

Altbergbauliche Ewigkeitslasten*

Günter Meier

ZUSAMMENFASSUNG :

Altbergbauliche Ewigkeitslasten sind an eine anthropogene Nutzung von altbergbaulich beeinflussten Flächen gebunden. Eine sichere Langzeitnutzung dieser Flächen ist oft nur durch umfangreiche berg- und bautechnische Sanierungsmaßnahmen möglich, deren Betrieb, Wartung und Monitoring laufende Kosten verursachen. Dabei sind die im anthropogen überprägten Gebirge vorhandenen verschiedenen Gleichgewichtssysteme in einem geringen Differenzniveau zueinander zu halten, um eine nachhaltige Sicherheit an der Tagesoberfläche zu gewährleisten. Eine dominante Bedeutung haben für die Standsicherheit der tagesnahen Grubenbaue die geodynamischen Prozesse unter dem Einfluss des Wassers. An Beispielen werden verschiedene Ewigkeitslasten und deren Ursachen erläutert.

ABSTRACT:

*Long-lasting burdens of old mining are linked to anthropogenic use of affected surfaces in old mining regions.
A secure long-term re-use of this land is often achievable only by extensive rehabilitation measures, both mining and constructional, thus resulting high running operational costs as regards operation, maintenance and monitoring.
The existing equilibria within the rock masses, influenced by human-caused activities, should be kept at a small differential level to each other to ensure a sustainable safety at the day surface.
The geodynamic processes, driven by the influences of water forces, have a major significance for the stability of day surface and near surface mine structures.
Several examples of long-lasting burdens and their causes are analyzed and discussed.*

* Veröffentlicht in: Tagungsband 11. Altbergbau-Kolloquium, Wrocław 03. - 05.11.2011, S. 198 - 206, VGE Verlag GmbH, Essen 2011

1 Problemstellung

In den letzten 1.000 Jahren wurden im mitteleuropäischen Raum Bergwerke nicht nur planmäßig angelegt und erweitert, sondern auch in Größenordnungen stillgelegt. Die unzähligen Hinterlassenschaften nach der Beendigung der Abbautätigkeit, ob im Tiefbau oder Tagebau, führen im zunehmenden Maße zu erheblichen Einschränkungen bei einer sicheren Nutzung der Tagesoberfläche und bedürfen größtenteils erheblicher Aufwendungen im Rahmen einer Sanierung. Wenn die Forderung nach Sicherheit und Nachhaltigkeit durch das nur kurzfristig wirkende „Sparsamkeitsprinzip“ ersetzt wird, kann es sogar zur dauerhaften Absperrung von unsicheren, altbergbaulich beeinflussten Flächen kommen.

Insbesondere die bergbauliche Tätigkeit in den letzten 200 Jahren im mitteleuropäischen Raum erbrachte regional flächendeckende, tiefgreifende Eingriffe in die Gebirgs- und Wasserverhältnisse. Daraus resultieren grundlegende Fragen nach den zukünftigen, langzeitbedingten und schadensrelevanten Einwirkungen der verschiedenen altbergbaulichen Erscheinungsbilder auf die zu nutzende Tagesoberfläche und auf die Umwelt. Eine besondere Bedeutung erlangt diese Thematik dann, wenn in diesen altbergbaulich beeinflussten Gebieten urbane und gewerbliche sowie intensive land- und forstwirtschaftlicher Nutzungen entwickelt oder infrastrukturelle Vorhaben realisiert werden sollen.

Der Altbergbau aus der fachlichen Sicht beginnt dort, wo die unmittelbaren bergbaulichen Eingriffe und damit die abbaubeeinflussten Gebirgsbewegungen enden und die geodynamischen Prozesse (Abbildung 1) wirksam werden.

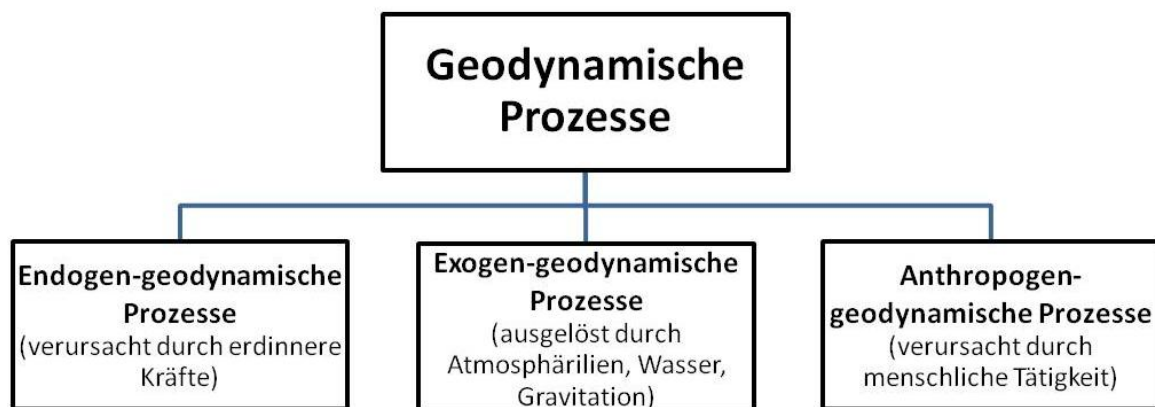


Abb.1 : Grundelemente der geodynamischen Prozesse [1]

Sie führen dann zu Veränderungen zwischen den verschiedenen Gleichgewichtsverhältnissen in den Gebirgsschichten und der anthropogen geschaffenen montanen Situation, wodurch sich vor allem die Standsicherheiten schadensrelevant verändern können und sich neue Gleichgewichtsstrukturen im Ergebnis von z. B. Rutschungen, Tagesbrüchen oder Grundwasserveränderungen einstellen.

Die grundlegende Prämisse für eine möglichst uneingeschränkte Folgenutzung der Tagesoberfläche in altbergbaulich beeinflussten Gebieten ist die Sicherheit bei einem akzeptablen Restrisiko. Durch die bergbaulichen Eingriffe entstehen unterschiedlich große strukturelle Veränderungen in oberflächennahen Gebirgsbereichen, die ein teils erhebliches Risiko für eine gefahrlose Nutzung aufweisen oder entwickeln können. Eine hinreichende Erkundung, geotechnisch-markscheiderische Bewertung und nachhaltige, komplexe Sanierung dieser altbergbaulich massiv überprägten Gebiete und Gebirgsschichten (altbergbauliche Einwirkungsbereiche) sind hierbei nicht selten unvertretbar groß und übersteigen häufig einen vorgegebenen Kostenrahmen. Es verbleibt einerseits eine tiefgreifende Nutzungsbegrenzung (► „eingezäunte montane Wildnis“) oder es sind andererseits zur Gewährleistung der

vorgesehenen sicheren anthropogenen Nutzungsart dauerhaft wirkende wasserbautechnische Maßnahmen, bergtechnische Sanierungen sowie ein Monitoring erforderlich (► „Ewigkeitslasten“). Anders formuliert, es verbleibt bei einer festgelegten Nutzung der Tagesoberfläche eine Ewigkeitsbelastung durch den Altbergbau, was auch ein ständiges Betreiben technischer Anlagen, zeitlich unbegrenzte Wartung, Ertüchtigung und ein Monitoring oder partielle bergtechnische Sanierungen erforderlich machen kann. Dies trifft jedoch auch für den Unterhalt von dauerhaften Umzäunungen und deren Kontrolle bei einer „montanen Wildnis“ zu.

Bei den berg- und bautechnischen Arbeiten ist darauf zu achten, dass zwischen den verschiedenen anthropogen hergestellten Gleichgewichtsstrukturen ein potentialarmes Niveau bezüglich der gewünschten sicheren Nutzung und den altbergbaulich bedingten Risikofaktoren dauerhaft geschaffen wird. Hierdurch wird ein sicherer, nachhaltiger Zustand an der Tagesoberfläche erreicht, wobei stets ein altbergbaulich bedingtes Restrisiko verbleiben wird. Grundsätzlich gilt aber: *Ewigkeitsbelastungen sind auch Ewigkeitskosten.*

2 Wirkungsmechanismen

Auf die Altbergbaurelikte und die angrenzenden, meist anthropogen überformten Gebirgsschichten wirken die geodynamischen Prozesse permanent, jedoch größtenteils mit unterschiedlicher Intensität ein, wodurch sich die vorhandenen Gleichgewichtsstrukturen verändern oder verschieben. Im geologischen Umfeld treten verschiedene Gleichgewichte auf, die zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Tagesoberfläche führen können. Dies betrifft das Gestein, Gebirge, Wasser, die Gase und die bergbaulichen aber auch natürlichen Hohlräume sowie sonstigen Hinterlassenschaften in den altbergbaulich beeinflussten Erdschichten. Auch unterschiedliche Lagerstättenbereiche können sich gegenseitig in vertikaler und horizontaler Richtung beeinflussen oder überlagern. In der Abbildung 2 sind die verschiedenen ingenieurgeologischen und geologischen Gleichgewichtsformen unter besonderer Berücksichtigung des Altbergbaues dargestellt.

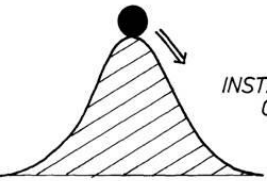
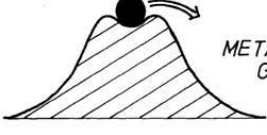
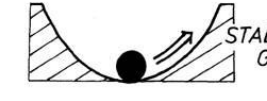
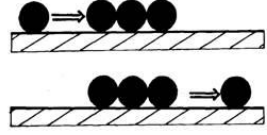
 <p>INSTABILES GLEICHGEWICHT</p>	<p>Geringer Anstoß von außen führt zu selbstverstärkenden Veränderungen, z. B. Steinschlag an Hängen und Böschungen, Tagesbruch</p>
 <p>METASTABILES GLEICHGEWICHT</p>	<p>Energie von außen notwendig, dann aber selbstverstärkend, z. B. durch Verwitterungsvorgänge, Extremwasser, Tagesbruch, Rutschung</p>
 <p>STABILES GLEICHGEWICHT</p>	<p>System ist robust, Systemstörungen führen nur zu geringen Veränderungen – vor allem großräumig wirksam, z. B. Sedimentationsbecken</p>
 <p>STATIONÄRES GLEICHGEWICHT</p>	<p>System ist gegenüber von Einwirkungen indifferent und nicht sensitiv, geringe Änderung des Gesamtsystems – nur kurz- und mittelfristig wirksam, nur an den Rändern Veränderungen, langfristig meist instabil, z. B. Flussaue, Gletscher</p>

Abb.2 : Gleichgewichtsformen in ingenieurgeologischen und geologischen Systemen (ergänzt [2])

Für die praktischen, sicherheitsrelevanten Belange im Altbergbau sind vor allem das instabile und metastabile Gleichgewicht von Interesse.

Eines der grundlegenden Naturgesetze stellt der 2. Hauptsatz der Thermodynamik dar. Dieser Hauptsatz lässt sich auch bezüglich des Einflusses der geodynamischen Prozesse auf die verschiedenen altbergbaulichen Erscheinungsbilder und somit auf die jeweilige Intensität und Dauerhaftigkeit von schadensrelevanten Prozessen einschließlich auf die anstehenden Gleichgewichtsstrukturen interpretieren. Es ist das einzige physikalische Naturgesetz, das Aussagen auch zum Begriff Zeit enthält. Es ergeben sich dabei folgende Grundsätze [3]:

1. Die Natur strebt aus dem unwahrscheinlicheren dem wahrscheinlicheren Zustand zu (Boltzmann).
2. Die Vorgänge in der Natur verlaufen irreversibel. (Soweit sie außerhalb des molekularen Bereiches liegen.)
3. Natürliche Vorgänge sind so angelegt, dass die Entropie wächst, wodurch die Richtung der natürlichen Prozesse und der Zeit angegeben wird. (Entropie: Je größer die Zufälligkeit in einer Struktur oder in einem System, je größer ist auch seine Entropie.)
4. Die Natur kennt keine Zeit, sondern nur Gleichgewichtsveränderungen auf einer gerichteten Zeitachse und Perioden.
5. Alle geogenen Prozesse und periodischen Abläufe sind endlich.

3 Bewertungsansätze für Gleichgewichte

Die Inhalte der verschiedenen Gleichgewichtsstrukturen und deren Wirkungsprovinzen im Altbergbau werden von Gesetzmäßigkeiten und Zufälligkeiten geprägt. Vergleichbar sind diese Gleichgewichtsstrukturen mit den ebenfalls eigenschaftsbezogenen Homogenbereichen bei der ingenieurgeologischen Klassifizierung eines Gebirgsverbandes.

Aufgrund der sehr komplexen geodynamischen Einflussprozesse kann nur eine datumsbezogene Risikobewertung durchgeführt werden, in deren Ergebnis zwischen „sicher“ und „unsicher“ klassifiziert wird (Abbildung 3). Eine weitere Differenzierung erfolgt dabei im Rahmen einer Vergabe von Risikoklassen [4], [5]. Dadurch werden Prioritäten bei der Erkundung und Sanierung unter dem Aspekt einer sicheren Nutzung der Tagesoberfläche gesetzt.

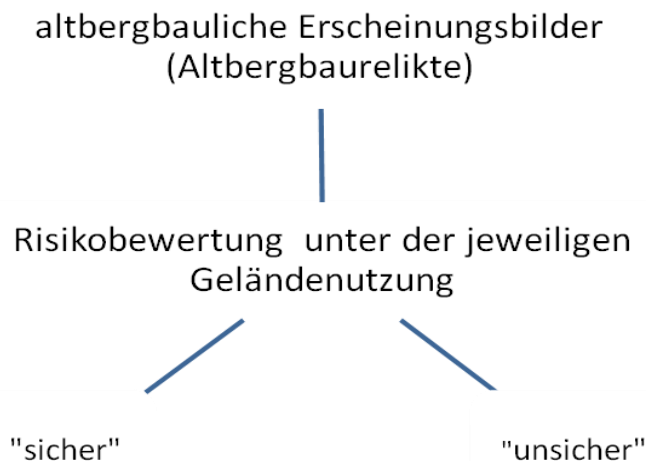


Abb.3 : Grundsätzliches Bewertungsschema von altbergbaulichen Erscheinungsbildern

Die zunehmende Einwirkung der Zufälligkeiten (Entropie) auf die herrschenden Gleichgewichtsstrukturen schränkt die Bewertung von Mittel- und Langzeitprognosen erheblich ein. Unter dem Einfluss der jeweiligen Nutzung, der Qualität der durchgeführten ingenieur- und bergtechnischen Maßnahmen und dem Wirkungsgrad der geodynamischen Prozesse kann ein sicheres Gleichgewicht in ein unsicheres Stadium übertreten, was bei einem rechtzeitigen Erkennen durch ingenieur- und bergtechnische Maßnahmen zeitnah verhindert oder schadensunwirksam werden kann. Das Resultat dieser Gleichgewichtsveränderungen ist in der Abbildung 4 dargestellt.

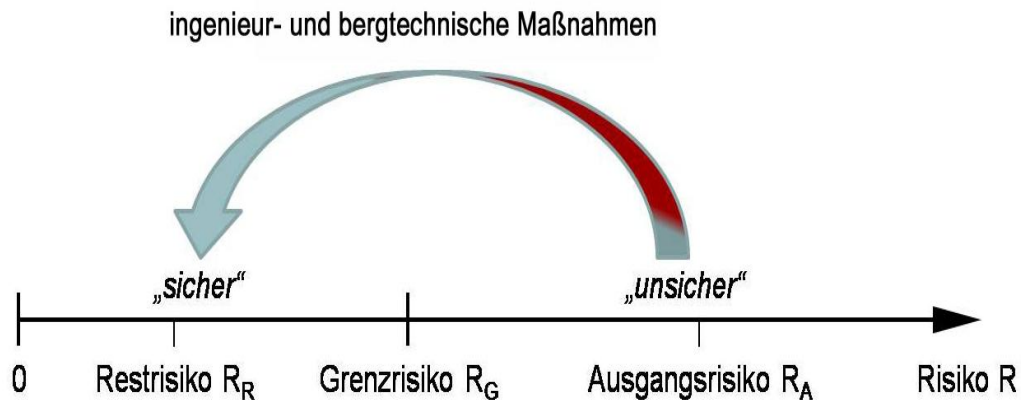


Abb.4 : Bedeutung des Grenzzisikos bei der Bewertung von Risiken im Altbergbau

Die notwendigen Umfänge an Erkundung und Sanierung von Altbergbau sind stets nutzungsabhängig. Folgende Zielstellungen stehen dabei im Mittelpunkt:

- ▶ Dauerhafte Sicherheit an der Tagesoberfläche
- ▶ Möglichst uneingeschränkte Nutzung der Tagesoberfläche

Die verschiedenen Kriterien für die Sicherheit lauten:

- Zustand, der frei von unvermeidbaren Risiken oder gefahrenfrei ist (DIN EN 61 508) [6]
- Nach DIN EN ISO 16708 [7] ist das System sicher, wenn die Versagenswahrscheinlichkeit $\leq 1 \cdot 10^{-6}$ ist.
- Restrisiken sind nicht völlig ausschließbar, selbst ein sicheres System kann versagen [8].
- Vertretbares Risiko ist von vielen Faktoren abhängig und subjektiv.
- Akzeptanz von höheren Eintrittswahrscheinlichkeiten mit steigendem Nutzen (z. B. Straßenverkehr)
- Relativer, qualitativer Zustand der Gefahren- und Risikofreiheit; stets nur für bestimmten Zeitraum, eine Umgebung oder Bedingungen vorhanden [8].

An allen altbergbaulichen Erscheinungsbildern ist eine bergtechnische Wiederherstellung des ursprünglichen Gebirgszustandes aus der naturgesetzlichen Tatsache der Irreversibilität von Ereignissen ausgeschlossen. Wird ein Erscheinungsbild grundhaft beseitigt, so werden dabei stets neue Gleichgewichtsstrukturen geschaffen, die wiederum Risikopotentiale aufweisen oder entwickeln können. Eine großräumige, umfängliche bergtechnische Sanierung ist dabei oft aus wirtschaftlichen Gründen nicht immer realisierbar. Um eine Nutzungseinschränkung an der Tagesoberfläche trotzdem zu minimieren, werden vor allem dauerhafte bau- und bergtechnische sowie wasserbauliche Maßnahmen installiert, was im Allgemeinen eine Ewigkeitsbelastung für die Nutzung der Tagesoberfläche darstellt.

Ewigkeitslasten im Altbergbau beinhalten aus fachlicher Sicht somit differenzierte, sicherheits- und umweltrelevante berg- und bautechnische sowie wasserbauliche Maßnahmen zur Gewährleistung einer sicheren, nachhaltigen Nutzung der Tagesoberfläche. Nur durch nutzungsbezogene berg- und bautechnische sowie wasserbauliche Sanierungsmaßnahmen an den schadensrelevanten altbergbaulichen Erscheinungsbildern einschließlich deren Einwirkungsbereichen und einem permanenten Betrieb, differenzierten Monitoring, einer periodischen Wartung und Ertüchtigung wird ein sicheres, nachhaltiges Gleichgewichtsniveau der Einwirkungsfaktoren, insbesondere auch des Oberflächen- und Grundwassers, erreicht. Ewigkeitslasten bedeuten somit auch Ewigkeitskosten.

Häufige altbergbauliche Ewigkeitslasten sind:

- Alle wasserführenden Stollen
- Großräumige Grundwasser-/ Bergwasserveränderungen (Senkung, Hebung), Bildung von Vernässungszonen und Standwasserbereichen
- Chemische Beeinflussung von Grund- und Oberflächenwasser (z. B. Salzfracht, Ockerbildungen, Schwermetallaustrag) und des Bodens (z. B. Auslaugung von Haldenmaterial)
- Änderung von Mikroklima und Umwelt durch Abbau und Massenumlagerungen
- Aktivierung der Subrosion unter Altbergbaueinfluss (z. B. Karst, Suffosion, Senkungen)
- Neue, anthropogen geschaffene Gesteinseigenschaften an und auf Halden, Kippen und Restlochböschungen können zu Großrutschungen, Setzungen, Sackungen, Suffosion und Bodenverflüssigung führen
- Großräumige Grundwasser-/ Bergwasserveränderungen (Senkung, Hebung), Bildung von Vernässungszonen und Standwasserbereichen
- Gas- und Wasseraustritte (z. B. Radon, Methan und Wasseraustritte aus Bohrungen)
- Holz in der luftefüllten Gebirgszone des Altbergbaues, insbesondere in Schächten, Stollen, Abbauen und Tagesbrüchen
- Große Halden- und Flözbrände
- Kombinationen von altbergbaulichen Erscheinungsbildern

Aus dieser Zusammenstellung geht deutlich hervor, dass vor allem die Veränderungen der verschiedenen Gleichgewichtsstrukturen durch die Einwirkungen der geodynamischen Prozesse mit ihren exogenen, endogenen und anthropogenen Hauptfaktoren Einfluss nehmen. Dabei dominiert in der Mehrzahl der Fälle neben dem Faktor Mensch der Faktor Wasser.

In der Tabelle 1 sind ausgewählte Beispiele von altbergbaulich bedingten Ewigkeitslasten aus dem mitteldeutschen Raum zusammengestellt.

Tab.1 : Beispiel von altbergbaulichen Ewigkeitslasten Mitteldeutschlands

Objekt	Bergbauzweig	Altbergbauliche Einwirkungen	Maßnahmen
Stadt Staßfurt	Kalibergbau	Geländeabsenkung, Aktivierung von Karst	Pumpbetrieb ab 1924; seit ca. 1998 dezentralisiert
Ehemaliger Salziger See (Mansfelder Mulde)	Kupferschieferbergbau unter dem Stadtgebiet von Eisleben	Mehrfache Aktivierung von Karst (Großerdfall „Teufe“), mehrere Tagesbrüche Leerlaufen des Sees, Bergbauunterbrechung	Pumpbetrieb ab 25.07.1889 mit mehreren Wassereinbrüchen in Abbaue unter Eisleben, ab Jan. 1894 Pumpbetrieb bis heute aus dem See; Höhendifferenz: 10,5 m, 18 bis 21 Mio m ³ /a
Oelsnitz/E., Senke Untere Hauptstraße	Steinkohlenbergbau	Geländeabsenkung	Pumpbetrieb ab den 60er Jahren des 20. Jh.
Zwickau, Bockwaer Senke	Steinkohlenbergbau	Geländeabsenkung um ca. 9 m, Fläche ca.9 ha	Pumpbetrieb ab 1992, ca. 1.000 m ³ täglich
Tagebaurestloch Löderburg	Braunkohlenbergbau	Vernässung	Pumpbetrieb seit 1924, von 2002 bis 2010 Ø 5.304.000 m ³ /a (nach Angaben LAGB)

Besonders eindrucksvoll spiegeln sich die tiefgreifenden Schadensentwicklungen am Ehemaligen Salzigen See in der Mansfelder Mulde unter dem Einfluss des Bergbaues auf die fortschreitenden salinaren Karstprozesse wider, die zur Entstehung einer Ewigkeitslast führten [9].

- Ausgangssituation am Salzigen See vor 1884: E-W-Erstreckung: 6,2 km, Breite: 1,5 km, Fläche: 8,8 km², Mittlere Tiefe: 7,7 m
- 1884: erster Wassereinbruch im Otto-Schacht in ca. 12 km Entfernung
- 1887: Deutliche Einflussnahme auf das Wasser des Schlüsselstollens (Hauptentwässerungstollen der Mansfelder Mulde)
- 1889: Wassereinbruch im Klotilde-Schacht: bis zu 22 m³/min
- 1892: Wassereinbruch im Klotilde-Schacht: bis zu 80 m³/min, anhaltend bis 1902, Spitzenwerte: 175 m³/min
- Mai 1892 bis September 1894: Eindringen von ca. 75 Mio m³ Wasser in das Grubengebäude des Eislebener Kupferschieferbergbaues
- Ab 1894 bis heute: ständiger Betrieb des „Pumpwerkes Wansleben“ mit drei Sonderwasserhaltungen und damit Trockenlegung des Salzigen Sees (Zulauf: langjähriges Mittel 34 m³/min)

Diese Entwicklung der Karstprozesse unter der Initialwirkung und direktem Einfluss des Bergbaues führte nicht nur zum Trockenfallen der Hausbrunnen in den ufernahen Dörfern, sondern auch zu einem intensiven Senkungs- und Tagesbruchgeschehen sowie zu erheblichen Gebäudeschäden im Stadtgebiet von Eisleben. Hier traten in ca. 11 km Entfernung als Folge auch Senkungen von über 3 m auf [9].

4 Schlussfolgerungen

Der über- und untertägige Altbergbau stellt in vielen Nutzungsbereichen zur Gewährleistung der Sicherheit an der Tagesoberfläche eine sehr unterschiedliche Ewigkeitsbelastung dar. Der Zustand der bergbaulichen Untersuchungs-, Erschließungs- und Abbaubereiche ist stets irreversibel verändert und weist unterschiedliche altbergbaulich bedingte Risiken für eine Nutzung auf. Ohne anthropogene Nutzung des altbergbaulich veränderten Gebietes ergeben sich unmittelbar keine Ewigkeitslasten, sondern es werden aus Sicherheitsgründen die montanen Wüstungen umzäunt. Diese Sicherung ist jedoch ebenfalls dauerhaft zu unterhalten, was wiederum mittelbar ewigkeitsbelastend wirkt und volkswirtschaftlich ein Verlust ist.

Durch den permanenten Einfluss der geodynamischen Prozesse auf den Altbergbau mit seinem umgebenden Gebirge verschieben sich die einzelnen wirksamen Gleichgewichtsstrukturen mit einer sehr unterschiedlichen Intensität und damit auf einer meist sehr schwer fassbaren Zeitachse. Auch die Auswirkungsgrößen werden von den Potentialunterschieden zwischen den verschiedenen Gleichgewichtsstrukturen bestimmt. Permanentes oder periodisches Monitoring, Wartungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen und ständiger Betrieb von technischen Anlagen sowie der ausgewählte Einsatz berg- und bautechnischer Sanierungsmaßnahmen sind bei altbergbaulich bedingten Ewigkeitslasten zur Gewährleistung einer dauerhaften und nachhaltigen Sicherheit an der Tagesoberfläche unabdingbar. In der Gesamtbetrachtung sind diese komplexen Maßnahmen in die Kategorie „dauerhafte Sicherung“ einzuordnen, auch wenn Einzelobjekte als „verwahrt“ eingestuft werden.

Die Bewertung der Ewigkeitslasten ist eng verbunden mit den vielschichtig verzahnten Risikofaktoren im Altbergbau, die wiederum mit der jeweiligen Nutzung der Tagesoberfläche untrennbar in Verbindung stehen.

Ewigkeitslasten des Altbergbaues erfordern komplexe, aber auch differenzierte, objektspezifische Langzeitmaßnahmen an den altbergbaulichen, schadens- und umweltrelevanten Erscheinungsbildern. Die geodynamischen Prozesse und vor allem die hydraulischen Verhältnisse mit ihren Gleichgewichtsstrukturen sind auf einem sicheren Niveau zu halten, d. h. auf einem ausgeglichenen Level mit möglichst geringen Potentialunterschieden.

5 Literatur

- [1] MEIER, G. (2010): Zur Vorhersage von schadensrelevanten Einwirkungen im Altbergbau. - Tagungsband 10. Altbergbau-Kolloquium, 4. bis 6.11.2010, TU Bergakademie Freiberg, S. 120 bis 127, VGE Verlag GmbH Essen
- [2] EISBACHER, G. H. & KLEY, J. (2001): Grundlagen der Umwelt- und Rohstoffgeologie. - Enke im Georg Thieme Verlag Stuttgart
- [3] HAENDEL, A. (1963): Physik. - 7. Lehrbrief, 2. Auflage, Bergakademie Freiberg Fernstudium
- [4] 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 bis 23, Verlag Glückauf, Essen
- [5] 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 bis 16, Verlag Glückauf, Essen
- [6] DIN EN 61 508: Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer / elektronischer / programmierbarer elektronischer Systeme. - mehrere Teile unterschiedlicher Ausgabedaten
- [7] DIN EN ISO 16708: Erdöl- und Erdgasindustrie - Rohrleitungstransportsysteme - Zuverlässigkeitsanalysen (ISO 16708:2006); Englische Fassung EN ISO 16708: 2006
- [8] MERZ, B. (2006): Hochwasserschutz. Grenzen und Möglichkeiten der Risikoabschätzung. - Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller) Stuttgart
- [9] KATER, R. & KOCH, T. (2007): Sachsen-Anhalts verdeckte Ströme. Das Grundwasser im Spannungsfeld von Wasserwirtschaft, Industrie und Bergbau in Vergangenheit und Gegenwart. - Mitteilungen zu Geologie und Bergwesen in Sachsen-Anhalt, Bd. 13, Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, Halle/Saale