

## **Zur Bestimmung von altbergbaulich bedingten Einwirkungsbereichen \***

Günter Meier

### **Zusammenfassung**

*Eine Voraussetzung für geotechnisch-markscheiderische Risikobewertungen ist die Abgrenzung von Einwirkungsbereichen über Altbergbau. Sie erfolgt mithilfe von empirischen, statistischen und numerischen Verfahren. Für eine sichere Nutzung der Tagesoberfläche in Altbergbaugebieten ist deshalb eine realistische qualitative und quantitative Eingrenzung der möglichen Einwirkungsbereiche notwendig. Ein wichtiges Kriterium für eine numerische Analyse von Deformationsprozessen stellt dabei die Entwicklungsphase des altbergbaulichen Erscheinungsbildes dar. Die quantitativen Bestimmungen werden für Schächte, Strecken, Stollen und Abbaue im Locker- und Festgestein praxisbezogen aufgezeigt. Eine Einteilung des Altbergbaues nach der Tiefe im Fels aus geotechnischer Sicht ergänzt die Bewertung der Einwirkungsbereiche.*

### **Summary**

*A requirement for geotechnical mine surveyor risk evaluations is the demarcation of the zone of affectment of abandoned mining. It is carried out by using empirical, statistic and numerical methods. A realistic qualitative and quantitative location of the possible zone of affectment is therefore necessary to be able to use safely the surface of abandoned mining areas. An important criterion for a numerical analysis of the deformation processes is the stage of development of the abandoned mining area. The quantitative analysis for shafts, drifts, galleries and mining in loose and hard rock are shown realistically. The evaluation of the zone of affectment is supplemented by a geotechnical gradation of depths of the abandoned mining in rock.*

## **1 Problemstellung und Definitionen**

Im Rahmen von geotechnisch-markscheiderischen Bewertungen von altbergbaulichen Hinterlassenschaften steht neben der Risikozuordnung stets die Frage nach der Größe, Lage und Intensität von möglichen schadensrelevanten Einwirkungen auf die Tagesoberfläche. Daraus leitet sich insbesondere die Frage ab, wie groß die beeinflusste Fläche ist, um vor allem die öffentliche Sicherheit an der Tagesoberfläche unter Berücksichtigung der jeweiligen Nutzungsart zu gewährleisten und Schäden abzuwenden.

Ein Einwirkungsbereich über Altbergbau oder ein altbergbaulich bedingter Einwirkungsbereich ist an der Tagesoberfläche die Zone, wo altbergbauliche Erscheinungsbilder (z. B. Tagesbrüche) bereits vorliegen oder auftreten können und ihren schadenswirksamen Einfluss unmittelbar hinterlassen. Der Einwirkungsbereich kann nur über hinreichend bekannte Erscheinungsbilder

---

\* Veröffentlicht in: Tagungsband 9. Altbergbau-Kolloquium, Leoben, 05. - 07.11.2009, S. 118 - 131, VGE Verlag GmbH, Essen 2009

innerhalb eines altbergbaulich beeinflussten Gebietes ausgewiesen werden, dem dann auch die entsprechende Risikoklasse gemäß der Empfehlung des Arbeitskreises Altbergbau zuzuordnen ist (MEIER ET AL. 2004). An der Tagesoberfläche wird dieser Bereich unter Berücksichtigung der altbergbaulichen Situation, der Lagerstätte, der ingenieurgeologischen, hydrogeologischen und tektonischen Verhältnisse des Deckgebirges und der Geländenutzung abgegrenzt.

Neben den gesetzmäßigen Erkenntnissen können auch empirische Werte und Erfahrungen bei der Grenzziehung des Einwirkungsbereiches Eingang finden. Wie aus der Abbildung 1 zu entnehmen ist, erhalten verwaehrte Grubenbaue keine Zuordnung zu einem Einwirkungsbereich, da sie unter der jeweiligen Nutzungszuordnung als überwachungsfrei und sicher eingestuft werden sowie keinen schadensrelevanten Einfluss auf die Tagesoberfläche über einen langen Zeitraum mehr ausüben werden. Stets verbleibt jedoch ein altbergbaubedingtes Restrisiko. Das Gleiche gilt für sehr tiefliegende Grubenbaue, deren Einwirkung auf die Tagesoberfläche bei der vorgegebenen Nutzung nach geotechnischer Prüfung auszuschließen ist. Bei Nutzungsänderungen ist grundsätzlich eine Neubewertung der Einwirkungsbereiche erforderlich.

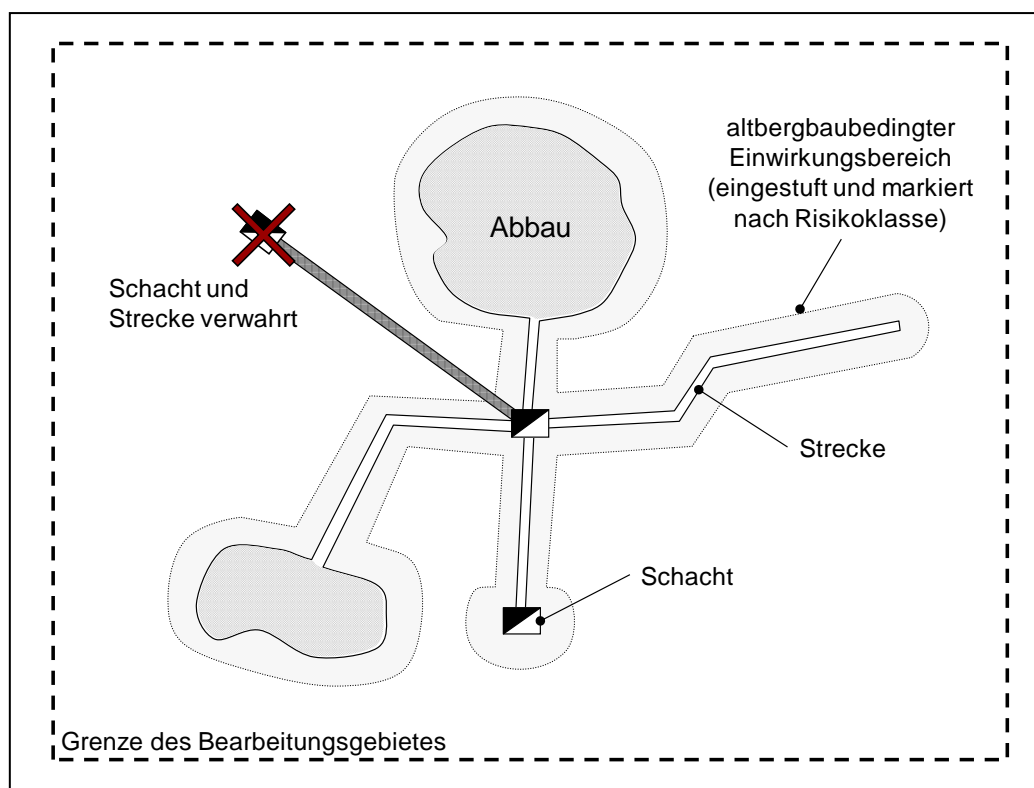


Abb.1 : Schematische Darstellung von Einwirkungsbereichen über Altbergbau

Einwirkungsbereiche lassen sich empirisch anhand von Erfahrungswerten und statistischen Analysen an vorhandenen Schadensbildern oder numerisch auf der Basis von boden- und felsmechanischen Kennwerten, strukturgeologischen Auswertungen und geotechnisch-geometrischen Rechenansätzen festlegen. Verschiedene Bruch- und Deformationsmodelle bilden dabei die Grundlage der numerischen Betrachtungen (FENK 1984; MEIER & MEIER 2007).

Es muss darauf hingewiesen werden, dass bei den geotechnisch-markscheiderischen Bewertungen im Altbergbau die „klassische“ Bergschadenkunde nicht mehr als Grundlage herangezogen werden kann, da die hier ausgewiesenen Gesetzmäßigkeiten und Rechenansätze nur für den unmittelbaren Einfluss des aktiven Bergbaues auf die Tagesoberfläche zutreffen (KRATZSCH 1997). Die Bruch- und Deformationsprozesse im Altbergbau folgen dagegen vorrangig Gesetzmäßigkeiten und Zusammenhängen, die durch geodynamische Prozesse ausgelöst werden und deren zeitlicher Ablauf erst nach abgeklungenen Abbaueinwirkungen beginnt.

Nachfolgend werden die wesentlichen Bewertungsmöglichkeiten zur Ausweisung von Einwirkungsbereichen für die wichtigsten Grubenbaue und Erscheinungsbilder des Altbergbaues im Locker- und Festgestein zusammengestellt.

## 2 Abgrenzung von altbergbaulich bedingten Einwirkungsbereichen

### 2.1 Schächte

Eine wesentliche Grundlage für eine revierspezifische Festlegung des Einwirkungsbereiches von Schächten im Locker- und Festgestein ist die Erfassung und Analyse von bereits vorhandenen Schachtpingen im Untersuchungsgebiet. Als günstige Objekte eignen sich vor allem vollständig ausgebildete Schachtpingen, über die ausreichende Kenntnisse vorliegen. Im Festgesteinsbereich können vor allem Schachtpingen verwendet werden, die sich in kleinen Tafelhalden oder in tiefreichenden Verwitterungsdecken entwickeln konnten. In Abbildung 2 ist ein Längsschnitt durch einen Halde-Pinge-Komplex eines alten Haspelschachtes schematisch dargestellt.

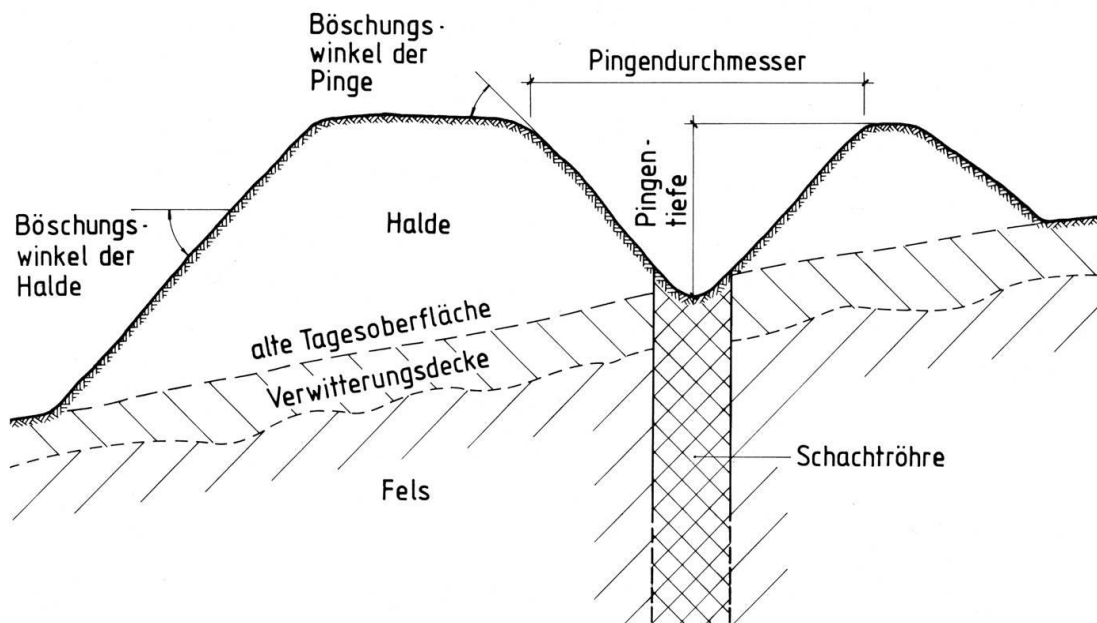


Abb.2 : Schematischer Längsschnitt durch einen Halde-Pinge-Komplex

Am Beispiel des Saalfeld-Kamsdorfer Bergbaureviers (Kupfer- und Eisenerz) wird nachfolgend der Bewertungsalgorithmus beschrieben (MEIER 1991).

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

Verfälschungen der Pingentiefe zu beobachten. In den meisten Fällen war jedoch der ursprüngliche Pingendurchmesser noch erkennbar.

In der Tabelle 1 werden zur überschlägigen Beurteilung des Verfüllungsgrades einer Schachtröhre das Pingenvolumen  $V_P$  und das Schachtröhrenvolumen  $V_S$  gegenübergestellt.

Tab.1 : Ursachenbewertung der Beziehungen zwischen Pingenvolumen  $V_P$  und Schachtröhrenvolumen  $V_S$

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

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

Tab.2 : Zusammenstellung von verschiedenen Schachtquerschnitten (Revier Saalfeld-Kamsdorf)

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

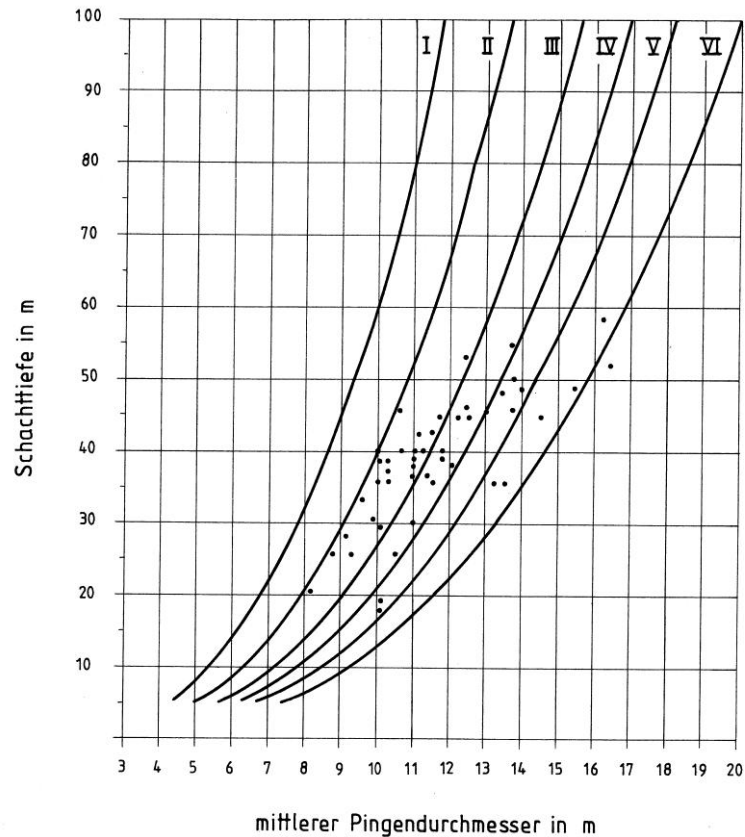


Abb.3 : Beziehungen zwischen Schachttiefe ( $t_s$ ), mittlerem Pingendurchmesser ( $d_m$ ) und Schachtquerschnitt (A) mit eingetragenen Beispielen aus dem Saalfeld-Kamsdorfer Revier

Die Bestimmung der Schachtquerschnitte ist durch fehlende Direktmessung problematisch und kann somit zu erheblichen Ungenauigkeiten führen. Anhand von noch 25 zugänglichen Schachtquerschnitten aus verschiedenen Abbauepochen konnten verschiedene Querschnitte ausgegliedert werden (Tabelle 2).

Insgesamt wurden 67 Schachtpingen ausgewertet. Dabei ist der Trend erkennbar, dass mit zunehmender Schachttiefe ein größerer Querschnitt zur Ausführung kam. In Abbildung 3 sind die Beziehungen zwischen Schachttiefe, mittlerem Pingendurchmesser und Schachtquerschnitt dargestellt.

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

Unter Verwendung der Abbildung 3 lassen sich die unmittelbaren schadensrelevanten Durchmesser des Einwirkungsbereiches ( $d_E$ ) für Halde-Pinge-Komplexe abschätzen. Wurden die Halden bereits abgetragen, so ist dieses Bewertungsverfahren für Schachtverbrüche als konservativ einzustufen, da sich der Verbruchtrichter überwiegend in gewachsenem Boden ausbilden muss und sich damit in der ersten Phase steiler einstellt als in geschüttetem Haldenmaterial. Bei Lageunsicherheit des Schachtes, die aus den Spannungen der markscheiderischen Altrisse und den Ungenauigkeiten der ehemaligen Vermessungen resultieren kann, ist noch ein festzulegender Sicherheitsaufschlag ( $\Delta r$ ) zu berücksichtigen.

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

$$d_E = 1,1 d_m + \Delta r \quad (1)$$

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

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

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

In der Praxis wird vor allem durch die Vielzahl der Schachtobjekte und unvollständigen ingenieurgeologischen sowie markscheiderischen Kenntnisse im Altbergbau eine empirische Bewertung bzw. eine Kombination von verschiedenen Bewertungskriterien bevorzugt, was insbesondere auch für Schächte ohne morphologische Hinweise auf ihre Lage zutrifft.

Bei Schachttiefen größer 50 m und Schächten in Bebauungsgebieten sollte stets eine geotechnisch-markscheiderische Einzelfallbetrachtung auf der Basis der ingenieurgeologischen Detailanalyse der geodynamischen Prozesse zur Ausweisung des Einwirkungsbereiches vorgenommen werden. Folgende wichtige Bewertungskriterien sind dabei zu berücksichtigen:

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

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

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

Eine explizite Abgrenzung einer Einwirkungszone an der Tagesoberfläche erfolgte anhand dieser Beträge nicht. Jedoch ist davon auszugehen, dass diese Werte als Radien für den Einwirkungsbereich genutzt werden können. Im „Leitfaden des Sächsischen Oberbergamtes für das Verwahren von Tagesschächten“ vom 10.12.2007 wurden diese Längen ebenfalls unverändert übernommen.

Für das Steinkohlenrevier des Ruhrgebietes empfiehlt HÜLSMANN (1992) einen sicherheitsrelevanten Einwirkungsbereich („Schachtschutzbereich“) von großen Schächten gemäß der Abbildung 4.

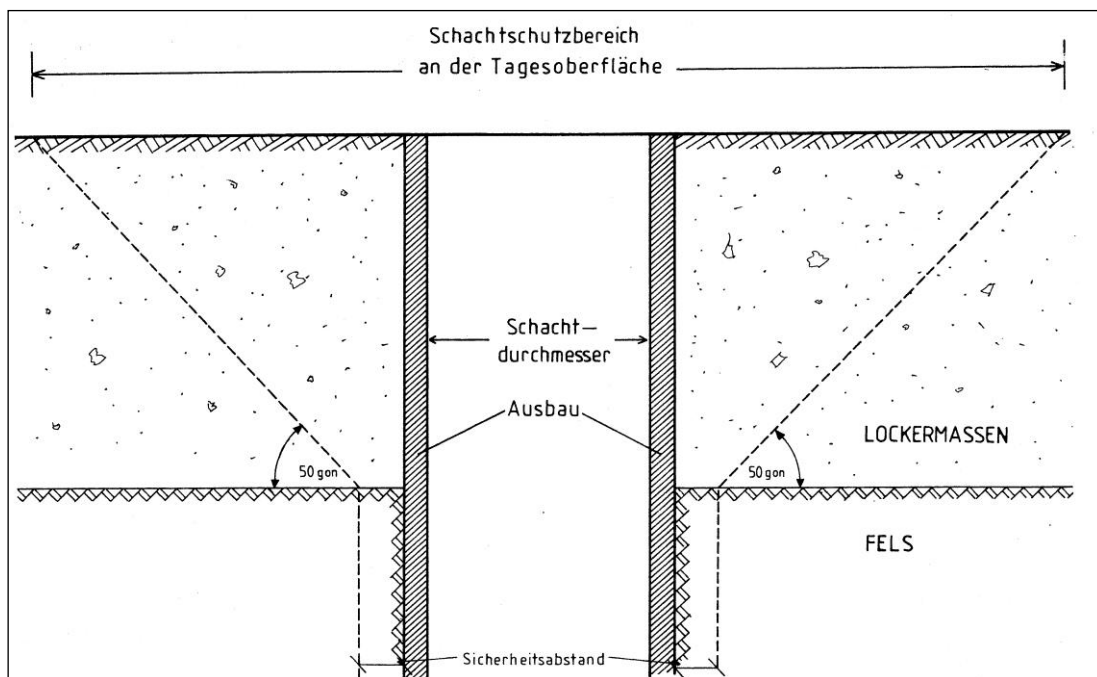


Abb.4 : Schema zur Ermittlung des sicherheitsrelevanten Einwirkungsbereiches („Schachtschutzbereich“) nach HÜLSMANN (1992)

Kommt dieses Bewertungsschema zum Ansatz, sind ebenfalls detaillierte Kenntnisse zur ingenieurgeologischen Situation und zum Schachtausbau unerlässlich.

GILLES & HOLLMANN (2005) geben detaillierte Vorschläge zur Bemessung eines Schachtschutzbereiches bezüglich Mindestabstand von Bauwerken im Bereich des auflässigen Steinkohlenbergbaues an, wobei auch hier die geotechnischen Verhältnisse der anstehenden Gebirgsschichten in Oberflächennähe einen großen Einfluss haben. Dabei werden einbruch-, einsturz- und senkungsgefährdete Zonen um einen Schacht unterschieden. Für die Abgrenzung des Einwirkungsbereiches sind die Einbruch- und Einsturzzonen von sicherheitsrelevantem Interesse.

## 2.2 Strecken und Stollen

Ein Kriterium für die Festlegung des Einwirkungsbereiches über Strecken und Stollen ist die Tagesbruchwahrscheinlichkeit. So kann u. a. anhand der Hohlraum-Bruchmassen-Bilanz nach MEIER (1991) im Locker- und Festgesteinsbereich eine numerische Abschätzung durchgeführt werden. FENK (1984) gibt ebenfalls numerische Ansätze zur Abschätzung der Tagesbruchwahrscheinlichkeit im Braunkohlentiefbau an.

Begehungen und Dokumentationen im Gelände und Auswertung von Meldungen bezüglich bereits eingetretener Ereignisse bilden eine wichtige Grundlage für die revierspezifischen Bewertungen.

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

### Fall: a

Es besteht keine Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Tagesbruch einstellen kann:

$$H_{vorh.} \geq H_{max.} \quad (2)$$

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

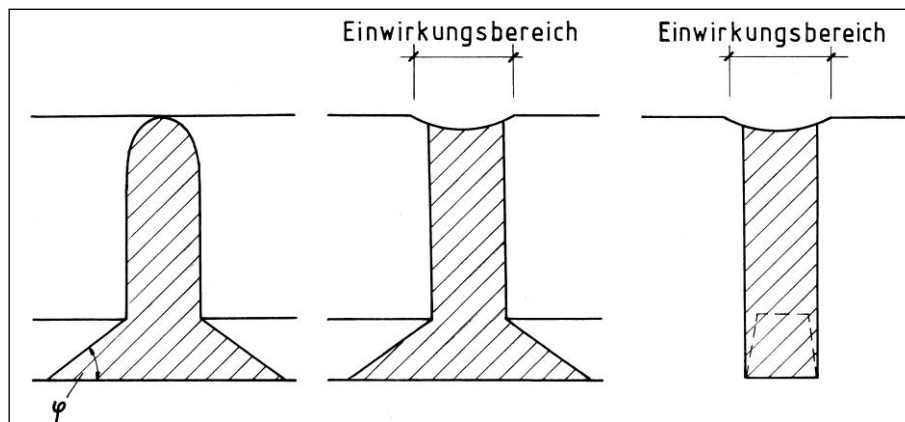


Abb.5 : Schematischer Kreuzschnitt durch einen Verbruch mit Einwirkungsbereich – Fall a. Der Verbruch läuft sich gerade „tot“, durch die Auflockerung ist eine Einsenkung als Einwirkungsbereich zu erwarten.

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

$$d_E = 2b + 1,0 + \Delta r \quad (3)$$

Anmerkung:  $2b = 1$  – entspricht dem Tagesbruchdurchmesser bzw. der Breite der Strecke im Ausbruch (ohne Ausbau).



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

**Fall: b**

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

$$H_{vorh.} < H_{max.} \quad (4)$$

Es sind bei einem Verbruch eines Grubenbaues dessen räumliche Lage, die hydrogeologischen Verhältnisse, die geotechnischen Eigenschaften des Deckgebirges und die Art der Geländenuzung maßgeblich. Das unmittelbare Schadensbild eines Tagesbruches an der Tagesoberfläche in der Durchbruchphase ist von den bodenmechanischen Kennwerten der obersten Lockergesteinsschichten abhängig. Bei bindigen Schichten bilden sich Überhänge aus, bei nichtbindigen Materialien stellt sich relativ rasch eine Trichterform ein. Der Böschungswinkel ist dann zwischen  $30^\circ$  und  $45^\circ$  zu erwarten. Bei anstehendem nichtbindigen Deckgebirge ist in der Anfangsphase eine Bezugsgröße von bis  $45^\circ$  praxisorientiert. Dieser Wert kann jeweils revier- oder objektspezifisch präzisiert werden. Der vertikale Ansatzpunkt für diesen Wert im zu erwartenden Tagesbruch entspricht der Differenz zwischen der Tagesoberfläche und dem numerisch bestimmten Betrag von  $H_{max.}$  (Abbildung 6).

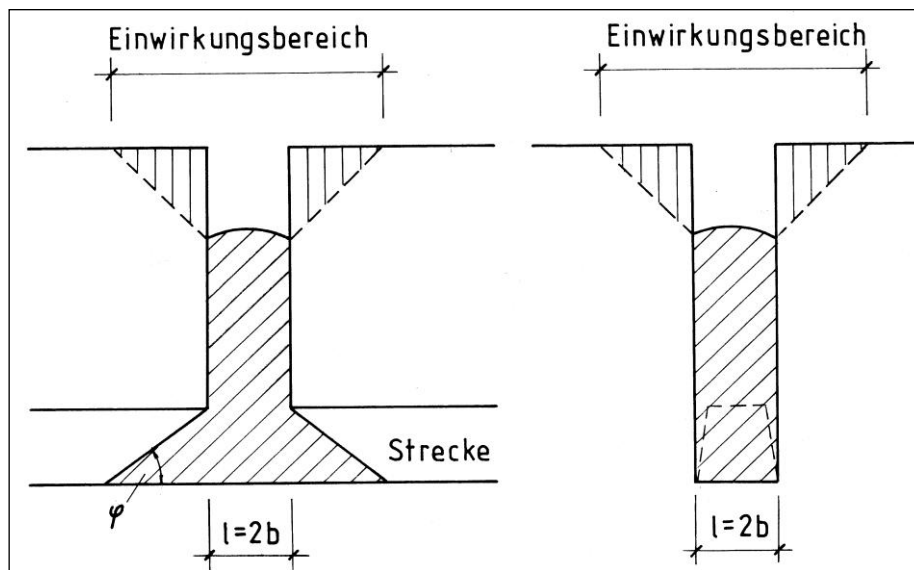


Abb.6 : Schematischer Kreuzschnitt durch einen Tagesbruch mit Einwirkungsbereich – Fall b

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

$$d_E = 2b + (H_{max.} - H_{vorh.}) + \Delta r \quad (5)$$

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

Bei einer exakten Lagekenntnis des tagesnahen Grubenbaues entfällt  $\Delta r$ .

### 2.3 Abbaue

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

Die Einwirkungszonen an der Tagesoberfläche von Abbauen des Altbergbaues sind von zahlreichen Einflussgrößen abhängig. Lagerstättenverhältnisse, Abbaumächtigkeit, Bergbauzweig, Abbautechnologie und -epoche, Ausbau- und Versatzart, geotechnische Pfeiler- und Deckgebirgssituation, hydrogeologische Bedingungen sowie geometrische Ausdehnung der Grubenbaue, deren räumliche Zuordnung und Verbindungen nehmen Einfluss auf die altbergbaulich bedingten Einwirkungszonen und Erscheinungsbilder. Das Dauerstandsverhalten des bergbaulich beanspruchten Deckgebirges und von Pfeilern verändert sich erheblich durch die zeitabhängigen geodynamischen Prozesse (z. B. Verwitterung, Erschütterung, Lasteintrag, Auslaugung, Spannungumlagerungen). Als dominierendes altbergbaulich bedingtes Erscheinungsbild heben sich über Abbauen Tagesbrüche hervor. Ihre Größe und Anordnung an der Tagesoberfläche widerspiegelt die geometrische Eigenschaftsverteilung der Hohlräume innerhalb der jeweiligen Abbauzonen. In vielen Fällen handelt es sich dabei aber auch um Nachbrüche von hängengebliebenen Verbrüchen oder von Verbruchprozessen, die beispielweise durch Massenumlagerungen, Holzvolumenschwund, Nutzungsänderungen an der Tagesoberfläche oder durch geodynamische Prozesse ausgelöst werden.

Die Entwicklung von Tagesbrüchen im Festgestein ist häufig an markante struktureologische Elemente oder an geringfeste, aufgelockerte Gesteinsschichten mit ihren unterschiedlichen Raumstellungen gebunden (MEIER & MEIER 2007).

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

- Steilstehende Gangabbaue ( $\geq 45^\circ$  Erz- und Spatbergbau,)
- Steilstehende Flöz-, Stock- und Lagerabbaue ( $\geq 45^\circ$ ) - Steinkohle, Kupferschiefer, Erz, Naturstein
- Flachliegender Gang-, Flöz-, Stock- und Lagerabbau ( $< 45^\circ$ ) – Steinkohle, Braunkohle, Kupferschiefer, Erz, Naturstein
- Salzbergbau

Zur Tiefeneinteilung des Altbergbaues gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben. Beispielsweise gliedert HOLLMANN (1995) in tagesnahen (0 – 40 m  $\pm$  10 m), oberflächennahen (40 - 60 m  $\pm$  10 m) und tiefer Bergbau  $>$  60 m.

In vielen Fällen wird auch für den tagesnahen Steinkohlenbergbau die Grenztiefe bei  $<$  30 m und für den oberflächennahen Bergbau bei  $<$  100 m gezogen. Eine Tiefenklassifikation in den anderen Bergbauzweigen fehlt. Als ein weiteres Kriterium für eine vertikale Zonierung kann eine Tagesbruchprognose im Braunkohlentiefbau nach FENK (1984) und die numerische Abschätzung

der Tagesbruchwahrscheinlichkeit für den Locker- und Festgesteinsbereich MEIER & MEIER (2007) genutzt werden.

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

Tab.3 : Geotechnische Tiefenzonierung von Abbauen und Strecken des Altbergbaues im Festgestein

	<b>Tiefenbereich</b>	<b>Gebirgseigenschaften</b>
Tagesnaher Altbergbau	0 – 20 m ± 10 m	Intensiver Einfluss der Verwitterung auf das Gestein und Gebirge, in Tagesnähe zunehmende Auflockerung und Auflösung des Gefüges, großer Einfluss der Gefügestrukturen (Störungen, Schichtung, Schieferung und deren Lage im Raum) auf das Dauerstandsverhalten und Standsicherheit der Grubenbaue, intensiv gestörter Spannungszustand, ist morphologieabhängig und wird durch Bebauung und Nutzung beeinflusst, Überlagerungsdruck dominiert häufig, an- und verwitterte Gesteinsminerale und lehmige Kluftbeläge, dadurch reduzierte Wasserdurchlässigkeit auf Klüften, Grubenbaue meist luftefüllt In Gangzonen: Oxidationszone Hohe Tagesbruchwahrscheinlichkeit
Oberflächennaher Altbergbau	20 - 50 m ±10 m	Übergang zum dreidimensionalen Spannungszustand im Gebirge, stark abnehmender Einfluss der Verwitterung und Gefügestrukturen auf das Gestein und Gebirge, auf Klüften ungehinderte Wasserdurchlässigkeit, jedoch abnehmend mit der Tiefe, ursprünglich grundwasserbeeinflusst, oft luftefüllte Grubenbaue. In Gangzonen: Oxidationszone, an der Basis geringmächtige Reduktionszone Geringe Tagesbruchwahrscheinlichkeit
Tiefer Altbergbau	>50 m ±10 m	Kein oder nur geringer Einfluss der Verwitterung auf das Gestein, dreidimensionaler Spannungszustand, geringe bzw. stark reduzierte Wasserdurchlässigkeit auf Klüften, Grubenbaue meist wassererfüllt oder z. T. wasserdurchströmt. In Gangzonen: Primärvererzung (ohne Verwitterung) Keine oder nur sehr geringe Tagesbruchwahrscheinlichkeit

Für die geotechnisch-markscheiderische Ausgrenzung von Einwirkungsbereichen an der Tagesoberfläche kann auch die vertikale geotechnische Zonierung des altbergbaulich beeinflussten Gebirges hilfreich sein. Für die Tiefenbewertung des Altbergbaues aus

geotechnischer Sicht im Festgestein sind die Spannungsverhältnisse, das Wasser und Verwitterungseinflüsse auf das Gestein maßgebliche Faktoren. In der Tabelle 3 ist diese Tiefenzonierung vor allem unter geotechnischen Aspekten zusammengestellt.

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

Beim Salzbergbau und bei einem stark auslaugungsüberprägten Deckgebirge ergeben sich für eine schematische Tiefenzonierung des Altbergbaues aus geotechnischer Sicht erhebliche Abweichungen. Im Lockergestein fehlt eine Einteilung nach der Tiefe, jedoch wäre auch hier eine Zonierung nach Spannungskriterien, Tagesbruchwahrscheinlichkeiten, geotechnischen Kennwerten und hydrogeologischer Situation möglich.

Bei der Ausgliederung von altbergbaulichen Einwirkungsbereichen über Abbauen sind vor allem alte Verbruchgrenzen, geomechanisch wirksame tektonische Elemente und Gesteinswechsel zu beachten. Sie bleiben stets latente Bewegungsbahnen. Über einem Bruchbau sind aufgelockerte Deckgebirgsschichten zu erwarten, zumal im Stein- und Braunkohlenbergbau eine Mehrfachüberbauung stattgefunden hat. Im Braunkohlentiefbau wird im Allgemeinen ein Bruchwinkel von  $\beta = 65^\circ$  und im Festgestein, z. B. im Ruhrgebiet nach KRATZSCH (1997) mit  $\beta = 68$  bis  $82^\circ$  unter Einfluss des Schichteneinfallens oder im erzgebirgischen Gneis von  $\beta = 70^\circ$  zugrunde gelegt. Eine objektbezogene Erkundung des Bruchwinkels ist bei exakter Ausgrenzung des Einwirkungsbereiches erforderlich.

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

### **3 Schlussfolgerungen**

Bei der Bestimmung von altbergbaulich bedingten Einwirkungsbereichen zeigt sich, dass nur differenzierte, objektbezogene geotechnische Betrachtungen, unter Berücksichtigung der vorhandenen oder geplanten Nutzungsverhältnisse und auf der Grundlage hinreichend genauer Vermessungsunterlagen, den besten Erfolg versprechen. Je unklarer die Verhältnisse sind, umso größer sind die notwendigen Sicherheitsfaktoren anzusetzen. Die Zone um das ausgewiesene Altbergbauobjekt als „Aura“ wird dadurch größer. Dies macht sich vor allem auch dann erforderlich, wenn keine untertägige Vermessung und geotechnische Standsicherheitsbewertung vorliegen sowie Lageungenauigkeiten zu berücksichtigen sind. Da die Deformations- und Verbruchprozesse im Altbergbau vor allem durch geodynamische Prozesse ausgelöst und begleitet werden, muss bei den geotechnischen Betrachtungen ein festgelegtes Deformations- und Verbruchstadium der Einwirkungen auf die Tagesoberfläche zugrunde gelegt werden. Die Aussagen sind nur für den Zeitpunkt der definierten Einwirkungsphase auf die Tagesoberfläche gültig. Die Bewertung ist deshalb grundsätzlich datumsbezogen. Ein typisches Erscheinungsbild

ist hierfür die Analyse von Tagesbrüchen. Insbesondere ist die „Wiederbelebung“ von alten Verbrüchen und Gebirgsdeformationen von tagesnahen altbergbaulich bedingten Erscheinungsbildern als zeitbezogener geodynamischer Vorgang einzuordnen. Eine exakte zeitbezogene numerische Bewertung dieser Vorgänge ist derzeit schwierig oder nicht möglich. Ein hoher Kenntnis- bzw. Erkundungsstand vom Altbergbauobjekt verbessert die geotechnisch-markscheiderische Risikoeinstufung wesentlich.

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

## 4 Literatur

- HOLLMANN, F. (1995): Zur bleibenden Beeinträchtigung der Nutzung von Boden und Baugrund im Senkungstrog nach Einstellung bergbaulicher Tätigkeit bzw. nach Auslaufen bergbaulicher Bodenbewegungen. - Bergbau 2/95, S.76 - 82
- HÜLSMANN, K. H. (1992): Gesichtspunkte bei der Sicherung stillgelegter Tagesschächte. - Neue Bergbautechnik, 22. Jg., H. 1, S.3 - 8
- AUTORENKOLL. (1976): Grundsätze für die Verwahrung von Tagesschächten. - Institut für Bergbausicherheit Leipzig, Forschungsabteilung Geomechanik, Leipzig, August 1976 (unveröff.)
- AUTORENKOLL. (2007): „Leitfaden des Sächsischen Oberbergamtes für das Verwahren von Tagesschächten“ vom 10.12.2007 (unveröff.)
- MEIER, G. (1991): Grundsätze von Bergsicherungsarbeiten im Gangbergbau. - Wiss.-Techn. Info.-Dienst, Jg.32, R. A, H. 1, Gesell. f. Umwelt- u. Wirtschaftsgeologie mbH Berlin i. G.
- MEIER, G. AT AL. (2004): Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“ des Arbeitskreises 4.6 der Fachsektion Ingenieurgeologie der DGGT e. V., Tagungsband 4. Altbergbau-Kolloquium, 4. - 06.11.2004 Montanuniversität Leoben, Anhang, 23 S., Verlag Glückauf GmbH Essen
- MEIER, G.; MEIER, J. (2007): Erdfälle und Tagesbrüche – Möglichkeiten einer numerischen Modellierung. - Bull. Angew. Geol 12/1, Juli 2007, S.91 - 103
- FENK, J. (1984): Berechnung von Tagesbrüchen. - Neue Bergbautechnik.- 14. Jg., 11, S.414 - 416 und 425
- KRATZSCH, H. (1997): Bergschadenkunde. - Deutscher Markscheider-Verein e. V., Bochum
- KWIATEK, J.; KOWALSKI, A. (2003): Vorgeschlagene Klassifizierung der Altbergbaugebiete im Steinkohlenbergbau in Polen. - Tagungsband 3. Altbergbau-Kolloquium, TU Bergakademie Freiberg, S. 415 - 420, Verlag Glückauf GmbH, Essen

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

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