

1

Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“ des Arbeitskreises 4.6 der Fachsektion Ingenieurgeologie der DGGT e. V.

Vorbemerkungen

Seit dem frühen Mittelalter setzte in weiten Bereichen des mitteleuropäischen Raumes eine zum Teil intensive über- und untertägige bergmännische Gewinnung von Bodenschätzen ein. Dieser Abbau der letzten 1000 Jahre hinterließ zahlreiche tages- und oberflächennahe Hohlräume. Diese Relikte der bergmännischen Tätigkeiten sind vor allem in den traditionsreichen Lagerstättenrevieren vorzufinden. Insbesondere die Standfestigkeit und Funktionalität der Grubenbaue unterliegen durch anthropogene und natürliche Einflüsse in Abhängigkeit von der Zeit grundlegenden Veränderungen. Beim Versagen der Standfestigkeit sind beispielsweise Tagesbrüche und Einsenkungen an der Tagesoberfläche typische Schadensbilder, die lokal katastrophale Größenordnungen annehmen und somit, je nach der Nutzung der Tagesoberfläche, ein hohes Risikopotential für Menschen und Sachwerte aufweisen können. Die systematische und fachgerechte Untersuchung und Bewertung der zahlreichen Altbergbaurelikte mit ihren Schadensbildern und die Bewertung der möglichen Risikopotentiale bilden die Grundlage für eine effiziente Sanierung. Diese Problemstellungen gewinnen durch die zunehmend intensivere Nutzung der Tagesoberfläche stetig an Bedeutung. Aber auch der gravierende Rückgang der Bergbautätigkeiten in Europa wirft verstärkt die Frage auf, welches Risikopotential für die Tagesoberfläche von in Stilllegung befindlichen oder noch stillzulegenden bergbaulichen Betrieben ausgeht, denn es gilt der Grundsatz: Bergmännische Aktivitäten von heute sind der Altbergbau von morgen.

Aufgrund dieser Sachlage entwickelte sich die Forderung nach einer Systematisierung und weitreichenden Vereinheitlichung der Bearbeitungskriterien für die Behandlung von Altbergbauproblemen. Mit der Neuformierung des Arbeitskreises 4.6 „Altbergbau – geotechnische Erkundung und Bewertung“ in der Fachsektion Ingenieurgeologie der DGGT im Jahr 1996 setzten sich die Mitglieder des Arbeitskreises das Ziel, eine Empfehlung zur Thematik der Untersuchung und Bewertung von Problemen, die hauptsächlich von altbergbaulichen Hohlräumen ausgehen, unter geotechnisch-markscheiderischen Aspekten zu erarbeiten. Die Empfehlung soll vor allem Behörden, Ingenieurbüros und Fachfirmen für eine vereinheitlichte Ansprache und Entscheidungsfindung bei der Bewältigung von altbergbaulichen Hinterlassenschaften dienen. Es wird darauf hingewiesen, dass

Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung, Bewertung und Sanierung von altbergbaulichen Anlagen, 1. Auflage. DGGT e. V., DGGV e. V. und DMV e. V. (Hrsg.).

© 2020 Ernst & Sohn GmbH & Co. KG. Published 2020 by Ernst & Sohn GmbH & Co. KG.

2 | 1 Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“

grundsätzlich die fachspezifischen Aspekte im Vordergrund stehen und juristische Fragen nur tangierend in dieser Empfehlung behandelt werden.

1.1 Zielstellung

Ziel der Empfehlung ist es, nach dem Stand der Technik einen Leitfaden für die geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung insbesondere der Standfestigkeit der Hangendschichten oberhalb bergmännischer Hohlräume bzw. der angeschnittenen Schichten im Bereich von Tagesöffnungen des Altbergbaus, von Bohrlöchern, äquivalent auch zu Tagebauen einschließlich Restlöchern, Kippen und Halden verfügbar zu machen. Letztlich soll der Leitfaden der Untersuchung und Bewertung möglicher Einwirkungen von versagenden Gebirgsschichten auf die Tagesoberfläche dienen. Schwerpunkte stellen dabei die Hohlraum- und Deckgebirgsanalyse einschließlich deren Randbereiche und die Risikoabschätzung durch differenzierte Untersuchungs- und Bewertungsverfahren unter Berücksichtigung der Nutzung der Tagesoberfläche dar. In die interdisziplinäre geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung werden die natürlichen und/oder vortriebs- und abbaubedingt gestörten Gas- und Wasserwegigkeiten eingebunden. Die Ergebnisse der Untersuchung und Bewertung der örtlichen altbergbaulichen Verhältnisse bilden die Grundlage für die Planung der Geländenutzung. Weitere Untersuchungen und daraus resultierende dauerhafte Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen werden eingestuft. Als Sammelbegriff für die dauerhafte Sicherung und Verwahrung wird der Überbegriff **Sanierung** verwendet.

1.2 Begriffe

Der Empfehlung liegen weitere grundlegende Begriffe aus dem Themenbereich „Altbergbau“ zu Grunde:

Altbergbau

Gesamtheit aller bergmännisch hergestellten Hohlräume (Grubenbaue) einschließlich Bohrungen sowie Tagebaue, Halden, Kippen und Restlöcher, die bergbaulich nicht mehr genutzt werden.

Sonstige aufgefahrenere unterirdische Hohlräume nicht bergbaulichen Ursprungs wie z. B. Bergkeller, Höhlen, Luftschutzstollen und Tunnel erfahren durch ihre Vergleichbarkeit mit Grubenbauen eine sinngemäße Zuordnung (siehe DIN 21 913, Teil 6).

Anmerkung: Tagebaue, Halden, Kippen und Restlöcher werden in dieser Empfehlung nicht behandelt. Eine sinngemäße Anwendung der Empfehlung wird empfohlen.

Altbergbau bedingter Einwirkungsbereich

Der Bereich, der durch Altbergbau in seinen Eigenschaften bzw. seinen Funktionen nachteilig beeinflusst ist oder in dem eine Beeinträchtigung zukünftig nicht ausgeschlossen werden kann.

Die Abgrenzung des Altbergbau bedingten Einwirkungsbereiches an der Tagesoberfläche erfolgt im Einzelfall in Abhängigkeit von der bergbaulichen Situation, den ingenieurgeologischen und tektonischen Verhältnissen sowie den boden- bzw. felsmechanischen Eigenschaften des überlagernden Gebirges.

Sicherung

Gesamtheit aller Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren für die öffentliche Sicherheit (z. B. Leben und Gesundheit von Personen, bedeutende Sachwerte) unter Berücksichtigung der aktuellen Nutzung der Tagesoberfläche, ohne jedoch die Gefahrenstelle tatsächlich zu beseitigen. Hierbei werden die Erstsicherung (**vorläufige Sicherung**) zur umgehenden Gefahrenabwehr an der Schadstelle und die **dauerhafte Sicherung** zur längerfristigen Gefahrenabwehr unterschieden. An den Erhalt der Wirksamkeit von Sicherungsmaßnahmen sind somit periodische Kontrollen gebunden, deren zeitliche Abfolge sich an den jeweiligen örtlichen Verhältnissen orientiert. Der Entscheidung über Art und Umfang der im Einzelfall durchzuführenden Sicherungsmaßnahmen geht eine fachliche Bewertung der Gefahrenlage voraus.

Sanierung oder Verwahrung

Gesamtheit aller Maßnahmen zur dauerhaften Abwehr von Gefahren für die öffentliche Sicherheit durch Altbergbau. Das Bearbeitungsobjekt (Schadstelle) wird dabei in der Regel wesentlich verändert oder beseitigt; periodische Kontrollen sind weitestgehend entbehrlich. Der Umfang und die Art der Maßnahmen sind der aktuellen oder geplanten Nutzung der Tagesoberfläche angepasst und nach dem jeweiligen Stand der Technik wartungs- und überwachungsfrei auszuführen (siehe DIN 21913, Teil 6).

Anmerkung: Der Begriff Verwahrung wird bevorzugt bei Sanierungsarbeiten im untertägigen Bergbau der unterschiedlichsten Bergbauzweige Mitteldeutschlands seit dem 19. Jahrhundert verwendet und ist Bestandteil bereits älterer Rechtsvorschriften dieser Region.

Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung

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 Altbergbau bedingte 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

4 | 1 Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“

Ergebnis in Karten dargestellt wird. In Abhängigkeit von der gegenwärtigen oder geplanten Nutzung der Tagesoberfläche werden Empfehlungen für ggf. weitere Untersuchungen sowie Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen oder für Nutzungseinschränkungen erarbeitet.

Anmerkung: Für eine geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau wurden bisher auch folgende Synonyme verwendet: bergschadenkundliche Analyse (BSA), geotechnisch-bergschadenkundliches Gutachten, geotechnisch-altbergbauliches Gutachten, Gefährdungsanalyse und bergschadenkundliche Eruierung.

1.3 Bearbeitungsetappen und Erkenntnisstufen

Die geotechnisch-markscheiderischen Untersuchungen und Bewertungen werden im Allgemeinen durch einzelne Schadensereignisse, Erschließungsarbeiten oder örtliche, räumlich meist eng begrenzte, prophylaktische Untersuchungen von Altbergbaugebieten ausgelöst.

Die grundlegenden Schritte bei der Risikountersuchung und -bewertung sowie bei der Gefahrenabwehr in Altbergbaugebieten sind in der Abb. 1.1 dargestellt.

Bei der geotechnisch-markscheiderischen Untersuchung und Bewertung von altbergbaulichen Einwirkungen auf die Tagesoberfläche ergeben sich unterschiedliche Erkenntnisstufen:

- 1) allgemeingültige Erkenntnisse und Gesetzmäßigkeiten zum Altbergbau als Untersuchungs- und Bewertungsgrundlage;
- 2) bergbauzweigbezogene und revierspezifische Erkenntnisse und Gesetzmäßigkeiten;
- 3) örtliche und ggf. objektspezifische Erkenntnisse und Gesetzmäßigkeiten.

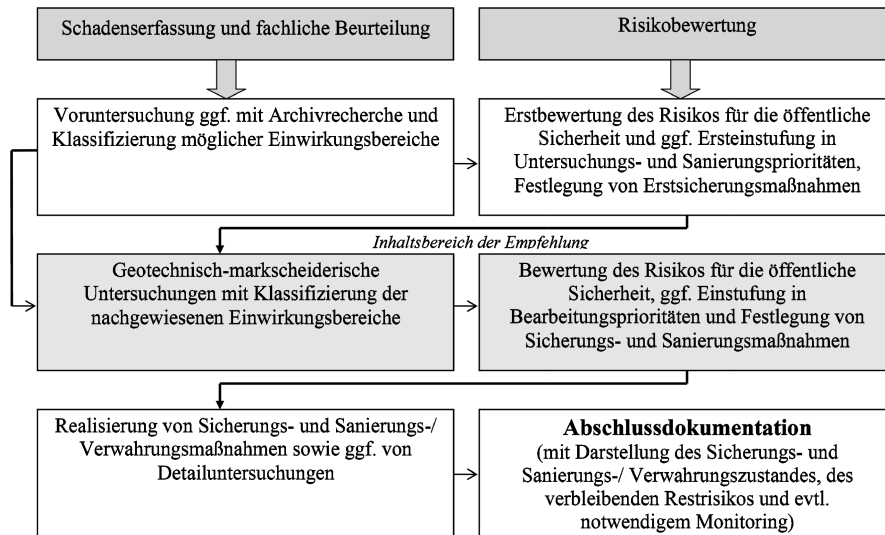


Abb. 1.1 Grundlegende Schritte bei der Risikountersuchung und -bewertung sowie bei der Gefahrenabwehr in Altbergbaugebieten.

In der Empfehlung sollen nur die Erkenntnisse zum Altbergbau berücksichtigt werden, deren Verbreitung eine Systematisierung rechtfertigt. Hierzu gehören zunächst unter Vernachlässigung bergbaulicher Aktivitäten im Tagebaubereich sowie an Halden und Restlöchern insbesondere folgende Bergbauzweige:

- Erzbergbau (Uranerzbergbau, Kupferschieferbergbau, Gangerzbergbau, sonstiger Erzbergbau)
- Steinkohlen- und Braunkohlenbergbau
- Steine- und Erdenbergbau
- Kali- und Steinsalzbergbau
- sonstige bergmännisch aufgefahrene Hohlräume

1.4 Zu beachtende Rechtsvorschriften und Normen

Die geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau erfolgt vor dem Hintergrund einer Vielzahl verschiedener, teilweise länderspezifischer Rechtsvorschriften und Verwaltungsanweisungen (Richtlinien), welche in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenstellung insbesondere bei der Durchführung der Risikobewertung zu beachten sind. Hier gilt es, die von einem Altbergbau bedingten Einwirkungsbereich ausgehenden Risiken und ein vertretbares Risiko (Grenzrisiko) miteinander in Bezug zu setzen. Wie im Abschn. 1.5 noch näher erläutert wird, hat das zu definierende Grenzrisiko einen starken Rechtsbezug. Als Rechtsvorschriften kommen beispielsweise in Betracht:

- Vorschriften des Baurechts:
Bereiche, in denen Maßnahmen gegen Altbergbau bedingte Einwirkungen auf die Tagesoberfläche zu ergreifen sind, sind im Regelfall in der Bauleitplanung gekennzeichnet. In Baugenehmigungen werden die tatsächlich zu ergreifenden Maßnahmen häufig in Abstimmung mit den zuständigen Bergbehörden konkretisiert.
- Vorschriften des Wasserrechts:
Schädliche Veränderungen der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit eines Gewässers, z. B. durch das Einleiten von Grubenwässern, sind zu vermeiden.
- Vorschriften des allgemeinen Polizei- und Ordnungsrechts:
Die Vorschriften des allgemeinen Polizei- und Ordnungsrechts kommen nur dann zur Anwendung, wenn spezialgesetzliche Regelungen fehlen oder in diesen keine abschließende Regelung enthalten ist. Das allgemeine Polizei- und Ordnungsrecht befasst sich ausschließlich mit der Beseitigung konkreter Gefahren. Solche Zustände sind nur dann gegeben, wenn der Schadenseintritt in überschaubarer Zukunft mit hinreichender Wahrscheinlichkeit absehbar ist und eine Bedrohung von Schutzgütern der öffentlichen Sicherheit (insbesondere Leib und Leben von Menschen oder Sachgüter von hohem Wert) vorliegt. Eine präventive Untersuchung und Bewertung von Altbergbaugebieten ist dem allgemeinen Polizei- und Ordnungsrecht unbekannt. Da polizei- und ordnungsrechtliche Angelegenheiten in die Gesetzgebungs-

6 | 1 Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“

kompetenz der Länder fallen, kommt für die Abwehr Altbergbau bedingter Gefahren das jeweilige (Landes-)Polizei- bzw. Ordnungsbehördengesetz zur Anwendung.

In einigen Bundesländern wurden ergänzende Gesetze/Verordnungen/Richtlinien zur Ermittlung und Beseitigung Altbergbau bedingter Gefahrenstellen erlassen. Nachfolgend sind Beispiele dazu aufgeführt.

- Ordnungsbehördengesetze bzw. Polizeigesetze der einzelnen Bundesländer;
- *Erlass des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie (Brandenburg) „Gefahrenabwehr und Sanierung im Bereich des Altbergbaus“* vom 20. April 1998 (Abl. S. 459);
- *Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit zur Ermittlung und Beseitigung von Gefahrenstellen des Altbergbaus und sonstiger der ordnungsbehördlichen Aufsicht der Bergbehörden unterstehender Objekte (Richtlinie Bergsicherung)* vom 7. Juni 1993 (SächsAbl. S. 885);
- *Polizeiverordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit über die Abwehr von Gefahren aus unterirdischen Hohlräumen sowie Haldden und Restlöchern (Sächsische Hohlraumverordnung – SächsHohlrVO)* vom 6. März 2002 (SächsGVBl. S. 117);
- *Verordnung zur Übertragung von Zuständigkeiten für die Gefahrenabwehr in Altbergbauen (Altbergbauzuständigkeitsverordnung – AltBZVO M-V)* vom 27. Februar 1998 (Mecklenburg-Vorpommern);
- *Thüringer Gesetz über die Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung in Objekten des Altbergbaus und in unterirdischen Hohlräumen (Thüringer Altbergbau- und Unterirdische-Hohlräume-Gesetz – ThürABbUHG)* vom 23. Mai 2001.

Die Vorschriften des Bundesberggesetzes kommen in diesem Kontext nicht zur Anwendung, da das BBergG nur auf unter Bergaufsicht stehende Betriebe anzuwenden ist und einmal beendete Bergaufsicht nicht mehr aufleben kann.

Bei der Anfertigung risslicher Unterlagen zur Dokumentation der Ergebnisse der geotechnisch-markscheiderischen Untersuchung und Bewertung sind die Zeichen und Symbole der Normen für das *Bergmännische Risswerk* (DIN 21901 bis DIN 21921) anzuwenden, um die Eindeutigkeit der Darstellungen zu sichern. Die übrigen Vorschriften dieser Normen, beispielsweise zur Blatteinteilung, sollten angewendet oder können sinngemäß auf den Einzelfall bezogen abgewandelt werden. Für die Spezifik des Altbergbaus zu normende Sachverhalte und Zeichen werden vom FABERG Normenausschuss Bergbau, Ad-hoc-Normenarbeitskreis „Altbergbau“ erarbeitet. Insbesondere ist in diesem Zusammenhang auf die Norm DIN 21912-2 *Tagebau, Teil 2: Sanierung* und auf die Norm DIN 21913-6 *Tiefbau, Teil 6: Verwahrung bergmännisch hergestellter unterirdischer Hohlräume* hinzuweisen.

In der Tab. 1.1 sind wichtige Normen für das *Bergmännische Risswerk* bezüglich Altbergbau zusammengestellt.

Tab. 1.1 Wichtige Normen für das Bergmännische Risswerk.

DIN 21909	<i>Bergmännisches Risswerk – Vermessungspunkte und -linien</i>
DIN 21912-2	<i>Bergmännisches Risswerk – Tagebau – Teil 2: Sanierung</i>
DIN 21913-1	<i>Bergmännisches Risswerk – Tiefbau – Teil 1: Grubenbaue</i>
Beiblatt 1 zu DIN 21913-1	<i>Bergmännisches Risswerk – Tiefbau – Teil 1: Grubenbaue, Erläuternde Angaben</i>
DIN 21913-2	<i>Bergmännisches Risswerk – Tiefbau – Teil 2: Abbau und Versatz</i>
DIN 21913-4	<i>Bergmännisches Risswerk – Tiefbau – Teil 4: Gefahren- und Schutzbereiche</i>
DIN 21913-6	<i>Bergmännisches Risswerk – Tiefbau – Teil 6: Verwahrung bergmännisch hergestellter Hohlräume</i>
DIN 21917	<i>Bergmännisches Risswerk – Gebirgs- und Bodenbewegungen</i>
DIN 21920-1	<i>Bergmännisches Risswerk – Petrographie – Teil 1: Allgemeingültige Zeichen – Sedimente</i>
DIN 21920-2	<i>Bergmännisches Risswerk – Petrographie – Teil 2: Magmatite</i>
DIN 21920-3	<i>Bergmännisches Risswerk – Petrographie – Teil 3: Metamorphe und sonstige Gesteinsumbildungen</i>
DIN 21920-4	<i>Bergmännisches Risswerk – Petrographie – Teil 4: Minerale</i>
DIN 21920-5	<i>Bergmännisches Risswerk – Petrographie – Teil 5: Steinkohlenbergbau</i>
DIN 21920-7	<i>Bergmännisches Risswerk – Petrographie – Teil 7: Kali- und Steinsalzbergbau</i>
DIN 21921	<i>Bergmännisches Risswerk – Tektonik und Formbeschreibung von Gesteinsschichten</i>

1.5 Recherchen, Aufbereitung und Analyse von Informationsquellen

Bei eingetretenen Schadensereignissen stellt sich stets die Frage nach einer möglichen Zuordnung zum Altbergbau. Eine Prüfung durch die zuständige Bergbehörde und/oder den zuständigen Bergwerkseigentümer ergibt im Allgemeinen erste Hinweise.

Im Rahmen geotechnisch-markscheiderischer Untersuchungen sind insbesondere folgende Informationsquellen auszuwerten:

- markscheiderische Altrisse
- betriebliches Risswerk
- bergbehördliches Kartenwerk
- historische Karten und Stadtpläne
- geologische, ingenieurgeologische und hydrogeologische Karten mit Beschreibungen
- textliche und bildliche Archivalien
- Literatur (Fachbuch, Heimat- und Regionalliteratur)
- historische Luftbilder
- archäologische Quellen

8 | 1 Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“

In der Regel bedarf es einer Einsichtnahme in Unterlagen, Pläne, Karten- und Rissmaterial in Archiven, bei Behörden und Bergbaufirmen. In Abhängigkeit vom Bergbaualter kann eine Befragung von Zeitzeugen ergänzende Informationen liefern.

Historisches Kartenmaterial und Risswerk ist markscheiderisch aufzuarbeiten und in das aktuelle Kartenwerk einzupassen. Dabei ist zu beachten, dass neben der unterschiedlichen Genauigkeit der alten Pläne stets nur eine zeitbezogene, unvollständige Darstellung der Altbergbausituation vorliegt. In Abhängigkeit von den jeweiligen Bergbauzweigen und deren Alter muss auch davon ausgegangen werden, dass keine markscheiderischen Aufmessungen angefertigt wurden.

Die Informationsquellen lassen sich einerseits in Unterlagen, die der Allgemeinheit öffentlich zur Verfügung stehen, und in nicht öffentlich zugängliche Unterlagen, die von Fachleuten bei Bedarf bei den Behörden eingesehen werden können, unterteilen.

In der Tab. 1.2 sind ohne Anspruch auf Vollständigkeit die verschiedenen Informationsquellen mit dem jeweiligen Herausgeber bzw. der Bezugsquelle aufgeführt.

Tab. 1.2 Zusammenstellung der Informationsquellen.

	Informationsquelle	Herausgeber/Bezugsquelle
1	Karten	
1.1	Landeskartenwerke	
1.1.1	Topografische Karten 1 : 10 000/1 : 25 000/1 : 50 000	Landesvermessungsämter
1.1.2	Deutsche Grundkarte 1 : 5000 DGK/ TK 5/Höhenflurkarte	Landesvermessungsämter
1.1.3	Ausgabe Staat/Volkswirtschaft (1 : 10 000; 1 : 25 000; 1 : 50 000)	Landesvermessungsämter
1.2	Historische Karten	
1.2.1	Karten des Deutschen Reiches	Institut für angewandte Geodäsie
1.2.2	Karten der Landesuraufnahme	Verm.- und Katasterämter, Landesarchive; Stiftung Preußischer Kulturbesitz
1.2.3	Karten der einzelnen Bergbauregionen	Verzeichnis bei FABERG
1.3	Katasterkarten	
1.3.1	Aktuelles Kartenwerk des Katasters/ Liegenschaften	Kataster/Vermessungsämter
1.3.2	Alte Flurkarten	Kataster/Vermessungsämter
1.3.3	Uraufnahme	Kataster/Vermessungsämter
1.4	Stadtpläne	
1.4.1	Historische Stadtpläne	Stadtverwaltung/Stadtarchiv
1.4.2	Aktuelle Stadtpläne	Stadtverwaltung/Stadtarchiv
1.5	Geologie	

Tab. 1.2 Zusammenstellung der Informationsquellen (fortgesetzt).

	Informationsquelle	Herausgeber/Bezugsquelle
1.5.1	Geologisches Kartenwerk (mit Beschreibungen)	Geologische Landesämter, geologische Dienste
1.5.2	Profile und Schnitte	Geologische Landesämter, geologische Dienste
1.6	Bergmännisches Risswerk	
1.6.1	Risswerk	
1.6.1.1	Urrisse/Zulegerisse	Bergbehörden/Staatsarchive
1.6.1.2	Grubenbild	Bergbehörden/Unternehmen
1.6.1.3	Sonstige Unterlagen	Bergbehörden/Unternehmen
1.6.2	Betriebliche Risse, Karten und Pläne	
1.6.2.1	Betriebspunktrisse	Unternehmen
1.6.2.2	Lagerstättenarchive	Unternehmen
1.6.2.3	Bohrlochprofile	Unternehmen
1.6.3	Behördlich erforderliche Risse, Karten und Pläne (z. B. Betriebsplanunterlagen)	Bergbehörden/Unternehmen
1.6.4.	Bergbehördliche Kartenwerke	Bergbehörden
1.6.4.1	Mutungsübersichtskarten	Bergbehörden
1.6.4.2	Berechtsamskarten	Bergbehörden
1.6.4.3	Karte der Tagesöffnungen des Bergbaus	Bergbehörden
1.6.4.4	Karte des oberflächennahen Abbaus	Bergbehörden
1.6.4.5	Karte der Tagesbrüche/der nicht bergbaulichen Tagesöffnungen	Bergbehörden
1.6.4.6	Übersichtskarte der bergschadenkundlichen Analysen Gefährdungsabschätzungen	Bergbehörden
2	Luftbilder	
2.1	Aktuelle	Landesvermessungsamt, Kommunen
2.2	Historische	Landesvermessungsamt, Kommunen
3	Sonstiges	
3.1	Betriebsakten (z. B. Abschlussbetriebspläne)	Zuständige Behörden
3.2	Ergebnisse bisher durchgeführter Untersuchungs- und Sicherungsmaßnahmen, Gefährdungsabschätzungen	Bergbehörden, Unternehmer, Fachstellen, Kommunen, Private
3.3	Firmenchroniken	Unternehmen, Archive
3.4	Ortschroniken	Gemeinden, Heimat- bzw. Geschichtsvereine
3.5	Rissarchive	Rissarchive der Länder
3.6	Mündliche Aussagen/Beschreibungen von Zeitzeugen	Anwohner
3.7	Revierbeschreibungen, Zeitungen	Büchereien
3.8	Fotografien	Gemeinden, Heimat- bzw. Geschichtsvereine, Private

1.6 Geotechnisch-markscheiderische Grundlagen

1.6.1 Ursache-Wirkung-Beziehungen

1.6.1.1 Geomechanische Veränderungen

Der ursprüngliche, d. h. der primäre, Spannungszustand des Gebirges wird neben der Teufenlage vor allem durch die tektonische Beanspruchung bestimmt. Durch das bergmännische Auffahren von Hohlräumen wird dieser primäre Spannungszustand verändert. In Abhängigkeit vom Primärspannungszustand, der Größe und der Form des Grubenbaus, des Ausbaus etc. bildet sich ein Sekundärspannungszustand aus, der irgendwann zum mechanischen Versagen der Sohl- und Hangendschichten sowie Stöße des jeweiligen Grubenbaus führt. Der zunächst „quasistabile“ sekundäre Spannungszustand dauert meist über die Betriebsphase hinaus bis in die Nachbetriebsphase nach Beendigung des Bergbaus an. Durch Spannungsumlagerungen, rheologische Prozesse und Verwitterungserscheinungen werden die umgebenden Gebirgsschichten soweit geschwächt, dass deren Tragfähigkeit überschritten wird und sie in die bergmännischen Hohlräume hereinbrechen. Je nach Größe des Bruch auslösenden Hohlraumes und Mächtigkeit der den Hohlraum überdeckenden Festgesteinsschichten bildet sich ein neues tragfähiges Gewölbe aus, oder die Bruchbewegung setzt sich bis zur Tagesoberfläche fort.

Neben den typischen betrieblichen bergmännischen Maßnahmen (Ausbau, Anker, Versatz) wurden teilweise gezielte Verwahrungsarbeiten, z. B. das Verfüllen von Schächten oder Einbringen von weiterem Versatz durchgeführt, um die Sicherheit der bergbaulich beeinflussten Bereiche in der Nachbetriebsphase zu erreichen. Die bei den früheren Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen verwendeten Verfahren und Materialien sind nach heutigem Kenntnisstand nicht immer als langzeitstandsicher einzustufen. Die sich ändernden Materialeigenschaften sowie das unterschiedliche Materialverhalten der Gesteine und des zu Sicherungszwecken eingebrachten Ausbaumaterials bewirken eine Veränderung des scheinbar stabilen nunmehr tertiären Spannungszustandes. Überschreiten die Änderungen des Spannungszustandes die Tragfähigkeit der Ausbaumaterialien oder der Gesteinsschichten, kommt es zu allmählichen bis plötzlichen Deformationen oder Verbrüchen.

1.6.1.2 Hydraulische Veränderungen

Die geologische Situation mit den unterschiedlichen stratigrafischen und lithologischen Einheiten sowie die tektonische Entwicklung bilden die Grundlage für Art und Ausmaß hydrogeologischer Veränderungen im Bereich des Altbergbaus. Durch das Auffahren von Hohlräumen wird die hydraulische Durchlässigkeit des Gebirges massiv verändert. Es kann zu Veränderungen des hydraulischen Verhältnisses sowie des hydrochemischen Gleichgewichts kommen. Dabei kann durch hydraulische und hydrochemische Veränderungen neben dem Grundwasserregime auch das Oberflächenwasser beeinflusst werden (Tab. 1.3).

Durch die Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und Gebirge kann es außerdem zu einer Mobilisierung von Schadstoffen aus dem Grubengebäude kommen und damit zu einer nachteiligen Beeinflussung der Grundwasserbe-

Tab. 1.3 Mögliche Folgen von Änderungen des Grundwasserregimes.

Ursache	Reaktion	Mögliche Folgen/Wirkung (u. a. an der Tagesoberfläche)
<ul style="list-style-type: none"> Starke Zunahme der hydraulischen Durchlässigkeit oder des hydraulischen Gefälles in räumlich abgegrenzten Bereichen Hydraulischer Kurzschluss zwischen vormals getrennten Grundwasserleitern 	<ul style="list-style-type: none"> Hohe Fließgeschwindigkeit des Grundwassers, Erhöhung des Grundwasserabflusses, Erosion, Subrosion Veränderung der Grundwasserdynamik, ggf. -chemie 	<ul style="list-style-type: none"> Änderung des Grundwasserspiegels Wasseraustritte an der Tagesoberfläche Vernässte Senkungs- und Bruchgebiete Erhöhung des Auftriebs unterhalb von Gebäuden; Schwächung des Baugrundes, Grundwassereintritt in Kellerräume Flutung von Altlasten Wasseraustritte aus Grubenbauen Tagesbrüche und Senkungen
	<ul style="list-style-type: none"> Drainage für das umgebende Gebirge 	<ul style="list-style-type: none"> Grundwasserabsenkung Verminderung des verfügbaren Grundwasserangebots für die Trinkwassergewinnung Austrocknung
<ul style="list-style-type: none"> Ausspülen von Feinkorn 	<ul style="list-style-type: none"> Änderung der Gebirgseigenschaften 	<ul style="list-style-type: none"> Senkungen, Schiefstellungen
<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung oder Verminderung des hydraulischen Druckes durch Änderung des hydraulischen Potentials 	<ul style="list-style-type: none"> Veränderung des regionalen Grundwasserströmungsregimes Veränderung der Strömungsrichtung 	<ul style="list-style-type: none"> Verlagerung der Entlastungsgebiete Veränderung des hydrologischen Regimes: Verminderte oder vermehrte Wasserführung von Flüssen, „Luv- und Leeseite“ von Altlasten, Veränderung von Einzugsgebieten, Trinkwasserschutzzonen

schaffenheit (Tab. 1.4). Die Lösung von Substanzen aus dem Gebirge kann ferner dazu führen, dass ehemals verschlossene Klüfte wieder hydraulisch wirksam werden und damit eine Verbindung zwischen verschiedenen Grundwasserstockwerken hergestellt wird, was wiederum zu Änderungen im hydraulischen System führt.

12 | 1 Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“

Tab. 1.4 Mögliche Folgen von Änderungen der Grundwasserbeschaffenheit.

Prozess	Auswirkung	Mögliche Folgen/Wirkungen (u. a. an der Tagesoberfläche)
<ul style="list-style-type: none"> • Wechselwirkungen zwischen Wasser und Gestein ggf. unterstützt durch eine Versauerung (z. B. H_2SO_3) der Grubenwässer, insbesondere Lösungs- und Fällungsreaktionen, Sorption, Ionenaustausch 	<ul style="list-style-type: none"> a) Auflösen von Pfeilern; Einsturz von Grubenhohlräumen, Einsturz von beim Abbau entstandenen Auslaugungshohlräumen; kontinuierliches Nachsetzen der Hangendschichten b) Klüfterweiterung durch Lösung von Klüftfüllungen c) Entstehung hydraulischer Verbindungen ehemals getrennter Bereiche d) Lösung von Salzen (z. B. Auslaugung im Kalibergbau) und Schadstoffen (z. B. Kupferschieferbergbau) 	<ul style="list-style-type: none"> • Senkungen, Schiefelage, Zerrungen/Pressungen, Erdfälle, Tagesbrüche • Absinken der Tagesoberfläche unter den natürlichen Grundwasserspiegel • Entstehung eines Grundwasserleiters (z. B. Kluftwasserleiter) in ehemals gering durchlässigem Gestein • Veränderung des hydraulischen Regimes (siehe Tab. 1.3) • Entstehung salzhaltiger Grundwässer; bei Einleitung in Oberflächengewässer erhöhte Mineralisierung der Vorfluter; Entstehung von Quellen und Solquellen; Einschränkung der Grundwassernutzung durch salzhaltiges/mineralisiertes Grundwasser
<ul style="list-style-type: none"> • Entstehung von Gasen (z. B. H_2S, CH_4) 	<ul style="list-style-type: none"> • Reaktionen der Gase mit dem Ausbaumaterial • Entweichen der Gase 	<ul style="list-style-type: none"> • Zersetzung des Ausbaumaterials • Bildung von explosiven Gasgemischen in Hohlräumen
<ul style="list-style-type: none"> • Veränderung der physikochemischen Parameter (pH (s. o.), Redoxpotential, Sauerstoffgehalt) 	<ul style="list-style-type: none"> • Grundwasser weist Beton- oder Stahlaggressivität auf: Reaktionen mit anderen Materialien 	<ul style="list-style-type: none"> • Zersetzung von Ausbaumaterial mit der Folge von Verbrüchen • Zersetzung von Gebäuden und Leitungen im Bereich des Grundwassers • Mineralisierung des Grundwassers, Schwermetallfracht

1.6.1.3 Veränderungen der Tragfähigkeit und Volumenschwund des Grubenausbaus

Der Grubenausbau hat die Funktion, die Sicherheit und Gebrauchsfähigkeit offener bergbaulicher Hohlräume insbesondere während der Betriebsphase zu gewährleisten.

Die Wahl der Ausbautart richtet sich neben betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten vor allem nach den Mächtigkeiten, den mechanischen Eigenschaften und den Lagerungsverhältnissen der Gesteine, der Wasserführung, der Lage und Entfernung des Grubenbaus zu anderen Grubenbauen, der Teufe des Grubenbaus, dem Querschnitt, dem Zweck und damit nach der erforderlichen Lebens-

Tab. 1.5 Gebräuchliche Ausbaumaterialien in den verschiedenen Bergbauzweigen.

Bergbauzweig/Ausbaumaterial	Steinkohle	Braunkohle	Erz	Salz	Steine/Erden
Holz	×	×	×	×	×
Stahl/Gusseisen/Gussstahl	⊗	○	⊗	⊗	×
Beton	⊗		×		
Mauerwerk	×	×	×	×	×
Mischformen Stahl/Holz	×		×		
Ohne Ausbaumaterial		○	×	×	×

× gebräuchlich, ⊗ in großen Teufen bzw. bei hohen Gebirgsdrücken, ○ weniger gebräuchliche Ausbaumaterialien, meist in Strecken oder Füllrörtern.

dauer des betreffenden Grubenbaus sowie nach dem Ausmaß und der Art des zu erwartenden Gebirgsdruckes unter Berücksichtigung des geplanten Abbaus.

Als Folgewirkung der Mechanisierung der Gewinnungs- und Fördertechnik ist eine Entwicklung der Ausbautechnik eingetreten, die auch Auswirkungen auf die Beständigkeit gegenüber unterschiedlichen Einflüssen hat. Auch die allgemeinen bergbautechnischen, wirtschaftlichen und geologischen Bedingungen haben über die verschiedenen Bergbauepochen zu Unterschieden in der Ausbautechnik hinsichtlich Material und Konstruktion sowie damit zwangsläufig zu zeitabhängigen Beeinträchtigungen des Tragwiderstandes geführt. In der Tab. 1.5 sind die gebräuchlichen Ausbaumaterialien in den verschiedenen Bergbauzweigen dargestellt.

Die Reduzierung der Tragwirkung von Ausbaumaterialien kann durch folgende Einflüsse hervorgerufen werden:

- Physikalisch-chemische Bedingungen (z. B. Temperaturänderungen, Korrosion)
- Biologische Eigenschaften und Voraussetzungen (Fäulnis und Pilzbefall)

In der Tab. 1.6 sind die grundsätzlichen Einflüsse auf das Tragverhalten unterschiedlicher Ausbaumaterialien dargestellt.

1.6.2 Altbergbau bedingte Erscheinungsbilder an der Tagesoberfläche

Die Beeinträchtigung der Tagesoberfläche durch Altbergbaurelikte dokumentiert sich in sehr differenzierten Erscheinungsbildern. Neben ungesicherten Tagesöffnungen sind vor allem Bruch- und Deformationsprozesse von Bedeutung (vgl. Abschn. 1.6.1), die sich bis zur Tagesoberfläche durchsetzen. Geomechanisch unterschiedliche Ursachen des Bruchverlaufes können zu vergleichbaren Schadensbildern an der Tagesoberfläche führen. Diese Mehrdeutigkeit erschwert die Ursachenermittlung. Dies trifft insbesondere für Erdfälle als Folge des Verbruches von natürlichen Hohlräumen und für Tagesbrüche als Ergebnis eines Bruchereignisses über bergmännisch aufgefahrenen Hohlräumen sowie für Schachtverbrüche zu.

Tab. 1.6 Einflüsse auf die Tragfähigkeit des untertägigen Ausbaus.

Einfluss/Ausbauart	Gebirgsdruck, Teufe	Wasser, Feuchtigkeit, geflutet	teilgeflutet	Einfluss – chemisch pH-Wert	Einfluss – biologisch Pilz usw.
Holz	×		×		×
Stahl/Gusseisen/Gussstahl	×	•	•	×	
Beton	×	•		×	
Mauerwerk	×	•		•	
Mischformen	×	•	•	×	•
Selbsttragend	×				

× starker Einfluss/Auswirkungen, • mäßiger Einfluss/Auswirkungen.

In der Tab. 1.7 sind die charakteristischen Auswirkungen durch Altbergbau an der Tagesoberfläche aufgeführt.

Für die Beschreibung von Teufenbereichen mit unterschiedlichen Folgewirkungen des Bergbaus auf die Tagesoberfläche existieren lediglich qualitative Zuordnungen wie „tagesnaher“, „oberflächennaher“ und „tiefer liegender“ Bergbau. Diese Begriffe sind nicht durch eindeutige Teufenbereiche definiert. Unmittelbare Auswirkungen auf die Tagesoberfläche sind daraus nicht ableitbar.

1.6.3 Geotechnische und messtechnische Verfahren mit Anwendungsbereichen

Zur Untersuchung, messtechnischen Erfassung und Überwachung von über- und untertägigen Altbergbauereikten können zur dreidimensionalen Bestimmung die bekannten Verfahren der Vermessungstechnik, wie vor allem GPS sowie DGPS (Anschluss an das Landesnetz) und elektronische Tachymetrie verwendet werden. Verfahren der Photogrammetrie wie Luftbildphotogrammetrie und Nahbereichsphotogrammetrie (Stereophotogrammetrie, Konvergenzphotogrammetrie) sind ebenfalls einsetzbar.

In begehbaren Hohlräumen sind die bekannten geotechnischen und markscheiderisch-geodätischen Messverfahren zur Untersuchung und Überwachung der Verformungen nutzbar.

Als wichtige Verfahren sind zu nennen:

- Lage- und Höhenvermessung
- Konvergenzmessung
- Extensometermessung
- Neigungsmessung
- Fugenmessverfahren
- Spannungsmessung
- Hohlraumscannermessung

Tab. 1.7 Charakteristische Auswirkungen durch Altbergbau an der Tagesoberfläche.

Erscheinungsbild	Erläuterungen ^{a)}
Offener Abbau und Schacht, Stollen und Strecke	Durchgebauter oder tagebauartiger Grubenbau der unterschiedlichsten Art und Größe Unverfüllte abgedeckte, nur teilverfüllte oder offene Schächte Offene horizontale Tageszugänge
Tagesbruch	Verbruch des natürlichen Deckgebirges über bergmännisch hergestelltem Hohlraum
Schachtverbruch	Meist plötzliches Abgehen von Versatz- oder Verbruchmassen sowie Abbühnungen in Schächten oder Verbruch durch Versagen des Ausbaus. An der Tagesoberfläche bildet sich meist eine trichterförmige Bruchform, oder es zeichnet sich die Kontur des Schachtes ab.
Mundlochverbruch	Verschluss von horizontalen Tageszugängen durch Deformationen und Verbrüche von Ausbau und Deckgebirge
Bohrlochverbruch	Versagen der Bohrlochwandung, Materialaufnahme des Bohrloches aus dem anstehenden Gebirge, insbesondere aus dem Bereich des Bohrlochkopfes mit meist trichterartiger Bruchform an der Tagesoberfläche
Riss- und Spaltenbildung	Bruchartige Geländeverschiebungen am Rand von Deformationszonen und Verbrüchen mit horizontalen und vertikalen Bewegungsanteilen einschließlich Abtreppungen
Senkung/Hebung	Vertikale Geländedeformation über verbrochenem oder verbrochenem Hohlraum; in deren Folge kommt es zu Schief-lagen 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 Wasseraustritt	Relative horizontale Längenänderungen Vernässung, Veränderung des Grundwassers, schwallartiger Wasseraustritt, Standwasserbildung, Verockerung, Verschlam-mung, Aktivierung von Karstprozessen, Versalzung, sonstige Kontaminationen
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 Holzbaus) Ursachen

a) Definitionen siehe DIN 21917, Teil 1.

Deformationen an der Tagesoberfläche (Senkungen, Risse etc.) infolge von Hohlraumveränderungen lassen sich mittels geodätischer und photogrammetri-scher und anderer fernerkundlicher Verfahren beobachten.

Zur Untersuchung von nicht begehbaren Hohlräumen eignen sich nachfolgen-de Verfahren:

- direkte Verfahren: bergmännische Aufschlüsse, Schürfe, Bohrungen, Ramm-kernsondierungen;

16 | 1 Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“

- indirekte Verfahren: Rammsondierungen, geophysikalische Verfahren;
- Sonderverfahren: Foto- und Fernsehsonde, Tracer, Wetter- und Wassermessungen.

Das häufigste direkte Verfahren sind Bohraufschlüsse. In der Praxis haben sich Kombinationen von verschiedenen Verfahren als effektiv erwiesen.

1.6.4 Verfahren zur Beurteilung und Prognose von Tagesbrüchen

Das Auftreten von Tagesbrüchen und deren Größenordnungen können nach empirischen, analytischen und numerischen Modellen abgeschätzt werden.

Empirische Modelle basieren auf der statistischen Auswertung bereits eingetretener Tagesbrüche, woraus sich statistisch gesicherte Regeln und Formeln aus diesen Daten ableiten lassen. So lassen sich z. B. Tagesbruchereignisse des Braunkohlentiefbaus durch empirische Formeln zu den Größen „relative Bruchwahrscheinlichkeit an der Tagesoberfläche“, „Bruchzeit“, „Durchmesser“ und „Bruchabstand“ quantifizieren.

Auf der Grundlage von geometrischen, geomechanischen und ingenieurgeologischen Parametern werden analytische Modelle aufgestellt. Dabei werden geometrisch-ingenieurgeologische Modelle (z. B. Hohlraum-Bruchmassen-Bilanz-Modell) oder geomechanische Modelle (Bruchgewölbemodell, Kräftegleichgewichtsmodell) unterschieden. Die Rechenansätze erlauben dabei, für Hohlräume im Locker- und Festgestein eine Tagesbruch(eintritts)wahrscheinlichkeit abzugrenzen und für eine praxisorientierte Risikoabschätzung zu verwenden.

Unter Ausnutzung der Rechentechnik wurden numerische Programmsysteme entwickelt, die verschiedene Problemstellungen zum Tagesbruchgeschehen simulieren. Für solche numerischen Ansätze werden die Finite-Elemente-Methode (FEM), die Finite-Körper-Methode (FKM) und die Finite-Differenzen-Methode (FDM) eingesetzt.

In einem Komplexmodell werden Lockermassendeckschichten im Braunkohlentiefbau bzw. deren Bruchbereiche nach verschiedenen Bruch- und Fließverhalten unterschieden. Über ein verfügbares Formelsystem sind Prognosen zum zu erwartenden Durchmesser und Volumen eines Tagesbruches möglich.

1.6.5 Risikoanalyse und -bewertung

Im Rahmen der geotechnisch-markscheiderischen Untersuchung und Bewertung werden auf der Basis des jeweiligen Kenntnisstandes die möglichen Einwirkungsbereiche des Altbergbaus festgelegt. Abschließend ist für diese Bereiche eine Risikoanalyse und -bewertung durchzuführen.

Im wissenschaftlich-technischen Bereich ist das Risiko eines „unerwünschten Ereignisses“ definiert als das Produkt aus der Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Schadensausmaß des Ereignisses.

$$\text{Risiko } (R_i) = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit } (E_i) \times \text{Schadensausmaß } (S_i) \text{ eines unerwünschten Ereignisses} \quad (1.1)$$

Ein Zustand kann entsprechend der o. a. Definition des Risikos auch dann ein hohes Risiko besitzen, falls nur einer der beiden Faktoren (Eintrittswahrscheinlichkeit oder Schadensausmaß) einen hohen Wert annimmt. Innerhalb eines Altbergbau bedingten Einwirkungsbereiches lässt sich ein risikofreier Zustand nicht erreichen, da sich in der Realität eine Eintrittswahrscheinlichkeit von null oder ein Schadensausmaß von null nicht erzielen lässt. Vom risikofreien Zustand ist daher der als sicher zu bewertende Zustand abzugrenzen. Als sicher wird ein Zustand bezeichnet, wenn alle bestehenden Risiken unter einem vertretbaren Risiko (Grenzrisiko) liegen. Die Abb. 1.2 stellt den Zusammenhang zwischen den Begriffen „Restrisiko“, „Grenzrisiko“, „sicher“ und „unsicher“ dar.

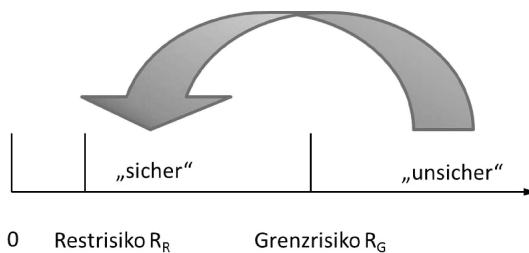


Abb. 1.2 Zusammenhang zwischen Restrisiko und Grenzrisiko.

Ziel der Risikoanalyse und -bewertung ist es, die von einem Altbergbau bedingten Einwirkungsbereich ausgehenden Risiken zu quantifizieren und in Bezug auf definierte Grenzrisiken zu bewerten.

Bei der Durchführung der Risikoanalyse und -bewertung empfiehlt sich folgende grundsätzliche Vorgehensweise:

- Identifikation der möglichen „unerwünschten Ereignisse“ (Schadens- und ggf. Gefahrenquellen);
- Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeiten für die „unerwünschten Ereignisse“ (Wirksamwerden der Schadens- und ggf. Gefahrenquellen);
- Ermittlung der zu erwartenden Schadensausmaße;
- Ermittlung und Bewertung der Risiken.

1.6.5.1 Identifikation der möglichen „unerwünschten Ereignisse“ (Schadens- und ggf. Gefahrenquellen)

Zur Identifikation der möglichen „unerwünschten Ereignisse“ bieten sich grundsätzlich zwei Vorgehensweisen an. Bei der induktiven (prognostizierenden) Vorgehensweise wird von einem ursächlichen Ereignis auf die Auswirkungen (Schäden) geschlossen. Bei der deduktiven (retrospektivischen) Vorgehensweise wird hingegen von einer Auswirkung (Schaden) auf das oder die zu Grunde liegende(n) ursächliche(n) Ereignis(se) geschlossen. Wegen der Mehrdeutigkeit der deduktiven Vorgehensweise und der leichteren (eindeutigeren) Handhabbarkeit haben sich im technischen Bereich induktive Verfahren weitgehend durchgesetzt.

Die Identifikation der aus dem Altbergbau herrührenden „unerwünschten“ Ereignisse (Schadens- und ggf. Gefahrenquellen) ist auf Grund der vorliegenden Erfahrungswerte mit hinreichender Genauigkeit möglich. Zu den typischen „unerwünschten“ Ereignissen zählen u. a. (vgl. Tab. 1.7):

18 | 1 Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“

- Tagesbrüche, Bohrloch-, Schacht- und Mundlochverbrüche;
- Deformationen an der Tagesoberfläche wie z. B. Setzungen, Senkungen, Spaltenbildungen;
- unkontrollierte Austritte von Grubenwässern;
- Grubengasaustritte.

1.6.5.2 Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeiten „unerwünschter Ereignisse“

Die Ermittlung absoluter Eintrittswahrscheinlichkeiten Altbergbau bedingter „unerwünschter Ereignisse“ im Sinne einer konkreten Zeitangabe ist nicht möglich. Zum einen fehlen entsprechende numerische Verfahren und meist auch örtliche geotechnische Parameter, um z. B. den Zeitpunkt des Versagens von Hangendschichten oberhalb bergmännischer Hohlräume zu prognostizieren, zum anderen wird es auch künftig schwierig sein, lokale Erfahrungswerte in der Fläche bzw. im Raum anzuwenden. Daher kommt zunächst nur eine Ermittlung relativer Eintrittswahrscheinlichkeiten auf der Basis halbquantitativer Verfahren in Betracht. Hierbei ist neben der Art der Ereignisse auch deren Ursache (z. B. konvergierende tagesnahe Hohlräume, bergbaubedingte Auflockerungszonen, nicht dauerstandsicher verfüllte Schächte oder Stollen) wertend zu berücksichtigen.

Beispielsweise ließen sich Eintrittswahrscheinlichkeiten wie folgt kategorisieren:

- sehr wahrscheinlich
- wahrscheinlich
- wenig wahrscheinlich
- praktisch unmöglich

Die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit erfolgt für jedes identifizierte Ereignis (vgl. Abschn. 1.6.5.1).

Es ist davon auszugehen, dass sich die subjektiven Vorstellungen jedes Einzelnen in Bezug auf die o. a. Kategorien voneinander unterscheiden werden, sodass im Vorfeld der Risikoanalyse und -bewertung eine Normierung der Kategorien erforderlich ist, z. B. auf der Basis noch zu entwickelnder Prognoseverfahren.

1.6.5.3 Ermittlung der zu erwartenden Schadensausmaße

Eine exakte Quantifizierung der Schadensausmaße beim Eintritt der wie vorher beschriebenen Ereignisse ist ähnlich schwierig, wie die Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeiten. Zudem müsste zwischen Personen-, Sach- und Umweltschäden differenziert werden. Um bei der Durchführung einer Risikoanalyse den Aufwand in Grenzen zu halten, bietet sich auch hier die Verwendung einer halbquantitativen Skala an. Das Schadensausmaß ließe sich beispielsweise wie folgt kategorisieren:

- sehr hoch
- hoch
- klein
- unbedeutend

Die Ermittlung des Schadensausmaßes erfolgt – analog zur Eintrittswahrscheinlichkeit – für jedes identifizierte „unerwünschte Ereignis“. Unter Berücksichtigung der Nutzung der Tagesoberfläche, d. h. unter Einbeziehung der möglichen Schadensarten (Personen-, Sach-, Umweltschäden), ist es erforderlich, im Vorfeld der Risikoanalyse und -bewertung die o. a. Kategorien zu normieren, um auch hier subjektive Vorstellungen in Bezug auf die verschiedenen Kategorien möglichst auszuschließen.

1.6.5.4 Ermittlung und Bewertung der Risiken

Für alle identifizierten „unerwünschten Ereignisse“ sind auf Basis der verbal quantifizierten Eintrittswahrscheinlichkeiten und der jeweiligen Schadensausmaße nach Gl. (1.1) die Risiken zu ermitteln. Im Rahmen der anschließenden Risikobewertung ist zunächst zu prüfen, ob die im Rahmen der Risikoanalyse ermittelten Risiken R_i unter einem vertretbaren Grenzkrisiko R_G (schwarze dicke Linie) liegen (Abb. 1.3). Die Risikobewertung lässt sich grafisch durch Kennzeichnung der Risiken R_i in einer Risikomatrix veranschaulichen.

Nach dem in der Abb. 1.3 beispielhaft dargestellten Grenzkrisiko R_G dürfen unbedeutende Schadensausmaße sehr wahrscheinlich, sehr hohe Schadensausmaße praktisch unmöglich auftreten. Das Risiko nimmt dabei von der Risikoklasse I bis hin zur Risikoklasse IV stetig ab.

Liegen alle n Risiken der n identifizierten „unerwünschten Ereignisse“ unter dem Grenzkrisiko R_G , so ist die Sicherheit der Tagesoberfläche anzunehmen. Es verbleibt lediglich das nicht ausschaltbare Restrisiko (vgl. Abb. 1.2). Liegen hingegen Risiken der identifizierten Ereignisse über dem Grenzkrisiko R_G , so ist der Zustand der Tagesoberfläche als unsicher einzustufen. In diesem Fall werden durch die Ergreifung geeigneter Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen die Eintrittswahrscheinlichkeit und/oder das Schadensausmaß dieser Risiken so weit abgesenkt, bis für alle Risiken $R_i < R_G$ gilt (vgl. Abb. 1.3).

Leider existieren für die Risikobewertung nur selten klare Vorgaben in Bezug auf die Festlegung des Grenzkrisikos. Dieses ist von einer Vielzahl verschiedener Faktoren abhängig. Beispielhaft zu nennen wären dazu geltende Rechtsvor-

↑ Eintrittswahrscheinlichkeit	sehr wahrscheinlich	IV	III	II	I	$R_i > R_G$
	wahrscheinlich	IV	IV	III	II	
	wenig wahrscheinlich	IV	IV	IV	III	R_G
	praktisch unmöglich	IV	IV	IV	IV	$R_i < R_G$
		unbedeutend	klein	hoch	sehr hoch	
	Schadensausmaß →					

Abb. 1.3 Abhängigkeit des Risikos von der Eintrittswahrscheinlichkeit und vom Schadensausmaß.

20 | 1 Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“

schriften und Verwaltungsanweisungen, die Akzeptanz der Bevölkerung, welche sich häufig in politischen Vorgaben widerspiegelt, die individuellen Vorgaben des Auftragsgebers einer Risikoanalyse und -bewertung oder die Höhe der für die Gefahrenabwehr zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel. Auf Grund dieses Sachverhaltes sind eine allgemein gültige Definition des Grenzrisikos und die starre Definition von Risikoklassen nicht möglich bzw. nicht sinnvoll. Diese sind von dem mit der Bewertung beauftragten Bearbeiter einzelfallbezogen zu entwickeln und zu dokumentieren.

In der Tab. 1.8 ist ein gebräuchliches Beispiel für die Ausgliederung von Risikoklassen für bergmännisch hergestellte Hohlräume aufgeführt. Bei Grenzfällen ist grundsätzlich die höhere Risikoklasse zu vergeben.

Da sich die Eintrittswahrscheinlichkeit „unerwünschter Ereignisse“, das mögliche Schadensausmaß und die Definition des Grenzrisikos über die Zeit verändern können (z. B. Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit durch fortschreitende Bruchvorgänge, Veränderung des möglichen Schadensausmaßes durch Änderung der Nutzung der Tagesoberfläche, Veränderung des Grenzrisikos infolge neuer Rechtsvorschriften), spiegelt das Ergebnis der Risikoanalyse und -bewertung das jeweilige Risiko zu einem bestimmten Zeitpunkt und für einen jeweils bestimmten Zeitraum wider. Daher ist es erforderlich, Altbergbau bedingte Einwirkungsbereiche einer wiederkehrenden Analyse und Bewertung zu unterziehen, bis die identifizierten „unerwünschten Ereignisse“ nach der Durchführung entsprechender Sanierungsmaßnahmen nicht mehr eintreten können.

Der Anschaulichkeit halber sollte das Ergebnis der Risikoanalyse und -bewertung in Karten dargestellt werden, da es sich bei den identifizierten „unerwünschten Ereignissen“, den Eintrittswahrscheinlichkeiten, den Schadensausmaßen und damit den Risiken um raumbezogene Informationen handelt. Als Darstellungsinhalt kommen je nach Betrachtungsschwerpunkt z. B. in Frage:

- Bereiche an der Tagesoberfläche, auf die das jeweils gleiche „unerwünschte Ereignis“ einwirken kann;
- Bereiche an der Tagesoberfläche, die für jeweils bestimmte „unerwünschte Ereignisse“ dieselbe Eintrittswahrscheinlichkeit aufweisen;
- Bereiche an der Tagesoberfläche, die dasselbe Schadensmaß aufweisen (mit und ohne Ereignisdifferenzierung);
- Bereiche, die demselben Risiko unterliegen (mit und ohne Ereignisdifferenzierung).

Die Ausgliederung von differenzierten Risikoabschnitten des Altbergbaus bildet die Grundlage für die Erarbeitung von konkreten Empfehlungen zu ggf. erforderlichen weiteren Untersuchungen, häufig in Kombination mit dauerhaften Sicherungs- oder Verwahrungsmaßnahmen oder zu Nutzungseinschränkungen an der Tagesoberfläche. Zugleich unterstützt die differenzierte Ausgliederung von punktuellen, linearen und flächigen Altbergbau bedingten Einwirkungsbereichen die zeitliche Planung durchzuführender Maßnahmen (Aufstellung von Prioritätenlisten) oder bildet die Grundlage für Entscheidungen möglicher Nachnutzungen.

Tab. 1.8 Bewertungsbeispiel der Risikoklassen über bergmännisch hergestellte Hohlräume.

Risiko- klasse (farbige Kenn- zeich- nung)	Geotechnisch-mark- scheiderisches Schadensbild	Vorhandene Nutzung der Tagesoberfläche	Einschätzung der Dauerstandsicherheit	Empfohlene Maßnah- men
I (rot)	<ul style="list-style-type: none"> • Tagesbruch, Bohrloch-, Schacht- und Mundlochverbruch • Größere Deformation an der Tagesoberfläche, z. B. Spaltenbildung, Senkung • Offene, ungesicherte Tagesöffnung • Akuter Wasserschaden (z. B. Standwasserbildung im Stollen, Wasseranstieg) • Aktiver untertägiger Verbruchprozess 	<ul style="list-style-type: none"> • Unmittelbare Überbauung, Bereiche mit erhöhter statischer und dynamischer Belastung • Flächen mit intensiver land- und forstwirtschaftlicher sowie gärtnerischer Nutzung • Verkehrswege • Stark frequentierte öffentliche Bereiche 	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr geringe und geringe Dauerstandfestigkeit des Gebirges • Akute Tagesbruchgefährdung • Akute Gefährdung der öffentlichen Sicherheit 	<ul style="list-style-type: none"> • Sofortsicherung umgehend erforderlich • Dringender Handlungsbedarf für dauerhafte Sicherungsmaßnahmen oder Sanierungsarbeiten • Nutzungseinschränkung oder Sperrung der Tagesoberfläche notwendig
II (gelb)	<ul style="list-style-type: none"> • Tagesbruch, Bohrloch-, Schacht- und Mundlochverbruch • Größere Deformation an der Tagesoberfläche, z. B. Spaltenbildung, Senkung • Offene, erstgesicherte Tagesöffnung • Wasserschaden (z. B. Standwasserbildung im Stollen, Wasseranstieg) • Aktiver untertägiger Verbruchprozess • Nicht dauerstandsicher verfüllte oder teilverfüllte Schächte • Unsicher abgebühnte nicht- oder teilverfüllte Schächte 	<ul style="list-style-type: none"> • Bebauungsgebiete, jedoch keine direkte Bebauung bzw. in deren unmittelbarem Einflussbereich • Land- und forstwirtschaftliche Flächen • Gering frequentierte öffentliche Bereiche 	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr geringe und geringe Dauerstandfestigkeit des Gebirges • Hohe Tagesbruchgefährdung (zulässige Grenzdeckgebirgsmächtigkeit wird deutlich überschritten) • Hohe Gefährdung der öffentlichen Sicherheit 	<ul style="list-style-type: none"> • Sofortsicherung umgehend erforderlich • Handlungsbedarf für dauerhafte Sicherungsmaßnahmen oder Sanierungsarbeiten • Nutzungseinschränkung oder Sperrung der Tagesoberfläche notwendig

22 | 1 Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“

Tab. 1.8 Bewertungsbeispiel der Risikoklassen über bergmännisch hergestellte Hohlräume (fortgesetzt).

Risiko- klasse (farbige Kenn- zeich- nung)	Geotechnisch-mark- scheiderisches Schadensbild	Vorhandene Nutzung der Tagesoberfläche	Einschätzung der Dauerstandsicherheit	Empfohlene Maßnah- men
III (grün)	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilisierte, ältere Pingen-, Verbruch- und Deformationszonen an der Tagesoberfläche • Dauerhaft gesicherte Tagesöffnung • Tages- und oberflächennahe Grubenbaue • Keine oder nur geringfügige Gebirgsauflockerung an der Hohlraumkontur • Geringfügig deformierter Ausbau oder Schachtdeformation, jedoch funktionsfähig 	<ul style="list-style-type: none"> • Randlage von Bauungen, jedoch außerhalb deren unmittelbarer Nutzung • Land- und forstwirtschaftliche Flächen 	<ul style="list-style-type: none"> • Mittel- und langfristige Schwächung der Dauerstandfestigkeit gegeben • Tagesbrüche und/oder Deformationen sind nicht unmittelbar zu erwarten • Grubenbaue (Grenzdeckgebirgsmächtigkeit wird unterschritten) 	<ul style="list-style-type: none"> • Periodische Kontrollen werden empfohlen (monatlich bis jährlich) • Mittel- und langfristig sind Untersuchungs- und Sanierungsarbeiten vorzusehen
IV (blau)	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Verbrüche und Deformationen an der Tagesoberfläche • Dauerhaft gesicherte Tagesöffnung • Kontrollfähiger Wasserabfluss • Keine First- und Stoßausbrüche (Absandungen möglich) • Keine Schachtdeformation • Ausbau ist ausreichend dimensioniert und dauerhaft funktionsfähig 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Nutzungseinschränkungen für Tagesoberfläche und Hohlraum 	<ul style="list-style-type: none"> • Dauerstandsicherheit des Hohlraumes gegeben • Zulässiger Wert für die Grenzdeckgebirgsmächtigkeit wird unterschritten 	<ul style="list-style-type: none"> • Periodische Kontrollen in größeren Intervallen werden in Einzelfällen empfohlen

1.7 Mustergliederung für eine geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung

Im Zusammenhang mit Altbergbau bedingten Einwirkungen auf die Tagesoberfläche ergibt sich als Grundlage der Risikoabschätzung unter Beachtung der reierspezifischen und standortabhängigen Besonderheiten folgende Mustergliederung:

- 1 Inhaltsverzeichnis
- 2 Veranlassung
(Aufgabenstellung, Zielsetzung, Auftraggeber)
- 3 Verwendete Unterlagen und ihre Wertigkeit
(Risse, Karten, Pläne, Akten u. a.)
- 4 Lage des Untersuchungsbereiches
(geografische Lage, Morphologie, Nutzung, Bebauung)
- 5 Geologische und lagerstättenkundliche Situation
(Regionalgeologie, Stratigrafie, Lithologie, Tektonik, Lagerstättenausbildung)
- 6 Ingenieur- und hydrogeologische Situation
(Eigenschaften des Deckgebirges und Nebengesteins, Grundwasser und Grubenwasser, Chemismus, Auslaugungsprozesse)
- 7 Bergbauhistorischer Abriss
(zeitliche Abfolge des Bergbaus, Beschreibung der angewandten Abbau- und Versatzverfahren einschließlich der technischen Entwicklung, bergbauliche Eigentumsverhältnisse, Nachnutzung von Grubenbauen)
- 8 Bekannte Schadensabfolge und durchgeführte Sicherungs- sowie Verwahrungsmaßnahmen
- 9 Verfügbare Voruntersuchungen
(bereits durchgeführte Untersuchungen und Bewertungen insbesondere zur Standfestigkeit des Altbergbaus)
- 10 Messungen und Untersuchungen
 - 10.1 Vermessungen
(Mess- und Auswerteverfahren, Anschluss- und Festpunkte u. a.)
 - 10.2 Geotechnische Untersuchungen
(direkte, indirekte Methoden und Sonderverfahren, Laboruntersuchungen, geotechnische Kennwertbestimmungen, Wetter- und Wassermessungen)
 - 10.3 Beschreibung der Einwirkungsbereiche
(mit Angaben zum Wasser- und Wetterregime)
- 11 Risikoanalyse und -bewertung
(Beschreibung des Analyse- und Bewertungsverfahrens sowie des Grenrisikos, Kategorisierung der Eintrittswahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes, Prognose der Eintrittswahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes, Klassifizierung und Wertung der Einwirkungsbereiche, Angaben zur Zuverlässigkeit der Risikoanalyse und -bewertung)

24 | 1 Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“

- 12 Empfehlungen zur Durchführung von Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen (mit Grobkostenschätzung)
- 13 Zusammenfassung
- 14 Anlagenverzeichnis
Anlagen
(verwendete Unterlagen, rissliche Darstellungen, Dokumentationen, Berechnungen, Laboruntersuchungen, Fotodokumentation)

Anmerkung: Die vorliegende Mustergliederung ist für spezielle Aufgabenstellungen (z. B. Ausgasungen und Wasserwegigkeiten) sinngemäß anzupassen.

1.8 Literaturhinweise

Auf ein detailliertes Literaturverzeichnis wurde im Rahmen der Empfehlungserarbeitung verzichtet. Als weiterführende Literatur werden insbesondere die Tagungsbände der Altbergbau-Kolloquien empfohlen.

Liste der Autoren der Empfehlung (Endfassung)

Prof. Dr.-Ing. W. Busch
Prof. Dr.-Ing. J. Fenk
Dr.-Ing. M. Heitfeld
Dipl.-Ing. G. Jost
Prof. Dr.-Ing. H. Klapperich
Dr. M. Lobin
Dr.-Ing. K.-H. Löbel
Dr.-Ing. habil. G. Meier (Obmann des Arbeitskreises)
Dipl.-Ing. H. Michaely
Dipl.-Ing. S. Paul
Doz. Dr.-Ing. T. Scheytt
Dr.-Ing. J. Skrzypppek
Prof. Dr.-Ing. habil. A. Sroka
Dipl.-Geol. Ch. Starke
Dipl.-Geol. D. Tondera
Dipl.-Ing. C. Wedekind
Dipl.-Ing. A. Welz
Dipl.-Ing. E. Wildhagen