



Betrachtungen zur Tagesbruchproblematik für das geplante Bergwerk „Altertheim“

Auftraggeber: Knauf Gips KG
Am Bahnhof 7
97346 Iphofen

Bearbeiter: Prof. Dr. habil. Heinz Konietzky
Dr: rer. nat. Martin Herbst

.....
Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Konietzky

Datum: 05.08.2024

Die im Bericht getroffenen Aussagen und entwickelten Lösungsansätze gelten stets für die genannten Parameter (Anfangs- und Randbedingungen, Materialkennwerte etc.). Eine Übertragung auf andere Konstellationen ist ohne vorherige Prüfung nicht zulässig.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung / Aufgabenstellung.....	3
2. Analyse Tagesbruchgefahr mittels analytisch-empirischem Ansatz.....	4
3. Analyse Tagesbruchgefahr mittels partikelbasierter numerischer Simulation	5
4. Zusammenfassende Bewertung der Tagesbruchgefahr	12
5. Literaturverzeichnis	13

1. Einleitung / Aufgabenstellung

Die Fa. Knauf plant ein neues untertägliches Bergwerk im Raum Altertheim (Bayern). Dazu wurden Erkundungsbohrungen und entsprechende Bohrlochversuche sowie Versuche an Bohrkernen durchgeführt. Die gewonnenen Kerne wurden im gesteinsmechanischen Labor der TU Bergakademie Freiberg untersucht und entsprechende gesteinsmechanische Parameter bestimmt. Diese bilden in Kombination mit in-situ Bohrlochmessungen die Grundlage für die erbrachten Standsicherheitsnachweise der geplanten Grube sowie dem Nachweis des Erhalts der Barriereintegrität in Bezug auf den Hauptgrundwasserleiter. Die Barriere wird durch eine mehrere Meter mächtige Ton-Sulfat-Wechselagerung gebildet. Durch die gewählte Dimensionierung liegt damit ein langfristig ohne Ausbau standsicheres Örtler-Festensystem vor. Das bedeutet auch, dass eine Tagesbruchgefahr ausgeschlossen werden kann. Siehe dazu Morgenstern, Friedel & Konietzky, 2024 sowie Morgenstern & Konietzky, 2023.

Eine theoretische (allerdings realitätsferne) Abschätzung erfolgen unter der Annahme, dass sich ein Hochbruch über einem Streckenkreuz ausbildet. Das ist die kritischste Situation, da hier die größte offene Spannweite entsteht und sich damit der kritischste Spannungszustand in der Firste entwickelt. Ein solches Szenario bedeutet, dass Firstmaterial sukzessive in den Hohlraum einbricht und diesen auffüllt bis entweder die Erdoberfläche erreicht wird (Tagesbruch) oder aber sich der Hochbruch ‚totläuft‘, d.h. vor Erreichen der Erdoberfläche zum Stehen kommt, weil sich eine stabile Gesteinssäule aus den Bruchmassen ausgebildet hat.

Dieses Szenario wird mittels zwei verschiedener Ansätze untersucht:

(a) einem analytisch-empirischen Ansatz

und

(b) einem numerischen Ansatz auf Basis der Partikelmethode.

Dieses Gutachten untersucht nicht die realistische Ausbildung eines Hochbruchprozesses. Diese wird im Gutachten „Betrachtungen zur Problematik von Hochbrüchen im geplanten Bergwerk ‚Alterheim‘“ dargestellt.

2. Analyse Tagesbruchgefahr mittels analytisch-empirischem Ansatz

Aufgrund der Dimensionierung sowie dem Nachweis des Erhalts der Barriereintegrität (Morgenstern, Friedel & Konietzky, 2024) kann davon ausgegangen werden, dass die Entstehung von Tagesbrüchen ausgeschlossen ist.

Der Nachweis lässt sich aber – unabhängig von den mechanischen bzw. hydro-mechanischen Eigenschaften des Deckgebirges - auch über Volumenbilanzbetrachtungen führen.

In einem ersten Schritt werden ein empirischer Ansatz sowie ein analytisches Volumenbilanzmodell benutzt, um die Tagesbruchgefahr abzuschätzen. Diese vereinfachten Modelle berücksichtigen zwei Tatsachen:

- (1) Die sich bildenden Bruchmassen haben ein größeres Volumen als das ehemals intakte Gebirge. Dieser Auflockerungsfaktor liegt bei geringfesten Festgesteinen, wie beim hier zu betrachtenden Deckgebirge, bei etwa 1.5.
- (2) Die Bruchmassen bilden beim Auftreffen auf dem Boden (Sohle) einen Schüttwinkel, der durch einen Reibungswinkel charakterisiert ist. Dieser Reibungs- bzw. Schüttwinkel beträgt etwa 40°.

Eine bewährte empirische Abschätzung der Mindestmächtigkeit des Deckgebirges, um einen Tagesbruch auszuschließen, geht auf die Arbeiten von Eckhart (1973) und Penzel (1981) zurück:

$$H_{max} = \frac{1.27 \cdot M}{fl - 1}$$

Dabei sind: fl Auflockerungsgrad (1,4 – 1,6)
M Abbauhöhe
H_{max} maximale Erstreckung des Hochbruchs

Bei Annahme einer Abbauhöhe (= Kammerhöhe) von 7 m beträgt H_{max} je nach angenommenem Auflockerungsgrad etwa 15 m bzw. 22 m und ist damit deutlich kleiner als die Überlagerungshöhe von ca. 90 - 100 m.

Noch realistischer ist die Betrachtung eines Streckenkreuzes. Hierfür gilt (siehe z.B. Clostermann et al. (2020)):

$$H_{max} = \frac{2M}{\pi(fl - 1)} \cdot \left(2 \frac{M}{b} \cdot \cot(\Phi) + 1\right)$$

Gemäss dieses Ansatzes beliefe sich die maximale Höhe des Hochbruchs auf ca. 36 m bei einem angenommene Auflockerungsgrad von 1,5.

Diese sehr konservativen rechnerischen Abschätzungen werden auch durch Beobachtungen gestützt. Wie von Clostermann et al. (2020) auf Basis einer Literaturwertung dokumentiert, treten bergmännisch induzierte Tagesbrüche bei Deckgebirgsmächtigkeiten > ca. 50 m praktisch nicht auf. Erfahrungswerte besagen außerdem, dass Tagesbrüche ab einem Verhältnis der Deckgebirgsmächtigkeit zur bergmännischen Hohlraumhöhe von ca. 5 extrem selten sind.

3. Analyse Tagesbruchgefahr mittels partikelbasierter numerischer Simulation

Eine physikalisch wesentlich fundiertere Betrachtung erlaubt eine diskontinuumsmechanische numerische Simulation. Diesbezüglich wurde ein 3-dimensionales numerisches Modell mittels des partikelbasierten Programms PFC3D (Vers. 7.0) der Firma ITASCA aufgebaut. Dabei wird ein Streckenkreuz abgebildet und die Entwicklung eines etwa zylinderförmig verlaufenden Hochbruchs simuliert. Die dabei entstehenden Bruchmassen können in die angrenzenden Strecken auslaufen, wobei diese Massenbewegung realitätsnah durch Reibung sowie formgebundenen Bewegungsbehinderung der Bruchmassen (Pfeiler) bis hin zur Bildung von Schüttkegeln abgebildet wird und damit auch das ‚totlaufen‘ des Hochbruchs erfasst.

Die geometrischen Abmasse des Modells entsprechen den realen Verhältnissen:

- Abbauhöhe = 7 m
- Kammerbreite = 8 m
- Pfeilerbreite = 21 m
- Überlagerungshöhe = 140 m

Die Berechnungen erfolgen sehr konservativ und nehmen nur vom Auflockerungsgrad mit einem angenommenen Wert von etwa 1,5 Kredit. Gebirge bzw. Bruchmassen werden durch sogenannte ‚Clumps‘ (Kugelpackungen aus 2 bis 3 Kugeln) repräsentiert. Es wird ein zylinderförmiger Hochbruch über dem Streckenkreuz mit einem Durchmesser von 12 m unterstellt. Das reibungsbehaftete Materialverhalten der Bruchmasse ist so kalibriert, dass sich ein Schüttwinkel von nahezu 40° einstellt. Allerdings wird der entsprechende Reibungswinkel erst aktiviert, wenn die Bruchmassen den Abbauhohlraum erreichen. Solange sich die Bruchmassen noch oberhalb der Firste befinden, wird der Reibungswinkel auf Null gesetzt. Damit werden Brückenbildungen, Blockagen etc. ausgeschlossen und der maximal mögliche Hochbruch erzielt (extrem konservative Betrachtung).

Die Abbildungen 1 und 2 illustrieren den Modellaufbau. Die Abbildungen 3 bis 6 verdeutlichen exemplarisch den Prozess des Hochbruchs durch vier Momentaufnahmen, die den Beginn, zwei mittlere Phasen sowie den Endzustand des Hochbruchs dokumentieren. Dargestellt sind dabei – jeweils farbig kodiert - auf der linken Seite die Verschiebungen und auf der rechten Seite die Kontaktkräfte zwischen den Clumps. Deutlich erkennbar ist, dass sich der Hochbruch nach knapp 60 m totläuft, d.h. zum Stillstand kommt. Ebenfalls gut erkennbar ist der Schüttwinkel im Hohlraumbereich, der sich bei etwa 36 bis 40° einstellt.

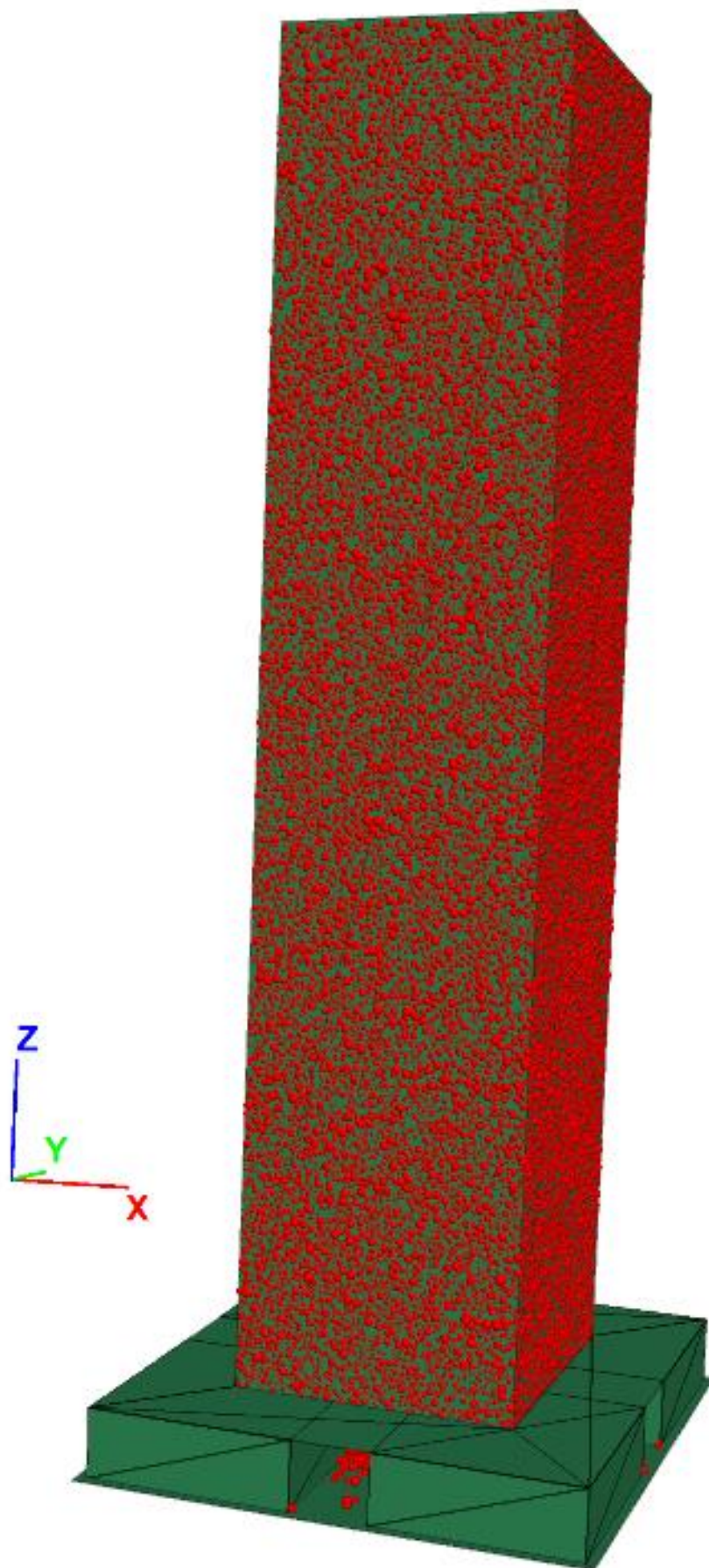


Abb. 1: PFC3D Modellaufbau (Grün: Modellberandungen inkl. Kammer-Pfeiler-System, rot: Gebirge bzw. Bruchmassen) in einem fortgeschrittene Modellierungszustand

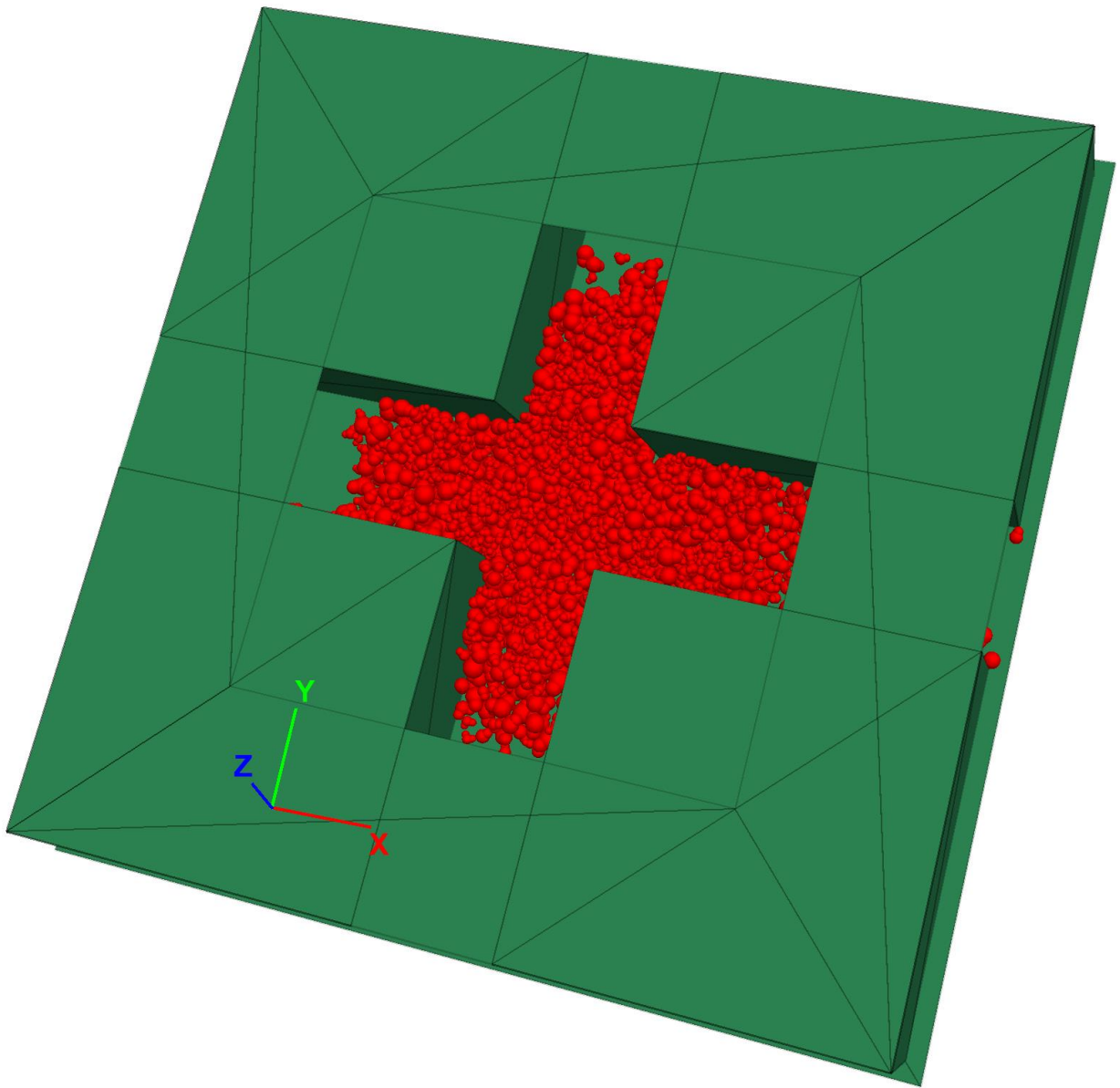


Abb. 2: Unterer Modellbereich mit Kammer-Pfeiler-Struktur (grün) und bereits partieller Verfüllung der Strecken mit Bruchmassen (rot) in einem fortgeschrittene Modellierungszustand

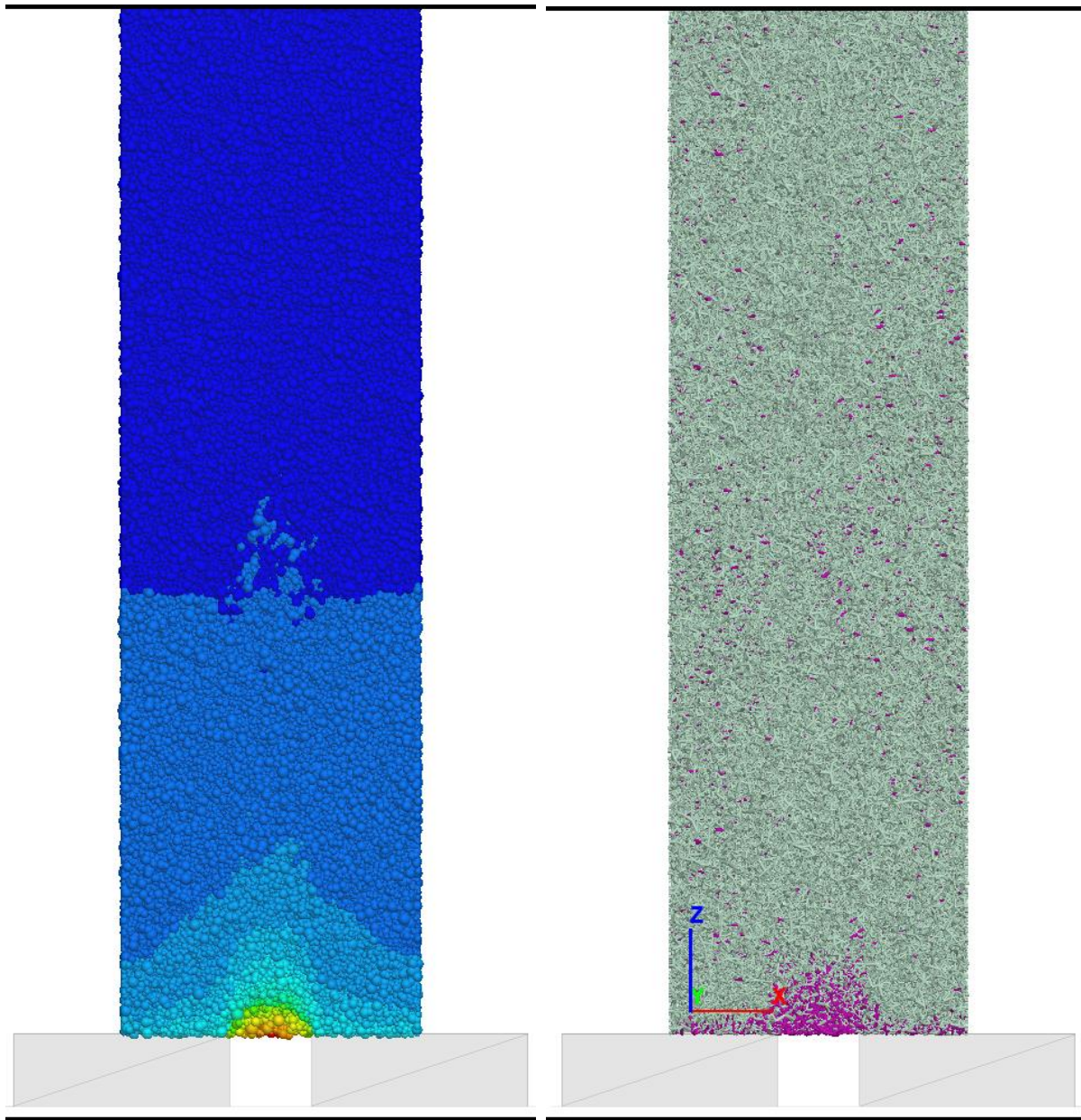


Abb. 3: Anfangsstadium des Hochbruchprozesses: Verschiebungsmagnituden (links) und Kontaktkräfte (rechts) jeweils mit Farbkodierung gemäß Magnitude

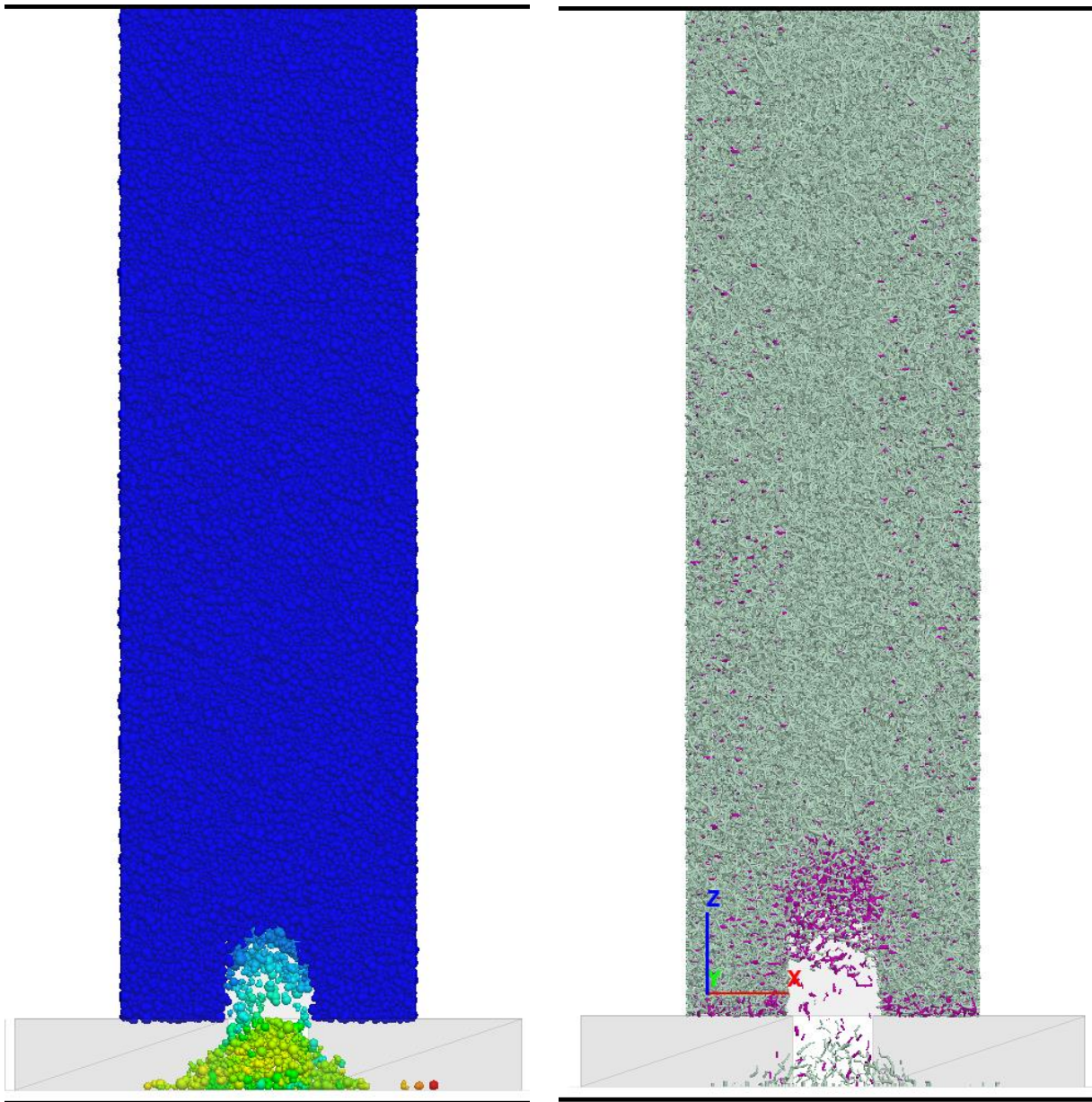


Abb. 4: Fortgeschrittenes Stadium des Hochbruchprozesses: Verschiebungsmagnituden (links) und Kontaktkräfte (rechts) jeweils mit Farbkodierung gemäß Magnitude

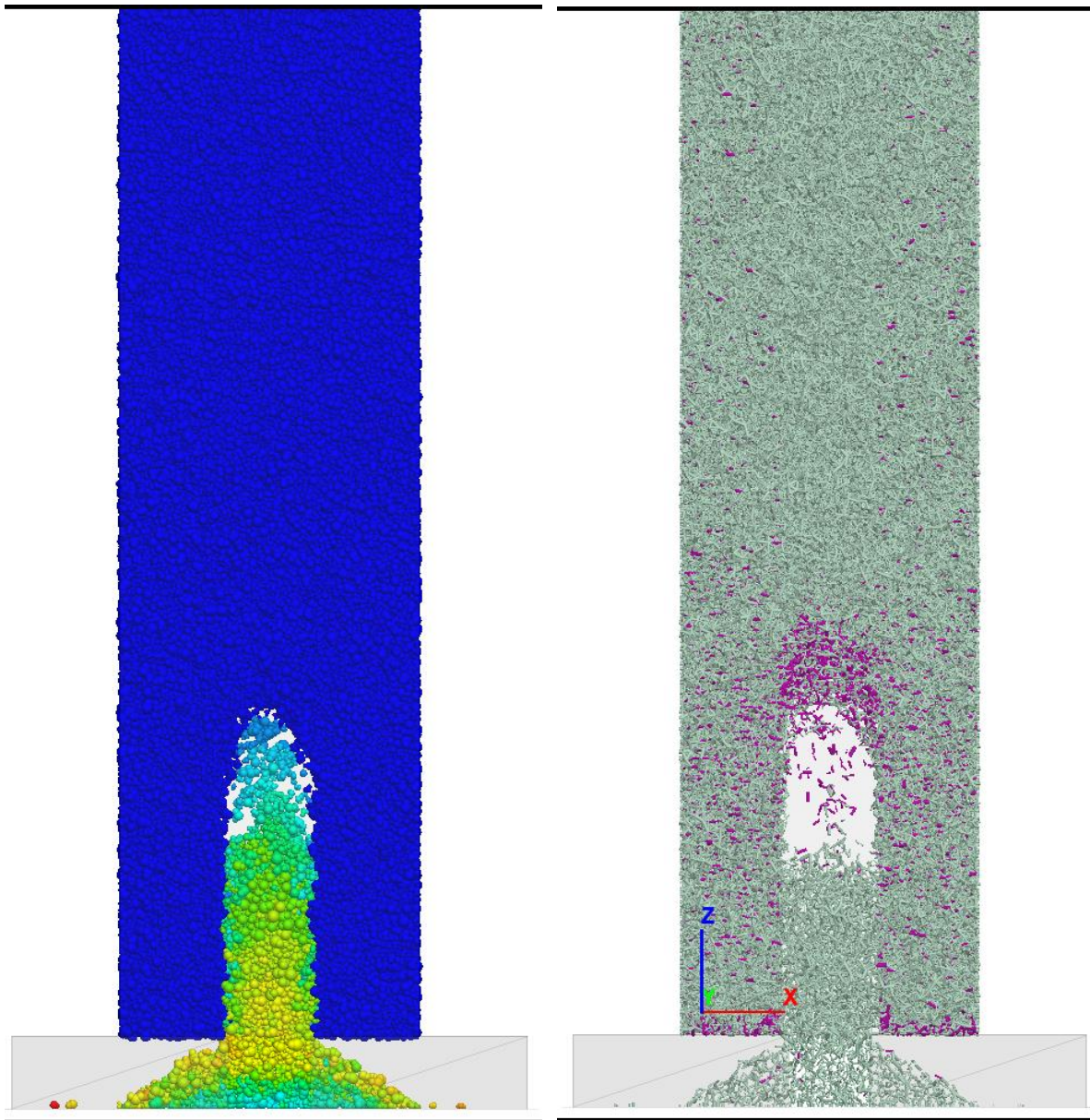


Abb. 5: Fortgeschrittenes Stadium des Hochbruchprozesses: Verschiebungsmagnituden (links) und Kontaktkräfte (rechts) jeweils mit Farbkodierung gemäß Magnitude

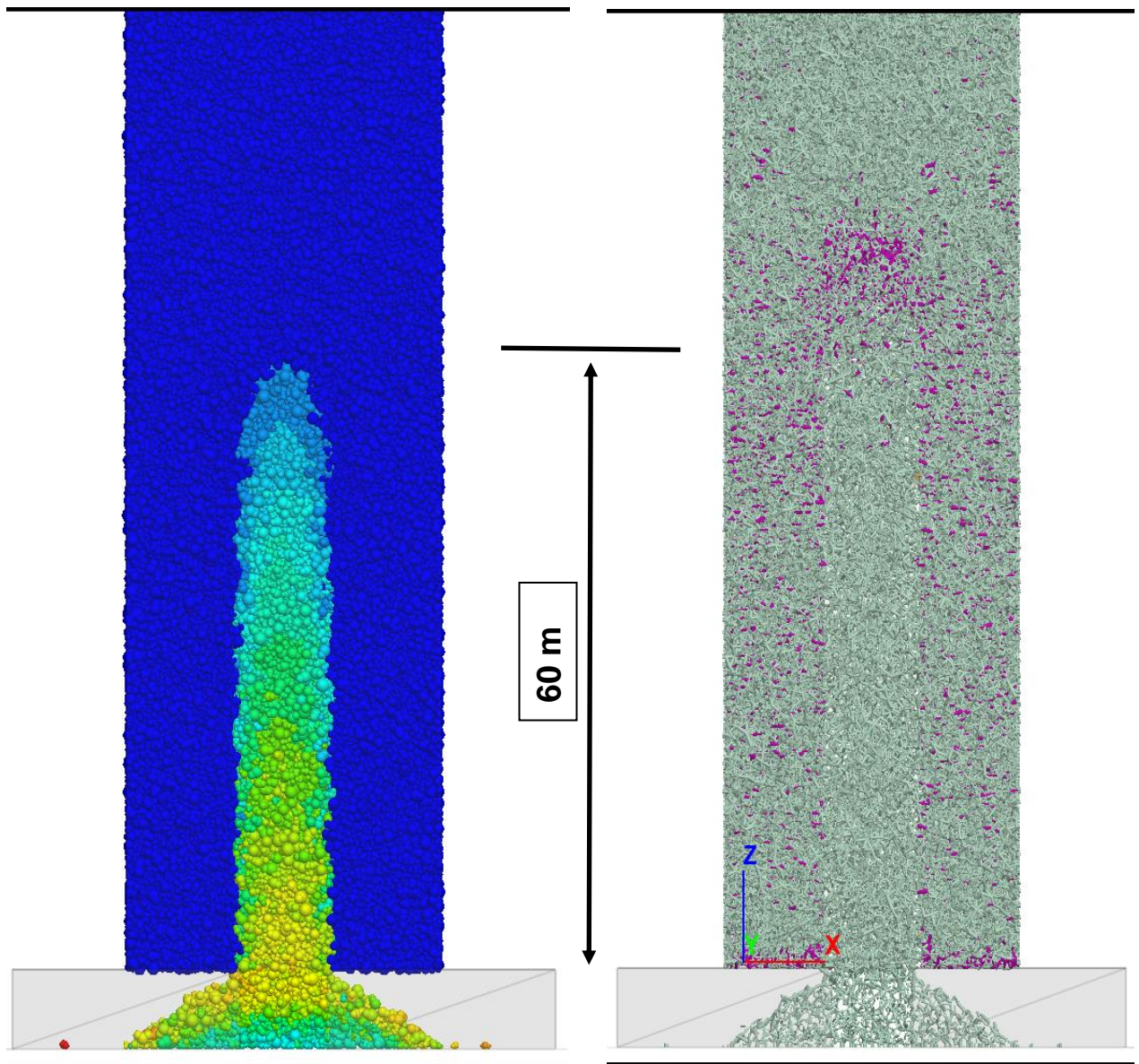


Abb. 6: Endstadium des Hochbruchprozesses: Verschiebungsmagnituden (links) und Kontaktkräfte (rechts) jeweils mit Farbkodierung gemäß Magnitude

4. Zusammenfassende Bewertung der Tagesbruchgefahr

Zunächst sei nochmals festgestellt, dass ein Tagesbruch aufgrund der derzeit vorliegenden Daten und der darauf aufbauenden Dimensionierung (siehe Morgenstern, Friedel & Konietzky, 2024 sowie Morgenstern & Konietzky, 2023) ausgeschlossen werden kann.

Dies wird auch durch folgende und in diesem Bericht dokumentierte Überlegungen gestützt (Beachte: die Mächtigkeit der Deckgebirgsschichten liegt zwischen 90 und 130 m):

- (1) Praktische Erfahrungen / Beobachtungen belegen, dass ab Deckgebirgsmächtigkeiten > 50 m Tagesbrüche nur extrem selten auftreten.
- (2) Die oben diskutierten analytisch-empirischen Berechnungsansätze belegen, dass sich potentielle Hochbrüche bei der gegebenen geometrisch-geomechanischen Situation maximal bis ca. 35 m nach oben erstrecken können und dann ‚totlaufen‘.
- (3) Die extrem konservativen numerischen Simulationen belegen, dass der Hochbruch eine Höhe von maximal ca. 60 m schon rein geometrisch nicht übersteigen kann, wobei von Festigkeit und Reibungsverhalten der Bruchmassen oberhalb der Firste keinerlei Kredit genommen wird.

Damit kann konstatiert werden, dass Tagesbrüche unter den betrachteten (wenn auch unrealistischen) geomechanisch-geometrischen Bedingungen grundsätzlich ausgeschlossen werden können.

5. Literaturverzeichnis

- Clostermann, M. et al. (2020): Einwirkungsrelevanz des Altbergbaus, Bemessung von Einwirkungs- und Gefährdungsbereichen und Einfluss von Grubenwasserstandsänderungen, Gutachterliche Stellungnahme im Auftrag der Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie NRW
- Eckart, D. (1973). Ergebnisse von Untersuchungen über Schäden an stillgelegten Bergwerksanlagen. *Freiberger Forschungshefte*(256)
- Morgenstern, R., Friedel, M., Konietzky, H. (2024): Bericht zur Barriereintegrität für das Vorhaben Alertheimer Mulde, Institut Geotechnik, TU BAF, 05.08.2024
- Morgenstern, R., Konietzky, H. (2024): Bericht zum Flutungsszenario für das Vorhaben Altertheimer Mulde, Institut Geotechnik, TU BAF, 05.08.2024
- Penzel, M. (1981). Probleme der Prognose und Deutung von Erdfällen unter besonderer Berücksichtigung der Verkarstung im südöstlichen Harzvorland. *Dissertation*. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg.