

	Rockfall V 7.1	Rockyfor3D V3.0	EOULMENT	Zinggeler + GEOTEST	RocFall	CRSP (Colorado Rockfall-Simulation Program)	RockFall analyst
Allgemeines							
Autoren:	Dr. R.M. Spang, Dr.Ing. B. Romunde	Luuk Dorren	Descoedres 1987, Dudd and Heidenreich, 2001	André Zinggeler, Robert Pfeifer	Stevens, Warren D., 1998	Timothy J. Pfeiffer, Christopher L. Jones, Jerry D. Higgins, Richard D. Andrew, Robert Beck, Richard J. Schultz	Hengxing Lan, C. Derek Martin, C.H Lim
Programmgeschichte:	Das Programm ist seit 1987 auf dem Markt; 2009 in Version 7.1	Das Programm ist seit 1998 ständig weiterentwickelt worden (Dorren and Seijmonsbergen 2003, Dorren et al. 2004, Dorren et al. 2006, Dorren 2009)	Das Programm wird seit 1987 im universitären Bereich eingesetzt und weiterentwickelt. Es besteht keine käufliche Version des Programmes.	Das Programm ist als 2D- und 3D-Version seit 1991 bei der GEOTEST in Gebrauch und wird laufend verbessert. Seit 2003 ist die 2D-Version des Programms auf dem Markt. Aktuelle Version 2009 RoFmod 4.1.	Das Programm ist seit 1998 auf dem Markt; Es wird heute von RocScience in der Version 4.0 vertrieben (Stand 2010).	Version 1.0: Masterarbeit in Ingenieurgeologie; Timothy Pfeiffer (1988); Version 2.1: 1991; Version 3.0 (1993); Version 3.0a (1995); Version 4.0 (2000).	Das Programm wurde ca 2006 entwickelt und in einigen akademischen Studien oder Fallbeispielen angewendet. Soweit ist keine kommerzielle Version bekannt.
Abstract:	Das Programm beruht auf den Bewegungsgesetzen und berücksichtigt alle physikalisch möglichen Bewegungsarten, Schiefer Wurf, Rollen, Gleiten, Freier Fall und Kippen. Für die Simulation wird ein zweidimensionales Profil festgelegt und in einzelne Lamellen aufgeteilt. Lamellenanzahl und -weite sind vom Benutzer in Abhängigkeit der Hangform festzulegen. Die Oberflächeneigenschaften werden den einzelnen Lamellen zugeordnet und sind zunächst lamellenweise konstant. Mit der Simulation werden die Bahndaten eines Blocks nach den Bewegungsgesetzen und der Stosstheorie unter Berücksichtigung des Dralls berechnet. Die bei jeder Bewegungsänderung massgebenden Parameter werden mittels automatischer Variation innerhalb der vom Nutzer vorgegebenen Bandbreite bestimmt (s.g. stochastische Simulationsansatz = statistische Studie). (Spang CH, Romunde B., Waldecker J., Ganser H.).	In Rockyfor3D werden Sturztrajektorien als Abfolge von Flugparabeln und Kontaktreaktionen (Block-Boden, Block-Baum) in 3D simuliert. Auf der Basis eines digitalen Höhenmodells und zusätzlichen Rastern, welche die Oberflächenbeschaffenheit des Hanges beschreiben, werden Sturzbahnen berechnet. Die Ausbruchzellen, und die dazu gehörige Blockgrößen und -Formen werden vom Benutzer in 4 verschiedenen Rastern definiert. Nach jedem Baum- oder Boden-Kontakt berechnet das Programm die neue Fallrichtung des Blockes mit einem Zufallsverfahren. Bei Bodenkontakten berücksichtigt das Programm für die Berechnung der Sturztrajektorie die Fallrichtung vor den Kontakt, die lokale Topographie und die Geschwindigkeit des Blockes. Beim Durchgang eines Blockes durch eine Rasterzelle werden die Sprunghöhe, die totale kinetische Energie (Rotation und Translation) und die Geschwindigkeit und die Richtung festgehalten. Für jede Rasterzelle werden für die genannten Parameter die durchschnittlichen Werte sowie die 95%-Perzentil Werte berechnet. Ausserdem wird pro Rasterzelle festgestellt, wie viele Blöcke und mit welcher	Es handelt sich um ein 3D-Steinschlag-Simulationsmodell mit idealisierten Blockformen und -Dimensionen. Die Berechnung der Sturzbahnen erfolgt unter Verwendung der dynamischen Gleichungen für einen starren Körper unter Berücksichtigung eines elasto-plastischen Aufpralls, Reibungs-, Rollwiderstand und des Drehmomentes. Die Topographie wird mittels eines viereckigen 3D-Grids definiert. Die Eingabeparameter werden dann den Grid-Zellen zugeordnet. Die Berechnung erfolgt mittels drei Bewegungsarten – Gleiten, Rollen und Springen. Die verwendeten Blöcke können in verschiedenen Formen eingegeben werden und sind starr und unzerbrechlich. Die Unsicherheiten oder die Verteilung der Parameter kann durch eine zufällige Variation in einer vom Benutzer definierten Bandbreite eingebracht werden (z.B. Normalverteilung, Monte Carlo-Simulation, u.a.). Descoedres et al. machen eine subtile Unterscheidung bezüglich der Parameter. Sie unterscheiden „unbekannte“ (jedoch konstante) und „zufällig verteilte“ Parameter. Die Blöcke können an jedem beliebigen Punkt gestartet werden. Die verschiedenen Trajektorien können	Es werden Sturztrajektorien als Abfolge von Flugparabel, Kontaktreaktionen (Block-Boden, Block Baum) sowie Rollbewegungen modelliert. 2D-Modell: Auf einem Geländeprofil werden max. 500 Sturzbahnen berechnet. Die Startpunkte werden innerhalb einer vom Benutzer definierten Ausbruchzone generiert (gleichmässige Verteilung über die Zone). Das Geländeprofil ist in einen Berechnungs-Raster mit einer frei wählbaren Auflösung unterteilt. Beim Durchgang eines Blockes durch eine solche Rasterzelle werden die aktuellen Bewegungsparameter Sprunghöhe, Translationsenergie, Rotationsenergie und Geschwindigkeit festgehalten. Ausserdem wird pro Rasterzelle festgestellt, wie viele Blöcke diese Zelle erreichen bzw. passieren. Für jede Berechnungs-Rasterzelle werden für die genannten Bewegungsparameter statistische Kennzahlen berechnet: Die Maximalwerte sowie die Werte, die von 50 bzw. 80% der Blöcke erreicht werden. Die Daten werden in ein File geschrieben und lassen sich in verschiedenen vorgegebenen Formen und Arten (Flugbahnen und Histogramme) graphisch darstellen und auswerten. Beim 3D-Modul werden dieselben Angaben auf einem flächig	RocFall ist ein statistisches Analyse-Programm zur Bewertung der Sturzbahntrajektorien. Energie, Geschwindigkeit und "Sprunghöhe" über den gesamten Hang sowie die Position der Endpunkte werden durch das Programm ermittelt. Verteilungen von Energie, Geschwindigkeit und Sprunghöhen werden auch entlang der Sturzbahn berechnet. Verteilungen können grafisch dargestellt und umfassende Statistiken werden automatisch berechnet. RocFall kann auch bei der Bestimmung von Sicherheitsmassnahmen unterstützen: die materiellen Eigenschaften der einzelnen Hangsegmente können verändert werden. Informationen über die kinetische Energie und Ort des Aufpralls auf ein Hindernis können helfen, die Kapazität, Größe und Lage von Schutzmassnahmen zu bestimmen. RocFall bietet verschiedene Formen der Interaktion mit anderen Windows-Programmen. Alle Input- und Output-Daten (in tabellarischer Form formatiert) und Screenshots, können in ein Word-Prozessor für Berichte eingefügt werden. Roc-Fall erlaubt auch "rohe" Daten (z. B. die Auswirkungen auf ein Hindernis, Energie, Aufprallhöhe etc.) in eine Tabelle zu exportieren, um weitere Analyse	Das Programm berechnet Sturztrajektorien in 2D. Dabei werden die Geometrie der Sturzbahn und die Interaktionen bei Bodenkontakt berücksichtigt. Es entsteht eine Abfolge von Flugparabeln, Roll- und Gleitbewegungen. Für den Block kann eine Startgeschwindigkeit (schiefer Wurf) oder eine Absturzhöhe eingegeben werden. Es können über 10'000 Stürze pro Programmlauf berechnet werden. Das 2D-Profil wird in Lamellen-orm eingegeben. Dabei ist die maximale Lamellenanzahl 100. Die Oberflächeneigenschaften werden lamellenweise angegeben. Aufgrund der Blockbewegung beim Einschlag (Geschwindigkeit, Richtung, Drall) wird die Absprungbewegung berechnet, wobei der Oberflächenwinkel bis zum als "Oberflächenrauhigkeit" angegebenen Maximum variiert wird. Zur variation wird eine Pseudozufallszahl verwendet, welche vom Startzeitpunkt des Programms abhängt.	Das Programm funktioniert als GIS-Extension in ArcGIS von ESRI. Es beruht auf 2 separaten Teilen: 1) Sturztrajektorien Simulation und 2) Rastermodellierung für die Darstellung der räumlichen Verteilung einer oder mehrerer Steinschlagzonen. Im ersten Teil berechnet das Programm die Geschwindigkeit und Sturztrajektorien in 3D, basierend auf einem Partikelsturzansatz. Im zweiten Teil werden die geostatistischen Werkzeuge von ArcGIS benutzt, um Rasterdarstellungen von Häufigkeit-Sprunghöhe- und Energieverteilung zu erstellen. Eine eingebaute Funktion ermöglicht eine Steinschlagrisikoanalyse anhand von diesen drei Rastern. Für die Sturztrajektorien werden die Geometrie des Gelände (input ist ein digitales Höhenmodell) und die Interaktionen bei Bodenkontakten berücksichtigt. Es entsteht eine Abfolge von Flugparabeln und Roll-/Gleitbewegungen. Als Sturzquellen werden entweder Punkt- oder Linien-Elemente aus einem Shapefile gelesen. Man kann mehrere Stürze pro Startpunkt fallen lassen, wobei die Angaben von einem Winkel, die Starttrajektorie entsprechend ändert. Ein Polygon-Shapefile definiert die Oberflächenbeschaffenheiten des Untersuchungsgebietes. Drei Parameter können bestimmt werden: Rauigkeit, normales und tangentiales Restitutionskoeffizient.
		festgestellt, wie viele Blöcke, und mit welchem Volumen diese Zelle erreichen bzw. passieren.			RocFall erlaubt auch "rohe" Daten (z. B. die Auswirkungen auf ein Hindernis Energie, Aufprallhöhe etc.) in eine Tabelle zu exportieren, um weitere detaillierte Analysen vorzunehmen .		die Starttrajektorie entsprechend ändert). Ein Polygon-Shapefile definiert die Oberflächenbeschaffenheiten des Untersuchungsgebietes. Drei Parameter können bestimmt werden: Rauigkeit, normales und tangentiales Restitutionskoeffizient.
Informationsquellen:	- Handbuch Version 7.1 (2008) - Entwurf und Bemessung von Steinschlagsschutzgittern mit Rockfall 7.1, Fels- und Hangsicherung Müden II. - Spang Ch., Romunde B., Waldecker J., Ganser H. (2008). http://www.dr-spang.de/rockfall/rockfall.html	Modell-Anleitung: www.ecorisq.org/docs/Rockyfor3D.pdf	- Three-dimensional dynamic calculation of rockfalls. - Descoedres F. and Zimmermann Th.: (1987) - Treatment of uncertainty in a threedimensional numerical simulation model for rock falls. - Dudd, J.P., Heidenreich B. (2001) - An attempt to refine rockfall hazard zoning based on the kinetic energy, frequency an fragmentation degree. - Jaboyedoff M., Dudd J., Labouse V. (2005)	- Steinschlag-C27 Benutzerhandbuch ROFMOD 4.1, GEOTEST AG, Zollikofen.C21 - Steinschlagmodellierung GEOTEST+Zinggeler, Modellbeschreibung, A. Zinggeler, R. Pfeifer, 8.4.2009. www.geotest.ch/File/download/Ingenieurgeologie/Sturzmodellierung.pdf	www.roscience.com/products/12/RocFall	Colorado Rockfall Simulation Program - Version 4.0, Colorado Department of Transportation, Colorado School of Mines, Colorado Geological Survey, März 2000. http://geosurveystore.state.co.us/p-676-colorado-rockfall-simulation-program-version-40.aspx	RockFall analyst: A GIS extension for three-dimensional and spatially distributed rockfall hazard modeling, Computers & Geosciences, 2006 http://geoinformatics.sut.ac.th/sut/student/GISpresent/2006-1/Rockfall.pdf
Algorithmus							
- Block	Berechnung eines Massenpunktes mit physikalisch nachvollziehbaren Parametern.	Berechnung eines Massenpunkt während freiem Fall. Berechnung einer Sphäre während Boden- und Baumkontakte (Durchmesser kann variieren während der Simulation abhängig von den definierten Blockachsen. Berechnung des Trägheitsmomentes abhängig von der Blockform und -grösse. Berechnung der Bewegung des Massenpunktes auf seiner wirklichen Höhe über Terrain.	Idealisierter 3D-Körper.	Berechnung eines Massenpunktes mit physikalisch nachvollziehbaren Parametern. Berechnung des Trägheitsmomentes abhängig von der Blockform und -grösse. Für Grossblöcke Berechnung der Bewegung des Massenpunktes auf seiner wirklichen Höhe über Terrain (Berücksichtigung der Blockgrösse).	Massenpunkt mit physikalisch nachvollziehbaren Parametern, Idealisierte Kugelform.	Berechnung eines Massenpunktes mit physikalisch nachvollziehbaren Parametern. Berechnung des Trägheitsmomentes abhängig von der Blockgrösse und Form (nur Kugel, Zylinder und scheibenförmig).	Partikel-Sturzansatz, "lumped-mass approach".
- Profil/Hang	2D-Profil, Unterteilung in n Lamellen.	Digitales Höhenmodell in Raster Format .	Digitales Höhenmodell als Grid	2D-Profil, Unterteilung in Lamellen (minimal 1 m). 3D auf digitalem Geländemodell.	2D-Profil, Unterteilung in Lamellen.	2D-Profil, Unterteilung in Lamellen (maximal 100 Lamellen).	Digitales Höhenmodell.
- Iterationsvariable	Zeitschritt	Wegschritt	Zeitschritt	Wegschritt		Wegschritt	Zeitschritt
- Vorgabe bei der Eingabe	Blockform, Startbereich, Hangneigung (Profil) und Bodenparameter (Dämpfung, Rauigkeit) sowie Eigenschaften des Waldes. Eingabe eines Schwankungsbereiches der Werte für alle Parameter möglich.	Blockform wird definiert über 3 Blockachsen und 4 Blockformen, Startbereich, Initialgeschwindigkeit des Blockes Bodenrauigkeit definiert mit 3 Probabilitätswerten. Bodendämpfung, sowie die Eigenschaften des Waldes (Stammzahl und Stammdickenverteilung oder Baumpositionen mit Stammdurchmesser, Holzart).	Möglich für viele Parameter, Zufallsfunktion wählbar, Monte-Carlo-Simulation.	Möglich für Blockform (3 verschiedene Blockachsen), Blockrundung (eckig bis rund in 5 Abstufungen), Blockgewicht, Startbereich, Hangneigung (Profil) und Bodenparameter (Rauigkeit, Dämpfung) sowie auch für die Eigenschaften des Waldes (Stammzahl, Stammdicke, Stammdickenverteilung). Rollwiderstand und Abbruchkriterien bei Bedarf veränderbar (Veränderung der Defaulteinstellungen nötig).	Ausgangsgeschwindigkeit des Blocks, Blockgrösse und masse, Startbereich, Materialkennwerte.	Blockform, Startbereich und die Hangneigung (Profil) sowie die Bodenparameter (tangentiale und normale Geschwindigkeitserhaltung, Rauigkeit).	Blockgewicht, Starthöhe, Start- und Stoppgeschwindigkeit, Übergangswinkel und -geschwindigkeit von Rollen zu Springen, sowie die Bodenparameter (tangentiale und normale Restitutionskoeffizient, Rauigkeit).
- Parameter-Variation bei der Berechnung (Programm variiert automatisch oder nach definierter Vorgabe bei jeder Einzelberechnung die Parameter mit eingebauter Verteilung oder Zufallsfunktion).	Möglich für Blockgrösse, Hangneigung (Profil) und Bodenparameter (Dämpfung, Rauigkeit) sowie auch für die Eigenschaften des Waldes (Stammdicke, Stammzahl). Die Variation ist keine Gaussverteilung und den gewählten Wert, sondern ein zufällig gewählter Wert aus dem vorgegebenen Schwankungsbereich.	Lokale Hangneigung (Variation automatisch mit 4° bei Bodenkontakt), Fallrichtung nach Boden- oder Baumkontakt wird bestimmt durch Zufallsverfahren wobei Fallrichtung vor Kontakt und Blockgeschwindigkeit die wichtigsten Eingangsparameter sind.	Möglich für viele Parameter, Zufallsfunktion wählbar, Monte-Carlo-Simulation.	Variation der Stammdicke und der Zentrität des Baumtreffers mit resultierender Ablenkung gemäss Vorgegebener Stammdickenverteilung mit einer definierbaren Zufallsfunktion. Keine Variation der Blockgrößen, der Hangneigung und der Bodenparameter für die unterschiedlichen Berechnungsläufe. Die Anzahl gewählter Blöcke wird gleichmässig über den Ausbruchbereich verteilt.	Möglich für Blockgrösse, Hangneigung (Profil) und Bodenparameter (Dämpfung, Reibungswinkel).	Rauigkeit.	keine Angaben.
- berechnete Bewegungsarten	Freier Fall, Springen (schiefer Wurf), Rollen, Gleiten und Kippen.	Freier Fall, Springen (schiefer Wurf), Rollen.	Freier Fall, Springen (schiefer Wurf), Rollen, Gleiten und Kippen.	Freier Fall, Springen (schiefer Wurf), Rollen.	Freier Fall, Springen (schiefer Wurf), Gleiten, Rollen.	Freier Fall, Springen (schiefer Wurf), Rollen.	Freier Fall, Springen, Rollen/Gleiten.

	Rockfall V 7.1	Rockyfor3D V3.0	EBOULMENT	Zinggeler + GEOTEST	RocFall	CRSP (Colorado Rockfall-Simulation Program)	RockFall analyst
Eingabeparameter							
- Block							
Geometrie	Kugel, Scheibe (d.h. Eingabeparameter: Radius, Dicke) Variation der Blockgrösse mittels Zufallsfunktion möglich.	Blockgrösse über 3-Blockachsen. Vier mögliche Blockformen: Quader, Ellipsoid, Kugel und Scheibe.	Block ist starr und unzerbrechlich, Form: Ellipsoid, Quader oder Prisma mit den dafür notwendigen Massangaben.	Blockform über 3-Blockachsen. Rundungsgrad von eckig (Quader/Würfel) bis rund (Ellipsoid/Kugel).	Massenmittelpunkt, idealisierte Kugelform.	Kugel, Scheibe (d.h. Eingabeparameter: Durchmesser, Dicke), Zylinder (d.h. Eingabeparameter: Durchmesser, Länge).	Kugel
Verkleinerung während Sturz	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Materialeigenschaften	Spez. Gewicht	Spez. Gewicht	Spez. Gewicht	Spez. Gewicht	spez. Gewicht	Spez. Gewicht	Gewicht
- Startbewegung							
	Angabe der Bewegungsart und des Startpunktes oder Bereiches (x, z-Koord). Bei Startbewegung durch freien Fall kann eine Anfangsrotation des Blockes eingegeben werden. Bei Startbewegung durch Rollen oder Gleiten kann eine tangentielle (d.h. hangparallele) Anfangsgeschwindigkeit eingegeben werden.	Angabe der Ausbruchzellen in einem Raster. Blöcke haben eine horizontale Initialgeschwindigkeit von 0.5 m/s und können zusätzlich von 0 bis 50 m über Terrain gehoben und fallengelassen werden.	Beliebige Startbewegung (Gleiten, Rollen oder freier Fall), mit Angabe der Positon, der Anfangsgeschwindigkeit und der Blockorientierung.	Angabe des Ausbruchbereiches (auf X-Koordinate). Verteilung der Ausbruchstellen gleichmässig über diesen Bereich. Blöcke werden 1 m über Terrain gehoben und fallengelassen.	Angabe des Ausbruchbereiches als Punkt oder Linie. Angabe der Ausgangsgeschwindigkeit nach X und Y-Koordinate sowie Rotationsgeschwindigkeit.	Angabe der Startzone (Freier Fall: z1, z2-Koord; Startlamelle) und der Startgeschwindigkeit (vx und vz).	Starthöhe und Startgeschwindigkeit.
- Sturzbahn							
Hanggeometrie	x,z Koordinaten eines gegebenen Berechnungsprofilies.	Geländemodell (Grid x,y,z).	Geländemodell (Grid x,y,z).	x,z-Koordinaten eines gegebenen Berechnungsprofilies. Geländemodell mit x,y, z-Koordinaten.	x,z-Koordinaten eines gegebenen Berechnungsprofilies die Hanggeometrie (x,y-Koordinaten der Vertices) kann mittels Angabe eines Schwankungsbereichs statistisch variiert werden.	x,z Koordinaten eines gegebenen Berechnungsprofilies.	Geländemodell (Grid x, y, z)
Erstellen des Profilies	Jede Profillamelle kann andere Materialeigenschaften annehmen, die Lamelleneigenschaften können mittels einzugebenden Schwankungsbereichen statistisch variiert werden. Die Anzahl der Profillamellen sind frei.	Es wird kein Profil erstellt. Berechnung wird in 3D auf Geländemodell durchgeführt. Variation der Parameter in fest vorgegebenem Bereich. Geländeeigenschaften werden mittels eines separaten Layers erfasst.	In der Regel mittels eines digitalen hochauflösenden Geländeprofiles	Jede Profillamelle kann andere Eigenschaften (Neigung, Dämpfung, Rauigkeit, Wald) annehmen. Die Lamelleneigenschaften können einmal fixiert, nicht variiert werden. Die Anzahl der Profillamellen ist frei (maximale Auflösung 1 m). 3-D-Simulation auf digitalem Geländemodell. Untergrundeigenschaften als separater Layer.	Jede Profillamelle kann andere Untergrundeigenschaften (Dämpfung, Reibungswinkel) annehmen. Die Lamelleneigenschaften können mittels einzugebenden Schwankungsbereichen statistisch variiert werden. Die Anzahl der Profillamellen ist frei.	Jede Profillamelle kann andere Materialeigenschaften annehmen. Die Anzahl der Profillamellen ist auf 100 beschränkt (maximale Auflösung durch die Lamellenzahl bestimmt).	Digitales Höhenmodell und 2 rechtshändige Koordinatensysteme (Kartesian und Gefälle).
Profilrauigkeit, Dämpfung	Eingabe über diskrete Punkte im Profil oder über statistische Oberflächenrauigkeit (Amplitude, Frequenz) für jede einzelne Lamelle. Dämpfung gemäss Vorgaben.	Die Oberflächenrauigkeit wird beschrieben durch 3 Raster. Diese 3 Raster definieren resp. die 70%, die 20% und die 10% Rauigkeitswerte. Diese Werte beschreiben die Grösse (senkrecht zum Hang, bergabwärts betrachtet) der "Hindernisse" (i.e., das Material das den Hang bedeckt), die den Block während 70%, 20% und 10% der Bodenkontakte begegnet. Diese Variablen müssen im Gelände sorgfältig geschätzt und kartiert werden.	Eingabe über Bodenparameter für Abschnitte.	Eingabe Rauigkeit über diskrete Profilgeometrie (grössere Rauigkeit) und über Profilrauigkeit (kleiner Profilaufklärungsgraste). Die Rauigkeit (z.B. Schutthalde) wird einmal erhoben und den Profillamellen zugeordnet. Die Bremswirkung der Rauigkeit ist abhängig von der Blockgrösse des Sturzblockes (kleine Blöcke werden stark gebremst, grosse wenig). Das Programm berechnet automatisch den Bremsseffekt. Die Dämpfung wird lamellenbezogen gemäss Vorgaben im Gelände erhoben. 3D: Analog über digitales Geländemodell und Geländerauigkeit	Die Eingabe der Profilrauigkeit (Wellbleck-Effekt) ist nicht möglich. Dämpfung lamellenweise.	Eingabe als Rauigkeit pro Lamelle (Oberflächenrauigkeit als Koeffizient). Die Rauigkeit muss für jede Blockgrösse neu festgelegt werden. Dämpfung analo.	Eingabe als Rauigkeit in der Attributtabelle der Oberflächenbeschaffenheiten (Polygon-Shapefile)
Bewegungsart: Gleiten	Eingabeparameter Gleitreibung, Haftreibung in Grad, physikalische Definition. Die Gleitreibung kann wie der Reibungswinkel im geotechnischen Sinn angeschaut werden. Sinnvolle Wertebereiche: - Gleitreibung: 10 bis 35 ° - Haftreibung: 12 bis 45 °	Gleiten wird nicht berücksichtigt.	Eingabeparameter Gleitreibung, physikalische Definition. Die Gleitreibung kann wie der Reibungswinkel im geotechnischen Sinn angeschaut werden. Sinnvolle Wertebereiche: - Gleitreibung: 10 bis 35 °	Kann nicht gerechnet werden.	Eingabe der Reibungswinkels. Keine Differenzierung zwischen Gleit- und Haftreibung	Tangentiale Geschwindigkeitserhaltung (tangentialer Koeffizient der Reibungsresistenz).	Eingangsgeschwindigkeit, Gefälle und Rauigkeit werden benutzt für die Berechnung des Endgeschwindigkeitsvektors des Sturzpartikels am Verlassen einer Zelle.
Bewegungsart: Rollen	Eingabeparameter Rollen: Rollwiderstand dimensionslos, physikalische Grösse // mitberücksichtigt wird das Trägheitsmoment und die Profilrauigkeit in Funktion des Blockradius Sinnvoller Wertebereich: 0 bis 0.35 [-]. Übergang Springen/Rollen wird vom Programm berechnet.	Rollen wird simuliert mittels sehr kleiner Sprünge.	Reibungs- und Rollwiderstand. Übergang Springen/Rollen wird vom Programm berechnet.	Eingabeparameter Rollen: Rollwiderstand dimensionslos, physikalische Grösse // mitberücksichtigt wird das Trägheitsmoment, die Blockform und die Untergrunddämpfung sowie der Blockradius. Sinnvoller Wertebereich: 0.4 bis 0.5, default 0.45. Das Programm berechnet entlang des gesamten Profils die relevanten Bewegungsmechanismen (Übergang Springen/Rollen mit definierten Übergangskriterien, abhängig von Blockgrösse und Sprunghöhe).	Reibungswinkel = 0	Berücksichtigung von Trägheitsmoment und Untergrunddämpfung.	Das Programm berechnet entlang des gesamten Profils die relevanten Bewegungsmechanismen (Übergang Springen/Rollen/Gleiten mit definierten Übergangskriterien, abhängig von Blockgrösse und Sprunghöhe). Rollen wird von Gleiten nicht unterschieden.
Bewegungsart: Schiefer Wurf: Überall gleich gerechnet, ohne Luftwiderstand. Berechnung Absprungwinkel und Energieverlust bei Bodenkontakt	Geländeberührungen werden als elasto-plastischer Stoss gerechnet unter zu Hilfenahme von zwei Eingabeparametern, d.h. Restitutionsfaktoren (tangentielle und normale Restitution bez. Geländeoberfläche). (Restitution + Dämpfung = 1 (voll elastisch)). Das Drehmoment des Blockes wird mitberücksichtigt. Seine Änderung wird mittels der Gleit- oder - für härtere Stösse - mit der Haftreibung berechnet. Sinnvolle Wertebereiche: - normale Restitution (senkrecht zum Hang): 0.01 bis 0.080 [-] - tangentielle Restitution (parallel zum Hang): 0.75 bis 1.0 [-]	Bei Geländeberührungen wird abhängig vom Einfallswinkel des Blockes, der Blockgrösse, der Blockgeschwindigkeit, der Elastizität und der Rauigkeit des Untergrundes der entstehende Eindringtrichter und der Energieverlust (senkrecht sowie parallel zur Oberfläche gerichteter Energieanteil) berechnet. Die Elastizität wird mit einem normalen Restitutionskoeffizient berechnet. Die Rauigkeit wird mit drei 'Probabilitäts-Rauigkeitswerten' beschrieben und mit einem Zufallsverfahren basierend auf der Blockgrösse in einen tangentiellen Restitutionskoeffizient umgerechnet. Nach der Berechnung des Energieverlustes (inkl. Austausch zwischen Rotationsenergie und hangparallele Translationsenergie), wird den neuen 3D-Bewegungsvector berechnet. Dabei wird die lokale Hangneigung bei Bodenkontakt mittels einem Zufallsverfahren mit 4° variiert.	Die Bodenreaktion wird über den Dämpfungskoeffizient (normal - tangential), Plastizitätsfaktor C (Abminderung normale Dämpfung), Aufnahme der Rotationsenergie über einen speziellen Bodenkenwert gerechnet.	Bei Geländeberührungen wird abhängig vom Einfallswinkel des Blockes, der Blockgrösse, der Blockgeschwindigkeit und der Dämpfung (Weichheit des Untergrundes) der entstehende Eindringtrichter und der Energieverlust (senkrecht zur Oberfläche gerichteter Energieanteil und Schürfverlust) berechnet. Generell: Hohe Dämpfung = grösserer Energieverlust; geringe Dämpfung = kleinerer Energieverlust. Bei der Berechnung des Eindringtrichters wird auch die Verdrängung berücksichtigt. Durch die Blockform, und die Rotationsbewegung entstehen Hebelkräfte. Die sich durch den Aufprall bildende Mulde im Untergrund und vor dem Block durch Verdrängung und Schürfung entstehende Rampe (abhängig von der Dämpfung und dem Auftreffwinkel) werden berechnet und der Absprungwinkel des Blockes abgeleitet. Generell: Hohe Dämpfung = steilere Absprungwinkel; geringe Dämpfung = flachere Absprungwinkel.	Bei Geländeberührungen wird abhängig vom Einfallswinkel des Blockes, der Blockgeschwindigkeit und der Dämpfung (Weichheit des Untergrundes) der entstehende Eindringtrichter und der Energieverlust (senkrecht zur Oberfläche gerichteter Energieanteil und Schürfverlust) berechnet. Generell: Hohe Dämpfung = grösserer Energieverlust; geringe Dämpfung = kleinerer Energieverlust.	Geländeberührungen werden als elasto-plastischer Stoss gerechnet unter zu Hilfenahme von zwei Eingabeparametern, d.h. Restitutionsfaktoren (tangentialer Geschwindigkeitserhaltung und normale Restitution bez. Geländeoberfläche). (Restitution + Dämpfung = 1 (voll elastisch)). Das Drehmoment des Blockes wird mitberücksichtigt. Sinnvolle Wertebereiche: - normale Restitution (senkrecht zum Hang): 0.1 bis 1.0 - tangentielle Geschwindigkeitserhaltung (parallel zum Hang): 0.5 bis 1.0	Flug: parabolische Gleichung in parametrischer Form. Der Aufprallpunkt wird anhand von "Innen/Aussen" Tests gegen der Zellebenen definiert. Der Aufprallsvektor wird mit geometrischen Regeln berechnet. Der Geschwindigkeitsvektor wird von den normalen und tangentialen Restitutionskoeffizienten der Oberflächenbeschaffenheiten beeinflusst.
Übergang der einzelnen Bewegungsmechanismen	Benutzereingabe der min. normalen und senkrechten Geschwindigkeit definiert den Übergang.	Es wird nicht zwischen den Bewegungsmechanismen Rollen und Springen unterschieden (Rollen gleich sehr kleinen Sprünge). Es werden nur freier Fall, Bodenkontakte und möglicherweise Baumkontakte berechnet. Diese Übergänge werden analytisch gelöst; dabei gibt es keine pre-definierte	Unklar. Wahrscheinlich über die normale (=senkrechte) Geschwindigkeit mit einem definierten Grenzwert.	Der Übergang von Springen zu Rollen wird programmintern aufgrund der Sprungweite und des Blockradius über einen Grenzwert berechnet. Er ist defaultmässig eingestellt, kann aber variiert werden.	Der Übergang Springen/Gleiten resp. Rollen wird anhand der aktuellen Geschwindigkeit der Blockes und der Hangneigung bestimmt. Dafür ist eine Minimalgeschwindigkeit zu definieren.	Im Programm fest einprogrammiert. Können nicht verändert werden.	Der Übergang vom Gleit- zum Flugalgorithmus geschieht sobald die minimale Geschwindigkeit und der kritische Winkel zwischen 2 benachbarten Zellebenenvektoren überschritten wird. Diese Parameter können verändert werden.
Bauwerke	Angabe X-Koordinate des Fusspunktes. Höhe und Winkel des Bauwerks (bis zu 10 Bauwerke können eingegeben werden) .	In Version 3.0 können keine Bauwerke integriert werden. In Version 3.1 (Ausgabe Herbst 2010) können Steinschlagnetze als rasterisierte Linien eingegeben werden. Es braucht dabei Angaben zur Netzhöhe und max. Energieaufnahmekapazität. Es gibt keine Beschränkung für die Anzahl Netze	nicht bekannt	Dämme können über die Profil- oder Geländegeometrie eingegeben werden. Mit der Funktion "Blockgrösse berücksichtigen" (Bewegung des Massenpunktes auf wirklicher Höhe über dem Gelände entlang eines synthetischen Profils) kann deren Schutzwirkung wirklichkeitsnah simuliert werden. Netze können nur über die Geländegeometrie eingegeben werden. Problematisch ist hier, dass mögliche Überrollprozesse infolge Blockrotation und Netzdeformation sowie die Energieverluste bei Netzversagen nicht berechnet werden können (daher wird empfohlen, diese nicht einzugeben).	Angabe als Barriere mit der Geometrie und maximaler Energievernichtung (in kJ).	Bauwerke können nur als Variation der Geländeoberfläche berücksichtigt werden.	Dämme können plziert werden (diese Funktion wurde nicht getestet).
Kontrollquerschnitte	Zur statistischen Auswertung der Daten an speziellen Punkten (X-Koordinate), bis zu 10 Kontrollquerschnitte möglich.	Auswertung der Resultate findet in einem raster-basierten GIS statt. Hier gibt es keine Beschränkung in der Anzahl der Kontrollquerschnitte.	Können fixiert werden. Anzahl unbekannt.	Keine. Die Resultate werden als Histogramme entlang des gesamten Profils dargestellt und lassen sich daher überall bestimmen.	Zur statistischen Auswertung der Daten an speziellen Punkten (X-Koordinate), sog. Collectors.	Zur statistischen Auswertung der Daten an speziellen Punkten (X-Koordinate), bis zu 3 Kontrollquerschnitte möglich.	

	Rockfall V 7.1	Rockyfor3D V3.0	EBOULMENT	Zinggeler + GEOTEST	RocFall	CRSP (Colorado Rockfall-Simulation Program)	RockFall analyst
Wald	Bestockungsdichte, Baumdurchmesser und Baumart werden als Eingabeparameter berücksichtigt. Mittels eines statistischen Ansatzes und eines Zufallsgenerators wird die s.g. Filterwirkung des Waldes ermittelt.	Baumart, Stammzahl, Stammdurchmesser. Eingabe als flächiger Datenlayer	nicht bekannt	Abschnittsweise Eingabe der Bestockungsdichte und der Baumdurchmesser. Mittels vorgegebener, aber auch veränderbarer Parameter kann die Variation der Stammdurchmesser festgelegt werden. Bei 3D-Programm erfolgt die Eingabe über ein GIS-Layer.	Keine detaillierte Eingabe möglich, wird über die Dämpfung abgeschätzt.	Wald kann nur mittels der tangentialen Geschwindigkeitserhaltung berücksichtigt werden.	Kann nur mittels Oberflächenparametern angenähert werden.
Energieverluste beim Baumkontakt	Der Energieverlust des Sturzblockes wird über einen teilweise plastischen Stoss des Blockes mit dem Baum (Parameter: Durchmesser, Dichte, Dämpfungsfaktor) berechnet.	Energieverlust beim Baumkontakt wird bestimmt durch die Baumart und den Stammdurchmesser, die Höhe des Aufpralls auf den Stamm sowie die horizontale Position des Aufpralls auf dem Stamm.	nicht bekannt.	Das Programm berechnet abhängig von eingegabener Stammzahl, Stammdurchmesser und Blockdurchmesser eine mittlere Trefferdistanz. Pro Baumkontakt wird der Durchmesser im Detail gemäss Vorgaben Waldparameter gewählt und mittels Zufallsfunktion die Zentrität berechnet. Die Bruchschlagarbeit des Holzes wird gemäss den Experimenten der WSL eingesetzt. Im Programm wird simuliert ob der Baum bricht oder nicht, ob der Block stoppt oder nur abgelenkt/gebremst wird und wie hoch im letzten Fall der Energieverlust ist.	siehe oben.	nicht berechenbar.	nicht berechenbar.
Stopp der Bewegung							
am Schluss der Simulation	Benutzereingabe der min. normalen und senkrechten Geschwindigkeitsbeschränkung, damit die Bewegung aufhört (Grenzgeschwindigkeit). Diese Bedingung wird ebenfalls für den Wechsel der Bewegungsarten verwendet.	Blockgeschwindigkeit < 0.5 m/s.	nicht bekannt.	Programmintern definierte Abbruchkriterien: Abbruchgeschwindigkeit beim Rollen, Abbruchgeschwindigkeit nach Bodenkontakt. Einstellungen default, können aber verändert werden.	Abbruchgeschwindigkeit, die vom Benutzer definiert werden kann.	Programmintern definierte Abbruchkriterien.	Eingabe minimaler Geschwindigkeit oder falls die Geschwindigkeit = 0 wird während der Durchführung des Algorithmus.
Nachvollzug							
- Bahnkurven	Bahnkurve für jeden Zeitschritt und jeden Kontakt mit einem Hindernis (Zeit, X-Koord, Y-Koord, Geschwindigkeit, Umdrehungsgeschwindigkeit, totale Energie, Translationsenergie, Rotationsenergie, Bewegungsart)	Bahnkurven können mittels den Ausgaberechern Sprunghöhe und Energien (50% und 95% Perzentile) in GIS rekonstruiert werden.	Da es sich um ein universitäres Programm handelt, ist anzunehmen, dass sämtliche Berechnungsergebnisse zugänglich sind und auch dargestellt werden können (gegebenenfalls mittels anderer Software).	Bahnkurve für jeden Wegschritt und jeden Kontakt mit einem Hindernis (Zeit, X-Koord, Y-Koord, Geschwindigkeit, Umdrehungsgeschwindigkeit, totale Energie, Translationsenergie, Rotationsenergie, Bewegungsart).	Bahnkurve für jeden Wegschritt und jeden Kontakt mit einem Hindernis (Zeit, X-Koord, Y-Koord, Geschwindigkeit, Umdrehungsgeschwindigkeit, totale Energie, Translationsenergie, Rotationsenergie, Bewegungsart).	Bahnkurve für jeden Wegschritt. Daten pro Lamelle (Lamellennummer, durchschnittliche und maximale Translationsgeschwindigkeit, durchschnittliche und maximale Sprunghöhe). Weitere Parameter nur bei den Analysepunkten (Kontrollquerschnitten.)	Bahnkurve und Geschwindigkeit für jeden Wegschritt. Energie ist nicht im ursprünglichen Modul implementiert, aber mit den üblichen ArcGIS Tools einfach zu berechnen.
- Statistik	Die statistische Streuung der berechneten Grössen hängt von der Wahl des Ausbruchbereichs und der Festlegung der wählbaren Streubreite für die einzelnen Parameter ab.	Die oben erwähnten Zufallsverfahren resultieren in einer Streuung der Ergebnisse. Analysen haben gezeigt, dass mindestens 100 Simulationen pro Ausbruchzelle notwendig sind, um statistisch signifikante Ergebnisse zu produzieren.	vgl. oben.	Die statistische Verteilung entsteht aufgrund der Verteilung der Ausbruchhöhe der simulierten Blöcke (Ausbruchbereich wird vorgegeben, Ausbrüche gleichmässig über Bereich verteilt). Waldfunktion führt zu einer zusätzlichen Streuung (Zentrität, variabler Stammdurchmesser mittels Zufallsfunktion).	Die statistische Streuung hängt von der Wahl des Ausbruchbereichs, der Festlegung der Streubreite für die einzelnen Parameter sowie der gewählten Anzahl Blöcke ab.	Die statistische Verteilung entsteht durch die Variation der Ausbruchhöhe und der Geländeneigung (Rauigkeit) beim Blockeinschlag.	Flächenartige Häufigkeitsverteilung möglich (Raster). Ist abhängig von der Dichte und Menge der Sturztrajektorien
deterministische, probabilistische Berechnung (Reproduzierbarkeit)	Wird die Streubreite der Parameter auf null gesetzt, berechnet das Programm ein „deterministisches“ Resultat, das mit jeder Simulation wiederum „genau“ reproduziert werden kann. Sobald eine Parametervariation eingeschaltet wird, ergeben sich statistische verteilte, „probabilistische“ Resultate. Je grösser die in den Eingabedaten definierte Streubreite ist, desto mehr Trajektorien müssen berechnet werden, um eine „stabile Verteilung“ - d.h. um eine probabilistisch nachvollziehbare Verteilung - der Resultate zu erreichen. Die Anzahl der Trajektorien, die dazu notwendig sind, hängt von der bei den Eingabeparametern definierten Streubreite ab.	Die Berechnung erfolgt probabilistisch. Mit 500 Simulationen pro Ausbruchzelle sind die Ausgabedaten statistisch reproduzierbar. Das heisst, nicht die genau gleichen Daten werden produziert, aber die Standard-Abweichung in den 50% und 95% Perzentil-Werten ist kleiner als 5%.	Berechnung probabilistisch.	Berechnung deterministisch. Die Daten sind bei Simulationen ohne Wald vollständig reproduzierbar (keine Zufallsvariablen in der Berechnung). Mit Einbezug des Waldes nicht mehr ganz deterministisch. Die Daten differieren leicht bei einer erneuten Berechnung (Zufallsvariable Trefferzentrität, Stammdicke variiert innerhalb Spannbreite).	Je nach Voreinstellung sind die Daten deterministisch oder probabilistisch verteilt (Zufallsvariablen für Streuung Blockmasse, Geländeneigung, Dämpfung, Reibungswinkel). Vom Simulierenden können die Zufallsvariablen ausgeschaltet werden, so dass die Berechnung deterministisch erfolgt und die Statistik lediglich aus der Streuung der Ausbruchhöhe resultiert.	Probabilistisch da die Hangneigung variiert wird. Die Daten hängen vom Startzeitpunkt des Programmes verglichen mit der Einschaltzeit des Computers ab. Sie sind aber trotzdem sehr gut reproduzierbar.	Die Berechnung erfolgt deterministisch.
Ausgabe							
Darstellungsmöglichkeiten							
	Sturzbahnen			Sturzbahnen	Sturzbahnen	Sturzbahnen	Sturzbahnen
	Hüllkurven der Energien und Sprunghöhen als Liniendiagramm und Histogramm, dito für Blockdurchgang.	Räumlich kontinuierliche Karten mit Energien und Sprunghöhen (50% und 95% Perzentile), Durchgangsfrequenz, Anzahl und max. Volumen der abgelagerten Blöcke pro Zelle, Pauschalgefälle der abgelagerten Blöcke.	vgl. oben.	Histogramme der statistischen Auswertung für Sprunghöhen, Energien (Rotation und Translation), Geschwindigkeiten und Blockdurchgang. Angabe 50%, 80% und 100% Quantil (fix). Die Farben sind frei wählbar.	Histogramme der statistischen Auswertung für Sprunghöhen, Energien (Rotation und Translation), Geschwindigkeiten und Blockdurchgang.	Sprunghöhenverteilung und Translationsgeschwindigkeitsverteilung (maximum) entlang des Profils. Histogramm des Auftretens einzelner Geschwindigkeiten und Sprunghöhen.	Energie und Sprunghöhe entlang der Trajektorien.
	Numerische und graphische Ausgabe frei konfigurierbarer Perzentile der Energien und Sprunghöhen (Standard: 50%-, 90%-, 95%-Perzentile, numerische Resultate im Bereich der Kontrollquerschnitte).	Hüllkurven der Energien und Sprunghöhen als Liniendiagramm und Histogramm, dito für Blockdurchgang, mittels Profilanalysen in GIS.	vgl. oben.	Tabellarische Ausgabe aller Daten mit den Werten (Rotations- und Translationsenergie können auch separat ausgegeben werden). Der Export in ein Ausgabefile ermöglicht weitere Bearbeitungen aller Parameter. Bei 3D-Simulation können alle Parameter im GIS dargestellt werden.	Tabellarische Ausgabe aller Daten mit den Werten (Rotations- und Translationsenergie können auch separat ausgegeben werden). Der Export in ein Ausgabefile ermöglicht weitere Bearbeitungen. Diagramme können in Excel exportiert und Trajektorien können mit einer DXF-Datei in ein CAD-Programm exportiert werden.	Tabellarische Ausgabe der Sprunghöhen und der transversalen Geschwindigkeiten (Mittelwert, Maximum, Standardabweichung). Pro Analysepunkt zusätzlich: minimale Translationsgeschwindigkeit, Geometrischer Durchschnitt der Sprunghöhen, maximale und durchschnittliche kinetische Energie inkl. Standardabweichung. Zusätzlich wird hier noch die kumulative Wahrscheinlichkeit (50%, 75%, 90%, 95%, 98%-Vertrauensintervall) der Translationsgeschwindigkeit, der Sprunghöhe und der kinetischen Energie angegeben.	Häufigkeitsverteilung und Risikoanalyse.
	Summen und Klassenhistogramme sämtlicher Berechnungsergebnisse für Bauwerke und Kontrollquerschnitte	Summen und Klassenhistogramme sämtlicher Berechnungsergebnisse für Steinschlagnetze in Version 3.1.	vgl. oben		Summen und Klassenhistogramme sämtlicher Berechnungsergebnisse für Bauwerke und Kontrollquerschnitte.		
- Weitere Möglichkeiten							
	Verschiedene Parametersets von Lamellen können als Templates abgespeichert werden und dann für mehrere Profile verwendet werden.	Für Spezialfälle können einzelne Sturzbahnen mit Angaben zu Energien, Geschwindigkeit und Sprunghöhen in allen gängigen Formats (Shp, Ascii, csv) gespeichert werden.	vgl. oben	Einzelsturzbahnen können ausgewählt und ausgegeben oder speziell hervorgehoben werden.	Einzelsturzbahnen können ausgewählt und ausgegeben oder speziell hervorgehoben werden.		
	sämtliche Eingaben erfolgen über eine moderne Windows-Oberfläche	Pro Ausbruchzelle können beliebig viele (abhängig von der Rechenkapazität) Simulationen durchgeführt werden	vgl. oben	sämtliche Eingaben erfolgen über eine moderne Windows-Oberfläche	sämtliche Eingaben erfolgen über eine moderne Windows-Oberfläche	sämtliche Eingaben erfolgen über eine moderne Windows-Oberfläche	
	In einem Berechnungsgang können bis zu 10000 Sturzblöcke simuliert werden. Für gute statistische Verteilungen werden mindestens 1000 empfohlen.		vgl. oben	In einem Berechnungsgang können bis 500 Sturzblöcke simuliert werden. Da die Berechnung deterministisch erfolgt, reichen 100 Blöcke vollkommen aus.	In einem Berechnungsgang können bis 10000 Sturzblöcke simuliert werden. Für gute statistische Verteilungen werden mindestens 1000 empfohlen.	In einem Berechnungsgang können über 10'000 Sturzereignisse simuliert werden. Für gute statistische Verteilungen werden mindestens 1000 empfohlen.	

	Rockfall V 7.1	Rockyfor3D V3.0	EBOULMENT	Zinggeler + GEOTEST	RocFall	CRSP (Colorado Rockfall-Simulation Program)	RockFall analyst
Vorteile (subjektive Beurteilung verschiedener Nutzer, nicht abschliessend)							
	Bahndaten können ausgegeben und für weiterführende Auswertungen verwendet werden, verschiedene andere Ausgabeformate sind vorhanden (z.B. DXF).	Wirkliche 3D-Simulation und dadurch räumliche Darstellung der Sturzgefährdung, inkl. extrem abgelenkten Sturzbahnen.	Durch die Berechnung eines starren Körpers als Sturzblock ergeben sich viel realistischere Sturzbahnen als dies mit einem Massenpunkt möglich ist. z.B. die Übergänge der Bewegungsarten können unter Berücksichtigung des Schwerpunktes des Blockes erfolgen (Überkippen).	Alle Daten können ausgegeben und für weiterführende Auswertungen in 2D- oder 3D-Anwendungen verwendet werden, verschiedene andere Ausgabeformate sind vorhanden.	Bahndaten können ausgegeben und für weiterführende Auswertungen verwendet werden, verschiedene andere Ausgabeformate sind vorhanden (z.B. DXF).	Die Modellierung basiert auf wenigen Eingabedaten. Die Reaktion des Programms auf die Eingabeparameter ist problemlos vorhersehbar.	GIS-Extension. Alles wird direkt in ArcMap definiert und dargestellt. Bequeme und einfache Interface.
	Gut geeignet für Dimensionierung von Schutzbauwerken und auch von Gefahrenzonen.	Gute Nachvollziehbarkeit der Berechnungen weil alle Algorithmen des Programms publiziert sind (siehe www.ecorisq.org/docs/Rockyfor3D.pdf).		Gut geeignet für Dimensionierung von Schutzbauwerken. Modul "Blockgrösse berücksichtigen" ist ein gutes Tool zur Simulation von Grossblöcken und zur Beurteilung der Schutzwirkung von Dämmen. Gut brauchbar für die Erstellung von Gefahrenkarten (2D, 3D).	Gut geeignet für Dimensionierung von Schutzbauwerken und auch von Gefahrenzonen.	Bedingt geeignet zur Dimensionierung von Schutzbauwerken (Analysepunkte, Anpassung der Geländeform).	3D Simulation ergibt flächige Aussage. Geeignie für regionale sowie lokale Simulationen. Beurteilung der Schutzwirkung von Dämmen (nicht getestet).
	Komfortable Eingabe (Import der Profildaten, vielfältige Darstellungsmöglichkeiten der Resultate).	Guten Austausch zwischen raster-basierten Geog. Info. Systeme (z.B. open source SAGA GIS) und Rockyfor3D. Dadurch ergibt sich eine hohe Flexibilität in der Auswertung der Resultate.		Komfortable Eingabe- und Ausgabemöglichkeiten (Import der Profildaten, vielfältige Darstellungsmöglichkeiten der Resultate). Einfache Bedienung im Normalgebrauch.	Komfortable Eingabe- und Ausgabedaten (Import der Profildaten, vielfältige Darstellungsmöglichkeiten der Resultate).	Die Eingabe erfolgt komfortabel durch Datenexport von EXCEL-Tabellen in eine ASCII-Datei. Die Daten können so direkt im GIS erzeugt werden.	
	Nachvollziehbare physikalische Parameter als Eingabegrößen.	Das Programm ist auf der Basis von vielen, im Gelände beobachteten Steinschlagereignissen und -Experimenten entwickelt worden.		Nachvollziehbare physikalische Parameter als Eingabegrößen. Die Programmentwicklung basiert auf festgehaltenen Sturzereignissen (Filme und Ereignisdokumentationen).	Nachvollziehbare physikalische Parameter als Eingabegrößen.	Nur einfache Parameter eingebbar. Die Reaktion des Programmes auf die Parameter ist nachvollziehbar.	Nachvollziehbare Eingabeparameter.
		Ständige Weiterentwicklung des Programmes auf Basis von sowohl das Feedback der wachsenden Anwender-Gruppe als auch Forschungsergebnisse.		Ständige Weiterentwicklung aufgrund neuer Erkenntnisse (z.B. Experimente Bruchschlagarbeit, Bewegungssimulation des Massenpunktes auf wirklicher Höhe, etc.).	Import und Export von Materialeigenschaften.		Darstellung von Energieverteilung entlang der Trajektorien. Sehr nützlich für die Abgrenzung von Gefahrenzonen.
Nachteile (subjektive Beurteilung verschiedener Nutzer, nicht abschliessend)							
	Wenn die Parametervariation eingeschaltet ist, kann man nicht feststellen, mit welchen Werten das Programm eine bestimmte z.B. aussergewöhnliche Sturzbahn gerechnet hat.	Erheblicher Aufwand um die Oberflächenrauigkeit zu kartieren und richtig zu schätzen und alle Eingangsraster zu erstellen.	Es handelt sich um ein universitäres Programm, das leider nicht kommerziell erhältlich ist.	Die Erfassung des Parameters Geländerauhigkeit erfordert etwas Übung.	Die Abschätzung des Einflusses von Wald ist schwierig.	Die Konzentration auf drei Parameter (Rauigkeit, normale Restitution und tangential Restitution) erfordert sehr viel Übung bei der Parametervergabe.	Es fehlen Kalibrierungen für die Oberflächenparameter (Rauigkeit, normales und tangential Restitutionskoeffizient).
	Fehlerhandling wäre verbesserungsfähig.	In der Benutzeroberfläche des Programms kann nur einen Kontrollquerschnitt definiert und ausgewertet werden. Für weiteren Auswertungen braucht man ein raster-basiertes GIS.		Die Einstellungsmöglichkeiten für verschiedene Rechenparameter ist gefährlich und wird nicht empfohlen (Default Einstellungen verwenden). Bei unsachgemässen Einstellungsänderungen können Fehlberechnungen entstehen welche bei der Ausgabe der Daten nicht ersichtlich sind.	Blockform wird nicht berücksichtigt, nur die Option idealisierte Kugel möglich.	Das Postprocessing ist zeitaufwendig. Die grafische Programmausgabe dürftig.	Gewicht der Blöcke wird für der Erstellung der Trajektorien nicht berücksichtigt (kann aber mit den Übergangsparametern z.T. kompensiert werden).
	Alle Nachteile in der Berechnung, die mit einem Massenpunkt vorkommen (Übergänge zw. zwei unterschiedlichen Schichten (Übergang Gleiten-Rollen) können je nach realer Blockform u.U. nicht richtig gerechnet werden).	3D Berechnungen sind viel aufwendiger als 2D Simulationen und brauchen dadurch mehr Rechenzeit.		Die Veränderung der Darstellungsmöglichkeiten gegenüber den Default-Einstellungen erfordert etwas Übung.		Für viele Anwendungen fehlt die Angabe der Rotationsenergie. Wegen der minimalistischen Programmausgaben müssen die Berechnungen meist mehrfach wiederholt werden.	Einfluss der Form der Blöcke kann nicht simuliert werden.

Rovina, H., Liniger, M., Jordan, P., Gruner, U. & Bollinger, D, 2011: Empfehlungen für den Umgang mit Sturzmodellierungen. Swiss Bull. angew. Geol., 16/1, S. 57-79

Die Grundlagentabelle wurde von den Verfassern in Zusammenarbeit mit externen Helfern erstellt.

Die am Schluss der Tabelle aufgelisteten Vor- und Nachteile sind zusammengetragene, subjektive Bemerkungen von diversen Nutzern. Es handelt sich hier nicht um Programmempfehlungen der Verfasser.