

Empfehlung

„Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“ *

des Arbeitskreises 4.6 der Fachsektion Ingenieurgeologie der DGGT e. V.

ZUSAMMENFASSUNG :

Unter dem Dach des Arbeitskreises 4.6 der Fachsektion Ingenieurgeologie der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT) haben Fachleute aus Lehr- und Forschungseinrichtungen, Fachbehörden, Ingenieurbüros sowie Bergbau- und Sanierungsunternehmen ihre vielfältigen Erfahrungen auf dem Gebiet der Erkundung und Bewertung von Altbergbau in Deutschland zusammengetragen. Ziel des Arbeitskreises war es, eine Empfehlung zu erarbeiten, welche die gegenwärtige, dem Stand der Technik entsprechende Vorgehensweise bei der Untersuchung und Bewertung von Altbergbau beschreibt. Die vorliegende Empfehlung soll vor allem Ingenieurbüros und Fachfirmen aber auch Behörden bei der Planung, Durchführung und Dokumentation geotechnisch-markscheiderischer Untersuchungen und Bewertungen von Altbergbau unterstützen.

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 1.000 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 Sicherung und/oder 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.

* Veröffentlicht in: Tagungsband 4. Altbergbau-Kolloquium, Leoben, 04. bis 06.11.2004, Anhang S. 1 - 23, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2004

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

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, ggf. erforderliche weitere Untersuchungen und daraus resultierende notwendige Sicherheits- und Sanierungsmaßnahmen.

2 Begriffe

Der Empfehlung liegen die folgenden Definitionen grundlegender 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 aufgefahrene 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 Verwahrn

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 21 913, Teil 6).

Anmerkung:

Der Begriff Verwahrn 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 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:

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 Eruiierung.

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 Abbildung 1 dargestellt.

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

- I. Allgemeingültige Erkenntnisse und Gesetzmäßigkeiten zum Altbergbau als Untersuchungs- und Bewertungsgrundlage
- II. Bergbauzweigbezogene und revierspezifische Erkenntnisse und Gesetzmäßigkeiten
- III. Örtliche und ggf. objektspezifische Erkenntnisse und Gesetzmäßigkeiten

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 Erden-Bergbau
- Kali- und Steinsalzbergbau
- Sonstige bergmännisch aufgefahrene Hohlräume

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 Abschnitt 6.5 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.

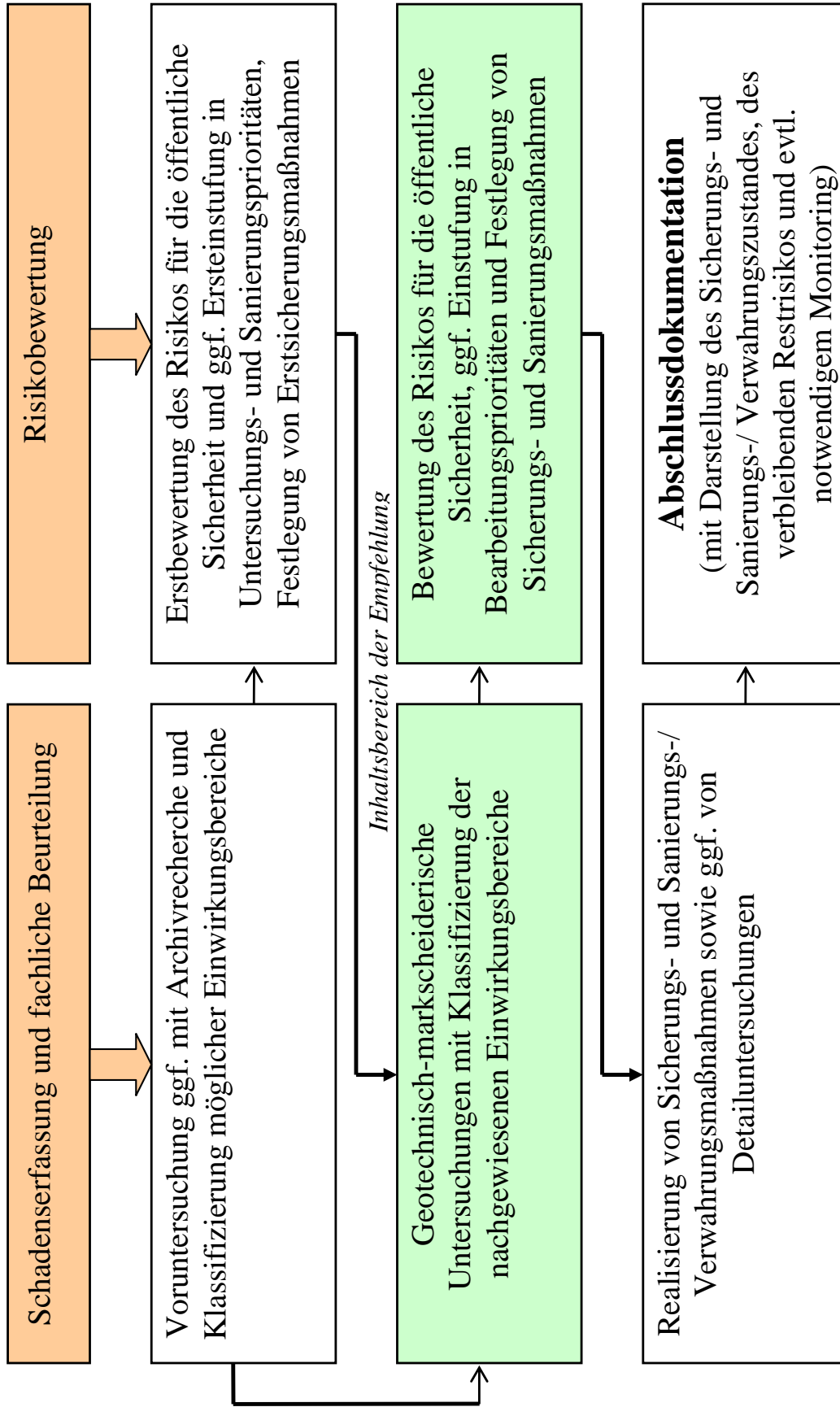


Abb. 1 : Grundlegende Schritte bei der Risikountersuchung und -bewertung sowie bei der Gefahrenabwehr in Altbergbaubereichen

- 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 Gesetzgebungskompetenz 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 Halden 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 21 901 bis DIN 21 921) 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 21 912-2 Tagebau, Teil 2: Sanierung und auf die Norm DIN 21 913-6 Tiefbau, Teil 6: Verwahrung bergmännisch hergestellter unterirdischer Hohlräume hinzuweisen.

In der Tabelle 1 sind wichtige Normen für das Bergmännische Risswerk bezüglich Altbergbau zusammengestellt.

Tab.1 : Wichtige Normen für das Bergmännische Risswerk

DIN 21 909	Bergmännisches Risswerk - Vermessungspunkte und -linien
DIN 21 912-2	Bergmännisches Risswerk - Tagebau - Teil 2: Sanierung
DIN 21 913-1	Bergmännisches Risswerk - Tiefbau - Teil 1: Grubenbaue
Beiblatt 1 zu DIN 21 913-1	Bergmännisches Risswerk - Tiefbau - Teil 1: Grubenbaue, Erläuternde Angaben
DIN 21 913-2	Bergmännisches Risswerk - Tiefbau - Teil 2: Abbau und Versatz
DIN 21 913-4	Bergmännisches Risswerk - Tiefbau - Teil 4: Gefahren- und Schutzbereiche
DIN 21 913-6	Bergmännisches Risswerk – Tiefbau – Teil 6: Verwahrung bergmännisch hergestellter Hohlräume
DIN 21 917	Bergmännisches Risswerk - Gebirgs- und Bodenbewegungen
DIN 21 920-1	Bergmännisches Risswerk - Petrographie - Teil 1: Allgemeingültige Zeichen - Sedimente
DIN 21 920-2	Bergmännisches Risswerk - Petrographie – Teil 2: Magmatite
DIN 21 920-3	Bergmännisches Risswerk - Petrographie – Teil 3: Metamorphe und sonstige Gesteinsumbildungen
DIN 21 920-4	Bergmännisches Risswerk - Petrographie - Teil 4: Minerale
DIN 21 920-5	Bergmännisches Risswerk - Petrographie – Teil5: Steinkohlenbergbau
DIN 21 920-7	Bergmännisches Risswerk - Petrographie – Teil 7: Kali- und Steinsalzbergbau
DIN 21 921	Bergmännisches Risswerk - Tektonik und Formbeschreibung von Gesteinsschichten

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

In der Regel bedarf es einer Einsichtnahme in Unterlagen, Pläne, Karten- und Rissmaterial in Archiven, bei Behörden und Bergbauunternehmen. 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 Tabelle 2 sind ohne Anspruch auf Vollständigkeit die verschiedenen Informationsquellen mit dem jeweiligen Herausgeber bzw. der Bezugsquelle aufgeführt.

Tab.2 : Zusammenstellung der Informationsquellen

	Informationsquelle	Herausgeber / Bezugsquelle
1	Karten	
1.1	<i>Landeskartenwerke</i>	
1.1.1	Topographische Karten 1:10000 / 1:25000 / 1:50000	Landesvermessungsämter
1.1.2	Deutsche Grundkarte 1:5000 DGK / TK 5 / Höhenflurkarte	Landesvermessungsämter
1.1.3	Ausgabe Staat/Volkswirtschaft (1:10000; 1:25000; 1:50000)	Landesvermessungsämter
1.2	<i>Historische Karten</i>	
1.2.1	Karten des Deutschen Reiches	Institut für angewandte Geodäsie
1.2.2	Karten der Landesuraufnahme	Verm.- und Katasterämter, Landesarchive; Stiftung Preußischer Kulturbesitz
1.2.4	Karten der einzelnen Bergbauregionen	Verzeichnis bei FABERG
1.3	<i>Katasterkarten</i>	
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	<i>Stadtpläne</i>	
1.4.1	Historische Stadtpläne	Stadtverwaltung / Stadtarchiv
1.4.2	Aktuelle Stadtpläne	Stadtverwaltung / Stadtarchiv
1.5	<i>Geologie</i>	
1.5.1	Geologisches Kartenwerk (mit Beschreibungen)	Geologische Landesämter, Geologische Dienste
1.5.2	Profile und Schnitte	Geologische Landesämter, Geologische Dienste

	Informationsquelle	Herausgeber / Bezugsquelle
1.6	<i>Bergmännisches Risswerk</i>	
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	Berechtsamkarten	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	Fotographien	Gemeinden, Heimat- bzw. Geschichtsvereine, Private

6 Geotechnisch-markscheiderische Grundlagen

6.1 Ursache-Wirkung-Beziehungen

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 "quasi-stabile" sekundäre Spannungszustand dauert meist über die Betriebsphase hinaus bis in die

Nachbetriebsphase nach Beendigung des Bergbaus hinein. 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 bruchauslösenden Hohlraums 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.

6.1.2 *Hydraulische Veränderungen*

Die geologische Situation mit den unterschiedlichen stratigraphischen 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 (Tabelle 3).

Tab.3 : Mögliche Folgen von Änderungen des Grundwasserregimes

Ursache	Reaktion	Mögliche Folgen/Wirkung (u. a. an der Tagesoberfläche)
Starke Zunahme der hydraulischen Durchlässigkeit oder des hydraulischen Gefälles in räumlich abgegrenzten Bereichen	Hohe Fließgeschwindigkeit des Grundwassers, Erhöhung des Grundwasserabflusses, Erosion, Subrosion	Änderung des Grundwasserspiegels Wasseraustritte an der Tagesoberfläche Vernässte Senkungs- und Bruchgebiete
Hydraulischer Kurzschluss zwischen vormals getrennten Grundwasserleitern	Veränderung der Grundwasserdynamik, ggf. -chemie	Erhöhung des Auftriebs unterhalb von Gebäuden; Schwächung des Baugrundes, Grundwassereintritt in Kellerräume Flutung von Altlasten Wasseraustritte aus Grubenbauen Tagesbrüche und Senkungen
	Dränage für das umgebende Gebirge	Grundwasserabsenkung Verminderung des verfügbaren Grundwasserangebots für die Trinkwassergewinnung Austrocknung

Ursache	Reaktion	Mögliche Folgen/Wirkung (u. a. an der Tagesoberfläche)
Ausspülen von Feinkorn	Änderung der Gebirgseigenschaften	Senkungen, Schiefstellungen
Erhöhung oder Verminderung des hydraulischen Drucks durch Änderung des hydraulischen Potentials	Veränderung des regionalen Grundwasserströmungsregimes Veränderung der Strömungsrichtung	Verlagerung der Entlastungsgebiete Veränderung des hydrologischen Regimes: Verminderte oder vermehrte Wasserführung von Flüssen, "Luv- und Leeseite" von Altlasten, Veränderung von Einzugsgebieten, Trinkwasserschutzzonen

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 Grundwasserbeschaffenheit (Tabelle 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.

Tab.4 : Mögliche Folgen von Änderungen der Grundwasserbeschaffenheit

Prozess	Auswirkung	Mögliche Folgen/ Wirkungen (u. a. an der Tagesoberfläche)
Wechselwirkungen zwischen Wasser und Gestein ggf. unterstützt durch eine Versauerung (z. B. H_2SO_3) der Grubenwässer, insbesondere Lösungs- und Fällungsreaktionen, Sorption, Ionenaustausch	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)	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 Tabelle 3) Entstehung salzhaltiger Grundwässer; bei Einleitung in Oberflächengewässer erhöhte Mineralisierung der Vorfluter; Entstehung von Quellen und Solquellen; Einschränkung der Grundwassernutzung durch salzhaltiges / mineralisiertes Grundwasser
Entstehung von Gasen (z. B. H_2S , CH_4)	Reaktionen der Gase mit dem Ausbaumaterial Entweichen der Gase	Zersetzung des Ausbaumaterials Bildung von explosiven Gasgemischen in Hohlräumen
Veränderung der physiko-chemischen Parameter (pH (s. o.), Redoxpotential, Sauerstoffgehalt)	Grundwasser weist Beton- oder Stahlaggressivität auf: Reaktionen mit anderen Materialien	Zersetzung von Ausbaumaterial mit der Folge von Verbrüchen Zersetzung von Gebäuden und Leitungen im Bereich des Grundwassers Mineralisierung des Grundwassers, Schwermetallfracht

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 Grubenausbaus zu anderen Grubenbauen, der Teufe des Grubenausbaus, dem Querschnitt, dem Zweck und damit nach der erforderlichen Lebensdauer des betreffenden Grubenausbaus 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 Tabelle 5 sind die gebräuchlichen Ausbautarten in den verschiedenen Bergbauzweigen dargestellt.

Tab.5 : Gebräuchliche Ausbautarten 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 Ausbautart, meist in Strecken oder Füllörter

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 Tabelle 6 sind die grundsätzlichen Einflüsse auf das Tragverhalten unterschiedlicher Ausbaumaterialien dargestellt.

Tab.6 : Einflüsse auf die Tragfähigkeit des untertägigen Ausbaus

Einfluss / Ausbauart	Gebirgsdruck, Tiefe	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

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. Abschnitt 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.

In der Tabelle 7 sind die charakteristischen Auswirkungen durch Altbergbau an der Tagesoberfläche aufgeführt.

Tab.7 : Charakteristische Auswirkungen durch Altbergbau an der Tagesoberfläche

Erscheinungsbild	Erläuterungen ¹
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

Erscheinungsbild	Erläuterungen ¹
Senkung / Hebung	Vertikale Geländedeformation über verbrochenem oder verbrechendem 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	Relative horizontale Längenänderungen
Wasseraustritt	Vernässung, Veränderung des Grundwassers, schwallartiger Wasseraustritt, Standwasserbildung, Verockerung, Verschläm 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 Holzausbaus) Ursachen

¹Definitionen siehe DIN 21 917, Teil 1

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.

6.3 **Geotechnische und messtechnische Verfahren mit Anwendungsbereichen**

Zur Untersuchung, messtechnischen Erfassung und Überwachung von über- und untertägigen Altbergbaurelikten 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
- Hohlraumscanner messung

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

Zur Untersuchung von nicht begehbaren Hohlräumen eignen sich nachfolgende Verfahren:

- Direkte Verfahren: bergmännische Aufschlüsse, Schürfe, Bohrungen, Rammkernsondierungen
- 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.

6.4 Verfahren zur Beurteilung und Prognose von Tagesbrüchen

Das Auftreten von Tagesbrüchen und deren Größenordnungen kann 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 (Bruchgewölbe-modell, 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.

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.

$$\text{Risiko (R}_i\text{)} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit (E}_i\text{)} \times \text{Schadensausmaß (S}_i\text{)} \text{ eines unerwünschten Ereignisses} \quad (1)$$

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 (Grenzzisiko) liegen. Die Abbildung 2 stellt den Zusammenhang zwischen den Begriffen „Restrisiko“, „Grenzzisiko“, „sicher“ und „unsicher“ dar.

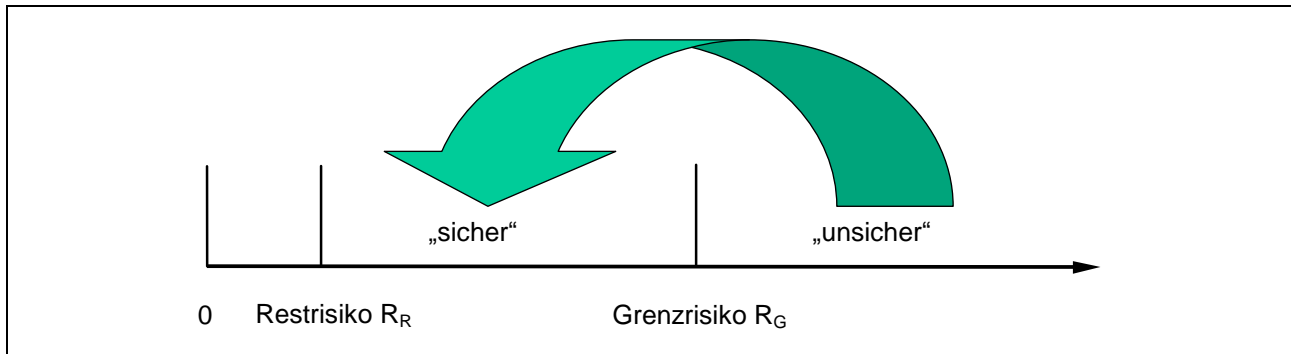


Abb.2 : Zusammenhang zwischen Restrisiko und Grenzzisiko

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

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. Tabelle 7):

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

- Grubengasaustritte

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

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

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.

Ermittlung und Bewertung der Risiken

Für alle identifizierten „unerwünschten Ereignisse“ sind auf Basis der verbal quantifizierten Eintrittswahrscheinlichkeiten und der jeweiligen Schadensausmaße nach Gleichung (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 (Abbildung 3). Die Risikobewertung lässt sich grafisch durch Kennzeichnung der Risiken R_i in einer Risikomatrix veranschaulichen.

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

Abb.3 : Abhängigkeit des Risikos von der Eintrittswahrscheinlichkeit und vom Schadensausmaß

Nach dem in der Abbildung 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. Abbildung 2). Liegen hingegen Risiken der identifizierten Ereignisse über dem Grenzkrisiko R_G , so ist der Zustand der Tagesoberfläche als unsicher einzustufen. In diesem Fall wird durch die Ergreifung geeigneter Sicherheits- und Sanierungsmaßnahmen die Eintrittswahrscheinlichkeit und/oder das Schadensausmaß dieser Risiken so weit abgesenkt, bis für alle Risiken $R_i < R_G$ gilt (vgl. Abbildung 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 Rechtsvorschriften 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 Grenzkrisikos 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 Tabelle 8 ist ein gebräuchliches Beispiel für die Ausgliederung von Risikoklassen für bergmännisch hergestellte Hohlräume aufgeführt. Bei Grenzfällen ist grundsätzlich die höhere Risikoklasse zu vergeben.

Tab.8 : Bewertungsbeispiel der Risikoklassen über bergmännisch hergestellten Hohlräumen

Risiko- klasse (farbige Kenn- zeich- nung)	Geotechnisch- markscheiderisches Schadensbild	Vorhandene Nutzung der Tagesoberfläche	Einschätzung der Dauerstandsicherheit	Empfohlene Maßnahmen
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

Risiko- klasse (farbige Kenn- zeich- nung)	Geotechnisch- markscheiderisches Schadensbild	Vorhandene Nutzung der Tagesoberfläche	Einschätzung der Dauerstandsicherheit	Empfohlene Maßnahmen
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 Bebauungen, jedoch außerhalb deren unmittelbarer Nutzung - land- und forstwirtschaftliche Flächen 	<ul style="list-style-type: none"> - mittel- und langfristig ist eine Schwächung der Dauerstandfestigkeit gegeben - Tagesbrüche oder/ und 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

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 Sicherungs-/ Verwahrungsmaßnahmen 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 Sicherungs- oder Sanierungs-/ 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.

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 revierspezifischen 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
(geographische Lage, Morphologie, Nutzung, Bebauung)
5. Geologische und lagerstättenkundliche Situation
(Regionalgeologie, Stratigraphie, 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- und Sanierungs-/ 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 Grenzrisikos, Kategorisierung der Eintrittswahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes, Prognose der Eintrittswahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes, Klassifizierung und Wertung der Einwirkungsbereiche, Angaben zur Zuverlässigkeit der Risikoanalyse und -bewertung)
12. Empfehlungen zur Durchführung von Sicherungs- und Sanierungs-/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.

8 Literaturhinweise

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

9 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. Skrzyppek

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