

Zur Vorhersage von schadensrelevanten Einwirkungen im Altbergbau*

Günter Meier

ZUSAMMENFASSUNG

Anhand von Analysen von schadensrelevanten Ereignissen im Altbergbau wird unter Verwendung von geotechnischen Betrachtungsweisen versucht, eine Antwort auf die Frage der Vorhersagbarkeit von altbergbaulich bedingten Erscheinungsbildern zu geben. Die geodynamischen Prozesse sind die Hauptagenzien für die schadensrelevanten Veränderungen an über- und untertägigen Altbergbaurelikten. Sie setzen sich aus gesetzmäßigen und zufälligen, chaotisch verlaufenden Wirkgrößen zusammen, wodurch eine langfristige, detaillierte Berechenbarkeit nicht gegeben ist. Die Unschärfe nimmt mit einer längerfristigen Vorausschau überproportional zu. Eine kurz- und mittelfristige Vorhersage lässt sich jedoch durch eine Risikobewertung bei einer ganzheitlichen Betrachtung der geodynamischen Prozesse und hinreichenden Kenntnis der geotechnisch-markscheiderischen Objektstrukturen vornehmen.

ABSTRACT

By means of analyses of the damage-relevant events in abandoned mining we attempt to find out about the predictability of its conditional appearances considering geotechnical points of view. The geodynamic processes are the main agents for the damage-relevant changes of abandoned surface and underground mining relics. They consist of dutifully and coincidental, chaotically occurring active variables. Therefore a long-term, detailed calculation isn't possible. Looking ahead, the impreciseness will increase disproportionately long term. However, a short- and medium-term forecast can be given by a risk evaluation of the geodynamical processes, all factors considered, and sufficient knowledge of the geotechnical and mine surveying object structures.

1 Problemstellung und Grundlagen

Ob als Böschungen im Locker- und Festgestein oder als tagesnahe Hohlräume mit ihren Stollenzugängen, Abbauen und Schächten können die zahlreichen Hinterlassenschaften des Altbergbaues im Über- und Untertagebereich durch ihre altbergbaulich bedingten Erscheinungsbilder ein erhebliches Schadenspotential darstellen und die öffentliche Sicherheit gefährden. Insbesondere nach Ereignissen mit Schäden an Personen, Sachwerten oder Umwelt wird immer wieder die Frage gestellt: Ist eine Vorhersage des Ereigniszeitpunktes und eine Ausgrenzung des schadensrelevanten Einwirkungsbereiches möglich?

Grundlagen für eine geotechnisch-markscheiderische Bewertung des Altbergbaues sind Definitionen und Analysen aus genetischer Sicht. Altbergbau ist die 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 (1), (2).

* Veröffentlicht in: Tagungsband 10. Altbergbau-Kolloquium, Freiberg, 04. - 06.11.2010, S. 120 - 127, VGE Verlag GmbH, Essen 2010

Die „klassische“ Bergschadenkunde kann für die geotechnisch-markscheiderischen Bewertungen im Altbergbau nicht mehr oder nur begrenzt als Grundlage herangezogen werden, da die hier ausgewiesenen Gesetzmäßigkeiten und Rechenansätze nur für den unmittelbaren Einfluss des aktiven Bergbaues auf die Tagesoberfläche zutreffen (3). Die Bruch- und Deformationsprozesse im Altbergbau folgen dagegen vorrangig Gesetzmäßigkeiten und Zusammenhängen, die durch geodynamische Prozesse ausgelöst werden und deren zeitlicher Verlauf erst nach abgeklungenen Abbaueinwirkungen beginnt (4). Im aktiven Steinkohlenbergbau wird davon ausgegangen, dass die unmittelbaren Deformationen bereits nach 3 bis 5 Jahren abgeklungen sind. Im erzgebirgischen Uranbergbau wurde sogar ein Zeitraum von bis zu 15 Jahren nachgewiesen (5). Die Elemente des Senkungstroges sind danach inaktiv. Mit einer Aktivierung dieser Elemente und vor allem aber auch der tektonischen Troganomalien ist bei einem späteren Grundwasserwiederanstieg zu rechnen (3).

Als geodynamische Prozesse werden Veränderungen der geologischen Körper und deren Eigenschaften an der Tagesoberfläche und in den oberen Gebirgsschichten bezeichnet. Sie nehmen Einfluss auf das Gebirge bezüglich der Nutzung als Baugrund und Bauraum sowie auf die natürlichen Baustoff und die Umwelt. In der Abbildung 1 sind die Bestandteile der geodynamischen Prozesse zusammengestellt.

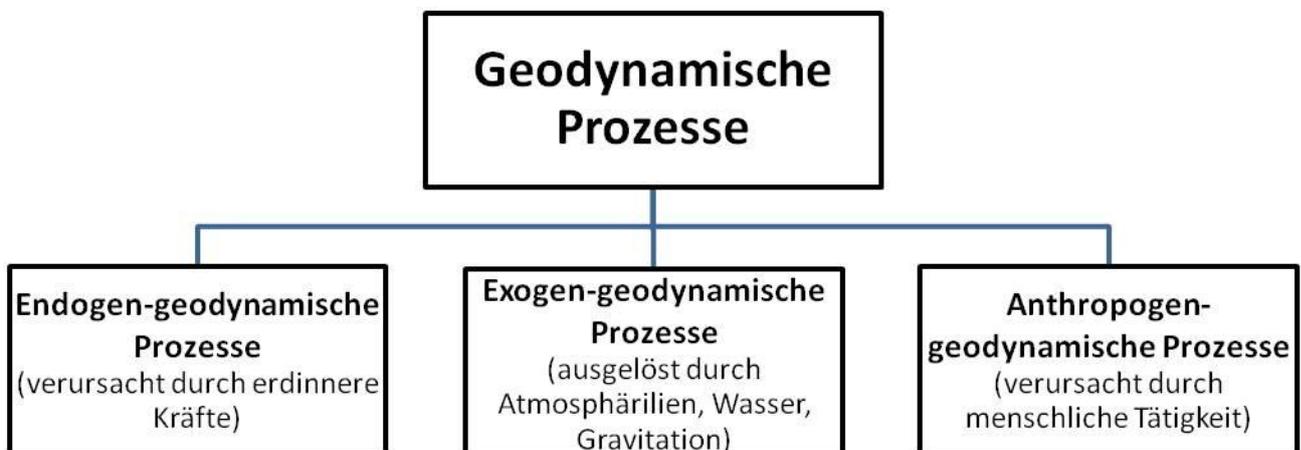


Abb.1 : Bestandteile der geodynamischen Prozesse

Die Strukturen der geodynamischen Prozesse setzen sich aus Gesetzmäßigkeiten und Zufälligkeiten zusammen. Unter den Gesetzmäßigkeiten sind beispielsweise die physikalischen Wirkungen der Schwerkraft oder die physikalisch-chemischen Stoffgesetze zu nennen. Unter den Zufälligkeiten sind chaotische Systeme zu verstehen, die auch auf Naturgesetzen beruhen, deren Verhalten zufällig und ungeordnet erscheint, da sie durch äußere Einflüsse stark überprägt werden. Sie sind in ihrer Systementwicklung langfristig nicht exakt vorhersagbar. Als das wohl bekannteste Beispiel ist hierfür das Wetter aufzuführen, das wiederum durch das Wasser und die Temperatur erheblichen Einfluss auf die Intensität geodynamischer Prozesse und damit auf das anstehende Gestein und Gebirge nimmt. An diesem Beispiel zeigt sich auch die komplexe Vernetzung und gegenseitige Beeinflussung der verschiedenen Prozessabläufe.

2 Entwicklungsphasen von altbergbaulich bedingten Erscheinungsbildern und Risikobewertungen

Altbergbaulich bedingte Erscheinungsbilder zeigen sich hauptsächlich an der Tagesoberfläche in Form von offenen Abbauen, Schächten, Stollen, Strecken, Tagesbrüchen, Schacht- und Mundlochverbrüchen, Bohrlochverbrüchen, Riss- und Spaltenbildungen, Rutschungen, Senkungen/Hebungen, Zerrungen/Pressungen, Schiefklagen, Wasser- und Gasaustritten. In vielen

Fällen stellen sie schadenswirksame Beeinträchtigungen der Tagesoberfläche mit einer Gefährdung der öffentlichen Sicherheit dar. In einem altbergbaulich beeinflussten Gebiet sind sie grundsätzlich bereits vorhanden oder zu erwarten. Insbesondere die verschiedenen Verbruch- und Deformationsprozesse hinterlassen an der Tagesoberfläche ihren schadensrelevanten Einwirkungsbereich. Deren Bewertung und flächige Umgrenzung ist eine wichtige Aufgabe bei den geotechnisch-markscheiderischen Analysen im Altbergbau, was bereits prognostischen Charakter trägt. Der Einwirkungsbereich in seiner Größe kann nur über hinreichend bekannte Erscheinungsbilder ausgewiesen werden, dem dann eine entsprechende Risikoklasse zugeordnet wird (4).

Die Entwicklungen von Deformationsprozessen laufen im Deckgebirge über Hohlräumen oder auch an Böschungen in verschiedenen Phasen vorwiegend diskontinuierlich ab. In der Tabelle 1 sind die Entwicklungsphasen unter dem Einfluss von geodynamischen Prozessen am Beispiel von Tagesbrüchen zusammengestellt.

Tab.1 : Entwicklungsphasen unter dem Einfluss von geodynamischen Prozessen am Beispiel von Tagesbrüchen

Phase	Eigenschaften
Vorphase	<ul style="list-style-type: none"> - Das Gleichgewicht zwischen Gestein, Gebirge und Hohlraum (mit und ohne Ausbau) wird durch Veränderungen der Gesteins- und Gebirgseigenschaften und der Spannungen durch geodynamische Prozesse (insbesondere unter dem Einfluss der Gravitation und Verwitterung) ungünstig verändert. - Diskontinuierliche Verbruchprozesse im Deckgebirge mit Verweilzeiten an Schichtgrenzen - Beginnende Deformationen an der Tagesoberfläche, z. B. Rissbildungen, Einsenkungen, Zerrungen, Pressungen, Schief lagen - Geräuschentwicklungen beim Verbruch können über dem Grundwasserspiegel in dem luftgefüllten Deckgebirge auftreten
Hauptphase (Durchbruchphase)	<ul style="list-style-type: none"> - Durchbruch des Verbruchschlotes nach übertage, Entstehung eines Tagesbruches → größte schadensrelevante Einwirkung auf die Tagesoberfläche, ausgelöst häufig durch Extremereignisse (z. B. extreme Niederschläge, Frost-Tau-Wechsel, Standwasserbildungen, Hochwasser) - Ausgelöst durch geodynamische Prozesse mit z. T. vollständigem Verlust der Kohäsion im Deckgebirge - Ausgelöst durch erheblicher Einwirkung von statischen oder dynamischen Auflasten (Änderung der Spannungsverhältnisse)
Nachphase	<ul style="list-style-type: none"> - Einböschten der Verbruchränder - Natürliche Entwässerung oder Abfluss des Standwassers, wodurch sich die Materialeigenschaften i. d. R. verbessern - Setzungen der Lockermassen im Verbruchschlot

Die Vor-, Haupt- und Nebenphasen weisen teils sehr unterschiedliche Zeitintervalle auf und gehen häufig ineinander fließend über. Zahlreiche innere und äußere Wirkgrößen der geodynamischen Prozesse sind innerhalb der einzelnen Phasen aktiv, woraus sich ein diskontinuierlicher Verlauf ergibt. In der Abbildung 2 ist die Einwirkung der geodynamischen Prozesse auf das Risikoregime grafisch dargestellt.

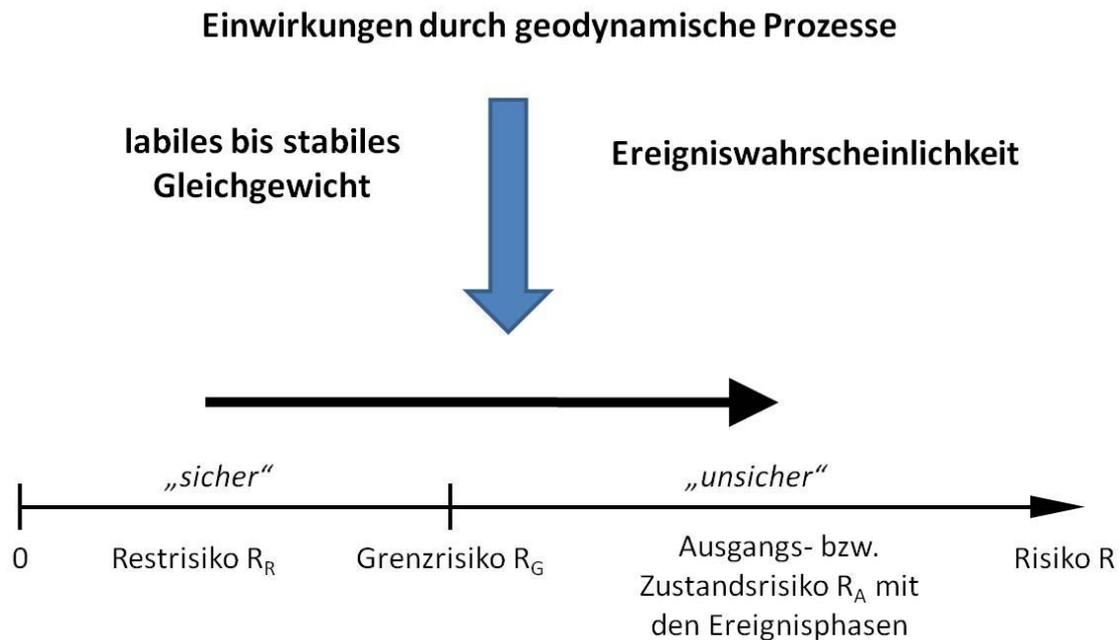


Abb.2 : Einwirkung der geodynamischen Prozesse auf das Risikoregime

So kann es vorkommen, dass sich konzentrische Rissbildungen an der Tagesoberfläche zeigen, die erst nach Jahren zu einem Tagesbruchereignis führen können. Auch der Verlauf der einzelnen Phasen ist häufig geprägt von wechselnd langen Zeitspannen, die durch größere Verweilzeiten unterbrochen werden. So kann beispielsweise durch Holzvolumenschwund immer wieder ein Nachrutschen der Lockermassen im Verbrauchslot eines Tagesbruches oder in einem unkontrolliert verfüllten Schacht auftreten, was wiederum zu einem neuen Schadensszenario mit den drei Entwicklungsphasen führen kann. Die Vorphase ist in Abhängigkeit von der Nutzung der Tagesoberfläche, z. B. als Feld, in vielen Fällen nicht erkennbar, da einerseits die Lage des untertägigen Altbergbauobjektes nicht genau bekannt ist, andererseits keine deutlichen morphologischen Anzeichen hervortreten oder sie bereits durch die Feldbearbeitung verwischt wurden. Bei einem extremen Wassereinfluss, z. B. Starkniederschlag und Hochwasser, können vor allem die ersten beiden Phasen bei einem Tagesbruchereignis oder bei einer Rutschung in sehr kurzer Folge ablaufen.

In der Tabelle 2 sind die Entwicklungsphasen einer Rutschung durch den Einfluss der geodynamischen Prozesse charakterisiert.

Die geodynamischen Prozesse wirken bei gravitativen Massenbewegungen im System, wobei folgende Faktoren maßgeblichen Einfluss nehmen:

- Lagerungs- und Anschnittverhältnisse der Gesteinsschichten mit den daran gebundenen Spannungen
- Petrografische und struktureologische Situation, z. B. Gesteinsart, Störungen
- Anthropogene Einflüssen, z. B. Sprengungen, bergmännisch hergestellte Hohlräume, Abgrabungen
- Wassersituation und Frosteinwirkungen

Tab.2 : Entwicklungsphasen unter Einfluss von geodynamischen Prozessen am Beispiel von gravitativen Massenbewegungen (Rutschungen) in einem Hang-/ Böschungssystem

Phase	Eigenschaften
Vorphase	<ul style="list-style-type: none"> - Gleichgewicht zwischen Gestein, Gebirge, Wasser und Spannungen in einem Hang-/ Böschungssystem wird unter steter Wirkung der geodynamischen Prozesse und der Gravitationskräfte oder einem Initialereignis (z. B. statische und dynamische Einwirkungen) unter den morphologischen Gegebenheiten (mit oder ohne Oberflächen-sicherungen) oder unter Einfluss bergmännischer/natürlicher Hohlräume in der Böschung/Hang abgebaut. - Vergrößerung der Kluft- und Porenwasserdrücke (auch temporär) - Veränderungen der Wasserwegigkeit und beginnende Materialumlagerungen im Gefügeverband - Deformationsprozesse beginnen in Form von Rissen, Spalten und Kluftkörperverschiebungen, was zunehmend zur Verbandsauflockerung führt - Beginnende Deformationen an der Tagesoberfläche, z. B. Rissbildungen und Einsenkungen durch Zerrungen, Pressungen und Schieflagen, Wasseraustritte
Hauptphase (Verbruchphase)	<ul style="list-style-type: none"> - Ausbildung der verschiedenen Rutschungstypen (Fallen, Kippen, Gleiten, Driften und Fließen) beim Überschreiten eines Grenzzustandes (z. B. häufig auch durch Extremereignisse oder Niederschläge, Frost-Tau-Wechsel, Standwasserbildungen, Hochwasser ausgelöst) - Vollständiger Verlust der Scherfestigkeit im Deckgebirge
Nachphase	<ul style="list-style-type: none"> - Einstellung eines Gleichgewichtes im Rutschungsbereich, z. B. durch das Einböschten der Rutschungsränder - Natürliche Entwässerung des Rutschkörpers, Abbau von Kluft- und Porenwasserdrücken, wodurch sich die Scherparameter des Rutschkörpers und des angrenzenden Gebirges verändern

Für eine Risikobewertung eines altbergbaulich bedingten Erscheinungsbildes sind die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß die bestimmenden Faktoren. Beide Faktoren besitzen durch den Einfluss der Zufälligkeiten bei den geodynamischen Prozessen unscharfe Grenzen. Die differenzierte Bewertung erfolgt durch eine Matrix, wodurch sich 4 Risikoklassen ergeben. Eine Zuordnung zum Grenzzisiko R_G trennt unsichere von sicheren Bereichen (Abbildung 3).

Eintrittswahrscheinlichkeit	sehr wahrscheinlich	IV	III	II	I	$R_A > R_G$ R_G $R_A < R_G$
	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 (R_A - Ausgangsrisiko; R_G - Grenzkrisiko)

Dadurch werden die einzelnen Schadensbilder mit ihren Einwirkungsbereichen an der Tagesoberfläche bewertet und klassifiziert. In der Abbildung 4 werden der notwendigen Handlungsbedarf und die bergtechnischen Maßnahmen zugeordnet.

Sicherheit	Risikoklasse	Charakteristik
<i>unsicher</i>	I (rot)	Sehr hohes Risiko / Gefahrenstellen <u>(akuter Handlungsbedarf)</u>
	II (gelb)	Hohes Risiko <u>(hoher Handlungsbedarf)</u>
<i>Grenzkrisiko</i>	III (grün)	Mittleres bis hohes Risiko, intensives Monitoring <u>(Klarungsbedarf)</u>
<i>sicher</i>	IV (blau)	dauerhaft gesicherte Objekte, altbergbau- bedingtes Restrisiko, Nutzungseinschränkung an der Tagesoberfläche <u>(Kontroll- und Wartungsbedarf)</u>

Abb.4 : Risikoklassen und Grenzkrisiko

Die grundsätzliche Zielstellung bei den ingenieur- und bergtechnischen Maßnahmen ist dabei der Nachweis bzw. die Herstellung eines sicheren Zustandes, wobei stets ein Restrisiko in einem altbergbaulich beeinflussten Gebiet verbleibt (Abbildung 5).

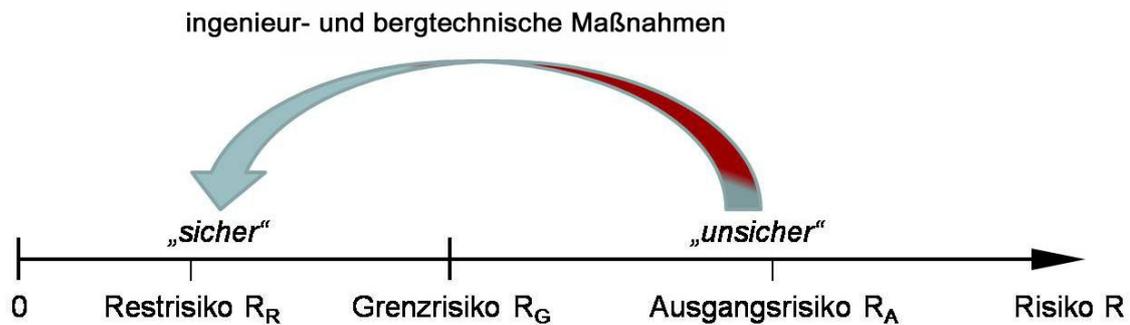


Abb.5 : Beziehungen zwischen „sicher“ und „unsicher“ im Altbergbau

Bei der Bewertung von Einwirkungsbereichen und insbesondere bei Schadenanalysen ist stets eine klare Trennung von Ursache und Wirkung vorzunehmen.

Nach den vorliegenden Erfahrungen ist bei Schäden im Altbergbau mit einer Hauptursache und mit mehreren abgestuften Nebenursachen zu rechnen. Die Wirkungen sind vor allem von den jeweiligen Materialeigenschaften, der Intensität der geodynamischen Prozesse mit ihren Gesetzmäßigkeiten und Zufälligkeiten abhängig. Das Herausfiltern der Hauptursache und der folgenden Nebenursachen ist grundsätzlich die Voraussetzung für eine effiziente, wirkungsvolle und langzeitstabile bergtechnische Sanierung.

3 Prognose von Ereignissen

Grundsätzlich kann im Altbergbau nur eine beschränkte Vorhersage von Schadensereignissen vorgenommen werden. Eine hinreichend genaue Untersuchung und Kenntnis des altbergbaulich bedingten Erscheinungsbildes ist für eine wirklichkeitsnahe Prognose und Trendbewertung die Grundlage. Die langzeitliche Abfolge ist durch den Einfluss der Zufälligkeiten am Gesamtsystem unter der komplexen Wirkung der geodynamischen Prozesse nicht detailliert vorhersehbar. Weitestgehend unbestimmt sind die Verweil- und Reaktionszeiten der Ereignisphasen. Es ist somit keine exakte langfristige Vorhersage eines Ereignisses bezüglich Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß möglich. Für die Praxis ergeben sich daraus folgende Schlussfolgerungen:

1. Es kann in einem altbergbaulich beeinflussten Gebiet kein Bereich mit einer absoluten Sicherheit ausgegliedert oder hergestellt werden. Es verbleibt stets ein Restrisiko. Sichere Bereiche können z. B. durch bergtechnische Maßnahmen geschaffen oder durch eine geotechnisch-markscheiderische Erkundung und Bewertung ausgrenzt werden.
2. Eine detaillierte zeitliche Vorhersage von Ereignisphasen und deren Ablauf ist durch die einwirkenden geodynamischen Prozesse mit ihrem chaotischen Systemanteil nicht möglich. Im Rahmen einer Prognose lassen sich grundsätzlich Zeitpunkt, Umfang und Dauer der Entwicklungsphasen nur abschätzen und nicht exakt bestimmen. Es ist somit keine zeitgenaue langfristige Vorhersage eines Ereignisses möglich. Die Nichtlinearität der chaotischen Prozesse lässt näherungsweise nur Trends und oft nur kurzzeitige Bewertungsprognosen des schadensrelevanten Erscheinungsbildes zu.
3. Eine ganzheitliche geotechnisch-markscheiderische Analyse ermöglicht jedoch eine Zuordnung der einzelnen altbergbaulichen Erscheinungsbilder mit ihren Einwirkungsbereichen zu verschiedenen abgestuften Risikoklassen bezüglich Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß. Durch nutzungsbezogene Erkundungen und bergtechnische Sanierungsmaßnahmen sowie bei Akzeptanz des Restrisikos sind sichere Bereiche an der Tagesoberfläche ausgrenzbar.

4. Jede Risikobewertung und damit Prognose ist datums- und nutzungsbezogen. Sie ist nur eine Sequenz aus einer Ereignisphase innerhalb eines zunehmend unscharfen, nicht linear verlaufenden Entwicklungsprozesses. In festzulegenden Zeitintervallen ist eine Überarbeitung und Neubewertung notwendig.
5. Bei bergtechnischen Sicherungsmaßnahmen ist in Abhängigkeit von der Geländenutzung, der Art des altbergbaulichen Erscheinungsbildes und der Intensität der geodynamischen Prozesse für eine sichere Nutzung ein Monitoringregime vorzusehen und mit bedarfsbezogenen Wartungsarbeiten einzuplanen.
6. Je frühzeitiger in der Initialphase die Indikatoren einer schadensrelevanten Einwirkung erkannt, lokalisiert und bewertet werden, desto wirkungsvoller und effizienter lassen sich Schadensabwehrmaßnahmen durchführen.
7. Grundsätzlich können Einwirkungsbereiche und deren Risiken nur dann mit hoher Treffsicherheit in der Vorhersage bewertet und bergtechnisch bearbeitet werden, wenn sie in Struktur, Dynamik und geotechnisch-markscheiderischen Eigenschaften hinreichend bekannt sind. Eine ingenieurgeologische Analyse der Genese bildet hierfür die Grundlage.

Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand zum Einfluss der gesetzmäßigen und chaotischen Systemanteile an den geodynamischen Prozessen kann festgestellt werden, dass die Gesetzmäßigkeiten gegenüber den Zufälligkeiten anfänglich dominieren, jedoch auf der Zeitachse überproportional abnehmen. Daraus ergibt sich auch, dass Vorhersagen von schadensrelevanten Ereignissen im Altbergbau nur für ein zu definierendes Zeitfenster in Form einer Risikobewertung möglich sind. Eine notwendige Basis dazu ist jedoch eine differenzierte Erkundung und Bewertung der geodynamischen Prozesse im jeweiligen altbergbaulichen Einwirkungsbereich.

Literatur

- (1) MEIER, G. et al. (2004): Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“. - Tagungsband 4. Altbergbau-Kolloquium, 04. bis 06.11.2004, Leoben, Anhang S. 1 - 23, Verlag Glückauf, Essen
- (2) MEIER, G. et al. (2009): Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Tagebaurestlöchern, Halden und Kippen des Altbergbaus“. – Tagungsband 9. Altbergbau-Kolloquium, 5. bis 7.11. 2009 Leoben, Anhang S.1 - 16, Verlag Glückauf, Essen
- (3) KRATZSCH, H.(1997): Bergschadenkunde. - Deutscher Markscheider-Verein e. V., Bochum, 3. Auflage
- (4) MEIER, G. (2009): Zur Bestimmung von altbergbaulich bedingten Einwirkungsbereichen. - Tagungsband zum 9. Altbergbau-Kolloquium, Montanuniversität Leoben, 5. bis 7.11.2009, S. 118 - 131
- (5) WALLNER, O. (2009): Analyse bergbauinduzierter Bodenbewegungen und Seismizität während der Gewinnungs- und Flutungsphase einer komplexen Gangerzlagstätte.- Dissertation, TU Bergakademie Freiberg, Fakultät f. Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau