlräumen Böschungen einstellen.

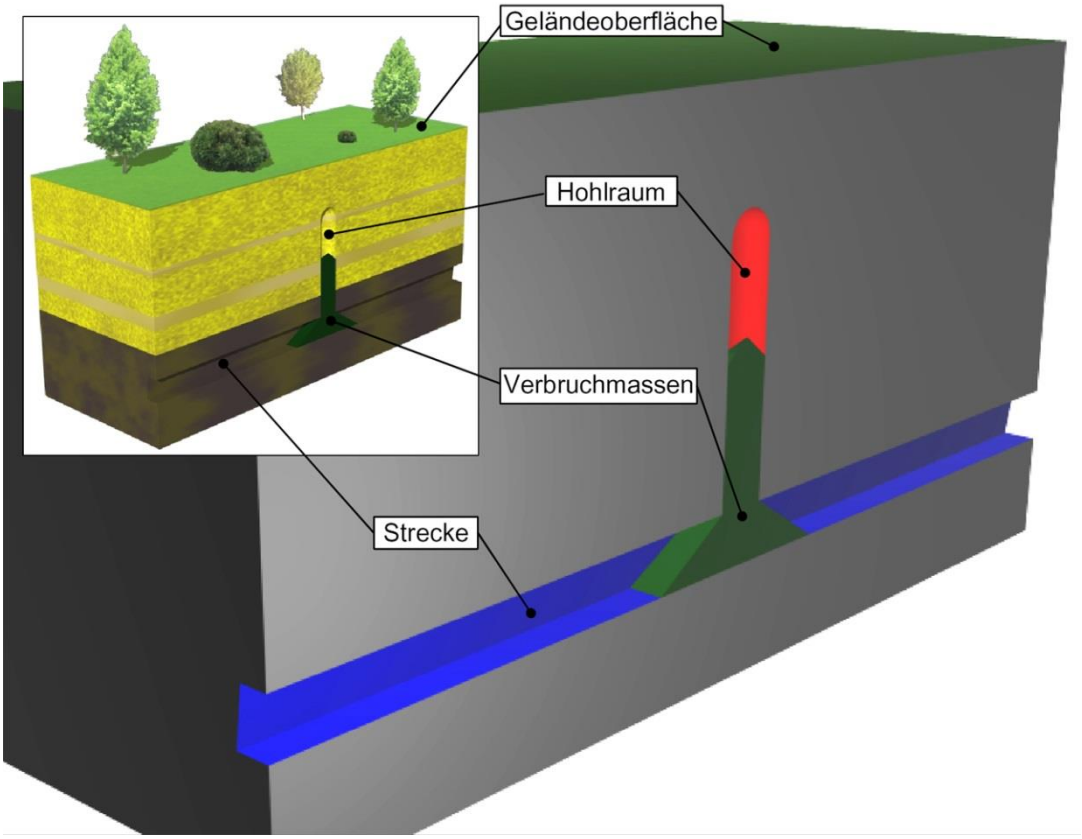
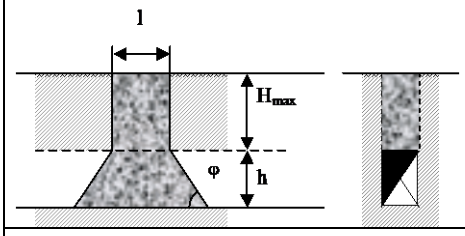
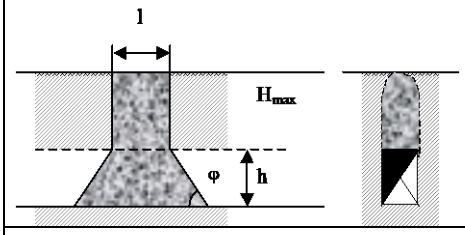
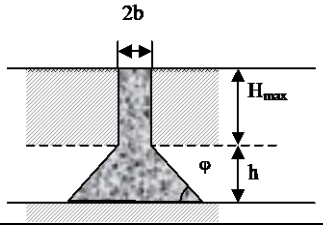
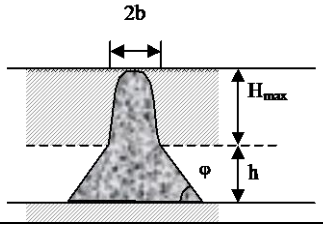


Abb. 4 Schematisches Blockbild eines Hochbruches über einer Strecke [20]

Tab.2 : Hohlraum-Bruchmassen-Bilanz-Modelle nach G. MEIER (1978) [21]

Skizze	Formel	Charakteristik
	$H_{max} = \frac{h}{s-1}\left(1+\frac{h}{l * \tan\varphi}\right)$ (1)	Senkrechte Bruchflächen über seitlich begrenztem bergmännischen Hohlraum, z. B. Stollen, Strecken, Gangabbaue u. a.
	$H_{max} = \frac{1.274\,h}{s-1}\left(1+\frac{h}{l * \tan\varphi}\right)$ (2)	Gewölbeartiger Verbruch (Verbruchform - stehende Halbellipse) über seitlich begrenztem bergmännischen Hohlraum, z. B. Stollen, Strecken, Gangabbaue u. a.
	$H_{max} = \frac{h}{s-1}\left(1+\frac{h}{b * \tan\varphi}+\frac{h^2}{3\,b^2\tan^2\varphi}\right)$ (3)	Schlotartiger Hochbruch mit senkrechten Bruchflächen über Flächenabbauen ohne seitliche Begrenzung für den Bruchmassenkegel (Verbruchform - Zylinder)
	$H_{max} = \frac{1.5\,h}{s-1}\left(1+\frac{h}{b * \tan\varphi}+\frac{h^2}{3\,b^2 * \tan^2\varphi}\right)$ (4)	Gewölbeartiger Hochbruch über Flächenabbauen, sonst wie vorher (Verbruchform - Rotationsellipsoid)

Die Rechenansätze haben sich seit 1978 [21] nicht verändert. Die Formeln (2) und (4) entsprechen den häufigsten numerischen Betrachtungen. Eine Modifikation der Rechenmodelle ergab sich 2005 [20]. Hier wurde ein internes Computerprogramm entwickelt, das jedoch auf den vorhandenen Formeln aufbaut. Vergleichsrechnungen ergaben mögliche Abweichungen durch die Berücksichtigung von differenzierten Bruchfiguren bis 10 %, z. B. Streckenkreuz von unterschiedlichen Streckenbreiten. Dabei sind die Anwendungen der älteren Formeln als „konservativ“ einzuordnen. Für eine praxisorientierte Nutzung der Formeln nach MEIER ergibt sich daraus in der Regel keine Einschränkung.

5.2 Parameterermittlung

Die Bestimmung und Auswahl von belastbaren geotechnischen Parametern sind maßgeblich für ein realistisches Rechenergebnis verantwortlich. Folgende Randbedingungen bzw. Grenzen der Anwendbarkeit beeinflussen die Gültigkeit einer numerischen Tagesbruchabschätzung nach MEIER [20], [21]:

– Die Anwendbarkeit der Formeln ist nur für Tagesbrüche im eigentlichen Sinne möglich, d. h. Schacht-, Mundloch- und Bohrlochverbrüche, Piping (Verflüssigung) sowie Nachbrüche oder Kombinationen von Tagesbrucharten jeglicher Art sind damit nicht berechenbar (Abb. 3).

- Als Bedingung gilt, dass kein nachträglicher Abtransport von Verbruchmassen erfolgt. Verflüssigungen von Lockergesteinen oder Gesteinsauflösungen (z. B. Karst) sind auszuschließen, da hierfür keine abgrenzbaren Volumenbilanzen und realistische Parameter angesetzt werden können.
- Für die praxisbezogene Anwendung der H-B-Bilanz sind detaillierte, objektbezogene geotechnische Parameterbestimmungen und markscheiderische Darstellungen in grund- sowie schnittrisslicher Form notwendige Voraussetzungen.
- Für eine grubenspezifische Anwendung der H-B-Bilanz sind die erforderlichen geotechnischen Parameter, vor allem des Deckgebirges, hinreichend genau zu ermitteln.
- Für das zu bearbeitende Grubenfeld sind die bereits eingetretenen Tagesbrüche und deren Parameter nach genauer genetischer Analyse mit in die Gesamtbetrachtung einzubeziehen.

Bohrungen sind grundsätzlich nur „Nadelstiche“. Kernbohrungen liefern fast alternativlos noch die meisten Informationen zur Deckgebirgssituation. Eine detaillierte, aufgabenbezogene ingenieurgeologische Bohrkernaufnahme und -auswertung ermöglicht eine aktuelle Einschätzung der notwendigen geotechnischen sowie geometrischen Parameter des Deckgebirges und des evtl. erbohrten Hohlraumes. Die Nutzung des Bohrloches für den Einsatz von Sonden liefert optische und geophysikalische Daten.

Eine wichtige Informationsquelle zum Deckgebirge stellen auch Altkernbohrungen und deren komplexe Auswertung dar. Anhand der verbalen Gesteinsbeschreibungen lassen sich grundsätzliche Informationen zum Verbruchverhalten des Deckgebirges abschätzen. Die Ermittlung der kohäsiven Deckgebirgsanteile lässt Schlussfolgerungen zum Tagesbruchverhalten zu. Ein hoher Anteil an bindigen Lockergesteinen im hangenden Gebirge verhindert eine Entstehung von Tagesbrüchen i. e. S. Nur im Extremfall sind dann z. B. bei sehr mächtigen Braunkohleflözen große Tagesbrüche möglich. Dafür sind durch einen hohen Anteil an Fließsanden und durch eine große Anzahl von vertikalen Bohrungen, Bohrlochverbrüche und Muldenbildungen unmittelbar nach dem Abbau zu erwarten. Eine gezielte geotechnische Untersuchung könnte zur Klärung der Genese möglicher Verbrüche beitragen und zu einer belastbaren Vergabe von Risikoklassen führen.

Eine Grundlage für die Auswahl belastbarer geotechnischer Parameter sind hinreichend genaue Kenntnisse der vollständigen geologischen Schichtenfolge der Lagerstätte, der ingenieurgeologischen Verhältnisse des Deckgebirges, der Abbauverfahren und der hydraulischen Situation des zu bewertenden Grubenbereiches. Auch der zeitliche und höhenmäßige Verlauf des Grubenwasseranstieges sind nutzbare Bewertungsparameter. Daraus lassen sich außerdem Aussagen zum Zersetzungszustand des Ausbauholzes durch Fäulnis ableiten [39]. Grundsätzlich werden fachgerechte Probennahmen vorausgesetzt. Die in den fachspezifischen Veröffentlichungen angegebenen Parameter sind Erfahrungswerte mit den zu erwartenden Schwankungsbereichen. Die ausschließliche Nutzung von Tabellenwerten kann nur ein sehr begrenzt belastbares Ergebnis liefern.

Die Parameterermittlung und deren -bewertung können anhand folgender Rahmenbedingungen erfolgen:

- Bei vorliegenden Tagebauanschnitten des Tiefbaues können die Parameter direkt ermittelt werden, z. B. der Schüttwinkel.
- Aus den Teufen von vollständigen Kernbohrungen bis zur Sohle des untersten Flözabbaues lassen sich verschiedene Informationen gewinnen. Eine detaillierte ingenieurgeologische Aufnahme des vollständigen Bohrkernes ermöglicht Aussagen zur Ausbildung des Verbruchmechanismus im Deckgebirge, zum Auflockerungszustand und zu den geotechnischen Gesteinseigenschaften. Laborative geotechnische Eigenschaftsbestimmungen sollten eingeplant werden. Es sind dabei stets die hydrogeologischen

Verhältnisse zu berücksichtigen. Diese Bohrungen sind auch für die Georeferenzierung des Altrisswerkes nutzbar.

- Mittels detaillierter geotechnischer Auswertungen von bereits gegangenen und dokumentierten Tagesbrüchen lassen sich Rückrechnungen zu realen Einzelparametern durchführen.
- Die zeitlichen Einflüsse auf das Tagesbruchgeschehen durch die Verbruchentwicklungen im Deckgebirge und deren Verweilzeiten sind auch unter dem Aspekt des Flutungsablaufes zu berücksichtigen.
- Bei mehreren Abbausohlen sind die bergbaulichen Überprägungen des Deckgebirges zu beachten, wie z. B. der Auflockerungsfaktor.
- Eine kurze Betrachtung der Schwankungsbereiche der numerischen Ergebnisse zur Tagesbruchabschätzung sollte auf der Grundlage der ermittelten Parameter Bestandteil der BSA sein.

Zu Beginn einer BSA-Erarbeitung wird ein angemessenes, kennwertorientiertes Erkundungskonzept empfohlen. Dabei sollten vor allem direkte Erkundungsmethoden zum Einsatz kommen. Die erforderlichen Erkundungsumfänge sind schwerpunktmäßig auf die geotechnischen Kennwertermittlungen der Deckgebirgsschichten, insbesondere zur belastbaren Eingrenzung des numerischen Verbruchprozesses abzustimmen. Die jeweilige Nutzung der Tagesoberfläche ist beim Ansatz der Aufschlüsse zu berücksichtigen. Die Verwendung der Kernbohrungen für die Georeferenzierung der Altrisse und zur aktuellen Erfassung der hydrogeologischen Fragestellungen (z. B. Wasserstand, Chemismus) ist ebenfalls zu beachten. Auf die Verwendung von „inhaltslosen“ Schichtenverzeichnissen von Bohrungen kann im Textteil der BSA verzichtet werden.

6 Altbergbauliche Einwirkungsbereiche

6.1 Problemstellung und Definitionen

Ein ***Einwirkungsbereich über Altbergbau oder altbergbaulicher Einwirkungsbereich*** ist an der Tagesoberfläche der Geländeabschnitt, wo altbergbauliche Erscheinungsbilder (z. B. Tagesbrüche, Rutschungen) bereits vorliegen oder auftreten können und ihren schadenswirksamen Einfluss unmittelbar hinterlassen. Dieser Bereich kann nur bei hinreichend bekannten Erkundungs-, Dokumentations- und Bewertungsergebnissen innerhalb eines altbergbaulich beeinflussten Gebietes ausgewiesen werden, dem dann auch die entsprechende Risikoklasse gemäß der Empfehlung des Arbeitskreises „Altbergbau“ zuzuordnen ist. [1], [2] An der Tagesoberfläche wird der Einwirkungsbereich sowohl unter Berücksichtigung der altbergbaulichen Situation der Lagerstätte, der ingenieurgeologischen, hydrogeologischen und tektonischen Verhältnisse des Deckgebirges sowie der Geländenutzung als auch anhand von übertägigen altbergbaulichen Hinterlassenschaften abgegrenzt.

Grundsätzlich können die Einwirkungsbereiche auf der Tagesoberfläche über altbergbaulichen Einzelobjekten (z. B. Schächte, Tagesbrüche), Abbaufeldern und deren Randzonen liegen. [1] Auch die übertägigen altbergbaulichen Hinterlassenschaften, wie Tagebaurestlöcher, Halden und Kippen bedürfen einer sicherheitsrelevanten Risikobewertung. [2] Beim Versagen der Standsicherheit wirken vor allem gravitative Massenprozesse (z. B. Rutschungen, Felsstürze, Steinschlag, Bodenverflüssigungen), die lokal katastrophale Größenordnungen annehmen können.

Bei geotechnisch-markscheiderischen Bewertungen von altbergbaulichen Objekten steht neben der Risikozuordnung stets die Frage nach der Größe, Lage und Intensität von möglichen schadensrelevanten Einwirkungen auf die Tagesoberfläche. Daraus leitet sich insbesondere die

Frage ab, wie groß die beeinflusste Fläche ist, um vor allem die öffentliche Sicherheit unter Berücksichtigung der jeweiligen Nutzungsart zu gewährleisten und Schäden abzuwenden.

Einwirkungsbereiche lassen sich empirisch anhand von Erfahrungswerten und statistischen Analysen an vorhandenen Schadensbildern oder nach gesetzmäßigen Erkenntnissen numerisch auf der Basis von boden- und felsmechanischen Kennwerten, strukturgeologischen Auswertungen sowie geotechnisch-geometrischen Rechenansätzen festlegen. Verschiedene Bruch- und Deformationsmodelle bilden dabei die Grundlage der numerischen Betrachtungen. [22], [28]

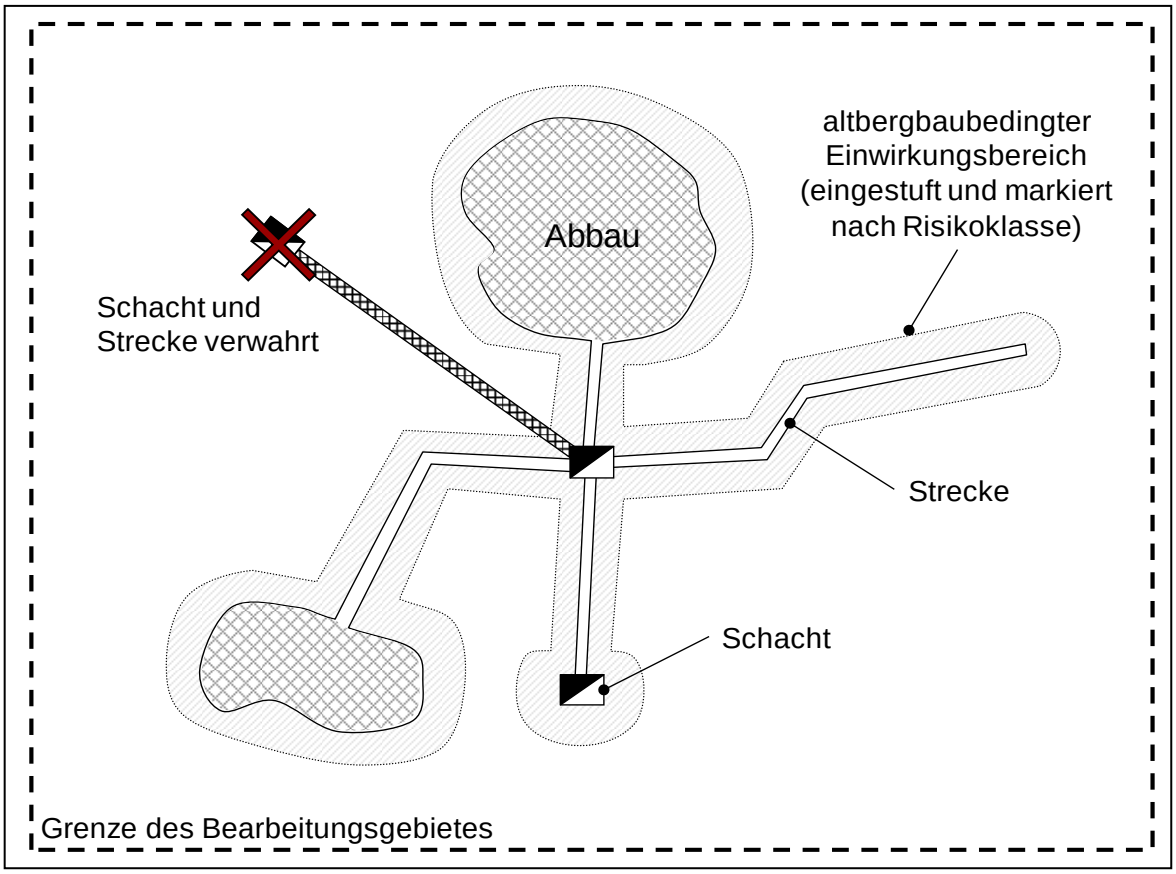


Abb. 5 Schematische Darstellung von Einwirkungsbereichen über Altbergbau

Wie aus der Abb. 5 zu entnehmen ist, erhalten verwahrte Grubenbaue keine Zuordnung zu einem altbergbaulichen Einwirkungsbereich, da sie unter der jeweiligen Nutzung als überwachungsfrei und sicher eingestuft werden sowie keinen schadensrelevanten Einfluss auf die Tagesoberfläche über einen langen Zeitraum (in der Regel $\geq$ 100 Jahre) ausüben. Stets bleibt jedoch ein altbergbaubedingtes Restrisiko erhalten. Das Gleiche gilt für sehr tiefliegende Grubenbaue, deren Einwirkung auf die Tagesoberfläche bei der vorgegebenen Nutzung nach geotechnischer Prüfung als sicher einzustufen ist. Bei Nutzungsänderungen ist grundsätzlich eine Neubewertung der Einwirkungsbereiche erforderlich.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass bei den geotechnisch-markscheiderischen Bewertungen im Altbergbau die „klassische“ Bergschadenkunde nicht mehr als Grundlage herangezogen werden kann, da die hier ausgewiesenen Gesetzmäßigkeiten und Rechenansätzen nur für den unmittelbaren Einfluss des aktiven Bergbaues auf die Tagesoberfläche zutreffen. [23] Die Verbruch- und Deformationsprozesse im Altbergbau folgen dagegen vorrangig Gesetzmäßigkeiten sowie Zusammenhängen, die durch geodynamische Prozesse ausgelöst werden und deren zeitlicher Ablauf erst nach abgeklungenen Abbaueinwirkungen beginnt.

7 Abgrenzungen von altbergbaulichen Einwirkungsbereichen

7.1 Schächte

Eine wesentliche Grundlage für eine revierspezifische Festlegung des Einwirkungsbereiches von Schächten in Locker- und Festgesteinen ist die Erfassung sowie Analyse von bereits vorhandenen Schachtpingen im Untersuchungsgebiet. Als günstige Objekte eignen sich vor allem vollständig ausgebildete Schachtpingen, über die ausreichende Kenntnisse vorliegen. Im Festgesteinsbereich können vor allem Schachtpingen verwendet werden, die sich in kleinen Tafelhalden oder in tiefreichenden Verwitterungsdecken entwickeln konnten. In Abb. 6 ist ein Längsschnitt durch einen Halde-Pinge-Komplex eines alten Haspelschachtes schematisch dargestellt.

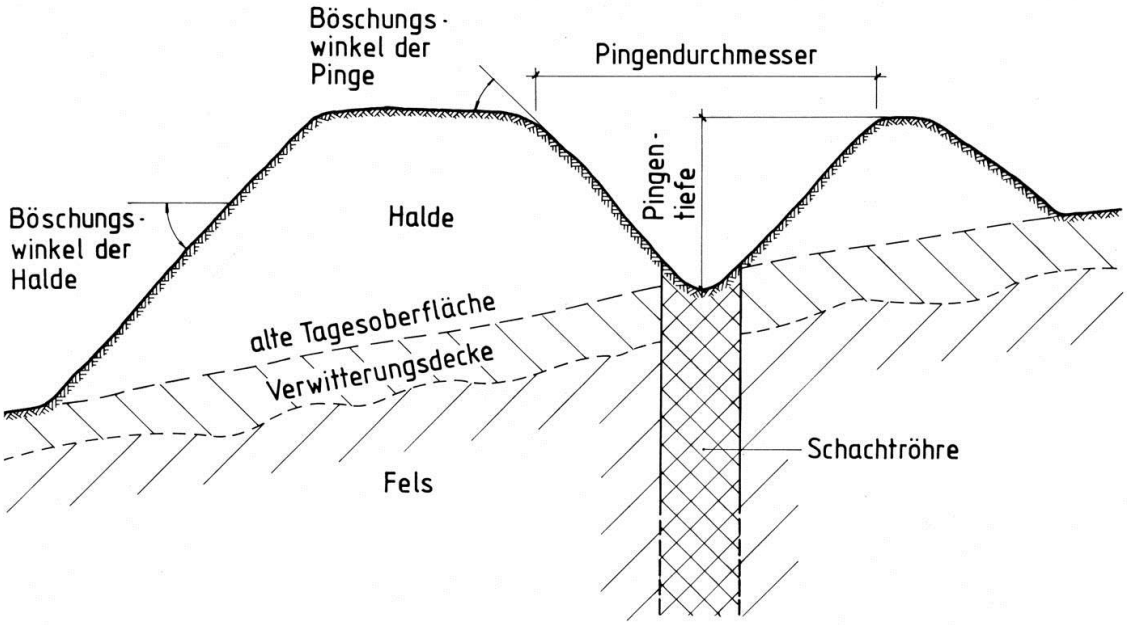


Abb. 6 Schematischer Längsschnitt durch einen Halde-Pinge-Komplex

Am Beispiel des Saalfeld-Kamsdorfer Bergbaurevieres (Kupfer- und Eisenerz) wird nachfolgend der Bewertungsalgorithmus beschrieben [24].

Die durch die Tafelhalde gezogenen Schächte wurden vorwiegend in Holz ausgebaut, seltener kam Naturstein, Ziegel oder in jüngerer Zeit Beton zum Einsatz. Dieser Ausbau reichte bis zum festen Fels. Die Länge des ausgebauten Bereiches variierte in Abhängigkeit von der Haldenhöhe sowie der Mächtigkeit des aufgelockerten Anstehenden zwischen 4 und 10 m. Nach der Stilllegung des Schachtes kam es durch die zeitlich begrenzte Funktionstüchtigkeit des Schachtausbaues, aber auch durch Deformationen im Schachtkopfbereich selbst zum Verbruch und damit zur Pingenbildung. Bei diesem Ereignis in dem relativ mächtigen Haldenmaterial stellte sich ein mittlerer Böschungswinkel von etwa 30 ° ein. Entsprechend dem vorherrschenden rechteckigen oder ovalen Schachtquerschnitt sind an der Tagesoberfläche meist elliptische Pingenkonturen mit einem Längenverhältnis der beiden Achsen von 1 zu 1,2 vorhanden. Dank des häufigen Baumbewuchses der Pingen konnte durch die Wuchsformen der Bäume auf das Alter des Schachtverbruches und auf aktive Verbruchprozesse geschlossen werden. Bei einer Lage der Pingen im Bereich von Feldern wurden diese meist mit Lesesteinen verfüllt. Damit waren Verfälschungen der Pingentiefe zu beobachten. In den meisten Fällen war jedoch der ursprüngliche Pingendurchmesser noch erkennbar.

In der Tab.3 : werden zur überschlägigen Beurteilung des Verfüllungsgrades einer Schachtröhre das Pingenvolumen V_P und das Schachtröhrenvolumen V_S gegenübergestellt.

Tab.3 : Ursachenbewertung der Beziehungen zwischen Pingenvolumen VP und Schachtröhrenvolumen VS

	Ursachenbewertung für unterschiedliche Verfüllungsgrade von Schächten
$V_P < V_S$	Schachtröhre ist unvollständig verfüllt Einbau einer Bühne Verspriegelung, z. B. durch Holz Teilverfüllung
$V_P = V_S$	Der Schacht ist vollständig verfüllt.
$V_P > V_S$	Verfüll- bzw. Verbruchmassen sind aus der Schachtröhre in Abgänge ausgelaufen Mögliche Massenentnahmen aus der Pingenkontur

Dabei wird vorausgesetzt, dass kein Material aus dem Schacht in angrenzende Grubenbaue ausfließt oder durch fließendes Wasser abtransportiert wird. Für die Berechnung der Pinge wird ein Kreiskegel zugrunde gelegt. Vergleichsberechnungen mit schwach elliptischen Konturen zeigten, dass das Ergebnis für eine Einschätzung hinreichend genau ist.

Tab.4 : Zusammenstellung von verschiedenen Schachtquerschnitten (Revier Saalfeld-Kamsdorf)

Schachtgröße	**Schachtquerschnitt** [m x m = m^2]	**Erläuterungen**
I	1,6 x 0,8 = 1,3	Lichtlöcher, Überhauen
II III IV	2,5 x 0,8 = 2,0 3,0 x 1,0 = 3,0 3,2 x 1,2 = 3,8	Haspelschächte bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts
V VI	3,6 x 1,3 = 4,7 4,5 x 1,4 = 6,3	Schächte ab der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts (einsetzende Maschinenförderung)

Die Bestimmung der Schachtquerschnitte ist durch fehlende Direktmessung problematisch und kann somit zu erheblichen Ungenauigkeiten führen. Anhand von noch 25 zugänglichen Schachtquerschnitten aus verschiedenen Abbauepochen konnten verschiedene Querschnitte ausgegliedert werden (Tab.4 :).

Insgesamt wurden 67 Schachtpingen ausgewertet. Dabei ist der Trend erkennbar, dass mit zunehmender Schachttiefe ein größerer Querschnitt zur Ausführung kam. In Abb. 7 sind die Beziehungen zwischen Schachttiefe, mittlerem Pingendurchmesser und Schachtquerschnitt dargestellt.

Die überschlägige Beurteilung des Schachtverfüllungsgrades durch Volumenbilanzen ermöglicht eine schnelle, vorläufige Ersteinstufung in eine Risikoklasse. Ist der im Gelände gemessene Pingendurchmesser für die bekannte Schachttiefe und den Schachtquerschnitt zu klein, muss eine Teilverfüllung des Schachtes angenommen werden. Daraus lässt sich ein hohes Risikopotential durch ein mögliches Nachrutschen der Schachtverfüllung oder Verbruchrisiko ableiten. Aufgrund des schwierigen und hohen Erkundungsaufwandes bei tonnlägigen oder gebrochenen Schächten ist die Methode der Volumenbilanzen bei vorhandener Pinge effizient. So konnte im historischen Gangerzbergbau festgestellt werden, dass etwa 80 bis 90 % aller Schächte tonnlägig oder sogar gebrochen sind, was eine bohrtechnische Erkundung des Schachtzustandes sehr erschwert.

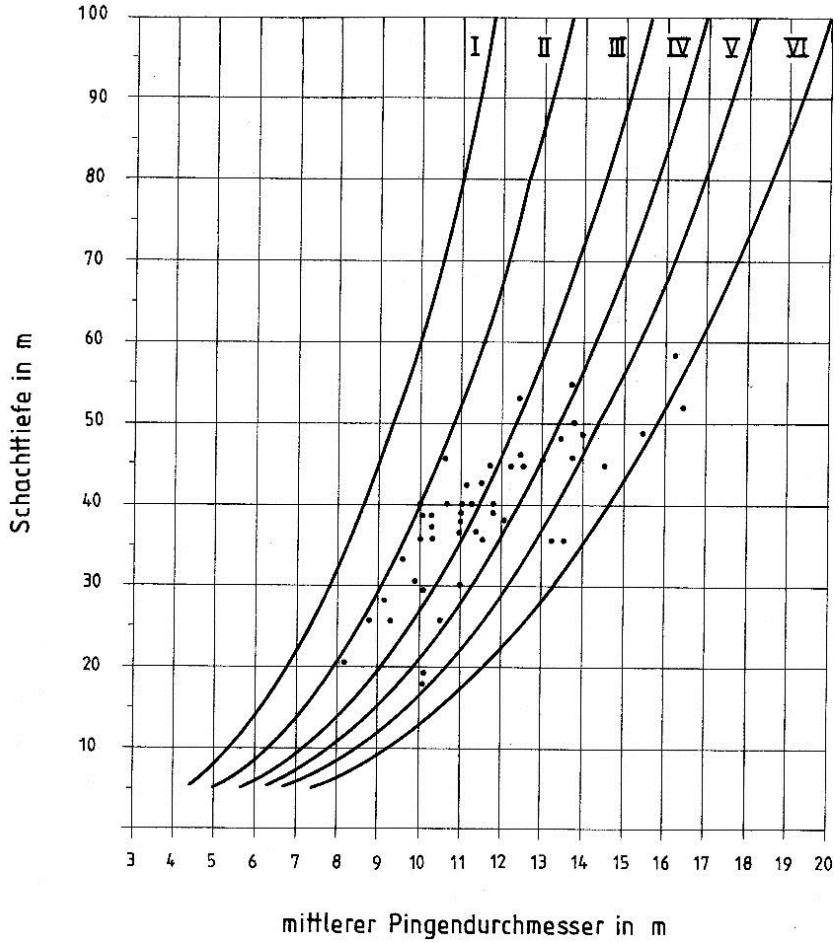


Abb. 7 Beziehungen zwischen Schachttiefe (t_S), mittlerem Pingendurchmesser (d_m) und Schachtquerschnitt (A) mit eingetragenen Beispielen aus dem Saalfeld-Kamsdorfer Revier

Unter Verwendung der Abb. 7 lassen sich die unmittelbaren schadensrelevanten Durchmesser des Einwirkungsbereiches (d_E) für Halde-Pinge-Komplexe abschätzen. Wurden die Halden bereits abgetragen, ist dieses Bewertungsverfahren für Schachtverbrüche als konservativ einzustufen. Der Grund dafür ist der Verbruchtrichter, welcher sich in der ersten Phase im gewachsenen Boden steiler einstellt, als es im geschütteten Haldenmaterial der Fall ist. Bei Lageunsicherheit des Schachtes, die aus den Spannungen der markscheiderischen Altrisse und den Ungenauigkeiten der ehemaligen Vermessungen resultieren kann, ist noch ein festzulegender Sicherheitsaufschlag (Δr) zu berücksichtigen.

Der altbergbaulich bedingte Einwirkungsbereich um einen Schacht lässt sich nach folgender Formel ermitteln:

(5) $$d_E = 1{,}1\, d_m + \Delta r$$

Der eingefügte Faktor von 1,1 resultiert aus dem elliptischen Verlauf des Pingenrandes. Für die vereinfachte Ausgrenzung des kreisförmigen Versagensbereiches um die Schachtöffnung wird die größere Ellipsenachse zugrunde gelegt. Bei der Volumenermittlung des Kreiskegels wurde dagegen der Mittelwert aus beiden Achsen verwendet. Vergleichsberechnungen zeigen, dass dies hinreichend genaue Zahlenwerte liefert. Die Zulage für die Lageungenauigkeit (Δr) entfällt bei genauer Kenntnis des Schachtmittelpunktes und des -querschnittes.

Die aufgeführte empirische und teilweise numerische Betrachtungsweise lässt sich auch für verschiedene Bergbauzweige im Lockergesteinsbereich, wie beispielsweise im Braunkohlentiefbau, anwenden. Die einzelnen geotechnischen Parameter sollten den jeweiligen konkreten ingenieurgeologischen Verhältnissen und bodenmechanischen Kennwerten revierspezifisch angepasst werden.

Für eine rein numerische Betrachtung des Einwirkungsbereiches bedarf es der hinreichend genauen Kenntnis der boden- und felsmechanischen Parameter sowie der ingenieurgeologischen Situation der anstehenden Gebirgsverhältnisse im Schachtbereich.

In der Praxis wird vor allem durch die Vielzahl der Schachtobjekte und unvollständige ingenieurgeologische sowie markscheiderische Kenntnisse im Altbergbau eine empirische Bewertung bzw. eine Kombination von verschiedenen Bewertungskriterien bevorzugt. Dies trifft insbesondere auch für Schächte ohne morphologische Hinweise auf ihre Lage zu.

Bei Schachttiefen größer 50 m und Schächten in Bebauungsgebieten sollte stets eine geotechnisch-markscheiderische Einzelfallbetrachtung auf der Basis der ingenieurgeologischen Detailanalyse der geodynamischen Prozesse zur Ausweisung des Einwirkungsbereiches vorgenommen werden.

Folgende wichtige Bewertungskriterien sind dabei zu berücksichtigen:

- Art und Historie des Altbergbaues
- Geschichtliches zum Teufen, Betriebszeit, Havarien und zur Stilllegung des Schachtes
- Funktion des Schachtes, Richtung der Wetterbewegung in der Betriebszeit
- Schachtgeometrie (Querschnitte, Tiefe, Sohlen, Abgänge)
- Art und Zustand des Schachtausbaues, Verbleib von Einbauten
- Art und Eigenschaften der Verfüllung sowie Verfüllungsgrad der Schachtröhre
- Analyse von bereits eingetretenen Schadensereignissen
- Bereits durchgeführte bergtechnischer Erkundungs- und Sanierungsmaßnahmen
- Tiefenlage der Felslinie
- Bewertung eines möglichen Verwahrungshorizontes
- Locker- bzw. Festgesteinseigenschaften (Festigkeiten, Verkarstungen, Tektonik, Kohäsion)
- Nachnutzungen des Schachtes und des Grubengebäudes
- Grubenwasserverhältnisse, Wasserzuflüsse im Schacht, chemische Wassereigenschaften
- Austritte von Wasser und Grubengasen, Wetterbewegungen
- Geothermische Verhältnisse

Vergleichsweise werden nachfolgend einige Festlegungen zu Schutzzonen um Schächte bei der Beendigung des Bergbaues genannt. Gemäß den „Grundsätzen für die Verwahrung von Tagesschächten“ des Institutes für Bergbausicherheit Leipzig vom August 1976 [32] sind bei der Stilllegung von Schächten des aktiven Bergbaues folgende sicherheitsrelevante Mindestabstände vom Schacht zu angrenzenden oder benachbarten Grubenbauen und Hohlräumen zu beachten:

- Braunkohlen-, Steinkohlen-, Kaolin- und Erzbergbau (sedimentär) 20 m
- Erzbergbau (magmatisch) 10 m
- Salzbergbau (bei Ersaufen bzw. Fluten durch Grubengebäude) 50 m
- Salzbergbau (bei Ersaufen bzw. Fluten durch die Schachtröhre) 100 m

Eine explizite Abgrenzung einer Einwirkungszone an der Tagesoberfläche um den Schacht erfolgt anhand dieser Beträge nicht. Jedoch ist davon auszugehen, dass diese Werte als Radien

für den Einwirkungsbereich genutzt werden. Im „Leitfaden des Sächsischen Oberbergamtes für das Verwahren von Tagesschächten“ vom 10.12.2007 [31] wurden diese Längen ebenfalls unverändert übernommen. Die ausgewiesenen Beträge sind als konservativ einzuordnen. Grundsätzlich sollten Schächte auf ihren altbergbaulichen Sicherheitszustand einer Einzelfallprüfung unterzogen werden.

Für das Steinkohlenrevier des Ruhrgebietes empfiehlt HÜLSMANN (1992) [25] einen sicherheitsrelevanten Einwirkungsbereich („Schachtschutzbereich“) von großen Schächten gemäß der Abb. 8.

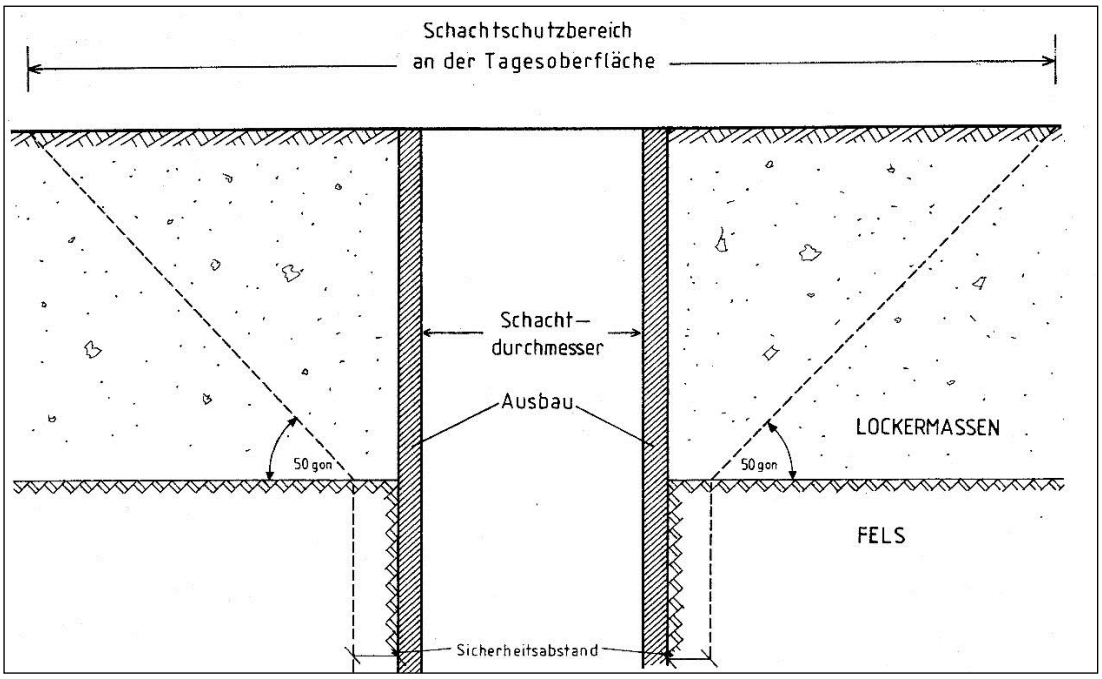


Abb. 8 Schema zur Ermittlung des sicherheitsrelevanten Einwirkungsbereiches („Schachtschutzbereich“) nach HÜLSMANN (1992) [25]

Kommt dieses Bewertungsschema zum Ansatz, sind ebenfalls umfangreiche Kenntnisse zur ingenieurgeologischen Situation und zum Schachtausbau mit seiner Dauerstandsfestigkeit unerlässlich.

GILLES & HOLLMANN (2005) [26] geben detaillierte Vorschläge zur Bemessung eines Schachtschutzbereiches bezüglich Mindestabstand von Bauwerken im Bereich des auflässigen Steinkohlenbergbaues vor allem aus geometrischer Sicht an. Dennoch sollten auch hier die komplexen geotechnischen Verhältnisse der anstehenden Gebirgsschichten in Oberflächennähe und der Zustand des Schachtausbaues einen bestimmenden Einfluss auf die Bewertung der Schachtschutzbereiche haben. Dabei werden einbruch-, einsturz- und senkungsgefährdete Zonen um einen Schacht unterschieden. Für die Abgrenzung des Einwirkungsbereiches sind vor allem die Einbruch- und Einsturzzonen von sicherheitsrelevantem Interesse.

In der EinwirkungsBergverordnung [33] sind die Bruchwinkel für verschiedene aktive Bergbaureviere zusammengestellt. Sie sind anwendbar, wenn die eingetretenen Senkungen mehr als 10 cm betragen. Die Werte sind pauschal auf andere Reviere nicht übertragbar.

Die Ermittlung der Einwirkungsbereiche wird nach geometrischen Aspekten anhand dieser Bruchwinkel wie folgt für den aktiven Bergbau zum Ansatz gebracht:

(6) $a = (H + h) * \cot \beta$

a - Einwirkungsbreite [m]
H - Deckgebirgsmächtigkeit [m]

h - Grubenbauhöhe [m]
β - Bruchwinkel 65° (für aktiven Braunkohlentiefbau nach [33])

Daraus ergeben sich beispielsweise für die tieferliegenden Strecken größere Einwirkungsbereiche als für tagesnahe Strecken. Diese Betrachtungsweise ist sehr konservativ und entspricht nicht dem bekannten Tagesbruchszenario im Altbergbau, wo sich ein etwa senkrecht stehender, kreisförmiger Verbruchzylinder mit einem Rotationsellipsoid an der Spitze bei einem Tagesbruch entwickelt. Häufig treten auch Nachbrüche von alten, bereits verfüllten Verbrüchen auf, die nicht oder nur sehr schwer fassbar sind.

Die Verwendung des Bruchwinkels bei altbergbaulichen Einzelobjekten (z. B. Schächten, Strecken im Braunkohlentiefbau) zur Ermittlung des Einwirkungsbereiches ist nicht geeignet. Dagegen kann die Zone des Bruchwinkels am Rande von Abbauflächen, z. B. durch Grubenwasseranstieg, von sicherheitsrelevanter Bedeutung sein.

7.2 Strecken, Schiefe Ebenen, Tageszugänge und Stollen

Ein Kriterium für die Festlegung des Einwirkungsbereiches über Strecken und Stollen ist die numerische Tagesbruchabschätzung. So kann u. a. anhand der Hohlraum-Bruchmassen-Bilanz nach MEIER (1991) [24] im Locker- und Festgesteinsbereich sowie anhand des Verbruchmechanismus eine Eingrenzung des zu erwartenden Tagesbruchdurchmessers erfolgen. Diesem ist jedoch grundsätzlich der senkrechte Durchschlag des Verbruchschlotes an der Tagesoberfläche zuzuordnen. In Abhängigkeit von der Zeit und dem anstehenden Gesteinsmaterial stellt sich jedoch eine trichterartige Endkontur ein.

FENK (1984) [22] gibt numerische Ansätze zur Abschätzung der Tagesbruchwahrscheinlichkeit im Braunkohlentiefbau an. In diese Betrachtung werden alle Verbruchereignisse einbezogen, ohne die unterschiedliche Genese der Verbrüche zu berücksichtigen.

Zeugnisse von Verbruch- und Dokumentationsereignissen im Gelände sowie Auswertungen von Meldungen bezüglich bereits eingetretener Ereignisse (z. B. „Sachstandsanzeige“) bilden eine wichtige Grundlage für die revier- und objektspezifischen Bewertungen.

Für die Ausgliederung von Einwirkungsbereichen an der Tagesoberfläche ergeben sich grundsätzlich zwei bruchmechanische Situationen:

Fall a:

Unter diesen Bedingungen stellt sich kein Tagesbruch ein:

(7) $$H_{max} \leq H_{vorh}$$

Der Verbruch läuft sich „tot“. An der Tagesoberfläche ist möglicherweise nur eine Einsenkung zu erwarten, deren Randbereiche geringfügig über die Kontur des Verbruchschlotes reichen. Zum Zeitpunkt der Endphase des Verbruches und dem möglichen Erreichen der Tagesoberfläche sollte der Deformationsbereich allseitig um 0,5 bis 1 m nach außen verlegt werden (Abb. 9).

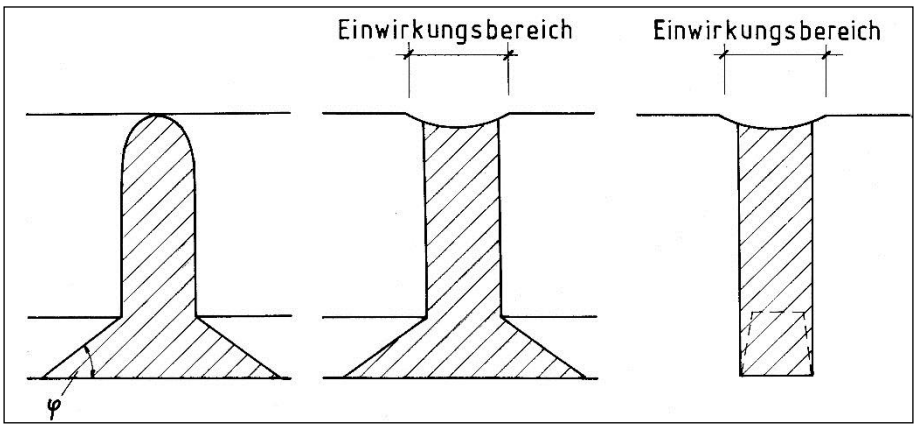


Abb. 9 Schematischer Kreuzschnitt durch einen Verbruch mit Einwirkungsbereich

Bei der symmetrischen Abgrenzung der Breite des Einwirkungsbereiches d_E beim Fall a: ergibt sich folgende numerische Beziehung:

(8) $dE = 2b + 1{,}0 + \Delta r$

Anmerkung: 2b = l – entspricht dem Tagesbruchdurchmesser bzw. der Breite der Strecke im Ausbruch (ohne Ausbau)

Bei einer Lageunsicherheit des Stollens oder der Strecke, die sich aus den Spannungen der markscheiderischen Altrisse und den Vermessungsungenauigkeiten ergeben kann, ist ein festzulegender Sicherheitsaufschlag (Δr) zu berücksichtigen. Dieser Wert entfällt bei exakter räumlicher Lagekenntnis des tagesnahen Grubenbaues.

Fall b:

Mit einem Tagesbruch über dem Grubenbau ist zu rechnen, wenn gilt:

(9) $H_{vorh.} < H_{\max.}$

Für eine Bewertung eines Grubenbauverbruches sind dessen räumliche Lage und Abmessungen, die hydrogeologischen Verhältnisse, die geotechnischen Eigenschaften des Deckgebirges sowie die Art der Geländenutzung maßgeblich. Das unmittelbare Schadensbild eines Tagesbruches an der Tagesoberfläche in der Durchbruchphase ist von den geotechnischen Kennwerten der obersten Lockergesteinsschichten abhängig. Bei bindigen Schichten bilden sich Überhänge aus, bei nicht bindigen Materialien stellt sich relativ rasch eine Trichterform ein. Der Böschungswinkel ist bei bindigen Schichten zwischen 30 ° und 45 ° zu erwarten. Bei anstehendem nicht bindigen Deckgebirge ist in der Anfangsphase eine Bezugsgröße bis 45 ° praxisorientiert. Dieser Wert kann jeweils revier- oder objektspezifisch präzisiert werden. Der vertikale Ansatzpunkt für diesen Wert im zu erwartenden Tagesbruch entspricht der Differenz zwischen der Tagesoberfläche und dem numerisch bestimmten Betrag von $H_{max.}$ (Abb. 10).

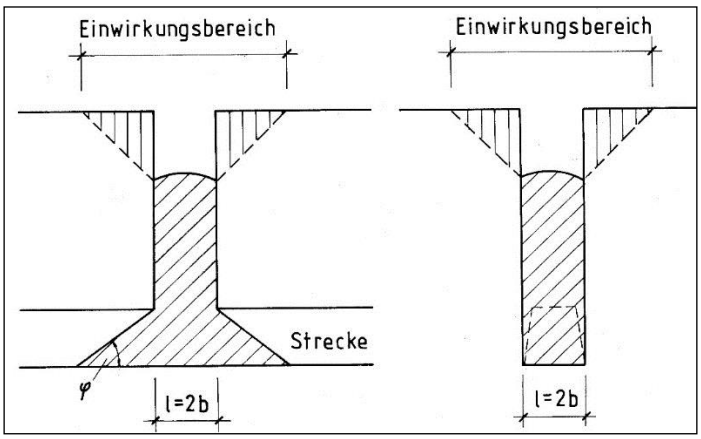


Abb. 10 Schematischer Kreuzschnitt durch einen Tagesbruch mit Einwirkungsbereich – Fall b

Daraus ergibt sich folgender Zusammenhang zur Bestimmung des Einwirkungsbereiches über Strecken und Stollen:

(10) $dE = 2b + 2(H_{max.} - H_{vorh.}) + \Delta r$

Randbedingung: $H_{max} \geq H_{vorh.}$, da sonst Fall a gültig ist.

Bei einer exakten Lagekenntnis des tagesnahen Grubenbaues entfällt Δr.
Eine besondere Bedeutung im Altbergbau haben Wasserlösestollen, deren dauerhafte Funktionalität und Kontrollmöglichkeit gewährleistet werden muss [34].

7.3 Abbaue

Es wird bei Abbaueinwirkungen im aktiven Bergbau davon ausgegangen, dass unmittelbare Deformationen nach wenigen Jahren an der Tagesoberfläche abgeklungen sind. KRATZSCH (1997) [23] gibt im Ruhrgebiet zwischen 6 Monaten und 3 Jahren an. Im polnischen Steinkohlenbergbau wird die Bewegungsdauer mit maximal 5 Jahren angenommen (KWIATEK & KOWALSKI 2003) [27]. Unter altbergbaulicher Sicht beginnen zu diesem Zeitpunkt die Einflüsse der geodynamischen Prozesse voll zu wirken. Die Elemente des Senkungstroges sind inaktiv. Bei einem späteren Grubenwasseranstieg ist mit einer Aktivierung dieser Elemente und vor allem aber auch der tektonischen Troganomalien zu rechnen (KRATZSCH 1997) [23]. Daneben können statische und dynamische Einwirkungen auf die durch die Abbaueinwirkungen veränderten Deckgebirgsschichten zu meist ungleichförmigen Setzungen führen. Der Bruchwinkel im Bereich von ehemaligen Abbaugrenzen ist deshalb in den geotechnisch-markscheiderischen Risikobetrachtungen des Altbergbaues stets zu berücksichtigen. Dagegen besitzt der Grenzwinkel im Altbergbau keine praktische Bedeutung mehr.

Die Einwirkungszonen an der Tagesoberfläche von Abbauen des Altbergbaues sind von zahlreichen Einflussgrößen abhängig. Lagerstättenverhältnisse, Abbaumächtigkeit, Bergbauzweig, Abbautechnologie und -epoche, Ausbau- und Versatzart, geotechnische Pfeiler- und Deckgebirgssituation, hydrogeologische Bedingungen sowie geometrische Ausdehnung der Grubenbaue, deren räumliche Zuordnung und Verbindungen nehmen Einfluss auf die altbergbaulich bedingten Einwirkungszonen und Erscheinungsbilder. Das Dauerstandverhalten des bergbaulich beanspruchten Deckgebirges und von Pfeilern verändert sich erheblich durch die zeitabhängigen geodynamischen Prozesse (z. B. Verwitterung, Erschütterung, Lasteintrag, Auslaugung, Spannungsumlagerungen). Als dominierende

altbergbaulich bedingte Erscheinungsbilder heben sich über Abbauen Tagesbrüche hervor. Ihre Größe und Anordnung an der Tagesoberfläche spiegelt die geometrische Eigenschaftsverteilung der Hohlräume innerhalb der jeweiligen Abbauzonen wider. In vielen Fällen handelt es sich dabei aber auch um Nachbrüche von hängengebliebenen Verbrüchen oder von Verbruchprozessen, die beispielweise durch Massenumlagerungen, Holzvolumenschwund, Nutzungsänderungen an der Tagesoberfläche oder durch geodynamische Prozesse ausgelöst werden.

Die Entwicklung von Tagesbrüchen im Festgestein ist häufig an markante strukturgeologische Elemente mit ihren unterschiedlichen Raumstellungen, Wasserbahnen oder an geringfeste, aufgelockerte, gebräche Gesteinsschichten gebunden (MEIER & MEIER 2007) [28].

Grundsätzlich sind folgende Hauptvarianten von tagesnahen Abbauen mit geringer Deckgebirgsmächtigkeit zu unterscheiden:

- Steilstehende Gangabbaue (≥ 45 °) - Erz- und Spatbergbau
- Steilstehende Flöz-, Stock- und Lagerabbaue (≥ 45 °) - Steinkohle, Kupferschiefer, Erz, Naturstein
- Flachliegender Gang-, Flöz-, Stock- und Lagerabbau (< 45 °) – Steinkohle, Braunkohle, Kupferschiefer, Erz, Naturstein
- Kali- und Salzbergbau

Zur Tiefeneinteilung des Altbergbaues gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben. Beispielsweise gliedert Hollmann (1995) [30] in tagesnahen (0 – 40 m ± 10 m), oberflächennahen (40 - 60 m ± 10 m) und tiefen Bergbau > 60 m.

In vielen Fällen wird auch für den tagesnahen Steinkohlenbergbau die Grenztiefe bei < 30 m und für den oberflächennahen Bergbau bei < 100 m gezogen. Eine Tiefenklassifikation in den anderen Bergbauzweigen fehlt. Als ein weiteres Kriterium für eine vertikale Zonierung kann eine Tagesbruchprognose im Braunkohlentiefbau nach FENK (1984) [22] und die numerische Abschätzung der Tagesbruchwahrscheinlichkeit für den Locker- und Festgesteinsbereich nach MEIER & MEIER (2007) [28] genutzt werden.

HEITFELD & KRINGS & MAINZ & SCHETELIG (2005) [29] grenzen den Einwirkungsbereich von Tagesbrüchen über Steinkohlenabbauen im Aachener Wurmrevier durch ein Prognosemodell ein. Es basiert auf der Kenntnis der Schichtenabfolge und bodenmechanischen Kennwerten. Für die Bemessung des Einwirkungsbereiches in Bebauungen sollte ein Sicherheitszuschlag von 3 bis 5 m zu beiden Seiten Berücksichtigung finden. Bei der Ausgrenzung des Einwirkungsbereiches sind Kernbohrungen notwendig, da Lageungenauigkeiten des steil stehenden Flözausbisses im markscheiderischen Altrisswerk zwischen 5 und 20 m auftreten können.

Für die geotechnisch-markscheiderische Ausgrenzung von Einwirkungsbereichen an der Tagesoberfläche kann auch die vertikale geotechnische Zonierung des altbergbaulich beeinflussten Gebirges hilfreich sein. Für die Tiefenbewertung des Altbergbaues im Festgestein sind aus geotechnischer Sicht die Spannungsverhältnisse, das Wasser und wirkende Verwitterungseinflüsse auf das Gestein maßgebliche Faktoren. In der Tab.5 : ist diese Tiefenzonierung vor allem unter geotechnischen Aspekten zusammengestellt.

Tab.5 : Geotechnische Tiefenzonierung von Abbauen und Strecken des Altbergbaues im Festgestein [11]

Hohlräume im tagesnahen Bereich	(Teufe: 0 - 20 m +/- 10 m)
Hohlräume im oberflächennahen Bereich	(Teufe: 20 - 50 m +/- 10 m)
Hohlräume im tiefen Bereich	(Teufe: > 50 m +/- 10 m)

Die tiefenbezogene Einteilung des Gebirges ist im Allgemeinen durch die meist ungleichen Eigenschaftsveränderungen der unterschiedlichen Gesteine mit der Tiefe unscharf. Als Einflussfaktoren sind neben der Gesteinsart, die Lagerstättensituation mit ihrer räumlichen Lage und der Strukturgeologie, Abbautechnologie, Spannungsverhältnisse, Morphologie und hydrogeologische Gegebenheiten zu nennen. Die abbaubedingte Gebirgsauflockerung ist ebenfalls zu berücksichtigen.

Beim Salzbergbau und bei einem stark auslaugungsüberprägten Deckgebirge ergeben sich für eine schematische Tiefenzonierung des Altbergbaues aus geotechnischer Sicht erhebliche Abweichungen.

Im Lockergestein fehlt eine Einteilung nach der Tiefe, jedoch wäre auch hier eine Zonierung nach Spannungskriterien, geotechnischen Kennwerten, hydrogeologischer Situation und Einfluss der exogen-geodynamischen Prozesse revierbezogen möglich. Für das Auftreten von Tagesbrüchen i. e. S. im Lockergestein und insbesondere im Braunkohlentiefbau ist der bindige und nicht bindige Anteil der Deckgebirgsschichten über dem Flözabbau bestimmend. Dominieren die nicht bindigen Schichten, sind in Abhängigkeit von den Grubenbaugrößen und der Tiefenlage Tagesbrüche möglich. Herrschen bindige Sedimente vor, sind vor allem flexurartige Verformungen an der Tagesoberfläche zu erwarten. [17]

Bei der Ausgliederung von altbergbaulichen Einwirkungsbereichen über Abbauen sind vor allem alte Verbruchgrenzen, geomechanisch wirksame tektonische Elemente und Gesteinswechsel zu beachten. Sie wirken stets als latente Bewegungsbahnen. Über einem Bruchbau sind aufgelockerte Deckgebirgsschichten zu erwarten, zumal im Stein- und Braunkohlenbergbau eine Mehrfachüberbauung häufig stattgefunden hat. Im aktiven Braunkohlentiefbau wird im Allgemeinen ein Bruchwinkel von $\beta = 65\,°$ und im Festgestein, z. B. im Ruhrgebiet nach KRATZSCH (1997) [23] von $\beta = 68$ bis $82\,°$, unter Einfluss des Schichteneinfallens oder im erzgebirgischen Gneis von $\beta = 70\,°$ zugrunde gelegt. Eine objektbezogene Erkundung des Bruchwinkels ist bei exakter Ausgrenzung des Einwirkungsbereiches erforderlich, zumal im Altbergbau der Bruchwinkel an den Grenzen der Abbaufelder beispielsweise durch Flutungsmaßnahmen Bedeutung erlangen kann.

8 Prognose von altbergbaulichen Ereignissen

Bei verschiedenen Bewertungen stellt sich immer wieder die Frage nach der maximalen Größe von Verbrüchen an der Tagesoberfläche. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass sich die Hohlraumkontur beim Verbruchprozess in der Phase mit senkrechten Bruchflächen näherungsweise an die Tagesoberfläche durchpaust und sich in Abhängigkeit von der Zeit ein bodenspezifischer Böschungswinkel einstellt. Beispielsweise sind im Braunkohlentiefbau bei Abbaukammern von 4 x 4 m Tagesbruchdurchmesser von 5,5 bis 7 m bei senkrechten Verbruchrändern zu erwarten. Bei Strecken liegen die Werte um 2 m und bei Streckenkreuzen bei 3 bis 5 m. Die zeitabhängigen Veränderungen dieser Größen an der Tagesoberfläche werden durch bindige oder nicht bindige Deckschichten und deren Eigenschaften insbesondere durch den Wassereinfluss maßgeblich bestimmt. Bei der Ausweisung des sicherheitsrelevanten, altbergbaulichen Einwirkungsbereiches sind diese Größenveränderungen zu berücksichtigen.

Eine schwer abschätzbare Größe von Tagesbrüchen ist beim Piping (Liquefaktion) zu erwarten, wo Durchmesser von 8 bis 15 m und größer auftreten können, worauf Ereignisse aus dem aktiven Bergbau mehrfach verweisen.

Grundsätzlich kann im Altbergbau nur eine beschränkte Vorhersage von Schadensereignissen vorgenommen werden. Eine hinreichend genaue Untersuchung und Kenntnis des altbergbaulich bedingten Erscheinungsbildes ist für eine wirklichkeitsnahe Prognose und Trendbewertung die

Grundlage. Die langzeitliche Abfolge ist durch den Einfluss der Zufälligkeiten am Gesamtsystem unter der komplexen Wirkung der geodynamischen Prozesse nicht detailliert vorhersehbar. Weitestgehend unbestimmt sind die Verweil- und Reaktionszeiten der Ereignisphasen. Es ist somit keine exakte langfristige Vorhersage eines Ereignisses bezüglich Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß möglich.

Für die Praxis ergeben sich daraus folgende Schlussfolgerungen [35]:

- Es kann in einem altbergbaulich beeinflussten Gebiet kein Bereich mit einer absoluten Sicherheit ausgegliedert oder hergestellt werden. Es verbleibt stets ein Restrisiko. Sichere Bereiche können z. B. durch bergtechnische Maßnahmen geschaffen oder durch eine geotechnisch-markscheiderische Erkundung und Bewertung ausgegrenzt werden.
- Eine detaillierte zeitliche Vorhersage von Ereignisphasen und deren Ablauf ist durch die einwirkenden geodynamischen Prozesse mit ihrem chaotischen Systemanteil nicht möglich. Im Rahmen einer Prognose lassen sich grundsätzlich Zeitpunkt, Umfang und Dauer der Entwicklungsphasen nur abschätzen und nicht exakt bestimmen. Es ist somit keine zeitgenaue langfristige Vorhersage eines Ereignisses möglich. Die Nichtlinearität der chaotischen Prozesse lässt näherungsweise nur Trends und oft nur kurzzeitige Bewertungsprognosen des schadensrelevanten Erscheinungsbildes zu.
- Eine ganzheitliche geotechnisch-markscheiderische Analyse ermöglicht jedoch eine Zuordnung der einzelnen altbergbaulichen Erscheinungsbilder mit ihren Einwirkungsbereichen zu verschiedenen abgestuften Risikoklassen bezüglich Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß. Durch nutzungsbezogene Erkundungen und bergtechnische Sanierungsmaßnahmen sowie bei Akzeptanz des Restrisikos sind sichere Bereiche an der Tagesoberfläche ausgrenzbar.
- Jede Risikobewertung und damit Prognose ist datums- und nutzungsbezogen. Sie ist nur eine Sequenz aus einer Ereignisphase innerhalb eines zunehmend unscharfen, nicht linear verlaufenden Entwicklungsprozesses. In festzulegenden Zeitintervallen ist eine Überarbeitung und Neubewertung notwendig.
- Bei bergtechnischen Sicherungsmaßnahmen ist in Abhängigkeit von der Geländenutzung, der Art des altbergbaulichen Erscheinungsbildes und der Intensität der geodynamischen Prozesse für eine sichere Nutzung ein Monitoringregime vorzusehen und mit bedarfsbezogenen Wartungsarbeiten einzuplanen.
- Je frühzeitiger in der Initialphase die Indikatoren einer schadensrelevanten Einwirkung erkannt, lokalisiert und bewertet werden, desto wirkungsvoller und effizienter lassen sich Schadensabwehrmaßnahmen durchführen.
- Grundsätzlich können Einwirkungsbereiche und deren Risiken nur dann mit hoher Treffsicherheit in der Vorhersage bewertet und bergtechnisch bearbeitet werden, wenn sie in Struktur, Dynamik sowie geotechnisch-markscheiderischen Eigenschaften hinreichend bekannt sind. Eine ingenieurgeologische Analyse der Genese bildet hierfür die Grundlage.
- Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand zum Einfluss der gesetzmäßigen und chaotischen Systemanteile an den geodynamischen Prozessen kann festgestellt werden, dass die Gesetzmäßigkeiten gegenüber den Zufälligkeiten anfänglich dominieren, jedoch auf der Zeitachse überproportional abnehmen. Daraus ergibt sich auch, dass Vorhersagen von schadensrelevanten Ereignissen im Altbergbau nur für ein zu definierendes Zeitfenster in Form einer Risikobewertung möglich sind. Eine notwendige Basis dazu ist jedoch eine differenzierte Erkundung und Bewertung der geodynamischen Prozesse im jeweiligen altbergbaulichen Einwirkungsbereich.

– Eine sehr begrenzte Prognose im Braunkohlentiefbau ergibt sich beispielsweise bei Schwemmsandschichten im kohäsiven Deckgebirge. In diesem Fall stellen Bohrlochverbrüche ein wesentliches Ursachenpotential für Tagesbrüche dar. Eine detaillierte Aktenanalyse von Schwemmsandeinbrüchen zur Abbauepoche erleichtert hier die Schadensdiagnose und mögliche Ereignisprognosen.

9 Schlussfolgerungen

Bei der Bestimmung von altbergbaulich bedingten Einwirkungsbereichen zeigt sich, dass nur differenzierte, objektbezogene geotechnische Betrachtungen unter Berücksichtigung der vorhandenen oder geplanten Nutzungsverhältnisse und auf der Grundlage hinreichend genauer Vermessungsunterlagen den besten Erfolg versprechen. Je unklarer die Verhältnisse sind, umso größer sind die notwendigen Sicherheitsfaktoren anzusetzen. Die um das Altbergbauobjekt als „Aura“ ausgewiesene Zone wird dadurch größer. Dies macht sich vor allem dann erforderlich, wenn keine untertägige Vermessung und geotechnische Standsicherheitsbewertung oder aktuelle geotechnische Kennwerte vorliegen sowie Lageungenauigkeiten zu berücksichtigen sind. Da die Deformations- und Verbruchprozesse im Altbergbau vor allem durch geodynamische Prozesse ausgelöst und begleitet werden, muss bei den schadensrelevanten Betrachtungen ein festgelegtes geotechnisches Deformations- und Verbruchstadium der Einwirkungen auf die Tagesoberfläche zugrunde gelegt werden. Die Aussagen sind nur für den Zeitpunkt der definierten Einwirkungsphase auf die Tagesoberfläche gültig. Die Bewertung ist deshalb grundsätzlich datumsbezogen. Ein typisches Erscheinungsbild ist hierfür die Analyse von Tagesbrüchen. Insbesondere ist die „Wiederbelebung“ von alten Verbrüchen und Gebirgsdeformationen von tagesnahen altbergbaulich bedingten Erscheinungsbildern als zeitbezogener geodynamischer Vorgang einzuordnen. Eine exakte zeitbezogene numerische Bewertung dieser Vorgänge ist derzeit schwierig oder nicht möglich. Ein hoher Kenntnis- bzw. Erkundungsstand vom Altbergbauobjekt verbessert die geotechnisch-markscheiderische Risikoeinstufung wesentlich.

Bei der Bewertung von Altbergbaubereichen ist stets davon auszugehen, dass es sich um ein altbergbaulich beeinflusstes Gebiet handelt, in dem das Deckgebirge durch den Bergbau eine Auflockerung erfahren hat und die Wasserverhältnisse grundhaft gestört sind. Der zunehmende Einfluss von geodynamischen Prozessen auf das Gebirge, die Pfeiler und die Grubenbaue verändert die Standsicherheitsverhältnisse. Bei der Bewertung von möglichen Einwirkungen auf die Tagesoberfläche ist ebenfalls die jeweilige Geländenutzung und deren Vorgeschichte zu beachten. In vielen Altbergbaugebieten sind der Grundwasserwiederanstieg oder auch Grubenwasserschwankungen zu berücksichtigen. Auch der Wasserchemismus und die Strömungsbedingungen können zu schadenswirksamen Veränderungen führen.

10 Vergabe von Risikoklassen

10.1 Grundlagen

Die Grundlage der Risikobewertung ist die Empfehlung des AK 4.6 „Altbergbau“. Nach der objektbezogenen Analyse der Eintrittswahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes ergibt sich eine Zuordnung zu einer Risikoklasse. Da für das Eintreten eines Ereignisses naturgesetzliche Rahmenbedingungen und zufällige Ereignisse wirksam sind, lassen sich die zeitlichen Abläufe nicht oder nur sehr begrenzt bestimmen. [35] In der Abb. 11 sind die geodynamischen Zusammenhänge für die verschiedenen Risiken bei den altbergbaulichen Hinterlassenschaften graphisch dargestellt. Eine besondere Bedeutung besitzt dabei das Grenzrisiko, das „unsicher“ von „sicher“ trennt.

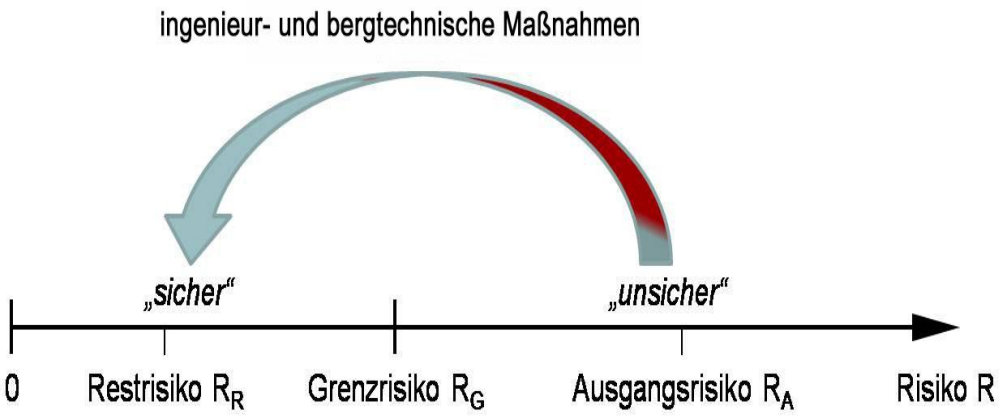


Abb. 11 Zusammenhang zwischen den verschiedenen Risiken

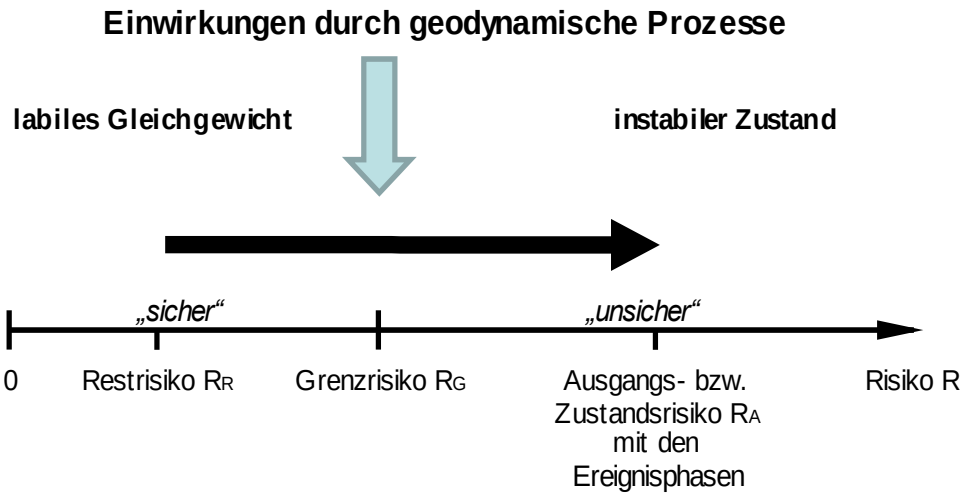


Abb. 12 Einwirkung der geodynamischen Prozesse auf die altbergbaulichen Hinterlassenschaften

Aus der Abb. 12 ist zu entnehmen, dass ein Sicherheitsabbau an altbergbaulichen Objekten und im gesamten Grubengebäude durch die komplexen Wirkungen der geodynamischen Prozesse ständig stattfindet. Es gilt also, diese vorgezeichneten natürlichen und anthropogenen Einwirkungen durch geeignete, langzeitstabilisierende Maßnahmen an den Objekten aufzuhalten oder die Sicherheitswirkungen sogar zu erneuern (vgl. Abb. 11). Die Bergschadenkundlichen Analysen sind im Ergebnis darauf orientiert, einerseits die ermittelten und beschriebenen Einzelobjekte mit ihren Einwirkungsbereichen zwischen „sicher“ und „unsicher“ zu unterscheiden. Andererseits soll eine Priorisierung („Ranking“) der „unsicheren“ Objekte erfolgen, um die Dringlichkeit der bergtechnischen Sanierungsarbeiten an den unsicheren Objekten zu klassifizieren. Die permanenten geodynamischen Einflüsse auf die Altbergbauobjekte und deren Sicherheitsverzehr sowie die durchgeführten Sanierungsmaßnahmen machen es notwendig, die BSA fortzuschreiben, um den erforderlichen nutzungsabhängigen Sicherheitszustand nachzuweisen. Auch bei Nutzungsänderungen bedarf es einer Prüfung der veränderten Sicherheitskriterien. Aufgrund dieser Zusammenhänge besitzen die Analysen Gutachtencharakter, bei denen auch Erstellungsdatum und Nachträge zeitlich festgehalten sowie Unterschriften der Bearbeiter geleistet werden sollten.

10.2 Ermittlung der Risikoklassen und empfohlene Maßnahmen

Wie bereits dargelegt, stellt die Bestimmung der Risikoklassen für die einzelnen altbergbaulichen Erscheinungsbilder (z. B. Schacht, Tagesbruch, tagesnahe Grubenbaue) mit ihren Einwirkungsbereichen den zentralen Schwerpunkt einer BSA dar. Im Ergebnis der Bewertung ergeben sich eine Reihenfolge der Sanierungsnotwendigkeiten und Dringlichkeiten mit dem Ziel, insbesondere die öffentliche Sicherheit wieder herzustellen bzw. dauerhaft zu gewährleisten. Mögliche Einschränkungen für die ursprüngliche Geländenutzung sollten beseitigt werden, auch für geplante Nutzungen wäre eine Sanierung in Abhängigkeit von einer geplanten Nutzungsänderung zu prüfen.

In der Empfehlung des Arbeitskreises 4.6 „Altbergbau“ der DGGT e. V. sind die Bewertungskriterien der Klassifikation detailliert aufgeführt. [1]

Die Tab.6 : fasst diese Bewertungen in einer übersichtlichen und aktualisierten Form zusammen.

Tab.6 : Zuordnungskriterien zu Risikoklassen für bergmännisch aufgefahrene Hohlräume

Altbergbauliches Erscheinungsbild (Schadensbild)	**Nutzung der Tagesoberfläche**	**Geotechnische, sicherheitsrelevante Charakteristik der tagesnahen Grubenbauen und deren Deckgebirge**	**Risiko-klasse** (farbige Kenn-zeich-nung)	***Handlungsbedarf*** **Empfohlene Maßnahmen**
– Aktiver Tagesbruch der verschiedenen Arten sowie deren Nachbrüche in der Durchbruchphase – Größere dynamische (nicht abklingende) Deformation an der Tagesoberfläche, z. B. Spalten- und Rissbildung, Senkung, Gebäudeschaden – Offene, ungesicherte Tagesöffnung (Schacht, Abbau, Stollen, Tagesstrecke, Tagesüberhauen) – Akute und aktuelle Wasserschäden durch Verbrüche (z. B. Standwasserbildung mit hohem Druckpotential in Stollen und Grubenbauen, Wasseranstieg in Schächten, aktive Vernässungen an der Tagesoberfläche) – Aktiver untertägiger, tagesnaher Verbruchprozess	– Unmittelbare, direkte Überbauung, Bereiche mit erhöhter statischer und dynamischer Belastung im direkten Einwirkungsbereich – Flächen mit intensiver land- und forstwirtschaftlicher sowie gärtnerischer Nutzung – Verkehrswege – Stark frequentierte öffentliche Bereiche	– Sehr geringes und geringes dauerstandsicheres Deckgebirge über den Grubenbauen – Zulässige Grenzdeckgebirgsmächtigkeit wird deutlich überschritten – Deckgebirge besteht vorwiegend aus sandig- kiesigen und begrenzt tonigen Sedimenten (Lockergestein) – Felsiges Deckgebirge ist tiefgründig verwittert, stark tektonisch beansprucht oder geringfestes Halbfestgestein – Zahlreiche bereits registrierte Tagesbrucharten und sonstige altbergbaulich bedingte Einwirkungen; somit hohes Tagesbruchrisiko und deren Fortentwicklungen – Grubenwasser unterliegt größeren Schwankungen bzw. Grubenbaue und Deckgebirge werden geflutet	**I** **(rot)**	***Umgehender Handlungsbedarf bei akuter Gefährdung der öffentlichen Sicherheit „Gefahr im Verzug“*** – Erstsicherung des Einwirkungsbereiches – Nutzungseinschränkung, Sperrung der Tagesoberfläche, Umsiedlung – Umgehende ingenieur- und bergtechnische und/oder bautechnische Sanierungsmaßnahmen – (Hinweis: bei diesem Befund ist davon auszugehen, dass die Polizeibehörden amtlich eine Gefahrenfeststellung treffen)

Altbergbauliches Erscheinungsbild (Schadensbild)	**Nutzung der Tagesoberfläche**	**Geotechnische, sicherheitsrelevante Charakteristik der tagesnahen Grubenbauen und deren Deckgebirge**	**Risiko-klasse** (farbige Kenn-zeich-nung)	***Handlungsbedarf*** **Empfohlene Maßnahmen**
– Tagesbruch der verschiedenen Arten sowie Nachbrüche unmittelbar nach der Durchbruchphase – Geringe Defor-mation an der Tagesoberfläche, z. B. Spalten- und Rissbildung, Senkung, begrenzter Gebäudeschaden – Nur erstgesicherte Tagesöffnung (Schacht, Abbau, Stollen, Tages-strecke, Tagesüber-hauen) – Periodischer, begrenzter Wasser-schaden (z. B. schadensrelevante Standwasserbildun g in Stollen und Grubenbauen sowie Wasseranstieg, Vernässungen und Versalzung an der Tagesoberfläche) – Beginnender aktiver untertägiger Ver-bruchprozess ohne direkte Überbauung – Nicht dauerstand-sicher verfüllte oder teilverfüllte Schächte – Unsicher abge-bühnte, nicht- oder teilverfüllte Schächte	– Bebauungsgebie t, jedoch keine direkte Über-bauung – Land- und forst-wirtschaftliche Flächen – gering frequen-tierte öffentliche Bereiche	– Sehr geringe und geringe Dauer-standsicherheit des Deckgebirges – Deckgebirge besteht aus sandig-kiesigen und tonigen Sedimenten (Lockergestein) – Felsiges Deckgebir-ge ist tiefgründig verwittert, stark tektonisch bean-sprucht oder Halbfestgestein – Mehrere bereits registrierte Tages-brüche und sonstige altbergbaulich bedingte Einwir-kungen; somit erhöhtes Tages-bruchrisiko – Zulässige Grenz-deckgebirgs-mächtigkeit wird überschritten – Grundwasser unter-liegt größeren Schwankungen (≥ ±1,5 m) bzw. Grubenbaue und Deckgebirge werden geflutet (GW-Wiederanstieg)	**II** **(gelb)**	***Zeitnaher, planmäßiger Handlungsbedarf*** – Erstsicherung des Einwir-kungsbereiches – Zeitnahe, planmäßige ingenieur- und bergtech-nische und/oder bautechnische Sanie-rungsmaßnahmen – Nutzungseinschränkung oder Sperrung der Tagesoberfläche, Umsiedlung

Altbergbauliches Erscheinungsbild (Schadensbild)	**Nutzung der Tagesoberfläche**	**Geotechnische, sicherheitsrelevante Charakteristik der tagesnahen Grubenbauen und deren Deckgebirge**	**Risiko-klasse** (farbige Kenn-zeich-nung)	***Handlungsbedarf*** **Empfohlene Maßnahmen**
– Ältere, konsolidierte, Verbruch- und Deformations-ereignisse an der Tagesoberfläche (z. B. Tagesbruch mit Baum- und Strauchbewuchs) – Tages- und ober-flächennahe Grubenbaue unbekannten Zustandes – Schächte ohne nachgewiesenen Verfüllzustand unter besonderer Beach-tung des Holz-problems und des Grundwassers – Gering deformierte, jedoch noch funktionsfähige tagesnahe Hohlraumkonturen – Unbekannte hydraulische Gebirgsverhältnisse	– Bebaute und infrastrukturell genutzte altberg-baulich beein-flusste Gebiete – Intensiv genutzte land- und forst-wirtschaftliche Flächen	– Sicherheitsrelevante r altbergbaulicher Zustand der Gruben-baue, das Deckge-birge und Wasser-lösestollen sind nicht oder nur sehr begrenzt bekannt – Mittel- und langfristig ist eine Schwächung der Dauerstand-sicherheit der Grubenbaue und des Deckgebirges zu erwarten – Verschiedene Tagesbrucharten oder/und schadens-relevante Einwir-kungen sind bisher nicht bekannt, auch nicht unmittelbar zu erwarten, jedoch grundsätzlich nicht auszuschließen – Grenzdeckgebirgs-mächtigkeit der tagesnahen Gruben-baue wird sehr wahrscheinlich unterschritten	**III (grün)**	***Klärungs- bzw. Erkun-dungsbedarf*** – Mittel- und langfristig sind direkte und indirekte Untersuchungsmethoden sowie Spezialverfahren zur Neueinstufung der Risikoklassen der Einwir-kungsbereiche vorzu-sehen – In Bebauungsgebieten werden periodische visuelle Kontrollen empfohlen (monatlich bis jährlich) – Standsicherheitsuntersuc hungen von tages- und oberflächennahen altbergbaulichen Hohl-räumen

Altbergbauliches Erscheinungsbild (Schadensbild)	**Nutzung der Tagesoberfläche**	**Geotechnische, sicherheitsrelevante Charakteristik der tagesnahen Grubenbauen und deren Deckgebirge**	**Risiko-klasse (farbige Kenn-zeich-nung)**	***Handlungsbedarf*** **Empfohlene Maßnahmen**
– Keine Verbrüche und Deformations-ereignisse an der Tagesoberfläche bekannt – Dauerhaft gesi-cherte Tages-öffnung – Kontrollfähiger, dauerhafter Wasserabfluss – Keine First- und Stoßausbrüche sowie Schacht-deformation (Absandungen möglich) – Ausbau ist aus-reichend dimensio-niert und dauerhaft funktionsfähig	– Keine Einschrän-kungen für die behördlich genehmigte Nutzung der Tagesoberfläche und der altberg-baulichen Hohlräume – Bei Änderung der Nutzung ist Überprüfung bzw. Neuein-stufung der Risikoklasse erforderlich	– Dauerstandsicherhei t des Hohlraumes gegeben, da Gebirgs- und Ausbauverhältnisse bekannt sind – Ermittelte Grenz-deckgebirgsmäch-tigkeit kann bei standsicherem Deckgebirge unter-schritten werden – Grundwasserver-hältnisse und Wasserlösestollen sind hinreichend bekannt	**IV (blau)**	***Monitoring*** – Periodische Kontrollen werden in Einzel- bzw. Sonderfällen in größeren Intervallen in Abhängig-keit von der Gelände-nutzung notwendig (z. B. Kali- und Salzschächte) – Bei Bedarf Wartung – Grundwasserverhältniss e sind ebenfalls zu über-wachen

Die Anwendung der Tab.6 : setzt hinreichende Informationen zu den zu bewertenden Altbergbauobjekten mit ihren Einwirkungsbereichen voraus. Erst nach Abschluss der Recherchen und der zweckorientierten Erkundung ist eine belastbare Risikovergabe sinnvoll. Bleiben sicherheitsrelevante Unkenntnisse bestehen, ist eine Zuordnung des Objektes in die RK III und damit in den unsicheren Bereich, vorzunehmen.

An dieser Stelle sei noch vermerkt, dass sich beim Vergleich verschiedener Bergschaden-kundlicher Analysen Abweichungen zwischen den getroffenen Einstufungen in Risikoklassen und den Empfehlungen vom AK 4.6 „Altbergbau“ zeigten. Es werden beispielsweise „sensible“ und „unsensible“ Nutzungen sowie „Besonderheiten“ unterschieden. Die klaren Grenzen zwischen den ursprünglichen Risikoklassen (RK) werden dadurch verwischt. Auffallend ist dabei u. a. der veränderte Inhalt der Risikoklasse III, wo der „Klärungsbedarf“ zurücktritt. Die RK III ist jedoch grundsätzlich „unsicher“, da Unkenntnis zum Altbergbauobjekt vorliegt. Es sind deshalb auch geotechnische Erkundungen im Rahmen der bergtechnischen Sanierungsmaßnahmen notwendig, um festzustellen, ob eine Zuordnung in die RK II (oder sogar RK I) oder in die RK IV erfolgen kann. Deutliche Abweichungen bei der Risikozuweisung ergeben sich ebenfalls durch Festlegungen des Aufraggebers, die sich auf unterschiedlichen Interessenlagen und lokalen Situationen gründen.

Grundsätzlich werden **altbergbauliche Erscheinungsbilder** und deren **Einwirkungsbereiche** ausgegliedert. Dabei werden Einzelobjekte (altbergbauliche Erscheinungsbilder) und Einwirkungsbereiche von Abbauflächen mit ihrem Durchbauungsgrad einschließlich deren Randzone unterschieden. In der BSA sollten die altbergbaulichen Erscheinungsbilder nummeriert, (Positionsnummer, Bearbeitungsnummer), beschrieben, klassifiziert und risslich

dargestellt werden, die dann der ermittelten Risikoklasse (auch verschiedene Risikoklassen sind möglich) zugeordnet werden. Risikobereiche ergeben sich schon deshalb nicht, da eine bergtechnische Bearbeitung von Risiken nicht möglich ist und nur Objekte mit ihrem Einwirkungsbereich saniert werden können. Dadurch erhalten sie eine veränderte Risikoklasse oder werden als „verwahrt“ eingestuft.

Wenn lt. BSA trotz undefinierter Verfüllung, z. B. eines Schachtes, nicht eindeutige geotechnisch-altbergbauliche Verhältnisse belegbar sind und keinerlei Indizien einer Schadensentwicklung im Schachtkopfbereich festgestellt werden, ist für den Schacht die RK III (Klärungsbedarf) zutreffend. Unter Berücksichtigung von objektspezifischen Erkundungsergebnissen zur Bewertung der numerischen Tagesbruchabschätzung und auf der Grundlage einer Schadensdokumentation im Wohn- sowie Gewerbegebiet ist hier kongruent zu verfahren.

Bei Überschneidungen von Risikoklassen sollte grundsätzlich die risikoreichere, höhere Klasse dargestellt werden.

Bei Erkundungs-, Bewertungs- und Sanierungsarbeiten im Altbergbau ist eine „Zerstückelung“ der ingenieurtechnischen Aufgabenstellungen durch die unterschiedlichen Schnittstellen und detailbezogenen Dokumentationsergebnisse der verschiedenen Bearbeiter zu vermeiden. Dies bedingt auch die Komplexität der sehr differenzierten Einflüsse von geodynamischen Prozessen auf die Gleichgewichtsstrukturen in den über- und untertägigen Altbergbaurelikten. Eine wichtige Rolle übernehmen hierbei insbesondere die hydrogeologischen Verhältnisse. [37]

11 Prioritätenliste, Empfehlungen von Erkundungs- und Sanierungsvarianten

Im Ergebnis der Vergabe von Risikoklassen ist eine Prioritätenliste zu erstellen, die mit allen Beteiligten (u. a. Auftraggeber, Bergamt) abzustimmen ist. Dabei sind außerdem mögliche Veränderungen des Grubenwasserspiegels zu berücksichtigen.

Da in den meisten Fällen der vorhandene Altbergbau einen unbekannten Zustand aufweist, bedarf es einer angepassten Erkundung mit effizienten Methoden zur Informationsgewinnung und zur repräsentativen Kennwertermittlung sowie Eigenschaftsbestimmung insbesondere des Deckgebirges über Abbau (Tab.7 :).

Tab.7 : Grundlegende Erkundungsmethoden im Altbergbau

Direkte Methoden	Dokumentation natürlicher Aufschlüsse, Schürfe, Bohrungen (Kleinrammbohrungen, Hammerbohrungen, Kernbohrungen), Schächte, Stollen, bergtechnische Aufwältigungen
Indirekte Methoden	Geophysik, Sondierungen
Spezialverfahren	Foto- und Fernsehsonde, aerogeologische Aufnahmen, Airborne Laser Scanning, Tracerversuche bei Wasser- und Wetterbewegungen

Grundsätzlich sind folgende Erkundungsmaßnahmen die Grundlage der BSA-Erarbeitung:

- Ingenieurgeologische Kennwertbestimmung zur geotechnischen und altbergbaulichen Deckgebirgssituation über den Grubenbauen
- Ermittlung der hydrogeologischen Situation mit Chemismus des Grubenwassers
- Einsatz von Airborne Laser Scanning und Luftbildaufnahmen

– Freilegung von Schachtansatzpunkten, Stollen, ausgewählten Erkundungsbohrungen, Fundamenten u. a. als vermessungstechnische Passpunkte zur Georeferenzierung von Altrissen [38]

Ausgehend von der Aufgaben- bzw. Zielstellung der BSA, der Morphologie, dem Bebauungsgrad und dem Kenntnisstand zu naheliegenden, bereits vorhandenen Analysen sollte ein angemessenes Erkundungskonzept ausgearbeitet sein, um hinreichend genau das markscheiderische Risswerk zu erstellen und ausreichende Kenntnis zur Planung der folgenden Sanierungsetappe zu erhalten.

Grundsätzlich sind Sanierungsarbeiten im Altbergbau durch die Einheit von Erkundung und Sanierung untrennbar verbunden. Dies bedingt auch eine enge ingenieurtechnische Betreuung der Arbeiten. Einen Schwerpunkt stellen dabei die altbergbaulichen Erscheinungsbilder und deren Einwirkungsbereiche in der Risikoklasse III dar. Durch differenzierte Erkundungsmaßnahmen sollte der sicherheitsrelevante Zustand der Altbergbaurelikte geklärt und neu bewertet werden.

12 Gliederung einer BSA, Nachträge und Aktualisierungen

Die grundlegenden Gliederungspunkte einer BSA haben sich seit ihren ursprünglichen Anfängen nicht wesentlich verändert. [1]
Folgende Gliederungsschwerpunkte für eine Mustergliederung sind zu beachten:

Inhaltsverzeichnis

1. Veranlassung (Aufgabenstellung)
2. Übersicht und Bewertung von verfügbaren Unterlagen
3. Lage und Nutzung des Untersuchungsgebietes
4. Geologische und lagerstättenkundliche Verhältnisse
5. Ingenieur- und hydrogeologische Situation
6. Bergbauhistorischer Abriss
7. Abklärung der Rechtsverhältnisse
8. Bekannte Schadensabfolgen und deren Eigenschaften
9. Durchgeführte Erkundungs- und Sanierungsmaßnahmen
10. Sonstige verfügbare Voruntersuchungen
11. Ingenieur- und bergtechnische Erkundung sowie geotechnische Kennwertbestimmung
11.1. Markscheiderische Arbeiten
11.2. Geotechnische Dokumentation von altbergbaulichen Hinterlassenschaften
11.3. Planungs- und Durchführungskonzept von berg- und bohrtechnischen Erkundungen
11.4. Geotechnische Kennwertermittlungen
12. Numerische Tagesbruchabschätzung und Risikobewertung
12.1. Ermittlung der Grundlagen zu den Verbruch- und Deformationsprozessen und Auswahl des Rechenverfahrens
12.2. Auswahl der geotechnischen Kennwerte und numerische Tagesbruchabschätzung
12.3. Geomechanische und geohydraulische Bewertung der Standsicherheit der Grubenbaue und Prognose der Schadensentwicklungen
12.4. Ermittlung der altbergbaulichen Einwirkungsbereiche

13. Beschreibung der altbergbaulichen Erscheinungsbilder mit Vergabe der Risikoklassen
14. Empfehlungen für Erkundungs- und Sanierungsmaßnahmen
15. Kostenschätzung
16. Zusammenfassung

Abkürzungsverzeichnis
Quellenverzeichnis
Anlagenverzeichnis
Anlagen

Die vorliegende Mustergliederung ist speziellen Aufgabenstellungen und Altbergbauverhältnissen sinngemäß anzupassen.

Bei der Erarbeitung einer BSA sollte auf eine ausschweifende, verbale Darstellung verzichtet werden. Die Verwendung von Tabellen ist zu empfehlen. Wiederholungen sollten vermieden werden. Stets stehen die inhaltlichen Schwerpunkte mit den schadensrelevanten altbergbaulichen Einwirkungen und die Risikobewertung mit dem Ranking von bergtechnischen Erkundungs- und Sanierungsleistungen im Fokus einer BSA. Auf die Komplexität der geodynamischen Prozesse und deren Einwirkungen auf die unterschiedlichen über- und untertägigen altbergbaulichen Hinterlassenschaften ist im Rahmen möglicher Schadensentwicklungen zu achten. Dabei sind insbesondere die verschiedenen hydraulischen Gleichgewichtsprovinzen zu beachten.

In festzulegenden periodischen Abständen (ca. 1 bis 3 Jahre) sind Nachträge und Aktualisierungen vorzunehmen. Insbesondere sollten zwischenzeitlich anfallende Sanierungsdokumentationen in die BSA übernommen und in den Bestand eingearbeitet werden. Bei einer elektronischen Archivierung sind stets aktuelle Ergänzungen zu empfehlen. Die jeweilige Bearbeitungsweise sollte zwischen Auftraggeber und Bergbehörde abgestimmt werden.

Die BSA ist die Arbeitsgrundlage für alle sicherheitsrelevanten Entscheidungen in einem ausgewiesenen altbergbaulich beeinflussten Untersuchungsgebiet. Alle Informationen, die sicherheitsbezogene Veränderungen zum Inhalt haben, sollten zeitnah in die BSA eingearbeitet werden. Dies betrifft Änderungen an der Nutzung der Tagesoberfläche, aber auch Einwirkungen von Deformationsprozessen und hydraulische Veränderungen bezüglich über- und untertägigen Hinterlassenschaften des Altbergbaus.

13 Quellenverzeichnis

[1] AUTORENKOLLEKTIV (2004): Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“ des AK 4.6 der Fachsektion Ingenieurgeologie der DGGT e. V., Tagungsband, 4. Altbergbau-Kolloquium in Leoben, 04. bis 06.11.2004, Anhang, S. 1 bis 23, Verlag Glückauf GmbH, Essen

[2] AUTORENKOLLEKTIV (2009): Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Tagebaurestlöchern, Halden und Kippen des Altbergbaus“ des AK 4.6 der Fachsektion Ingenieurgeologie der DGGT e. V., Tagungsband, 9. Altbergbau-Kolloquium in Leoben, 05. bis 07.11.2009, Anhang, S. 1 bis 16, Verlag Glückauf GmbH, Essen

[3] … (1971): Anordnung über die Verwahrung unterirdischer Bergbaulicher Anlagen – Verwahrungsanordnung - GBl. II Nr. 73 S. 621

[4] … (14.11.1973): Anfertigung einer bergschadenkundlichen Analyse. - Bergsicherung Ronneburg, u. a. Angaben zu den Gefährdungsstufen, Gliederungsschwerpunkte wie [3]

[5] AUTORENKOLLEKTIV (2010): Empfehlung „Sicherungs- und Verwahrungsarbeiten im Altbergbau“. - Tagungsband, 10. Altbergbau-Kolloquium in Freiberg, 04. bis 06.11.2010, Anhang, S. 1 bis 18, Verlag Glückauf GmbH, Essen

[6] LEITENROTH, H. (1974): Die Vorbereitung der bergschadenkundlichen Analysierung von stillgelegten Braunkohlentiefbauen. - Neue Bergbautechnik 4(1974)11, S. 840 bis 842

[7] FENK, J. (1975): Über die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Tagesbrüchen. - Neue Bergbautechnik 5(1975)4, S. 283 bis 287

[8] FENK, J. (1976): Abgrenzung von Gefährdungsbereichen in Gebieten mit Altbergbau. - Neue Bergbautechnik 6(1976)1, S. 20 bis 23

[9] LEITENROTH, H.; SCHIRMER, H. (1978): Erfahrungen bei der Ausarbeitung bergschadenkundlicher Analysen. - Neue Bergbautechnik 8(1978)9, S. 528 bis 533

[10] MEIER, G. (1989): Zur Erarbeitung von bergschadenkundlichen Analysen in Altbergbaugebieten der Mittelgebirge. - Neue Bergbautechnik 19, H. 10, S. 370 bis 373

[11] AUTORENKOLLEKTIV (2013): Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Bewertung und Sanierung von altbergbaulich beeinflussten Gebieten hinsichtlich ihrer baulichen Nachnutzung“. - Tagungsband, 13. Altbergbau-Kolloquium 07. bis 09.11.2013 in Freiberg, Anhang S. 1 bis 15, Wagner Digitaldruck und Medien GmbH, Nossen

[12] AUTORENKOLLEKTIV (2009): Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Tagebaurestlöchern, Halden und Kippen des Altbergbaus“. - Tagungsband, 9. Altbergbau-Kolloquium 05. bis 07.11.2009 in Leoben, Anhang: S. 1 bis 16, VGE Verlag GmbH, Essen

[13] MEIER, G. (2001): Numerische Abschätzung von Tagesbruchgefährdungen in Altbergbaugebieten. - Berichte 13. Nationale Tagung für Ingenieurgeologie, Sonderband Geotechnik Karlsruhe, S. 95 bis 100

[14] MEIER, J. (2003): Statistische Analyse von Tagesbrüchen über Abbaufeldern des Braunkohlen-Tiefbaus und ein Versuch ihrer numerischen Simulation mit dem Programm FLEC. - Tagungsband 14. Tagung für Ingenieurgeologie, Kiel, S. 39 bis 44

[15] MEIER, G. (2010): Tagesbruch oder Erdfall? – Tagungsband 10. Altbergbau-Kolloquium, TU Bergakademie Freiberg, 04. bis 06. November 2010, S.309 bis 319, VGE Verlag GmbH, Essen

[16] WERBIG, L. (1991): Anweisung zur Sicherstellung der im § 55 Abs. 2 des Bundesberggesetzes vom 13.08.1980 (BGBl. I S. 1310) genannten Voraussetzungen für die Zulassung des Abschlussbetriebsplanes wird gemäß § 71 des BbergG die Erarbeitung einer bergschadenkundlichen Analyse (BSA) angewiesen. - 4 Seiten Text, 2 Anlagen

[17] SCHEIDIG, A. (1940): Baugrundsätze für Hochbauten im Bruchgelände des Braunkohlentiefbaues. - Braunkohle, Heft 11, S.106 bis 107

[18] MEIER, G. (2006): Geotechnisch-markscheiderische Dokumentationen bei Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen im Altbergbau. - Tagungsband, 7. Geokinematischer Tag, TU Bergakademie Freiberg, S. 332 bis 345, Verlag Glückauf Essen

[19] MEIER, J. (2003): Zur Tagesbruchsimulation mit numerischen Modellen im Braunkohlentiefbau. - Tagungsband, 3. Altbergbau-Kolloquium Freiberg, S. 222 bis 235, Verlag Glückauf Essen

[20] MEIER, J.; MEIER, G. (2005): Modifikation von Tagesbruchprognosen. - Geotechnik 28 (2005) Nr. 2, S. 119 bis 125

[21] MEIER, G. (1978): Zum Problem von Tagesbruchanalysen in Altbergbaugebieten aus der Sicht praktischer Bergsicherungsarbeiten. - Neue Bergbautechnik 8(1978)11, S. 639 bis 643

[22] FENK, J. (1984): Berechnung von Tagesbrüchen. - Neue Bergbautechnik.- 14. Jg., 11, S. 414 bis 416 und 425

[23] KRATZSCH, H. (1997): Bergschadenkunde. - Deutscher Markscheider-Verein e. V., Bochum

[24] MEIER, G. (1991): Grundsätze von Bergsicherungsarbeiten im Gangbergbau. - Wiss.-Techn. Info.-Dienst, Jg. 32, R. A, H. 1, Gesell. f. Umwelt- u. Wirtschaftsgeologie mbH Berlin i. G.

[25] HÜLSMANN, K. H. (1992): Gesichtspunkte bei der Sicherung stillgelegter Tagesschächte. - Neue Bergbautechnik, 22. Jg., H. 1, S.3 bis 8

[26] GILLES, K.-P.; Hollmann, F. (2005): Zur Frage der Größe von Schutzbereichen an verlassenen Tagesöffnungen. - Tagungsband, 5. Altbergbau-Kolloquium, TU Clausthal, S. 272 bis 302, Verlag Glückauf GmbH, Essen

[27] KWIATEK, J.; KOWALSKI, A. (2003): Vorgeschlagene Klassifizierung der Altbergbaugebiete im Steinkohlenbergbau in Polen. - Tagungsband 3. Altbergbau-Kolloquium, TU Bergakademie Freiberg, S. 415 bis 420, Verlag Glückauf GmbH, Essen

[28] MEIER, G.; MEIER, J. (2007): Erdfälle und Tagesbrüche – Möglichkeiten einer numerischen Modellierung. - Bull. Angew. Geol. 12/1, Juli 2007, S. 91 bis 103

[29] HEITFELD, M.; KRINGS, K.; MAINZ, M.; SCHETELIG, K. (2005): Ein Modell zur Prognose von Einwirkungsbereichen des tagesnahen Altbergbaus auf Steinkohle für das Aachener Wurmrevier. - Tagungsband, 5. Altbergbau-Kolloquium, TU Clausthal, S. 25 bis 41, Verlag Glückauf GmbH, Essen

[30] HOLLMANN, F. (1995): Zur bleibenden Beeinträchtigung der Nutzung von Boden und Baugrund im Senkungstrog nach Einstellung bergbaulicher Tätigkeit bzw. nach Auslaufen bergbaulicher Bodenbewegungen. - Bergbau 2/95, S.76 bis 82

[31] AUTORENKOLLEKTIV (2007): „Leitfaden des Sächsischen Oberbergamtes für das Verwahren von Tagesschächten“ vom 10.12.2007 (unveröff.)

[32] AUTORENKOLLEKTIV (1976): Grundsätze für die Verwahrung von Tagesschächten. - Institut für Bergbausicherheit Leipzig, Forschungsabteilung Geomechanik, Leipzig, August 1976 (unveröff.)

[33] …EinwirkungsBergverordnung (EinwirkungsBergV) vom 11.11.1982

[34] MEIER, G. (2005): Wasser führende Stollen im Altbergbau – Havarien – Analyse – Sicherung.-Tagungsband, 5. Altbergbau-Kolloquium, Clausthal, 03. bis 05.11.2005, S. 201 bis 222, VGE Verlag GmbH, Essen

[35] MEIER, G. (2010): Zur Vorhersage von schadensrelevanten Einwirkungen im Altbergbau. - Tagungsband, 10. Altbergbau-Kolloquium in Freiberg, 04. bis 06.11.2010, S. 120 bis 127, VGE Verlag GmbH, Essen

[36] MEIER, G. (2011): Altbergbauliche Ewigkeitslasten. - Tagungsband, 11. Altbergbau-Kolloquium in Wroclaw, 03. bis 05.11.2011, S. 198 bis 206, VGE Verlag GmbH, Essen

[37] MEIER, G. (2013): Zu Erfahrungen und Grundsätzen bei der bergtechnischen Sanierung von Altbergbauobjekten. - Tagungsband 13. Altbergbau-Kolloquium in Freiberg, 07. bis 09.11.2010, S. 134 bis 141, Wagner Digitaldruck und Medien GmbH, Nossen

[38] MEIER, G.; HALKE, L.; WÜNSCH, D. (2012): Die Bedeutung des historischen Risswerkes und der markscheiderischen Vermessung für die Altbergbauerkundung und –sanierung. - Tagungsband 13. Geokinematischer Tag, 10./11. Mai 2012, S.251 bis 257,VGE Verlag Essen

[39] MEIER, G. (2006): Holz im Altbergbau. - Tagungsband, 6. Altbergbau-Kolloquium, Aachen, 09. bis 11.11.2006, S. 217 bis 229, VGE Verlag GmbH, Essen

[40] DREBENSTEDT, C.; KUYUMCU, M. (2014): Braunkohlesanierung. - Springer -Verlag Berlin Heidelberg

[41] MEIER, G. (2011): Eine neue Verwahrungsmethode von Schächten in Locker- und Halbfestgesteinen. - Tagungsband 11. Altbergbau-Kolloquium in Wroclaw, 03. bis 05.11.2010, S. 71 bis 78, VGE Verlag GmbH, Essen

[42] MEIER, G. (2012): Der Einsatz der Systemverwahrung im Ausbissbereich von steil stehenden Gängen und Flözen. - Tagungsband 12. Altbergbau-Kolloquium in Goslar, 08. bis 10.11.2012, S. 81 bis 91, Wagner Digitaldruck und Medien GmbH, Nossen