



Hager

Integrierte Bewertung altbergbaulicher Risikoobjekte des Steinkohlenbergbaus der RAG Aktiengesellschaft

Dr.-Ing. Stefan Hager, Markscheider, Pastor-Hospelt-Straße 15, 66287 Quierschied,
Mail: suh.hager@outlook.de

1. Einleitung

Nach dem Tagesbruch in Höntrop im Jahr 2000 wurden bundesweit die risikobehafteten altbergbaulichen Sachverhalte der vergangenen Jahrhunderte verstärkt in den Blick genommen. Schnell war klar, dass die Beseitigung dieser Risiken für Leib und Leben der Menschen sehr lange Zeit in Anspruch nehmen wird. Als Folge wurden auch bei der RAG altbergbauliche Risikomanagementsysteme (RMS) etabliert [12].

Aktuelle Risikomanagementsysteme verfolgen primär das Ziel, die Vielzahl notwendiger Maßnahmen zur Verwahrung altbergbaulicher Risikoobjekte objektiv und eindeutig zu priorisieren. Unterschiedliche Objektarten werden in separaten Systemen behandelt, auch wenn sich deren Auswirkungen an der Tagesoberfläche regelmäßig überlagern. In der Praxis zeigt sich dies, wenn in großflächigen Maßnahmen viele Objekte gemeinsam bearbeitet werden.

Die Limitierung vorhandener interner und externer Ressourcen und die daraus resultierende lange Dauer bis zur Verwahrung aller Risikoobjekte ist der Grund für die Vorgehensweise. Auch wenn die operative Verwahrung schon wegen des Aufwands prioritär erscheint, ist das Ziel die maximale Reduzierung des Gesamtrisikos bei optimaler Nutzung vorhandener Ressourcen.

In diesem Beitrag wird eine ganzheitliche Behandlung der altbergbaulichen Risiken vorgestellt. Die Einführung einer linearen Superposition ermöglicht eine modulare Vorgehensweise zur Integration unterschiedlicher Sachverhalte und Objekte in einem System. Neue Erkenntnisse können eingeführt werden, auch wenn sie nur einzelne Risikosachverhalte betreffen. Dabei reichen oft wenige geometrische Parameter, die aus dem markscheiderischen Risswerk oder Sanierungsmaßnahmen abgeleitet werden können. Eine rasterbasierte Berechnung des Risikos aus dem übertägigen Gefährdungspotenzial (= Stärke des Ereignisses) und der Sensibilität der Oberfläche (= Schadensausmaß) ermöglicht es, sinnvolle Bearbeitungsbereiche abzugrenzen.

Dabei berücksichtigt eine normalverteilte Nachbarschaftsfunktion die Mobilität der Menschen, um deren Schutz es ja letztlich geht. Die flächennormierte Risikozahl wird zentraler Parameter für eine stets eindeutige Priorisierung.

Die im vorliegenden Beitrag vorgestellte Lösung zur ganzheitlichen Bearbeitung altbergbaulicher Risiken wurde ausführlich in [11] beschrieben und war Gegenstand eines Vortrags beim Altbergbaukolloquium 2022 in Freiberg.

Primäres Ziel ist es bisher, Risikoobjekte nach objektiven Kriterien zu priorisieren und in eine nachvollziehbare Sanierungsreihenfolge zu bringen. Unterschiedliche Sachverhalte werden bisher objektspezifisch getrennt behandelt, auch wenn sich die Auswirkungen an der Oberfläche regelmäßig überschneiden.

Die Bearbeitung beansprucht die gleichen internen und externen Ressourcen, eigene Mitarbeitende, aber

Integrated risk assessment of post mining objects in hard coal mining areas of the RAG Aktiengesellschaft

The main goal of modern post mining risk management systems is to prioritize necessary remediation measures in an objective and defined way. Different object types are treated in separate systems, even if their impacts on the surface overlap each other. Limited internal and external resources lead to low remediation rates. This results in large scale operations treating several mining objects at once. The goal is an efficient usage of your given resources to achieve maximal risk reduction.

This paper introduces a holistic risk management system for post mining areas focussing not only on remediation but also on prevention. The introduction of linear superposition allows a modular procedure considering different technical matters and objects in one system. New insights can be implemented, even if they concern specific types of risk. This risk management system is usually based on just a few geometrically derived parameters adapted from mine plans or previous site remediations. Using a grid-based approach, suitable remediation sites can be determined based on the hazard potential (depending on prior mining activities) and the potential extend of damage (depending on the sensibility of surface usage). A proximity function using the Gaussian distribution predicts the movement of people to specify their risk and therefore increase their safety. The result is a standardized risk number for every site which leads to a clear prioritization list.

This article shows a solution for the integral risk management of post mining objects, which was accurately described in [11] and was presented at the Altbergbaukolloquium 2022 in Freiberg.

Schlagworte

Keywords

Kohlebergbau
Coal mining

Risikomanagement
Risk management

Nachbergbau
Post mining activities

Gefahrenabwehr
Prevention of hazards

Bergschaden
Mining damage

auch z. B. externe Gutachter und Fachfirmen. Selbst wenn man finanzielle Aspekte außer Acht lässt, ist die Beschränkung der Ressourcen der Grund für die lange Bearbeitungsdauer.

Nach Sicht des Verfassers stellen sich folgende Fragen:

- Sind die erfassten Objektarten vollständig?
- Welche neuen Erkenntnisse und Erfahrungen sind für die RMS relevant?
- Ist die Priorisierung ausreichend differenziert und für Verwahrungsprojekte praktikabel?
- Wie ist mit sich überlagernden Sachverhalten umzugehen?
- Wie ist das Gesamtpotenzial aller altbergbaulichen Risiken zu ermitteln und welche Wirkung besitzen die Aktivitäten des Unternehmens?
- Wo liegt die Grenze, ab der präventives Handeln nicht mehr erforderlich ist?

Das Schadensausmaß bei Eintritt eines Ereignisses orientiert sich an der vorhandenen Oberflächennutzung. Die Erfahrung der RAG hat jedoch gezeigt, dass Personenschäden oft nicht dadurch entstanden sind, dass sich „die Erde plötzlich auftut“, sondern dass auch der neugierige Mensch als mobiles Individuum berücksichtigt werden sollte. Dies forderte auch der Bundesgerichtshof in einem entsprechenden Gerichtsverfahren [5].

2. Altbergbauliches Risikomanagement im Steinkohlenbergbau der RAG

2.1 Grundlagen und bestehende Systeme

Bei früheren Stilllegungsmaßnahmen wurden die jeweils geltenden Regeln angewendet. Die Intensivierung der Oberflächennutzung und neue Erkenntnisse der Bergbaufolgen führen heute zu einem in der retrograden Sicht erheblichen Handlungsbedarf für viele Objekte.

Der Bergbauunternehmer ist dafür verantwortlich, dass von seinem Bergwerkseigentum, hier von dem Grubengebäude, keine Gefahr für die öffentliche Sicherheit und Ordnung ausgeht.

Die Bearbeitung altbergbaulicher Risiken erfolgte lange Zeit erst bei einem eingetretenen Ereignis (z. B. Tagesbruch) oder einer konkreten Gefährdung, also eher reaktiv analog der Regulierung von Bergschäden.

Eine solche rein reaktive Bearbeitung von Gefährdungseignissen kann bei Kenntnis der Gefährdungssituation strafrechtliche Konsequenzen nach sich ziehen (Körperverletzung oder Tötung durch Unterlassen) [10]. Daraus resultiert die Verpflichtung, sich einen Überblick über die Gefährdungssachverhalte zu verschaffen, aus dem dann i. d. R. weitergehende Maßnahmen resultieren. Diese juristische Neubewertung ist maßgeblich für die Entwicklung der Bearbeitung von altbergbaulichen Risiken im Verantwortungsbereich der RAG.

Darüber hinaus sind Gefährdungssachverhalte denkbar, bei denen den Unternehmer eine Störerhaf-

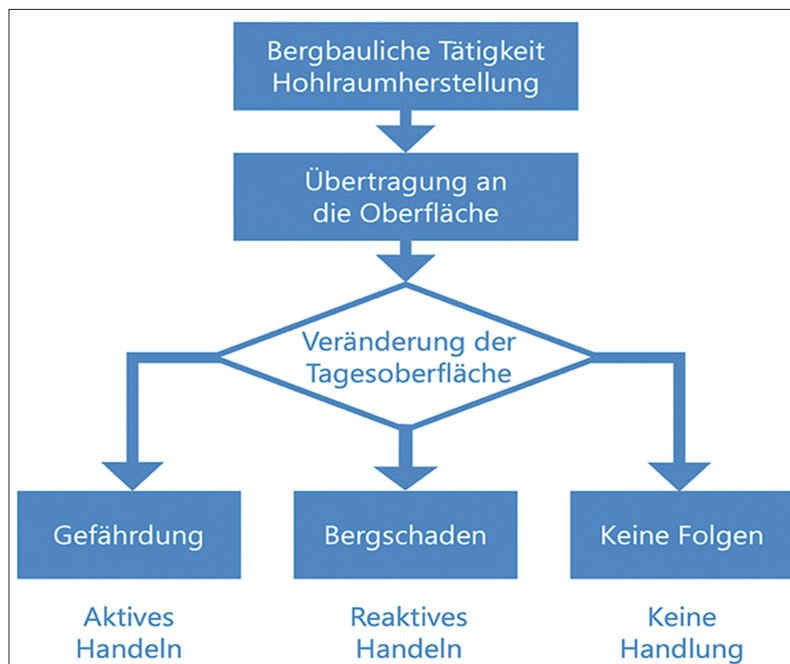


Abb. 1: Aktive und reaktive Bearbeitung von Bergbaufolgen

tung als Folge bergbauinduzierter Veränderungen trifft. Dies ist bei verdeckten Bruchspalten oder diffusen Gasaustritten denkbar.

Die Folgen bergbaulicher Tätigkeiten an der Tagesoberfläche sind danach zu unterscheiden in

- Risiken, die Gefahren für Leib und Leben von Personen erwarten lassen und
- die Schädigung von Sachen und Personen im Sinne eines Bergschadens.

Daraus resultieren zwei unterschiedliche Handlungsweisen (Abb. 1).

Die Verursachung von Bergschäden wurde wegen des öffentlichen Interesses an der Versorgung mit Rohstoffen in Kauf genommen. Die Vermeidung von Bergschäden (Sachschäden) ist somit nicht Gegenstand altbergbaulicher Risikomanagementsysteme. Die Bearbeitung von Bergschäden erfolgt stets reaktiv, auch wenn im Altbergbau Verjährungssachverhalte der Durchsetzung von Ansprüchen entgegenstehen können.

Die Bedeutung dieser Differenzierung ist weitreichend: Das aktive Handeln im Altbergbau endet dort, wo z. B. im oberflächennahen Bergbau nicht mit Gefährdungen für Leib und Leben, sondern nur mit Bergschäden (Sachschäden) zu rechnen ist. Diese sind Gegenstand der Bergschadensregulierung, nicht jedoch eines Risikomanagements. Das gilt auch für „schwere“ Bergschäden.

• Risikomanagement der RAG für Tagesöffnungen

Die Priorisierung der Tagesöffnungen erfolgt nach dem Handbuch zur Festlegung der Sanierungspriorität, erstellt von Clostermann [6].

Tab. 1 zeigt die verwendeten acht Parameter P_i .

Parameter	Gewicht	Bewertung
Wasserzutritt	5	20%
Nutzung Tagesoberfläche	5	20%
Sicherung	4	16%
Schachtteufe	3	12%
Ausgasung	3	12%
Schachtausbau	2	8%
Teufe Felslinie	2	8%
Durchmesser/längste Seite	1	4%
Summe	25	100%

Tab. 1: Festlegung der Sanierungspriorität von Tagesöffnungen [6]

Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß werden durch 4 Stufen beschrieben (unwahrscheinlich – sehr wahrscheinlich bzw. unbedeutend – sehr hoch). Für die Parameter werden Teilpunkte ermittelt, gewichtet und zu einer Gesamtrisikozahl summiert (1).

$$R_{Ges} = Z \cdot \sum_{i=1}^8 G_i \cdot P_i \quad (1)$$

- mit R_{Ges} Risikozahl TÖB,
- Z Zustandsfaktor,
- G_i Gewichtung des Parameters i und
- P_i Bewertungspunkte des Parameters i .

Der Zustandsfaktor wird dabei wie folgt festgelegt (Tab. 2):

Z	Beschreibung
0	verwahrt oder nach dem Stand der Technik gesichert
1	Situation unverändert
2	eingetretene Schadensereignisse oder Ausgasungen in relevanter Größenordnung

Tab. 2: Definition des Zustandsfaktors [6]

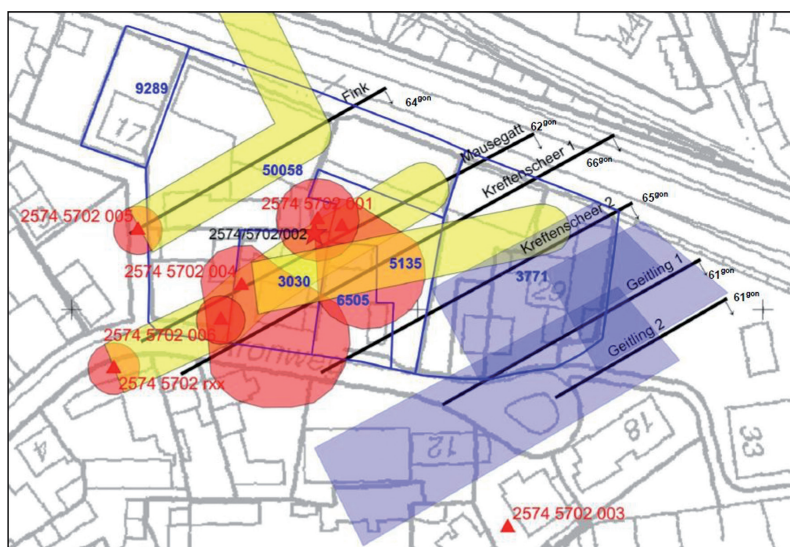


Abb. 2: Überlagerung von Gefährdungssachverhalten im oberflächennahen Bergbau

Die Vorgehensweise führt zu einem ganzzahligen System mit max. 100 Punkten. 25 Punkte definiert die Mindestpunktzahl einer nicht verwarnten Tagesöffnung wie auch das Grenzrisiko.

• **Risikomanagement für den oberflächennahen Bergbau**

2010 wurde das RMS auf den oberflächennahen Bergbau (ONB) erweitert [8]. Wesentlich war die Feststellung, dass die weit überwiegende Anzahl von Tagesbrüchen nicht Tagesöffnungen, sondern dem oberflächennahen Bergbau zuzuordnen sind [11]. Zur Priorisierung wurde ebenfalls ein Handbuch erstellt [17].

Verursacht eine Tagesöffnung einen mehr oder weniger kreisförmigen Gefährdungsbereich, so ist die bergbauliche Untergrundsituation im ONB komplexer (Abb. 2).

Die Parameter, denen eine Relevanz für das altbergbauliche Risiko zugerechnet wird, sind zu erfassen. Die Tagesoberfläche wird in sogenannte „zu betrachtende Flächen“ (ZBF) unterteilt, denen ein homogenes Schadensausmaß bei einem Ereignis zugeordnet werden kann und die einen separaten Bearbeitungsbereich darstellen.

Der Workflow zur Priorisierung der Bearbeitungsreihenfolge im oberflächennahen Bergbau der RAG ist in Abb. 3 dargestellt [17].

2.2 **Erfahrungen in der Bearbeitung altbergbaulicher Risiken**

Die Altbergbaubearbeitung der RAG hat viele Erkenntnisse durch gezielte Forschung oder in der täglichen Praxis gebracht. Hier sollen nur die wesentlichen Dinge kurz angeführt werden.

• **Vollständigkeit der Gefährdungssachverhalte**

Im Verantwortungsbereich der RAG sind – in Abhängigkeit von ihrer Ausprägung – bei folgenden Objektarten Gefährdungssachverhalte möglich:

- Tagesöffnungen,
- tages- bzw. oberflächennaher Bergbau,
- abbauinduzierte Zerrungsspalten¹ sowie
- bergbauinduzierte diffuse Naturgasaustritte.

Bergbauinduzierte diffuse Naturgasaustritte oder Zerrungsspalten werden bisher nicht betrachtet.

• **Eingeschränkte Rechtssicherheit durch unzureichende Differenzierung**

Das verwendete System mit 100 Punkten war zur Identifizierung der Tagesöffnungen mit dem größten Gefährdungspotenzial ausreichend, nicht jedoch zur umfassenden Priorisierung von mehr als 7.000 Tagesöffnungen. Mehr als 1.300 Tagesöffnungen werden

¹ Bezeichnung: „Bruchspalten“ im Saarrevier, „Kornfluchtzonen“ im Ibbenbürener Revier

mit 52 Punkten bewertet. Die Rechtssicherheit wird dadurch möglicherweise eingeschränkt.

• Flächenhafte Verwahrungsmaßnahmen aufgrund räumlicher Überlagerung

Die Verwahrung/Sicherung großer Tiefbauschächte ist in der Regel auf deren Umfeld beschränkt. Kleinere Tagesöffnungen mit geringer Tiefe liegen dagegen häufig in Bereichen mit tages- oder oberflächennahem Bergbau. Verwahrungsprojekte entwickeln sich regelmäßig zu Flächenprojekten, die mehrere (unter- und/oder übertägige) Objekte betreffen (Abb. 2).

Dies führt regelmäßig zur Abweichung von der Priorisierung – es werden Objekte (*mit*)-bearbeitet, die in der Priorisierung nicht vorne stehen.

• Systematische Überbewertung bei Objekten mit geringem Kenntnisstand.

Der Kenntnisgrad über die untertägigen Objekte ist trotzdem sehr gering. Nur bei 10% der Schächte liegen die Informationen über die Geometrie vollständig vor, 87% der Tagesöffnungen sind in der Örtlichkeit nicht erkennbar.

• Die besten Informationen liefert das markscheidische Risswerk.

Die geringe Kenntnislage in Verb. mit einer Worst Case-Betrachtung führt zu einer systematischen Überbewertung von Objekten mit geringem Kenntnisgrad. Die Häufung ähnlich bewerteter Objekte resultiert oft aus einem gleich geringen Kenntnisgrad. Je größer die Anzahl der Parameter, desto größer ist dieser Effekt.

Zudem haben manche Parameter evtl. Einfluss auf den Zeitpunkt eines Ereignisses, nicht jedoch auf dessen grundsätzliche Möglichkeit oder Stärke (z. B. Ausbauart).

• Tagesbrüche in Schlotform mit steilen Flanken

Tagesbrüche treten als vertikale Bruchschlote mit steilstehenden Flanken auf, nur die nicht kohäsiven obersten Bodenschichten böschen ab (siehe auch [7]). Diese Form behalten sie über längere Zeit. Lageänderungen der Füllsäulen von Schächten führt nicht zum Versagen des Schachtausbaus. So blieben steilstehende Bruchflanken nach dem vollständigen Abgang einer Schachtfüllsäule selbst unter einer Bergehalde über mehrere Monate praktisch unverändert [11, 19].

In der geneigten und steilen Lagerung treten die Tagesbrüche zuerst über den Bereichen mit der geringsten Teufe auf, es kann zu einer Verschiebung zum Ausgehenden kommen [13].

Große Ereignisse resultieren aus der Kombination der Auswirkungen mehrerer Objekte.

• Schutzbereiche altbergbaulicher Objekte für die Risikobearbeitung zu groß

Die in NRW und dem Saarland seit langem praktizierten Schutzbereiche um Tagesöffnungen oder im oberflächennahen Bergbau beinhalten auch den präventiven Schutz von Gebäudeschäden im Falle einer Bebauung.

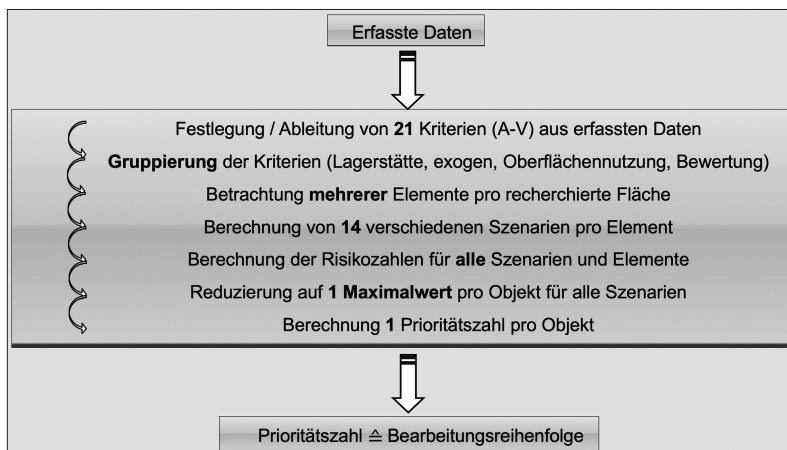


Abb. 3: Workflow zur Priorisierung im ONB der RAG [17]

Aus Sicht der Gefahrenabwehr sind die ausgewiesenen Bereiche jedoch regelmäßig zu groß.

• Einfluss der Mobilität von Personen

Personenschäden im Verantwortungsbereich der RAG entstanden oft nicht aus dem rein zufälligen Zusammentreffen von Personen mit einem Gefährdungsereignis. Dabei wies der BGH bei einem Verfahren in den 1970-er Jahren auf das übliche Bewegungsverhalten von Menschen hin [5]. Damals war ein Kind in einem Wald in den Tagesbruch eines Stollenausgangs geklettert und in den matten Wettern erstickt, ebenso wie ein Erwachsener, der das Kind retten wollte.

• Auswirkung von Wasser im Altbergbau

Die Untersuchungen zur Bedeutung von Wasser bei Lockermassenfüllsäulen in Schächten zeigten, dass Wasser zwar Auslöser für Gefährdungsereignisse sein kann, in der Regel jedoch nicht die Ursache. Zudem sind deutlich weniger Fallkonstellationen zu beachten [20]. Natürlich sind mögliche Wassereinflüsse bei Verwahrungsmaßnahmen zu beachten.

• Grenzkritik der präventiven Bearbeitung

Bisher ist noch keine Grenzbedingung der präventiven Bearbeitung definiert. Auch wenn derzeit noch viele Objekte zu bearbeiten sind, ist diese für Sanierungsmaßnahmen erforderlich, um deren Umfang im Vorfeld planen zu können.

2.3 Kritische Würdigung

Bei einer integrierten Betrachtung darf die Vermeidung neuer Risiken, z. B. in der Bauleitplanung oder dem Baugenehmigungsverfahren nicht außer Acht bleiben. Die nachträgliche Sanierung/Verwahrung ist die aufwändigste Art der Risikobeseitigung. Es besteht die Notwendigkeit, die Auswirkungen der Anstrengungen des Unternehmens im Altbergbau auf die Risikogesamtheit zu bilanzieren, um zu erkennen, ob sie zu dessen Reduzierung führen.

Die Beschränkung auf oberflächennahen Bergbau und Tagesöffnungen ist nicht ausreichend. Zerrungsspalten

und bergbauinduzierte Gasaustritte sollten betrachtet werden.

Das etablierte System ist für die künftige Bearbeitung der Tagesöffnungen nicht mehr ausreichend differenziert. Die detaillierte Erfassung vieler Parameter, Gewichte und Szenarien im oberflächennahen Bergbau sollten diese Differenzierung bei der viel größeren Anzahl gefährdeter Objekte sicherstellen. Erreicht wird so zwar eine rechnerisch eindeutige Differenzierung, de facto wird die Entscheidungsgrundlage durch den geringen Kenntnisgrad der Parameter eher diffuser.

Ein altbergbauliches Risikomanagement sollte sich dabei auf die Gefahrenabwehr fokussieren und die Grenze zwischen der präventiven Bearbeitung und der Bergschadensregulierung definieren.

Im Sinne eines risikoeffizienten Einsatzes bestehender Ressourcen ist es nicht mehr sinnvoll, die Objektarten in getrennten Systemen zu bearbeiten.

3. Vorgehensweise zur integrierten Bewertung altbergbaulicher Risiken

3.1 Risikomanagement als risikoorientiertes Ressourcenmanagement

Der Arbeitskreis Altbergbau von DGGT und DMV definiert das altbergbauliche Risiko als Produkt aus der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses und dessen Schadensausmaß [1]. Die nicht auf den Altbergbau festgelegte DIN 820-12 geht weiter, da sie auch die Wahrscheinlichkeit einer Konfrontation mit der Gefährdungssituation und Möglichkeiten zur Schadensvermeidung/-begrenzung einbezieht (Abb. 4).

Da das „nächste Ereignis“ in Lage, Umfang und Zeit nicht vorausberechenbar ist, ist es verständlich, dass die „Eintrittswahrscheinlichkeit“ und die „Wahrscheinlichkeit einer Konfrontation“ de facto durch die „Möglichkeit“ ersetzt wird.

Technische Möglichkeiten zur Schadensvermeidung/-begrenzung existieren, jedoch reichen die vorhandenen Ressourcen bei weitem nicht aus, die Gesamtheit der Risiken in überschaubarer Zeit zu beseitigen. Diese Begrenzung der Ressourcen in Verbindung mit dem Ziel der Rechtssicherheit im altbergbaulichen Handeln ist der eigentliche Grund für die RMS im Altbergbau.

Strenggenommen geht es also nicht darum, möglichst viele Tagesöffnungen oder Grubenbaue zu verwahren,

sondern darum, die vorhandenen Ressourcen risikooptimiert einzusetzen, dass das kumulierte Gesamtrisiko aller altbergbaulichen Objekte optimal reduziert wird.

3.2 Prämissen für die integrierte Bewertung altbergbaulicher Risiken

Basierend auf den bisherigen Erfahrungen sollen folgende Prämissen gelten:

- Minimierung der Anzahl und Konzentration auf die relevanten Parameter,
- Vermeidung der Überbewertung aufgrund unbekannter Parameter,
- Berücksichtigung der Mobilität sowohl möglicher Betroffener als auch der Gefährdungssachverhalte selbst und
- einfache oder automatisierte Reaktion auf veränderte Randbedingungen oder neue Erkenntnisse.

Die relevanten Parameter zur Beurteilung des übertägigen Gefährdungspotenzials sind:

- Die bergmännischen, geometrischen und geotechnischen Verhältnisse,
- die Größe der Bereiche an der Tagesoberfläche, in denen es zu relevanten Gefährdungsereignissen kommen kann und
- die „Stärke“ möglicher Ereignisse.

Für das Schadensausmaß sind

- die Sensibilität der Tagesoberfläche und
- die Mobilität möglicher betroffener Menschen an der Tagesoberfläche relevant.

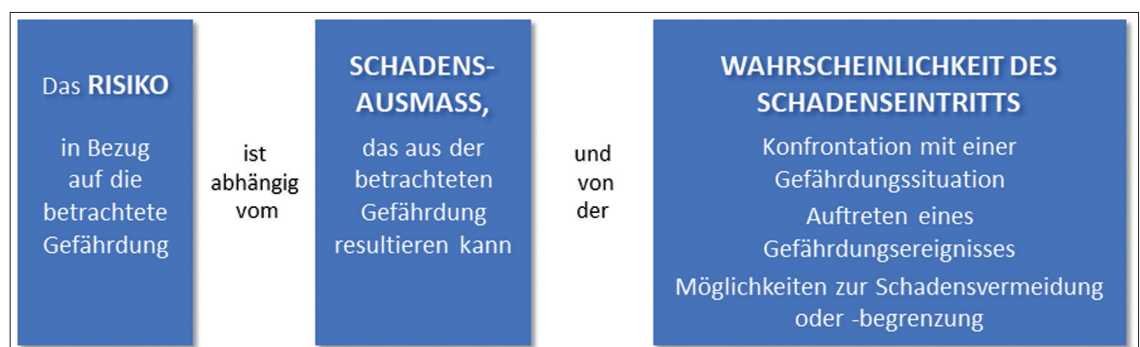
Die Gefährdung an der Oberfläche als Maß der Stärke eines Ereignisses ist ebenso wie das Schadensausmaß eine ortsvariable Größe. Damit kann auch das Risiko ortsvariabel berechnet werden. Dies setzt jedoch eine rasterorientierte Berechnung unter und über Tage voraus.

3.3 Bilanzierung der Risikogesamtheit

Die Risikogesamtheit unterliegt Veränderungen im Laufe der Zeit (Abb. 5). Sie stellt die Gesamtheit aller altbergbaulichen Risiken in der Verantwortung eines Bergbauunternehmens dar. Um diese zu reduzieren, ist es erforderlich

- neue Sachverhalte möglichst zu vermeiden bzw. zu verhindern und
- bestehende Sachverhalte bestmöglich zu reduzieren (Sanierung, Sicherung).

Abb. 4: Risikofaktoren nach DIN 820-12:2014-06



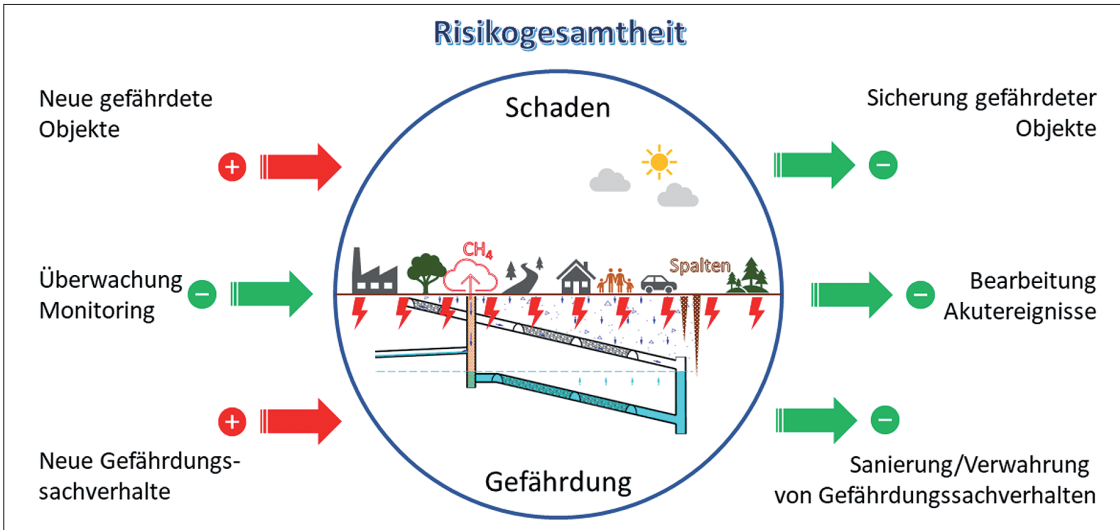


Abb. 5: Wechselwirkungen im integrierten Risikomanagement

Es ist leichter, neue Sachverhalte zu vermeiden – durch Maßnahmen beim Rückzug, aber auch durch Hinweise in der Bauleitplanung und im Baugenehmigungsverfahren. Die Sanierung dagegen beansprucht die meisten Ressourcen, personell wie auch finanziell.

Überwachung, Monitoring und Akutbearbeitung haben wenig Einfluss auf die Gesamtheit, sie tragen aber dazu bei, die Sicherheit bis zur Sanierung zu erhöhen. Ziel ist es, dass die Bilanz aus -nicht vermiedenen- risikosteigernden Sachverhalten und der Risikominderung durch z. B. Sanierungsmaßnahmen zur Reduzierung der Risikogesamtheit führt.

$$R_{ges}(t) = R_{ges}(t_0) + \Delta R_{neu}(t - t_0) - \Delta R_{san}(t - t_0) \quad (2)$$

mit: $R_{ges}(t)$ Risikogesamtheit zum Zeitpunkt t ,
 $R_{ges}(t_0)$ Risikogesamtheit zum Ausgangspunkt t_0

$\Delta R_{neu}(t - t_0)$ neu entstandene, nicht vermiedene, Risikosachverhalte sowie

$\Delta R_{san}(t - t_0)$ Risikoänderung durch Sanierungs-, Sicherungs- oder Akutmaßnahmen.

3.4 Superposition zur Integration unterschiedlicher Sachverhalte

Sich überlagernde Gefährdungssachverhalte führen zu einer Erhöhung des Gefährdungspotenzials und damit des Risikos an der zu bewertenden Stelle. Durch die Einführung einer linearen Superposition kann diese Aufgabe gelöst werden.

Damit wird eine gemeinsame Bewertung sowohl für unterschiedliche Sachverhalte (Abb. 6) als auch für zusammengesetzte Situationen möglich.

So kann z. B. das Risiko eines gebrochenen Schachts aus dem Risiko des seigeren Anteils (R_1) sowie dem des einfallenden Anteils (R_2) „zusammengesetzt“ werden

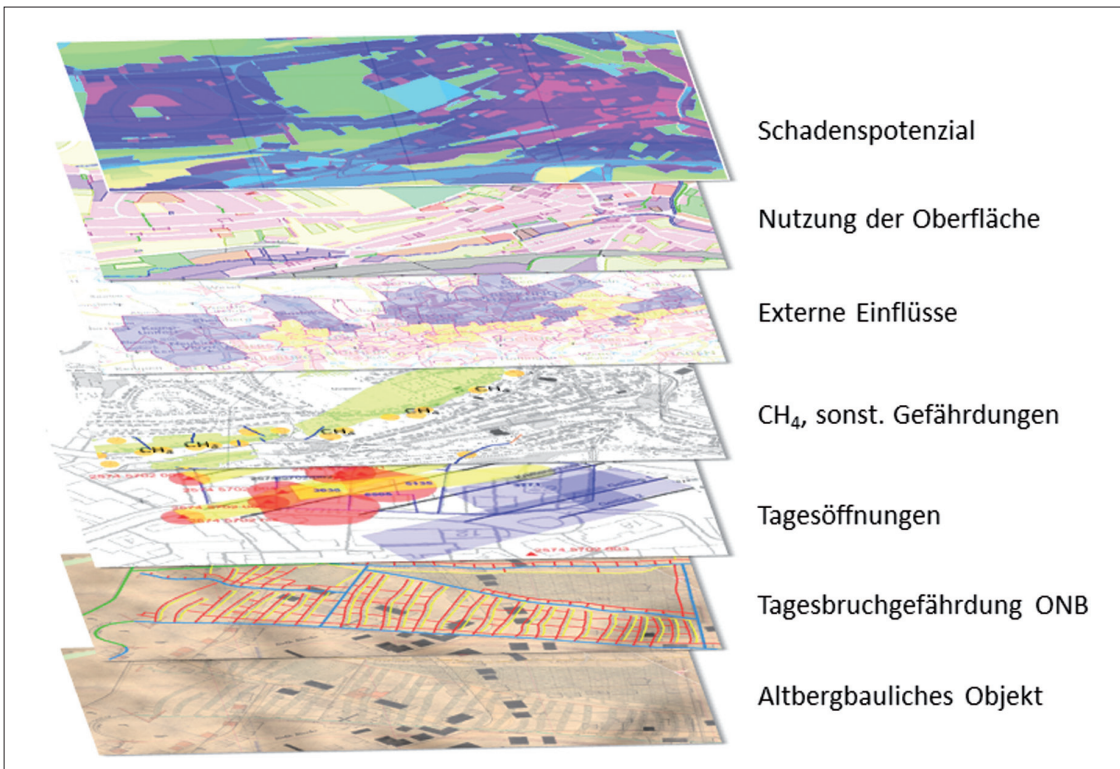
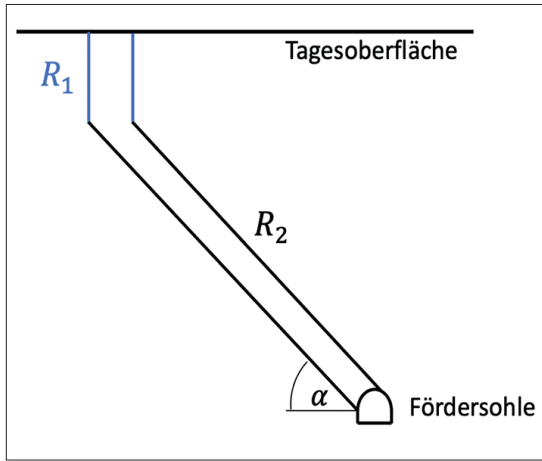


Abb. 6: Superposition mehrerer Gefährdungssachverhalte

Abb. 7: Lineare Superposition von Teilrisiken am Beispiel eines gebrochenen Schachts



(Abb. 7). Auf diese Art können komplexe untertägige Situationen hinsichtlich ihres Risikos bewertet werden.

Gefährdungen können auch ohne Kenntnisse des auslösenden untertägigen Grubenbaus integriert werden (z. B. diffuse Gasaustritte).

Die Risikogesamtheit kann sowohl objektbezogen als auch über Teilflächen hergeleitet werden (3). Nebenbei ergibt sich so die Möglichkeit, sinnvoll abgegrenzte Bearbeitungsbereiche zu bewerten.

$$R_{ges}(t) = \sum_{j=1}^m R_j(t) = \sum_{i=1}^n R_{B_i}(t) \quad (3)$$

mit $R_{ges}(t)$ Risikogesamtheit zum Bewertungszeitpunkt t

$R_j(t)$ Gesamtrisiko eines Gefährdungssachverhalts für alle Bereiche B_i

$R_{B_i}(t)$ Gesamtrisiko des Bearbeitungsbereichs B_i

3.5 Rasterbasierte Risikoberechnung

Das Risiko R zum Bewertungszeitpunkt t an der Stelle eines Rasterelements mit den Mittelpunktkoordinaten

(x, y) ist nach [1] aus Eintrittswahrscheinlichkeit $P(x, y, t)$ und Schadensausmaß $S(x, y, t)$ nach (4) zu ermitteln:

$$R(x, y, t) = P(x, y, t) \cdot S(x, y, t) \quad (4)$$

Da die Wahrscheinlichkeit im Sinne der Möglichkeit interpretiert wird, kann nur die Werte 0 oder 1 annehmen, wodurch der Einfluss der Wahrscheinlichkeit de facto entfällt. Auch die zeitliche Entwicklung ist, da die Bewertung zu einem definierten Zeitpunkt erfolgt, nicht von Relevanz.

Für die Berechnung einer ortsvariablen Risikozahl ist das übertägige Gefährdungspotenzial als Maß der Stärke eines Ereignisses wichtig. Es ergibt sich als ortsvariable Größe aus dem untertägigen Gefährdungspotenzial und der Übertragungsfunktion Θ an die Tagesoberfläche (5) (Abb. 8).

$$G(x, y) = \Theta(x - \xi, y - \eta, z - \zeta, p_1, \dots, p_n) \quad (5)$$

$G(x, y)$ Gefährdungspotenzial an der Tagesoberfläche im Rasterelement mit den Koordinaten (x, y) ,
 Θ Übertragungsfunktion,
 x, y, z übertägige Koordinaten,
 ξ, η, ζ untertägige Koordinaten sowie
 p_1, \dots, p_n weitere Parameter.

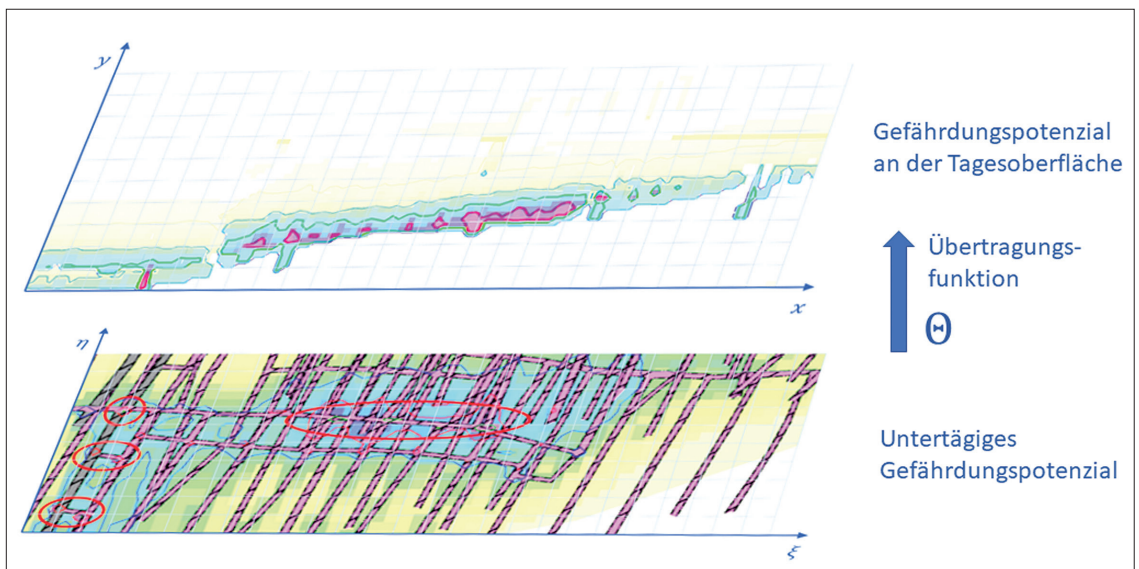
Das Risiko R am Element mit den Mittelpunktkoordinaten (x, y) und das Gesamtrisiko R_j eines Sachverhalts j ist dann

$$R(x, y) = G(x, y) \cdot S(x, y) \quad (6)$$

$$R_j = \sum R(x, y) = \sum G_j(x, y) \cdot S_j(x, y) \quad (7)$$

Da nur Konstellationen berücksichtigt werden, die zu einem Gefährdungsereignis führen können ($P = 1$), ist formell auch die Regel aus *Eintrittswahrscheinlichkeit x Schadensausmaß* erfüllt.

Abb. 8: Übertragungsfunktion und übertägiges Gefährdungspotenzial



Gefährdungssachverhalte können auch externen Einflüssen unterliegen, die das Risiko verstärken, mindern oder ganz eliminieren. Der Anstieg von Grubenwasser kann in mit Lockermassen verfüllten Schächtsäulen stärkere Sackungen induzieren, aber auch die Ausgasung nach dem Absaufen des Grubengebäudes unterbinden.

Die Formel für das Gesamtrisiko des Bearbeitungsbereichs B ändert sich dann:

$$R_B = \sum R(x, y) = \sum G(x, y) \cdot E(x, y) \cdot S(x, y) \tag{8}$$

Folgende Werte sind möglich:

- $E(x, y) = 0$: Risikoeliminierender Einfluss,
- $E(x, y) < 1$: Risikomindernder Einfluss,
- $E(x, y) = 1$: Kein risikorelevanter Einfluss (Neutral),
- $E(x, y) > 1$: Risikoverstärkender Einfluss.

Die Verwahrung eines Objekts führt mit $E(x, y) = 0$ zur Elimination der Gefährdung und des Risikos.

4. Eindeutige Priorisierung durch flächennormiertes Risiko

Mit der Größe eines übertägigen Bereichs ändert sich dessen Gesamtrisiko, aber auch der Aufwand zur Risikobeseitigung. Unter dem Aspekt der Ressourcenoptimierung ist das Gesamtrisiko der Priorisierung daher wenig geeignet. Hier bietet sich eine flächennormierte Risikozahl an (9).

$$R_{N, Bi} = \frac{R_{Bi}}{A_i} \tag{9}$$

mit $R_{N, Bi}$ Flächennormierte Risikozahl aller Sachverhalte zum Bewertungszeitpunkt t ,
 A_i Flächengröße des Bearbeitungsbereichs B_i .

Die Bearbeitung beginnt mit der höchsten, flächennormierten Risikozahl, wobei es sich nicht um einen ganzzahligen Wert handelt. Bei gleichem flächennormiertem Risiko ist der größere Bearbeitungsbereich aus Synergiegründen in der Bearbeitung vorzuziehen.

So ist immer eine eindeutige und nachvollziehbare Priorisierung gegeben. Die Unterschiede zu den bestehenden Systemen zeigt Tab. 3.

5. Ermittlung des übertägigen Gefährdungspotenzials

Für die verschiedenen Gefährdungssachverhalte sind Kennzahlen für das Gefährdungspotenzial abzuleiten, die dann per Superposition zusammengeführt werden. Zur detaillierten Herleitung siehe [11].

5.1 Gefährdungen durch Tagesbrüche oder vergleichbare Ereignisse

• Fallkonstellationen

Tagesbrüche sind die Folge nach oben gerichteter Erosionsprozesse. In der flachen Lagerung ist die lotrechte Entwicklung innerhalb der Grenzen der Grubenbaue die Wahrscheinlichste. Fallkonstellationen sind (Abb. 9):

- (a) Der Schlot läuft sich schon unter der Felslinie „tot“.
- (b) Der Schlot erreicht die Felslinie. Mulden als Folge der Sackungen können ein Bergschadenspotenzial besitzen, jedoch ohne Gefährdung für Leib und Leben.
- (c) Der Schlot bricht bis zur Tagesoberfläche und verursacht einen Tagesbruch mit der Tiefe Δh . In Abhängigkeit von Δh ist eine Gefährdung anzusetzen.
- (d) Der Schlot reicht bis zum Grubenbau. Hier kommt die Gefährdung durch matte Wetter aus dem Grubenbau hinzu.

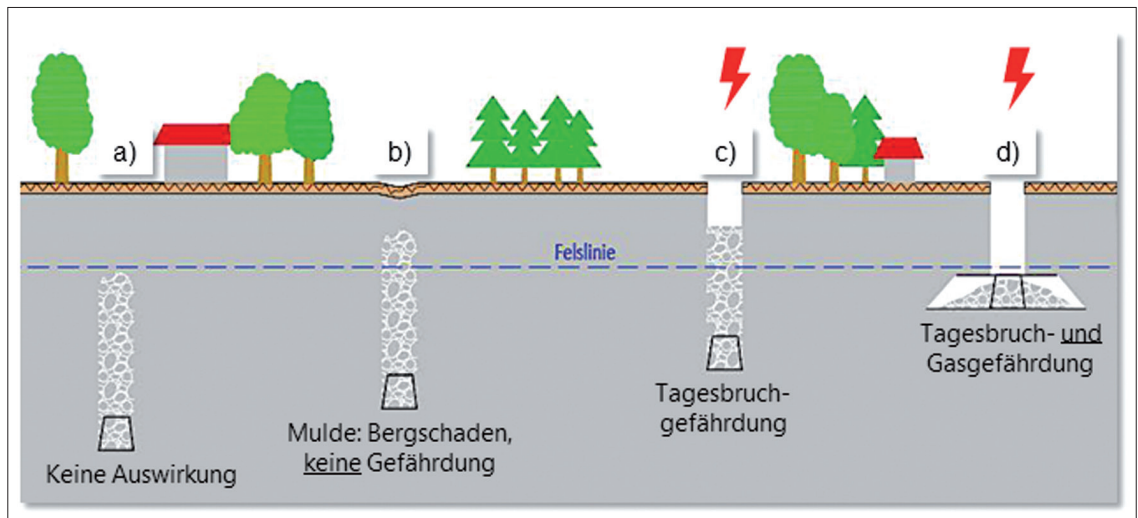
Folgende Parameter sind zur Bewertung der Tagesbruchgefährdungen relevant:

- die Geometrie der Hohlräume und das daraus resultierende primäre Bruchvolumen V_p ,
- die Teufe und das Einfallen der bergbaulichen Hohlräume,
- der Durchmesser D des entstehenden Schlots und damit des gefährdeten Bereichs sowie
- der Auflockerungsfaktor η der bis zur Tagesoberfläche anstehenden Schichten.

	Bisherige RM-Systeme	Integriertes RMS
Betrachtungsgegenstand	Zu schützendes Objekt oder Gefährdungsobjekt	Zu bearbeitender Gefährdungsbereich
Risiken	Getrennte Systeme je Gefährdungssachverhalt	Integrierte Bewertung aller Sachverhalte in einem Gefährdungsbereich
Priorisierung	1-stufig, i. d. R. durch diskrete Punktbewertung	Bei Bedarf 2-stufig, durch 1. flächenspezifisches Risiko und 2. Gesamtrisiko des Bereichs
Anwendung der Risikobewertung	Nur auf Sanierungspriorität	Anwendung möglich für - Überwachung - Sanierung - Nachsorge

Tab. 3: Priorisierung durch eine flächenspezifische Risikozahl

Abb. 9:
Risikorelevante
Fallkonstellationen
bei tagesbruch-
ähnlichen
Ereignissen



Die Fälle c) und d) sind in den Blick zu nehmen. Der Fall d) ist realistisch nur im Umfeld von Tagesöffnungen zu erwarten. In den Fällen a) und b) sind allenfalls Bergschäden zu erwarten.

Für das Gefährdungspotenzial $G_{Tgb}(x,y)$ eines möglichen Tagesbruchs werden Punkte in Abhängigkeit der Tiefe eines zu erwartenden Tagesbruchs angesetzt (Tab. 4). Als Grenzbedingung für eine zu erwartende Gefährdung aus einem Tagesbruch wird konservativ $\Delta h_c = 0$ angesetzt.

$\Delta h(x,y)$	$G_{Tgb}(x,y)$
$0 < \Delta h(x,y) \leq 1m$	1
$1m < \Delta h(x,y) \leq 2m$	2
$2m < \Delta h(x,y) \leq 3m$	3
$3m < \Delta h(x,y) \leq 5m$	4
$5m < \Delta h(x,y)$	5

Tab. 4: Punktbewertung nach Tagesbruchtiefe

Auf eine weitere Differenzierung über 5 m hinaus wird wegen der schon großen Tiefe des Tagesbruchs verzichtet.

• Bestimmung des primären Bruchvolumens

Zur Bestimmung des primären Bruchvolumens wird auf die von Sroka et al. 2018 vorgestellte Lösung zurückge-

Bezeichnung	Skizze	Primär volumen
Streckenende		$V_{P_1} = \frac{1}{2} \cdot h^2 \cdot b \cdot \cot \beta + h \cdot b^2$ (10)
Strecke		$V_{P_2} = \frac{2}{2} \cdot h^2 \cdot b \cdot \cot \beta + h \cdot b^2$ (11)
Streckenabzweig		$V_{P_3} = \frac{3}{2} \cdot h^2 \cdot b \cdot \cot \beta + h \cdot b^2$ (12)
Streckenkreuz		$V_{P_4} = \frac{4}{2} \cdot h^2 \cdot b \cdot \cot \beta + h \cdot b^2$ (13)

Tab. 5: Primäres Bruchvolumen bei unterschiedlichen geometrischen Verhältnissen [18]

griffen, die auf geometrischen Konstellationen basiert (Tab. 5) [18].

Mit der Anzahl i der Streckenabgänge, der Breite b und der Höhe h des Grubenbaus bzw. des offenen Hohlrums und dem Böschungswinkel β des gebrochenen Materials berechnet sich das primäre Bruchvolumen V_{P_i} nach:

$$V_{P_i} = \frac{i}{2} \cdot h^2 \cdot b \cdot \cot \beta + h \cdot b^2 \quad (14)$$

Unter Berücksichtigung der Angaben von Whitaker und Meyer wird der *Schlotdurchmesser* mit $D = b$ angesetzt [15, 21]. Auf den *Auflockerungsfaktor* sind Clostermann et. al. ausführlich eingegangen. Konservativ kann ein Faktor von $\eta = 1,25$ angesetzt werden [11].

• Berechnung der Tiefe von Tagesbrüchen und der Grenze der Bearbeitung

Nach den in Abb. 10 dargestellten geometrischen Verhältnissen gilt:

$$\eta \cdot V_S = V_P + V'_S \quad (15)$$

Die Berechnung wird durch die Verwendung der Geometrie-Konstante λ_{Ge} vereinfacht:

$$\Delta h(x,y) = h(x,y) \cdot \lambda_{Ge}(x,y) - H(x,y) \cdot (\eta - 1) \quad (16)$$

$$\lambda_{Ge_i} = \frac{4}{\pi} \cdot \left(\frac{i}{2} \cdot \frac{h}{b} \cdot \cot \beta + 1 \right) \quad (17)$$

$$H_G \geq \frac{1}{\eta - 1} \cdot (h \cdot \lambda_{Ge} - \Delta h_G) \quad (18)$$

mit H_C Grenzteufe eines Grubenbaus für eine Tagesbruchtiefe Δh_c und Δh_c Tiefe eines Tagesbruchs, ab der von einer Gefährdung ausgegangen wird.

Tab. 6 zeigt die Berechnungsergebnisse für die Grenzteufe H_C in flacher Lagerung (Berechnung für $\eta = 1,25$, $b = D = 3,0 m$, $h = 2,0 m$ und $\beta = 35^\circ$):

Grubenbau	λ_{Ge}	$\Delta h_g = 0 \text{ m}$
Streckenende	1,879	15,0 m
Strecke	2,485	19,9 m
Streckenabzweig	3,092	24,7 m
Streckenkreuz	3,698	29,6 m

Tab. 6: Grenzteufe der Gefährdung

Die Tabelle zeigt, dass die pauschal angewendete Grenzteufe von 30 m für eine Gefährdung der Tagesoberfläche durch Grubenbaue in der flachen Lagerung allenfalls für Streckenkreuze nachvollziehbar ist.

• **Untertägige Einflussfaktoren und Wechselwirkungen**

Grubenbaue unterliegen Faktoren, die das primäre Bruchvolumen beeinflussen. Dazu gehören (neben den Sanierungsmaßnahmen)

- das Einfallen (Änderung der lotrechten Höhe bzw. Massentransport) (E_α),
- Konvergenzen, die im Zuge der bergbaulichen Tätigkeit eintreten (E_0) sowie
- Abbaueinwirkungen tieferer Abbaue (E_{Abb}).

Die Implementierung ist durch Anpassung der Mächtigkeit des Hohlraums möglich:

$$h'(x, y) = h(x, y) \cdot E_0 \cdot E_\alpha \cdot E_{Abb} \quad (19)$$

Die offene Restmächtigkeit eines untertägigen Rasterelements kann einfach durch die Art der Grubenbaue (Streckenende, Strecke, Streckenabzweig oder -Kreuz, Abbaubegleitstrecken, -kanten oder Abbaufächen) beschreiben werden. Ein untertägiges Raster entsprechend der Streckenbreite vereinfacht die Erfassung. Auch geneigte und seigere Grubenbaue können integriert werden.

Der Einflussfaktor E_0 der bergbaulichen Aktivitäten berücksichtigt die vertikale Konvergenz im Zuge der Gewinnungstätigkeit. Hier werden Abbaufächen, Abbaubegleitstrecken und Abbaukanten unterschieden. Gewählt wurden:

$$E_{0, Abbau} = (1 - a) \cdot M \quad \text{für Abbaufächen,}$$

$$E_{0, AbStr} = 0,66 \quad \text{für begrenzende Abbaubegleitstrecken und}$$

$$E_{0, AbKte} = 0,33 \quad \text{für Abbaukanten.}$$

Bei Abbaukanten ist die Breite des unkonsolidierten Bereichs wichtig. Sie wird entsprechend der Ergebnisse von Kwiatek (10% der Teufe) und Białek (7%, für $H < 50 \text{ m}$: 12% der Teufe) bei einer mittleren Teufe von 30 m entsprechend der Streckenbreite ($b = 3 \text{ m}$) angesetzt [14, 2]. Dies vereinfacht die Bearbeitung.

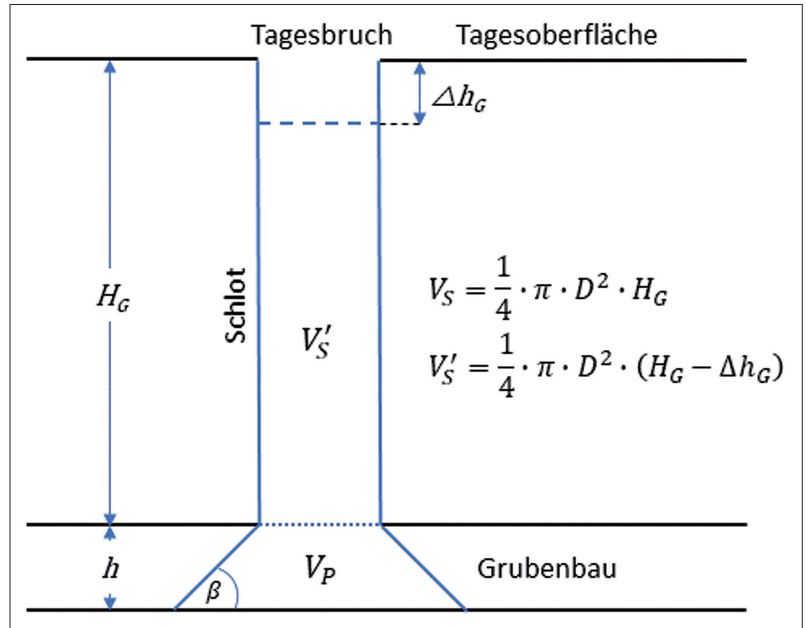


Abb. 10: Größen zur Ermittlung von Tagesbruchtiefe und Grenzteufe der Gefährdung

Der Einflussfaktor E_α des Einfallens berücksichtigt die Auswirkungen der Neigung der Grubenbaue auf die Vergrößerung der Grenzteufe der Gefährdung bzw. der gefährdeten Bereiche.

Bis zu einem Einfallen von $\alpha = 35^\circ$ sind nach den Erfahrungen der RAG keine Auswirkungen erkennbar. Fenk, Sroka et. al., Clostermann et. al. und Kateloe behandeln den Einfluss des Einfallens auf den von Tagesbrüchen gefährdeten Bereich [6, 9, 12, 18]. Zu erwartende Verschiebungen gegen das Einfallen und Verformungen der Tagesbrüche sind bei einer flächennetzogenen Betrachtung von geringerer Bedeutung.

Bis zu einem Einfallen von 80 gon wird E_α nach Tab. 7 gewählt.

Einfallen	Ansatz	E_α
$0 \text{ gon} < \alpha \leq 35 \text{ gon}$	$h' = h$	1
$35 \text{ gon} < \alpha \leq 80 \text{ gon}$	$h' = \left(\frac{1}{\cos \alpha}\right) \cdot h$	$\frac{1}{\cos \alpha}$

Tab. 7: Einflussfaktor des Einfallens bis 80 gon

Für Grubenbaue mit einem Einfallen $> 80 \text{ gon}$ wird für den tagesbruchgefährdeten Bereich die von Clostermann et al. vorgeschlagene Vorgehensweise gewählt [7]. Sie entspricht weitgehend der grundrisslichen Umhüllenden des Abbaus bzw. der Grubenbaue.

Mit Lockermassen verfüllte Tagesöffnungen werden mit ca. 10 % der Teufe in die Bewertung nach Tab. 4 eingeführt. Damit sind nach den Erfahrungen der RAG ca. 97 % der Ereignisse abgedeckt [11, 19].

Der Einflussfaktor der Abbaueinwirkungen E_{Abb} berücksichtigt die Abbaueinwirkungen auf die Grubenbaue im Falle einer dichten Unterbauung.

Nach bekannten Untersuchungen [2, 3] verursacht Abbau bis zu einem bankrechten Abstand der 15-fachen Mächtigkeit des unterbauenden Abbaus noch

schwere oder mittlere Schäden an den Grubenbauen und reduzieren dadurch den Resthohlraum.

Es wird ein linearer Ansatz für die Auswirkungen auf die wirksame Mächtigkeit h' gewählt:

$$h'(x, y) = E_{Abb} \cdot h(x, y) = \frac{D}{15 \cdot M} \cdot h(x, y) \quad (20)$$

Ab der 15-fachen Mächtigkeit wird keine Auswirkung mehr angenommen ($E_{Abb}(x, y) = 1$). Vernachlässigt werden dadurch z. B. Einwirkungen des tiefen Abbaus.

5.2 Gefährdung durch abbauinduzierte Spalten

Das Bruchverhalten solcher Spalten entspricht dem eines bis an die Felsoberkante reichenden steilstehenden, bergbaulichen Hohlraums, z. B. eines Abbaus in steiler Lagerung. Die bestimmende Größe für eine mögliche Gefährdung ist primär die Spaltenbreite. Zur Bewertung der zeitlichen Entwicklung werden Analogien zum Sackungsverhalten von Tagesöffnungen herangezogen, die zeigten, dass Ereignisse vor allem in den ersten 10 Jahren auftreten, nur 20% nach mehr als 40 Jahren [20].

Die Übertragung dieser Ergebnisse ist wegen des ungehinderten Wassereintritts und des fehlenden Anschlusses von Spalten an das Grubengebäude konservativ.

Folgende Parameter werden für die Berechnung gewählt:

Breite	G_B	Sicherung	E_S	Letzte Verfüllung	E_t
<0,3 m	0	keine	1,0	<10	0,5
<0,5 m	1	Lockermassen	0,5	10 – 20 a	0,3
<1,0 m	2	konstruktiv	0,2	20 – 40 a	0,2
<1,5 m	3	kohäsiv	0,1	>40 a	0,1
>1,5 m	5				

Tab. 8: Gefährdungspotenzial und Einflussfaktoren von Spalten

Das Gefährdungspotenzial einer abbauinduzierten Spalte errechnet sich dann nach:

$$G_{Sp}(x, y) = G_B \cdot E_S \cdot E_t \quad (21)$$

mit

$G_{Sp}(x, y)$ Gefährdungspotenzial am Punkt (x,y) aufgrund abbauinduzierter Spalten,

G_B abgeleitetes Gefährdungspotenzial aus der Breite der Spalte,

E_S Einflussfaktor der Sicherung der Spalte,

E_t zeitlicher Korrekturfaktor nach der letzten Verfüllung.

Als Mindestwert einer weiteren Betrachtung im Sinne eines Risikos wird $G_{Sp} \geq 1$ gewählt.

5.3 Gefährdung durch diffuse Methangasaustritte

Gefährdungen durch Gase werden auf Basis konkreter Messungen an der Tagesoberfläche oder an Tages-

öffnungen bewertet. Diffuse Gasaustritte sind nur bei Methan bekannt, da sich CO oder CO₂ auf das Umfeld von Tagesöffnungen oder Grubenbauen beschränkt. Primäre Messgröße ist die CH₄-Konzentration, da der Volumenstrom allenfalls in Einzelfällen (z. B. an Absaugeinrichtungen) ermittelbar ist. Wegen atmosphärischer Schwankungen werden die Messungen der letzten 12 Monate verwendet, mindestens jedoch die letzten drei Messungen.

Das Gefährdungspotenzial an einem Rasterelement der Tagesoberfläche berechnet sich nach

$$G_{CH_4}(x, y) = G_K \cdot E_T \cdot E_{St} \cdot E_S \quad (22)$$

mit

$G_{CH_4}(x, y)$ Gefährdungspotenzial für Methan am Punkt (x,y)

G_K Gefährdungspotenzial der gemessenen Konzentration

E_T Trend der Messungen am Bezugsmesspunkt

E_{St} Einfluss von Störgrößen

(z. B. Grubengasabsaugung)

E_S Sicherung der Ableitung von austretendem Methan

Zur Erläuterung und der Parameter und Einflussfaktoren wird auf [11] verwiesen.

Methan stellt nur bei Anreicherung in Gebäuden eine Gefährdung dar. Da Menschen im Freien nicht gefährdet sind, ist die Mobilität von Menschen nicht relevant. Die Bewertung des Schadensausmaßes reduziert sich darauf, ob und wenn ja, welche Gebäude sich im Gefährdungsbereich einer Methangasaustrittsstelle befinden. Dabei soll folgendes Punktesystem verwendet werden:

Gebäudeart	S
Öffentliche Gebäude, Hochhäuser (z. B. Schulen, Kitas ...)	8
Gewerbe- und Industriegebäude	6
Mehrgeschossige Wohngebäude	5
Einfache Wohngebäude	4

Tab. 9: Schadenspotenziale von Gebäuden bei CH₄-Austritten

Bei Verwendung von konstanten, repräsentativen Einflussfaktoren eines Bereichs können diese zur Berechnung des Gesamtrisikos mit der Größe der gefährdeten Fläche multipliziert werden.

Das Gesamtrisiko durch eine Methangasaustrittsstelle errechnet sich dann nach:

$$R_{ges,CH_4} = \frac{G_{CH_4}(x, y)}{A} \sum_i S_i \cdot A_i = \frac{G_K \cdot E_T \cdot E_{St} \cdot E_S}{A} \sum_i S_i \cdot A_i \quad (23)$$

A ist die Gesamtfläche der im Gefährdungsbereich liegenden Gebäude, S_i bzw. A_i beziehen sich auf die einzelnen Gebäude.

6. Bestimmung des Schadensausmaßes unter Berücksichtigung der Mobilität

Die Oberflächennutzung zum Bewertungszeitpunkt bildet die Basis der Berechnung des Schadenspotenzials.

Bisher gibt es noch keine etablierten Werte für den Mobilitätswert. Einen Hinweis gibt das BGH-Urteil aus 1997 mit $R_G = 600\text{ m}$ [5]. Für die Wahrscheinlichkeit, dass der Mobilitätswert nur mit einer Wahrscheinlichkeit von $\alpha = 1\% = 0,01$ überschritten wird, ist das Maß der Mobilität nach (24) zu berechnen.

$$R_M = \frac{R_G}{\sqrt{2 \cdot k}} = \frac{600\text{ m}}{\sqrt{2 \cdot (-\ln \alpha)}} = 197,70\text{ m} \approx 200\text{ m} \tag{24}$$

Zu dem nutzungsbedingten Schadensgrundpotenzial $S_{G,A}$ an der Ereignisort $E(x_0, y_0)$, wird ein Mobilitätswert addiert, resultierend aus der Mobilität aller möglicher Betroffener aus den Nachbarflächen. Das übliche Bewegungsverhalten von Betroffenen wird durch eine zweidimensionale Normalverteilung in Abhängigkeit vom Maß der Mobilität abgebildet.

Mit $R_{M,A}$ als Maß für die Mobilität der Fläche A errechnet sich der Einfluss $dS_{E,A}$ einer Elementarfläche $dA = dx \cdot dy$ an der Stelle $N(x,y)$ in der Nachbarfläche A nach (25). Abb. 11 zeigt die geometrischen Zusammenhänge

$$dS_{E,A}(x, y, S_{G,A}, R_{M,A}) = \frac{S_{G,A}}{2\pi \cdot R_{M,A}^2} \cdot e^{-\frac{1}{2} \cdot \frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{R_{M,A}^2}} \cdot dA \tag{25}$$

Die Integration über die Fläche A und Summation über alle Nachbarflächen A_i , sowie anschließender Addition des Grundwertes aus der Nutzung am Ereignisort führt zum Schadensausmaß S_E am Ereignisort E mit Berücksichtigung der Mobilität (Abb. 12):

$$S_E(x_0, y_0) = S_{E_G}(x_0, y_0) + \sum_{i=1}^n S_{E,A_i} \tag{26}$$

Die hier vorgestellte Vorgehensweise führt zu einer Verdopplung der möglichen Spanne zur Bewertung des Schadenspotenzials. Dabei sind nicht zwischen allen Nutzungen Mobilitätswerte zu erwarten. Bewohner einer Siedlung werden sich sicher regelmäßig im benachbarten Wald, nicht jedoch auf einer Bahnlinie aufhalten.

Für die Berechnung können die Routinen des Programms CADBERG+ zur Vorausberechnung von Bodenbewegungen adaptiert werden, da die funktionalen Zusammenhänge der Integration der Senkungsanteile von Abbauflächen ähnlich sind.

7. Beispiel

In dem Testgebiet in der saarländischen Lagerstätte liegen verschiedene Oberflächennutzungen, u. a. eine Bahnlinie etc. vor (Abb. 13). Das Risikopotenzial entsteht aus tagesnahem Bergbau, Tagesöffnungen

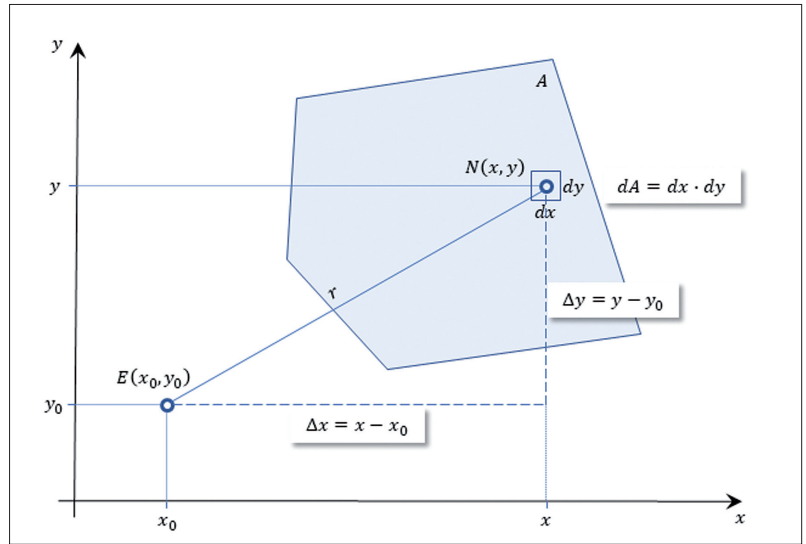


Abb. 11: Lagebeziehungen zur Bestimmung des Schadenspotenzials. E = Ereignisort, A = Nachbarfläche, dA = Elementarfläche innerhalb von A

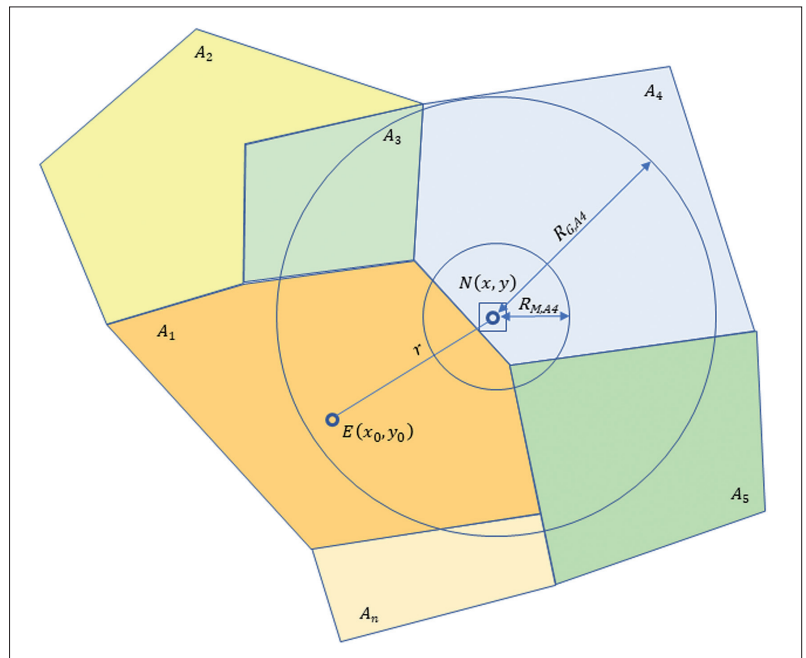


Abb. 12: Summation der Mobilitätsanteile der Nachbarflächen.

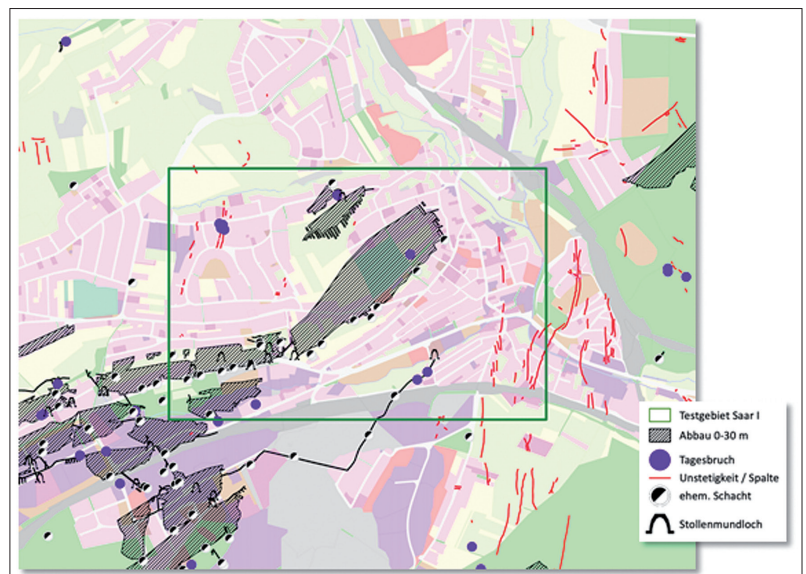
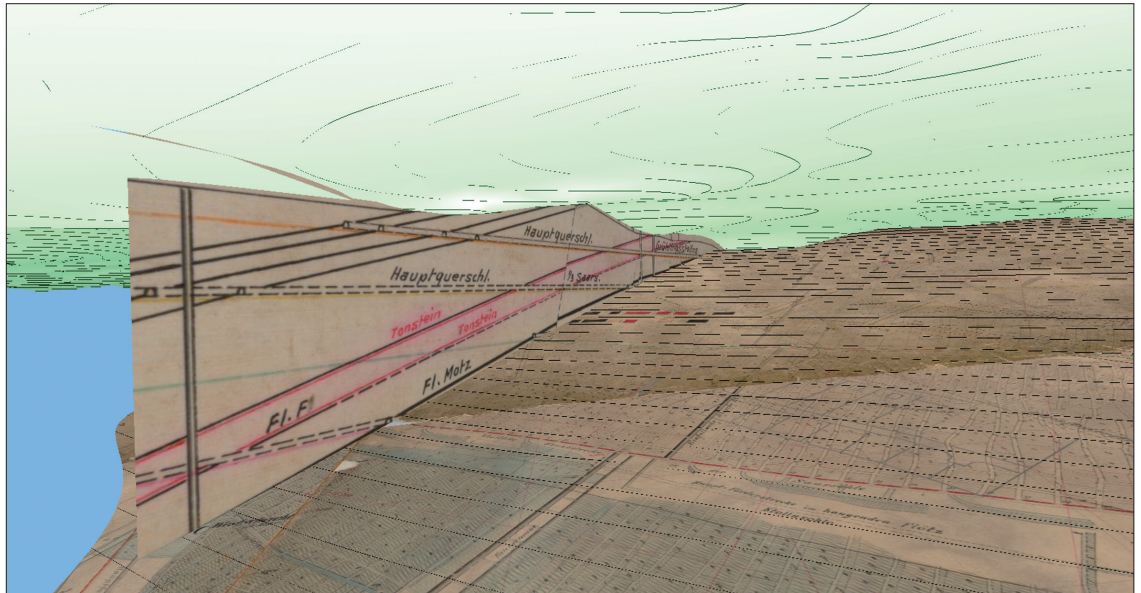


Abb. 13: Testgebiet mit 600 m-Buffer (Basis: ALKISÖ, Digitale Service-Akte der RAG)

Abb. 14:
3D-Lagerstättenmodell, erstellt mit DUDE



und Bruchspalten. Ein 600m-Buffer deckt den Mobilitätsradius ab. Das RMS der RAG weist hier mehr als 300 Risikoflächen mit einer Fläche von 1,34 km² aus.

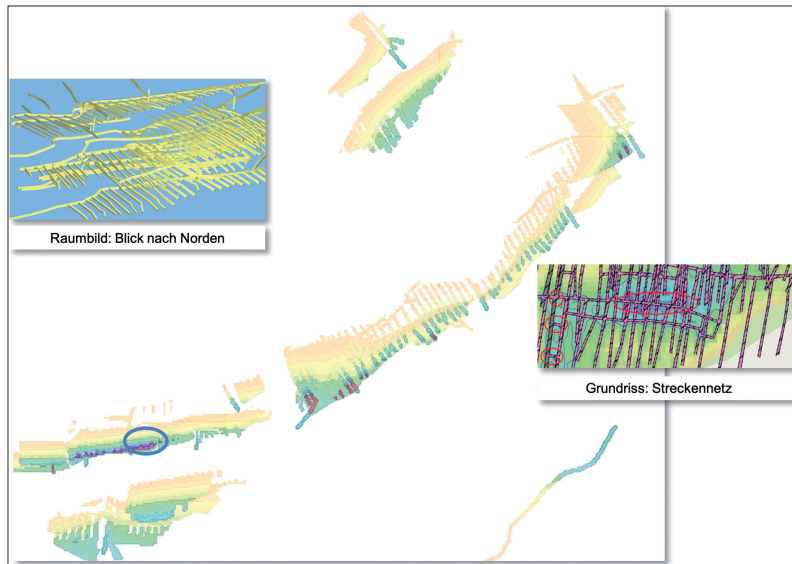


Abb. 15: Gefährdungspotenzial durch Tagesbrüche (inkl. Detail)

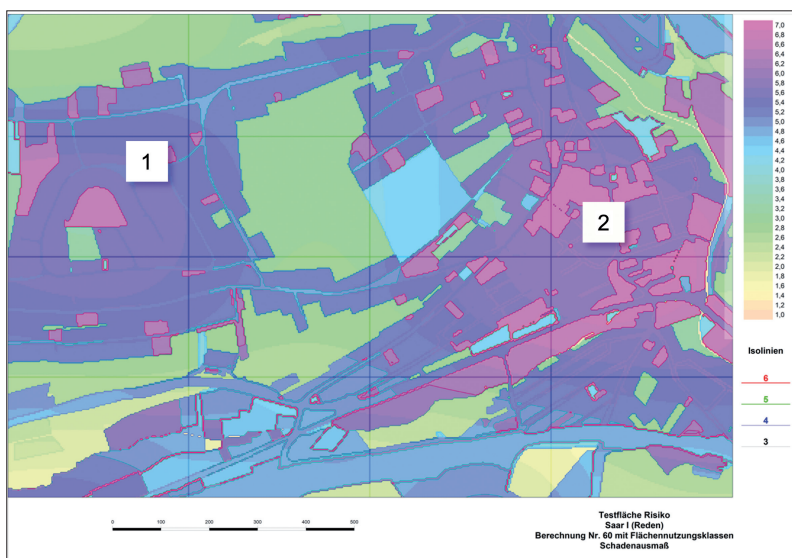


Abb. 16: Schadenspotenzial mit Mobilitätsaufschlag und zwei Schwerpunkten

Folgende Parameter wurden gewählt, soweit nicht anders bekannt:

- Breite der Grubenbaue: 3 m,
- Höhe der Grubenbaue: 2 m,
- Gebaute Mächtigkeit: 2 m,
- Gering verdichteter Bereich: 3 m an Abbaukanten oder Abbaustrecken,
- Rastergröße unter-/übertage: 3 x 3 m (entspricht Streckenbreite),
- Mobilitätsreichweite: 600 m sowie daraus abgeleitet, das
- Mobilitätsmaß: 200 m.

Grubenbaue und Abbauflächen werden im Grundriss digitalisiert und mittels der RAG-eigenen Lagerstättensoftware DUDE in die Flözebenen „integriert“ (Abb. 14).

Abb. 15 zeigt, von gelb nach magenta steigend, das aus den Grubenbauen resultierende übertägige Gefährdungspotenzial. Bereits jetzt deuten sich getrennte Bearbeitungsbereiche an.

Im Testgebiet liegen mehrere Tagesöffnungen, bei denen auch die Möglichkeit von Gasaustritten berücksichtigt werden muss (Abb. 13, Schächte und Stollenmundlöcher).

Das Schadenspotenzial mit der Mobilitätsberücksichtigung zeigt Abb. 16. Es bilden sich zwei Schwerpunkte innerhalb der Bebauung.

Abb. 17 zeigt das Ergebnis der Berechnung, Tab. 10 liefert die Priorisierung der Bearbeitung:

Bereich	Risikozahl (Punkte)	Fläche [m ²]	Spez. Risiko [Pkte/m ²]	Priorität
A				entfällt
B	46.654	30.465	1,33	4
C	136.292	81.612	1,67	3
D	15.877	11.988	1,32	5
E	157.293	33.786	4,66	1
F	110.876	35.361	3,14	2

Tab. 10: Priorisierung der Bearbeitungsbereiche im Testgebiet

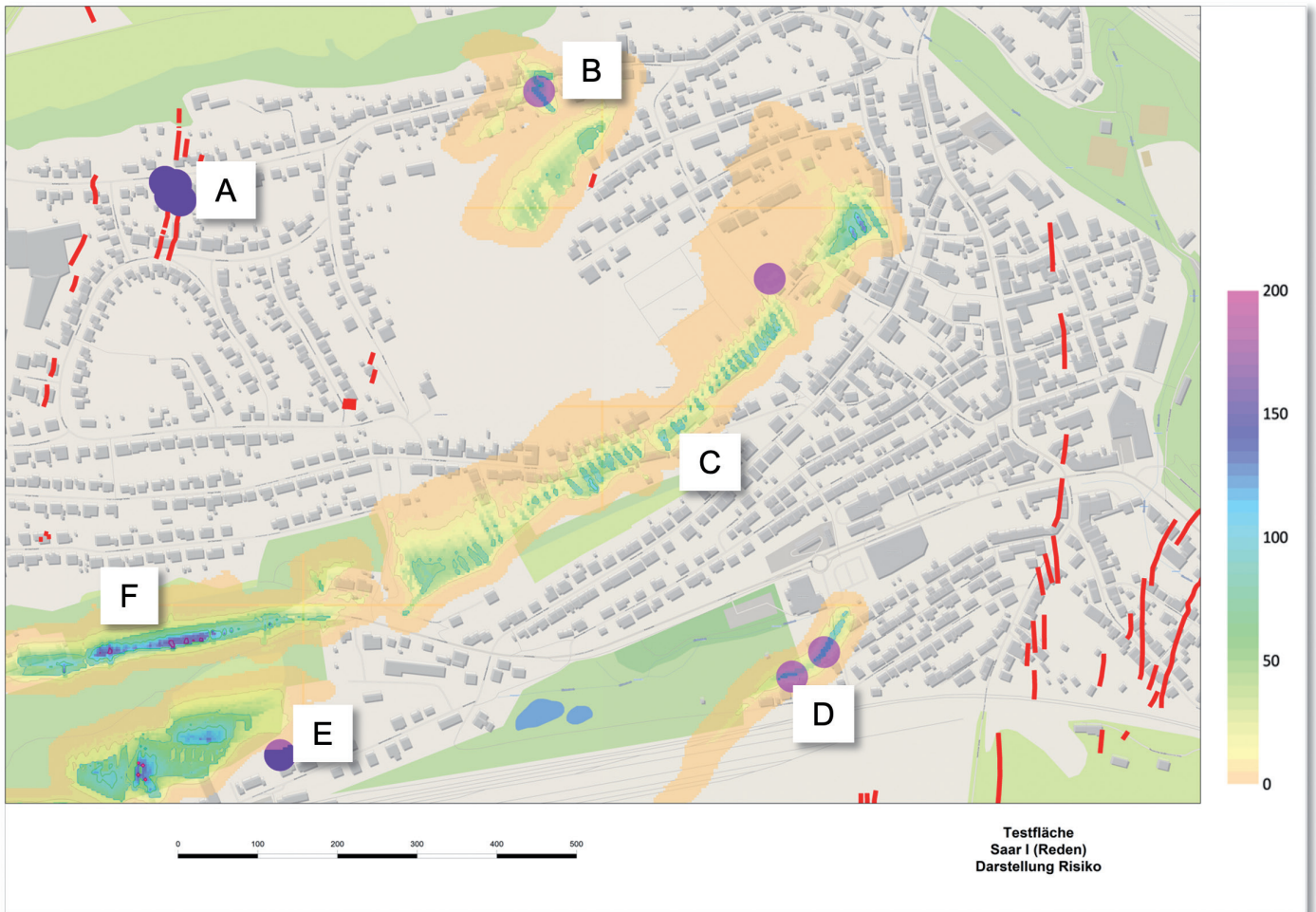


Abb. 17: Risikoverteilung und Bearbeitungs-bereiche im Testgebiet

Um alle Gefährdungen zu berücksichtigen, genügt die Priorisierung von 6 Bereichen. Deren Gesamtfläche ist mit 0,19 km² zudem deutlich kleiner als die frühere Fläche (1,3 km²). Das Gesamtrisiko erhält man mit 466.992 Punkten.

Die Flächen B und D besitzen ein nahezu gleiches flächennormiertes Risiko. Bei identischem Ergebnis wäre Fläche B trotzdem im Sinne der Ressourceneffizienz vorzuziehen, da das Gesamtrisiko nahezu dreimal so groß wie das von Fläche D ist. Damit ist die eindeutige Priorisierung unter Berücksichtigung der Mobilität gegeben.

Fazit und Ausblick

Die vorgestellte integrierte Risikobewertung verfolgt die ganzheitliche Bearbeitung altbergbaulicher Risiken mit dem Ziel, die Risikogesamtheit mit den bestehenden Ressourcen optimal zu reduzieren.

Die lineare Superposition ermöglicht die gemeinsame Bewertung sich überlagernder Sachverhalte sowie externer Einflüsse und Wechselwirkungen. Die flächennormierte Risikozahl bietet die Möglichkeit, sinnvoll abgegrenzte Bereiche zu priorisieren und reduziert die Anzahl der Flächen erheblich. Lageungenauigkeiten verlieren durch den Flächenbezug ihre Relevanz.

Auch wenn die Berücksichtigung der Mobilität bei der Berechnung des Schadensausmaßes komplex wirkt, so ist die Methodik der bekannten Bodenbewegungsvorausberechnung ähnlich und die Berechnungen adaptierbar. Die Vorgehensweise ermöglicht zudem die Bestimmung der Grenze, an der die präventive Bearbeitung altbergbaulicher Risiken enden wird.

Die für die Priorisierung zu erfassenden Parameter wurden reduziert. Die meist geometrischen Größen können im Zuge von Sanierungsmaßnahmen einfacher validiert werden.

Mittels der RAG-eigenen Lagerstättensoftware DUDE (Digital Underground DEposit) ist die effiziente Digitalisierung der untertägigen Situation möglich.

Weitere Optimierungspotenziale sind bereits heute erkennbar. So können die Daten mobiler Endgeräte die Modellannahmen zur Bestimmung des Schadenspotenzials ersetzen, ebenso wie Methoden der künstlichen Intelligenz durch Automatisierung die Lagerstättenmodellierung unterstützen wird. Derartige Arbeiten und Untersuchungen sind bei der RAG bereits im Gange.

Quellenverzeichnis

1. ARBEITSKREIS 4.6 DER DGGT UND DES DMV E. V.: Altbergbau –Empfehlungen für Erkundung, Bewertung, Sanierung und markscheiderische Dokumentation. Veröffentlicht in den Tagungsbänden der Altbergbaukolloquien von 2004, 2009, 2010, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018.
2. BIAŁEK, J.: Algorytmy i programy komputerowe do prognozowania deformacji terenu górniczego. Monografia. Wydawnictwo Politechniki. Śląskiej, Gliwice 2003. Übers.: Algorithmen und Computerprogramme zur Prognose von Bodenbewegungen in Bergbaugebieten. Verlag der Schlesischen Technischen Universität, Gliwice 2003.
3. BORECKI, M.; CHUDEK, M.: Mechanika Gorotworu. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1972. Übers.: Gebirgsmechanik, Verlag „Śląsk”, Katowice 1972.
4. BUDRYK, W.; BES, W.: Prawdopodobieństwo uszkodzenia podebranego pokładu węgla. Archiwum górnictwa, 1956, T. III, Z. 4. Übers.: Die Wahrscheinlichkeit der Beschädigung von Kohleflözen bei der Unterbauung. Bergbauarchiv 1956, Band III, Heft 4.
5. BUNDESGERICHTSHOF, 6. ZIVILSENAT: Urteil zur Verkehrssicherungspflicht auf einem öffentlichen Spielplatz. Mitverschulden des gesetzlichen Vertreters. Entscheidung vom 01.03.1988, Az. VI ZR 190/87. Quelle: JURIS.
6. CLOSTERMANN, M. (CLOSTERMANN MARKSCHEIDERISCH-GEOTECHNISCHES CONSULTING): Handbuch zur Festlegung der Sanierungspriorität. Bericht zum Projekt Nr. 09-23. Dortmund, 23.02.2010.
7. CLOSTERMANN, M.; PLACZEK, D.; ALBER, M.; SROKA, A.: Gutachterliche Stellungnahme zu den Themen „Einwirkungsrelevanz des Altbergbaus, Bemessung von Einwirkungs- und Gefährdungsbereichen und Einfluss von Grubenwasserstandsänderungen“. Dr.-Ing. Michael Clostermann Markscheiderisch-Geotechnisches Consulting. Dortmund 26.02.2019.
8. DROBNIĘWSKI, M.; TELENGA, K.: Präventive Bearbeitung der Tagesbruchgefahr aus oberflächennahem Bergbau der RAG. In: Sroka, A. (Hrsg.): Schriftenreihe des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, 12. Geokinematischer Tag, Freiberg, Deutschland, 2011.
9. FENK, J.: Tagesbrüche über Hohlräumen im Lockergebirge mit geneigter Schichtlagerung - Ergebnisse eines DFG-Projektes. 1. Altbergbaukolloquium Freiberg, 2001, Tagungsband, S. 85-89.
10. GREEVE, G.: Gutachterliche Stellungnahme für die Deutsche Steinkohle AG zur strafrechtlichen Bewertung ausgehender Gefahren von verlassenen und unbekanntem Grubenbauen und Schächten im Hinblick auf Körperverletzungs- und fahrlässige Tötungsdelikte. MGR Rechtsanwälte, Frankfurt, 2007.
11. HAGER, S.: Integrierte Bewertung altbergbaulicher Risikoobjekte des Steinkohlenbergbaus der RAG AG. Dissertation TU Bergakademie Freiberg, 10.01.2022.
12. HAGER, S.; WOLLNIK F.: 10 Jahre zertifiziertes Risikomanagement im Nachbergbau der RAG AG. Von der Prioritätenliste zur integrierten Bearbeitung bergbaulicher Gefährdungsobjekte im Steinkohlenbergbau. Markscheidewesen 126, Nr. 1/2019, S. 39-45.
13. KATELOE, J.; PREUSSE A.: Analyse von Tagesbruchereignissen mit Hilfe der Theorie der stochastischen Medien. Zwischenbericht. Aachen, 2009.
14. KWIATEK, J. ET AL.: Ochrona obiektów budowlanych na terenach górnictwa. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 1998. Übers.: Schutz der Bauwerke in Bergbaugebieten. Verlag des Hauptinstitutes für Bergbau, Katowice 1998.
15. MEIER, J.; MEIER, G.: Modifikation von Tagesbruchprognosen nach G. MEIER. Zeitschrift Geotechnik 28 (2005) Nr. 2
16. NEUMANN, H. R.: Risikomanagementsysteme für tagesbruchrelevante und erheblich schadensrelevante Hinterlassenschaften des Bergbaus in Nordrhein-Westfalen aus markscheiderisch-geotechnischer Sicht, Dissertation RWTH Aachen, 20.12.2017.
17. SCHERBECK, R. (TABERG INGENIEURE GMBH): Risikomanagement im Altbergbau der RAG. Priorisierung der Objekte im tagesnahen Einflussbereich (Ranking). Unveröffentlichte Dokumentation. Lünen, 10.12.2014.
18. SROKA, A.; TAJDUS, K.; MISA, R.; CLOSTERMANN, M.: Prognose von Tagesbrüchen und deren Geometrie bei tagesnahen Strecken. 18. Altbergbaukolloquium, Wieliczka 2018.
19. TABERG INGENIEURE GMBH: Schacht Marie, Schacht Albert, Schacht Frieda der ehemaligen Grube Maybach in Friedrichsthal (Saar). Darstellung der Situation nach dem Auslaufen der Schachtfüllsäulen im Juni 2016. Bericht für die RAG AG. 28.12.2016.
20. TABERG INGENIEURE GMBH: Neubewertung der Lagestabilität von Lockermassenfüllsäulen alter Tiefbauschächte. Schlussbericht für die RAG AG. Dezember 2011.
21. WHITTAKER, B. N.: Surface subsidence aspects of room and pillar mining. Mining Dept. Magazine. Nottingham, 1985.