



MASTERARBEIT

Titel der Masterarbeit

„Geologie und Tektonik des Bereiches Schattleiten,
Reichraming, Oberösterreich und geotechnischer
Beitrag zu einem Sicherheitskonzept Steinschlag für
gefährdete Infrastruktur“

Verfasserin

Anna-Christine Dunkel, Bakk. rer. nat.

angestrebter akademischer Grad

Master of Earth Sciences (M.Sc.)

Wien, 2009

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 066 815

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Erdwissenschaften

Betreuerin / Betreuer:

Univ.Lektor Mag. Dr. Diethard Leber

Ao. Univ.-Prof. Dr. Hermann Häusler

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	vi
Abstract	vii
1.) Zielsetzung der Masterarbeit	1
2.) Einleitung	1
2.1) Geographischer Überblick	1
2.2) Geologischer Überblick	2
2.3) Gesteinsbestand des Gebiets	6
2.4) Tektonik	8
3.) Geländearbeit	9
3.1) Geologisch-geomorphologisch-geotechnische Kartierung	9
4.) Methodik der geotechnischen Untersuchungen und Modellierungen	24
4.1) Rockfor Assessment Forms	24
4.2) Rockfall 6.1	25
4.3) Picus 1.4	26
5.) Laserscanning	28
5.1) Methodik und DTM des Gebiets	28
6.) Modellierung	29
6.1) Beschreibung des Ablaufs und Ergebnisse	29
6.1.1) Rockfall 6.1	29
6.1.2) PICUS 1.4	76
7.) Endergebnisse der Modellierung	91

Danksagung	97
Literaturliste.....	98
Anhang.....	100

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Geographische Lage Großramings (verändert aus Google Maps).....	1
Abb. 2: Geographische Lage des Gebiets (verändert aus Google maps)	2
Abb. 3: Lage des Kartenblatts 69 (verändert aus der geologischen Karte Österreichs, GBA)	2
Abb. 4: Lage des Gebiets (schwarzes Rechteck) und Position der Skizze zur tektonischen Lage (gelbe Linie), (verändert aus dem geologischen Kartenblatt 69, GBA)	3
Abb. 5: Tektonische Haupteinheiten der nördlichen Kalkalpen. Die Reichraminger Decke ist in rot hervorgehoben (Nr.7) (verändert aus Tollmann, 1985).	4
Abb. 6: Skizze zur tektonischen Lage des Gebiets (verändert nach Müller 1984)..	5
Abb. 7: Geologischer Bestand des Gebiets (verändert aus GBA, 2007)	5
Abb. 8: Hieselberg-Formation.....	6
Abb. 9: Hauptdolomit	7
Abb. 10: Plattenkalk.....	7
Abb. 11: Hierlatzkalk.....	8
Abb. 12: Tektonischer N-S-Querschnitt, das bearbeitete Gebiet ist rot markiert (Tollmann, 1985).	9
Abb. 13: Sichelwuchs (A), Zustand der Felswände (B) und Ablagerungsbereich entlang der Rinnen (C).	10
Abb. 14: Hieselbergformation: Felswand, Trennfläche durch unterbrochene rote Linie angedeutet.....	11
Abb. 15: Hieselbergformation: Felsnase, teils überhängend	12
Abb. 16: Hieselbergformation: Freistehender Felsblock	13
Abb. 17: Großkreisdarstellung der großen Trennflächen.....	14
Abb. 18: Hauptdolomit; Critical Layer, Öffnung der Trennfläche durch unterbrochene Linie markiert.....	15
Abb. 19: Hauptdolomit; Schichtflächen durch unterbrochene Linie markiert	16
Abb. 20: Schichtungen in Großkreisdarstellung.....	16
Abb. 21: Schichtungen in Pi-Plot Darstellung	17

Abb. 22: Hierlatzkalk-Felswand	18
Abb. 23: Hierlatzkalk-Felsnase	19
Abb. 24: Großkreisdarstellungen der mittleren bis großen Trennflächen	20
Abb. 25: Hauptdolomit-Felswand mit Bankung (blaue Linie) und Critical Layer (rote Linie)	21
Abb. 26: Plattenkalk mit Bankung (blaue Linie)	21
Abb. 27: Hauptdolomit-Felswand an der oberen Forststraße	23
Abb. 28: Lage der Trajektorien	30
Abb. 29: Profil Trajektorie 1, Bemessungsereignis 1 m^3	34
Abb. 30: Verwendete Parameter Trajektorie 1, Bemessungsereignis 1 m^3	34
Abb. 31: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 180 m Lauflänge	35
Abb. 32: Summenhistogramm Querschnitt 2 bei 240 m Lauflänge	36
Abb. 33: Summenhistogramm Querschnitt 3 bei 270 m Lauflänge	37
Abb. 34: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 280 m Lauflänge	38
Abb. 35: Profil Trajektorie 1, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$	39
Abb. 36: Verwendete Parameter Trajektorie 1, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$	39
Abb. 37: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 180 m Lauflänge	40
Abb. 38: Summenhistogramm Querschnitt 2 bei 240 m Lauflänge	41
Abb. 39: Summenhistogramm Querschnitt 3 bei 270 m Lauflänge	42
Abb. 40: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 280 m Lauflänge	43
Abb. 41: Profil Trajektorie 2, Bemessungsereignis 1 m^3	45
Abb. 42: Verwendete Parameter Trajektorie 2, Bemessungsereignis 1 m^3	45
Abb. 43: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 231 m Lauflänge	46
Abb. 44: Summenhistogramm Querschnitt 2 bei 253 m Lauflänge	47
Abb. 45: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 280 m Lauflänge	48
Abb. 46: Profil Trajektorie 2, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$	49
Abb. 47: Verwendete Parameter Trajektorie 2, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$	49
Abb. 48: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 231 m Lauflänge	50
Abb. 49: Summenhistogramm Querschnitt 2 bei 253 m Lauflänge	51
Abb. 50: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 280 m Lauflänge	52
Abb. 51: Profil Trajektorie 3, Bemessungsereignis 1 m^3	54
Abb. 52: Verwendete Parameter Trajektorie 3, Bemessungsereignis 1 m^3	54
Abb. 53: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 75 m Lauflänge	55

Abb. 54: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 140 m Lauflänge	56
Abb. 55: Profil Trajektorie 3, Bemessungsereignis 0,1 m ³	57
Abb. 56: Verwendete Parameter Trajektorie 3, Bemessungsereignis 0,1 m ³	57
Abb. 57: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 75 m Lauflänge.....	58
Abb. 58: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 140 m Lauflänge	59
Abb. 59: Profil Trajektorie 4, Bemessungsereignis 1,5 m ³	61
Abb. 60: Verwendete Parameter Trajektorie 4, Bemessungsereignis 1,5 m ³	61
Abb. 61: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 335 m Lauflänge.....	62
Abb. 62: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 425 m Lauflänge	63
Abb. 63: Profil Trajektorie 4, Bemessungsereignis 0,1 m ³	64
Abb. 64: Verwendete Parameter Trajektorie 4, Bemessungsereignis 0,1 m ³	64
Abb. 65: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 335 m Lauflänge.....	65
Abb. 66: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 425 m Lauflänge	66
Abb. 67: Profil Trajektorie 5, Bemessungsereignis 1 m ³	69
Abb. 68: Verwendete Parameter Trajektorie 5, Bemessungsereignis 1 m ³	69
Abb. 69: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 390 m Lauflänge.....	70
Abb. 70: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 470 m Lauflänge	71
Abb. 71: Profil Trajektorie 5, Bemessungsereignis 0,1 m ³	72
Abb. 72: Verwendete Parameter Trajektorie 5, Bemessungsereignis 0,1 m ³	72
Abb. 73: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 390 m Lauflänge.....	73
Abb. 74: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 470 m Lauflänge	74
Abb. 75: Profil Trajektorie 1, Bemessungsereignis 1 m ³	77
Abb. 76: Profil Trajektorie 1, Bemessungsereignis 0,1 m ³	79
Abb. 77: Profil Trajektorie 2, Bemessungsereignis 1 m ³	81
Abb. 78: Profil Trajektorie 2, Bemessungsereignis 0,1 m ³	82
Abb. 79: Profil Trajektorie 3, Bemessungsereignis 1 m ³	83
Abb. 80: Profil Trajektorie 3, Bemessungsereignis 0,1 m ³	84
Abb. 81: Profil Trajektorie 4, Bemessungsereignis 1,5 m ³	86
Abb. 82: Profil Trajektorie 4, Bemessungsereignis 0,1 m ³	87
Abb. 83: Profil Trajektorie 5, Bemessungsereignis 1 m ³	89
Abb. 84: Profil Trajektorie 5, Bemessungsereignis 0,1 m ³	90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die verwendete Lamellen und ihre Eigenschaften.....	32
Tabelle 2: Blockstatistik Trajektorie 1	33
Tabelle 3: Die verwendeten Lamellen und ihre Eigenschaften.....	44
Tabelle 4: Die verwendeten Lamellen und ihre Eigenschaften.....	53
Tabelle 5: Die verwendeten Lamellen und ihre Eigenschaften.....	60
Tabelle 6: Die verwendeten Lamellen und ihre Eigenschaften.....	68
Tabelle 7: Ergebnisse der Modellierung	75
Tabelle 8: Input Trajektorie 1.....	76
Tabelle 9: Ergebnisse Trajektorie 1, Bemessungsereignis 1 m^3	77
Tabelle 10: Ergebnisse Trajektorie 1, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$	79
Tabelle 11: Input Trajektorie 2.....	80
Tabelle 12: Ergebnisse Trajektorie 2, Bemessungsereignis 1 m^3	81
Tabelle 13: Ergebnisse Trajektorie 2, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$	82
Tabelle 14: Input Trajektorie 3.....	83
Tabelle 15: Ergebnisse Trajektorie 3, Bemessungsereignis 1 m^3	84
Tabelle 16: Ergebnisse Trajektorie 3, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$	85
Tabelle 17: Input Trajektorie 4.....	85
Tabelle 18: Ergebnisse Trajektorie 4, Bemessungsereignis $1,5 \text{ m}^3$	86
Tabelle 19: Ergebnisse Trajektorie 4, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$	87
Tabelle 20: Input Trajektorie 5.....	88
Tabelle 21: Ergebnisse Trajektorie 5, Bemessungsereignis 1 m^3	89
Tabelle 22: Ergebnisse Trajektorie 5, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$	90
Tabelle 23: Vergleichende Ergebnistabelle Perzentile P_{95}	91
Tabelle 24: Vergleichende Ergebnistabelle Maximalwerte	92

Abstract

The main objective of this master thesis was the provision of geological and geotechnical information within the elaboration of a safety concept for critical infrastructure in the Schattleiten area, near Reichraming, Upper Austria, endangered by rockfall. A digital terrain model was acquired by airborne laser scanning. Additionally intense field mapping was carried out to get a geological–geotechnical–geomorphological mapping. Amongst others, block statistics were taken in the terrain to define a design event. Subsequently, a digital map was drawn. Five regions that represent increased hazard were defined and profiles were measured. These profiles and the collected parameters provided input data for a 2D simulation in the software program Rockfall 6.1 and for a 3D simulation in PICUS 1.4. The comparison of the final results showed that the programs can be used, with limitations, to provide similar results. The essential role of the user concerning the input and the adjustment of the parameters must be pointed out.

Die Zielsetzung dieser Masterarbeit war die Bereitstellung von geologischen und geotechnischen Daten, die die Ausarbeitung eines Sicherheitskonzepts für durch Steinschlag gefährdete Infrastruktur im Bereich Schattleiten bei Reichraming, Oberösterreich ermöglichen sollen. Eine Befliegung mit einem Airborne Laserscanner lieferte ein digitales Geländemodell. Zusätzlich diente intensive Geländebegehung der geologisch-geotechnisch-geomorphologischen Kartierung des Hanges. Unter anderem wurden im Gelände Blockstatistiken aufgenommen um Bemessungsereignisse definieren zu können. Anschließend wurde eine digitale Karte angefertigt. Im Gelände wurden fünf Bereiche festgelegt die eine erhöhte Gefährdung darstellen und Profile aufgenommen. Diese Profile und Parameter wurden für eine 2D Simulation in das Programm Rockfall 6.1 und für eine 3D Simulation in PICUS 1.4 eingegeben. Der Vergleich der Endergebnisse zeigte, dass die beiden Programme mit Einschränkungen nutzbar sind um ähnliche Ergebnisse zu liefern. Die wesentliche Aufgabe des Benutzers für die Eingabe und Abstimmung der Parameter muss hervorgehoben werden.

1.) Zielsetzung der Masterarbeit

Ziel dieser Masterarbeit ist, die Geologie und Tektonik des Bereichs Schattleitens bei Reichraming anhand einer Geländebegehung mit anschließender Anfertigung einer geologisch-geotechnisch-geomorphologischen Karte zu untersuchen. Weiters wird eine Steinschlagmodellierung durchgeführt um die notwendigen Daten für die Erstellung eines Sicherheitskonzepts Steinschlag für die gefährdete Infrastruktur zu liefern. Um die Aussagekräftigkeit der Modellierungen zu hinterfragen, wurden die Simulationen mittels Rockfall 6.1 und PICUS 1.4 durchgeführt und anschließend ein Vergleich der beiden Programme getätigt.

2.) Einleitung

2.1) Geographischer Überblick

Der Bereich Schattleitens liegt in der Nähe des Kraftwerks Großraming (Abb. 1), zwischen den Gemeinden Reichraming und Großraming, ca. 12 km südöstlich von Steyr.

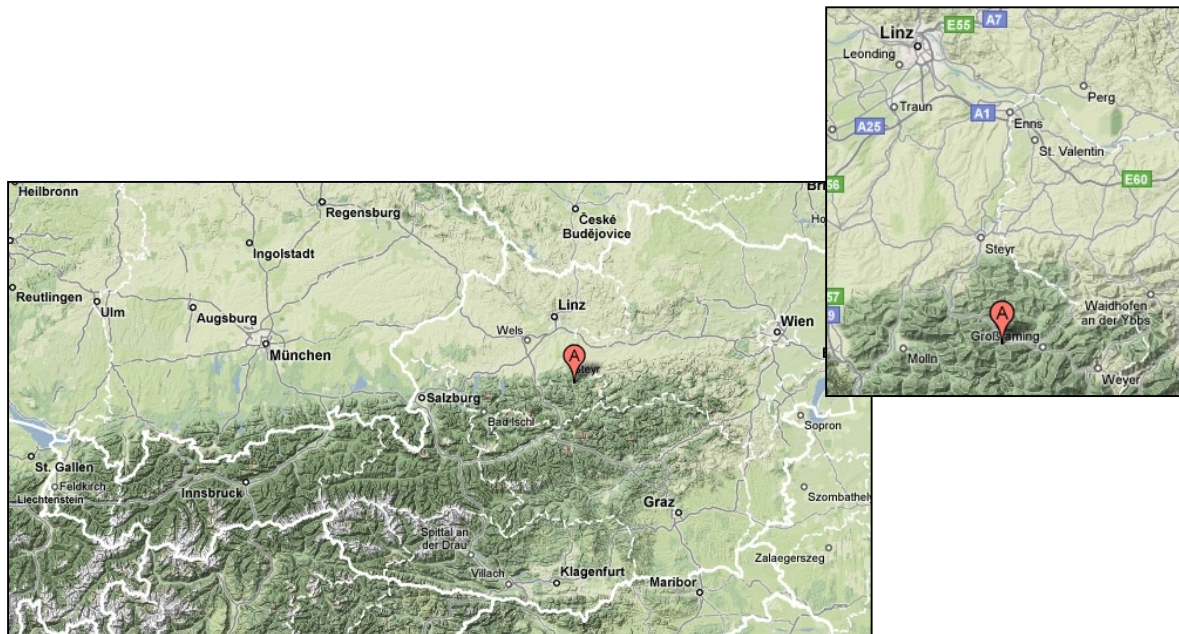


Abb. 1: Geographische Lage Großramings (verändert aus Google Maps)

Der gefährdete Bahnabschnitt umfasst km 51,100 bis 52,175 auf der Strecke Amstetten – Selzthal, das bearbeitete Gebiet umfasst 2 km^2 (Abb. 2).



Abb. 2: Geographische Lage des Gebiets (verändert aus Google maps)

2.2) Geologischer Überblick

Die Aufnahmen fanden in der Gemeinde Großraming statt, die sich auf dem Kartenblatt 69 (Abb. 3) der Geologischen Bundesanstalt befindet.

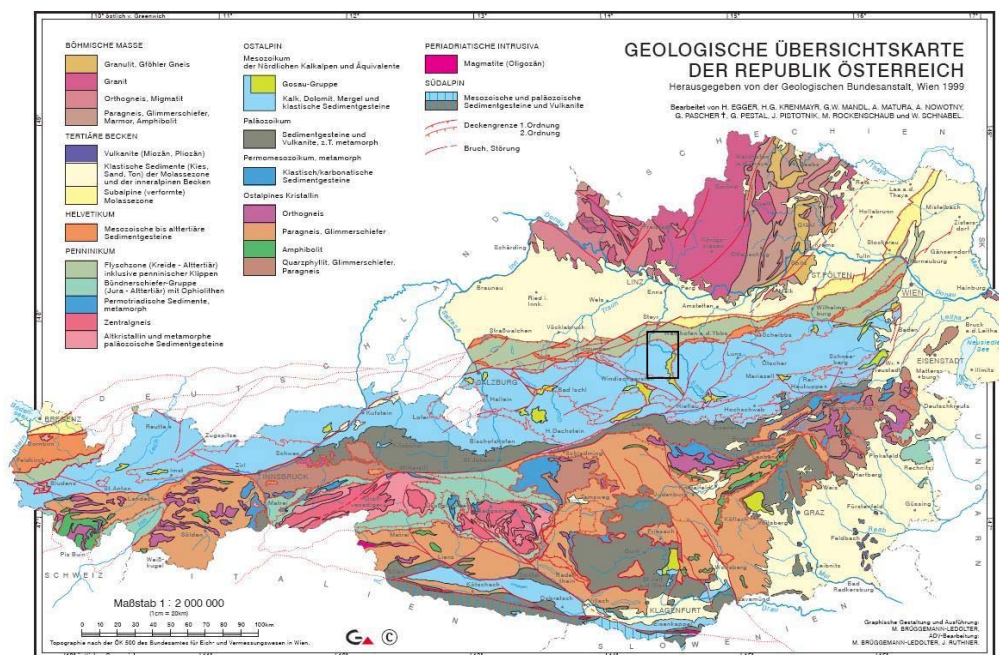


Abb. 3: Lage des Kartenblatts 69 (verändert aus der geologischen Karte Österreichs, GBA)

Die Lage des Gebiets im Kartenblatt 69 (Abb. 4) und die Position der Skizze zur tektonischen Lage (siehe Abb. 6) markiert .

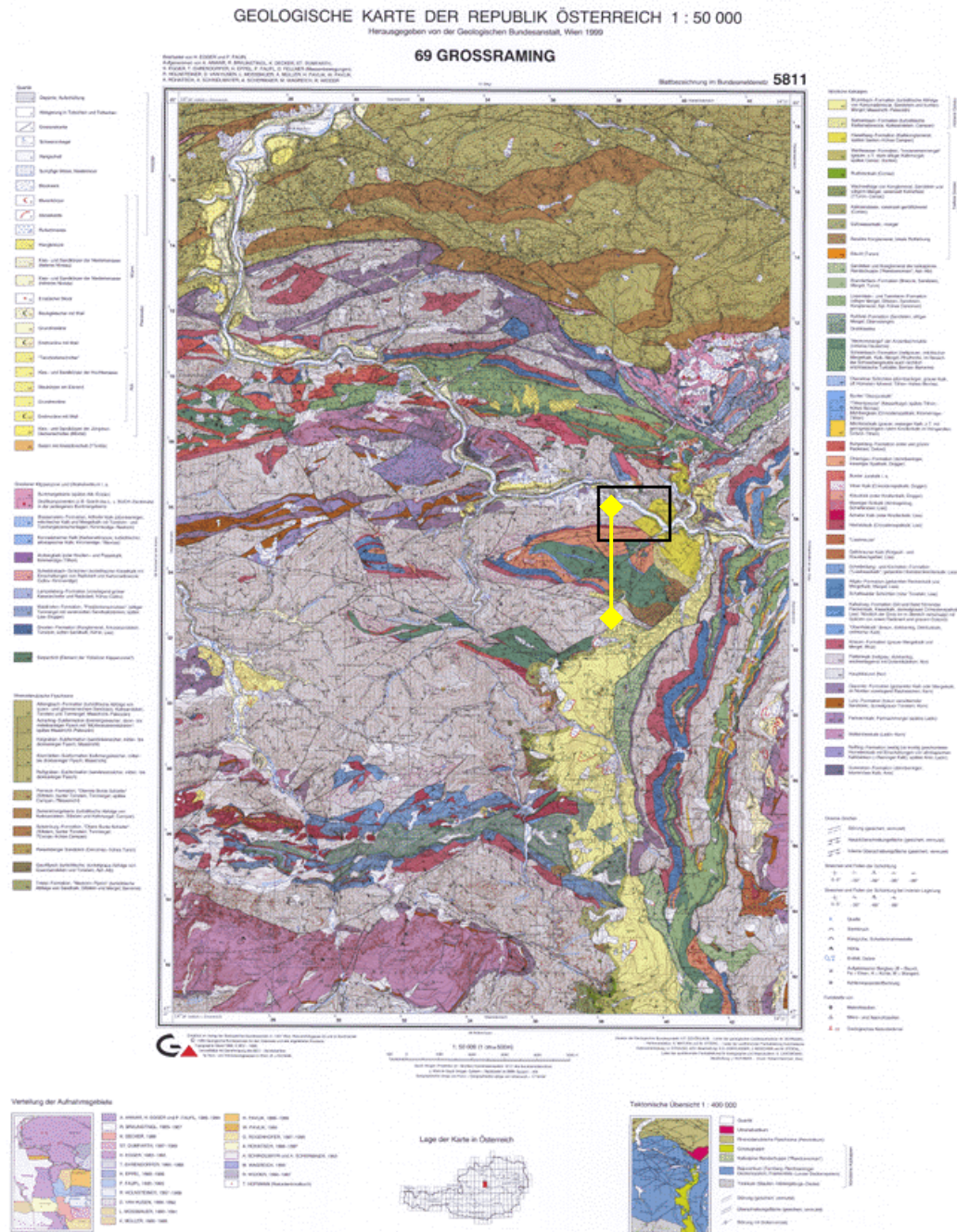


Abb. 4: Lage des Gebiets (schwarzes Rechteck) und Position der Skizze zur tektonischen Lage (gelbe Linie), (verändert aus dem geologischen Kartenblatt 69, GBA)

Die Aufnahme fand in der Reichraminger Decke statt, die tektonisch im Hochbajuvarikum liegt (Tollmann, 1976). Die tektonischen Haupteinheiten, die nach Tollmann (1985) in den nördlichen Kalkalpen auftreten, sind im Anschluss zu sehen (Abb. 5).

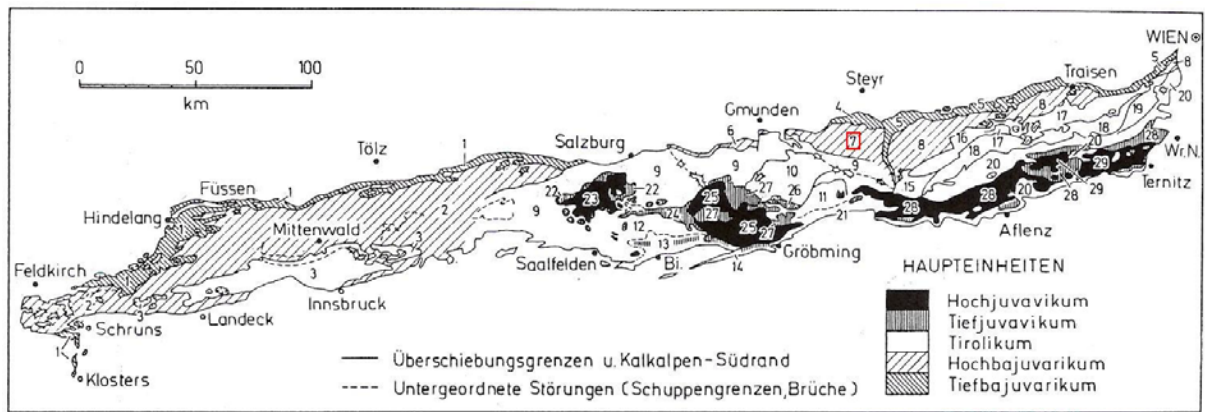


Abb. 5: Tektonische Haupteinheiten der nördlichen Kalkalpen. Die Reichraminger Decke ist in rot hervorgehoben (Nr.7) (verändert aus Tollmann, 1985).

In der östlichen Reichraminger Decke bilden die Schneebergmulde im Norden, dann die Anzenbachmulde und im Anschluß die Ebenforstmulde im Süden die drei beherrschenden Ost-West-streichenden Synklinalzüge dieser Decke. Die Reichraminger Decke stellt das tektonische Äquivalent der Lunzer Decke westlich der Weyerer Bogenstruktur dar (Tollmann, 1985).

Nach der Kartierung des Geländes wurde ein Skizze zur tektonischen Lage des Gebiets angefertigt (Abb. 6). In diesem Bereich der Reichraminger Decke fand bereits eine Kartierung von Müller (1986) statt. In dessen Arbeit und Aufnahmen ist der Einfluss der Weyerer Bögen auf das südlich von Schattleitens gelegene Gebiet erkennbar.

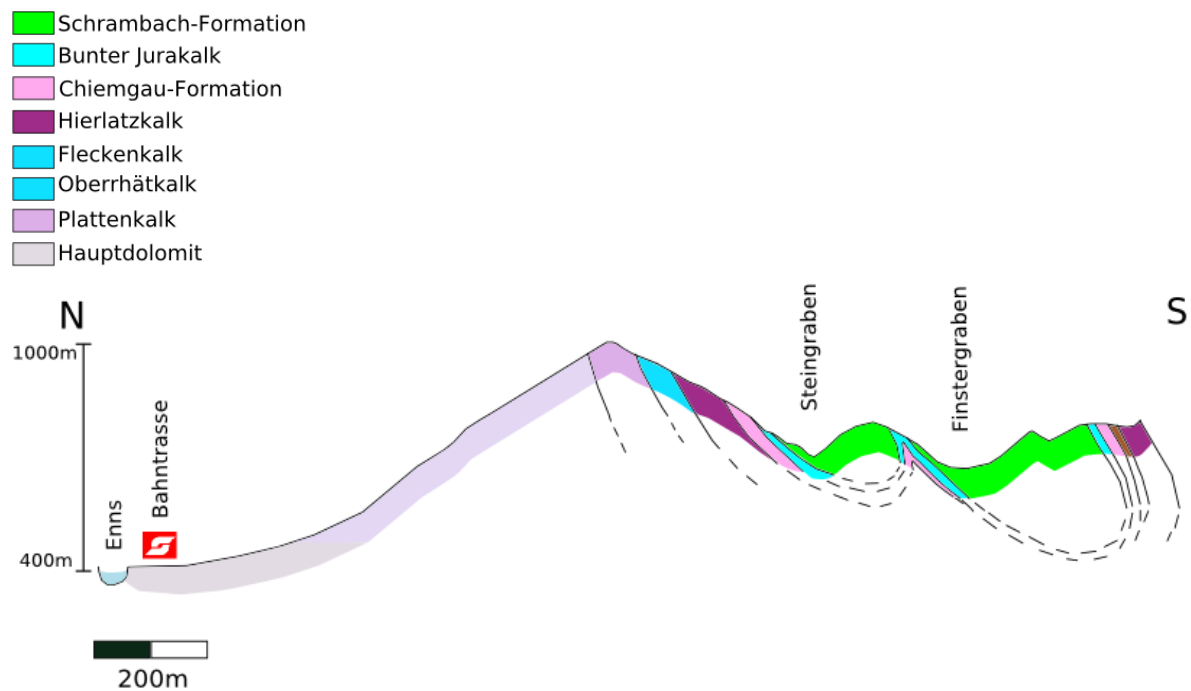


Abb. 6: Skizze zur tektonischen Lage des Gebiets (verändert nach Müller 1984)

Der Hauptdolomit ist hier die am stärksten vertretene Lithologie. Er tritt stellenweise gebankt auf. Im Hangenden wird der Hauptdolomit von Dachsteinkalk abgelöst. Darüber sind stratigraphisch die Kössener Schichten anzunehmen, die aber nur selten aufgeschlossen sind. Über den Kössener Schichten findet eine rote Jurakalkentwicklung statt (Tollmann, 1985). Die lithologischen Einheiten im untersuchten Gebiet sind in der folgenden Abbildung dargestellt (Abb. 7).



Abb. 7: Geologischer Bestand des Gebiets (verändert aus GBA, 2007)

2.3) Gesteinsbestand des Gebiets

Im Liegenden finden sich die schlecht sortierten Basiskonglomerate der Hieselbergformation aus dem späten Santonium bzw. frühen Campanium der Oberkreide. Sie sind im Gelände aufgrund der tektonischen Beanspruchung meist brekziös ausgebildet und enthalten kalkige sowie sandige Bestandteile.

In folgender Abbildung ist ein Handstück aus der Hieselberg-Formation zu sehen (Abb. 8).



Abb. 8: Hieselberg-Formation

Im Hangenden ist darauf folgend Hauptdolomit zu finden. Hierbei handelt es sich um eine Ablagerung aus dem Norium der Obertrias. Er tritt meist massig auf, ist allerdings durch Trennflächen teils tektonisch beansprucht. Die folgende Abbildung zeigt ein Handstück aus dieser lithologischen Einheit (Abb. 9).



Abb. 9: Hauptdolomit

Über dem Hauptdolomit ist eine dünne Serie von Plattenkalken zu finden, die meist eine ausgeprägte Bankung aufweisen. Sie stammen ebenfalls aus der Obertrias. Das folgende Handstück stammt aus dieser Einheit (Abb. 10).



Abb. 10: Plattenkalk

Weiters sind Hierlatzkalke (Crinoidenkalke) angetroffen worden, die stratigraphisch im Lias der Unterjura anzusiedeln sind und gräulich bis rötlich auftreten können (Tollmann, 1985). Im Gelände tritt der Hierlatzkalk durch eine Synklinale zum Vorschein, die eine SE-Orientierung von 140/53 hat. Die folgende Abbildung zeigt ein Handstück aus dem Hierlatzkalk (Abb. 11).



Abb. 11: Hierlatzkalk

2.4) Tektonik

Die Reichraminger Decke liegt in der Schneebergmulde (Plöchinger, 1980), diese streicht mit ca. 40° W-E (Decker, 1986). Durch die überkippten Schenkel kommt es zu Schuppen- sowie Muldenbildung und Bruchtektonik. Zwischen Hauptdolomit und Plattenkalk sind oft Bewegungen zu bemerken. Die Mulde wird im E diskordant von der Gosau abgeschnitten (Tollmann, 1966).

Hinweise auf die Störung sind Mylonitisierung und Brekzien.

Im unteren Jura kam es zu einer Sedimentationsunterbrechung, danach folgte eine diskordante Transgression; Brekzien entstanden (Faupl, 1984).

Das bearbeitete Gebiet ist zwischen Losenstein-Synklinale und Mollner Linie östlich der Dirn-Antiklinale gelegen (siehe Abb. 12).

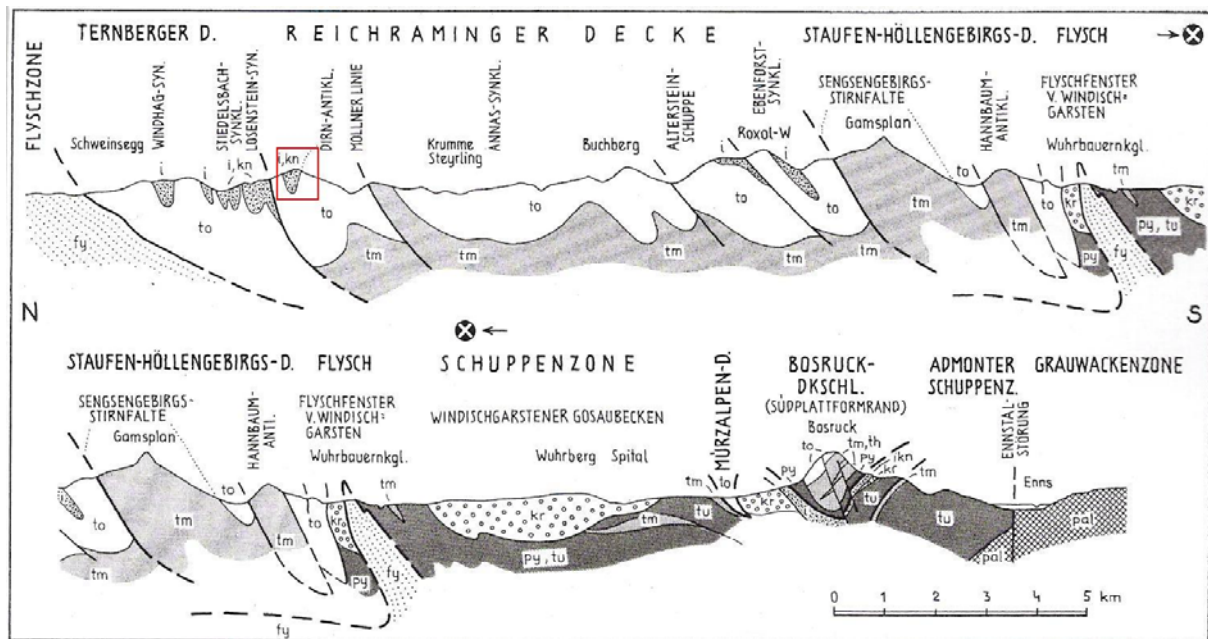


Abb. 12: Tektonischer N-S-Querschnitt, das bearbeitete Gebiet ist rot markiert (Tollmann, 1985).

3.) Geländearbeit

3.1) Geologisch-geomorphologisch-geotechnische Kartierung

Im Rahmen einer Geländekartierung im Sommer 2008 wurde die geologische und geomorphologische Situation des Gebietes erfasst. Die Reichraminger Decke wird von EW-streichenden Falten durchzogen (Braunstingl, 1983) und unweit des behandelten Gebiets konnte Van Husen (1975) an der Grenze Flysch/Kalkalpen eine Hebung der Kalkalpen im Quartär nachweisen. Das Gebiet befindet sich in den nördlichen Kalkalpen und ist laut Digitaler Geologischer Karte (GBA, 2007) hier durch folgende Lithologien vertreten: die Hieselbergformation, Oberostalpinen Hauptdolomit, Plattenkalke und Hierlatzkalke (siehe Beilage).

Besonders die Gesteine der Hieselbergformation, Kalkkonglomerate der Oberen Kreide, sind stark zerrüttet und können in teils großen Blöcken, bis zu mehreren Kubikmetern, ausbrechen. Die Konglomerate und Brekzien entstanden durch eine diskordante Transgression nach einer Sedimentationsunterbrechung im unteren Jura.

Die Hauptdolomite sind meist mit stark ausgebildetem Trennflächengefüge anzufinden, stellenweise treten sie aber auch massig auf. Plattenkalke aus der Obertrias sind im oberen Bereich des Hangs vertreten. Sie weisen eine Bankung

auf, die hangparallel einfällt und können durch Trennflächengefügeausbildungen plattig ausbrechen.

Ebenfalls im oberen Hangbereich wurde eine Felsnase beobachtet, die aus Hierlatzkalk besteht. Dabei handelt es sich um Crinoidenspatkalke des Unteren Jura. Sie treten sehr massig auf, sind grobkörnig und haben eine erhöhte Dichte gegenüber den anderen anzutreffenden Lithologien. An der Felsnase wurden Trennflächenausbildungen beobachtet, es kann zum Ausbruch von Felsblöcke bis $1,5 \text{ m}^3$ kommen.

Durch die relativ stetigen Niederschläge und die Vegetation, die fast den gesamten Hang überzieht, ist der Waldboden sehr feucht und hauptsächlich tiefgründig. Im gesamten Hangbereich ist eine Kriechbewegung zu bemerken, die sich durch Sichelwuchs der Bäume bemerkbar macht (siehe Abb. 13 A). Die anstehenden Felsen werden durch Wurzelsprengungen mechanisch zerkleinert, sowie von Moosbewachung überzogen (siehe Abb. 13 B). Der Waldboden ist uneben und bildet immer wieder Geländestufen aus. In Rinnen sind Schutt sowie entwurzelte Bäume vorzufinden (siehe Abb. 13 C). In der Nähe des Bahndamms sind Abrisskanten und dazugehörige Rutschkörper zu sehen. Im oberen Hangbereich sind keine klar abgegrenzten Rutschkörper zu finden.

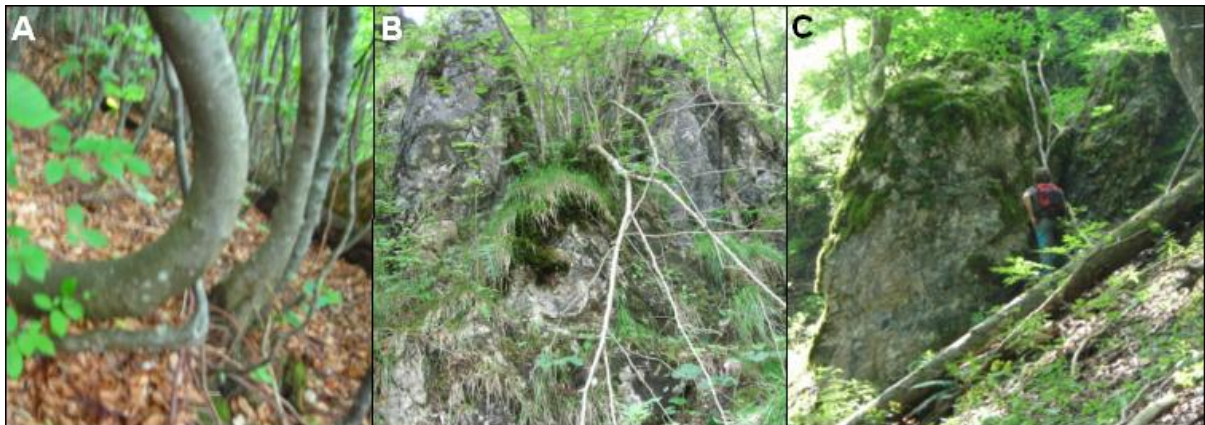


Abb. 13: Sichelwuchs (A), Zustand der Felswände (B) und Ablagerungsbereich entlang der Rinnen (C).

3.2) Zusammenfassende Aufschlussbeschreibungen

(1) Im östlichsten Teil des Geländes (siehe Beilage, Aufschlusspunkte 1 bis 3) wurde eine Felsrippe aufgenommen, die sich von ca. 50 m oberhalb der Bahnlinie bis ca. 500 m Höhe erstreckt. Dabei handelt es sich um Gesteine der Hieselbergformation, die aus Kalkkonglomeraten bestehen. Durch die Geländebeschaffenheit ist die Rippe in einzelne Nasen unterbrochen, unter denen jeweils Ansammlungen von kleinen bis mittleren Blöcken (bis 40 cm Kantenlänge) vorzufinden sind. Die Nasen sind von Trennflächen durchzogen (siehe Abb. 14) und einzelne große Blöcke (über 1 m Kantenlänge) sind überhängend anzutreffen.



Abb. 14: Hieselbergformation: Felswand, Trennfläche durch unterbrochene rote Linie angedeutet

(2) Nördlich dieser Felsrippe, etwa 50 m oberhalb der Bahnlinie, treten wieder Felsnasen heraus (siehe Abb. 15), die starke Zerrüttungen aufweisen. Hier ist eine Nase zu sehen die ca. 8 m hoch ist und durch Trennflächen zerlegt ist. Ein Block von etwa 3,5 m Höhe ist dadurch isoliert. Durch die starke Zerklüftung brechen wahrscheinlich eher kleine Blöcke (bis 20 cm Kantenlänge) aus.

Einzelne Partien klingen beim Abklopfen hohl, einige plattige Blöcke (bis 40 cm Kantenlänge) liegen bereits am Fuß der Felswand. Teile der Felsnase sind bereits überhängend. Weiters ist Wasseraustritt entlang einer Trennfläche zu sehen sowie leichte Verkarstungserscheinungen.

Unter der Wand ist das Gelände sehr steil und weist mehrere Geländekanten auf die als Sprungschanzen für abrollendes Blockwerk fungieren können.



Abb. 15: Hieselbergformation: Felsnase, teils überhängend

(3) Weiter westlich den Hang entlang finden sich mehrere Felswände, die von ca. 650 m bis 800 m Höhe nebeneinander angeordnet sind. Die Wände sind teils stark von Trennflächen durchzogen und kleine bis mittlere Blöcke (bis 40 cm Kantenlänge) können mit der Hand herausgelöst werden. Felsketten von etwa 20 m Länge sind teils von großen Trennflächen (mehrere Meter lang) durchzogen. Dadurch entstehen stellenweise frei stehende Felsblöcke, die stark verwittert sind und aus denen mittelgroße Blöcke ausgelöst (bis 70 cm Kantenlänge) werden, die neben und unter den Felsblöcken abgelagert sind. In weiterer Folge ist unterhalb der Felsnasen bis ca. 500 m Höhe Schutt vorzufinden, der im tiefgründigen Waldboden abgelagert wurde.

Die Lithologie entlang der Felskette wechselt zwischen massig und konglomeratisch ausgebildetem Dolomit. In den konglomeratisch ausgebildeten Bereichen sind große Blöcke (mehr als 1 m Kantenlänge) vorzufinden die bereits stark aus der Felswand gelöst sind (siehe Abb. 16). Die Felswände weisen allgemein kein zusammenhängendes Trennflächensystem auf, die großen

Trennflächen, die Blöcke mit über 1 m³ aus dem Verband lösen, zeigen eine chaotische Orientierung (siehe Abb. 17).

Durch dieses chaotische System an Trennflächen sind große Teile der anzutreffenden Felsen zerrüttet und weisen eine hohe Anzahl von Trennflächen pro Meter auf, die Werte schwanken zwischen 4 und 23. Teilweise kommt es zu Wasseraustritt aus den Trennflächen bzw. zu Sinterbildungen. Zwischen den Felsrippen im oberen Bereich des Hanges sind Rinnen ausgebildet, in denen sich Schutt und größere Blöcke (über 1 m Kantenlänge) sammeln. Der Waldboden wechselt zwischen tief- und mittelgründig. Stellenweise überwiegt der Schutt, so dass keine Dämpfungswirkung gegeben ist und der Schutt sich rutschend fortbewegen kann. Auch leichte Kriechbewegungen sind in den Rinnen aufgrund des Baumwachstums zu erkennen.



Abb. 16: Hieselbergformation: Freistehender Felsblock

CI gesammelt.pln
Datasets: 18

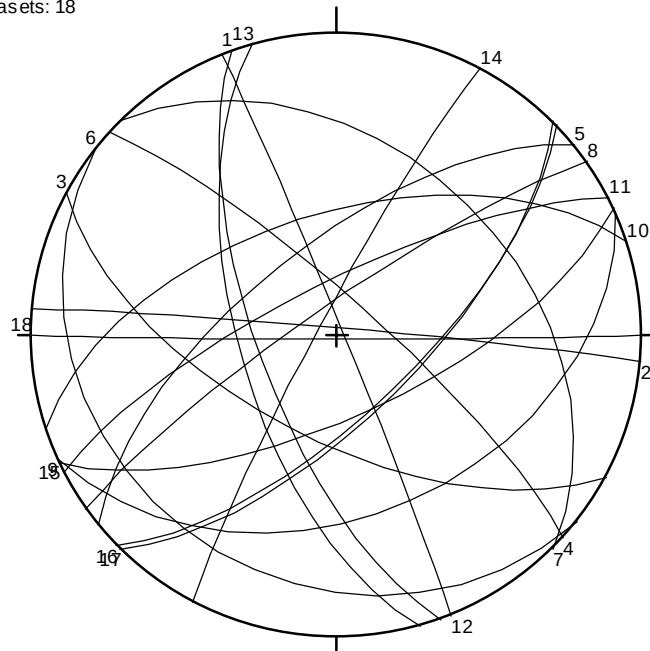


Abb. 17: Großkreisdarstellung der großen Trennflächen

(4) Unterhalb der genannten Felswände finden sich einige Felsnasen, die in einer Linie von ca. 600 m bis 450 m Höhe untereinander liegen. Hier sind Felswände zu beobachten, die an die 8 m hoch sind und von großen Trennflächen durchzogen sind. Einige davon können als Critical Layer bezeichnet werden, hier sind Trennflächen von bis zu 30 cm Öffnungsweite zu finden (siehe Abb. 18). Ein Critical Layer wird als die Trennfläche, die am wahrscheinlichsten das Ausbrechen von großen Blöcken initiiert, beschrieben. Kriterien für die Definition eines Critical Layers sind unter anderem die Trennflächenziffer, weit geöffnete Trennflächen ohne Füllung, das Einfallen des Layers in Relation zum Hang ($>30^\circ$) und sichtbare Entwässerung durch die Trennfläche.



Abb. 18: Hauptdolomit; Critical Layer, Öffnung der Trennfläche durch unterbrochene Linie markiert

Durch eine Trennfläche ist ein rund 24 m^3 großer Teil der Felswand isoliert. Die Felswand ist zwar aus massigem Dolomit aufgebaut, durch die feinen Trennflächengefüge und die großen Trennflächen, die den Fels durchziehen, sind allerdings schon große Teile ausgelöst und können leicht ausbrechen. Hier kann eine hohe Trennflächenziffer von bis zu 30 Trennflächen auf 5 m verzeichnet werden. Die Bemessungsblockgröße des abgelagerten Schutts liegt bei $0,02 \text{ m}^3$.

(5) Weiter westlich den Hang entlang durchzieht eine breite Rinne das Gelände. Links und rechts der Rinne treten einige Felsnasen hervor, die teils eine markante Schichtung aufweisen (siehe Abb. 19). Die Schichtung, in Verbindung mit dem Trennflächengefüge, sorgt dafür dass kleine bis mittelgroße Blöcke (bis 40 cm Kantenlänge) aus dem Felsverband ausbrechen können.



Abb. 19: Hauptdolomit; Schichtflächen durch unterbrochene Linie markiert

Stellt man die Schichtflächen, die im Gelände aufgenommen wurden, in einem Großkreis dar (siehe Abb. 20), so erkennt man mehrere Ausrichtungen, die die Schichtflächen einnehmen. Die Hauptrichtungen der Schichtflächen sind SSE-, ESE- und SW-einfallend.

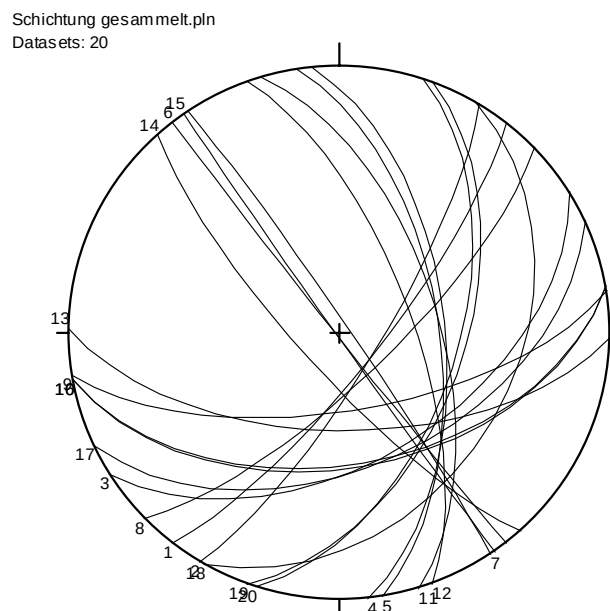


Abb. 20: Schichtungen in Großkreisdarstellung

Betrachtet man die Schichten nun anschließend in einer Darstellung im Pi-Plot (siehe Abb. 21), bei dem nur die Flächenpole dargestellt werden, erkennt man, dass die Schichten mehr oder weniger auf einem Großkreis liegen, der NW-SE-orientiert ist.

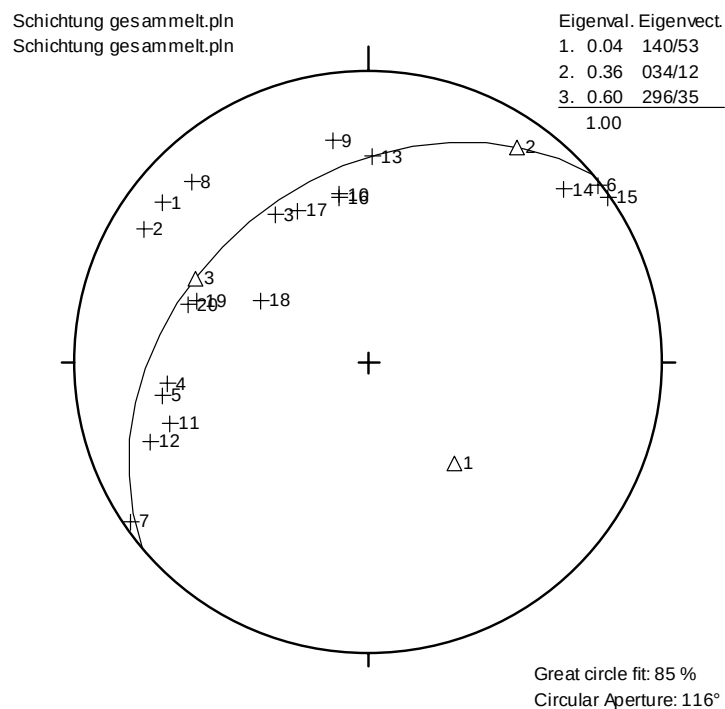


Abb. 21: Schichtungen in Pi-Plot Darstellung

Aufgrund dieser Tatsache kann man davon ausgehen, dass die Schichten verfaltet sind. Der Großkreis zeigt nun eine Fläche die parallel zu den Polpunkten und normal zur Faltenachse liegt. So kann man den Flächenpol dieser Fläche als Faltenachse bezeichnen.

Das Gebiet ist demnach verfaltet mit einer SE-Faltenachse von etwa 140/50. Der Schichtabfolge nach zu urteilen muss es sich um eine Synklinale handeln. Dieser Umstand bestätigt auch das unterwartete Auftreten von Hierlatzkalken im weiter westlichen Bereich des Hanges. Dieses Schichtglied sollte stratigraphisch höher liegen, tritt aber in Form einer Felsnase über tiefer liegenden Schichten auf.

Hier konnten Anzeichen einer Ablösung von einem großen Felsblock beobachtet werden. Durch eine Verfärbung der anstehenden Felsnase kann man darauf schließen, dass in jüngerer Zeit ein Felsbereich abgelöst wurde (siehe Abb. 22).



Abb. 22: Hierlatzkalk-Felswand

Die Bemessungsblockgröße des hier abgelagerten Schutts beträgt $0,01 - 1,5 \text{ m}^3$. Besonders unter der Felswand ist viel abgelagerter Schutt vorzufinden. Weiters kann hangabwärts immer wieder Schutt mit kleinen Blockgrößen verzeichnet werden. Hier ist die Hangneigung sehr hoch, bis zu 110 Prozent Steigung werden erreicht.

Unterhalb der Felswand und der Felsnase konnte ein etwa $0,8 \text{ m}^3$ großer Block aufgenommen werden, der die gleiche Lithologie wie die Felswand aufweist (Hierlatzkalk).

Durch den Aufbau der Felswand und die frisch angewitterten Stellen kann angenommen werden, dass diese größeren Blöcke um $1,5 \text{ m}^3$ ausbrechen können. Auch hier ziehen sich Trennflächengefüge durch die Felswand und

zerkleinern so die Wand in einzelne Blöcke. Direkt vor der Felswand ist eine Felsnase herausgelöst die isoliert ist und ca. 12 m³ groß ist (siehe Abb. 23).

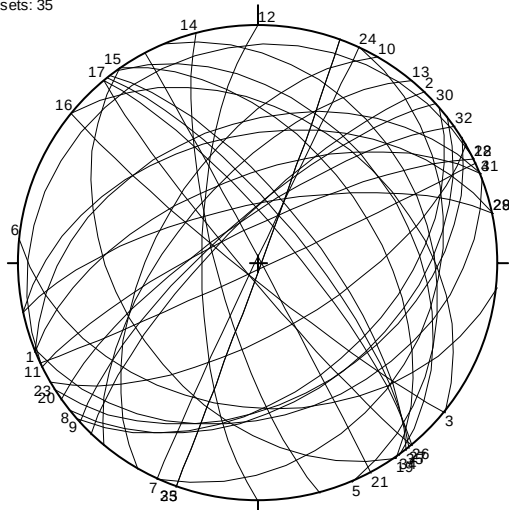
Dabei handelt es sich um konglomeratisch ausgebildeten Dolomit, der stark verwittert ist und von Trennflächen durchzogen ist. Hier ist ein Ablösen von mittleren bis großen Blöcken (über 1 m Kantenlänge) möglich. Die Bäume unterhalb dieser Felsnase weisen viele Baumtreffer in verschiedene Höhen auf. Daraus kann gefolgert werden dass das Trennflächengefüge zu stetigen Ablösungen von Blöcken aus dem Gesteinsverband führt.



Abb. 23: Hierlatzkalk-Felsnase

Die mittleren (bis 1 Meter lang) bis großen (mehrere Meter lang) Trennflächen, die nicht als Critical Layer betrachtet werden, wurden aufgenommen und in einer Großkreisdarstellung geplottet (siehe Abb. 24). Die Trennflächen zeigen eine chaotische Anordnung und generell ist keine bevorzugte Kürzungs- und Streckungsrichtung zu erkennen. Die Trennflächen dieser Größenordnungen sind meist steil einfallend.

Planefiles_XX.pln
Datasets: 35



Planefiles_XXX.pln
Fpl.cor

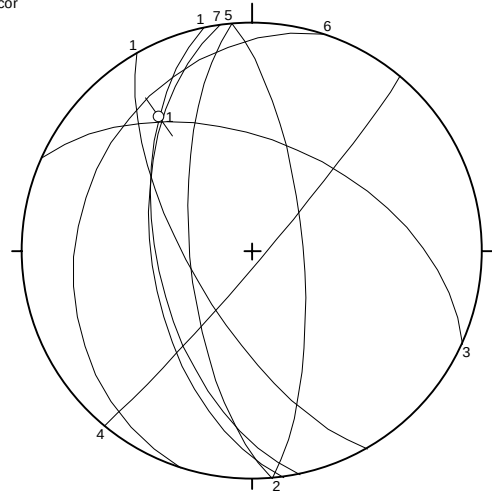


Abb. 24: Großkreisdarstellungen der mittleren bis großen Trennflächen

(6) In der weiter östlich gelegenen Rinne, unterhalb der oben genannten Felswand, finden sich zwei weitere Felswände, die ca. 6 m hoch sind. Unterhalb der Felswände ist viel Schutt abgelagert, auch mittelgroße Blöcke (bis 70 cm Kantenlänge) sind anzutreffen.

Die Felswände sind aus massivem Hauptdolomit aufgebaut der kaum Zerrüttung zeigt, aber eine ausgeprägte Bankung aufweist (siehe Abb. 25, blaue Linie). Weiters konnte ein Critical Layer eingemessen werden, der in Kombination mit der Bankung Blöcke aus dem Gesteinsverband lösen kann (siehe Abb. 25, rote Linie). Unterhalb der Felswand wurden Blöcke von etwa 0,02 – 0,1 m³ aufgenommen.



Abb. 25: Hauptdolomit-Felswand mit Bankung (blaue Linie) und Critical Layer (rote Linie)

(7) Weiter westlich, im oberen Hangbereich konnten entlang des Grats Plattenkalke kartiert werden. Dabei handelt es sich um Kalke, die meist eine charakteristische Bankung von etwa 10 cm aufweisen (siehe Abb. 26). Hier ist die Schichtfläche der Bankung zu erkennen, die dem Einfallen des Grats folgt, die Plattenkalke liegen hier also senkrecht im Hang. Dies ist unter anderem auf die Faltung der Lithologien in diesem Bereich zurückzuführen.



Abb. 26: Plattenkalk mit Bankung (blaue Linie)

Durch die Bankung und die dazu senkrecht verlaufenden Trennflächengefüge können mittelgroße Blöcke (bis 40 cm Kantenlänge) aus dem Gesteinsverband gelöst werden. Unterhalb der Plattenkalke konnten mehrere mittlere bis große Blöcke (bis 1 m Kantenlänge) aufgenommen werden, die meist an Baumstämmen rollend abgelagert wurden. Es kann angenommen werden, dass immer wieder Blöcke aus den hoch gelegenen Plattenkalken ausbrechen und aufgrund ihrer radartigen Form weit transportiert werden können.

In der näheren Umgebung ist der Waldboden mittelgründig und geht nur stellenweise auf tiefgründig über, meist in Nähe von Nackentälchen, die sich zwischen den Felsrippen bilden. Dort wurden erhöhte Schutt- bzw. Totholzanhäufungen beobachtet.

Unterhalb des Plattenkalks sowie weiter östlich ziehen sich zwei große NS-orientierte Rinnen durch das Gebiet. Jeweils innerhalb der Rinnen kommt es zu Schuttanlagerungen. Teilweise sind alte Schutteinbauten vorzufinden, die ihre Funktion meist nicht mehr erfüllen. In Seitenarmen und außerhalb der Rinnen konnten kleine Hangrutschungen beobachtet werden, die bereits mit Gras überwachsen waren.

(8) Im Bereich der oberen Forststraße (Heinzlstraße) finden sich mehrere große, steile Felswände aus Hauptdolomit, die nur zum Teil gesichert sind (siehe Beilage 1). Besonders die oberen Kanten der Felswände sind neben Zerteilung durch Trennflächen durch Wurzeln und Erosion stark verwittert (siehe Abb. 27). Mittlere Blöcke (bis 40 cm Kantenlänge) können ausbrechen und auf die Straße herabfallen. Unterhalb der Heinzlstraße sind an mehreren Stellen Steinschlagnetze angebracht.

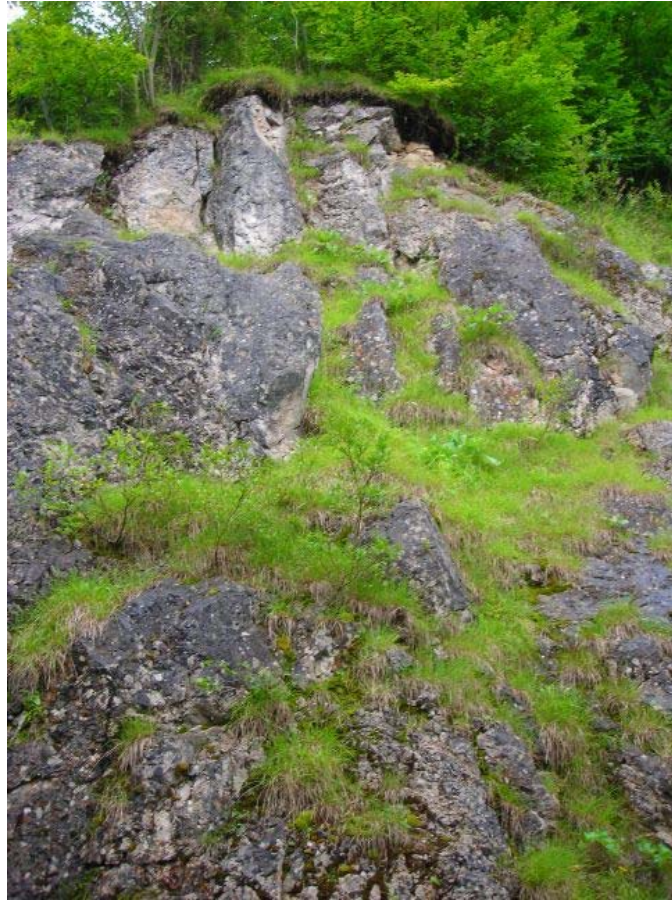


Abb. 27: Hauptdolomit-Felswand an der oberen Forststraße

(9) Im westlichsten Teil des Gebiets finden sich nur noch vereinzelt Felsnasen, die aber nur eine geringe Gefährdung darstellen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass besonders im Bereich der Hieselbergformation große Blöcke (über 1 m Kantenlänge) aus den Konglomeraten abgelöst werden können und meist kugelige Form aufweisen. Die zugehörigen Blöcke wurden weit von der Felswand entfernt im unteren Hangbereich vorgefunden.

Die Hauptdolomite sind häufig nicht massig vertreten sondern auch von Trennflächen durchzogen. Hier besteht die Gefahr dass große Blöcke von mehreren Kubikmeter ausbrechen können, diese zerteilen sich aber wahrscheinlich in mittelgroße bis kleine Blöcke (bis 40 cm Kantenlänge). Die Plattenkalke im oberen Hangbereich können durch das hangparallele Schichteinfallen ausbrechen und radartige Blöcke können entstehen.

4.) Methodik der geotechnischen Untersuchungen und Modellierungen

4.1) Rockfor Assessment Forms

Zur Dimensionierung eventuell notwendiger Maßnahmen wurden im Gelände geologisch-geotechnische Aufnahmen durchgeführt und fünf Steinschlagtrajektorien gelegt. Die geologisch-geotechnischen Untersuchungen dienten der Definition der Bemessungsereignisse. Für die einzelnen Lamellen wurden Rauigkeits- und Dämpfungsparameter erhoben welche in die Steinschlagmodellierung eingeflossen sind. Die Steinschlagmodellierung selbst wurde mit den Softwarepaketen Rockfall 6.1 und PICUS 1.4 durchgeführt.

ROCKFOR Rock Fall Assessment Procedure (Berger et al, 2004) wurde eigens für die Beobachtung von aktuellen oder vergangenen Steinschlagereignissen entwickelt. Es handelt sich dabei um ausfüllbare Bewertungsformulare, in denen alle wichtigen Parameter umgehend notiert werden können.

Im Gelände wurden nach der Rockfor Assessment Form verschiedene Parameter aufgenommen:

- Im Abrissbereich: Klüftigkeit der Felswand, Strukturgeologische Aufnahmen, Gesteinsdichte, Bemessungsblockgröße und -form (Kugel oder Scheibe), Startpunkt der Trajektorienmessung
- Im Transportbereich: Hanggeometrie, Energierelevante Parameter, Rollwiderstand, Dämpfung, Rauigkeit
- Im Ablagerungsbereich: Bemessungsblockgröße und -form

In vielen Fällen ist die gesamte Abdeckung der durch Steinschlag verursachten Gefährdung nicht möglich. Ziel der durchgeführten Steinschlagsimulation kann es daher nur sein, eine Optimierung der Maßnahmen sowohl in wirtschaftlicher als auch funktioneller Hinsicht zu erreichen und somit zur Reduktion der Gefährdung beizutragen. Sturzereignisse oder Ereignisverkettungen, welche die Aufnahmefähigkeit des simulierten Bauwerkes übersteigen (Sprunghöhe und Energie) können nicht ausgeschlossen werden, so insbesondere bei einer nicht

auszuschließenden Ablösung von Felsbereichen im Verband oder bei Kleinstereignissen. Trotz einer aufwendigen Simulation kann angesichts der Vielzahl von Einflussgrößen und angesichts der komplexen Bewegungsabläufe nur eine gute Abschätzung des Steinschlagverhaltens mit allen durch die Natur vorgegebenen Unschärfen erreicht werden.

4.2) Rockfall 6.1

Rockfall 6.1 wurde von der Ingenieurgesellschaft für Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik mbH Dr. Spang entwickelt. Herr Dr. rer. nat. R. M. Spang, Dr.-Ing. L. Weber, Dipl. Geol. N. Graf und Dr.-Ing. B. Romunde entwickelten das Programm um Steinschlagbahnen berechnen zu können. Rockfall 6.1 beruht auf den Gesetzen der Bewegung und berechnet beim Auftreffen der Steine die Änderungen von Eintrittswinkel zu Austrittswinkel und von Tangentialenergie und Normalenergie vor dem Auftreffen zu nach dem Auftreffen. Für die Definition des Untergrunds werden 2D-Profile durch den Hang, Trajektorien genannt, aufgenommen, aus denen Höhenwerte und Entfernungswerte, Laufmeter genannt, entsprechend der y- und x-Achse in das Programm eingespeist werden können. Weiters kann jede Trajektorie in beliebig viele Lamellen unterteilt werden, die Hangabschnitte mit ähnlichen Eigenschaften repräsentieren. Eigenschaften des Untergrunds wie Hangneigung, Tiefgründigkeit des Bodens, Schuttbedeckung, Beschaffenheit des Untergrunds (Wiese, Waldboden, Asphalt,..) und viele mehr können dafür in Betracht gezogen werden. Anschließend wird eine Parametertabelle erstellt (siehe Kapitel 6.1.1, Abb. 30), die für die vorhandenen Lamellen folgende Eigenschaften angibt: Gleitreibung, Haftreibung, Normale Dämpfung, Tangentiale Dämpfung, Rollwiderstand, Oberflächenamplitude und Oberflächenfrequenz. Beim Start der Modellierung wird der Bewegungsbeginn (Rollen oder Gleiten), die geometrische Form (Kugel oder Zylinder), die Dichte und der Radius des Blockes angegeben. Weiters werden die x- und y-Werte des Startpunkts angegeben. Die Anzahl der Blöcke, deren Bewegungsbahn simuliert werden soll kann zwischen 1 und 10.000 frei gewählt werden. Bei Rockfall 6.1 findet eine stochastische Modellierung statt, das heißt es wird ein deterministischer Prozess, der bei jeder Modellierung mit den gleichen Startbedingungen die gleichen Ergebnisse liefern würde, mit einem Zufallselement

kombiniert. Im Falle von Rockfall 6.1 geschieht dies in der Parametertabelle. Der Wert für z.B. Dämpfung wird definiert und ein Streuungswert wird hinzugefügt (V%), der angibt mit welcher Abweichung vom ursprünglichen Wert modelliert werden kann. Diese Streuungswerte können für fast alle Parameter, die oben genannt wurden, angegeben werden. Somit werden während der Modellierung zufällige Werte für die einzelnen Parameter angenommen, die innerhalb des angegebenen Streuungsbereichs liegen. Damit erreicht man eine möglichst realistische Modellierung, da in der Realität bei jedem Steinschlagereignis geringfügig unterschiedliche Startbedingungen herrschen und somit mit unterschiedlichen Ergebnissen zu rechnen ist. Um ein repräsentatives Ergebnis zu erhalten, sollten die Modellierungen mit mindestens 1000 Blöcken gerechnet werden. Nach Ablauf der Modellierung kann eine Darstellung des Hangs abgerufen werden (siehe Kapitel 6.1.1, Abb. 29). An ausgewählten Punkten entlang der Trajektorie können Kontrollquerschnitte und Bauwerke simuliert werden. An diesen Punkten können anschließend kinetischen Energie, Sprunghöhe, Drehimpuls, Winkel zwischen Steinschlagbahn und Untergrund u.a. abgefragt werden und als Klassenhistogramm oder Summenhistogramm veranschaulicht werden (siehe Kapitel 6.1.1, Abb. 34).

4.3) Picus 1.4

PICUS 1.4 ecosystem simulation wurde vom Institut für Waldbau an der Universität für Bodenkultur Wien unter der Leitung von Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Manfred Lexner entwickelt. An der Entwicklung sind weiters DI Dietmar Jäger, DI Werner Rammer und DI Rupert Seidl beteiligt. Primär dient PICUS als Simulationsprogramm zum Modellieren von Waldbeständen. Dabei können zahlreiche Parameter eingespeist werden (Klima, Baumbestände, Artparameter, Bodenbeschaffung,...).

Zusätzlich wurde in PICUS 1.4 ein Steinschlag-Modell integriert. In „rock n roll“ können Geländemodelle geladen und Parameter für die Oberflächenbeschaffenheit als Grundlage eingespeist werden. Dafür benötigt man die Koordinaten des Geländeabschnitts den man modellieren will. Diese Koordinaten können als Textfile abgespeichert und mittels PICUS 1.4 unter dem Menüpunkt „Settings“ in eine TIN-Datei umgewandelt werden. Als TIN-Datei wird

eine Anordnung von nicht überlappenden, unterschiedlich dichten Dreiecken bezeichnet. Diese Datei charakterisiert den Untergrundtyp besser und ist kompatibel mit der Patch-Darstellung des Geländemodells in PICUS 1.4, bei der das Modell in 10 x 10 m große Patches aufgeteilt wird. Weiters werden eine r_n - und eine r_t -Datei erstellt, die die Normaldämpfung und Tangentialdämpfung der Geländeabschnitte angeben, die wie Lamellen bei Rockfall 6.1, als Abschnitte mit gleichen Eigenschaften, unterschieden werden. Diese Koeffizienten werden auch Rebound-Parameter genannt. Anschließend muss eine Ini-Datei erstellt werden, die die Oberflächenparameter wie Dämpfung, Oberflächenrauheit und Hangneigung enthält. Weiters können in dieser Datei Formeln zur Geschwindigkeitsberechnung bzw. Einfall- und Ausfallwinkel der simulierten Blöcke eingegeben werden und es wird auf die Dateien verwiesen, die das Geländemodell liefern (TIN-Datei) und die normale und tangentielle Dämpfung der Geländeabschnitte angeben (r_n - und r_t -Datei). In PICUS 1.4 sind die bei Rockfall 6.1 erwähnten Kontrollabschnitte und Bauwerke mit „measure lines“ gleichzusetzen. Diese Linien können in der Ini-Datei angegeben werden und simulieren so Einbauten, an denen nach der Modellierung Informationen wie Sprunghöhe, kinetische Energie, Energieaufkommen bei Bodenkontakt, Geschwindigkeit und ähnliches abgefragt werden können.

Nach Abruf und Speichern dieser Ini-Datei in PICUS 1.4 unter dem Menüpunkt „Settings“ kann das Geländemodell unter dem Menüpunkt „Visuals“ durch die Eingabe des „Sim Raums“ erzeugt werden. Anschließend kann das zu simulierende Bemessungsereignis über Blockgröße, -geschwindigkeit, Startbewegung usw. definiert werden. Weiters kann ausgewählt werden von welchem Patch aus die Simulation starten soll. Die Blockanzahl sollte mindestens 1000 betragen, da die Modellierung in PICUS 1.4 auf stochastischen Grundlagen beruht und somit ein repräsentatives Ergebnis erreicht werden kann. Die Blöcke vollziehen nun springende und rollende Bewegungen bis ihre kinetische Energie gleich Null ist oder der simulierte Raum verlassen wird. Diese Bewegungsabläufe basieren auf deterministischen und probabilistischen Algorithmen (Rammer et al, 2009).

Nach Abschluss der Modellierung können unter dem Menüpunkt „Results“ die Ergebnisse abgerufen werden. Sind Measure Lines gesetzt worden, so können hier die Variablen wie „m_H“ (gemessene Sprunghöhen), m_V“ (gemessene Geschwindigkeiten) oder „m_Etotal“ (gemessene Energie) abgerufen werden. Unter „Visuals“ gibt es auch die Möglichkeit, besagte Variablen für das gesamte Geländemodell pro Patch über eine Farbskala anzeigen zu lassen.

Um einen Vergleich der beiden Modellierungsprogramme zu ermöglichen, wurden die gleichen Eingangsparameter verwendet und anschließend die Ergebnisse der Modellierungen in Relation gesetzt (siehe Kapitel 7.1).

5.) Laserscanning

5.1) Methodik und DTM des Gebiets

Für die Erstellung eines Digital Terrain Models (DTM) des Gebiets wurde eine Befliegung mit einem Airborne Laserscanner durchgeführt. Laserscanning ist eine Methode der Fernerkundung (Remote Sensing). Unter diesen Begriff fällt das Aufnehmen bzw. Erfassen von Objekten, ohne einen direkten Kontakt zwischen dem aufnehmenden System und dem Objekt. Fernerkundung wird in einen photographischen und einen nicht-photographischen Bereich unterteilt. Die „klassischen“ Methoden wie Luftbildaufnahmen sowie diverse Kamerasysteme fallen unter photographische Methoden während Radarbilder und Scanneraufnahmen zu den nichtphotographischen Methoden zählen.

Laserscanning zählt also zu den nichtphotographischen Fernerkundungsmethoden. Dabei werden Laufzeiten von ausgesendeten Laserpulsen gemessen, um die Geländehöhen zu ermitteln. Der Flieger bewegt sich in überlappenden Bahnen über das ausgewählte Gebiet und sendet Laserstrahlen aus, die über einen Spiegel (Scanner) nach unten abgelenkt werden. Die erste Reflexion die zum Flieger zurückgelangt wird als first return verzeichnet, die letzte Reflexion als last return. Je nach Scanner können mehrere Reflexionen aufgezeichnet werden und es können mehr Daten für die Berechnung der Punktwolke miteinbezogen werden. Der first return entspricht bei einem bewaldeten Gebiet meist der Vegetation, z.B. Baumkronen. Der last return kann meist dem Waldboden gleichgesetzt werden. Nach der Anwendung von

Filterverfahren kann somit ein digitales Geländemodell erstellt werden, bei dem der tatsächliche Geländeuntergrund, ohne Vegetationsbedeckung, dargestellt wird. Dazu wird aus den gemessenen Werten eine Punktwolke erstellt, die x-, y- und z-Werte enthält.

Die Auflösung eines solchen Geländemodells wird in gemessenen Punkten pro Quadratmeter angegeben. Sie wird durch das räumliche Auflösungsvermögen und die Höhe des Sensors über dem Gelände bestimmt.

Die Orientierung des Sensors erfolgt in der Regel über INS (Inertiales Navigationssystem) und DGPS (Differential Global Positioning System).

Abgesehen von den Laufzeitmessungen der ausgesendeten Laserstrahlen können beim Laserscanning auch Intensitäten des aufgenommenen Untergrunds gemessen werden. Je nach Material können so unterschiedliche Reflexionen und folglich Oberflächeneigenschaften verzeichnet werden.

Die Vorteile des Laserscannings sind, dass die Befliegung bei fast allen Wetterbedingungen und unabhängig von Tages- oder Jahreszeit stattfinden kann, sofern sich zwischen Sensor und Untergrund keine Hindernisse wie z.B. starke Wolkenbedeckung befinden. Um ideale Flugbedingungen zu erhalten, sollten also Vegetationszyklen und jahreszeitlich bedingte Wetterverhältnisse beachtet werden.

6.) Modellierung

6.1) Beschreibung des Ablaufs und Ergebnisse

6.1.1) Rockfall 6.1

Im bearbeiteten Gebiet wurden fünf Steinschlagprofile (Trajektorien) festgelegt, die unterschiedliche Aktivitätsbereiche repräsentieren:

- Felswand, steile Hanggeometrie, Forststraßen, Hieselbergformation
- Fels, Forststraßen, Schuttansammlungen
- Felsrippen, Schutt, Hauptdolomit → Block auf Bahngleis!

- Felsnase, steile Hanggeometrie, Blöcke
- Blöcke, Rinne, Rutschungen

Die folgende Abbildung zeigt die Lage der Trajektorien (Abb. 28), die als grüne Linien dargestellt und durchnummeriert sind. In schwarzer Farbe sind die Linien des steilsten Weges dargestellt, die im digitalen Höhenmodell erstellt werden können. Sie zeigen nach der Auswahl eines Punktes im Hangbereich den steilsten Weg zum Tal an, den folglich auch herabfallende oder -rutschende Blöcke und Schuttmassen verfolgen würden.

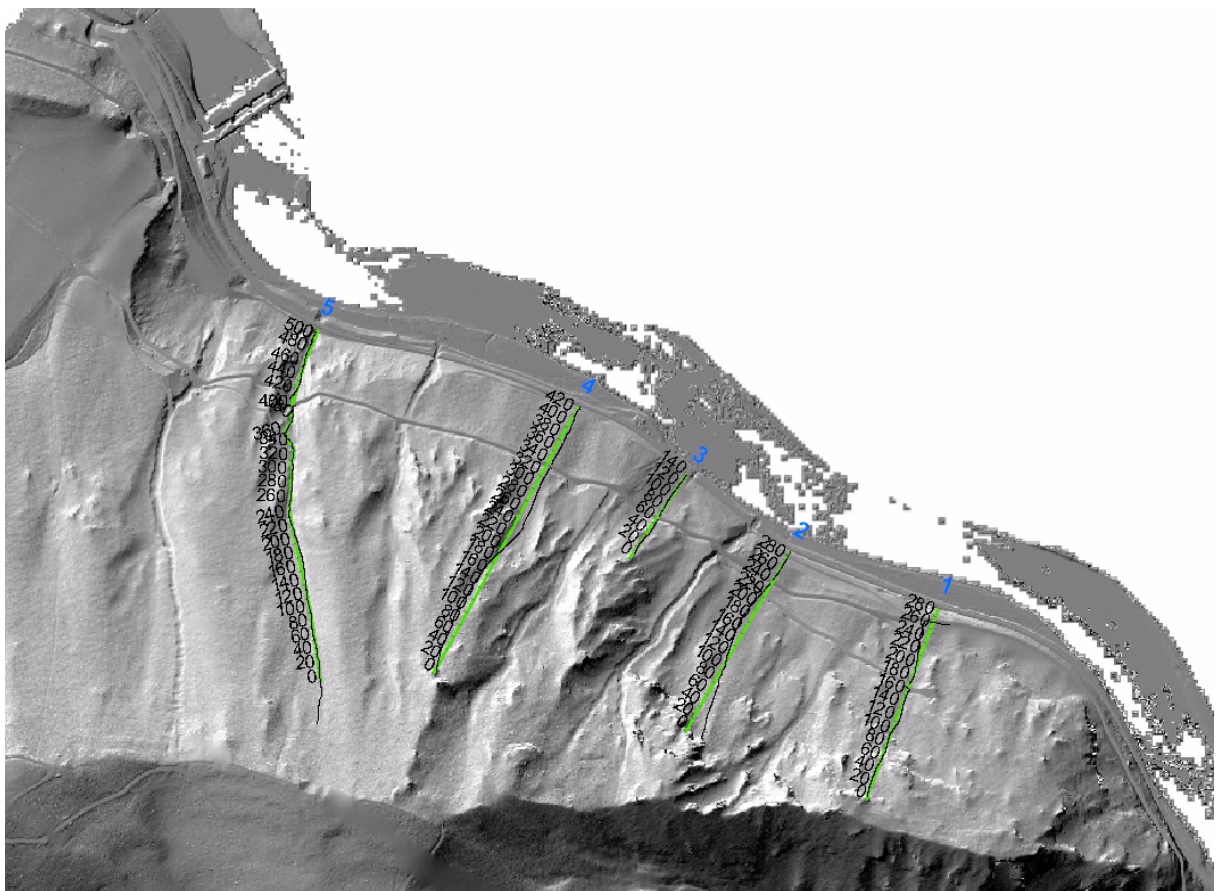


Abb. 28: Lage der Trajektorien

Die einzelnen Trajektorien wurden an Stellen simuliert, die bestimmte Eigenschaften aufweisen, die im folgenden bei jeder Trajektorie separat beschrieben werden.

Während der Geländekartierung wurden Parameter wie Bodenbeschaffenheit, Hangneigung, Schuttaufkommen, Blockgrößen in Ablöse-, Transfer- und Ablagerungsbereich, Baumtreffer, Sprunglängen und Hangmorphologie aufgenommen, die für die Modellierung benötigt werden.

Für die genaue Konstruktion der Hanggeometrie entlang der festgelegten Profile wurden die Trajektorien in ArcMap eingezeichnet und anschließend über ein Skript die Koordinaten der Profile berechnet. Nach diesem Schritt wurden die Koordinaten der Profile in Excel exportiert, die Neigung zwischen den Profilpunkten berechnet und an Stellen von Neigungsänderungen Punkte festgelegt, die das Ende einer Lamelle beschreiben.

Die so herausgefilterten Punkte, die Änderungen in der Hanggeometrie beschreiben, konnten in das Steinschlagmodellierungsprogramm Rockfall 6.1 eingespeist werden.

Bemessungsereignisse im betroffenen Gebiet:

- **Massiger Steinschlagblock mit einer Kubatur von 1 m³ löst sich aus dem oberen Hangbereich (möglich)**
- **Massiger Steinschlagblock mit einer Kubatur von 0,1 m³ löst sich aus dem oberen Hangbereich (wahrscheinlich).**

Trajektorie 1 wurde im östlichen Bereich des untersuchten Gebiets angelegt und ist 284 m lang. Sie startet an der Oberkante einer Felswand in 600 m Höhe und verläuft zuerst auf schuttbedecktem Untergrund bei einer Neigung von etwa 40 bis 50 Grad bis zu einer Höhe von etwa 520 m. Dann kommt es zu einem Anstieg der Neigung bis auf 70 Grad. Der Untergrund ist hier mittelgründiger Waldboden. Auf der Höhe von 440 und 400 m kreuzen zwei Forstwege, die etwa 2 m breit und nicht befestigt sind, die Trajektorie. Auf der Höhe von 380 m trifft sie auf eine Forstraße, die asphaltiert ist. Der folgende Bereich ist nur noch gering bewaldet und wird bald von einer Wiesenfläche abgelöst, die bis zum Bahngleis reicht.

Die vorherrschende Lithologie ist hier die Hieselbergformation, ein Kalkkonglomerat der Ober-Kreide.

Vorgefundene Maximalblöcke: 0,9 m³

Durchschnittsblockgröße: 0,1 m³

Die verwendeten Lamellen und ihre Eigenschaften sind in Tabelle 1 zu sehen.

Tabelle 1: Die verwendete Lamellen und ihre Eigenschaften

Lamelle	Lauflänge x [m]	Höhe z [m]	Klasse	Gründigkeit
1	0.00	597.98	Fels	Fels
2	8.35	597.98	Fels	Fels
3	8.35	591.98	Waldboden, Blockwerk	mg
4	20.12	581.13	Waldboden, Blockwerk	mg
5	40.45	561.09	Waldboden, Blockwerk	mg
6	44.73	557.44	Waldboden, Blockwerk	mg
7	62.92	541.66	Waldboden, Blockwerk	mg
8	74.69	528.12	Waldboden, Blockwerk	mg
9	95.02	503.51	Waldboden, Blockwerk	mg
10	100.37	495.14	Waldboden, Blockwerk	mg
11	130.33	471.63	Waldboden	mg
12	164.57	445.67	Waldboden	mg
13	172.06	441.41	Forstweg	mg
14	174.06	441.41	Waldboden	fg
15	227.70	406.61	Waldboden	fg
16	235.19	402.90	Forstweg	mg
17	236.19	402.90	Waldboden, Blockwerk	mg
18	266.22	387.69	Waldboden, Blockwerk	mg
19	271.57	386.70	Forststraße	Asphalt
20	277.92	386.70	Waldboden	mg
21	280.92	385.70	Wiese	mg
22	284.41	380.35	Wiese	mg

Im Transferbereich von Trajektorie 1 wurde eine **Blockstatistik** aufgenommen (Tabelle 2). Dabei wurden frisch ausgebrochene, nicht verwitterte Blöcke als „jung“, teils verwitterte Blöcke als „mittel“ und bereits angewitterte, bewachsene Blöcke als „alt“ beschrieben um einen Bezug zu ihrer Verweildauer an der gemessenen Stelle zu erstellen.

Tabelle 2: Blockstatistik Trajektorie 1

x [cm]	y [cm]	z [cm]	Größe [m ³]	Alter
10	10	5	0,0005	alt
10	10	5	0,0005	jung
10	10	10	0,001	alt
20	10	10	0,002	alt
20	10	10	0,002	alt
20	15	10	0,003	alt
20	15	10	0,003	alt
25	15	10	0,00375	alt
25	15	10	0,00375	alt
20	15	15	0,0045	alt
20	15	15	0,0045	alt
30	15	10	0,0045	mittel
25	25	10	0,00625	alt
30	15	15	0,00675	alt
20	20	20	0,008	alt
40	20	10	0,008	alt
30	20	15	0,009	alt
50	20	10	0,01	alt
30	20	20	0,012	alt
30	30	20	0,018	alt
30	30	20	0,018	mittel
30	30	20	0,018	mittel
45	30	15	0,02025	alt
50	30	15	0,0225	alt
40	30	20	0,024	alt
30	40	20	0,024	jung
50	30	20	0,03	mittel
55	30	20	0,033	alt
50	40	25	0,05	alt
120	150	50	0,9	alt

Bei Lauflänge 180, 240 und 270 m wurden jeweils nach den unbefestigten Forstwegen Kontroll-Querschnitte simuliert. Bei 280 m Lauflänge wurde ein Auffangbauwerk mit 5 m Höhe und 40 Grad Inklination simuliert.

Als **erstes**, mögliches **Bemessungsereignis** wurde ein Steinschlagblock mit einer Kubatur von 1 m³ angenommen, der im freien Fall von der Oberkante der genannten Felswand ausbricht. Das Profil und die Modellierung sind im Anschluss zu sehen (Abb. 29). Die grünen Linien markieren die jeweiligen Lamellengrenzen, die roten Linien zeichnen den Bewegungsablauf der simulierten Steinschlagereignisse nach.

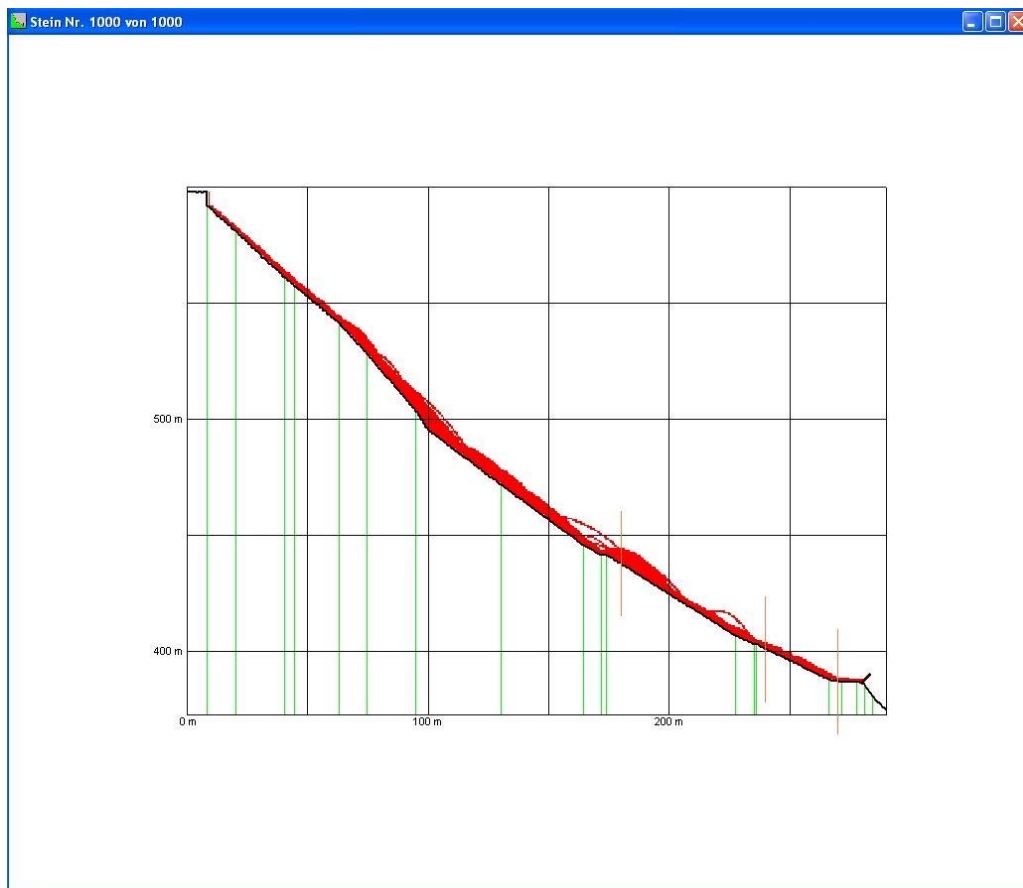


Abb. 29: Profil Trajektorie 1, Bemessungsereignis 1 m³

Die für die Modellierung verwendeten Geländeparameter sind im Gelände erhoben und mit folgenden Streuungswerten eingetragen worden (siehe Abb. 30).

	Oberflächentyp	Rg	V%	Rh	V%	Dn	V%	Dt	V%	Rw	V%	Qa	Of
1	Fels rauh	30	5	40	5	0.070	10	0.920	5	0.020	10	0.45	1.00
2	Wald Schutt Blöcke mässig grob	26	5	32	5	0.035	10	0.840	10	0.090	10	0.30	1.00
3	Waldboden mittelgründig	30	5	42	5	0.020	10	0.820	10	0.120	10	0.15	1.00
4	Waldboden flachgründig	30	5	42	5	0.025	10	0.870	10	0.120	10	0.20	1.00
5	Wiese	28	5	35	5	0.010	0	0.780	10	0.350	10	0.10	1.00
6	Forstweg	32	5	40	5	0.050	5	0.750	5	0.100	5	0.50	1.00
7	Asphaltstrasse	35	5	45	5	0.060	10	0.910	5	0.040	10	0.00	0.00

Abb. 30: Verwendete Parameter Trajektorie 1, Bemessungsereignis 1 m³

Die Ergebnisse der Modellierung bei den simulierten Kontroll-Querschnitten und dem Bauwerk sind auf den folgenden Seiten (Abb. 31 bis Abb. 34) zu sehen. Die Werte sind in Form eines Summenhistogramms dargestellt.

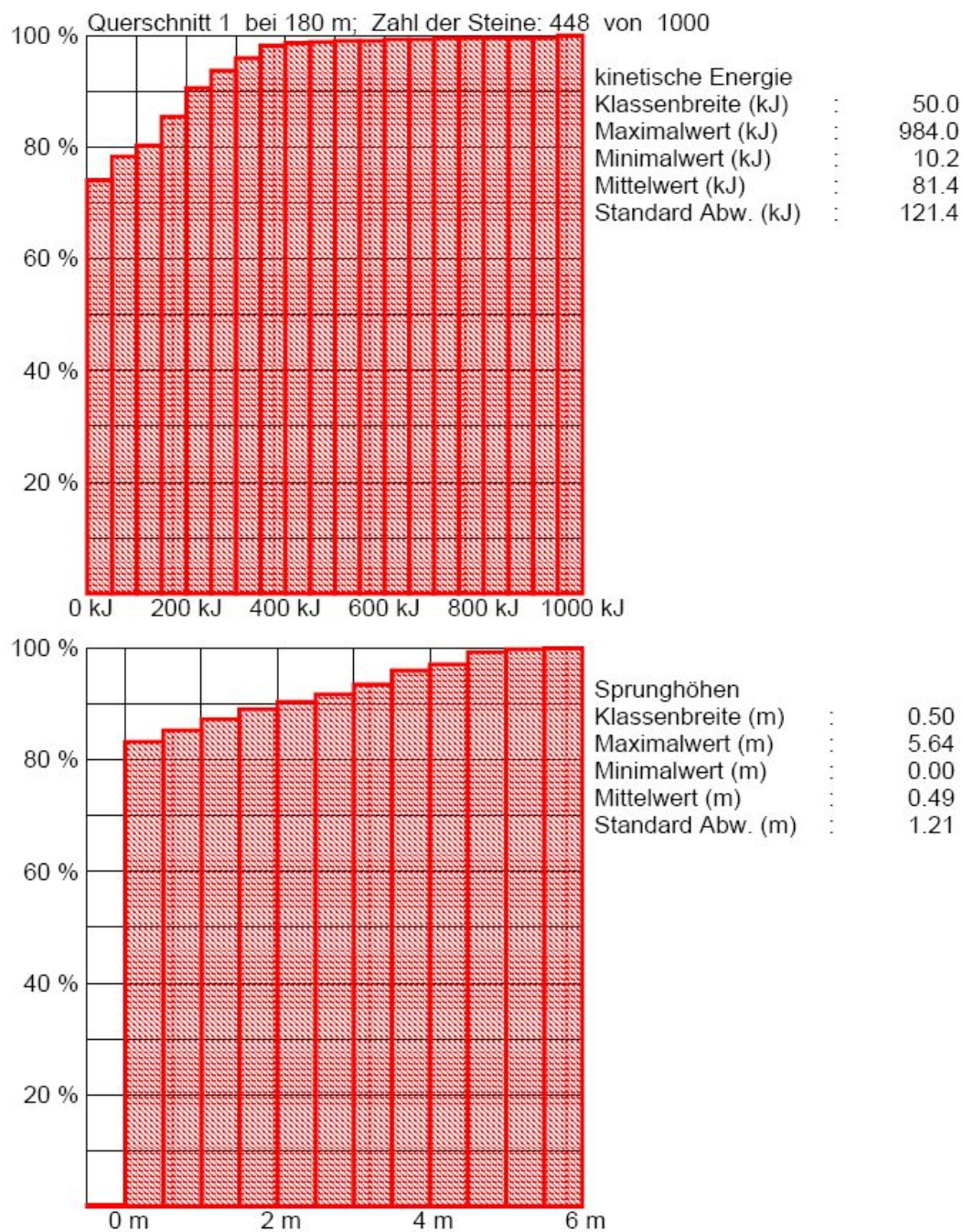


Abb. 31: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 180 m Lauflänge

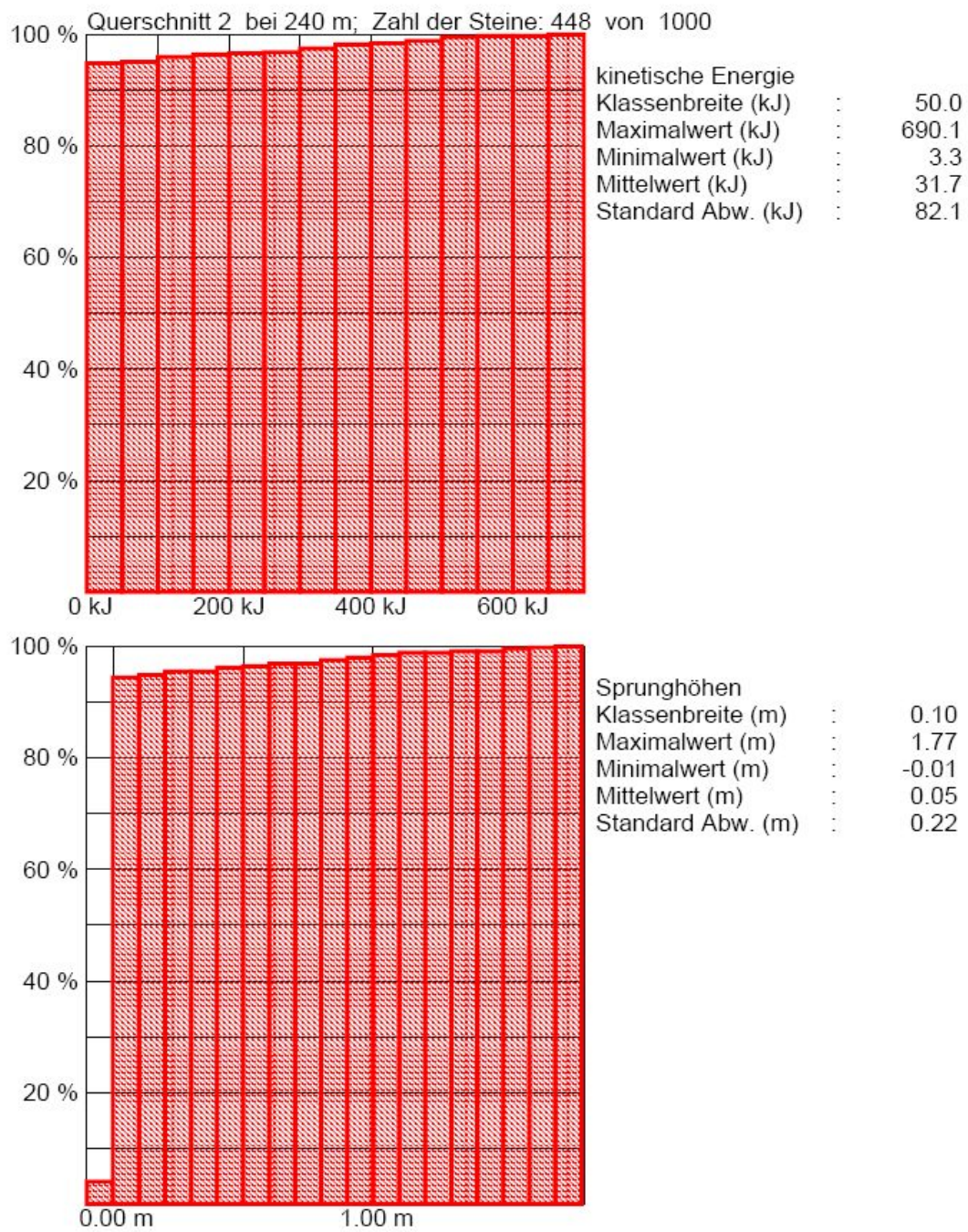


Abb. 32: Summenhistogramm Querschnitt 2 bei 240 m Lauflänge

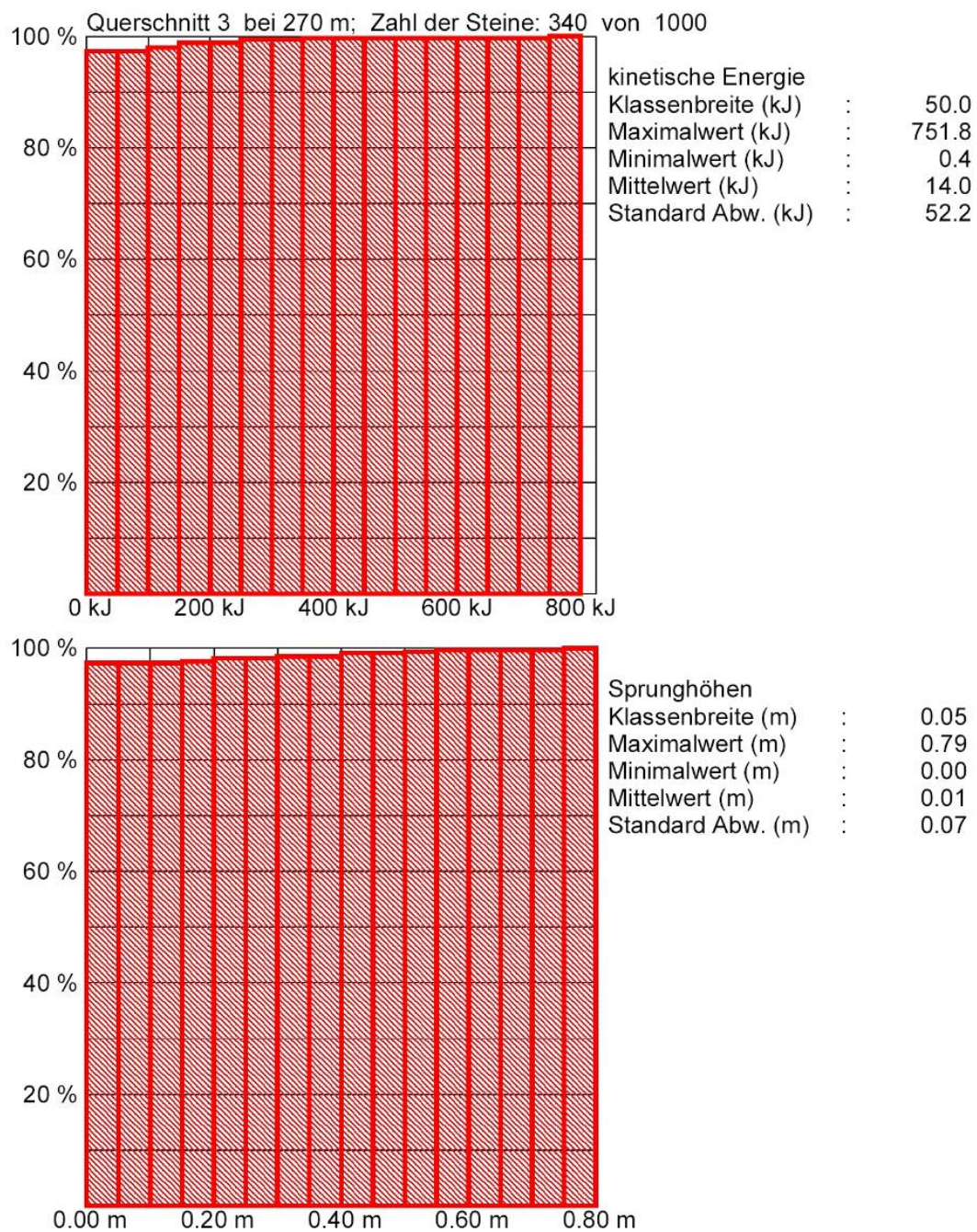


Abb. 33: Summenhistogramm Querschnitt 3 bei 270 m Lauflänge

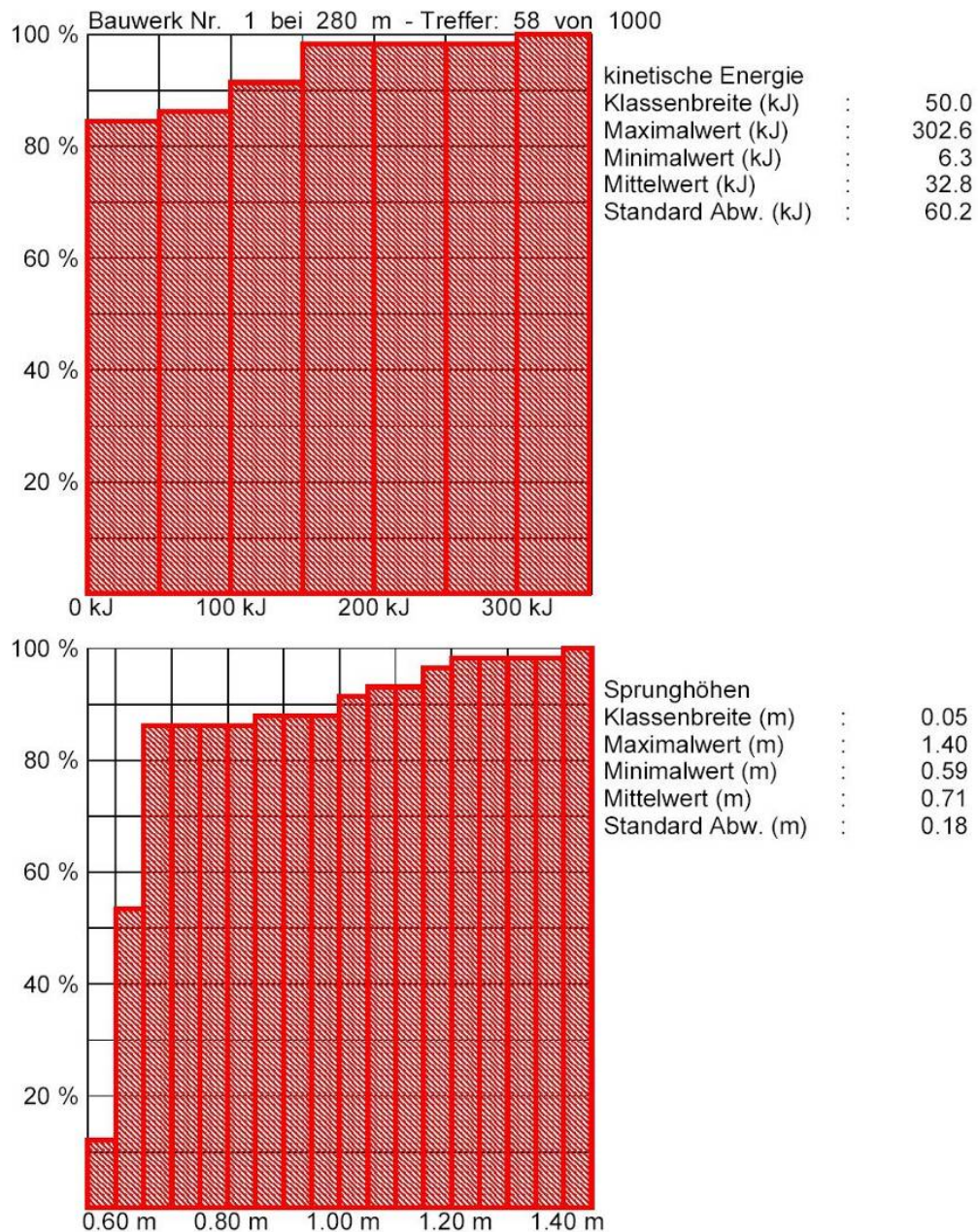


Abb. 34: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 280 m Lauflänge

Als **zweites**, wahrscheinliches **Bemessungsereignis** wurde ein Steinschlagblock mit einer Kubatur von $0,1 \text{ m}^3$ angenommen, der im freien Fall von der Oberkante der genannten Felswand ausbricht.

Das Profil und die Modellierung sind im Anschluss zu sehen (Abb. 35).

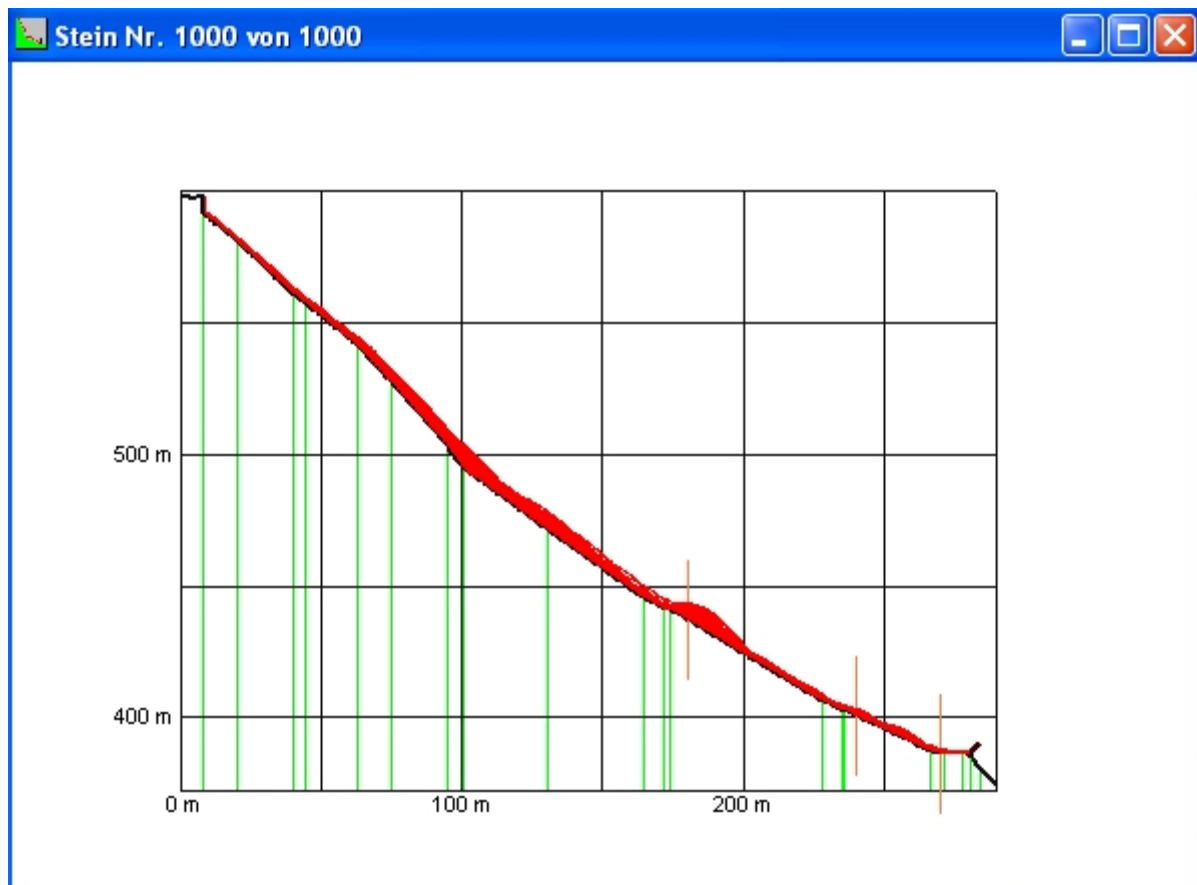


Abb. 35: Profil Trajektorie 1, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$

Die beim zweiten Bemessungsereignis verwendeten Parameter sind in folgender Tabelle (Abb. 36) zusammengefasst.

	Oberflächentyp	Rg	V%	Rh	V%	Dn	V%	Dt	V%	Rw	V%	Oa	Of	
1	Fels rauh	30	5	40	5	0.070	10	0.920	5	0.020	10	0.45	1.00	
2	Wald Schutt Blöcke mässig grob	26	5	32	5	0.035	10	0.840	10	0.090	10	0.30	1.00	
3	Waldboden mittelgründig	30	5	42	5	0.020	10	0.820	10	0.120	10	0.15	1.00	
4	Waldboden flachgründig	30	5	42	5	0.025	10	0.870	10	0.120	10	0.20	1.00	
5	Wiese	28	5	35	5	0.010	0	0.780	10	0.350	10	0.10	1.00	
6	Forstweg	32	5	40	5	0.050	5	0.750	5	0.100	5	0.50	1.00	
7	Asphaltstrasse	35	5	45	5	0.060	10	0.910	5	0.040	10	0.00	0.00	

Abb. 36: Verwendete Parameter Trajektorie 1, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$

Die resultierenden kinetischen Energien und Sprunghöhen an den simulierten Kontroll-Querschnitten und an dem Bauwerk sind auf den folgenden Seiten (Abb. 37 bis Abb. 40) zu sehen.

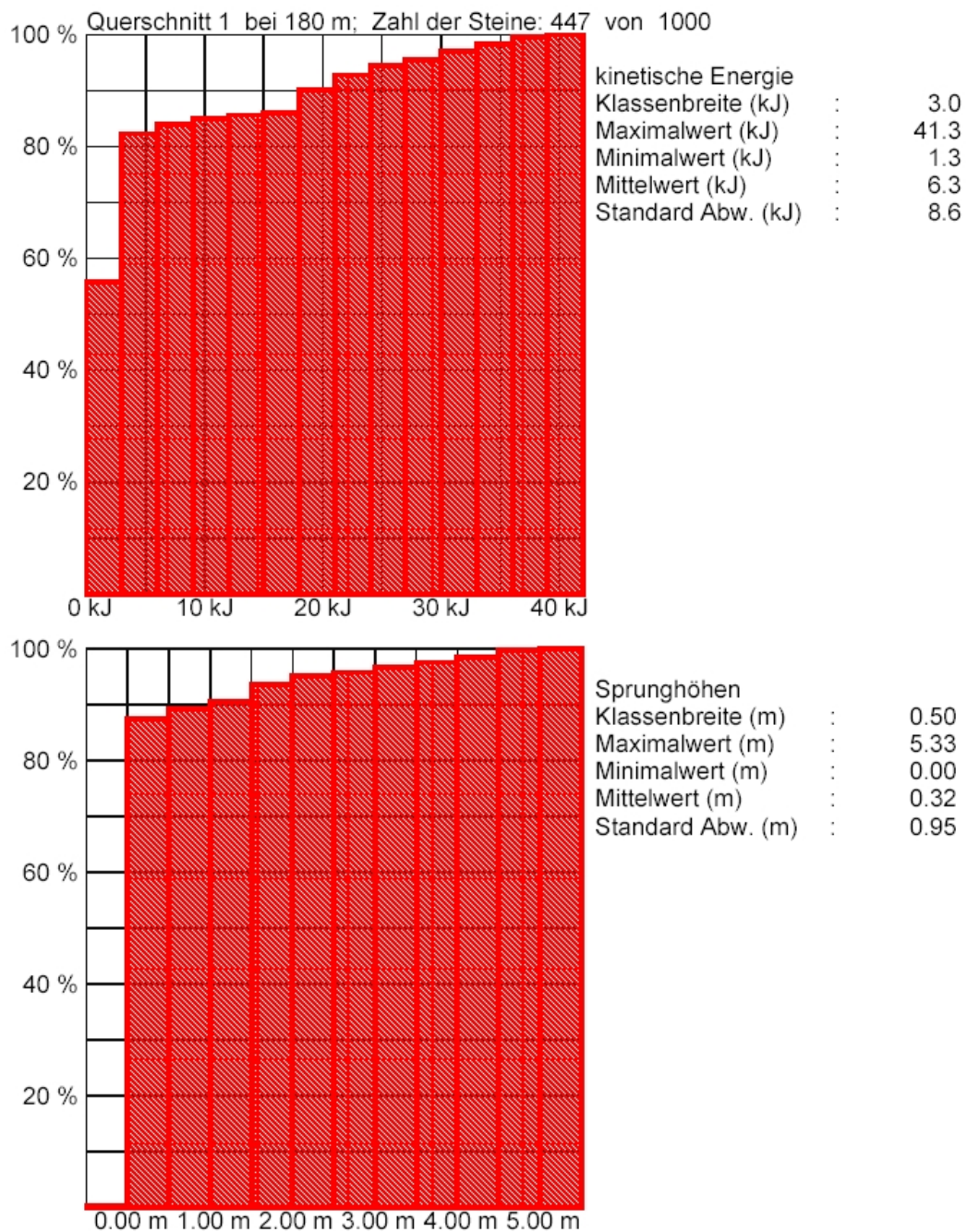


Abb. 37: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 180 m Lauflänge

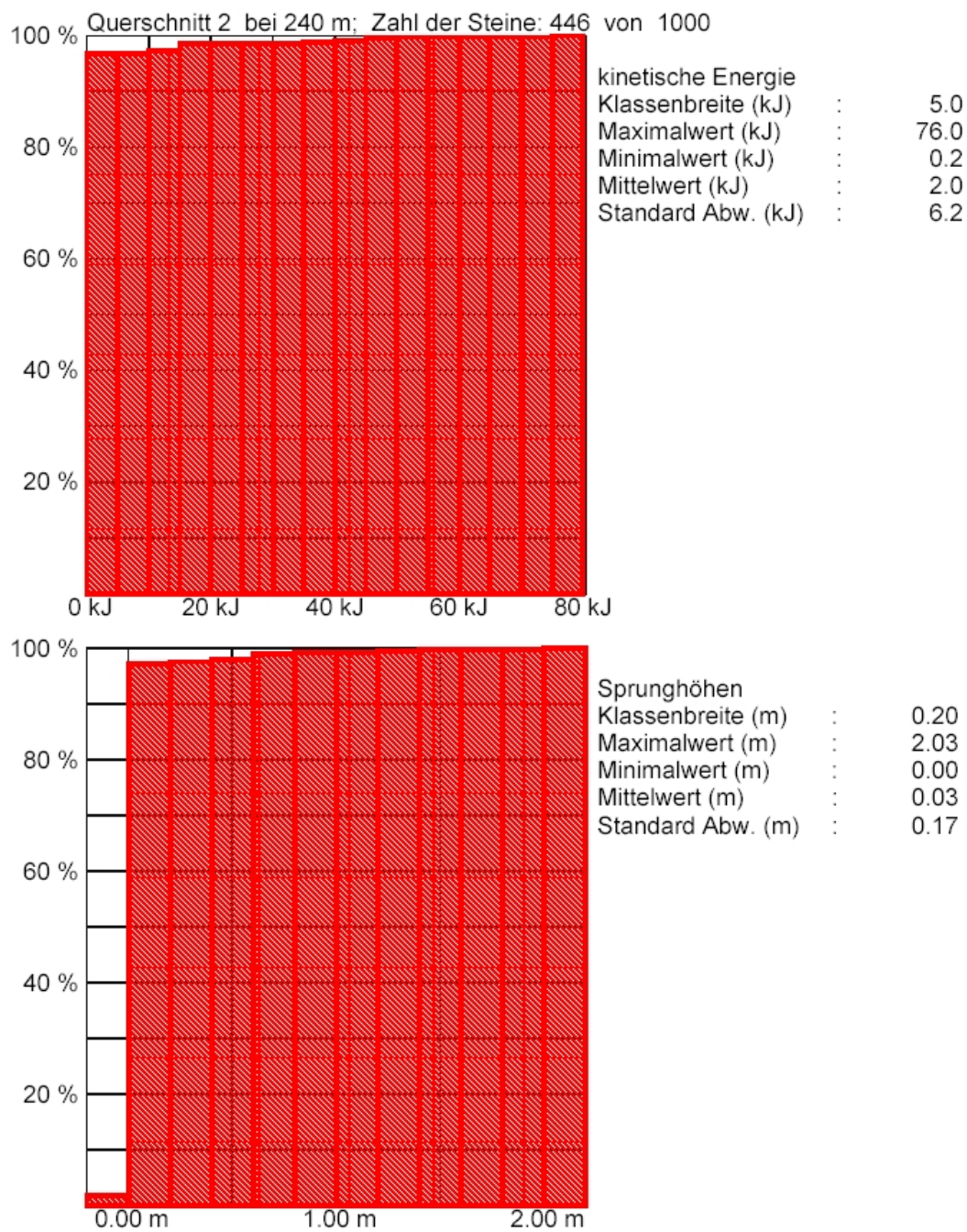


Abb. 38: Summenhistogramm Querschnitt 2 bei 240 m Lauflänge

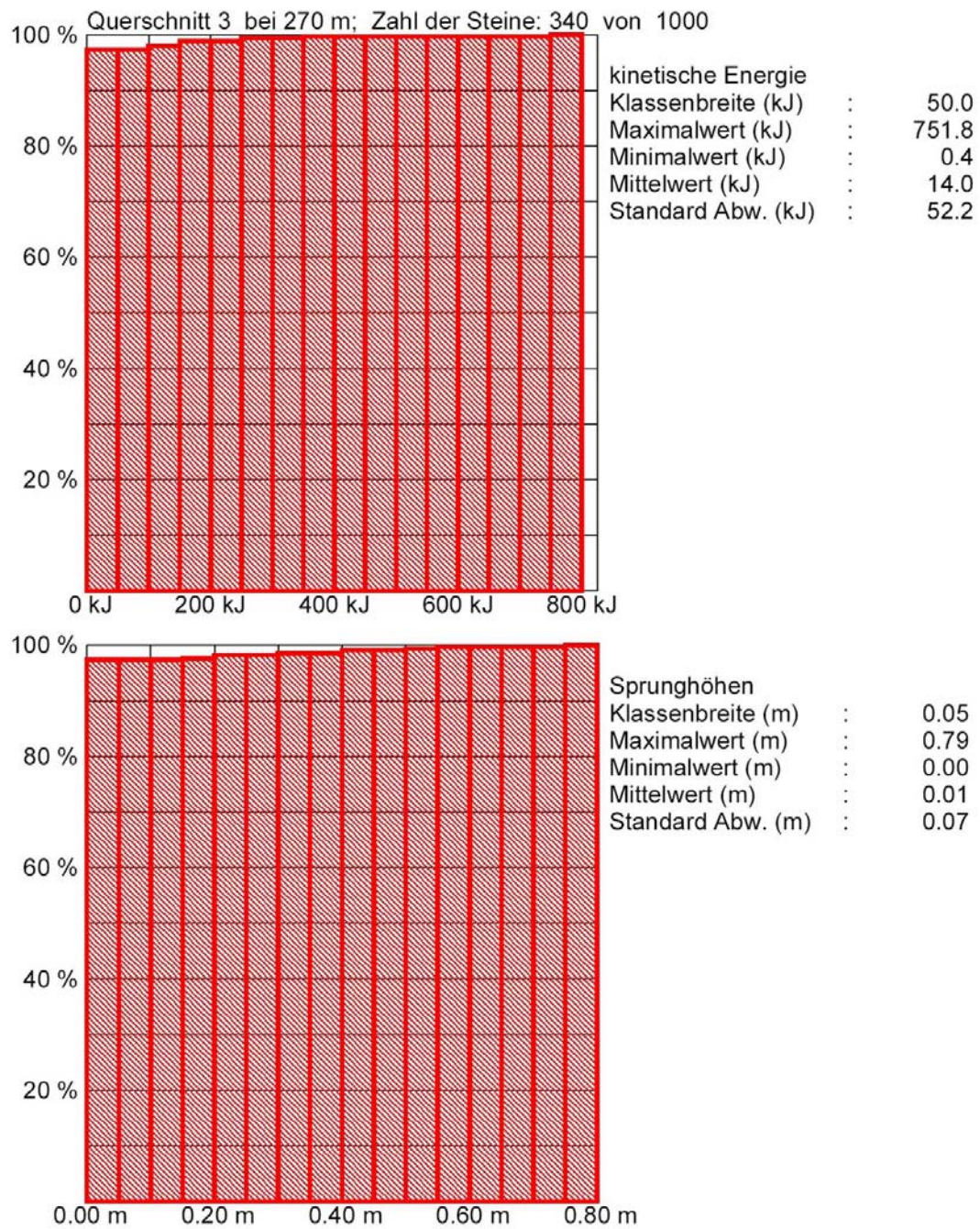


Abb. 39: Summenhistogramm Querschnitt 3 bei 270 m Lauflänge

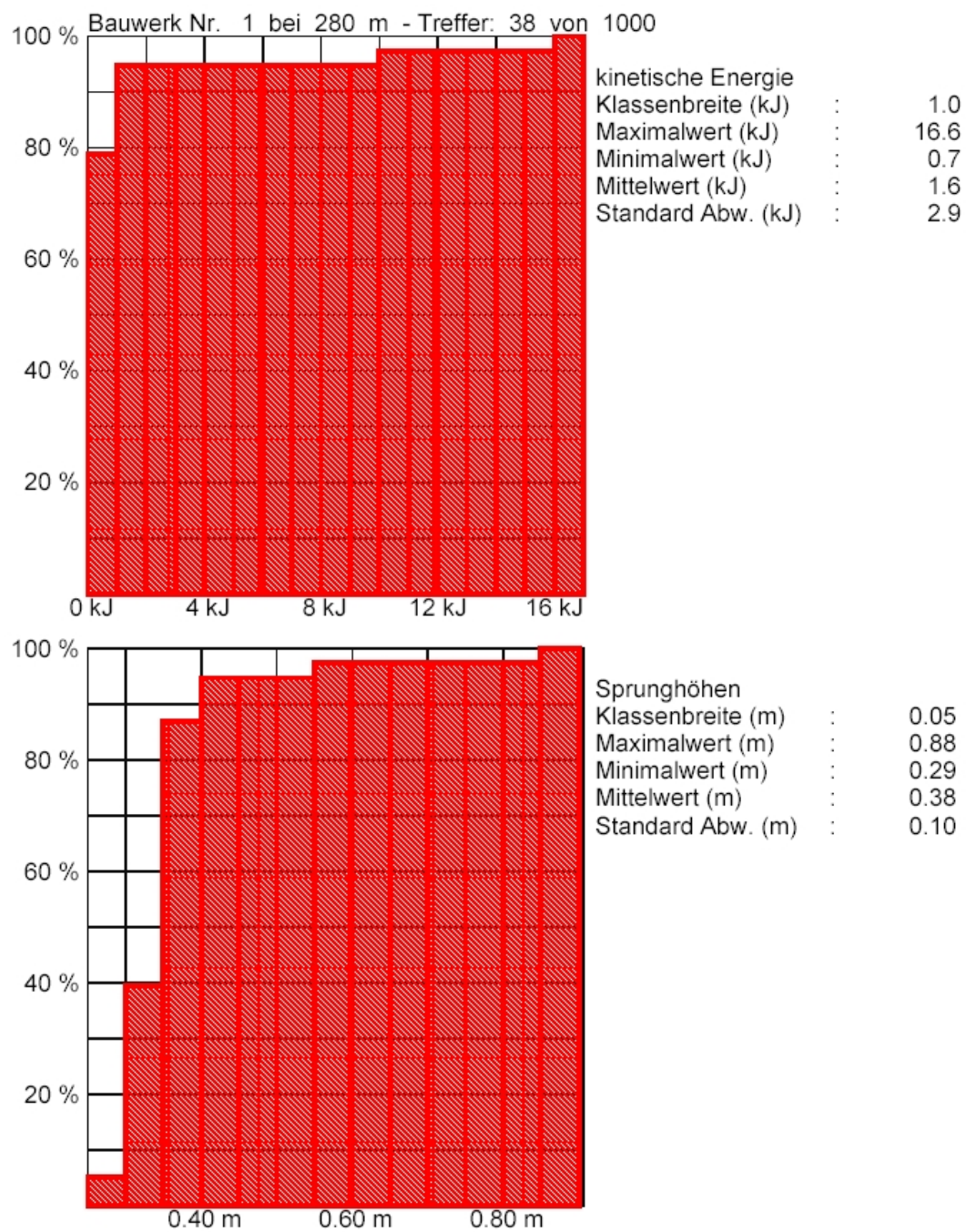


Abb. 40: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 280 m Lauflänge

Trajektorie 2 befindet sich weiter westlich am Hang zwischen zwei Rinnen. Felsrippen liefern in diesem Bereich Schutt. Teils sind steilere Hangstücke anzutreffen mit eher flachgründigem Boden. Große Schuttansammlungen können in der Nähe der Forstwege verzeichnet werden. Im Hangbereich wurden Baumtreffer bis 1,5 m Höhe dokumentiert. Die Trajektorie startet bei der Höhe 604 m und endet bei 375 m Höhe. Die vorherrschende Lithologie ist hier noch die Hieselberg-Formation.

Vorgefundene Maximalblöcke: 0,7 m³

Durchschnittsblockgröße: 0,08 m³

Die verwendeten Lamellen und ihre Eigenschaften sind in Tabelle 3 zu sehen.

Tabelle 3: Die verwendeten Lamellen und ihre Eigenschaften

Lamelle	Lauflänge x [m]	Höhe z [m]	Klasse	Gründigkeit
1	0.00	604.53	Fels	Fels
2	8.89	604.53	Fels	Fels
3	8.89	596.55	Fels	Fels
4	19.30	585.57	Waldboden, Blockwerk	mg
5	37.81	564.66	Waldboden, Blockwerk	mg
6	40.13	562.19	Waldboden	fg
7	69.04	537.15	Waldboden	fg
8	82.93	523.34	Waldboden	fg
9	100.28	508.54	Waldboden	mg
10	107.22	502.80	Waldboden	mg
11	140.76	477.20	Waldboden	mg
12	160.43	461.77	Waldboden	mg
13	213.64	421.84	Waldboden, Blockwerk	mg
14	225.21	414.92	Forstweg	mg
15	227.52	414.64	Waldboden, Blockwerk	mg
16	243.72	402.50	Forststraße	Asphalt
17	249.50	402.44	Waldboden	mg
18	252.97	398.99	Waldboden	mg
19	274.95	387.70	Waldboden	mg
20	279.58	384.20	Waldboden	mg
21	288.83	378.46	Forstweg	mg
22	289.99	378.43	Waldboden	flachgründig

Bei Lauflänge 231 m wurde nach dem unbefestigten Forstweg ein Kontroll-Querschnitt simuliert, sowie bei Lauflänge 253 m nach der asphaltierten Forststraße. Bei 280 m Lauflänge wurde ein Auffangbauwerk mit 5 m Höhe und 40 Grad Inklination simuliert.

Als **erstes**, mögliches **Bemessungsereignis** (Abb. 41) wurde ein Steinschlagblock mit einer Kubatur von 1 m^3 angenommen, der im freien Fall von der Oberkante der genannten Felswand ausbricht.

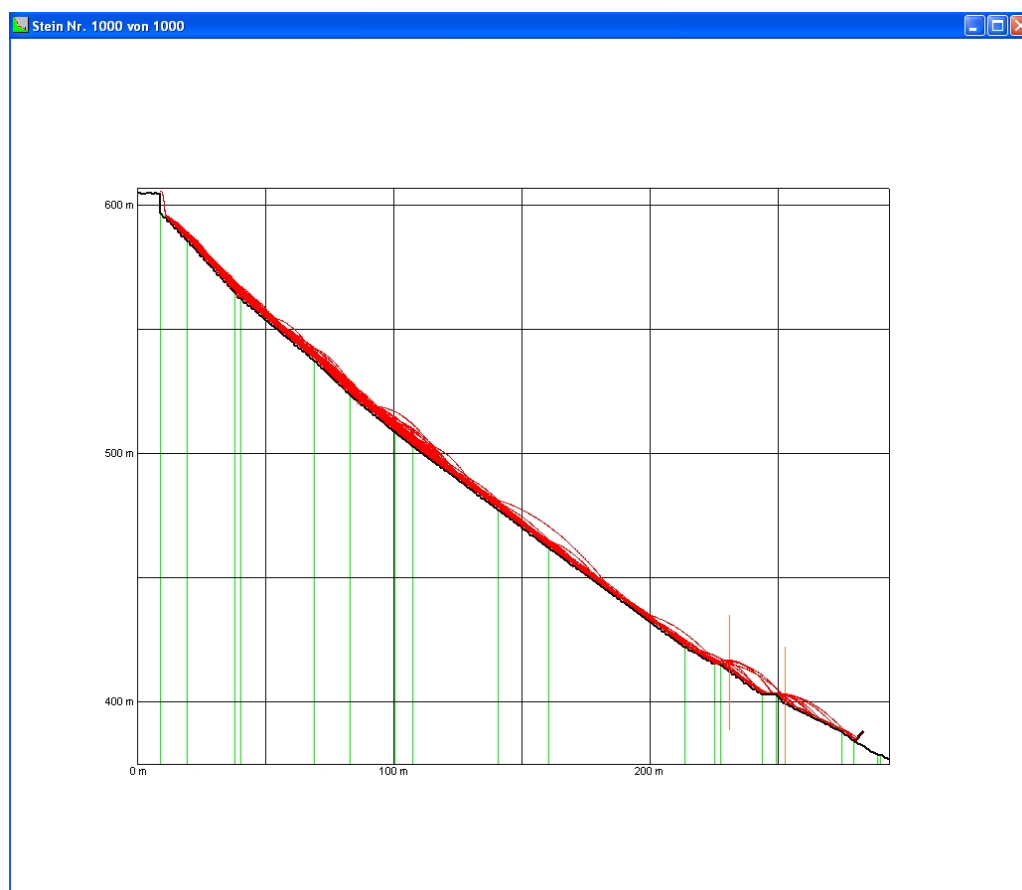


Abb. 41: Profil Trajektorie 2, Bemessungsereignis 1 m^3

Die verwendeten Geländeparameter sind unten veranschaulicht (Abb. 42).

	Oberflächentyp	Rg	V%	Rh	V%	Dn	V%	Dt	V%	Rw	V%	Oa	Of
1	Fels rauh	30	5	40	5	0.070	10	0.920	5	0.020	10	0.45	1.00
2	Wald Schutt Blöcke mässig grob	26	5	32	5	0.035	10	0.840	10	0.090	10	0.30	1.00
3	Waldboden mittelgründig	30	5	42	5	0.020	10	0.820	10	0.120	10	0.15	1.00
4	Waldboden flachgründig	30	5	42	5	0.025	10	0.870	10	0.120	10	0.20	1.00
5	Wiese	28	5	35	5	0.010	0	0.780	10	0.350	10	0.10	1.00
6	Forstweg	32	5	40	5	0.050	5	0.800	5	0.100	5	0.30	1.00
7	Asphaltstrasse	35	5	45	5	0.060	10	0.910	5	0.040	10	0.00	0.00

Abb. 42: Verwendete Parameter Trajektorie 2, Bemessungsereignis 1 m^3

Die Ergebnisse der Modellierung bezüglich kinetischer Energie und Sprunghöhen an den simulierten Kontroll-Querschnitten und an dem Bauwerk sind im Anschluss zu erkennen (Abb. 43 bis Abb. 45).

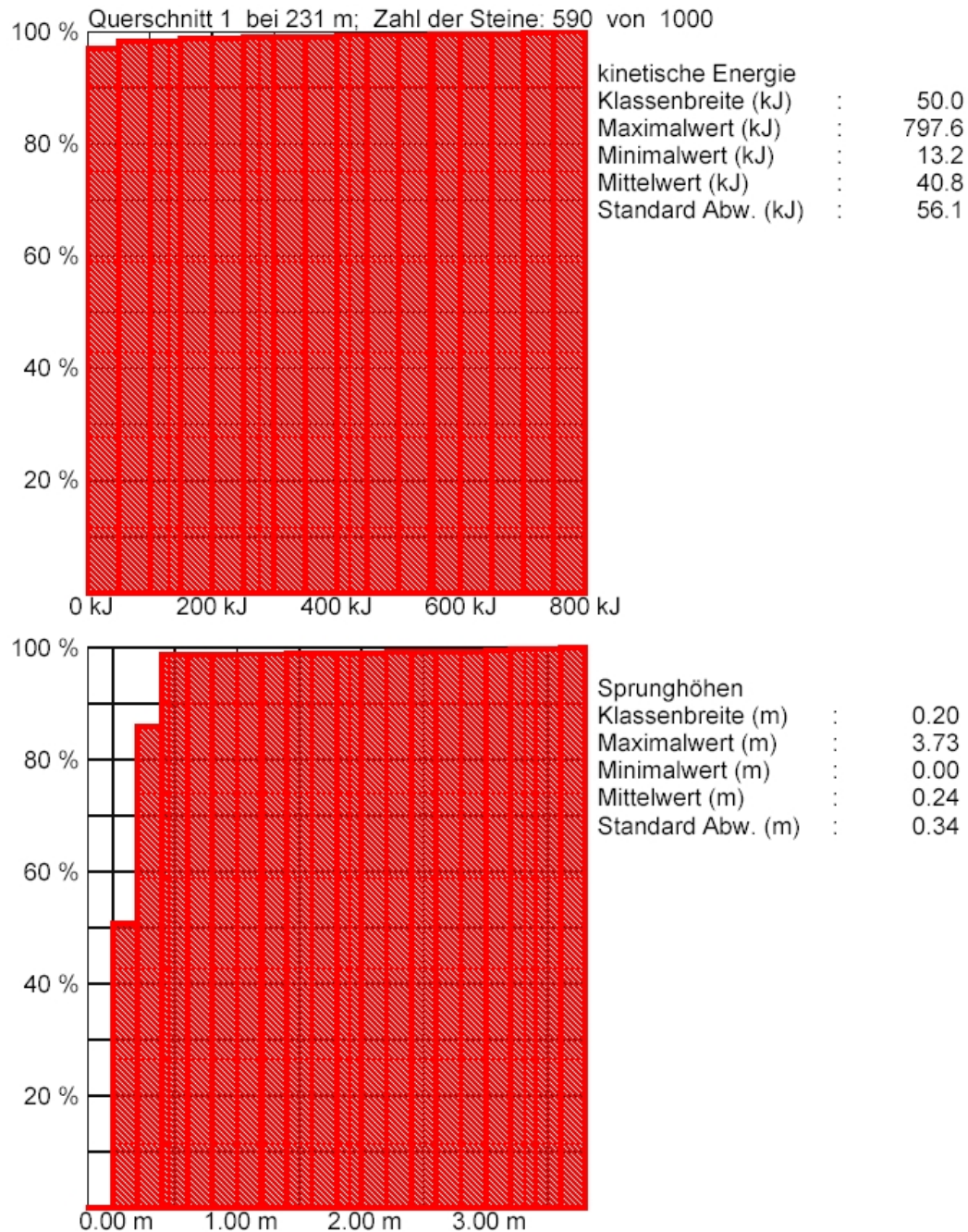


Abb. 43: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 231 m Lauflänge

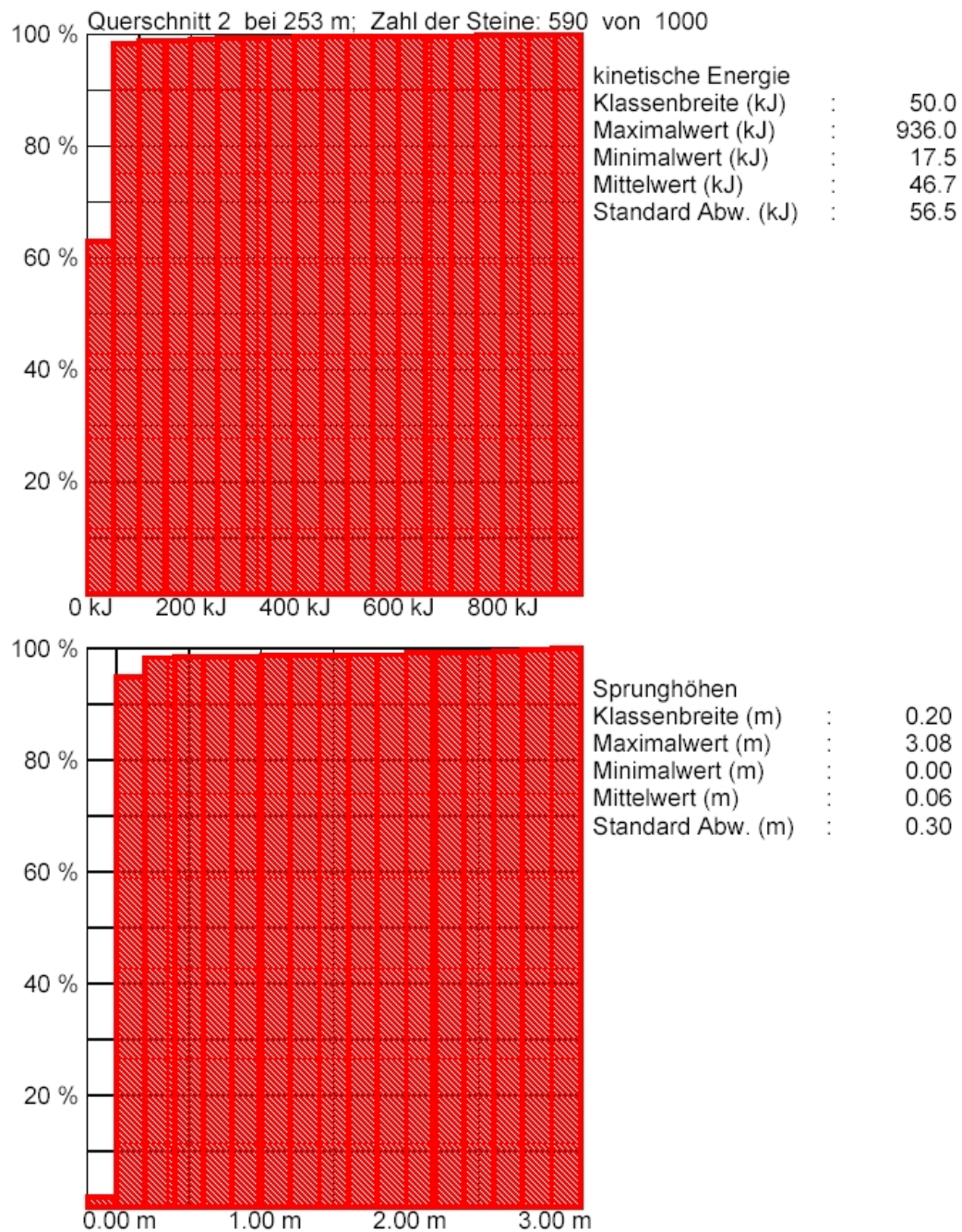


Abb. 44: Summenhistogramm Querschnitt 2 bei 253 m Lauflänge

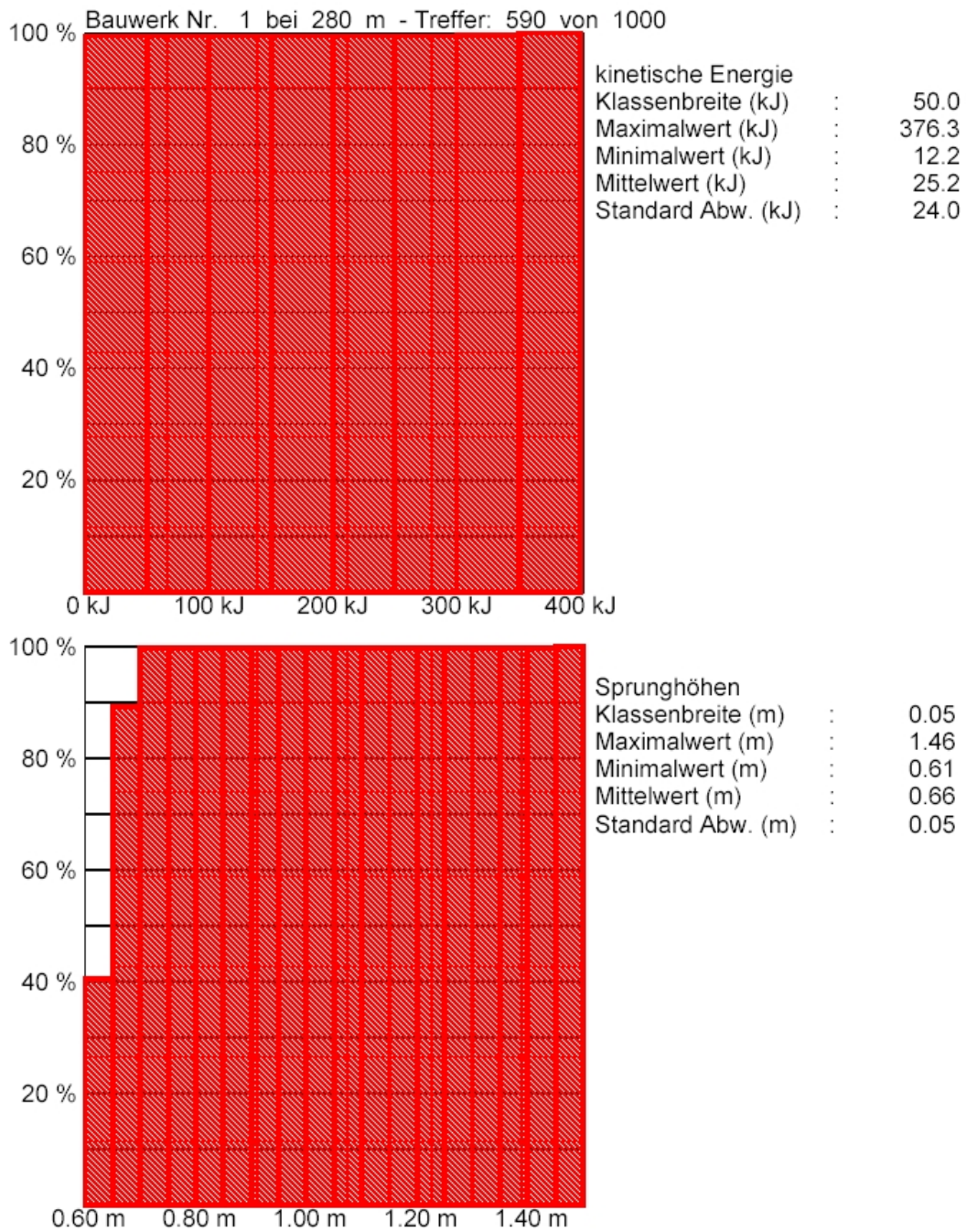


Abb. 45: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 280 m Lauflänge

Als **zweites**, wahrscheinliches **Bemessungsereignis** (Abb. 46) wurde ein Steinschlagblock mit einer Kubatur von $0,1 \text{ m}^3$ angenommen, der im freien Fall von der Oberkante der genannten Felswand ausbricht.

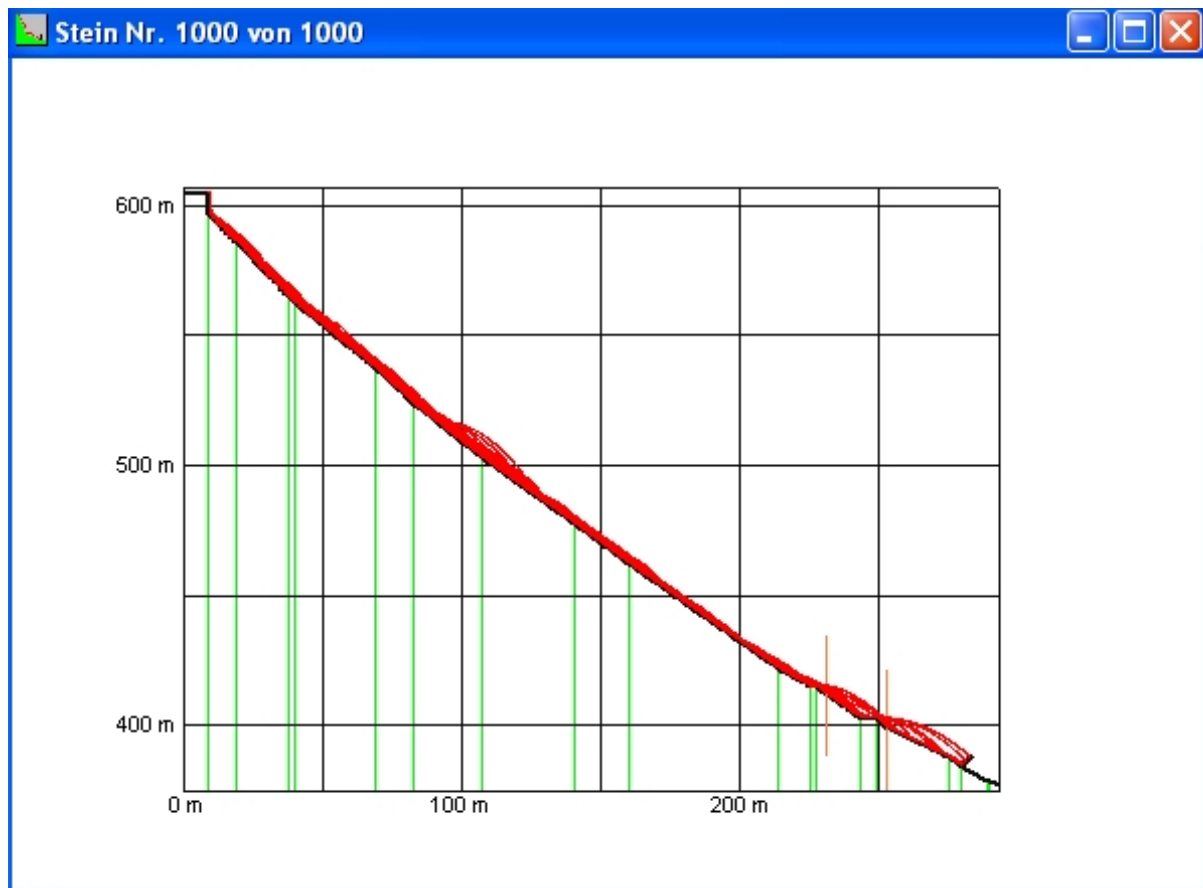


Abb. 46: Profil Trajektorie 2, Bemessungsereignis 0,1 m³

Die für Trajektorie 2 verwendeten Geländeparameter sind in folgender Tabelle (Abb. 47) veranschaulicht.

	Oberflächentyp	Rg	V%	Rh	V%	Dn	V%	Dt	V%	Rw	V%	Oa	Of
1	Fels rauh	30	5	40	5	0.070	10	0.920	5	0.020	10	0.45	1.00
2	Wald Schutt Blöcke mässig grob	26	5	32	5	0.035	10	0.840	10	0.090	10	0.30	1.00
3	Waldboden mittelgründig	30	5	42	5	0.020	10	0.820	10	0.120	10	0.15	1.00
4	Waldboden flachgründig	30	5	42	5	0.025	10	0.870	10	0.120	10	0.20	1.00
5	Wiese	28	5	35	5	0.010	0	0.780	10	0.350	10	0.10	1.00
6	Forstweg	32	5	40	5	0.050	5	0.800	5	0.100	5	0.30	1.00
7	Asphaltstrasse	35	5	45	5	0.060	10	0.910	5	0.040	10	0.00	0.00

Abb. 47: Verwendete Parameter Trajektorie 2, Bemessungsereignis 0,1 m³

Die resultierenden kinetischen Energien und Sprunghöhen sind im Anschluss zu erkennen (Abb. 48 bis Abb. 50).

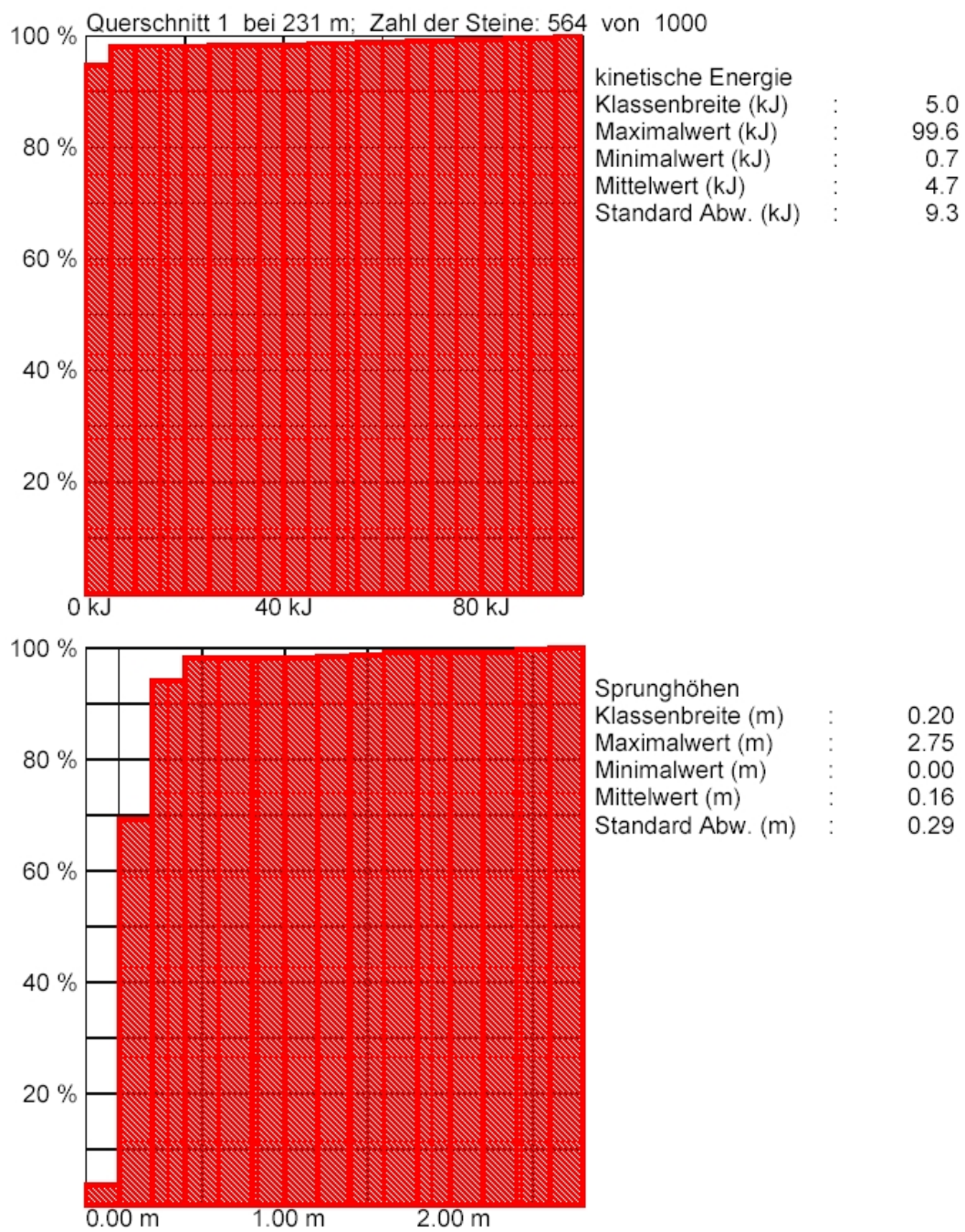


Abb. 48: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 231 m Lauflänge

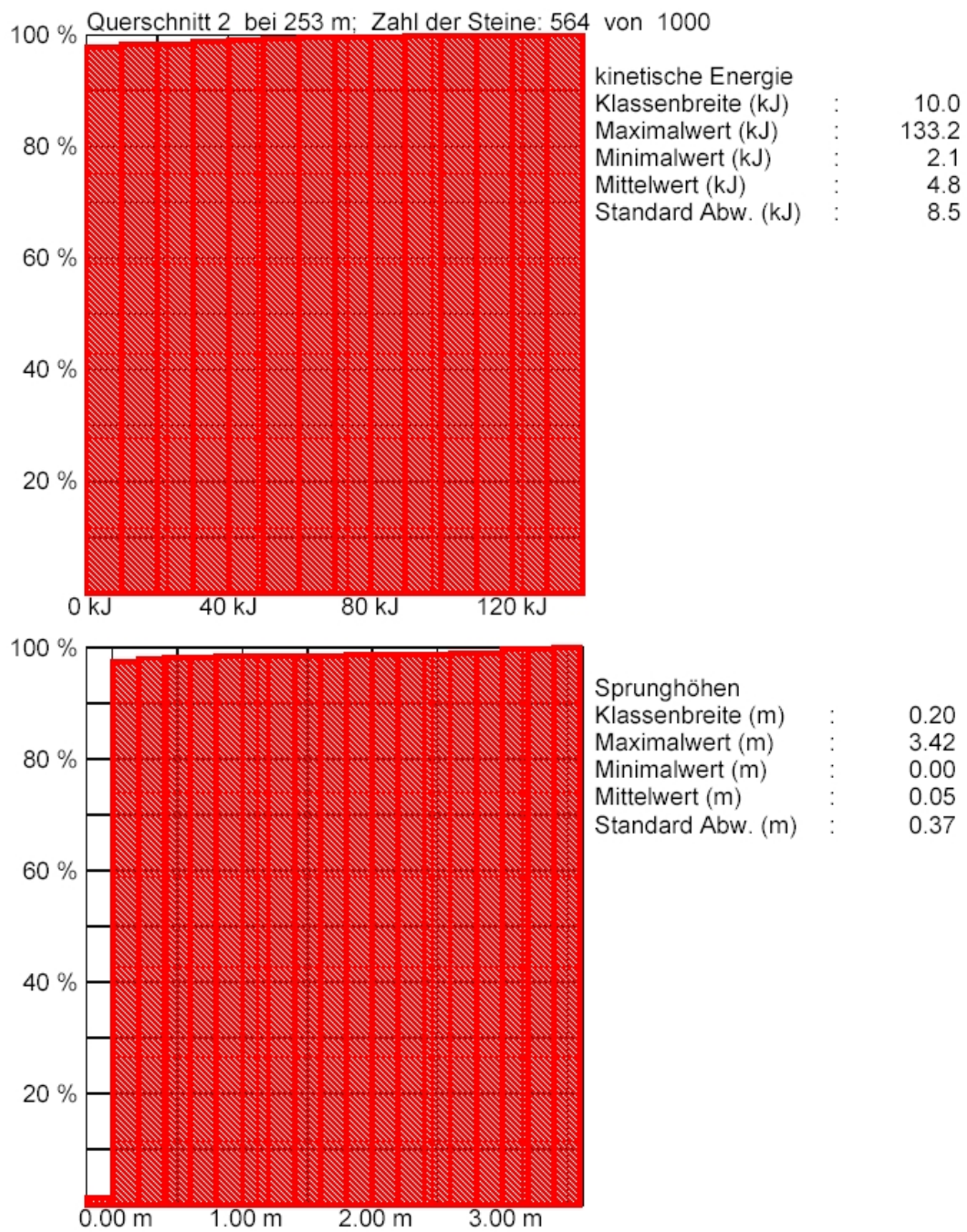


Abb. 49: Summenhistogramm Querschnitt 2 bei 253 m Lauflänge

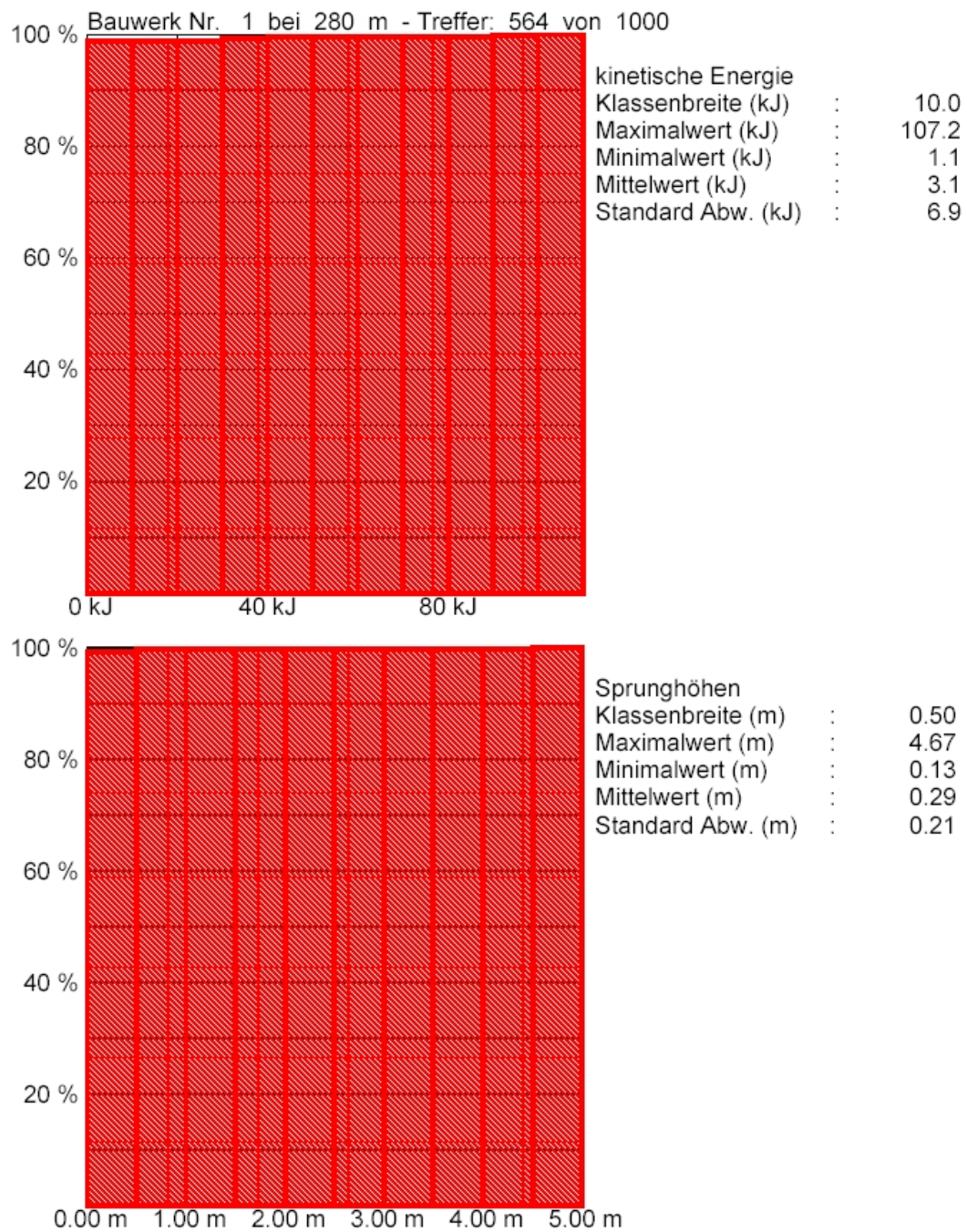


Abb. 50: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 280 m Lauflänge

Trajektorie 3 wurde weiter westlich, ebenfalls zwischen zwei Rinnen, angelegt. Die Lithologie wechselt zwischen Trajektorie 2 und 3 auf Hauptdolomit, den wir hier antreffen. Im Bereich der Trajektorie 3 ist viel Blockwerk und auch Schutt zu finden. Markante Felsrippen durchziehen den Hang oberhalb der Forstraße. Auf dieser und auf dem Bahngleis wurden im Bereich der gelegten Trajektorie nach Regenfällen Blöcke mit 15 cm Kantenlänge gefunden.

Die Trajektorie reicht von der Höhe 480 m bis 375 m und ist 135 m lang.

Vorgefundene Maximalblöcke: 1 m^3

Durchschnittsblockgröße: $0,12 \text{ m}^3$

Die verwendeten Lamellen und ihre Eigenschaften sind in Tabelle 4 zu sehen.

Tabelle 4: Die verwendeten Lamellen und ihre Eigenschaften

Lamelle	Lauflänge x [m]	Höhe z [m]	Klasse	Gründigkeit
1	0.00	483.36	Fels	Fels
2	8.71	483.36	Fels	Fels
3	8.71	476.44	Fels	Fels
4	18.39	466.40	Waldboden, Blockwerk	mg
5	31.69	453.03	Waldboden, Blockwerk	mg
6	37.74	447.69	Waldboden, Blockwerk	mg
7	48.62	437.74	Waldboden, Blockwerk	mg
8	60.72	425.41	Waldboden, Blockwerk	mg
9	66.77	416.69	Forststraße	Asphalt
10	71.60	416.43	Waldboden, Blockwerk	mg
11	75.23	413.37	Waldboden, Blockwerk	mg
12	89.75	401.70	Waldboden, Blockwerk	mg
13	106.68	391.10	Waldboden, Blockwerk	mg
14	123.61	383.23	Waldboden	fg
15	134.50	377.52	Waldboden	fg

Bei Lauflänge 75 m wurde nach der Forststraße ein Kontroll-Querschnitt simuliert. Bei 140 m Lauflänge wurde ein Auffangbauwerk mit 5 m Höhe und 40 Grad Inklination simuliert.

Als **erstes**, mögliches **Bemessungsereignis** (Abb. 51) wurde ein Steinschlagblock mit einer Kubatur von 1 m^3 angenommen, der im freien Fall von der Oberkante der genannten Felswand ausbricht.

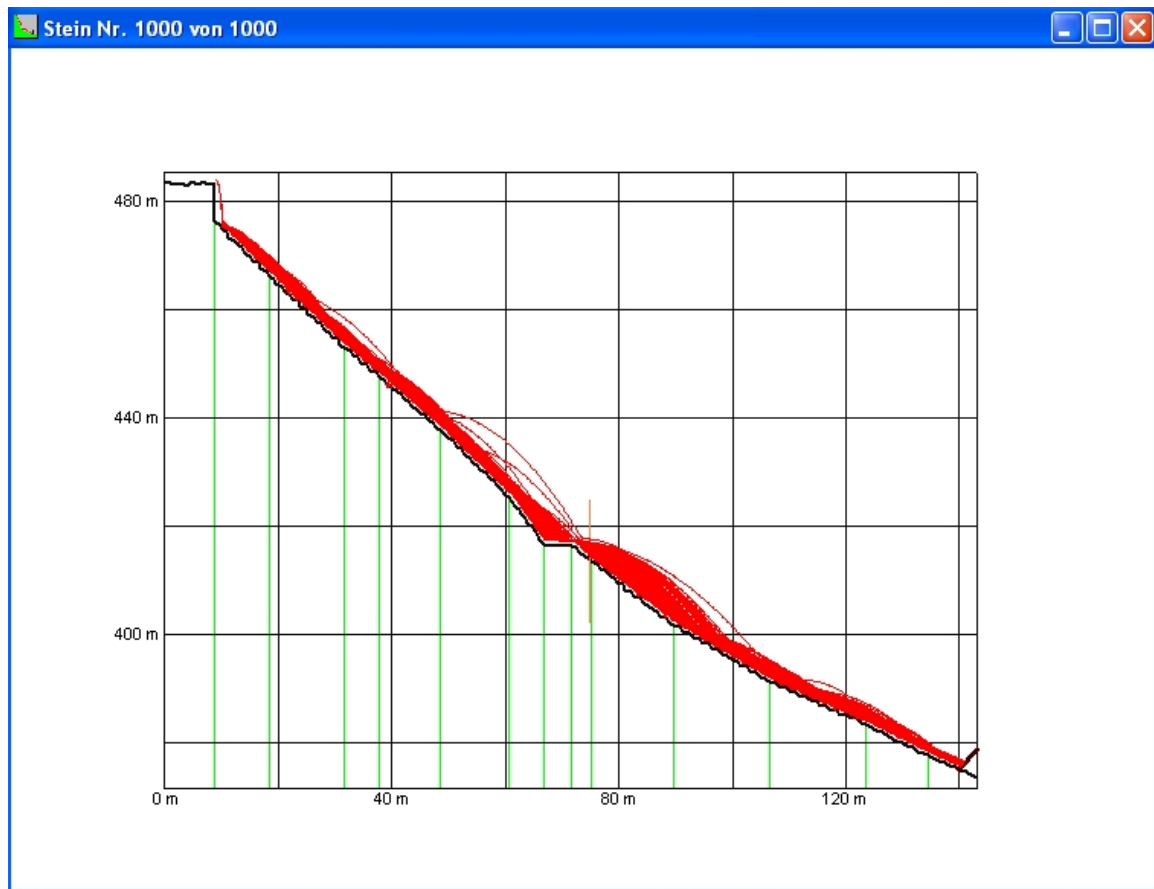


Abb. 51: Profil Trajektorie 3, Bemessungsereignis 1 m^3

Die verwendeten Geländeparameter sind unten zu sehen (Abb. 52).

	Oberflächentyp	Rg	V%	Rh	V%	Dn	V%	Dt	V%	Rw	V%	Oa	Of
1	Fels rauh	30	5	40	5	0.070	10	0.920	5	0.020	10	0.45	1.00
2	Wald Schutt Blöcke mässig grob	26	5	32	5	0.035	10	0.840	10	0.090	10	0.30	1.00
3	Waldboden mittelgründig	30	5	42	5	0.020	10	0.820	10	0.120	10	0.15	1.00
4	Waldboden flachgründig	30	5	42	5	0.025	10	0.870	10	0.120	10	0.20	1.00
5	Wiese	28	5	35	5	0.010	0	0.780	10	0.350	10	0.10	1.00
6	Forstweg	32	5	40	5	0.050	5	0.750	5	0.100	5	0.50	1.00
7	Asphaltstrasse	35	5	45	5	0.060	10	0.910	5	0.040	10	0.00	0.00
8													

Abb. 52: Verwendete Parameter Trajektorie 3, Bemessungsereignis 1 m^3

Die Ergebnisse der Modellierung sind im Anschluss zu sehen (Abb. 53 und Abb. 54).

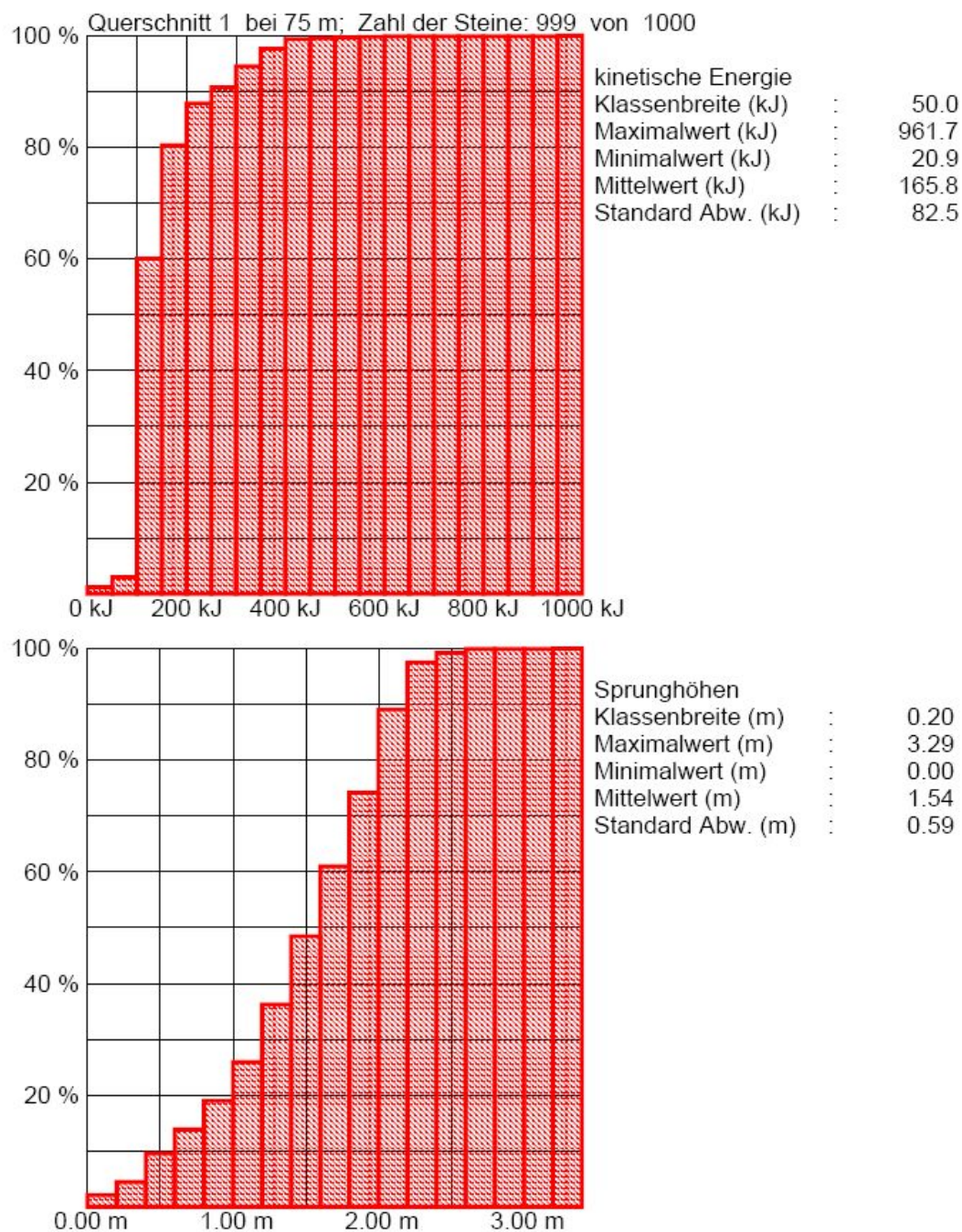


Abb. 53: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 75 m Lauflänge

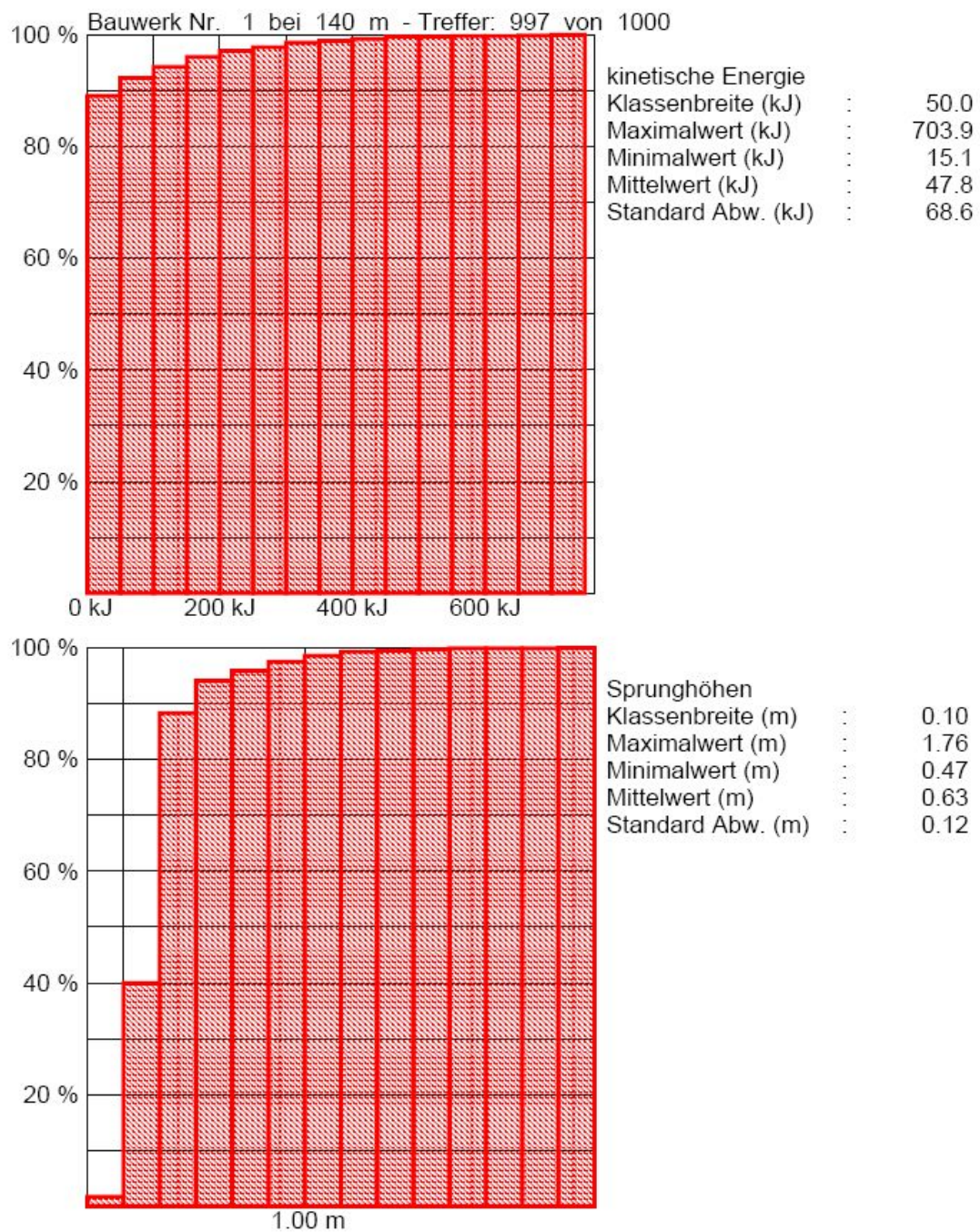


Abb. 54: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 140 m Lauflänge

Als **zweites**, wahrscheinliches **Bemessungsereignis** (Abb. 55) wurde ein Steinschlagblock mit einer Kubatur von $0,1 \text{ m}^3$ angenommen, der im freien Fall von der Oberkante der genannten Felswand ausbricht.

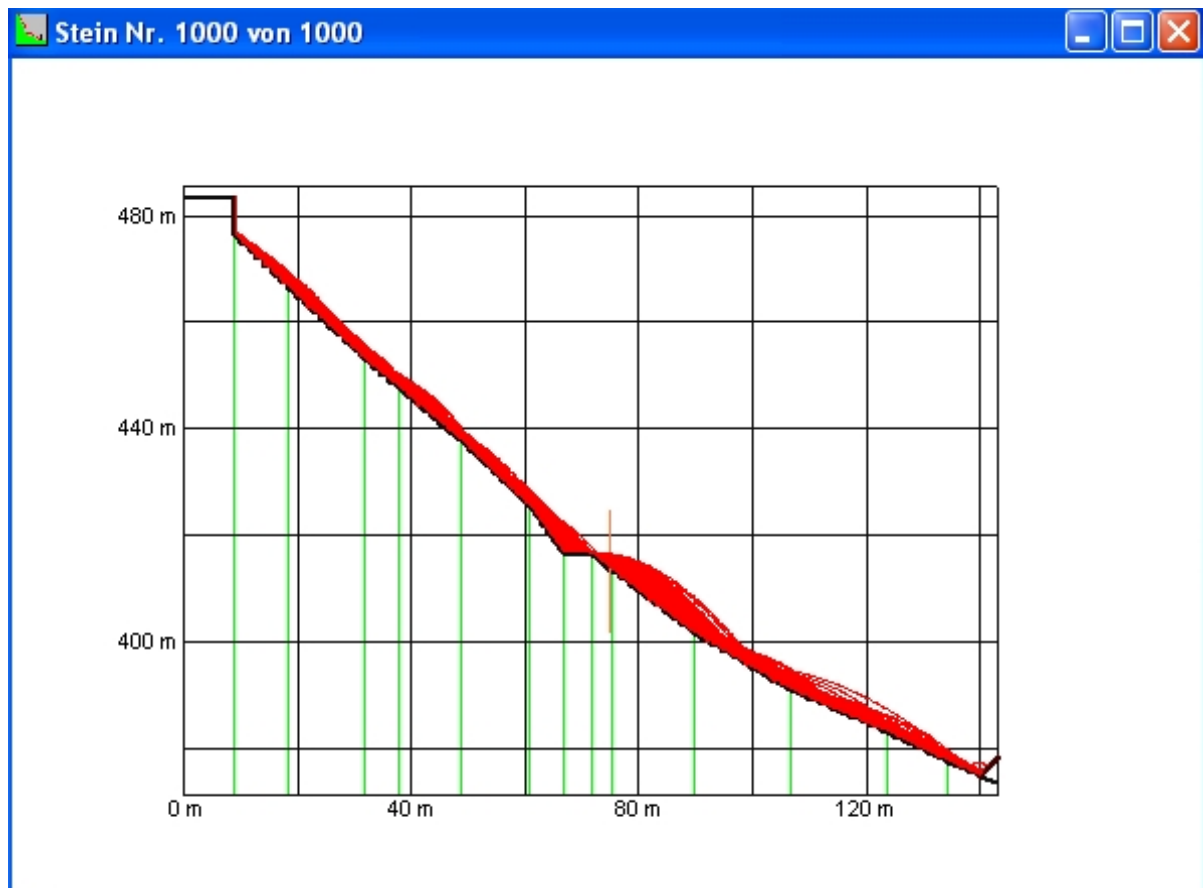


Abb. 55: Profil Trajektorie 3, Bemessungsereignis 0,1 m³

Die verwendeten Geländeparameter sind unten zu sehen (Abb. 56).

	Oberflächentyp	Rg	V%	Rh	V%	Dn	V%	Dt	V%	Rw	V%	Qa	Of
1	Fels rauh	30	5	40	5	0.070	10	0.920	5	0.020	10	0.45	1.00
2	Wald Schutt Blöcke mässig grob	26	5	32	5	0.035	10	0.840	10	0.090	10	0.30	1.00
3	Waldboden mittelgründig	30	5	42	5	0.020	10	0.820	10	0.120	10	0.15	1.00
4	Waldboden flachgründig	30	5	42	5	0.025	10	0.870	10	0.120	10	0.20	1.00
5	Wiese	28	5	35	5	0.010	0	0.780	10	0.350	10	0.10	1.00
6	Forstweg	32	5	40	5	0.050	5	0.750	5	0.100	5	0.50	1.00
7	Asphaltstrasse	35	5	45	5	0.060	10	0.910	5	0.040	10	0.00	0.00
8													

Abb. 56: Verwendete Parameter Trajektorie 3, Bemessungsereignis 0,1 m³

Die Ergebnisse der Modellierung sind im Anschluss veranschaulicht (Abb. 57 und Abb. 58).

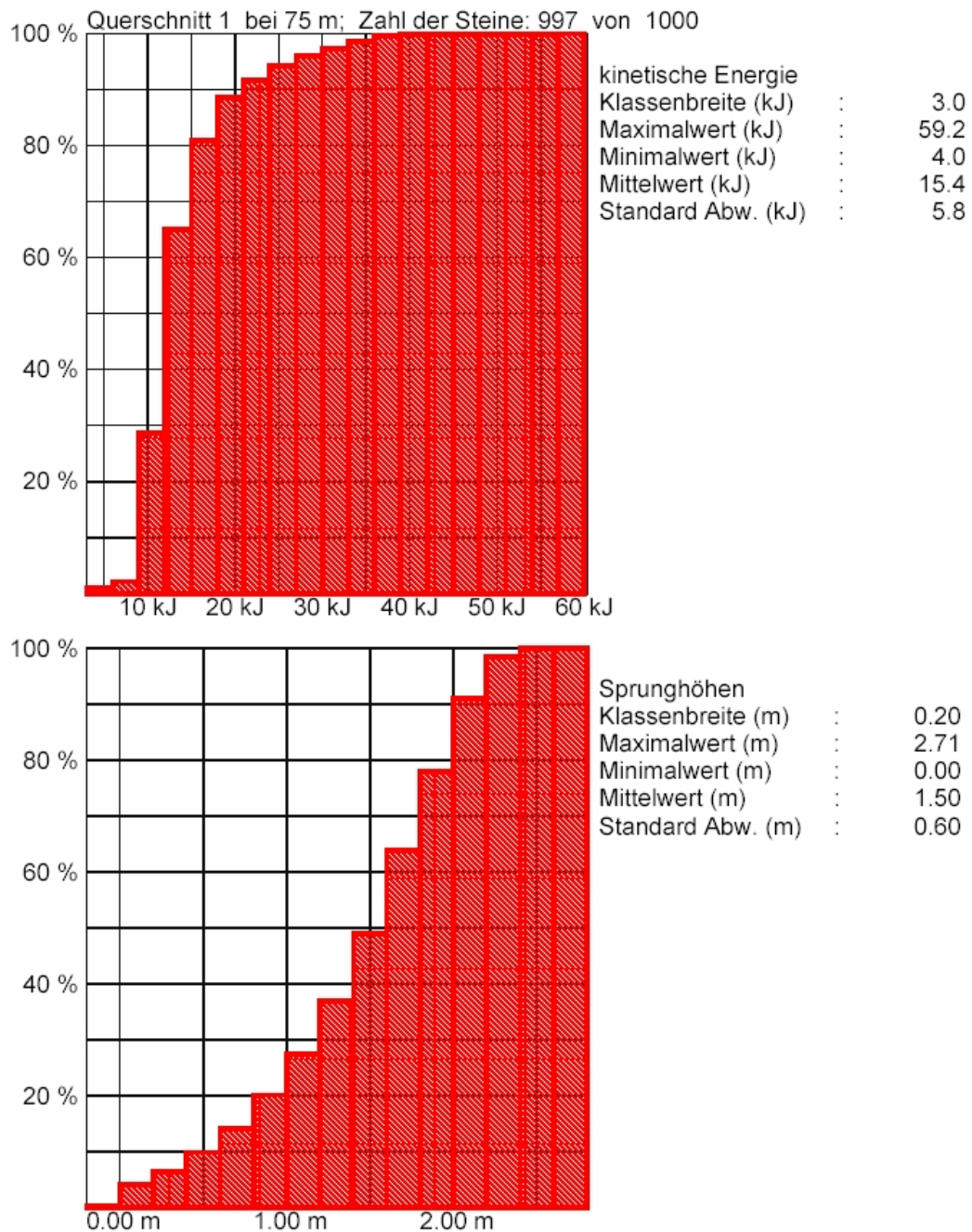


Abb. 57: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 75 m Lauflänge

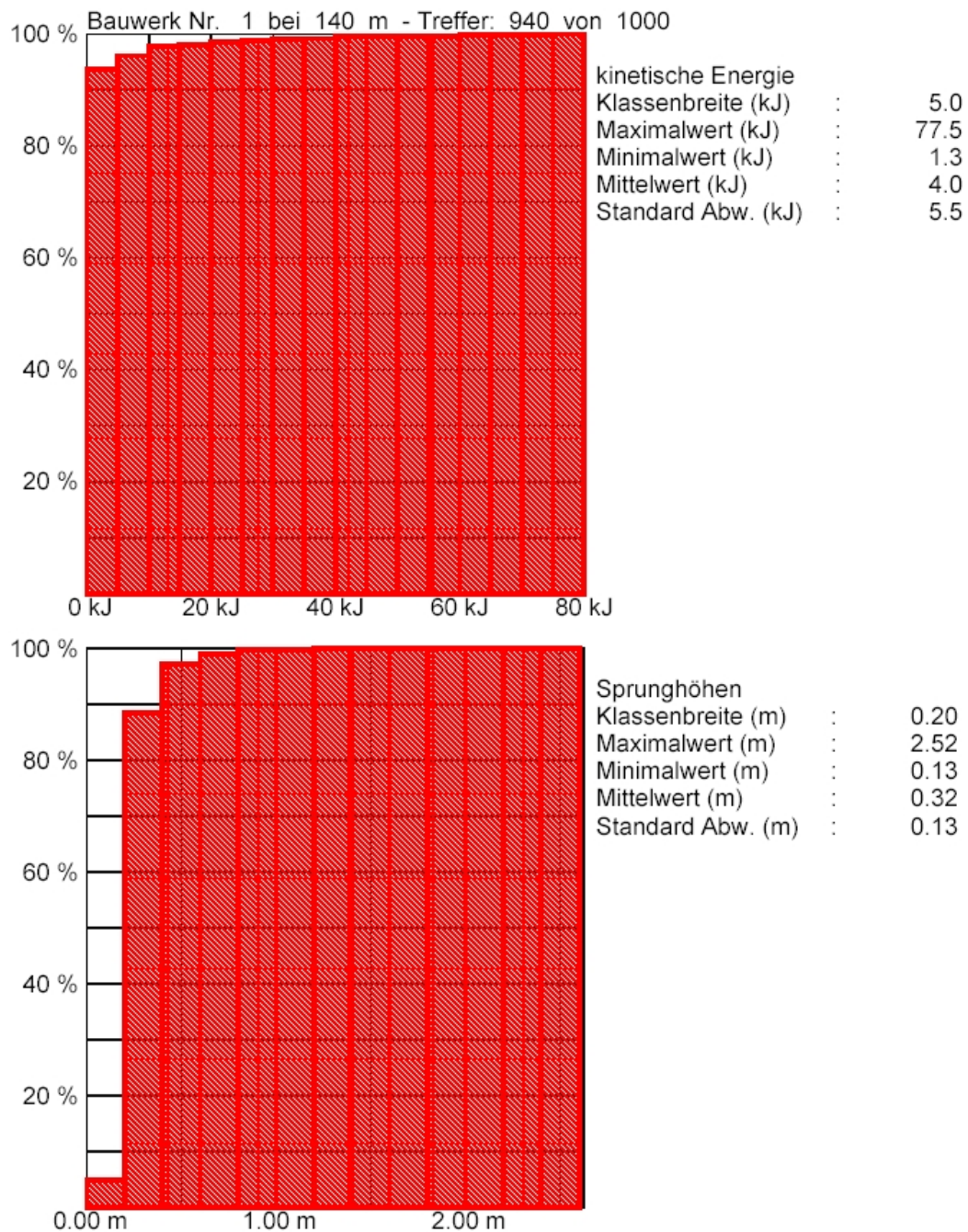


Abb. 58: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 140 m Lauflänge

Trajektorie 4 liegt weiter westlich den Hang entlang und geht von einer großen Felsnase in Höhe von 700 m aus. Sie reicht bis zu einer Höhe von 375 m und ist 427 m lang. Große Blöcke (bis 1 m Kantenlänge) können hier ausbrechen und es herrscht eine steile Hanggeometrie. Schuttablagerungen mit Blöcken um $0,1 \text{ m}^3$ und $0,05 \text{ m}^3$ wurden vermehrt angetroffen. Baumtreffer bis knapp 1 m Höhe konnten verzeichnet werden, direkt unter der Felsnase sogar bis zu 2 m oder 3 m Höhe. Weiter unterhalb der Felsnase wurden Blöcke mit bis zu $1,2 \text{ m}^3$ und $1,5 \text{ m}^3$ aufgenommen.

Vorgefundene Maximalblöcke: $1,5 \text{ m}^3$

Durchschnittsblockgröße: $0,16 \text{ m}^3$

Die verwendeten Lamellen und ihre Eigenschaften sind in Tabelle 5 zu sehen.

Tabelle 5: Die verwendeten Lamellen und ihre Eigenschaften

Lamelle	Lauflänge x	Höhe z	Klasse	Gründigkeit
1	0,00	728,44	Fels	Fels
2	10,13	728,44	Fels	Fels
3	10,13	693,53	Fels	Fels
4	21,50	685,12	Waldboden, Blockwerk	mg
5	44,26	666,79	Waldboden, Blockwerk	mg
6	60,18	654,02	Waldboden, Blockwerk	mg
7	111,38	614,12	Waldboden	fg
8	147,78	589,57	Waldboden	fg
9	164,84	573,71	Waldboden	mg
10	187,59	551,33	Waldboden	mg
11	200,11	537,61	Waldboden	mg
12	218,31	521,73	Waldboden	mg
13	252,44	492,67	Waldboden, Blockwerk	mg
14	324,11	439,77	Waldboden, Blockwerk	mg
15	333,21	432,15	Waldboden, Blockwerk	mg
16	340,03	429,16	Forststraße	Asphalt
17	344,03	430,16	Waldboden, Blockwerk	mg
18	350,00	427,16	Waldboden, Blockwerk	mg
19	388,95	400,07	Waldboden, Blockwerk	mg
20	426,49	378,27	Waldboden	mg

Bei Lauflänge 335 m wurde vor der Forststraße ein Kontroll-Querschnitt simuliert.
Bei 425 m Lauflänge wurde ein Auffangbauwerk mit 5 m Höhe und 40 Grad Inklination simuliert.

Als **erstes**, mögliches **Bemessungsereignis** (Abb. 59) wurde ein Steinschlagblock mit einer Kubatur von $1,5 \text{ m}^3$ angenommen, der im freien Fall von der Oberkante der genannten Felswand ausbricht.

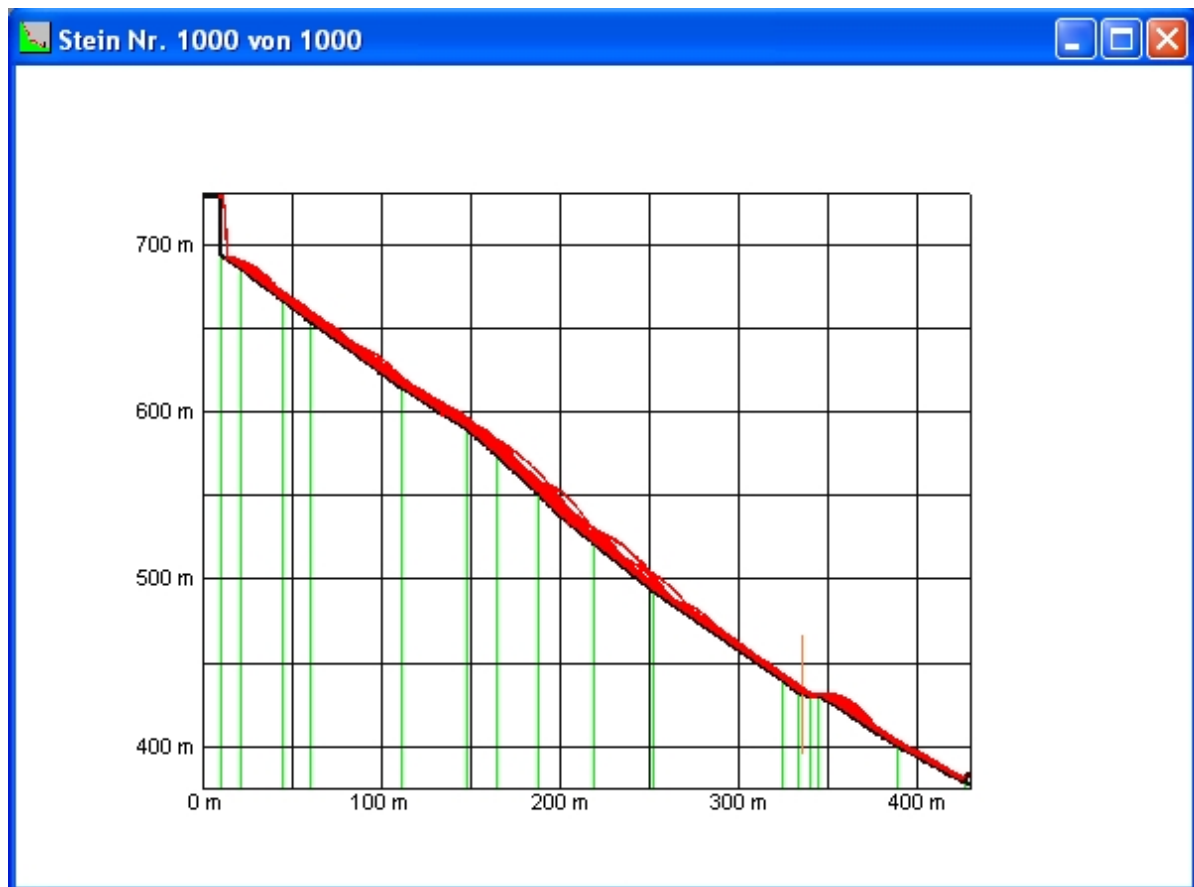


Abb. 59: Profil Trajektorie 4, Bemessungsereignis $1,5 \text{ m}^3$

Die verwendeten Geländeparameter sind unten zu sehen (Abb. 60).

	Oberflächentyp	Rg	V%	Rh	V%	Dn	V%	Dt	V%	Rw	V%	Oa	Of
1	Fels rauh	30	5	40	5	0.070	10	0.920	5	0.020	10	0.45	1.00
2	Wald Schutt Blöcke mässig grob	26	5	32	5	0.030	5	0.840	10	0.090	10	0.30	1.00
3	Waldboden mittelgründig	30	5	42	5	0.020	10	0.820	10	0.120	10	0.15	1.00
4	Waldboden flachgründig	30	5	42	5	0.025	10	0.870	10	0.120	10	0.20	1.00
5	Wiese	28	5	35	5	0.010	0	0.780	10	0.350	10	0.10	1.00
6	Forstweg	32	5	40	5	0.050	5	0.750	5	0.100	5	0.50	1.00
7	Asphaltstrasse	35	5	45	5	0.020	5	0.750	5	0.110	5	0.00	0.00

Abb. 60: Verwendete Parameter Trajektorie 4, Bemessungsereignis $1,5 \text{ m}^3$

Die Ergebnisse bezüglich kinetischen Energien und Sprunghöhen sind im Anschluss dargestellt (Abb. 61 und Abb. 62).

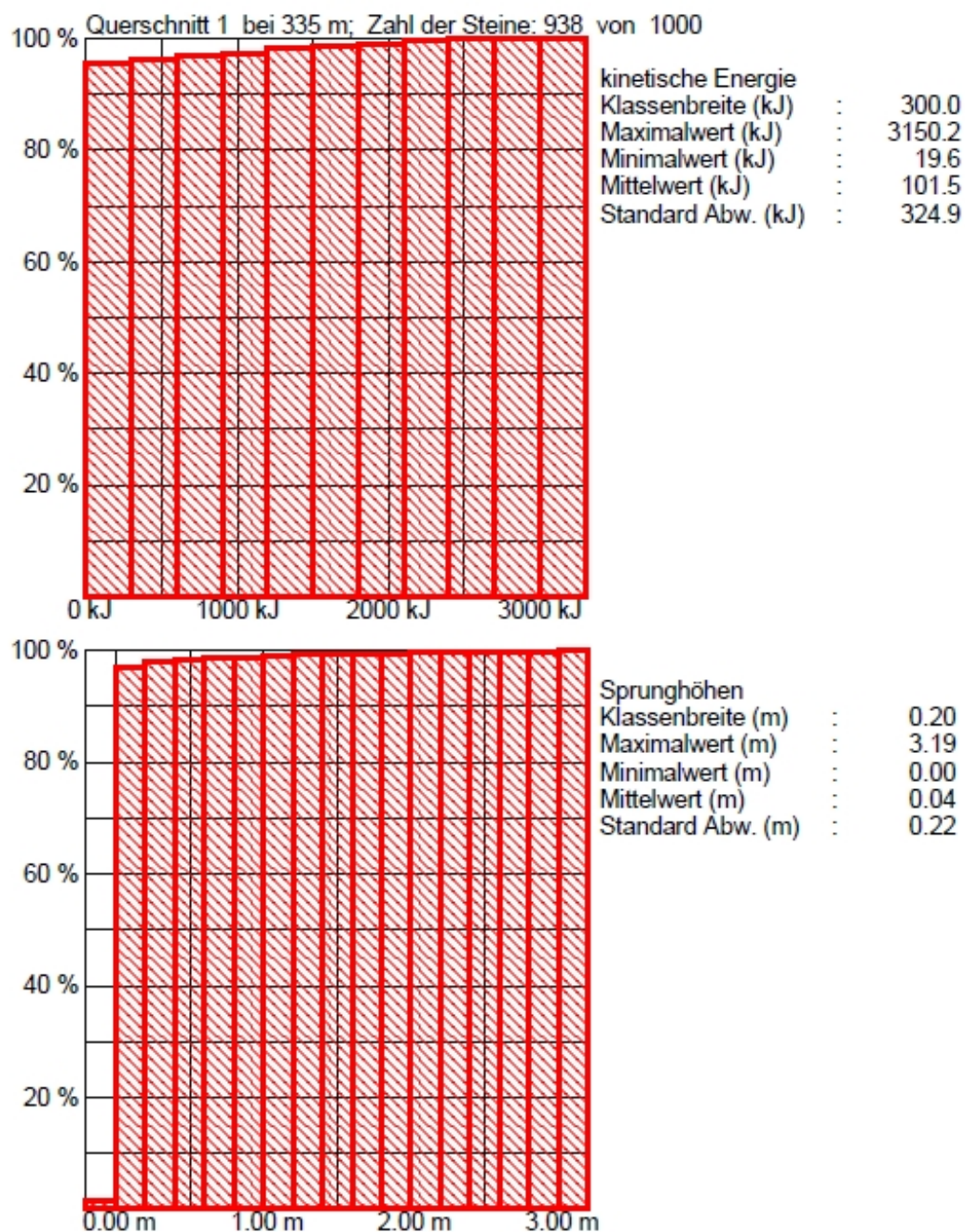


Abb. 61: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 335 m Lauflänge

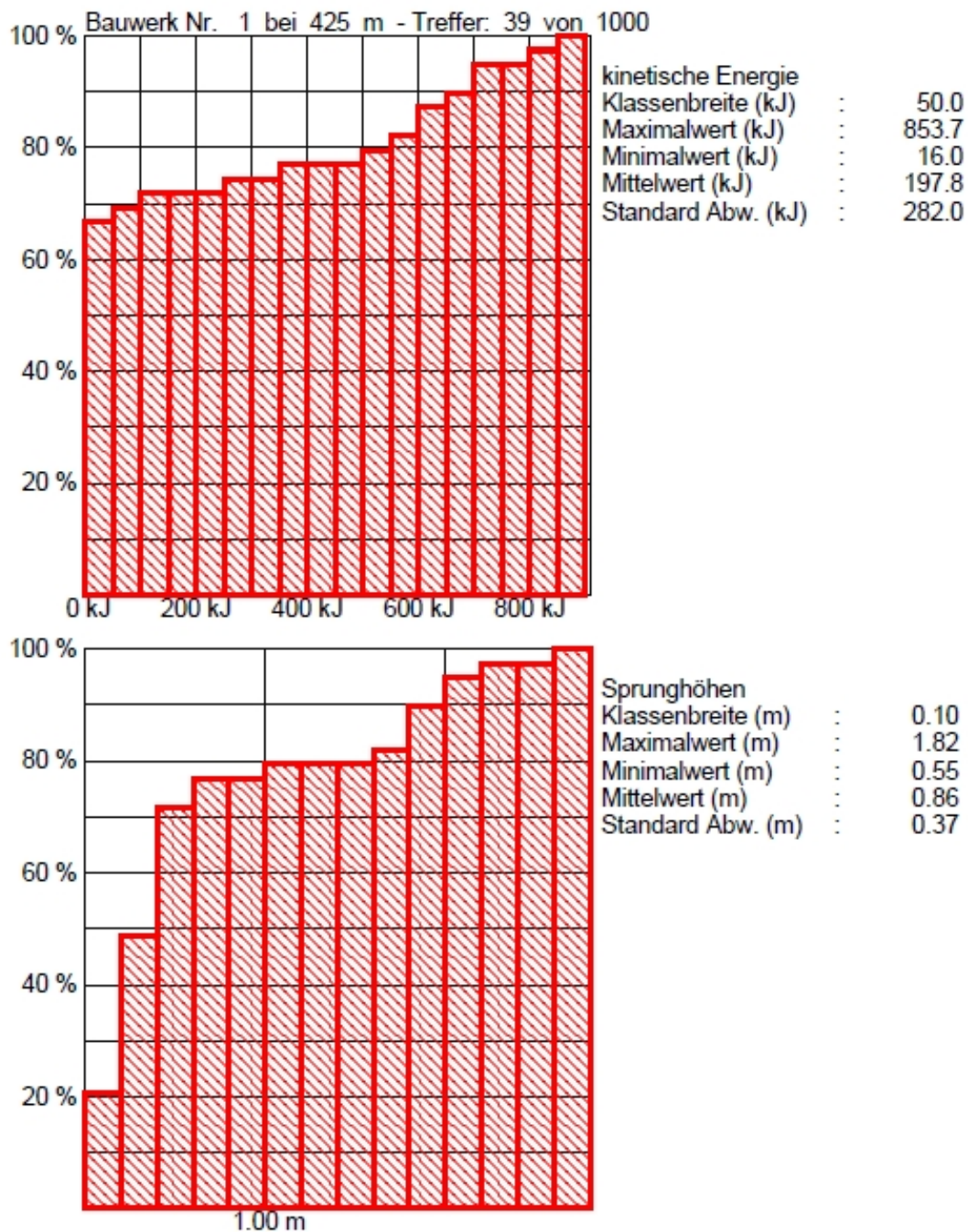


Abb. 62: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 425 m Lauflänge

Als **zweites**, wahrscheinliches **Bemessungsereignis** (Abb. 63) wurde ein Steinschlagblock mit einer Kubatur von $0,1 \text{ m}^3$ angenommen, der im freien Fall von der Oberkante der genannten Felswand ausbricht.

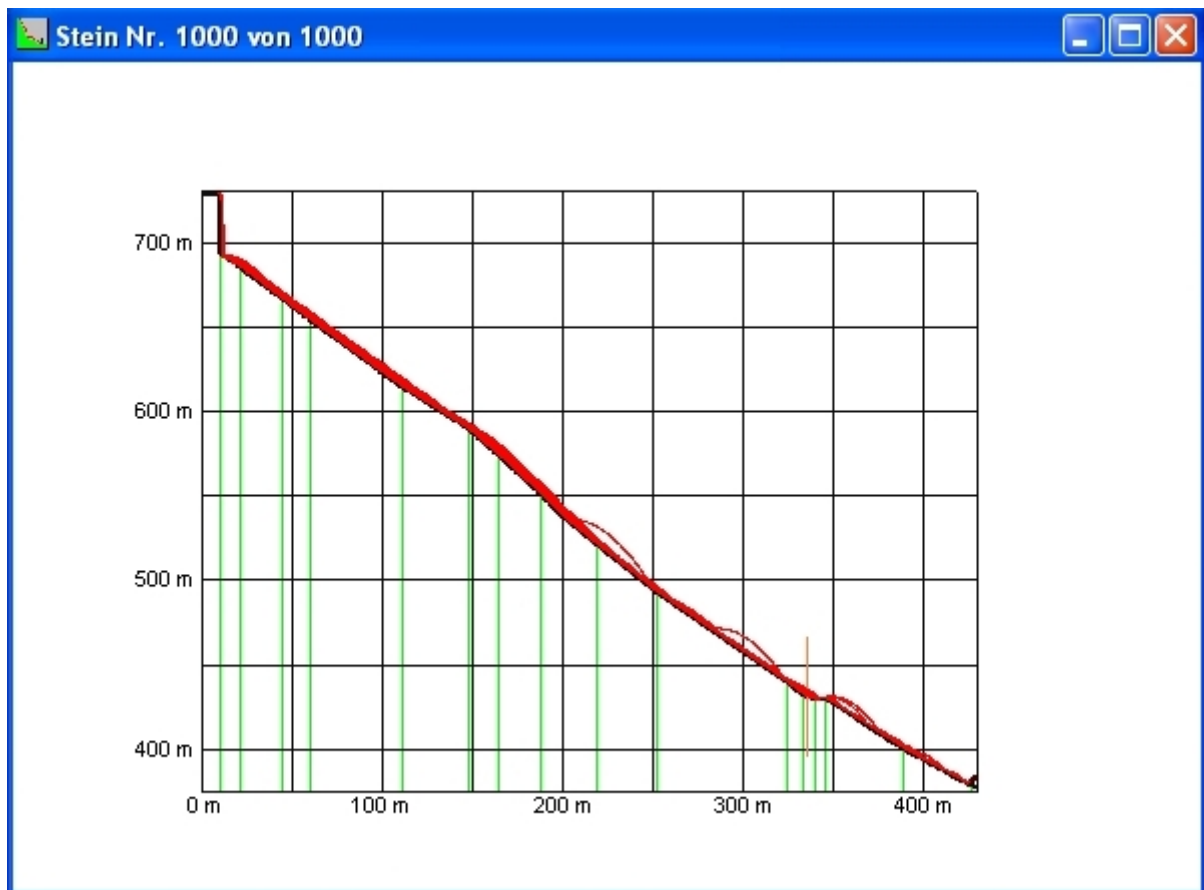


Abb. 63: Profil Trajektorie 4, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$

Die für die Modellierung verwendeten Parameter sind unten zu sehen (Abb. 64).

	Oberflächentyp	Rg	V%	Rh	V%	Dn	V%	Dt	V%	Rw	V%	Oa	Of
1	Fels rauh	30	5	40	5	0.070	10	0.920	5	0.020	10	0.45	1.00
2	Wald Schutt Blöcke mässig grob	26	5	32	5	0.030	5	0.840	10	0.090	10	0.30	1.00
3	Waldboden mittelgründig	30	5	42	5	0.020	10	0.820	10	0.120	10	0.15	1.00
4	Waldboden flachgründig	30	5	42	5	0.025	10	0.870	10	0.120	10	0.20	1.00
5	Wiese	28	5	35	5	0.010	0	0.780	10	0.350	10	0.10	1.00
6	Forstweg	32	5	40	5	0.050	5	0.750	5	0.100	5	0.50	1.00
7	Asphaltstrasse	35	5	45	5	0.020	5	0.750	5	0.110	5	0.00	0.00

Abb. 64: Verwendete Parameter Trajektorie 4, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$

Die Ergebnisse der Modellierung sind im Anschluss den veranschaulicht (Abb. 65 und Abb. 66).

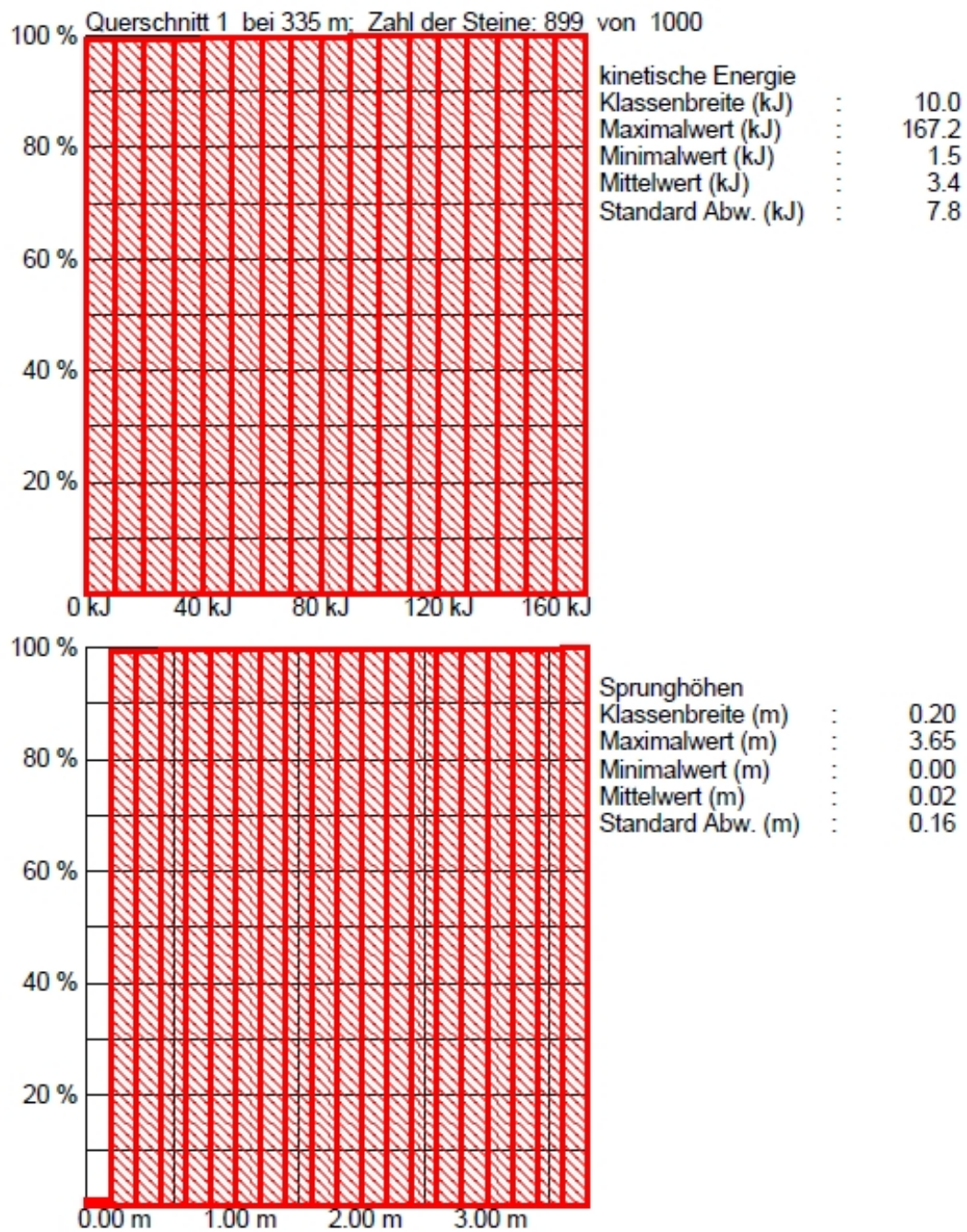


Abb. 65: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 335 m Lauflänge

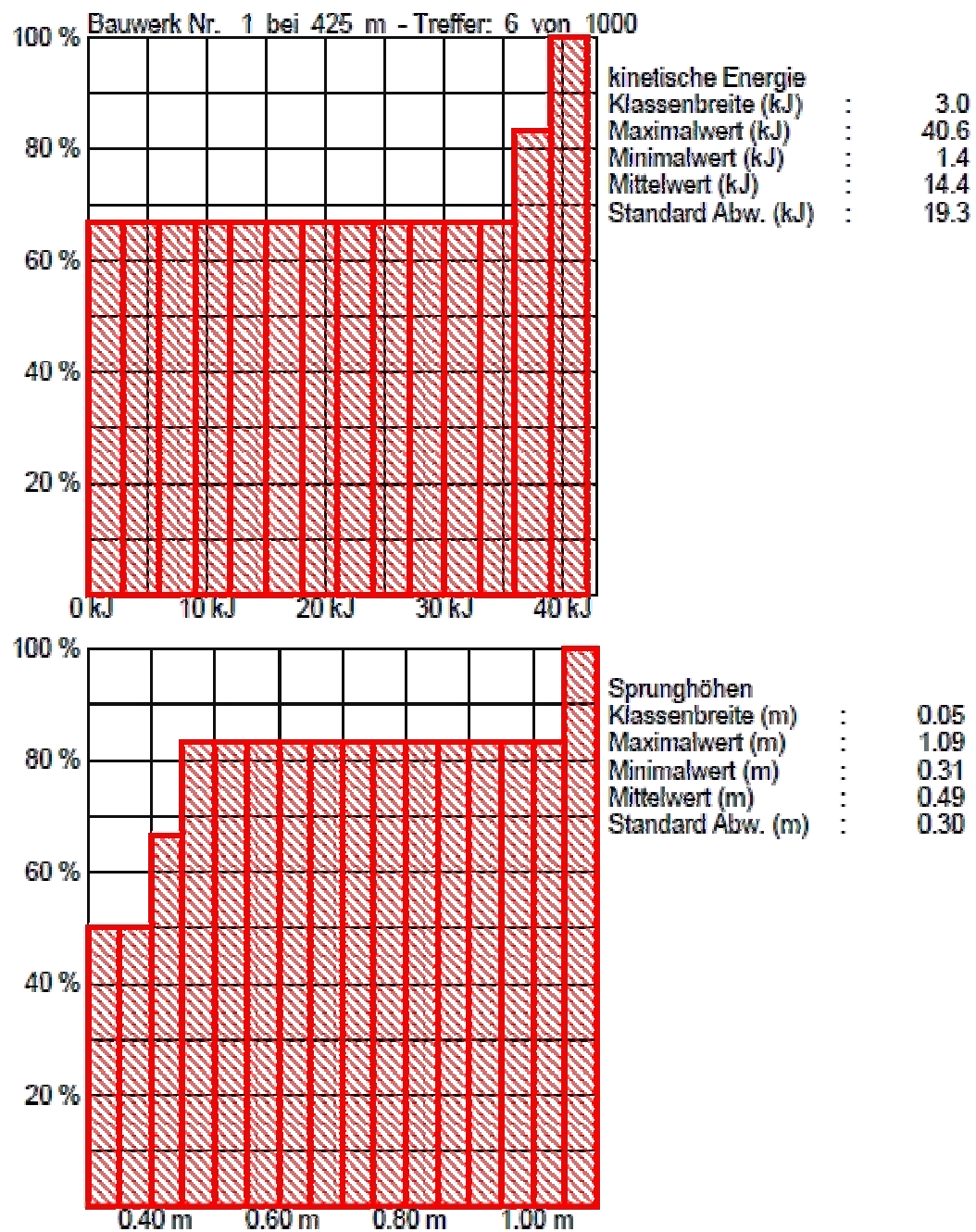


Abb. 66: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 425 m Lauflänge

Trajektorie 5 liegt am westlichsten im bearbeiteten Gebiet. Sie startet im oberen Hangbereich bei 720 m Höhe und hat eine Lauflänge von 505 m. In diesem Hangbereich sind Plattenkalke bankig ausgebildet und weisen Trennflächen auf. Dadurch kann es zum Ausbrechen von „Rädern“ kommen, die sich im schlimmsten Fall rollend bergab fortbewegen können. Bei der Geländebegehung konnten direkt unter den Aufschlüssen Ansammlungen von Blockwerk beobachtet werden, dann folgt ein flachgründiger Waldboden der nur noch vereinzelt Schutt aufweist. Die Trajektorie folgt dann im weiteren Verlauf einer markanten Rinnenstruktur in diesem Bereich des Geländes, die kurz von der asphaltierten Forststraße unterbrochen wird und sich dann fortsetzt. Im unteren Hangbereich sind aufgelockerte Abrissbereiche zu finden, in denen sich Schuttmassen angehäuft haben. Entlang der Rinne sind Stahlsperren und Steinschlagnetze aufgestellt. Im oberen Hangbereich sind diese Sperren bereits in einem schlechten Zustand.

Die vorherrschende Lithologie ist hier Hauptdolomit, im oberen Bereich finden sich vereinzelt die oben erwähnten Plattenkalk-Aufschlüsse.

Bei Lauflänge 390 m wurde ein Kontrollquerschnitt simuliert und bei Lauflänge 470 m ein Auffangbauwerk mit 5 m Höhe und 40 Grad Inklination simuliert.

Vorgefundene Maximalblöcke: $0,9 \text{ m}^3$

Durchschnittsblockgröße: $0,08 \text{ m}^3$

Die bei der Modellierung verwendeten Lamellen und ihre Eigenschaften sind in Tabelle 6 auf der folgenden Seite dargestellt.

Tabelle 6: Die verwendeten Lamellen und ihre Eigenschaften

Lamelle	Lauflänge x [m]	Höhe z [m]	Klasse	Gründigkeit
1	0.00	720.87	Waldboden, Blockwerk	mg
2	47.32	689.07	Waldboden, Blockwerk	mg
3	84.82	661.28	Waldboden	mg
4	154.13	616.28	Waldboden	mg
5	190.97	592.93	Waldboden	fg
6	242.15	561.28	Waldboden	fg
7	301.52	522.16	Waldboden	fg
8	317.54	511.18	Waldboden	fg
9	340.02	496.44	Waldboden	mg
10	357.08	492.77	Waldboden	mg
11	378.20	477.66	Waldboden	mg
12	404.18	456.50	Forststraße	Asphalt
13	410.39	456.52	Waldboden, Blockwerk	mg
14	431.07	439.84	Waldboden, Blockwerk	mg
15	464.16	413.52	Waldboden, Blockwerk	mg
16	488.88	393.62	Waldboden, Blockwerk	mg
17	493.24	389.31	Waldboden, Blockwerk	mg
18	496.51	386.83	Waldboden	fg
19	505.22	379.03	Waldboden	fg

Als **erstes**, mögliches **Bemessungsereignis** (Abb. 67) wurde ein Steinschlagblock mit einer Kubatur von 1 m^3 angenommen, der sich aus dem Felsverband löst und anfangs rollend bergab fortbewegt.

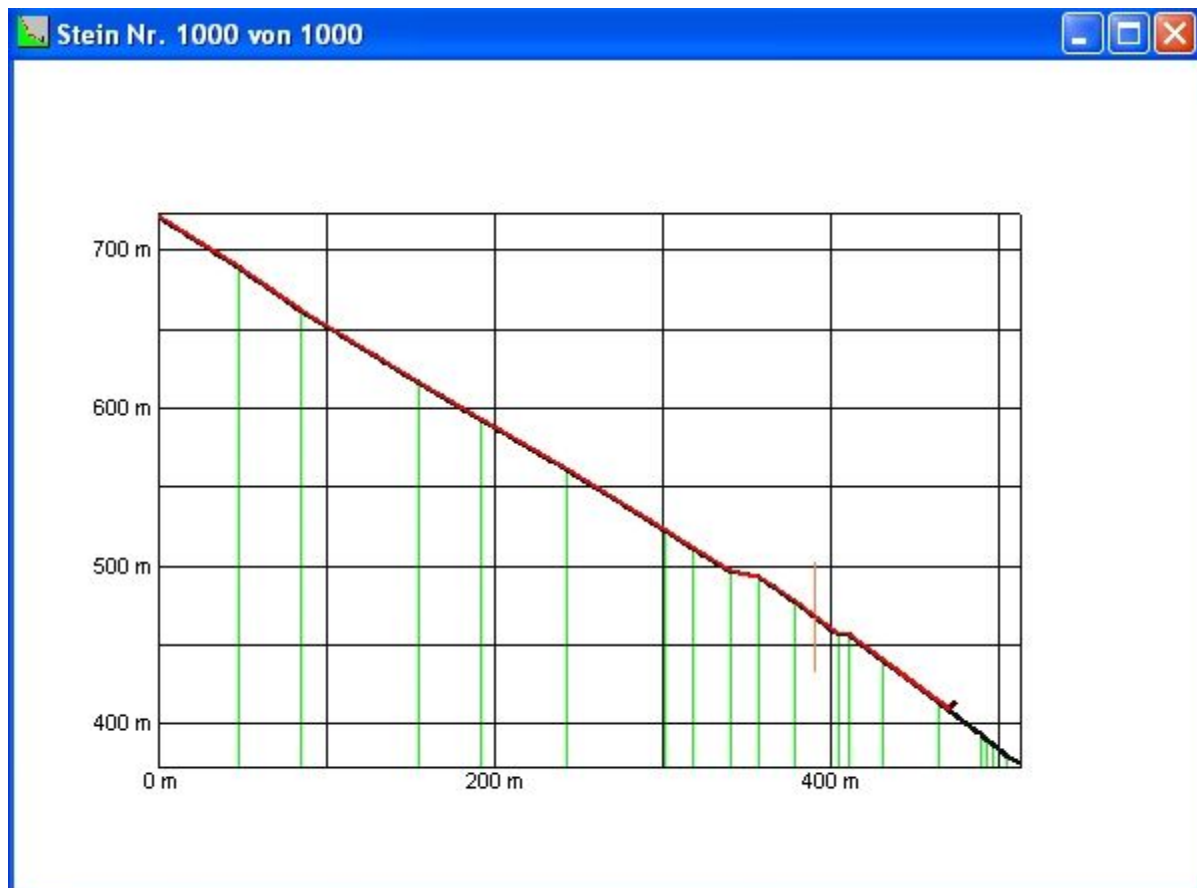


Abb. 67: Profil Trajektorie 5, Bemessungsereignis 1 m³

Die verwendeten Geländeparameter sind in der folgenden Abbildung dargestellt (Abb. 68).

	Oberflächentyp	Rg	V%	Rh	V%	Dn	V%	Dt	V%	Rw	V%	Qa	Of
1	Fels rauh	30	5	40	5	0.070	10	0.920	5	0.020	10	0.45	1.00
2	Wald Schutt Blöcke mässig grob	26	5	32	5	0.035	10	0.840	10	0.090	10	0.30	1.00
3	Waldboden mittelgründig	30	5	42	5	0.020	10	0.820	10	0.120	10	0.15	1.00
4	Waldboden flachgründig	30	5	42	5	0.025	10	0.870	10	0.120	10	0.20	1.00
5	Wiese	28	5	35	5	0.010	0	0.780	10	0.350	10	0.10	1.00
6	Forstweg	32	5	40	5	0.050	5	0.750	5	0.100	5	0.50	1.00
7	Asphaltstrasse	35	5	45	5	0.060	10	0.910	5	0.040	10	0.00	0.00

Abb. 68: Verwendete Parameter Trajektorie 5, Bemessungsereignis 1 m³

Die Ergebnisse der durchgeführten Modellierung sind auf den folgenden Seiten erkennbar (Abb. 69 und Abb. 70).

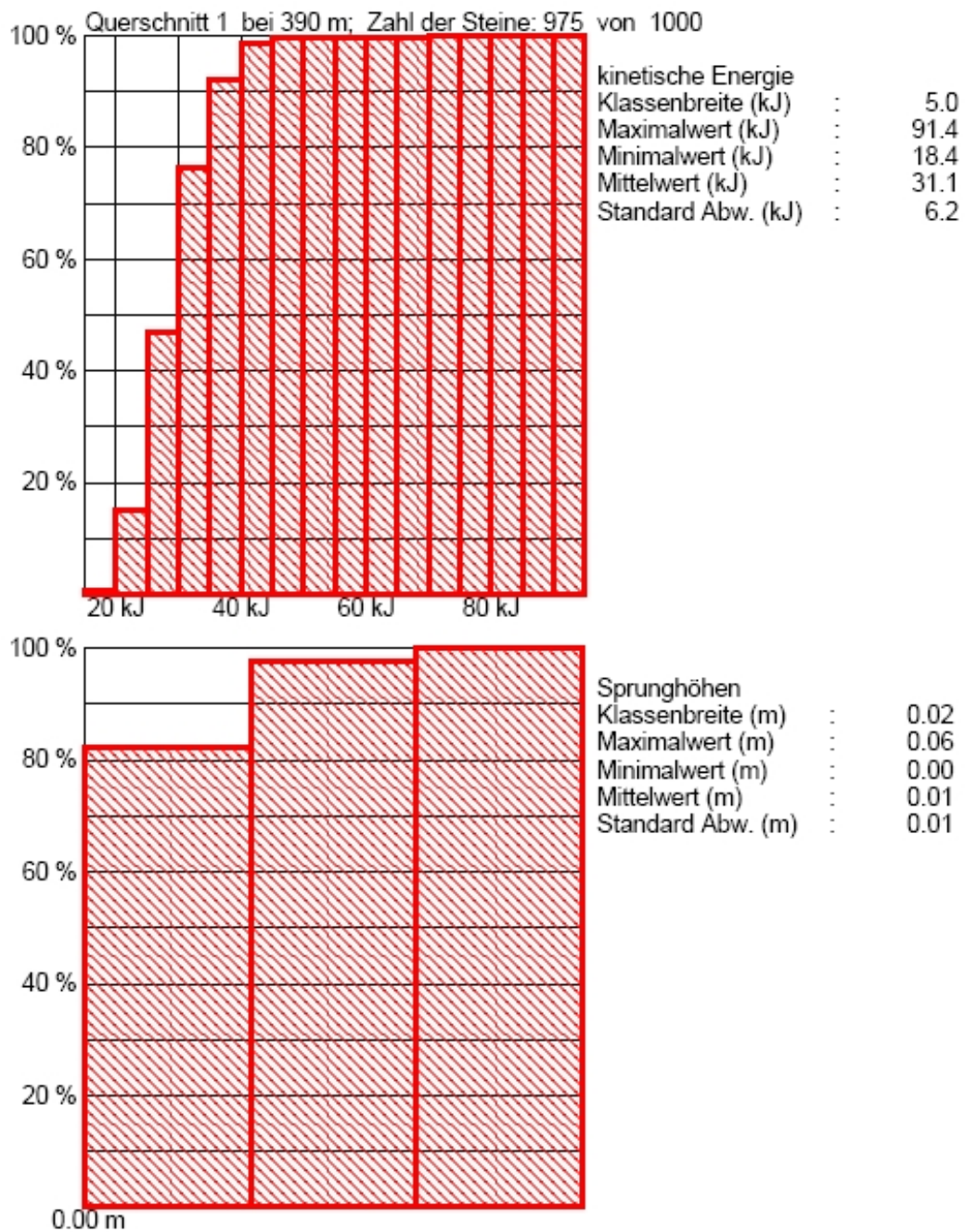


Abb. 69: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 390 m Lauflänge

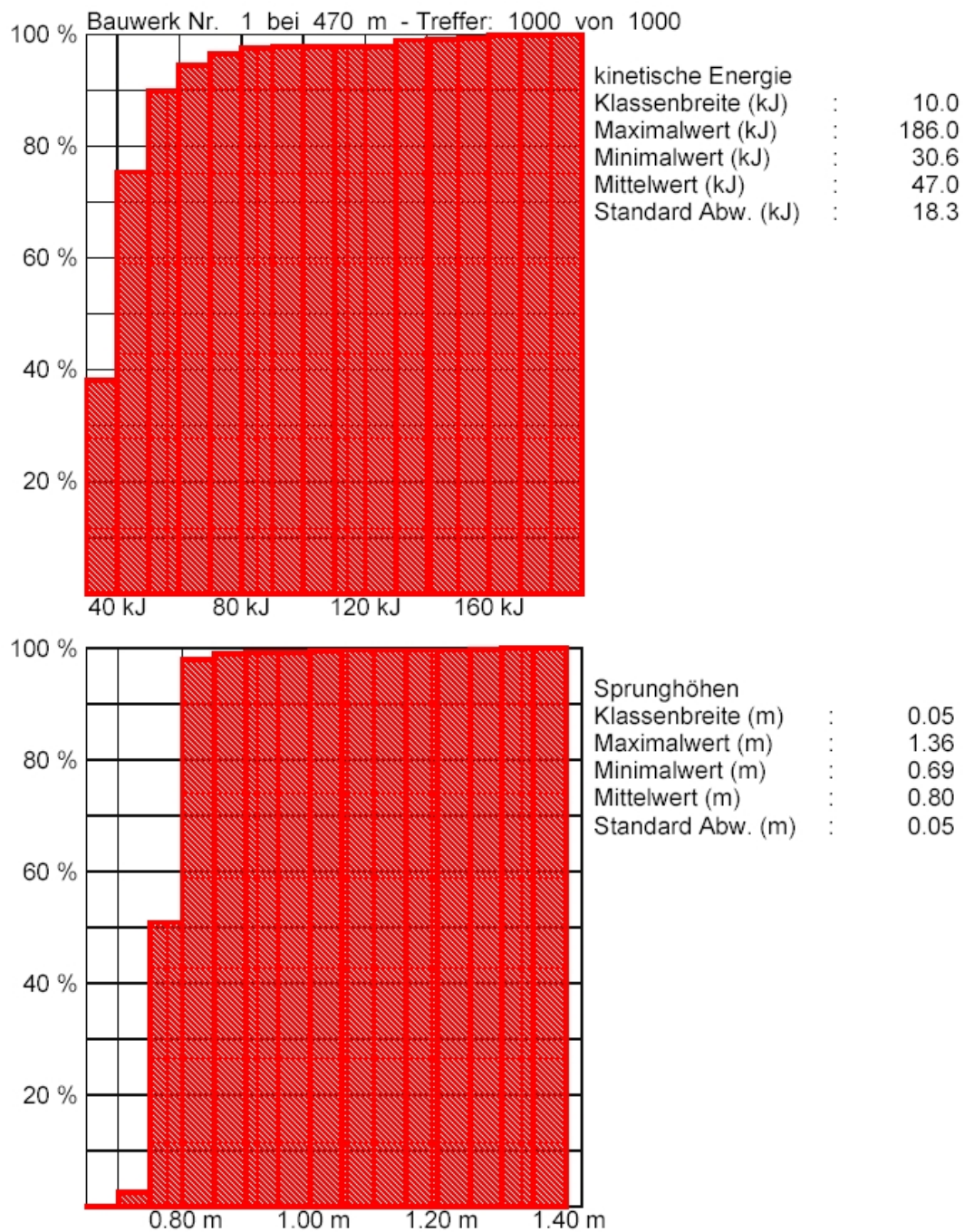


Abb. 70: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 470 m Lauflänge

Als **zweites**, wahrscheinliches **Bemessungsereignis** (Abb. 71) wurde ein Steinschlagblock mit einer Kubatur von $0,1 \text{ m}^3$ angenommen, der sich aus dem Felsverband löst und anfangs rollend bergab fortbewegt.

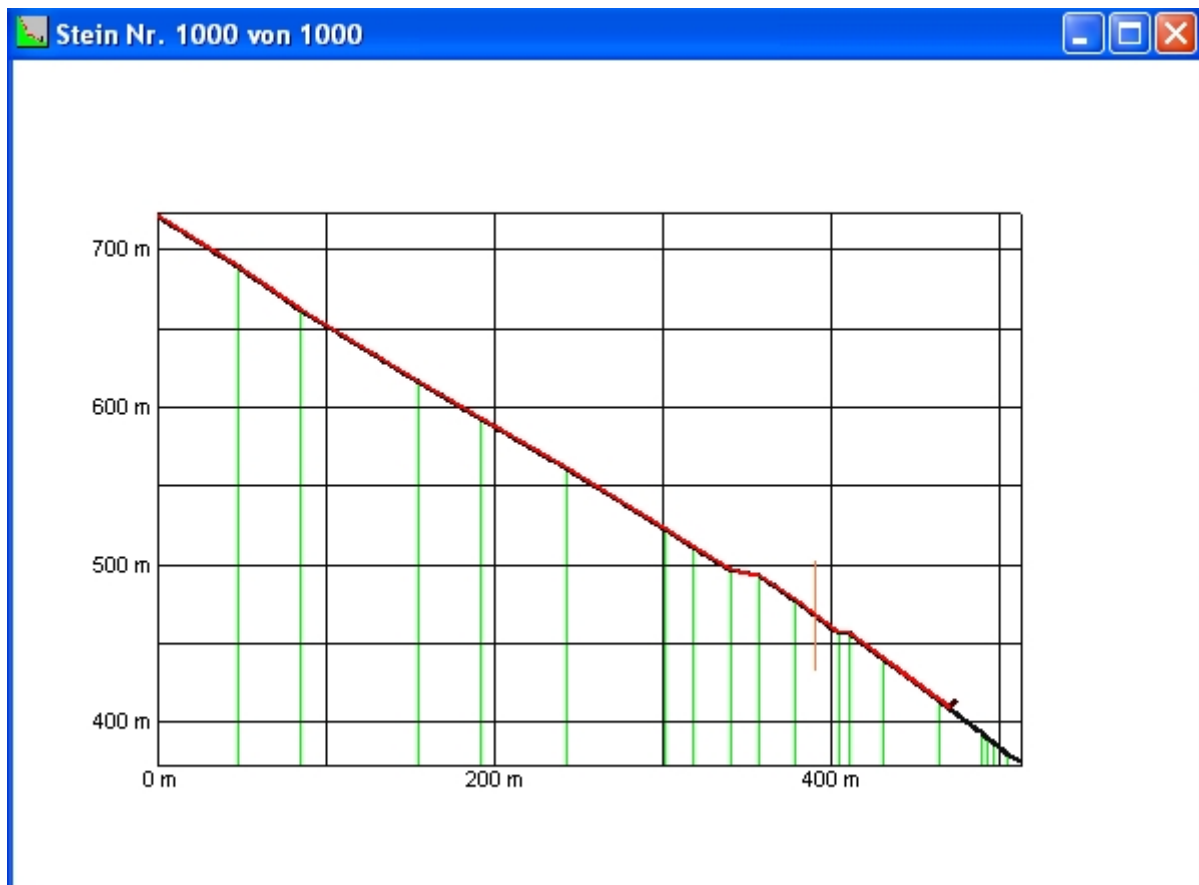


Abb. 71: Profil Trajektorie 5, Bemessungsereignis 0,1 m³

Die verwendeten Parameter sind in folgender Abbildung zu sehen (Abb. 72).

	Oberflächentyp	Rg	V%	Rh	V%	Dn	V%	Dt	V%	Rw	V%	Oa	Of
1	Fels rauh	30	5	40	5	0.070	10	0.920	5	0.020	10	0.45	1.00
2	Wald Schutt Blöcke mässig grob	26	5	32	5	0.035	10	0.840	10	0.090	10	0.30	1.00
3	Waldboden mittelgründig	30	5	42	5	0.020	10	0.820	10	0.120	10	0.15	1.00
4	Waldboden flachgründig	30	5	42	5	0.025	10	0.870	10	0.120	10	0.20	1.00
5	Wiese	28	5	35	5	0.010	0	0.780	10	0.350	10	0.10	1.00
6	Forstweg	32	5	40	5	0.050	5	0.750	5	0.100	5	0.50	1.00
7	Asphaltstrasse	35	5	45	5	0.060	10	0.910	5	0.040	10	0.00	0.00

Abb. 72: Verwendete Parameter Trajektorie 5, Bemessungsereignis 0,1 m³

Die Ergebnisse hinsichtlich kinetischen Energien und Sprunghöhen am Kontroll-Querschnitt und dem Bauwerk sind auf den folgenden Seiten veranschaulicht (Abb. 73 und Abb. 74).

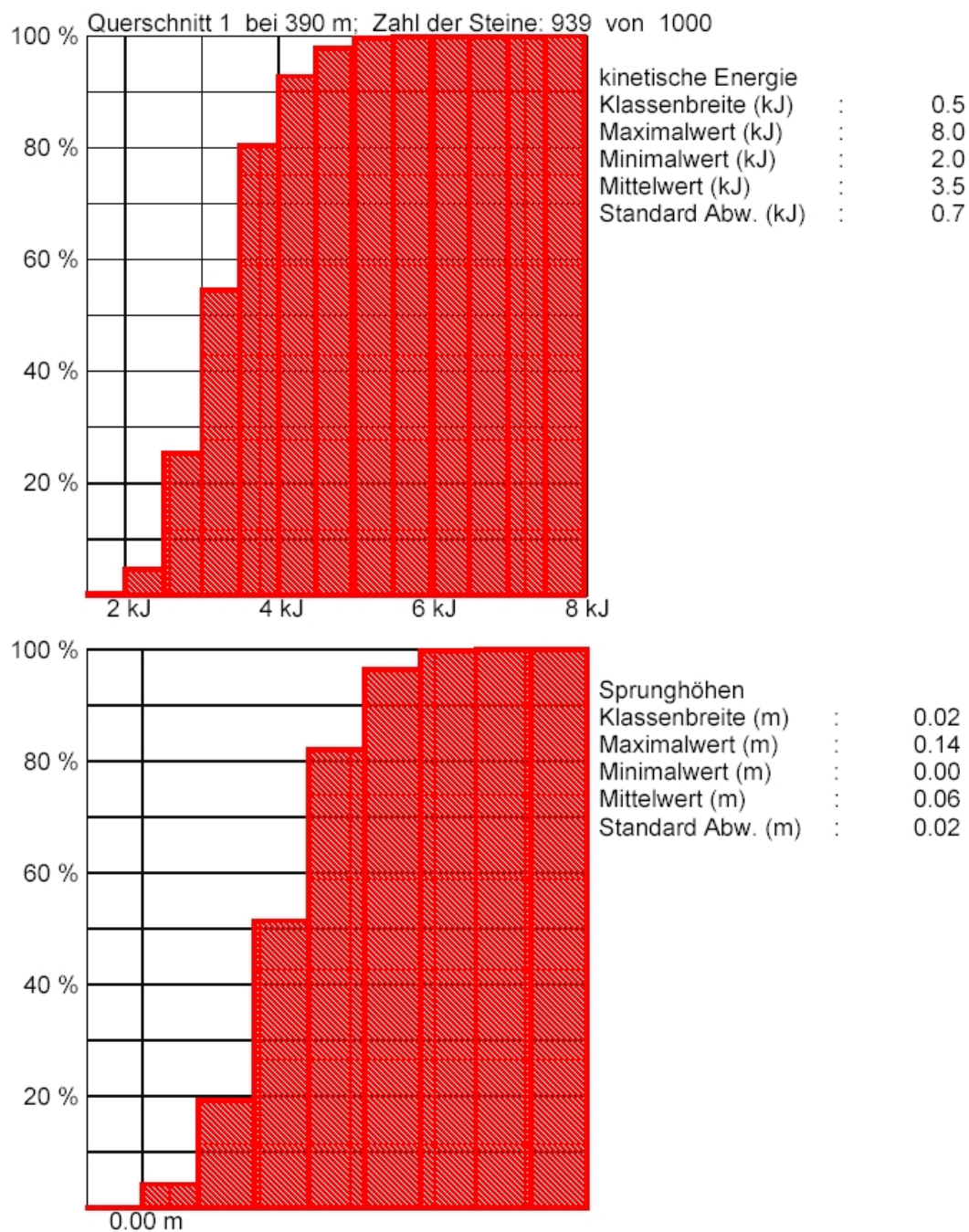


Abb. 73: Summenhistogramm Querschnitt 1 bei 390 m Lauflänge

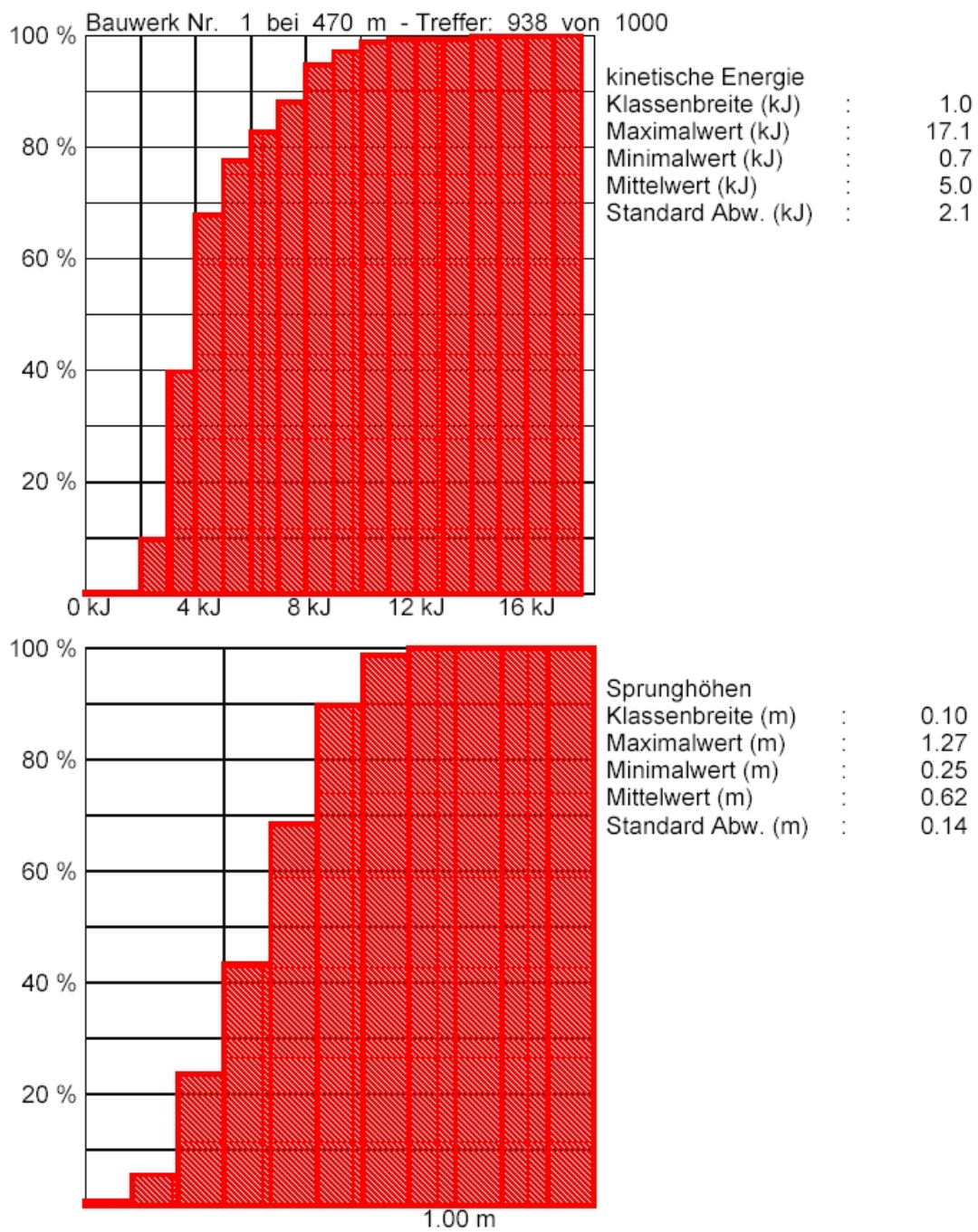


Abb. 74: Summenhistogramm Bauwerk 1 bei 470 m Lauflänge

Tabelle 7 zeigt zusammenfassend alle Ergebnisse der Modellierung.

Trajektorie	Bemessungsereignis [m³]	Bauwerk auf Horizontaldistanz	max. Kinetische Energie [kJ]	max. Sprunghöhe [m]
1	maximal: 1	280 m	302.6	1.40
	wahrscheinlich : 0,1	(direkt unter Forststraße)	16.6	0.88
2	maximal: 1	280 m	376.3	1.46
	wahrscheinlich : 0,1	(zwischen Forststraße und Bahnlinie)	107.2	4.67
3	maximal: 1	140 m	703.9	1.76
	wahrscheinlich : 0,1	(zwischen Forststraße und Bahnlinie)	77.5	2.52
4	maximal: 1,5	425 m	853.7	1.82
	wahrscheinlich : 0,1	(zwischen Forststraße und Bahnlinie)	40.60	1.09
5	maximal: 1	470 m	186	1.36
	wahrscheinlich : 0,1	(zwischen Forststraße und Bahnlinie)	17.1	1.27

Tabelle 7: Ergebnisse der Modellierung

6.1.2) PICUS 1.4

Die bereits in Rockfall 6.1 modellierten Trajektorien wurden als Geländemodelle in PICUS 1.4 eingespeist. Die Bemessungsereignisse wurden ident gewählt. Die Parameter wurden an das Programm angepasst und sind im Folgenden bei jeder Trajektorie einzeln als Tabelle angeführt.

Bemessungsereignisse im betroffenen Gebiet:

- **Massiger Steinschlagblock mit einer Kubatur von 1 m³ löst sich aus dem oberen Hangbereich (möglich)**
- **Massiger Steinschlagblock mit einer Kubatur von 0,1 m³ löst sich aus dem oberen Hangbereich (wahrscheinlich).**

Trajektorie 1:

Die verwendeten Oberflächeneigenschaften sind in Tabelle 8 zu sehen. Für alle modellierten Trajektorien wurden die Rebound-Parameter der Literatur entnommen (Agliardi und Crosta, 2003, Schweigl et al, 2003).

Tabelle 8: Input Trajektorie 1

y	z	Rn	Rt	Untergrund
0,00	597,98	0,40	0,90	limestone bedrock
8,35	591,98	0,40	0,90	limestone bedrock
20,12	581,13	0,32	0,80	Talus vegetated
40,45	561,09	0,32	0,80	Talus vegetated
44,73	557,44	0,32	0,80	Talus vegetated
62,92	541,66	0,32	0,80	Talus vegetated
74,69	528,12	0,32	0,80	Talus vegetated
95,02	503,51	0,32	0,80	Talus vegetated
100,37	495,14	0,32	0,80	Talus vegetated
130,33	471,63	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
164,57	445,67	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
172,06	441,41	0,50	0,70	cemented talus, bare
174,06	441,41	0,60	0,75	limestone shallow soil
227,70	406,61	0,60	0,75	limestone shallow soil
235,19	402,90	0,50	0,70	cemented talus, bare
236,19	402,90	0,32	0,80	Talus vegetated
266,22	387,69	0,32	0,80	Talus vegetated
271,57	386,70	0,40	0,90	asphalt
277,92	386,70	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
280,92	385,70	0,30	0,70	alluvial deposit, grass covered
284,41	380,35	0,30	0,70	alluvial deposit, grass covered

Für Trajektorie 1 wurde im ersten Simulationsdurchlauf der mögliche Fall von einem sich aus der Felswand lösenden, 1 m³ großen Block simuliert. Das Geländemodell und das Ergebnis der Simulation sind unten zu sehen (Abb. 75).

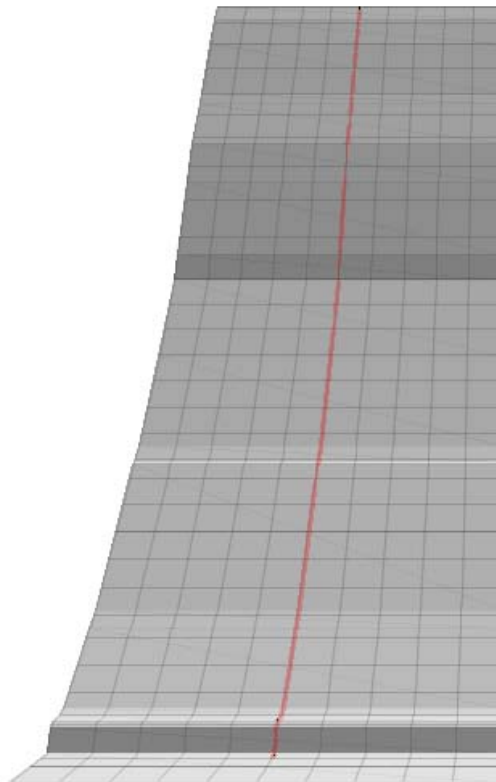


Abb. 75: Profil Trajektorie 1, Bemessungsereignis 1 m³

Bei 280 m Lauflänge wurde eine Measure Line simuliert, die dem Bauwerk in Rockfall entspricht. Die Ergebnisse an dieser Linie betreffend maximaler Sprunghöhe und maximaler Geschwindigkeit sind in Tabelle 9 zu sehen.

Tabelle 9: Ergebnisse Trajektorie 1, Bemessungsereignis 1 m³

Trajektorie 1 Sprunghöhen

1 m³

Klasse	Wert
Mean	0,67
Median	0,67
Min	0,62
Max	1,38
perc10	0,62
perc90	0,71
StdDev	0,05
MeanOfMax	0,79
Count	308,00

Kinetische Energie

Klasse	Wert
Mean	22,44
Median	25,84
Min	0,38
Max	86,51
perc10	8,55
perc90	30,88
StdDev	9,26
MeanOfMax	41,77
Count	308,00

Diese Auflistung gibt die Verteilung der Ergebnisse wieder, indem die folgenden Werte angegeben werden:

- Mittelwert (Mean): gibt das arithmetische Mittel aller Werte an
- Median: teilt die Verteilung in zwei gleich große Teile und gibt somit die Abweichung von der Normalverteilung an
- Minimalwert (Min): gibt den kleinsten Wert an
- Maximalwert (Max): gibt den größten Wert an
- perc10: Wert bei 10%
- perc90: Wert bei 90%
- StdDev: Standardabweichung, gibt die Streuung der Werte um den ermittelten Mittelwert an
- MeanOfMax: gibt den Mittelwert des Maximalwerts an
- Count: Anzahl der Steine, die am Ende der Trajektorie angelangt sind.

Als zweites Bemessungsereignis wurde der freie Fall eines Blocks mit $0,1 \text{ m}^3$ angenommen. Das Geländemodell und die Simulation sind in folgender Abbildung zu sehen (Abb. 76).

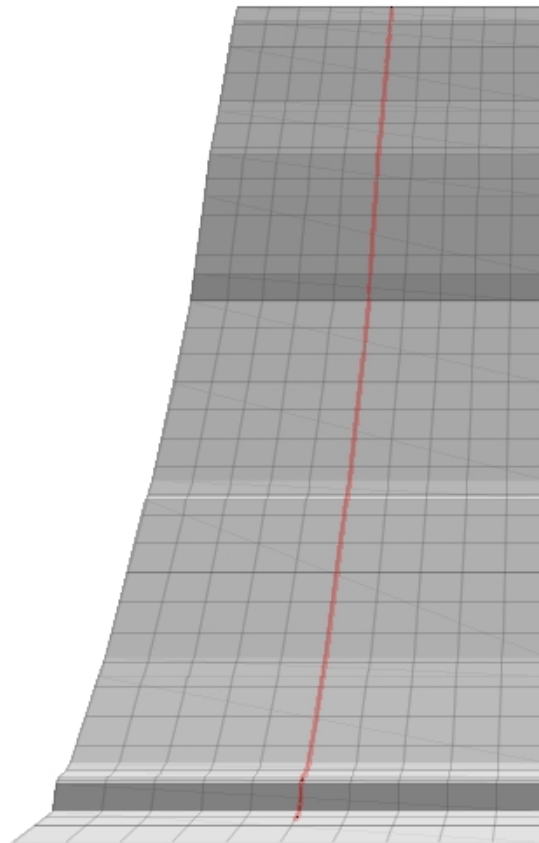


Abb. 76: Profil Trajektorie 1, Bemessungsereignis 0,1 m³

Die Ergebnisse des zweiten Simulationsdurchlaufs an der simulierten Measure Line sind in Tabelle 10 zu sehen.

Tabelle 10: Ergebnisse Trajektorie 1, Bemessungsereignis 0,1 m³

Trajektorie 1 **Sprunghöhen**

0,1 m³

Klasse	Wert
Mean	0,36
Median	0,33
Min	0,29
Max	1,06
perc10	0,29
perc90	0,39
StdDev	0,12
MeanOfMax	0,70
Count	145,00

Kinetische Energie

Klasse	Wert
Mean	2,25
Median	1,97
Min	0,00
Max	8,90
perc10	0,14
perc90	3,31
StdDev	1,89
MeanOfMax	7,77
Count	145,00

Trajektorie 2:

Die verwendeten Oberflächeneigenschaften sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Input Trajektorie 2

y	z	Rn	Rt	Untergrund
0,00	604,53	0,40	0,90	limestone bedrock
8,89	596,55	0,40	0,90	limestone bedrock
19,30	585,57	0,32	0,80	Talus vegetated
37,81	564,66	0,32	0,80	Talus vegetated
40,13	562,19	0,60	0,75	limestone shallow soil
69,04	537,15	0,60	0,75	limestone shallow soil
82,93	523,34	0,60	0,75	limestone shallow soil
100,28	508,54	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
107,22	502,80	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
140,76	477,20	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
160,43	461,77	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
213,64	421,84	0,32	0,80	Talus vegetated
225,21	414,92	0,50	0,70	cemented talus, bare
227,52	414,64	0,32	0,80	Talus vegetated
243,72	402,50	0,40	0,90	asphalt
249,50	402,44	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
252,97	398,99	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
274,95	387,70	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
279,58	384,20	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
288,83	378,46	0,50	0,70	cemented talus, bare
289,99	378,43	0,60	0,75	limestone shallow soil

Im Bereich von Trajektorie 2 wurde als erstes der mögliche Fall von einem sich aus der Felswand lösenden, 1 m³ großen Block simuliert. In der folgenden Abbildung sind das Geländemodell und das Ergebnis der Simulation dargestellt (Abb. 77).

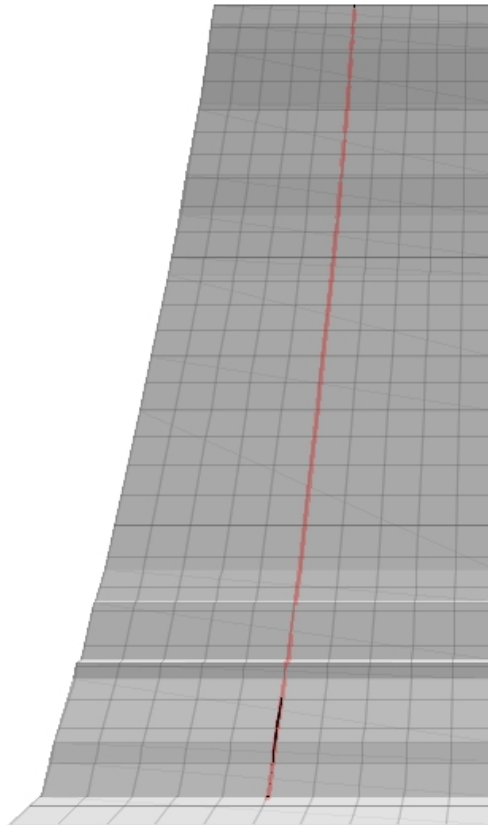


Abb. 77: Profil Trajektorie 2, Bemessungsereignis 1 m³

Bei 280 m Lauflänge wurde eine Measure Line simuliert. Die dort gemessenen Sprunghöhen und Kräfte sind in Tabelle 12 erkennbar.

Tabelle 12: Ergebnisse Trajektorie 2, Bemessungsereignis 1 m³

Trajektorie 2 Sprunghöhen

1 m³

Klasse	Wert
Mean	0,67
Median	0,68
Min	0,62
Max	0,80
perc10	0,62
perc90	0,73
StdDev	0,05
MeanOfMax	0,78
Count	1000,00

Kinetische Energie

Klasse	Wert
Mean	36,49
Median	38,83
Min	12,02
Max	101,28
perc10	13,71
perc90	54,36
StdDev	13,92
MeanOfMax	85,24
Count	1000,00

Für das zweite Bemessungsereignis wurde der freie Fall eines 0,1 m³ großen Blocks aus der Felswand simuliert. Die Darstellung der Simulation ist in folgender Abbildung veranschaulicht (Abb. 78).

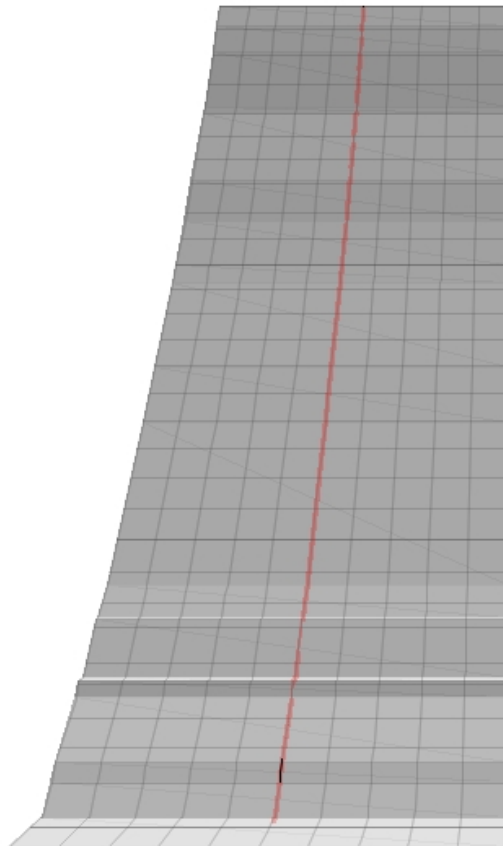


Abb. 78: Profil Trajektorie 2, Bemessungsereignis 0,1 m³

Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 veranschaulicht.

Tabelle 13: Ergebnisse Trajektorie 2, Bemessungsereignis 0,1 m³

Trajektorie 2 Sprunghöhen

0,1 m³

Klasse	Wert
Mean	0,34
Median	0,34
Min	0,29
Max	0,49
perc10	0,29
perc90	0,40
StdDev	0,04
MeanOfMax	0,46
Count	1000,00

Kinetische Energie

Klasse	Wert
Mean	3,65
Median	3,49
Min	0,85
Max	10,08
perc10	2,40
perc90	5,04
StdDev	1,14
MeanOfMax	7,96
Count	1000,00

Trajektorie 3:

Die verwendeten Geländeparameter sind in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Input Trajektorie 3

y	z	Rn	Rt	Untergrund
0,00	483,36	0,40	0,90	limestone bedrock
8,71	476,44	0,40	0,90	limestone bedrock
18,39	466,40	0,32	0,80	Talus vegetated
31,69	453,03	0,32	0,80	Talus vegetated
37,74	447,69	0,32	0,80	Talus vegetated
48,62	437,74	0,32	0,80	Talus vegetated
60,72	425,41	0,32	0,80	Talus vegetated
66,77	416,69	0,40	0,90	asphalt
71,60	416,43	0,32	0,80	Talus vegetated
75,23	413,37	0,32	0,80	Talus vegetated
89,75	401,70	0,32	0,80	Talus vegetated
106,68	391,10	0,32	0,80	Talus vegetated
123,61	383,23	0,60	0,75	limestone shallow soil
134,50	377,52	0,60	0,75	limestone shallow soil

Als erstes Bemessungsereignis wurde wiederum der Fall eines 1 m³ großen Blocks aus der Felswand simuliert. Das Geländemodell und der Modellierungslauf sind in folgender Abbildung zu sehen (Abb. 79).

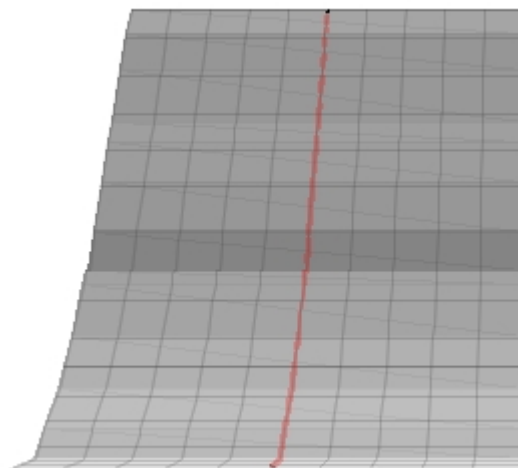


Abb. 79: Profil Trajektorie 3, Bemessungsereignis 1 m³

Bei 140 m Lauflänge wurde eine Measure Line simuliert. Die zugehörigen Werte für Sprunghöhe und kinetische Energie sind in der nachstehenden Tabelle 15 sichtbar.

Tabelle 15: Ergebnisse Trajektorie 3, Bemessungsereignis 1 m³

Trajektorie 3 Sprunghöhen

1 m³

Klasse	Wert
Mean	0,72
Median	0,72
Min	0,62
Max	1,11
perc10	0,64
perc90	0,79
StdDev	0,08
MeanOfMax	1,08
Count	986,00

Kinetische Energie

Klasse	Wert
Mean	94,14
Median	57,58
Min	27,35
Max	241,46
perc10	30,74
perc90	185,36
StdDev	59,50
MeanOfMax	235,42
Count	986,00

Der Fall eines 0,1 m³ großen Blockes wurde als zweites Bemessungsereignis simuliert. Die Simulation und das Geländemodell sind in folgender Abbildung zu sehen (Abb. 80).

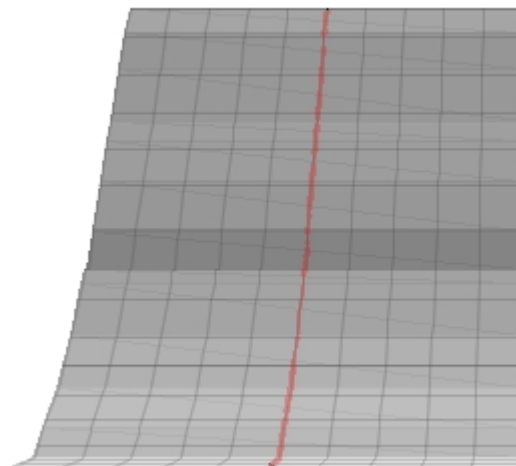


Abb. 80: Profil Trajektorie 3, Bemessungsereignis 0,1 m³

Die Ergebnisse dieses Durchlaufs sind in der nachstehenden Tabelle 16 zu erkennen.

Tabelle 16: Ergebnisse Trajektorie 3, Bemessungsereignis 0,1 m³

Trajektorie 3 Sprunghöhen

0,1 m³

Klasse	Wert
Mean	0,39
Median	0,39
Min	0,29
Max	0,76
perc10	0,31
perc90	0,45
StdDev	0,06
MeanOfMax	0,66
Count	984,00

Kinetische Energie

Klasse	Wert
Mean	9,76
Median	5,91
Min	2,76
Max	24,87
perc10	3,14
perc90	19,07
StdDev	6,07
MeanOfMax	24,23
Count	984,00

Trajektorie 4:

Die verwendeten Oberflächeneigenschaften sind in Tabelle 17 erkennbar.

Tabelle 17: Input Trajektorie 4

y	z	Rn	Rt	Untergrund
0,00	728,44	0,40	0,90	limestone bedrock
6,53	713,36	0,40	0,90	limestone bedrock
10,13	697,53	0,40	0,90	limestone bedrock
21,50	685,12	0,32	0,80	Talus vegetated
44,26	666,79	0,32	0,80	Talus vegetated
60,18	654,02	0,32	0,80	Talus vegetated
111,38	614,12	0,60	0,75	limestone shallow soil
147,78	589,57	0,60	0,75	limestone shallow soil
164,84	573,71	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
187,59	551,33	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
200,11	537,61	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
218,31	521,73	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
252,44	492,67	0,32	0,80	Talus vegetated
324,11	439,77	0,32	0,80	Talus vegetated
333,21	432,15	0,32	0,80	Talus vegetated
340,03	429,16	0,40	0,90	asphalt
348,00	429,16	0,32	0,80	Talus vegetated
388,95	400,07	0,32	0,80	Talus vegetated
426,49	378,27	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted

Bemessungsereignis 1 nimmt an, dass sich ein Felsblock mit 1,5 m³ Größe aus dem Verband löst und in den freien Fall übergeht. In der folgenden Abbildung sind das Geländemodell und die Simulation zu sehen (Abb. 81).

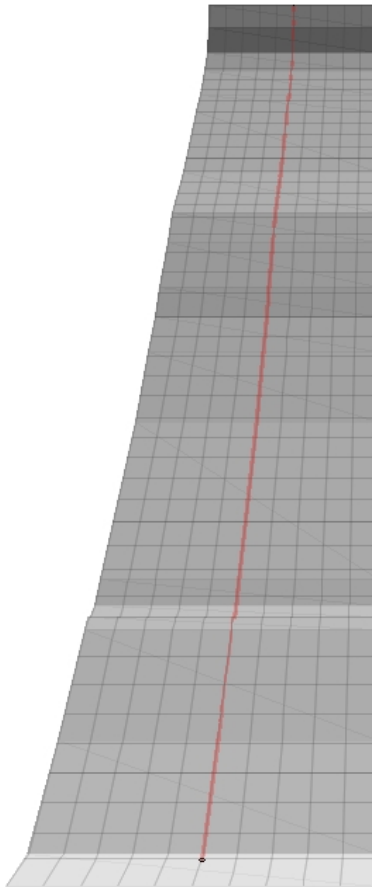


Abb. 81: Profil Trajektorie 4, Bemessungsereignis 1,5 m³

Bei 425 m Lauflänge wurde eine Measure Line simuliert. Die Ergebnisse für Sprunghöhen und Kräfte sind in Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 18: Ergebnisse Trajektorie 4, Bemessungsereignis 1,5 m³

Trajektorie 4 Sprunghöhen

1,5 m³

Klasse	Wert
Mean	1,46
Median	1,52
Min	0,71
Max	2,35
perc10	0,93
perc90	1,87
StdDev	0,35
MeanOfMax	2,23
Count	1000,00

Kinetische Energie

Klasse	Wert
Mean	869,65
Median	754,97
Min	294,01
Max	1453,95
perc10	456,81
perc90	1354,26
StdDev	316,07
MeanOfMax	1450,51
Count	1000,00

Bemessungsereignis 2 nimmt an, dass sich ein Felsblock mit $0,1 \text{ m}^3$ Größe aus dem Felsverband löst und in den freien Fall übergeht. Das Geländemodell und die Modellierung sind in folgender Abbildung zu sehen (Abb. 82).

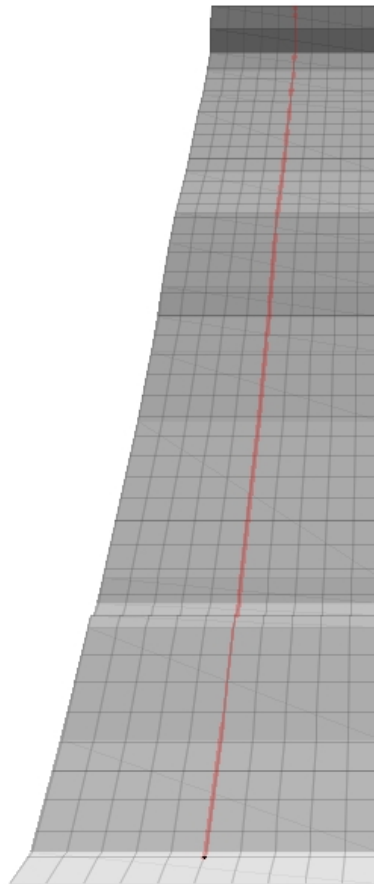


Abb. 82: Profil Trajektorie 4, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$

Die Ergebnisse der zugehörigen Simulation sind in Tabelle 19 zu sehen.

Tabelle 19: Ergebnisse Trajektorie 4, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$

Trajektorie 4 Sprunghöhen

$0,1 \text{ m}^3$

Klasse	Wert
Mean	1,22
Median	1,24
Min	0,29
Max	2,91
perc10	0,63
perc90	1,76
StdDev	0,41
MeanOfMax	2,07
Count	1000,00

Kinetische Energie

Klasse	Wert
Mean	83,78
Median	96,82
Min	30,99
Max	220,23
perc10	52,12
perc90	101,30
StdDev	22,70
MeanOfMax	137,48
Count	1000,00

Trajektorie 5:

Die verwendeten Geländeparameter sind in Tabelle 20 dargestellt.

Tabelle 20: Input Trajektorie 5

y	z	Rn	Rt	Untergrund
0,00	720,87	0,32	0,80	Talus vegetated
47,32	689,07	0,32	0,80	Talus vegetated
84,82	661,28	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
154,13	616,28	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
190,97	592,93	0,60	0,75	limestone shallow soil
242,15	561,28	0,60	0,75	limestone shallow soil
301,52	522,16	0,60	0,75	limestone shallow soil
317,54	511,18	0,60	0,75	limestone shallow soil
340,02	496,44	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
357,08	492,77	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
378,20	477,66	0,50	0,60	limestone shallow soil, forsted
404,18	456,50	0,40	0,90	asphalt
410,39	456,52	0,32	0,80	Talus vegetated
431,07	439,84	0,32	0,80	Talus vegetated
464,16	413,52	0,32	0,80	Talus vegetated
488,88	393,62	0,32	0,80	Talus vegetated
493,24	389,31	0,32	0,80	Talus vegetated
496,51	386,83	0,60	0,75	limestone shallow soil
505,22	379,03	0,60	0,75	limestone shallow soil

Hier wird beim ersten Bemessungsereignis angenommen, dass sich ein Felsblock mit 1 m³ Größe nach dem Herauslösen aus dem Felsverband rollend fortbewegt. Die in diesem Hangbereich typischen Plattenkalke, die man am Grat des Berges findet, lösen sich radförmig aus dem Felsverband und bilden somit plattige, abgerundete Körper. Die Simulation zu diesem Bemessungsereignis und das Geländemodell sind in der nachstehenden Abbildung zu sehen (Abb. 83).

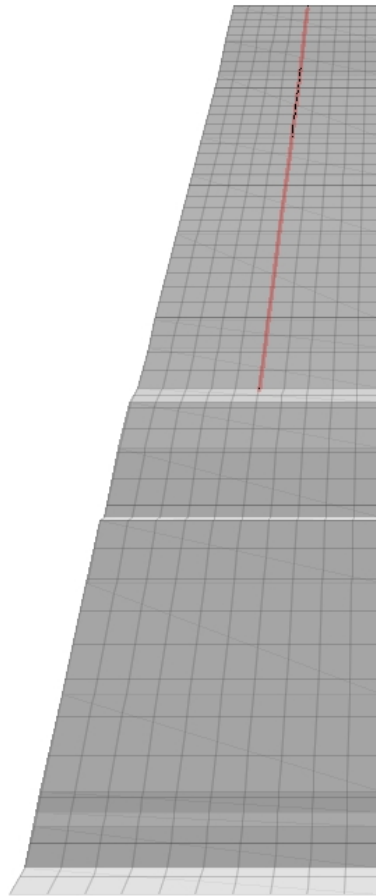


Abb. 83: Profil Trajektorie 5, Bemessungsereignis 1 m³

Bei 310 m Lauflänge wurde eine Measure Line simuliert. Die Ergebnisse an dieser Stelle sind in Tabelle 21 dargestellt.

Tabelle 21: Ergebnisse Trajektorie 5, Bemessungsereignis 1 m³

Trajektorie 5 Sprunghöhen

1 m³

Klasse	Wert
Mean	1,02
Median	1,07
Min	0,62
Max	1,30
perc10	0,74
perc90	1,21
StdDev	0,18
MeanOfMax	1,29
Count	1000,00

Kinetische Energie

Klasse	Wert
Mean	232,71
Median	228,30
Min	180,88
Max	302,17
perc10	194,65
perc90	278,88
StdDev	31,33
MeanOfMax	298,72
Count	1000,00

Bemessungsereignis 2 nimmt an, dass sich ein $0,1 \text{ m}^3$ großer Block aus dem Verband löst und rollend bewegt. Das Geländemodell und die Simulation sind in folgender Abbildung zu sehen (Abb. 84).

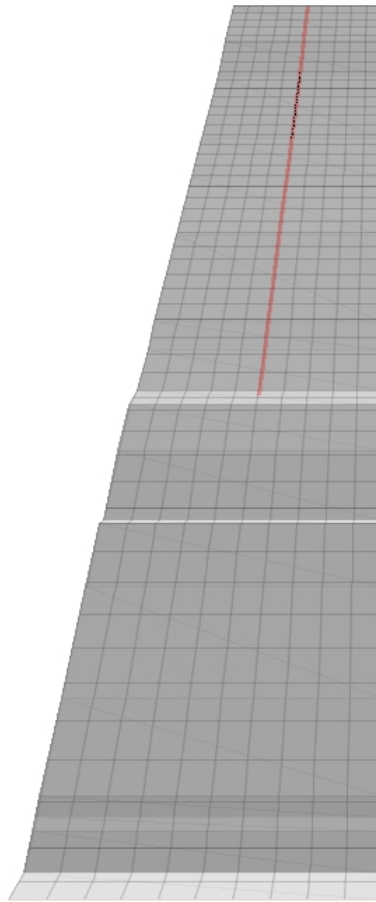


Abb. 84: Profil Trajektorie 5, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$

Die Ergebnisse dieser Simulation sind in der Tabelle 22 zu erkennen.

Tabelle 22: Ergebnisse Trajektorie 5, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$

Trajektorie 5 Sprunghöhen

$0,1 \text{ m}^3$

Klasse	Wert
Mean	0,69
Median	0,75
Min	0,29
Max	0,95
perc10	0,41
perc90	0,88
StdDev	0,17
MeanOfMax	0,94
Count	1000,00

Kinetische Energie

Klasse	Wert
Mean	23,59
Median	23,00
Min	18,00
Max	31,16
perc10	19,95
perc90	28,29
StdDev	3,10
MeanOfMax	30,50
Count	1000,00

7.) Endergebnisse der Modellierung

In den folgenden Tabellen werden die Ergebnisse der Modellierungen mit Rockfall 6.1 denen der Simulation mit PICUS 1.4 gegenübergestellt.

Tabelle 23 stellt die Ergebnisse der beiden Modellierungsprogramme bei der Perzentile P_{95} der simulierten Blöcke dar, das heißt unter diesem Wert liegen 95% aller Fälle der Verteilung.

Tabelle 23: Vergleichende Ergebnistabelle Perzentile P_{95}

Trajektorie	Bemessungsereignis [m ³]	Bauwerk auf Horizontaldistanz:	Kinetische Energie bei P_{95} [kJ] (Rockfall)	Sprung höhe bei P_{95} [m] (Rockfall)	Kinetische Energie bei P_{95} [kJ] (Picus)	Sprung höhe bei P_{95} [m] (Picus)
1	maximal: 1	280 m	<150,00	<1,20	31,73	0,71
	wahrscheinlich : 0,1	(direkt unter Forststraße)	<1,00	<0,50	7,96	0,46
2	maximal: 1	280 m	<50,00	<0,80	59,73	0,75
	wahrscheinlich : 0,1	(zwischen Forststraße und Bahnlinie)	<40,00	<0,50	6,22	0,42
3	maximal: 1	140 m	<200,00	<0,90	188,25	0,80
	wahrscheinlich : 0,1	(zwischen Forststraße und Bahnlinie)	<10,00	<0,50	19,24	0,46
4	maximal: 1,5	425 m	<350,00	<1,00	1422,16	2,00
	wahrscheinlich : 0,1	(zwischen Forststraße und Bahnlinie)	<40,00	<1,05	98,11	1,46
5	maximal: 1	470 m	<80,00	<0,80	284,44	1,24
	wahrscheinlich : 0,1	(zwischen Forststraße und Bahnlinie)	<9,00	<1,00	28,89	0,90

Tabelle 24 stellt die Maximalergebnisse der Programme für die modellierten Blöcke gegenüber.

Tabelle 24: Vergleichende Ergebnistabelle Maximalwerte

Trajektorie	Bemessungsereignis [m ³]	Bauwerk auf Horizontaldistanz:	max. Kinetische Energie [kJ] (<i>Rockfall</i>)	max. Sprung höhe [m] (<i>Rockfall</i>)	max. Kinetische Energie [kJ] (<i>Picus</i>)	max. Sprung höhe [m] (<i>Picus</i>)
1	maximal: 1	280 m	302,60	1,40	86,51	1,38
	wahrscheinlich : 0,1	(direkt unter Forststraße)	16,60	0,88	8,90	1,06
2	maximal: 1	280 m	376,30	1,46	101,28	0,80
	wahrscheinlich : 0,1	(zwischen Forststraße und Bahnlinie)	107,20	4,67	10,08	0,49
3	maximal: 1	140 m	703,90	1,76	241,46	1,11
	wahrscheinlich : 0,1	(zwischen Forststraße und Bahnlinie)	77,50	2,52	24,87	0,76
4	maximal: 1,5	425 m	853,70	1,82	1453,95	2,35
	wahrscheinlich : 0,1	(zwischen Forststraße und Bahnlinie)	40,60	1,09	220,23	2,91
5	maximal: 1	470 m	186,00	1,36	302,17	1,30
	wahrscheinlich : 0,1	(zwischen Forststraße und Bahnlinie)	17,10	1,27	31,16	0,95

Sprunghöhen

Perzentile P_{95}

Obwohl Sprunghöhen eher schwierig zu modellieren sind zeigt sich beim Vergleich der Ergebnisse eine sehr gute Übereinstimmung der Sprunghöhenwerte. Bei der Perzentile P_{95} der simulierten Blöcke erreichen alle 10 Modellierungen beider Programme ähnliche Werte.

Maximalwerte

Bei den Maximalwerten der simulierten Blöcke zeigen 9 von 10 Modellierungen beider Programme übereinstimmende Werte. Lediglich bei der Modellierung von Trajektorie 2, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$ kommt es zu einer Abweichung. Der Wert der Rockfall-Modellierung (4,67 m) nimmt etwa 950% des Wertes der Picus-Modellierung (0,49 m) ein, ist also fast zehnmal so groß. Dies zeigt an, dass es bei der Modellierung zu statistischen Ausreißern kommen kann, die das Endergebnis überlagern. Im Fall von Trajektorie 2 liegen die Werte bei der Perzentile P_{95} der simulierten Blöcke bereits bei 0,50 m (Rockfall) bzw. 0,42 m (Picus), der überhöhte Maximalwert der Rockfall-Modellierung spiegelt sich hier also nicht wider.

Kinetische Energie

Perzentile P_{95}

Bei den kinetischen Energien befinden sich bei der Perzentile P_{95} der simulierten Blöcke 6 von 10 Modellierungen beider Programme in ähnlichen Bereichen. Bei Trajektorie 1, Bemessungsereignis 1 m^3 nimmt der Wert der Rockfall-Modellierung (150,00 kJ) etwa 470% des Wertes der Picus-Modellierung (31,73 kJ) ein. Die Ergebnisse der Modellierung hinsichtlich kinetischer Energie dienen dazu, abschätzen zu können, welche Steinschlagschutznetze verwendet werden sollen, um die kinetische Energie der modellierten Blöcke abfangen zu können. Da die Energieklassen der gängigen Steinschlagschutznetze die Größen von 150 kJ, 300 kJ, 500 kJ, 750 kJ, 1000 kJ usw. betragen, ergibt die Diskrepanz der Ergebnisse der Trajektorie 1, Bemessungsereignis 1 m^3 , keine Problematik was die Entscheidungsfindung für eine Energieklasse des Schutznetzes angeht.

Bei Trajektorie 2, Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$ nimmt der Wert der Rockfall-Modellierung (40,00 kJ) etwa 640% des Wertes der Picus-Modellierung (6,22 kJ) ein, die Werte befinden sich allerdings beide in einem niedrigen Energiebereich.

Bei Trajektorie 4, Bemessungsereignis $1,5 \text{ m}^3$ nimmt der Wert der Picus-Modellierung (1422,16 kJ) etwa 400% des Wertes der Rockfall-Modellierung (350,00 kJ) ein. Trajektorie 4 ist die einzige Trajektorie, auf der ein Fall eines

Blockes derartiger Größe modelliert wurde. Sowohl bei der Rockfall- als auch bei der Picus-Modellierung erreichen die Ergebnisse der Trajektorie 4 bei der Perzentile P_{95} der simulierten Blöcke und bei den Maximalwerten Höchstwerte im Vergleich zu den anderen vier Trajektorien, die kinetische Energie betreffend.

Bei Trajektorie 5, Bemessungsereignis 1 m^3 , erreicht der Wert der Picus-Modellierung (284,44 kJ) etwa 360% des Wertes der Rockfall-Modellierung (80,00 kJ). Trajektorie 5 ist die einzige Trajektorie, bei der kein freier Fall der Blöcke modelliert wurde, sondern das Losrollen von Blöcken. Diese Trajektorie hat auch die längste Lauflänge von allen Trajektorien.

Maximalwerte

Bei den Maximalwerten der simulierten Blöcke erreichen nur 4 von 10 Modellierungen beider Programme ähnliche Werte. Bei Trajektorie 1, Bemessungsereignis 1 m^3 , nimmt der Wert der Rockfall-Modellierung (302,60 kJ) etwa 350% des Wertes der Picus-Modellierung (86,51 kJ) ein.

Bei Trajektorie 2 und 3, Bemessungsereignis 1 m^3 , ergibt sich ein ähnliches Bild. Der Wert der Rockfall-Modellierung (376,30 kJ) bei Trajektorie 2 beträgt etwa 370% des Wertes der Picus-Modellierung (101,28 kJ). Bei Trajektorie 3 nimmt der Wert der Rockfall-Modellierung (703,90 kJ) etwa 300% des Wertes der Picus-Modellierung (241,46 kJ) ein.

Bei Trajektorie 4 ergibt sich erneut eine Abweichung zwischen den Ergebnissen der beiden Programme. Beim Bemessungsereignis $1,5 \text{ m}^3$ nimmt der Wert der Picus-Modellierung (1453,95 kJ) etwa 170% des Wertes der Rockfall-Modellierung (853,70 kJ). Beim Bemessungsereignis $0,1 \text{ m}^3$ beträgt der Wert der Picus-Modellierung (220,23 kJ) etwa 550% des Wertes der Rockfall-Modellierung (40,60 kJ). Die Diskrepanz der Werte kann hier einerseits auf die Morphologie des Hanges im Bereich der Trajektorie (große Hangneigung, schuttbedeckte Bereiche,...) und andererseits auf die unterschiedliche Behandlung von Forstwegen (die Trajektorie kreuzt drei Wege) in den beiden Programmen zurückgeführt werden.

Bei Trajektorie 5, Bemessungsereignis 1 m^3 , nimmt der Wert der Picus-Modellierung (302,17 kJ) etwa 160% des Wertes der Rockfall-Modellierung (186,00) ein.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die zwei genutzten Programme mit Einschränkungen ähnliche Ergebnisse liefern können. Natürlich muss man beachten, dass es sich bei Rockfall 6.1 und PICUS 1.4 um verschiedene Programme mit unterschiedlichem Hintergrund handelt. Rockfall 6.1 ist ein 2D- und PICUS 1.4 ein 3D-Programm wobei die beiden Programme auf unterschiedlichen Berechnungsgrundlagen basieren und unterschiedlich genaue Ergebnisse liefern. Es können unterschiedliche Parameter eingespeist werden und es gibt unterschiedlich genaue Hinweise, wie die Programme zu bedienen oder zu benutzen sind. Bei manchen Programmen ist die genaue Art der Berechnung nicht bekannt, bei fast allen muss sich der Benutzer erst mit dem Aufbau und der Art der Eingabe bzw. des Outputs bekannt machen, bevor er eine Modellierung starten kann.

Die essentielle Rolle des Benutzers bei der Verwendung eines Modellierungsprogramms ist in einer Studie von Berger und Dorren (2006) dargestellt, die im folgenden beschrieben wird. Es wurden in einem Testgelände Parameter wie Geschwindigkeit und Sprunghöhe der fallenden Blöcke, Verlauf der einzelnen Trajektorien, Auslauflängen und natürlich Blockgrößen, -formen, -dichte usw. von 100 Blöcken aufgenommen, die mit einem Bagger im Gelände am Startpunkt fallengelassen wurden. Mehrere Firmen wurden im Anschluss beauftragt, Modellierungen für dieses vorgegebenes Terrain (ein DTM, die Lage des Gebietes und die Eigenschaften der Blöcke wie Größe, Form, Gewicht und Anzahl wurden an die Teilnehmer ausgegeben) durchzuführen. Die Ergebnisse aus der Messreihe im Gelände selbst waren nur den Auftraggebern bekannt. Gefragt waren maximale Sprunghöhe, maximale kinetische Energie, maximale Geschwindigkeit und Auslauflänge (Runout Distance) der Blöcke. Sogar bei Anwendung des gleichen Modellierungsprogramms durch unterschiedliche Benutzer kam es zu Abweichungen. Der Vergleich mit gemessenen Werten aus der Testreihe vor Ort zeigte Abweichungen zu allen Modellierungsergebnissen der Teilnehmer. Lediglich bei einer von zwölf Firmen lagen alle verlangten Werte im Bereich von $\pm 20\%$ hinsichtlich der gemessenen Werte. Diese Ergebnisse zeigen, dass es wichtig ist, so viele Daten wie möglich aus dem Gelände erheben zu können. Ohne eine genaue Kenntnis der Morphologie, der Dämpfungseigenschaften des Bodens, Sprunglängen der Blöcke und stummer

Zeugen kann bei der Modellierung nicht abgeschätzt werden, inwiefern die Ergebnisse realitätsnah sind. In dieser Studie war PICUS 1.4 keines der verwendeten Modellierungsprogramme.

Damit das Modellierungsprogramm die Eigenschaften des Hanges, das Fallverhalten von Blöcken hinsichtlich kinetischer Energie und das Bewegungsverhalten von Blöcken aufgrund der Oberflächenrauheit realitätsnah wiedergeben kann, müssen bestimmte Anforderungen erfüllt sein.

Realistische Ergebnisse hinsichtlich Sprunghöhe und kinetischer Energie sind erst nach Abwandlung von Rebound-Algorithmus (Algorithmus der die Abnahme der Energie und Geschwindigkeit eines Blocks nach einem Aufprall beschreibt) bzw. Einführung eines Algorithmus, der das Stoppen von Blöcken aufgrund von Oberflächenrauheit mit einbezieht, möglich (vgl. mit empirischen Werten, Rammer et al, 2009). Dies ist besonders wichtig, um einer realistische Auslauflänge bestimmen zu können.

Der Aufprall der Blöcke ist ein wichtiger Punkt, der korrekt modelliert werden muss (Bourrier et al, 2008). Für die Bestimmung des Rebounds ist es wichtig, für jeden verwendeten Algorithmus eine ausreichende Auswahl an Eingangsparametern zu besitzen. Diese Parameter sind wiederum im Vorfeld im Gelände objektiv zu bestimmen. Aufgrund der schweren Bestimmung kann es zu großen Abweichungen kommen wenn verschiedene Modellierungen durchgeführt werden.

Danksagung

Ich möchte Univ. Lektor Mag. Dr. Diethard Leber und Ao. Univ.-Prof. Dr. Hermann Häusler herzlich für ihre Betreuung danken. Durch Ihre Unterstützung und Ihr Vertrauen in meine Fähigkeiten wurde diese Masterarbeit ermöglicht und ich konnte einen tieferen Einblick in die Fachgebiete Fernerkundung und Naturgefahren erlangen.

Herrn Dipl.-Ing. Ulrich König, ÖBB Infrastruktur-Bau AG, Abteilung Geotechnik, möchte ich für die Erlaubnis zur Verwendung von Daten und Unterlagen zum Bereich Schattlleiten danken.

Herrn Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Manfred Lexner, Institut für Waldbau, BOKU Wien, danke ich für die Erlaubnis zur Verwendung von PICUS 1.4 im Rahmen meiner Masterarbeit. Dipl.-Ing. Werner Rammer, Entwickler von PICUS 1.4, dient mein Dank für die Unterstützung bei technischen Fragen.

Univ.-Lektor Dipl.-Ing. Dr. Michael Brauner und Dipl.-Ing. Gerhard Volk, Firma Geoexpert, dient mein besonderer Dank für technischen Support bei Fragen zu PICUS oder Rockfall. Dipl.-Ing. Peter Buresch danke ich für Unterstützung bei Fragen zu ArcMap. Mag. Margit Kurka dient mein Dank für die fachlichen Ratschläge zur Geländeaufnahme und –beschreibung.

Weiters bedanke ich mich bei meinem Studienkollegen Alexander Rath, Vanessa Fremd, Christian Schrott und Andrea Schicker.

Ich danke herzlich meiner Familie und meinen Freunden, die mir während des Arbeitsprozesses Beistand geleistet haben. Meinen Eltern möchte ich für ihre Unterstützung danken, meinem Partner Matthias Czakler für seine unendliche Geduld und meiner Freundin Nina Hermann für ihre einzigartige Freundschaft und Hilfsbereitschaft. Ein großes Dankeschön an Sabrina Liska für ihre professionelle künstlerische Hilfestellung. Helmut Dunkel, Roman Pickl und Veronika Prömer verdienen als persönliche Korrekturleser Dank.

Literaturliste

Agliardi, F. and Crosta, G.B. (2003) High resolution three-dimensional numerical modelling of rockfalls. *Int. Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 40, S. 455-471.

Berger, F., Corominas, J., Lopez Carreras, C., Brauner, M., Kienholz, H., Bartelt, P. (2004) ROCKFOR Project – Final Report QLK5 – CT – 2000-01302, 229 S., Cemagref, Grenoble.

Berger, F. and Dorren, L.K.A. (2006) Objective comparison of rockfall models using real size experimental data. In: Marui, H. et al. (Eds.), *Disaster mitigation of debris flows, slope failures and landslides*. Universal Academy Press, Inc., Tokyo, Japan, S. 245-252.

Bourrier, F., Dorren, L.K.A., Nicot, F., Darve, F., Berger, F. (2008) Introducing an objective stochastic impact law for simulating rebounds in 3D rockfall models: simulated vs. experimental data. *European Geosciences Union (EGU) - General Assembly*, 14-18 April 2008, Wien. Abstract Paper, 2 S.

Braunstingl, R. (1983) Bericht über die Kartierung der Reichraminger Decke zwischen Steyr und Enns (Gebiet Molln – Hohe Dirn). *Jahrbuch der geologischen Bundesanstalt*, Wien.

Decker, K. (1986) Bericht 1986 über geologische Aufnahmen in den Kalkalpen (Reichraminger Decke) auf Blatt 69 Großraming. S. 280-281, *Jahrbuch der geologischen Bundesanstalt*, Wien.

Faupl, P. (1984) *Einführung in die Historische Geologie*. 184 S. Prugg Verlag, Eisenstadt.

Müller, A. M. (1984) Die neokome Aptychenkalkfazies der Schneebergmulde im Bereich der Weyerer Bögen (Reichraminger Decke, Nördliche Kalkalpen, OÖ). Unveröff. Vorarbeit Formal- u. Naturwiss. Fak. Univ. Wien, 86 S., Wien.

Müller, A. M. (1986) Bericht 1986 über geologische Aufnahmen in den Kalkalpen auf Blatt 69 Großraming. S. 282-284, *Jahrbuch der geologischen Bundesanstalt*, Wien.

Plöschinger, B. (1980) Die Nördlichen Kalkalpen. – In: **Oberhauser, R.** (ed.): Der geologische Aufbau Österreichs. 700 S. Springer Verlag, Wien – New York.

Rammer, W., Brauner, M., Dorren, L.K.A., Berger, F., Lexer, M.J. (2009) Evaluation of a 3D rockfall module within a forest patch model (in Revision bei Natural Hazards and Earth System Sciences - An Open Access Journal of the European Geosciences Union)

Schweigl, J., Ferretti, C. and Noessing, L. (2003) Geotechnical characterization and rockfall simulation of a slope: a practical study from South Tyrol (Italy), Engineering Geology, 67, S. 281-296.

Tollmann, A. (1966) Tektonische Karte der Nördlichen Kalkalpen. Mitt. Geol. Ges. Wien, Band 59, Heft 2, S. 231-253.

Tollmann, A. (1976) Der Bau der Nördlichen Kalkalpen. Orogene Stellung und regionale Tektonik. 449 S., 130 Abb., 7 Taf. Franz Deuticke, Wien.

Tollmann, A. (1985) Geologie von Österreich. Band 2, 710 S., 286 Abb., 27 Tab. Franz Deuticke, Wien.

Van Husen, D. (1975) Die quartäre Entwicklung des Steyrtales und seiner Nebentäler. Jahrb. O.Ö. Musealv., 120, S.271-289, Linz.

Anhang

- Lebenslauf
- Beilage: Geologisch-geomorphologisch-geotechnische Karte

Anna-Christine Dunkel

Schlettergasse 1/2/9

1220 Wien

Telefon +43 664 / 52 75 579

E-Mail : C.Dunkel@gmx.net



Lebenslauf

- Persönliche Informationen:** Familienstand: ledig
Staatsbürgerschaft: Österreich
Geburtsdatum: 24.12.1984
Geburtsort: Wien
- Schulische Ausbildung:** Volksschule in Wien 22 (1991-1995)
Realgymnasium in Wien 22 (1995-2003)
Maturaabschluss (2003)
- Universitäre Ausbildung:** Bakkalaureatsstudium Erdwissenschaften,
Universität Wien (2004-2007)
Masterstudium Erdwissenschaften,
Universität Wien (2007-2009)
- Sprachkenntnisse:** Englisch (8 Jahre), Französisch (zweite lebende
Fremdsprache, 4 Jahre)
- Referenzen:** Exkursionen und Kartierungen in Österreich und
im Ausland, Studienrichtungsvertreterin
Erdwissenschaften (2007-2009)
Technische Zeichnerin, Wiengas GmbH (2006)
Technische Zeichnerin, A-TEC PPS AG
(2007-2008)
Geologin, Geoexpert Research & Planning
GmbH (2008-2009)

