

Evaluierung von tagbauspezifischen Gefahrenbereichen am Böschungsfuß durch Steinfall am Beispiel des Tagbaus Limberg der Hengl Mineral GmbH

Bernd Kolenprat (1), Nikolaus Schmid (2)

(1) Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Konsumentenschutz, Sektion Arbeitsrecht und Zentral-Arbeitsinspektorat, Stubenring 1, 1010 Wien. bernd.kolenprat@sozialministerium.at

(2) Hengl Mineral GmbH, Hauptstraße 39, 3721 Limberg. nikolaus.schmid@hengl.at

1. Einleitung

Nach der Tagbaurarbeitenverordnung (TAV, BGBl. II Nr. 416/2010) ist es erforderlich, das Ausmaß von tagbauspezifischen Gefahrenbereichen im Rahmen der Gefahrenermittlung und -beurteilung (nach §§ 8 u. 10 TAV) festzulegen. Wesentlich ist, dass diese Festlegung schlüssig und nachvollziehbar ist und fachlich begründet werden kann.

Am Beispiel des Tagbaus Limberg der Fa. Hengl Mineral GmbH wird dargestellt, wie mittels Fallversuchen an repräsentativen Tagbauböschungen einerseits die Ermittlung von Gefahrenbereichen am Böschungsfuß durch Steinfall erfolgte und andererseits diese Versuche dazu verwendet wurden, um Modellparameter für Steinfallprogramme zu kalibrieren. Hierbei wurde der von A. Preh und O. Hungr entwickelte zweidimensionale Berechnungsansatz THROW verwendet. Mit Hilfe dieses Programmes, dessen Modellparameter kalibrierten wurden, konnten Steinfallereignisse an unterschiedlichen Einzelböschungen und komplexen Böschungssystemen sowie die Wirksamkeit von Sicherungsmaßnahmen (Anschüttung von Dämpfungsschichten am Böschungsfuß oder Schutzwällen) simuliert werden.

Ziel war es, eine Vorgangsweise zu erarbeiten, welche eine rasche und akkurate Festlegung der Gefahrenbereiche durch Steinfall für einen Tagbau mittlerer Größe ermöglicht. Mit Hilfe dieser Methodik sollte auch eine sukzessive Anpassung der Gefahrenbereiche (entsprechend dem Abbaufortschritt) erfolgen können. Die hierbei gewonnenen Ergebnisse sollen der Planung von zukünftigen Tagbauzuschnittsparametern dienen, mit denen Gefahrenbereiche möglichst reduziert werden können (Vorgabe nach § 9 TAV).

2. Vermessung und Erstellung des Höhenmodells

Der Tagbau Limberg liegt am Ostrand der Böhmisches Masse im sogenannten Maissauer Granit, einer Varietät des Thaya Batholiths (Moravikum), welcher aufgrund der leichten Metamorphose im Zuge der variszischen Gebirgsbildung als Metagranit zu bezeichnen ist. Charakteristisch hinsichtlich des Gefüges ist das Fehlen jeglicher duktiler Strukturelemente (etwa einer Gneisfoliation) und die Dominanz von sprödetektonischen Elementen, insbesondere von Störungsflächen des Diendorfer Störungssystems. Dieses großtektonische Element (mit einem Seitenversatz von mind. 25 km) verläuft mit seiner angenommenen Hauptstörungslinie lediglich 500 m südöstlich des Tagbaus und kann durch mehrere unterschiedlich steil stehende Störungsflächen (welche das Gebirge im Dezimeter- bis Halbmeterbereich durchtrennt) charakterisiert werden. Ein weiteres prominentes und für die Böhmisches Masse charakteristisches Gefügeelement ist die subhorizontale Exfoliation, welche zur bekannten Woll sackverwitterung der Granite im Waldviertel beiträgt.

Wesentlich für die Bestimmung von Reichweiten von Sturzereignissen bzw. die Evaluierung der Gefahrenbereiche am Böschungsfuß ist, dass sich aufgrund dieses Gefüges bzw. der für die einzelnen Böschungsorientierungen bestimmenden Versagensmechanismen meist ebene Böschungsformen mit einer Neigung von etwa 68° bzw. leicht konvexe Böschungen mit einer Böschungsneigung von ca. 62°

ergeben. Der Tagbau selbst hat einen m-förmigen Verlauf und setzt sich aus 9 bis 16 m hohen in Verhieb befindlichen Tagbauböschungen (Regelböschung ca. 15 m) und 19 bis 25 m hohen Böschungen bei Endböschungssystemen (Altbestand, welche noch vor in Kraft treten der TAV hergestellt wurde) zusammen (Abb. 1).

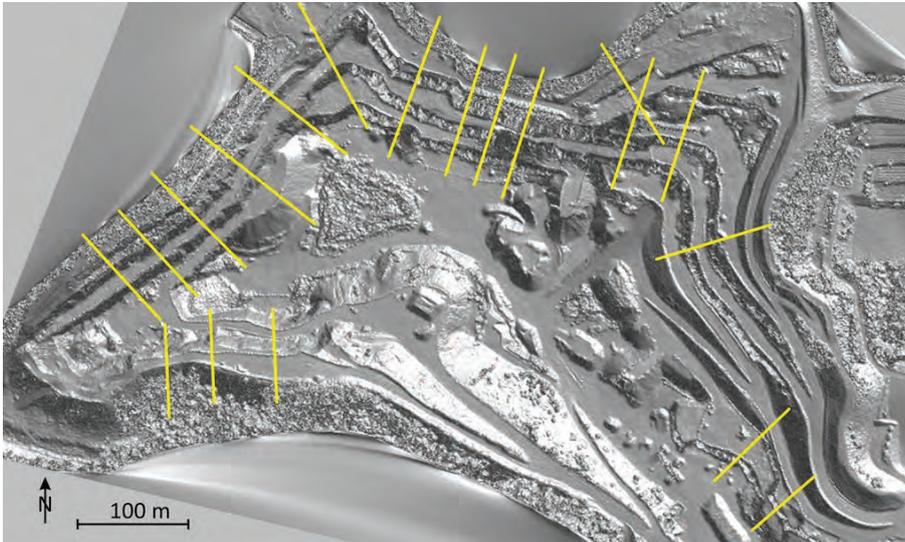


Abbildung 1: Höhenmodell des Tagbaus Limberg, welches durch fotogrammetrische Aufnahmen mittels Drohne erstellt wurde. Die untersuchten Schnitte sind hierbei mit gelben Linien eingetragen.

Um die unterschiedlichen Gegebenheiten der Einzelböschungen und Böschungssysteme im Tagbau Limberg erfassen und quantifizieren zu können (Fläche des Tagbaus Stiftbruch etwa 15 ha), standen folgende Methoden zur Verfügung:

- fotogrammetrische Aufnahme mittels Drohne
- Vermessung mittels Hochgeschwindigkeitslaser

Bei der fotogrammetrischen Aufnahme mittels Drohne wurde aufgrund von Fotoserien ein georeferenziertes (lage- und höhenrichtiges) dreidimensionales Modell erzeugt. Neben dem Höhenmodell wird gleichzeitig eine Orthofoto erstellt, welches der leichteren Orientierung im Modell dient. Dieses Modell wird vorrangig für die Vermessungstätigkeiten im Rahmen der Tagbauplanung, für Kubaturvermessungen und für das Bergbauartenwerk verwendet bzw. stellte dieses Höhenmodell auch die Grundlage für die Festlegungen von Gefahrenbereichen mittels Steinfallsimulationen dar. Die Auflösung bzw. Messgenauigkeit liegt hierbei im Zentimeterbereich. Eine Gesamtbefliegung des Tagbaus erfolgt längstens halbjährlich. Kleine Bereiche werden bedarfsmäßig befliegen bzw. ist es jederzeit möglich, kleine Bereiche mittels einer bodengestützter Kamera zu erfassen und zu modellieren. Der Vorteil dieser Methode liegt (aufgrund der Einsehbarkeit mittels Drohne von oben) in der vollständigen Erfassung der Geometrie. Gegenüber anderen Methoden erfolgt eine lückenlose und genaue Erfassung von Etagen, insbesondere des Böschungsfußes bei vorgelagertem Material (z.B. Schutzwällen). Ein weiterer Vorteil ist die Zeitersparnis, insbesondere bei Projekten im Ausmaß von mehreren Hektar. Ein Nachteil dieser Methode ist (im Tagbau aber nur von untergeordneter Bedeutung), dass Geländeoberflächen von Bereichen mit Bewuchs klarerweise nicht oder nicht exakt ermittelt werden können.

Die Vermessung mittels Hochgeschwindigkeitslaser wird im Tagbau Limberg vorrangig für die Planung von Sprenganlagen verwendet. Im Einsatz steht ein automatisches 3D-Laserscannersystem (mit einer maximalen Einsatzweite von ca. 350 m), welches mit einer portablen GNSS-Vermessung kombiniert wird. Der Vorteil dieser Methode liegt in der raschen und reproduzierbaren Aufnahme und Auswertung. Ein Nachteil ist, dass klarerweise nur vom jeweiligen Standplatz aus einsehbare Bereiche erfasst

werden können. Eine vollständige Erfassung von Böschungssystemen ist somit nur bei Einsicht von schräg oben möglich. Anzumerken ist, dass die genannten Systeme kompatibel sind und sich ergänzen.

Zusätzlich zu den im Tagbau im Einsatz stehenden Methoden wurde für die Dokumentation und Auswertung der Fallversuche ein bodengestütztes fotogrammetrisches System verwendet. Dieses System ermöglicht neben der Erfassung der Böschungsgeometrien auch die Auswertung des Gefüges (Trennflächenorientierung und -form bzw. Trennflächenabstände) und kann somit zur Bestimmung der möglichen Blockgrößenverteilungen herangezogen werden.

Zu betonen ist, dass die Grundvoraussetzung für die Ermittlung geogener Gefahren das Vorhandensein einer möglichst genauen und vollständigen Vermessung des Tagbaus ist, welche eine Bestimmung der Böschungshöhen, -formen und -neigungen sowie Etagenbreiten ermöglicht.

3. Fallversuche

Im Tagbau Limberg wurden eine Reihe von Fallversuche an verschiedenen Böschungen (mit unterschiedlichen Höhen und Formen) bzw. zu unterschiedlichen Fragestellungen (Ermittlung der maximalen Reichweiten bzw. Test von Sicherungsmaßnahmen zur Reduktion von Reichweiten mittels Wällen und Anschüttungen) durchgeführt.

Als Grundlage für die Festlegung der Gefahrenbereiche am Böschungsfuß wurde ein Fallversuch an einer für den gegenwärtigen Abbau charakteristischen Böschung herangezogen. Die Ergebnisse dieses Versuchs sollten einerseits der Festlegung von Gefahrenbereichen (GB_{UK-AM} = ATD von Steinfall und GB_{UK-AN} = ARD von Steinfall) bei ähnlichen Böschungen in diesem Abbauabschnitt dienen und andererseits zur Kalibrierung der Modellparameter von Steinfallprogrammen herangezogen werden.

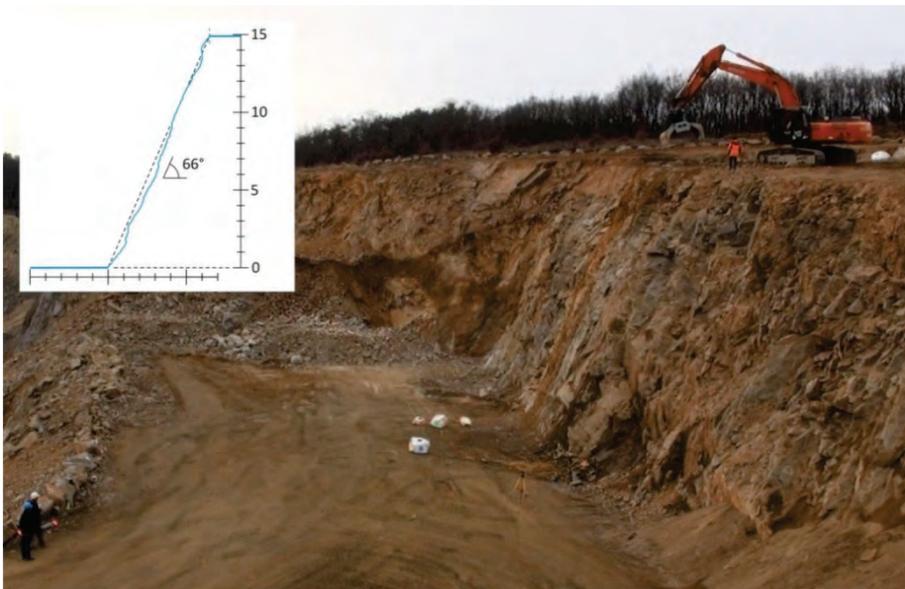


Abbildung 2: Versuchsböschung im Tagbau Limberg.

Die Versuchsböschung hatte hierbei eine Höhe von ca. 15 m, war durchschnittlich ca. 66° geneigt und zeigte eine ebene Böschungsform (Abb. 2). Da der Versuch im Winter durchgeführt wurde, war der Etagenuntergrund vereist und wies somit im Gegensatz zu einem nicht vereisten Untergrund eine geringere dämpfende Wirkung auf (ein Umstand, der somit zu höheren Ausrolldistanzen führte). Die Ermittlung der Blockmassen erfolgte mittels Kranwaage (Messgenauigkeit im Kilogramm Bereich). Für die Vorselektion der Blöcke stand ein Radlager mit Radladerschaufelwaage (Messgenauigkeit ± 50 kg) zu Verfügung. Hinsichtlich der Verteilung der Blockmassen wurde eine Auswahl von Blöcken mit Massen

von 0 bis 5000 kg, in 100 kg-Schritten, hergestellt, bei welcher eine Gleichverteilung der Massen angestrebt wurde. Insgesamt wurden 73 Blöcke abgeworfen. Dies stellt auch die Anzahl an verwertbaren Auftreffdistanzen (ATD) dar. Aufgrund von Block-Block-Interaktionen (Blöcke, welche mit vorab abgeworfenen Blöcken kollidierten) bzw. aufgrund von während des Sturzprozesses fraktionierten Blöcken ergaben sich daraus 64 verwertbare Ausrolldistanzen (ARD).

Tabelle 1 gibt die Reichweitenwerte wieder, welche mit einem verteilungsunabhängigen Verfahren zur Bestimmung von Obergrenzen von Konfidenzintervallen für Perzentile ermittelt wurden (siehe beispielsweise Rinne 2008). Hierbei werden die auf die Böschungshöhen normierten Reichweitenwerte für das 0,95-Perzentil bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % angegeben. Das 0,95-Perzentil für die ARD/h von 0,161 (= 16 % der Böschungshöhe) entspricht somit einer Auftreffdistanz von 2,4 m bei einer Höhe (h) von 14,9 m. Abbildung 3 linke Grafik zeigt die Verteilung der auf die Böschungshöhe normierten Auftreffdistanzen (ATD/h) dieses Fallversuchs. Zu erkennen ist die charakteristische rechtsschiefe Verteilung der Werte.

Tabelle 1: Obergrenzen für Konfidenzintervalle der 0,95-Perzentile ($\alpha = 0,05$) für die auf die Böschungshöhe normierten Reichweitenwerte des Fallversuchs und die Ergebnisse der kalibrierten Simulation mittels THORW.

	Fallversuch	THROW
ATD/h	0,161	0,165
$(ATD + A/2)/h = GB_{UK-AM}$	0,215	
ARD/h	1,047	1.037
$(ARD + A/2)/h = GB_{UK-AN}$	1,092	

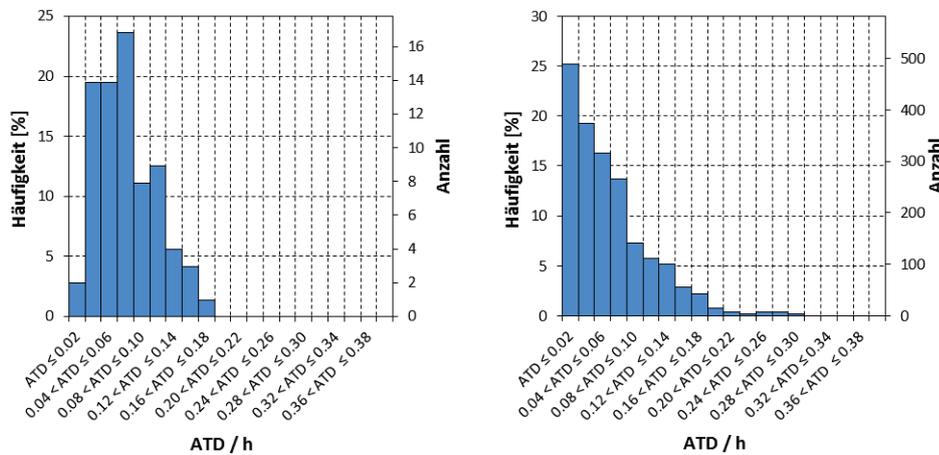


Abbildung 3: Verteilung der auf die Böschungshöhe normierten Auftreffdistanzen (ATD/h mit $h = 14,9$ m) der Fallversuche (linke Grafik, Versuchsserie mit $n = 73$) und jener der Simulation (rechte Grafik, $n = 1490$). Die Klasseneinteilung der Histogramme erfolgt in Schritten von 0,02 (2 % der Böschungshöhe).

4. Kalibrierung der Modellparameter für die Steinfallsimulationen

Auf Grundlage der Ergebnisse des Fallversuches erfolgte die Modellkalibrierung für das Steinfallprogramm THROW (Preh 2015 bzw. Preh et al. 2015), wobei eine solche Kalibrierung auf mehrere Arten erfolgen kann.

Wie die Darstellung der Häufigkeiten der auf die Böschungshöhe normierten Auftreffdistanzen zeigt (Abb. 3, rechte Grafiken), folgen auch die mittels THROW ermittelten Auftreff- und Ausrolldistanzen rechtsschiefen Verteilungen. Diese charakteristischen Verteilungen können etwa durch logarithmische Normalverteilungen approximiert werden, um, darauf aufbauend, Reichweitenwerte für die jeweiligen

Perzentile zu bestimmen. Die Zulässigkeit der Approximationen muss jedoch mittels Testverfahren (z.B. Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest) bestätigt werden. Eine Kalibrierung der Modellparameter kann dann durch den Vergleich der Perzentilwerte erfolgen, wobei möglichst idente Reichweitenwerte zumindest bei den 0,85-, 0,90- und 0,95-Perzentilen für eine akzeptierbare Kalibrierung gegeben sein müssen. Eine solche Vorgangsweise bei der Kalibrierung wurde im Fall der in Preh et al. (2015) dargestellten Ergebnisse gewählt.

Eine weitere Möglichkeit der **Kalibrierung** kann **durch den Vergleich der Konfidenzintervalle**, welche mit einem verteilungsunabhängigen Verfahren aus den Reichweitenwerten der Fallversuche und der Simulation bestimmt wurden, erfolgen.

Der für die Rückrechnung verwendete Schnitt durch die Versuchsböschung wurde mit einem photogrammetrischen System erstellt und wurde soweit generalisiert, dass dieser hinsichtlich der wesentlichen Merkmale die Böschungsform wiedergab. Für die Rückrechnungen wurden Partikel entsprechend den im Fallversuch verwendeten Blockmassen verwendet ($n_{\text{Fallversuch}} = 73$), wobei dieser Datensatz zur Erhöhung der statistischen Signifikanz der stochastischen Analyse bei jedem Kalibrierungsschritt 20-mal abgestürzt wurde ($n_{\text{Simulation}} = 1490$). Abbildung 4 gibt hierzu die generalisierte Böschungsgeometrie bzw. die berechneten Trajektorien der Simulation wieder.

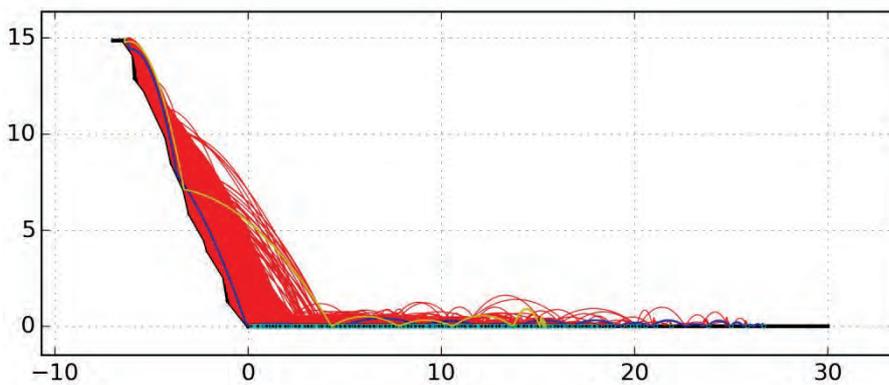


Abbildung 4: Simulation der Versuchsböschung mittels THROW ($n = 1490$).

Bei der Kalibrierung wurde jene Kombination von Eingabeparametern für die Untergrundtypen Felsböschung und Etage ermittelt, bei welcher die Konfidenzintervalle für Perzentile der mittels THORW berechneten Reichweiten (Auftreff- und Ausrolldistanzen) innerhalb der Konfidenzintervalle für Perzentile der aus den Fallversuchen ermittelten Reichweiten lagen. Angestrebt wurde dieses Kriterium nicht nur für bestimmte Konfidenzintervalle für Perzentile zu erreichen, sondern für die 0,50- bis 0,95-Perzentile in 5 %-Schritten (siehe Abbildungen 5 und 6, jeweils rechte Grafiken). Da durch den Fallversuch nur 64 verwertbare Ausrolldistanzen ermittelt wurden, konnte kein Konfidenzintervall für das 0,95-Perzentil (bei der angestrebten Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$) angegeben werden (Abb. 6, rechte Grafik). Für diese Bestimmung wären mindestens 72 Werte erforderlich gewesen.

Auch die Durchgangsdigramme der Abbildungen 5 und 6 (jeweils linke Grafiken) mit dem Vergleich der Ergebnisse der Fallversuche und der Simulationen verdeutlichen die gute Korrelation, wobei die Werte der Simulation bei den höheren Reichweiten leicht über jenen des Fallversuches liegen und somit eine höhere Sicherheit bewirken.

Mit der Tabelle 2 werden die durch diese Kalibrierung ermittelten Modellparameter angegeben. Anzumerken ist, dass diese nur eine geringfügige Abweichung zum Standardmodellparametersatz von Preh et al. (2015) haben und lediglich eine Anpassung des Skalierungsfaktors für die Rauheit (θ_{scale}) erforderlich war.

Tabelle 2: Modellparameter für THORW aufgrund der Kalibrierung

Parameter	Felsböschung	Etagenuntergrund
Reibungswinkel (γ)	30	30
Referenzenergie f. d. normale Restitution ($E_{0.5,n}$)	5	5
Referenzenergie f. d. tangentiale Restitution ($E_{0.95,t}$)	50	50
Skalierungsfaktor für die Rauheit (θ_{scale})	0,7	0,32

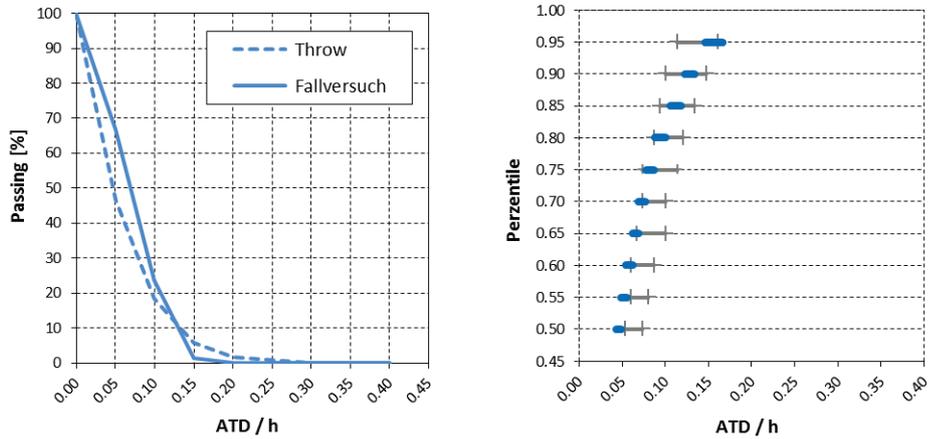


Abbildung 5: Durchgangsdiagramm mit dem Vergleich der auf die Böschungshöhe normierten Auftreffdistanzen (ATD/h) der Fallversuche und jener der Berechnung mittels Throw (linke Grafik) bzw. Vergleich der Konfidenzintervalle für Perzentile aus den Fallversuchen (graue Balken) und jene, welche sich aus der Simulation ergaben (blaue Balken in der rechten Grafik).

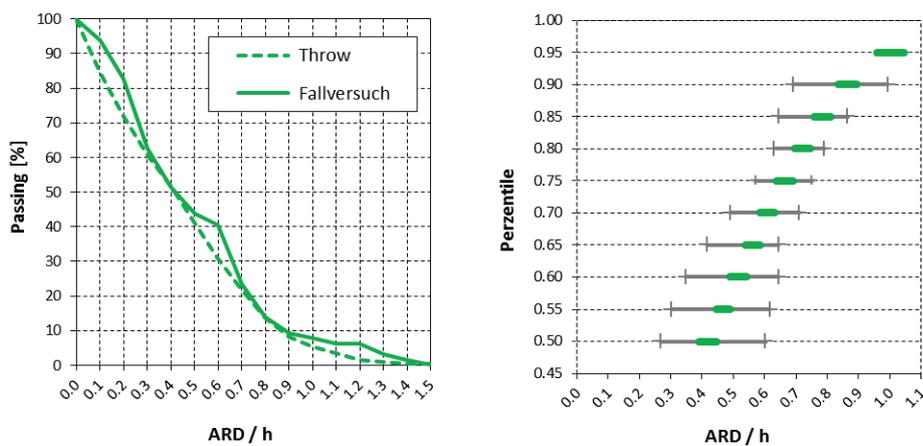


Abbildung 6: Durchgangsdiagramm mit dem Vergleich der auf die Böschungshöhe normierten Ausrolldistanzen (ARD/h) der Fallversuche und jenen der Berechnung mittels Throw (linke Grafik) bzw. Vergleich der Konfidenzintervalle für Perzentile aus den Fallversuchen (graue Balken) und jene, welche sich aus der Simulation ergaben (grüne Balken in der rechten Grafik).

Dieses Beispiel zur Kalibrierung und Validierung eines Berechnungsansatzes anhand der Ergebnisse eines Fallversuchs verdeutlicht die **Kriterien für eine akzeptierbare Kalibrierung**:

- Fallversuche zeigten im Regelfall, dass die Auftreff- und Ausrolldistanzen rechtsschiefen Verteilungen folgen. Dieser Umstand sollte sich daher auch bei den Ergebnissen von Berechnungsansätzen (Steinfallprogrammen) widerspiegeln bzw. auch als ein wesentliches Qualitätskriterium für Modellberechnungen gelten.
- Erfolgt eine Kalibrierung aufgrund des Vergleichs von Perzentilen von Reichweitenwerten, welche aufgrund der Approximation durch Verteilungsfunktionen (z.B. einer logarithmischen Normalverteilung oder einer Weibull-Verteilung) berechnet wurden, so ist mittels Test (z.B.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest) die Zulässigkeit der Approximationen (für die der Simulation und jene der Fallversuche) nachzuweisen. Eine sehr gute Übereinstimmung hinsichtlich der 0,85-, 0,90- und 0,95-Perzentile muss jedenfalls gegeben sein. Gute Übereinstimmungen sind auch bei anderen Perzentilen anzustreben.

- Erfolgt eine Kalibrierung aufgrund des Vergleichs von Konfidenzintervallen für Perzentile von Reichweitenwerten, welche mittels verteilungsunabhängiger Verfahren bestimmt wurden, so haben die Konfidenzintervalle, welche sich aus der Simulation ergaben, innerhalb der Konfidenzintervalle der Fallversuche zu liegen bzw. sollten diese im oberen Drittel der Konfidenzintervalle der Fallversuche liegen. Idealerweise sollte dies für Konfidenzintervalle für 0,50-, 0,55-, ... bis 0,95-Perzentile gelten.
- Die maximalen Auftreff- und Ausrolldistanzen, die mittels Simulation ermittelt wurden, sollen realistische Werte liefern. Von einer Kalibrierung anhand von Maximalwerten (welche im schlimmsten Fall Ausreißer darstellen) muss abgeraten werden. Gleiches gilt für Sprunghöhen und Sprungweiten.

5. Beispiele für 2D-Simulationen an Böschungssystemen

Kann eine Kalibrierung erfolgreich durchgeführt werden, indem nachgewiesen wird, dass das Programm verlässliche Ergebnisse in Übereinstimmung mit den natürlichen Vorgängen liefert, so kann der angepasste Berechnungsansatz zur Simulation von Steinfallereignissen an weiteren Einzelböschungen (Böschungen mit unterschiedlicher Höhe, Böschungsform und -neigung), an komplexen Böschungssystemen oder zur Wirkungsweise von Sicherungsmaßnahmen verwendet werden.

Dadurch wird es möglich, eine effiziente Ermittlung von tagbauspezifischen Gefahrenbereichen (für alle relevanten Böschungen in einem Tagbau) durchzuführen bzw. können Gefahrenbereiche auch für Böschungen und Böschungssysteme festgelegt werden, an welchen keine Fallversuche durchführbar sind.

Für die Berechnungen wurden mit Hilfe des Höhemodells (welches mittels Drohnenbefliegung erstellt wurde) und dem Geländebefund repräsentative Schnitte für die jeweiligen Böschungssysteme ausgewählt (Lage der Schnitte siehe Abbildung 1).

Bei jedem der Schnitte wurden nun angenommen, dass sich die gleiche Anzahl von Blöcken von den Oberkanten der einzelnen Felsböschungen (Worst-Case-Annahme) mit der jeweils gleichen Wahrscheinlichkeit lösen kann. Daher erfolgten für jeden Schnitt entsprechend der Anzahl der Böschungen Berechnungsdurchgänge, bei welchen jeweils das Ablösen von Blöcken von den einzelnen Böschungsoberkanten im Stichprobenumfang von jeweils 1000 Würfeln simuliert wurde. Abbildung 7 und 8 geben die Ergebnisse der Simulationen für zwei exemplarische Böschungssysteme wieder.

Bei der Analyse der Auftreffdistanzen (ATD) wurde für jede Etage die Summe der im Zuge der Simulationen auf dieser Etage erzielten Reichweitenwerte gebildet und die Obergrenze für das Konfidenzintervall für das 0,95-Perzentil (OG KI P95) mit einem verteilungsunabhängigen Verfahren (mit $\alpha = 0,05$) bestimmt. Gleiches erfolgte bei der Analyse der Ausrolldistanzen (ARD). In den Fällen der Abbildung 7 und 8 konnten diese Perzentilwerte aufgrund der Anzahl der Blöcke, welche die Etagen überrollen, lediglich für die untersten Etagen (Hauptplanum) angegeben werden.

Für die Simulation wurden zusätzlich zwei unterschiedliche Blockmassenverteilungen verwendet (siehe Verteilungsfunktionen der Abbildung 9): Einerseits wurde eine Auswahl von Partikeln mit gleichverteilten Massen von 100 bis 5000 kg (in 100 kg Klassen) verwendet, welche zur Erhöhung der statistischen Signifikanz der stochastischen Analyse jeweils 20-mal abgestürzt wurde ($n_{\text{Simulation}} = 1000$). Diese Verteilung der Blockmassen entspricht in etwa jener, welche auch für die Fallversuche und die Kalibrierung herangezogen wurden. Die Simulationen der Abbildung 7 und 8 erfolgten mit dieser Blockmassenverteilung. Andererseits wurde eine rechtsschiefe Verteilung der Blockmassen im Intervall 100 bis 1400 kg

(unterteilt in Klassen von 100 kg) gewählt, für welche ebenfalls ein Stichprobenumfang von 1000 Abwürfen gewählt wurde. Diese Verteilung ergab sich aus der Siebkurve für Vorbrechanlagen (typische Hauwerksverteilung für ‚extragrobe‘ Granite nach dem Berechnungsprogramm für Aufbereitungsprozesse Bruno des Unternehmens Metso Minerals Inc.). Bei dieser Blockmassenverteilung wurden etwas erhöhte Auftreffdistanzen erzielt, ein Umstand welcher mit empirischen Beobachtungen korreliert, da Blöcke mit kleineren Massen tendenziell größere Auftreffdistanzen zeigen als Blöcke mit größeren Massen.

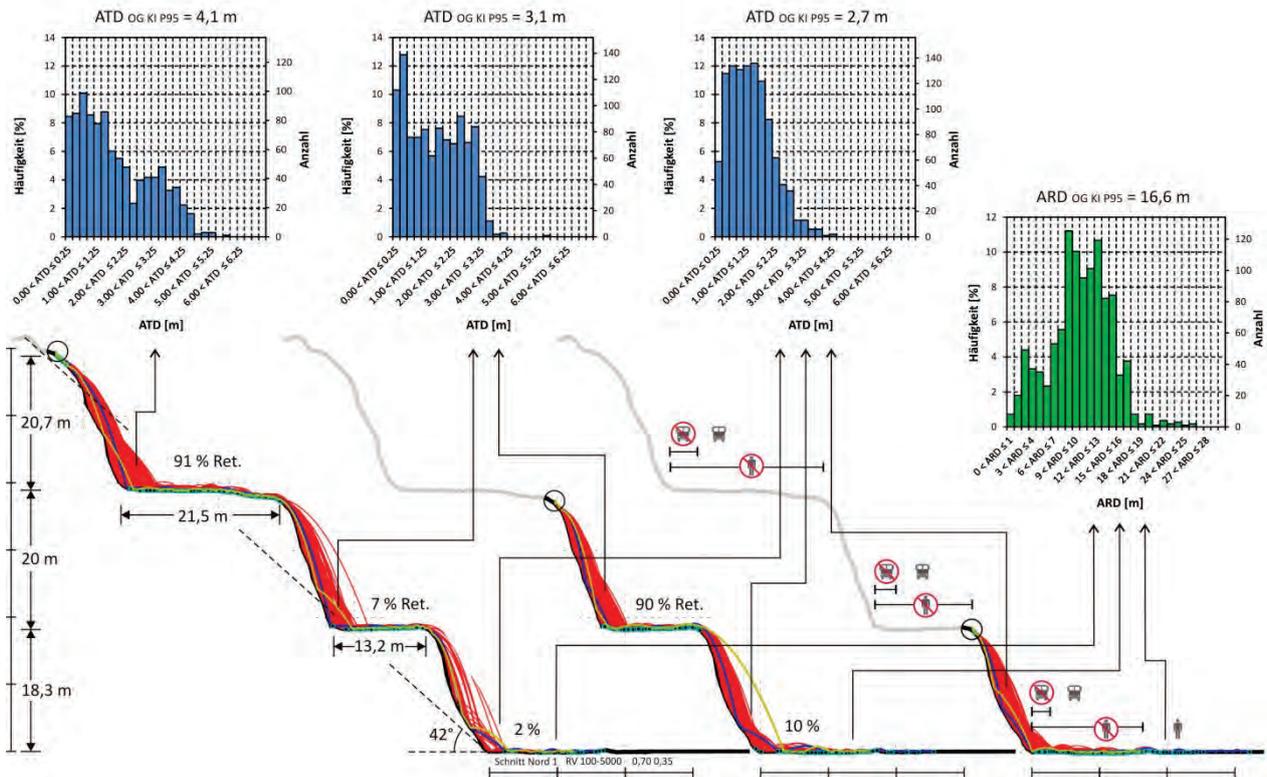


Abbildung 7: Schnitt durch ein aktiv im Abbau befindliches Böschungssystem. Die oberste Etage stellt hierbei eine Arbeitsetage dar.

Bezüglich der in Abbildung 7 und 8 dargestellten Berechnungsergebnissen ist weiters anzumerken, dass es sich um Worst-Case-Annahmen handelt. Einerseits wurden für die Simulationen Modellparameter gewählt, die sich durch die Kalibrierung anhand von Reichweiten bei geringer Dämpfung des Etagenuntergrundes ergaben (vereister Etagenuntergrund zum Zeitpunkt der Fallversuche) bzw. erfolgte ein Abwerfen von den jeweiligen Böschungsoberkanten. Andererseits wurde für den Etagenuntergrund angenommen, dass dieser frei von Hindernissen (bereits abgegangenes Blockwerk) ist.

Auf diese Weise lässt sich somit erkennen, in welchen Bereichen bzw. für welche Etagen etwaige Schutzmaßnahmen zur Reduktion der Ausrolldistanzen (Anschüttungen am Böschungsfuß oder Schutzwälle) erforderlich sind.

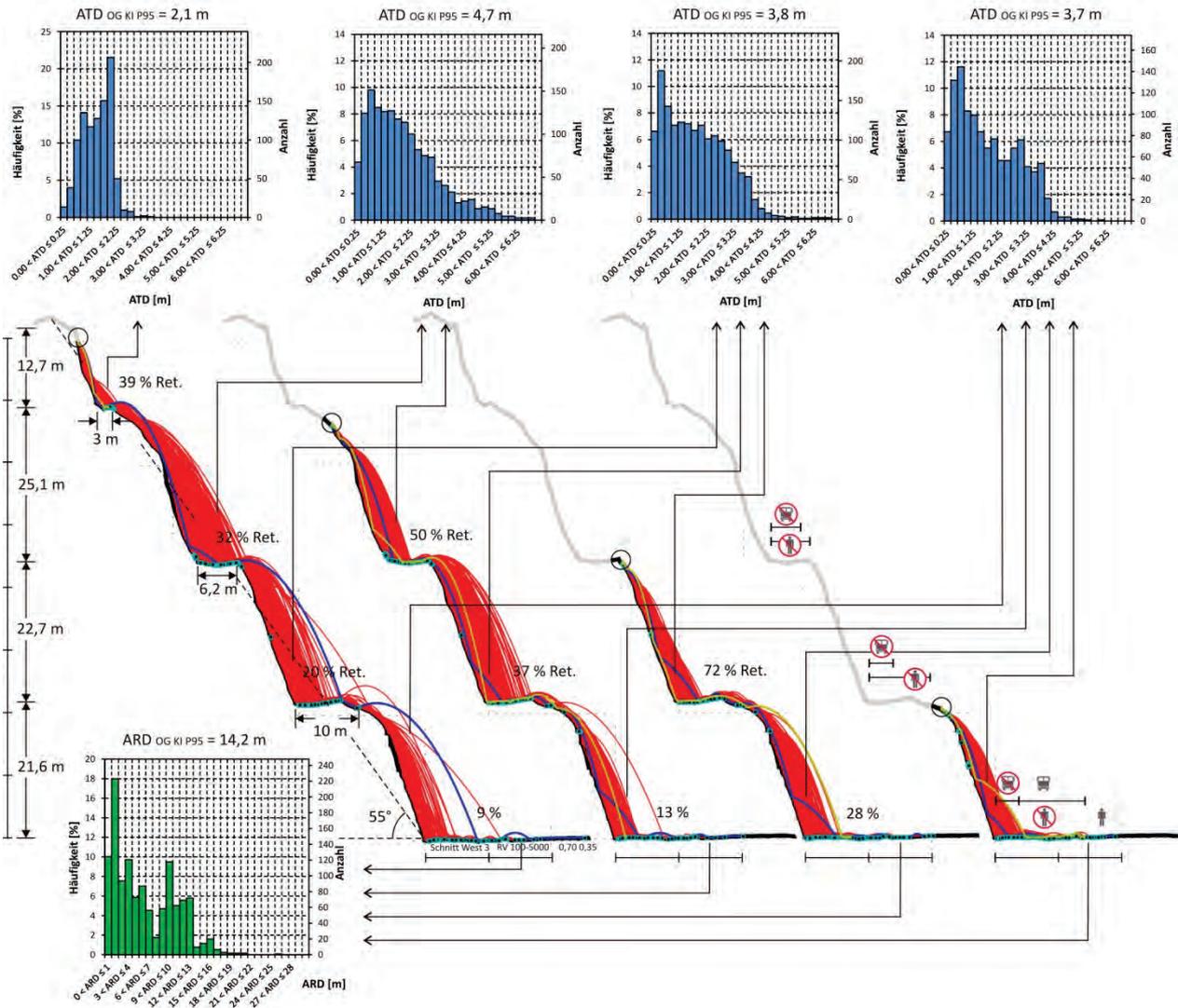


Abbildung 8: Schnitt durch ein Endböschungssystem.

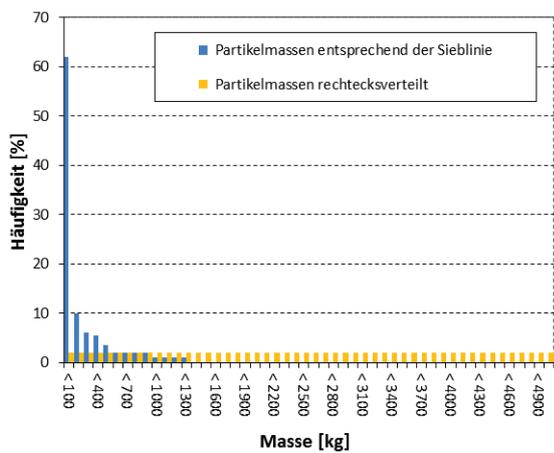


Abbildung 9: Blockmassenverteilungen.

6. Zusammenfassung

Die Grundvoraussetzung für die Ermittlung und Festlegung von tagbauspezifischen Gefahrenbereichen am Böschungsfuß durch Steinfall ist das Vorhandensein einer möglichst genauen und vollständigen Vermessung des Tagbaus, welche insbesondere eine Quantifizierung der Böschungshöhen, Böschungsformen und Neigungen sowie Etagenbreiten ermöglicht.

Fallversuche stellen (sofern die Stichprobe hinsichtlich des Umfangs, der Verteilung der Blockmassen, der Böschungsformen oder -höhen usw. repräsentativ war) die plausibelste Methode dar, um Reichweiten von abgehenden Einzelblöcken zu bestimmen und (darauf aufbauend mittels 0,95-Perzentil der Reichweitenwerte) tagbauspezifische Gefahrenbereiche am Böschungsfuß (GB_{UK-AM} = Auftreffdistanz von Steinfall, GB_{UK-AN} = Ausrolldistanz von Steinfall) festzulegen.

Da die Ergebnisse einer Versuchsanordnung nicht 1:1 auf andere Böschungen mit unterschiedlicher Böschungsform, -neigung oder -höhe übertragen werden können bzw. Aussagen zu Böschungssystemen nur eingeschränkt möglich sind, bietet es sich an, die Berechnungen der Reichweiten mittels Steinfallprogrammen durchzuführen. Dies führt im Regelfall auch zur Effizienzsteigerung bei der Gefahrenbereichsfestlegung.

Die Grundvoraussetzung für jegliche Berechnung ist jedoch, dass diese Programme verlässliche Ergebnisse in Übereinstimmung mit den natürlichen Vorgängen liefern. Um dies sicherzustellen, ist ein Kalibrieren der Modellparameter anhand der Ergebnisse von vor Ort durchgeführten Fallversuchen erforderlich.

Literatur

Preh A. (2015): THROW, ein dynamisch stochastisches Simulationsmodell zur Prognose von Steinschlag. unveröffentlichtes Benutzerhandbuch.

Preh A., Kolenprat B., Hungr O. & Mitchell A. (2015): Stochastische Steinschlagprognose zur Festlegung von (tagbauspezifischen) Gefahrenbereichen laut Tagbauarbeitenverordnung (TAV). ÖIAZ - Österreichische Ingenieur- und Architektenzeit-schrift, 160, 177–185.

Rinne H. (2008): Taschenbuch der Statistik, 4. Auflage, Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 1060 S.