

Modifikation von Tagesbruchprognosen nach G. MEIER

Dipl.-Ing. Jörg Meier und Dr.-Ing. habil. Günter Meier, Ingenieurbüro Dr. G. Meier, Wegefarth / Freiberg

Zusammenfassung

Die Beurteilung und Prognose von Tagesbrüchen ist bei der geotechnisch-markscheiderischen Untersuchung und Bewertung von altbergbaulich beeinflussten Gebieten im Locker- und Festgestein ein wichtiges Problem. Ausgehend von grundlegenden Definitionen und bruchmechanischen Erläuterungen werden am Beispiel des Braunkohlen-Tiefbaues von Mitteldeutschland verschiedene Tagesbruchparameter analysiert und bewertet. Die Ermittlung der Tagesbruchwahrscheinlichkeit anhand der HBB-Methode nach G. MEIER wird erläutert und auf der Grundlage umfangreicher statistischer Untersuchungsergebnisse modifiziert. Die Berechnung des Primärbruchvolumens wird entsprechend den gegebenen geometrischen Verhältnissen der Grubenbaue variabel gestaltet. Dabei werden die Vorteile der alten Betrachtungsweise genutzt und bisher schwer und nicht fassbare Problemstellung numerisch neu behandelt.

Abstract

The assessment of sinkholes and the prognosis of sinkholes incidents are of great importance in geotechnical surveying investigation of soil and rock areas affected by old mines. In the present work various sinkhole parameters are analyzed based on fracture-mechanics and fundamental definitions and evaluated on a particular case, a former brown coal mine in Central Germany. The determination of the probability of sinkhole incident on based on the HBB-method after G. MEIER is described and further modified using extensive statistic test results. It is developed a flexible algorithm to compute the primary break volume according to given geometrical conditions of the mine openings. We used the advantages of the well accepted HBB method and now with the extension proposed here it is possible numerically to solve many previously hardly treated problems.

Einführung

Bei der geotechnisch-markscheiderischen Untersuchung und Risikobewertung von altbergbaulich beeinflussten Gebieten und deren bautechnischer Nutzung ist die Beurteilung und Prognose von Tagesbrüchen ein wichtiger Bearbeitungsschwerpunkt. Als Beispiel sei hier die Überbauung von verbruchgefährdeten Arealen in mitteldeutschen Gebieten mit umfangreichem Braunkohlen-Tiefbau genannt [FENK / AST (2004); MEIER, J. (2003a) und MEIER, G. (2001)]. Diese Problemstellungen gewinnen jedoch auch in allen Altbergbaugebieten bei der geotechnisch-bergschadenkundlichen Einschätzung von verbruchgefährdetem Bau- und Untergrund zunehmend an Bedeutung. Mittels empirischer, analytischer und numerischer Modelle lässt sich das Risiko von Verbruchereignissen näherungsweise abschätzen [Autorenkollektiv (2004), MEIER, G. (1978); FENK (1979); MEIER, J. (2003a)].

Verbrüche können über bzw. in verschiedenen Hohlräumen auftreten. Bild 1 gibt einen Überblick über deren Einteilung. Mit dem Begriff „Erdfall“ wird ein über natürlichen Hohlräumen (z. B. Karst) gefallener Verbruch bezeichnet.

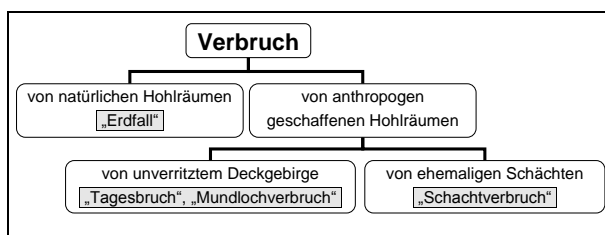


Bild 1: Definition des „Verbruch“-Begriffs.

Über anthropogen hergestellten Hohlräumen entstandene Verbrüche werden in „Tagesbrüche“ und „Schachtverbrüche“ aufgegliedert. Grund hierfür ist die geomechanische Verschiedenheit des Bruchvorganges. Schachtverbrüche sind durch ein mehr oder weniger plötzliches Abgehen der Schachtfüllung inklusive ggf. vorhandener Einbauten charakterisiert. Tagesbrüche zeichnen sich in der Regel durch keinen derart vorgezeichneten Bruchschlot aus. [MEIER, G. (1978)]

Als Tagesbruch im Locker- und Festgestein wird der Verbruch des natürlichen Deckgebirges über bergmännisch hergestelltem Hohlraum definiert, wobei sich dabei eine Hohlform an der Tagesoberfläche ausbildet [Autorenkollektiv (2004), MEIER, G. (1988a), MEIER, G. (1988b)]. Das häufig ähnliche Schadensbild von Schachtverbrüchen und Tagesbrüchen ist aufgrund der sehr unterschiedlichen geomechanischen und ingenieurgeologischen Randbedingungen beim Bruchprozess durch Untersuchungen zu trennen, dazu sind z. B. Archivrecherchen oder/und bohrtechnische Erkundungen nutzbar. Von Bedeutung sind dabei auch die Lage von Blindschächten, Rollen und Überhauen oder Sondergrubenbaue wie z. B. Maschinenkammern.

Aus ingenieurgeologischer und geomechanischer Sicht betrachtet, stellt ein Tagesbruch die Endphase eines als Hochbruchprozess bezeichneten dynamischen, dreidimensionalen Vorganges dar. Durch das Verbrechen des Deckgebirges über dem Hohlraum in Form eines horizontal halbierten Rotationsellipsoids bildet sich schrittweise ein Volumen- und damit gleichzeitig Massendefizit in Richtung der Tagesoberfläche unter steter Einwirkung der Schwerkraft heraus (Bild 2).

Tiefe und Durchmesser von Tagesbrüchen werden in Abhängigkeit von den Deckgebirgseigenschaften maß-

geblich von der primären Hohlraumgeometrie beeinflusst. Insbesondere die Breite und Höhe der Grubenbaue und deren randliche Begrenzungen sind bestimmende Parameter. In der Tabelle 1 sind als Beispiel die mittleren Abmessungen von Grubenbauen in einer Braunkohlen-Tiefbaugrube bei Theißen / Zeitz zusammengestellt.

Tabelle 1: Mittlere Abmessungen von Grubenbauen in einer Braunkohlen-Tiefbaugrube bei Theißen / Zeitz

Art des Grubenbaues	Höhe [m]	Sohlenbreite [m]	Firstbreite [m]
Fahrstrecke (Einfachstrecke)	2	2,15	1,45
Doppelstrecke	2	3	2,5
Kammer im Pfeilerbruchbau	2,1 - 4	3,1 x 3,1 3,7 x 3,7 4 x 4 (ab 1874)	

Bei den Strecken neigen zuerst Abgänge und Kreuze zum Verbruch, da hier größere Spannweiten für den Holzausbau und damit geomechanische Schwächezonen existieren [MEIER, J. (2003a)].

Unter Berücksichtigung dieser größeren geometrischen Verhältnisse wirkt die diagonale Abmessung als bruchbestimmende Breite, wodurch sich die Verbruchdurchmesser um etwa den Faktor 1,4 erhöhen können. In der Verbruchphase mit senkrechten Bruchrändern an der Tagesoberfläche bei überwiegend schwach bindigem Deckgebirge über Strecken, Streckenabgängen und -kreuzen sowie über Abbauen resultieren gemäß Tabelle 1 folgende Tagesbruchdurchmesser:

- über Einfachstrecken bis ca. 2,15 m
- über Doppelstrecken bis ca. 3 m
- über Streckenabgängen und -kreuzen
 - von Einfachstrecken bis ca. 4,9 m
 - von Doppelstrecken bis ca. 6,2 m
- über Abbau (4 x 4 m) bis ca. 5,6 m

Die mögliche Variation der Tagesbruchdurchmesser setzt bei einer wirklichkeitsnahen Bewertung insbesondere bei geotechnischen Problemstellungen nähere Kenntnisse zur Geometrie und Alter des jeweiligen Grubenbaues sowie zur ingenieur- und hydrogeologischen Deckgebirgssituation voraus, was in vielen Fällen durch die Detailauswertung des historischen Grubenrisswerkes und Archivunterlagen gegeben ist. Statistische Analysen belegen, dass über Braunkohlen-Tiefbauen Mitteldeutschlands Tagesbruchdurchmesser von 2,28 m am häufigsten auftreten [MEIER, J. (2003a)]. Für eine konkrete Bebauungssituation erhält jedoch bei der Risikobewertung von verbruchgefährdeten Bau- und Untergrundverhältnissen die Anordnung von Streckenabgängen und -kreuzen sowie von Doppelstrecken und Abbauen einen hohen Stellenwert. Die zu erwartende Tagesbruchtiefe kann dabei mit Hilfe der Hohlraum-Bruchmassen-Bilanz abgeschätzt werden [MEIER, G. (1978)].

Eingeleitet werden Hochbrüche durch Nachbrüche der überwiegend schwach bindigen, hangenden und/oder bereits anthropogen oder tektonisch gestörten Schichten, denen Durchbiegungs- und Scherbeanspruchungen vorausgehen. Das Hochbrechen findet in einem mehr oder weniger senkrechten, zylindrischen Bruchschlot statt. Aus bruchmechanischen Gründen nähert sich der Verbruchquerschnitt auch über eckig verlaufenden Hohlraumgrundrissen der Kreisform an. Im Bereich des Bruchgewölbes wird ein horizontal halbiertes Rotationsellipsoid angestrebt.

Der Nachfallprozess kann zeitweise unterbrochen werden, was auf die Ausbildung gewölbeförmiger, labiler Gleichgewichtszustände zurückzuführen ist. Im Lockergestein ist dabei die Kohäsion der wichtigste bruchbestimmende Parameter, wodurch auch partiell und temporär der Verbruchdurchmesser variieren kann. An sehr mächtigen bindigen Schichten kann der Bruchprozess auch enden oder zeitlich sehr lange verharren. Ein Tagesbruch stellt das vorläufige Schlussbild eines Hochbruches dar, der die Geländeoberfläche erreicht hat. In Abhängigkeit von den anstehenden Schichten im Oberflächenbereich können sich Überhänge, vertikale Bruchränder oder pingenförmige Hohlformen insbesondere als Endform ausbilden. Vegetationsdecken können das Auftreten von Brüchen verzögern, aber nicht verhindern [MEIER, G. (1988a)]. Das bei einem solchen Verbruchprozess im Untergrund vorhandene Volumen des ursprünglichen Hohlraumes im Verbruchbereich wird als Primärbruchvolumen bezeichnet und ist abhängig von folgenden Faktoren:

- *Größe und geometrische Form des ursprünglichen Hohlraums*
- *Lage des Verbruches innerhalb des Gesamthohlraumes, z. B. Strecke, Streckenkreuz*
- *Fähigkeit der Verbruchmassen, den zur Verfügung stehenden Hohlraum auszufüllen bzw. am Verbruchort zu verbleiben (wichtigste Einflussfaktoren: Böschungswinkel, Materialeigenschaften, Wasserverhältnisse)*

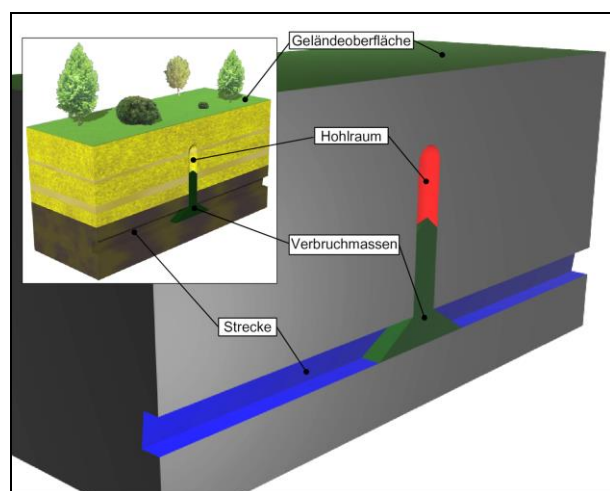


Bild 2: Blockbild eines Hochbruches über einer Strecke.

Das bisherige Verfahren nach G. MEIER

Das bereits 1978 von MEIER, G. publizierte Verfahren lässt sich als geometrisch-ingenieurgeologisches Modell klassifizieren. Es arbeitet nach dem Prinzip einer Hohlraum-Bruchmassen-Bilanz (HBB-Methode) und versucht Vorhersagen zu der Tagesbruchwahrscheinlichkeit zu treffen, indem das Volumen des verbrechenden Hohlraumes dem Volumen der darüber liegenden Gesteinsschichten gegenüber gestellt wird. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die Verbruchmassen nach dem Verbruch ein größeres Volumen einnehmen, als im ursprünglichen Zustand. ECKART hat hierzu bereits 1972 erste Modellansätze veröffentlicht.

Diese Volumenveränderung wird durch die einheitenfreie Schüttungszahl s , wie in Gleichung (1) dargestellt, definiert.

$$(1) \quad s = \frac{V_{BrN}}{V_{BrV}}$$

Mit den Parametern:

V_{BrN} Volumen der Bruchmassen nach dem Verbruch

V_{BrV} Gebirgsvolumen vor dem Verbruch

Der Zahlenwert der Schüttungszahl ist von dem Gestein und von der Standzeit des gelösten Materials abhängig. Es kann hierbei wiederum eine vorübergehende s_v (unmittelbar nach der Lösung des Gesteins vorhanden) und eine bleibende Schüttungszahl s_b (nach dem vollständigen Setzen der Verbruchmassen) unterschieden werden.

Über die Volumenbilanz wird die maximale Höhe des Bruchschlotes unter Berücksichtigung der sich ausbildenden Schuttkegel in den offenen, seitlich vorhandenen Hohlraum errechnet. Durch den Vergleich mit der realen Überdeckung kann so eine Aussage zu der grundsätzlichen Möglichkeit eines Tagesbruches getroffen werden. Sollte Gleichung (2) erfüllt sein, kann davon ausgegangen werden, dass kein Tagesbruch eintritt, da sich der Verbruch „totläuft“.

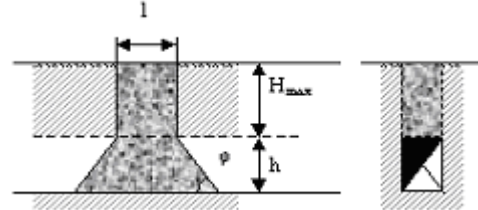
In Tabelle 2 sind die von MEIER, G. (1978) veröffentlichten Gleichungen (3) bis (6) für die vier behandelten Primärbruchvolumen dargestellt.

$$(2) \quad H_{vorh} > H_{max}$$

Tabelle 2: Hohlraum-Bruchmassen-Bilanz-Modell nach MEIER, G. (1978)

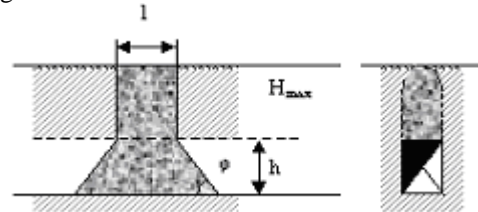
Charakteristik, Skizze und Formel

senkrechte Bruchflächen über seitlich begrenztem bergmännischen Hohlraum, z. B. Stollen, Strecken, Gangabbau u. a.



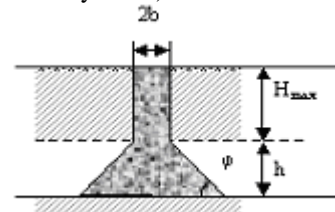
$$(3) \quad H_{max} = \frac{h}{s-1} \left(1 + \frac{h}{l \cdot \tan \phi} \right)$$

gewölbeartiger Verbruch (Verbruchform: stehende Halbellipse) über seitlich begrenztem bergmännischen Hohlraum, z. B. Stollen, Strecken, Gangabbau u. a.



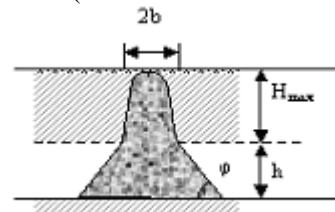
$$(4) \quad H_{max} = \frac{1,274h}{s-1} \left(1 + \frac{h}{l \cdot \tan \phi} \right)$$

schlotartiger Hochbruch mit senkrechten Bruchflächen über Flächenabbauen ohne seitliche Begrenzung für den Bruchmassenkegel (Verbruchform: Zylinder)



$$(5) \quad H_{max} = \frac{h}{s-1} \left(1 + \frac{h}{b \cdot \tan \phi} + \frac{h^2}{3b^2 \tan^2 \phi} \right)$$

gewölbeartiger Hochbruch über Flächenabbauen, sonst wie vorher (Verbruchform: Rotationsellipsoid)



$$(6) \quad H_{max} = \frac{1,5h}{s-1} \left(1 + \frac{h}{b \cdot \tan \phi} + \frac{h^2}{3b^2 \tan^2 \phi} \right)$$

Mit den Parametern:

- b Halbe Breite des Bruchschlotes
- l Breite des Bruchschlotes
- h Höhe des Hohlraums
- s Auflockerungsfaktor
- φ innerer Reibungswinkel der Bruchmassen

Für die Tagesbruchprognose kann ein geringfügig abgeminderter vorübergehender Auflockerungsfaktor Verwendung finden, da von einer zusätzlichen Eigenverdichtung der Verbruchmassen nicht ausgegangen werden braucht.

Modifizierung des Verfahrens

Die vier von MEIER, G. 1978 publizieren Gleichungen haben den Vorteil, dass sie sich aufgrund ihrer Kompaktheit leicht und schnell auf den jeweiligen geometrischen Spezialfall anwenden lassen. Statistische Untersuchungen [MEIER, J. (2003b)] haben allerdings gezeigt, dass Tagesbrüche ebenfalls vermehrt unter anderen geometrischen Gegebenheiten auftreten können, wie z. B. im Bereich von Streckenkreuzen und Abgängen. Aus diesem Gesichtspunkt ist es demnach nötig, das bereits bewährte Verfahren zu modifizieren. Allgemein lässt sich das Verfahren nach G. MEIER mit folgendem Algorithmus beschreiben:

1. Aufstellen der Gleichung zur Bestimmung des Volumens des Bruchkörpers V_{HBruch} in Abhängigkeit von H_{max} (Höhe des Bruchkörpers, gemessen von der ursprünglichen Hohlraumfirste)
2. Umstellung der Gleichung aus Punkt 1 nach dem Parameter H_{max}
3. Bestimmung des Primärbruchvolumens $V_{primär}$
4. Gleichsetzen des Primärbruchvolumens mit dem durch die Auflockerung des Bruchkörpers zusätzlich entstehenden Volumens und Einsetzung in die Gleichung aus Punkt 2.
5. Vergleich der Höhe des resultierenden Bruchkörpers H_{max} mit der tatsächlich vorhandenen Hohlraumüberdeckung. Ist die tatsächliche Überdeckungen mächtiger als die errechnete Bruchkörperhöhe, kann davon ausgegangen werden, dass kein Tagesbruch eintritt.

Aus Beobachtungen und Aufnahmen von beginnenden Hochbrüchen im Untertagebereich und gefallenen Tagesbrüchen, aber auch aus numerischen Simulationen konnte für die Form des Bruchkörpers ein „Prototyp“ abgeleitet werden. Wie auch bereits in Bild 2 dargestellt, setzt sich der Bruchkörper aus einem Kreiszyylinder im unteren Teil und einem aufgesetzten horizontal halbierten Rotationsellipsoid im oberen Teil zusammen. Es wird demnach von einem annähernd kreisrunden Bruchfenster ausgegangen. Basierend auf diesen Erkenntnissen lässt sich mit Hilfe der Gleichungen (7) und (8) für die Volumen des Kreis-

zylinders und des Rotationsellipsoides das Volumen des Bruchkörpers errechnen (Gleichung (9)).

$$(7) \quad V_{Ellipsoid} = \frac{4}{3} \pi \cdot r_a \cdot r_b \cdot r_c$$

$$(8) \quad V_{Kreiszyylinder} = \pi r^2 H_{Zylinder}$$

Mit den Parametern:

- r_a, r_b, r_c Radius des Rotationsellipsoides auf den verschiedenen Achsen des kartesischen Koordinatensystems
 $r_a = r_b = r$ (Radius r des Bruchkörpers)
 $r_c = H_{Kappe}$ (Höhe der Kappe des Bruchkörpers)

- r Radius des Kreiszyinders (entspricht dem Radius r des Bruchkörpers)

- $H_{Zylinder}$ Höhe des Kreiszyinders (Entspricht der Differenz zwischen der Höhe des Bruchkörpers H_{max} und der Kappenhöhe H_{Kappe})
 $H_{Zylinder} = H_{max} - H_{Kappe}$

$$(9) \quad V_{HBruch} = \frac{V_{Ellipsoid}}{2} + V_{Kreiszyylinder}$$

$$= \frac{4}{6} \pi r^2 \cdot H_{Kappe} + \pi r^2 (H_{max} - H_{Kappe})$$

$$= \pi r^2 \left(H_{max} - \frac{1}{3} H_{Kappe} \right)$$

Die für Punkt 2 des Verfahrensalgorithmus benötigte Auflösung nach H_{max} wurde in Gleichung (10) ausgeführt. Zusammen mit der Definition des Auflockerungsfaktors aus Gleichung (1) kann Gleichung (12) für die Berechnung von H_{max} in Abhängigkeit von dem Auflockerungsfaktor s , dem Primärbruchvolumen $V_{primär}$, dem Radius des Bruchkörpers r und der Höhe der Kappe des Bruchkörpers H_{Kappe} aufgestellt werden.

$$(10) \quad H_{max} = \frac{V_{HBruch}}{\pi r^2} + \frac{1}{3} H_{Kappe}$$

$$(11) \quad V_{HBruch} = \frac{V_{primär}}{(s-1)}$$

$$(12) \quad H_{max} = \frac{V_{primär}}{(s-1)\pi r^2} + \frac{1}{3} H_{Kappe}$$

Setzt man in diese Gleichung als Primärvolumen die Formel (13) zur Berechnung des Volumens eines Kegelstumpfes ein, so erhält man erwartungsgemäß je nach Annahme von H_{Kappe} die Gleichungen (5) ($H_{Kappe} = 0$) bzw. (6) ($H_{Kappe} = H_{max}$) aus dem etablierten Verfahren.

$$(13) \quad V_{Kegelstumpf} = \frac{1}{3} \pi \tan \varphi (r_u^3 - r_o^3)$$

$$= \frac{1}{3} \pi \tan \varphi \left(\left(r_o + \frac{h}{\tan \varphi} \right)^3 - r_o^3 \right)$$

Mit den Parametern:

- r_o Oberer Radius Kegelstumpfes (entspricht dem Radius r des Bruchkörpers)
- r_u Unterer Radius des Kreiszyinders (entspricht dem Radius des Schuttkegels)
- h Höhe des Kreiskegels bzw. Hohlraumes

Ziel der Modifizierung des Verfahrens ist jedoch die Berechnung nahezu beliebiger Formen des primären Hohlraumes, solange sich diese analytisch fassen lassen. Neben den bereits im etablierten Verfahren möglichen Abschätzungen für eine einzelne Strecke und eine Freifläche soll nun die Berechnung von beliebigen rechtwinkligen Streckenkreuzen und Abgängen ermöglicht werden. Bild 3 stellt schematisch einen solchen Fall in der Draufsicht dar.

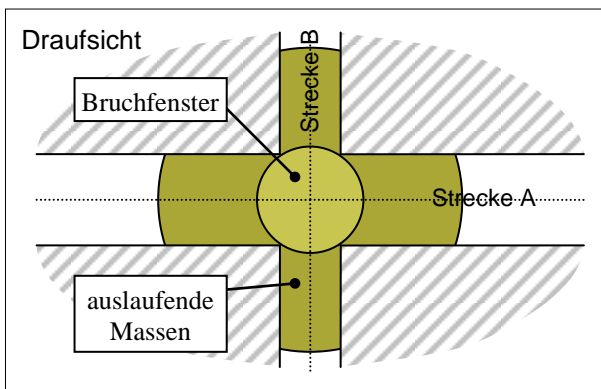


Bild 3: Schema eines Bruches auf einem Streckenkreuz

Für die Berechnung eines solchen Primärbruchvolumens reicht die Nutzung herkömmlicher stereometrischer Körper nicht mehr aus. Es war daher die Ableitung einer Gleichung zur Bestimmung des in Bild 4 dargestellten Teilkörpers eines geraden Kreiskegels nötig.

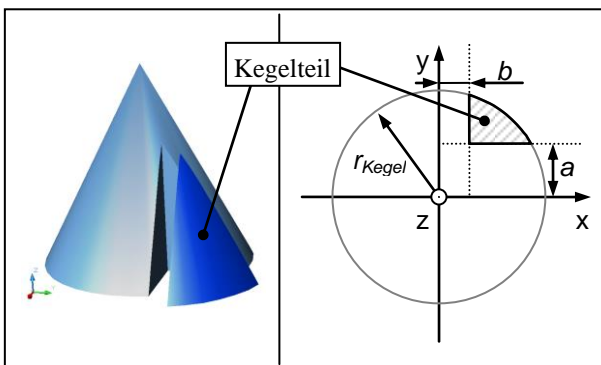


Bild 4: Blockbild und Draufsicht des mit Gleichung (20) berechneten Kegelteils.

Dieser spezielle Kegelteil wird durch eine der xz-Ebene und eine zweite der yz-Ebene parallel verlaufende Schnittebenen von einem Kreiskegel abgeschnitten. Mit Hilfe der Gleichung (20) kann bei Nutzung der

Gleichungen (14) bis (19) das Volumen eines solchen Körpers berechnet werden.

Die dargestellten Gleichungen gelten für positive a - und b -Werte. Durch geschickte Zerlegung des ursprünglichen Kreiskegels und Addition bzw. Subtraktion verschiedener Teilkörper können mit dem Gleichungssystem auch negative a - und b -Werte berechnet werden.

$$(14) \quad r_a = \frac{a}{r_{Kegel}}$$

$$(15) \quad r_b = \frac{b}{r_{Kegel}}$$

$$(16) \quad r_{da} = \sqrt{1 - r_a^2}$$

$$(17) \quad r_{db} = \sqrt{1 - r_b^2}$$

$$(18) \quad r_o = \sqrt{r_a^2 + r_b^2}$$

$$(19) \quad d = -12r_a r_b + 4r_a r_{da} + 4r_b r_{db} + 4r_a r_b r_o + 2 \arcsin r_a + 2 \arcsin r_b - 2r_a^3 \log \frac{1+r_{da}}{r_o+r_b} - 2r_b^3 \log \frac{1+r_{db}}{r_o+r_a}$$

$$(20) \quad V_{Kegelteil} = r_{Kegel}^2 H_{Kegel} \frac{\pi - d}{12}$$

Mit den Parametern:

r_{Kegel} Radius des Kreiskegels

$$r_{Kegel} = r + h \tan \varphi$$

H_{Kegel} Höhe des (Ursprungs-) Kreiskegels

a Abstand der den Kreiskegel parallel zur xz-Ebene schneidenden Fläche von der xz-Ebene, $a \geq 0$

b Abstand der den Kreiskegel parallel zur yz-Ebene schneidenden Fläche von der yz-Ebene, $b \geq 0$

Für eine numerische Behandlung des in Bild 3 dargestellten Problems ist die Berechnung und Subtraktion von vier (in diesem Falle volumengleicher) Kreiskegelteilen von dem ursprünglichen Kreiskegelstumpf nötig. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass für die Berechnung der Kreiskegelteile nicht die Höhe h der Strecke und damit des Kreiskegelstumpfes verwendet werden kann. Es muss hierfür die theoretische Höhe des vollständigen Kreiskegels Verwendung finden (Gleichung (21)).

$$(21) \quad H_{Kegel} = (r + h * \tan \varphi) * \tan \varphi$$

Es sei ebenfalls darauf hingewiesen, dass im Fall des Überstreichens eines Teiles der Streckenstöße durch das Bruchfenster die mit „D“ in Bild 5 gekennzeichneten Teile des Kreiskegels nicht doppelt abgezogen werden dürfen.

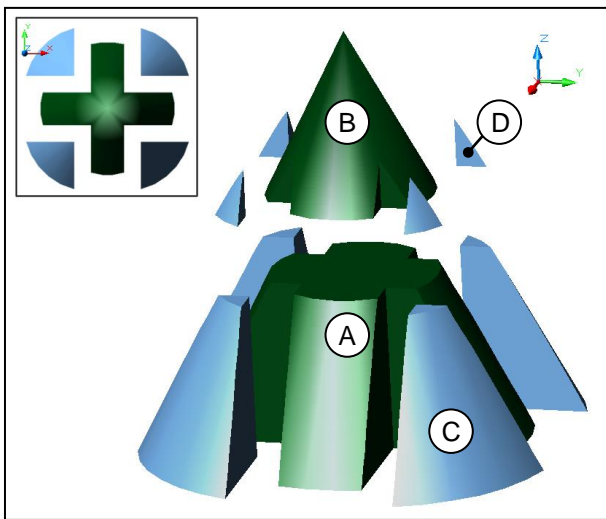


Bild 5: Blockbild und Draufsicht (beide „explodiert“) des in allen vier Quadranten geschnittenen Kreiskegels.

Durch die geschickte Wahl der Parameter a und b in den verschiedenen Quadranten des Kreiskegels können eine Vielzahl unterschiedlicher Problemstellungen gelöst werden. Tabelle 3 gibt für eine kleine Variationsauswahl an Problemstellungen Richtlinien für diese Parameter an.

Tabelle 3: Werte für Parameter a und b

Problem	a_1	b_1	a_2	b_2	a_3	b_3	a_4	b_4
	a_2	b_4	a_1	b_3	a_4	b_2	a_3	b_1
	a_2	0	a_1	0	a_4	...	a_3	...
	a_2	...	a_1	b_3	...	b_2	∞	∞

Das zusätzliche Verbrechen von konturnahen Gebirgsbereichen kann vor allem bei gebräuchtem Gebirge vorkommen. Die so mobilisierten Gesteinsvolumen können multipliziert mit dem $(s-1)$ fachen von dem Primärbruchvolumen abgezogen werden, da auch sie eine Auflockerung erfahren. In der Praxis kann in der Regel auf die Betrachtung von diesen Massen verzichtet werden, da diese zum einen im Vergleich mit den eigentlichen Bruchmassen verhältnismäßig klein sind und zum anderen so die Berechnung in Richtung der „sicheren Seite“ verschoben wird.

Schlussbemerkung

Aufbauend auf dem 1978 von G. MEIER publizieren Verfahren zur Abschätzung des Tagesbruchrisikos über untertägigen Hohlräumen als geometrisch-ingenieur-geologisches Modell konnte ein modifiziertes numerisches Verfahren entwickelt werden, welches die Vorteile der alten Betrachtungsweise nutzt und gleichzeitig die Behandlung bis jetzt schwer und nicht fassbarer Problemstellungen ermöglicht. Die vorgestellte Lösung ist mit der heute verfügbaren Rechentechnik problemlos in bestehende Programmsysteme integrierbar. Die Anwendung ist im Locker- und Festgestein möglich.

Quellennachweis

[1] FENK, J.; AST, W. (2004): *Geotechnische Einschätzung bruchgefährdeter Baugrundes*. In: Geotechnik 27, Nr. 1, S. 59 - 65

[2] MEIER, J. (2003a): *Statistische Analyse von Tagesbrüchen über Abbaufeldern des Braunkohlen-Tiefbaus und ein Versuch ihrer numerischen Simulation mit dem Programm FLAC*. In: Diplomarbeit TU Bergakademie Freiberg

[3] MEIER, G. (2001): *Altbergbau in Deutschland: Umfänge – Probleme – Bearbeitung*. In: Tagungsband 1. Altbergbaukolloquium, Freiberg, S. 5-17

[4] Autorenkollektiv (2004): *Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“ des Arbeitskreises 4.6 der Fachsektion Ingenieurgeologie der DGGT e. V.* In: Tagungsband 4. Altbergbau-Kolloquium, 04. - 06.11.2004 Leoben, Anhang, 23 Seiten, Verlag Glückauf GmbH, Essen

[5] MEIER, G. (1978): *Zum Problem von Tagesbruchanalysen in Altbergbaugebieten aus der Sicht praktischer Bergsicherungsarbeiten*. In: Neue Bergbautechnik 8, Nr. 11, S. 639 - 643

[6] FENK, J. (1979): *Eine Theorie zur Entstehung von Tagesbrüchen über Hohlräumen im Lockergebirge*. In: Dissertation, TU Bergakademie Freiberg

[7] MEIER, J. (2003b): *Zur Tagesbruchsimulation mit numerischen Modellen im Braunkohlentiefbau*. In: Tagungsband 3. Altbergbaukolloquium, 06. - 08.11.2003, TU Bergakademie Freiberg, S. 222 - 235, Verlag Glückauf GmbH, Essen

[8] MEIER, G. (1988a): *Geotechnische Aufgaben bei Bergsicherungsarbeiten zur Erkundung und Sanierung von Altbergbau im Fels an typischen Beispielen des Thüringer Raumes und des Erzgebirges*. In: Dissertation B TU Bergakademie Freiberg

[9] MEIER, G. (1988b): *Zur Berechnung der Tagesbruchgefährdung in Festgestein*. In: Neue Bergbautechnik 18, Nr. 9, S. 352 - 354

[10] ECKART, D.(1972): *Arten und Ursachen von Schäden an stillgelegten Bergwerksanlagen*. In: Neue Bergbautechnik 2, Nr. 8. S. 619 - 625