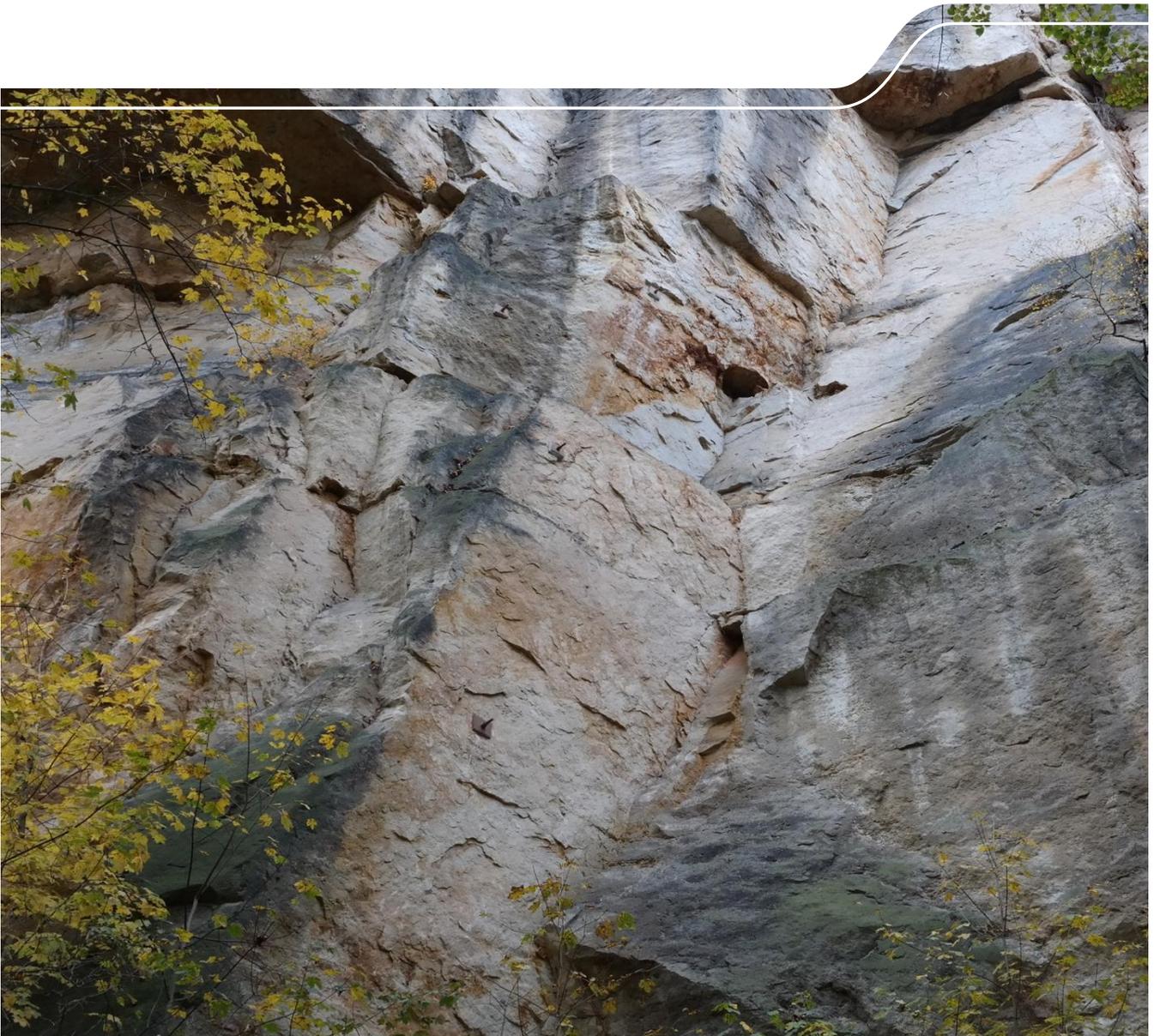


Verklauungsgefahr der Elbe



Risikoanalyse einer Verklausung (eines Aufstaus) der Elbe infolge verschiedener Szenarien von Sturz- und Rutschprozessen in der Sächsischen Schweiz

Dr. Kaspar Graf, Maren Salz

1	Einleitung und Problemstellung	6
2	Ausgeführte Arbeiten	7
3	Prozessdefinition	7
3.1	Sturzprozesse	7
3.2	Rutschprozesse	8
3.2.1	Permanente Rutschung	8
3.2.2	Spontane Rutschung.....	8
3.2.3	Hangmuren	8
3.3	Wasserprozesse	8
4	Vorhandene Grundlagen.....	9
5	Analyse der Grundlagen	9
6	Geologische Beschreibung des Bearbeitungsperimeters	10
7	Abschnittseinteilung und -beschreibung.....	15
7.1	Abschnitt A: Tschechische Grenze – Bad Schandau (Flusskilometer 0,1 bis 11,9)	16
7.1.1	Morphologie.....	16
7.1.2	Ereignisse	16
7.2	Abschnitt B: Bad Schandau – Rathen (Flusskilometer 11,9 bis 22,7).....	17
7.2.1	Morphologie.....	17
7.2.2	Ereignisse	17
7.3	Abschnitt C: Rathen – Pirna (Flusskilometer 22,7 bis 33,7)	18
7.3.1	Morphologie.....	18
7.3.2	Ereignisse	20
8	Szenarienbildung	21
8.1	Sturz-/Rutschprozesse	21
8.2	Wasserprozesse (Murgang)	26
9	Modellierung der relevanten Szenarien	27
9.1	Sturz-/Rutschprozesse	27
9.2	Wasserprozesse (Murgang).....	28
10	Interpretation der Modellierungs-ergebnisse.....	29
10.1	Interpretation Modellierungsergebnisse Sturz/Rutsch	29
10.2	Interpretation Modellierungsergebnisse Murgang.....	30
11	Analyse der Reichweiten von Bergstürzen mittels Pauschalgefälleanalyse	30
12	Verklauungsgefahr der Elbe durch große Massenbewegungen	31
13	Schlussfolgerungen.....	31
	Anhang 1 Modellierungsergebnisse Sturz/Rutsch	32
	Anhang 2 Modellierungsergebnisse Murgang	36
	Anhang 3 Resultate Pauschalgefälleberechnung.....	40
	Anhang 4 Standortblätter	55
	Anhang 5 Modellbeschreibung RAMMS::Debris Flow	70

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Das Untersuchungsgebiet beidseits der Elbe erstreckt sich von der tschechischen Grenze entlang des Flusslaufes bis nach Pirna (Quelle: GeoSN).....	6
Abbildung 2:	Geologische Übersichtskarte mit Verbreitung der Elbtalkreide (grün) [12].....	10
Abbildung 3:	Vereinfachte lithostratigrafische Gliederung [12].....	10
Abbildung 4:	Ansicht der Bruchwand in den Zeichener Brüchen, Niveau der Schrammsteinschichten mit großbankigem Quarzsandstein Stufe d und zurückwitterndem Horizont (Pfeil). Es ist nicht klar, ob es sich dabei um den γ 3-Horizont (lokal auch Mergel von Zatzschke) handelt.	11
Abbildung 5:	Hangkante der Zeichener Brüche oberhalb der Siedlung Oberposta	12
Abbildung 6:	Strudeltopf im Sandstein bei den Zeichener Brüchen.....	12
Abbildung 7:	Hillshade Übersicht. Ersichtlich sind der Elbelauf und die angrenzenden Erhebungen, teilweise lassen sich alte Elbeläufe erkennen.	13
Abbildung 8:	Ansicht der Bruchwand in den Weißen Brüchen mit intensiver durchschlagender Klüftung (rot = SW-NE, blau = NW-SE).....	14
Abbildung 9:	Für den Abschnitt A erstelltes Hillshade auf Basis des digitalen Geländemodells mit einer Auflösung von 2 m. Eingetragen sind die Ereignisse aus dem Ereigniskatasterauszug vom 26.10.2014.	16
Abbildung 10:	Querprofil bei km 20,6 (Niedere Kirchleiten-Brüche), von West nach Ost verlaufend	17
Abbildung 11:	Für den Abschnitt B erstelltes Hillshade auf Basis des digitalen Geländemodells mit einer Auflösung von 2 m. Eingetragen sind die Ereignisse aus dem Ereigniskatasterauszug vom 26.10.2014.	18
Abbildung 12:	Querprofil bei km 23,5 (Weiße Brüche) von Nord nach Süd verlaufend	19
Abbildung 13:	Querprofil bei km 29,95 (Zeichener Brüche) von NE nach SW verlaufend	20
Abbildung 14:	Für den Abschnitt C erstelltes Hillshade auf Basis des digitalen Geländemodells mit einer Auflösung von 2 m. Eingetragen sind die Ereignisse aus dem Ereigniskatasterauszug vom 26.10.2014.	21
Abbildung 15:	Detail der Ablösungsfläche	
Abbildung 16:	Blick von der Bastei aus zum Wartturm.....	23
Abbildung 17:	Unregelmäßige Felsüberhänge im Bereich der Weißen Brüche	24
Abbildung 18:	Schematische Darstellung möglicher Sturzscenarien aus den Steinbruchwänden entlang der Elbe	25
Abbildung 19:	Einzugsgebiete der für die Murgangmodellierung ausgewählten Abflussrinnen	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Auswertung der Beschaffenheit der Uferstrecken	15
Tabelle 2:	Szenarien der Sturzprozesse. Die Angaben von Wiederkehrdauern ist nur für häufige bis seltene Ereignisse möglich. Eine Zuordnung von Wiederkehrperioden für sehr seltene Ereignisse ist nicht gesichert belegbar. Deshalb erfolgt dort nur eine qualitative Beschreibung der Wiederkehrperioden.	22
Tabelle 3:	Szenarien Wasser (Murgang)	26

1 Einleitung und Problemstellung

Mit Forschungs- und Entwicklungsvertrag wurde die GEOTEST AG beauftragt, das Risiko möglicher Massenbewegungen (Sturz-, Rutsch- und Murgangprozesse), die zu einem Aufstau der Elbe führen können, zu beurteilen. Der Untersuchungsperimeter erstreckt sich entlang der Elbe von der Landesgrenze zu Tschechien bis nach Pirna.

Die Elbe hat sich zwischen tschechischer Grenze und Pirna auf einer Strecke von rund 30 km in das Elbsandsteingebirge eingetieft. Der Fluss liegt heute rund 300 m tiefer als die höchste Erhebung unmittelbar am Elbe-lauf (Lilienstein). Generell erheben sich die mit Löss bedeckten Hochebenen (Ebenheiten) rund 120 m über den Fluss. Das rechtsufrige Schrammsteingebirge mit den vorgelagerten Postelwitzer Steinbrüchen hat eine maximale Erhebung von 240 m (Vorderer Torstein). Entlang den teilweise steil aufragenden Felsanschnitten sollen mögliche Sturz-, Rutsch- und Murgangsszenarien beurteilt werden. Daraus werden die möglichen Auswirkungen für die Elbufer und den gesamten Flussquerschnitt unter Einbezug von Modellierungen abgeleitet.

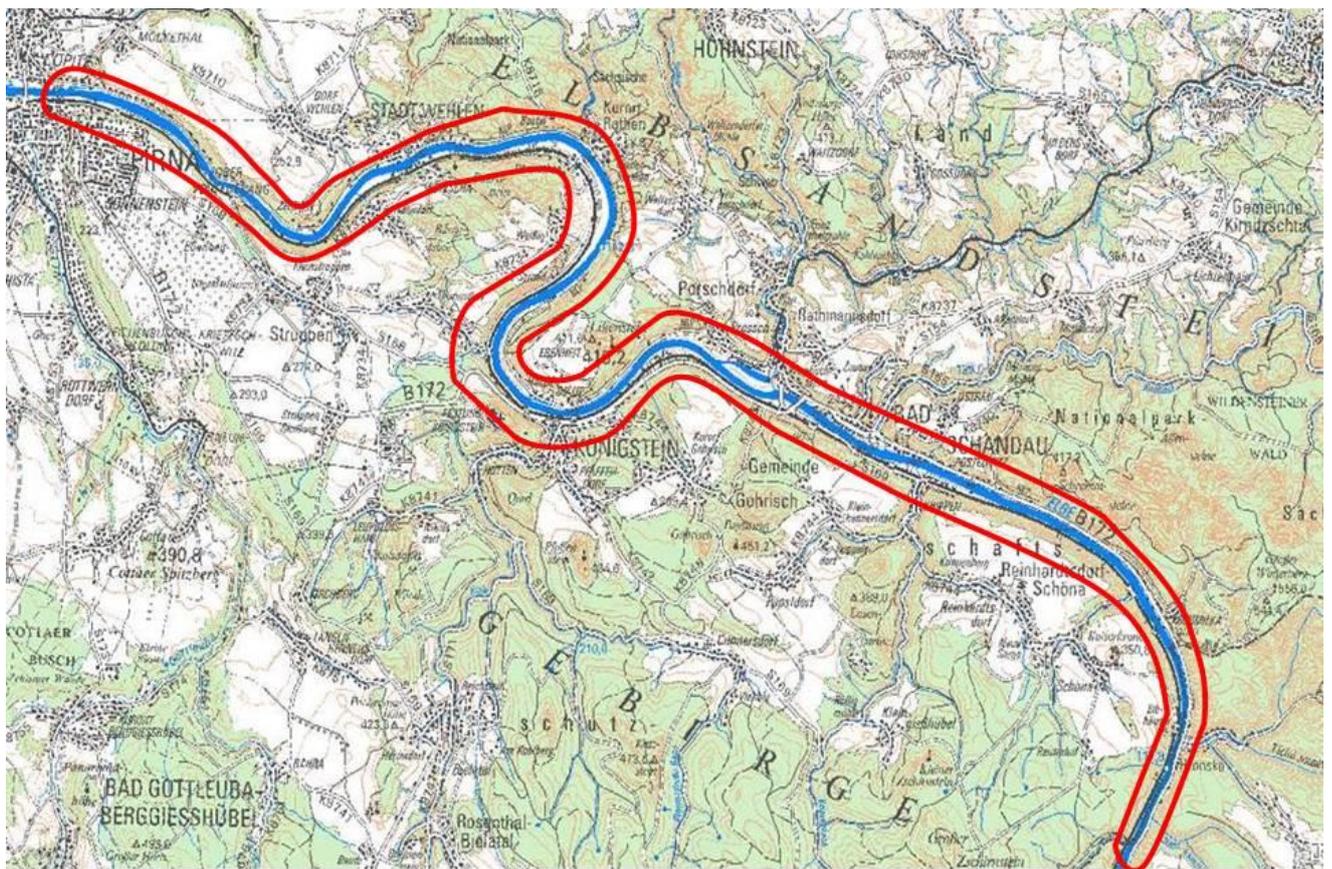


Abbildung 1: Das Untersuchungsgebiet beidseits der Elbe erstreckt sich von der tschechischen Grenze entlang des Flusslaufes bis nach Pirna (Quelle: GeoSN).

2 Ausgeführte Arbeiten

Gemäß der Offerte OF2614052.1 wurden folgende Arbeiten ausgeführt:

- a) Grundlagenbeschaffung
- b) Aufbereitung der digitalen Kartengrundlagen und Geländemodelle
- c) Auswertung der geologischen Grundlagen, Gefahrenkarten, Literatur
- d) Auswertung des digitalen Geländemodells mit Analysen des Pauschalgefälles der Böschungen entlang der Elbe
- e) Aufbereiten der Grundlagen für die Geländebegehung
- f) Dreitägige Geländebegehung (vom 10.-12.11.2014)
- g) Berichterstattung mit Vorschlag für weiteres Vorgehen
- h) Szenariendefinition (relevante Prozessabläufe und -kubaturen)
- i) Modellierung der relevanten Gefahrenstellen mit der numerischen Simulationssoftware RAMMS; Pauschalgefälleberechnung mittels ArcGIS
- j) Verifikation der Resultate im Gelände
(Auf ergänzende Feldbegehungen wurde vorerst verzichtet. Die Felssturzscenarien wurden anlässlich der ersten Feldbegehungen insbesondere in den Postelwitzer, Zeichener und Weißen Brüchen begutachtet und diskutiert. Die großen modellierten Verklausungsszenarien finden im Feld keine Entsprechungen. Die Eintalungen im rückwärtigen Bereich der Zeichener Brüche, welche als oberflächlicher Ausdruck einer tiefgreifenden tektonischen Störung gedeutet werden kann, wurden begangen. Eine Plausibilisierung der Hypothese kann nur mit Tiefenerkundung oder geodätischer Vermessung erfolgen. Im Zuge der Diskussion der einzelnen Szenarien können Feldbegehungen mit den zuständigen Behörden vor Ort erfolgen.)
- k) Erstellen des Abschlussberichts
- l) Präsentation der Ergebnisse

3 Prozessdefinition

3.1 Sturzprozesse

Sturzprozesse sind definiert als schnelle Massenbewegungen, bei denen das entlang von Trennflächen (Schicht-, Schieferungs-, Kluft- oder Bruchflächen) aus dem Gebirgsverband ausgebrochene Material den größten Teil des Weges in der Luft zurücklegt. Sturzprozesse werden in drei Kategorien unterteilt [8]:

- Stein- und Blockschlag (Steinschlag: abstürzende Gesteinskomponente mit Durchmesser < 0,5 m/Blockschlag: abstürzende Gesteinskomponente mit Durchmesser > 0,5 m)
- Felssturz (abstürzende Gesteinskomponenten mit Volumen zwischen 10–100.000 m³)
- Bergsturz (großvolumige Gesteinsmassen von 1 Mio. bis mehrere Mio. m³)

Für die Bearbeitung der Fragestellung, ob die Elbe durch große Massenbewegungen verklaut werden kann, sind die Prozesskategorien Fels- und Bergsturz relevant. Stein- und Blockschlag stellen im Bearbeitungsperimeter eine Gefährdung für Siedlungen und Verkehrsinfrastruktur dar, werden aber in diesem Bericht nicht eingehender betrachtet.

3.2 Rutschprozesse

Unter Rutschungen werden hangabwärts gerichtete, gleitende Bewegungen von Hangteilen aus Fest- und/oder Lockergestein (sowie Bodenmaterial) verstanden [8]. Sie sind das Ergebnis eines Scherbruches und treten im Allgemeinen an mäßig geneigten bis steilen Böschungen und Hängen auf. Rutschungen werden in permanente Rutschungen, spontane Rutschungen und Hangmuren unterteilt [10].

3.2.1 Permanente Rutschung

Kontinuierliche Rutschungen, die sich über lange Zeiträume gleichmäßig hangabwärts bewegen. Die Bewegungen erfolgen entweder längs mehr oder weniger deutlich ausgebildeter, bestehender Gleitflächen oder längs bestehender Zonen verstärkter Scherdeformation.

3.2.2 Spontane Rutschung

Lockergesteinsmasse, die infolge eines plötzlichen Verlustes der Scherfestigkeit unter Ausbildung einer Bruchfläche (Gleitfläche) relativ schnell abgleitet. Bei spontanen Rutschungen bildet sich stets eine neue Gleitfläche bzw. Bruchfläche aus, was sie von permanenten Rutschungen unterscheidet.

Hier sind insbesondere die teilweise hohen und ausgedehnten Schutthalden am Fuß der großen Steinbrüche zu diskutieren. Die Stabilität dieser vor allem aus Sand, Schluff und Blockmaterial bestehenden Halden wird in [6] eingehend diskutiert. BARTHEL kommt aufgrund geotechnischer Überlegungen und der Auswertung dokumentierter Ereignisse zum Schluss, dass es für eine maßgebliche Destabilisierung der Haldenböschungen ein ungünstiges „Zusammentreffen bestimmter Geofaktorenkombinationen“ brauchen würde.

3.2.3 Hangmuren

Relativ rasch abfließendes Gemisch aus Lockergestein und Wasser [10]. Hangmuren entstehen an relativ steilen Hängen mit einer Lockergesteins- bzw. Bodenbedeckung. Durch den Prozess werden meist nur oberflächennahe Schichten mobilisiert. Als auslösender Faktor wirken in den meisten Fällen intensive Niederschläge. Der Entstehung förderlich sind zudem anthropogene Faktoren. Der verhältnismäßig hohe Wasseranteil kann eine hohe Prozessgeschwindigkeit und Transportweite zur Folge haben.

3.3 Wasserprozesse

Der für das Bearbeitungsthema relevante Wasserprozess ist der Murgang. Unter einem Murgang versteht man eine langsam bis schnell abfließende Suspension aus Wasser, Feststoffen und Holz. Murgänge können in sehr kurzer Zeit einige hundert bis hunderttausend Kubikmeter an Feststoffen verlagern. Der Volumenanteil Feststoffe beträgt zwischen 30–70 %. Murgänge weisen folglich hohe Dichten auf. Aufgrund des Wasseranteils können Murgänge Geschwindigkeiten bis zu 60 km/h erreichen. Murgänge entstehen in Gebieten mit hohem Lockermaterialvorkommen oder als Sekundärprozess aus einer Rutschung. Der Transitbereich ist meist ein definierter Gerinneverlauf (Bachgefälle > 15 %). Murgänge weisen typische Ablagerungsformen wie Murköpfe mit einer unsortierten Ablagerung von Blöcken, Geröll und Holz oder Levées (seitliche Ablagerungsdämme) auf.

Murgangereignisse sind in der Ereignisdokumentation enthalten. Diese können mit außerordentlichen Oberflächenabflüssen im Zusammenhang mit Starkregen in Verbindung gebracht werden.

4 Vorhandene Grundlagen

- [1] Geologische Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete von Sachsen 1 : 50.000 Blatt Pirna 2769; GK 50, 1. Auflage, Freiberg 1998.
- [2] Geologische Karte der Nationalparkregion Sächsische Schweiz 1 : 50.000; Geologische Regionalkarte Nr. 1, 1. Auflage, Freiberg 1993.
- [3] Ereigniskataster des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Auszug für den Bearbeitungsperimeter. Stand 1. November 2014.
- [4] Digitales Geländemodell (DGM2). Letzte Aktualisierung 15.11.2012.
- [5] RAST, H. (1959): Geologischer Führer durch das Elbsandsteingebirge. Bergakademie Freiberg.
- [6] BARTHEL, H. (1965): Zur geomorphologischen Dynamik der stillgelegten Sandsteinbrüche im Elbtal der Sächsischen Schweiz. In: Sächsische Heimatblätter 11(3), Seiten 194-222.
- [7] JANETSCHKE, N. & WILMSEN, M. (2013): Sequence stratigraphy of the lower Upper Cretaceous Elbtal Group (Cenomanian-Tutorial of Saxony, Germany). In Z. Dt. Ges. Geowiss. 165(2), Seiten 179-208.
- [8] BAFU Hrsg. (1997): Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten.
- [9] BERGMEISTER, K. et al. (2009): Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren. Grundlagen, Entwurf und Bemessung, Beispiele.
- [10] Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren der Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie AGN-DGN (2004): Gefahreinstufung Rutschungen i. w. S. Permanente Rutschungen, spontane Rutschungen und Hangmuren.
- [11] Kanton Glarus, Abteilung Wald und Naturgefahren (2013): Abklärungen zur Festlegung und Abgrenzung von Spontanrutschungen und Hangmuren im Kanton Glarus.
- [12] WILMSEN, M.(2014): Exkursion „Elbsandsteingebirge“ der Chefgeologen 02.06.2014.
- [13] AL SANDOUK, N. A. (2009): Felssturzrisikokartierung und Klassifikation der Postelwitzer Steinbrüche (Sachsen). Diplomkartierung. Rheinisch-westfälische Technische Hochschule Aachen.
- [14] WSL Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (2013): RAMMS User Manual v1.5 Debris Flow.

5 Analyse der Grundlagen

Für die Bearbeitung der Thematik wurde die vorhandene Literatur zur Geologie des Elbsandsteingebirges aufgearbeitet. Besonders der Geologische Führer [5] und die geomorphologischen Ausführungen von BARTHEL zur Dynamik der stillgelegten Sandsteinbrüche im Elbtal [6] haben wertvolle Grundlageninformationen geliefert. Eine weitere wichtige Bearbeitungsgrundlage bildete das digitale Geländemodell (Auflösung 2 m). Anhand des Geländemodells wurden Schattenbildauswertungen (Hillshades), Neigungsanalysen, Querprofile, Berechnungen hydrologischer Einzugsgebiete und Pauschalgefälleanalysen erarbeitet. Die Auswertung des bestehenden Ereigniskatasters stellte sich als schwierig heraus. So gibt es im Kataster keine klare Prozesszuordnung der Ereignisse. Gerade die Einordnung von Rutsch- und Wasserprozessen ist sehr schwierig, weil keine einheitliche Terminologie vorhanden ist. Auch fehlen Informationen über die genaue räumliche Ausbreitung oder die Prozessdynamik. Ereignisdokumentationen liefern wichtige Informationen über das Gefahrenpotenzial und stellen damit eine wichtige Grundlage in einer Gefahrenbeurteilung dar. Die Ergänzung des Ereigniskatasters um Flächendaten und eine eindeutige Prozesszuordnung wird empfohlen.

6 Geologische Beschreibung des Bearbeitungsperimeters

Die Beschreibung der geologischen und tektonischen Gegebenheiten konzentriert sich primär auf Faktoren, die Stabilitäts- und Erosionsmechanismen des Gebirges beeinflussen.

Im fraglichen Abschnitt zwischen der tschechischen Grenze und Pirna hat sich die Elbe tief in die Sedimente der Elbtalkreide eingeschnitten. Bei den Gesteinen handelt es sich um Sandsteine, Mergel und Tone der Unteren Oberkreide (Cenoman – Turon – Coniac, ca. 95–85 Mio. Jahre vor heute), die in einer NW-SE verlaufenden Meeresstraße zwischen der West-Sudetischen Insel (Lausitzer Block) im Nordosten und dem Erzgebirge (Böhmische Masse) im Südwesten abgelagert wurden (Abbildung 2).

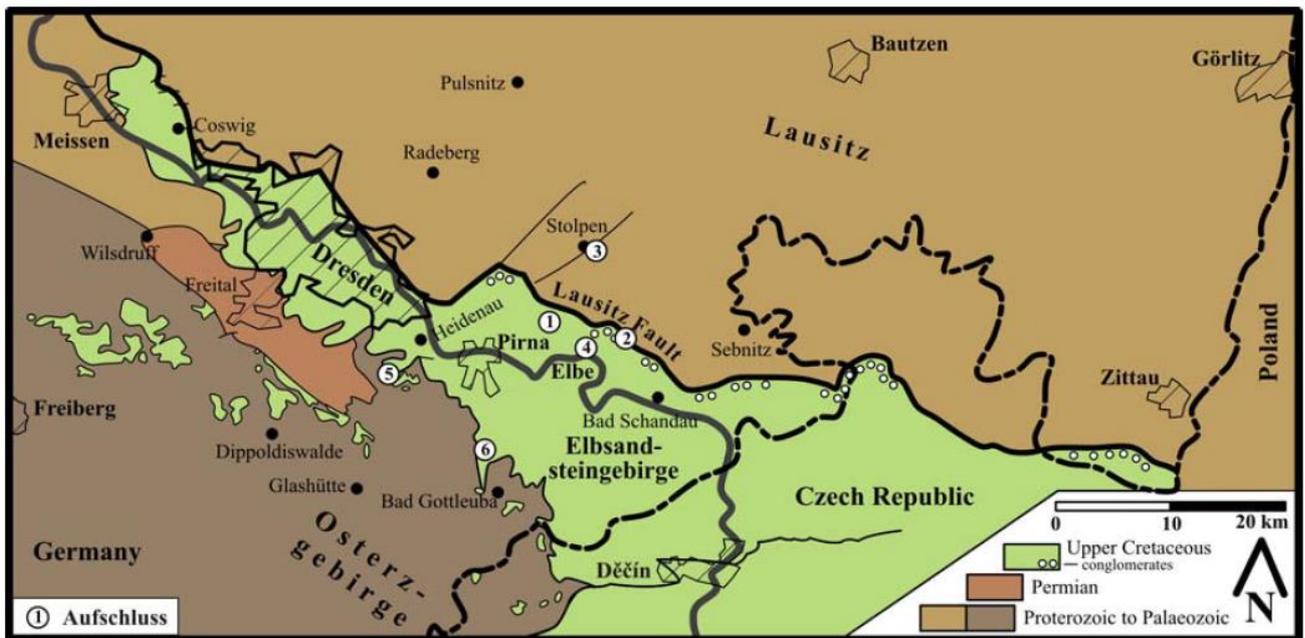
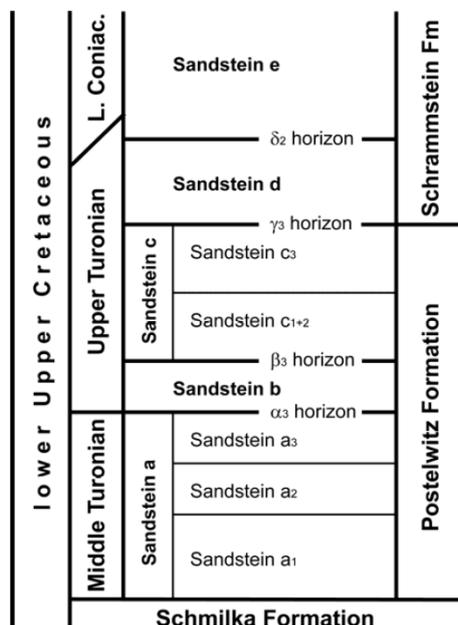


Abbildung 2: Geologische Übersichtskarte mit Verbreitung der Elbtalkreide (grün) [12]



Die Sandsteinabfolgen zeigen eine deutliche Gliederung, die sich über weite Bereiche verfolgen lässt und vor allem auch in den entlang der Elbe zahlreich angelegten großen Steinbrüchen klar ersichtlich ist. Die Gesteinsabfolgen können hier durch die künstlichen Eingriffe noch in ihrer räumlichen Anordnung und im noch relativ frischen Anbruch studiert werden. Auch entlang der von Süden und Norden ins Haupttal einmündenden, tief eingeschnittenen Seitentäler oder Gründe ist die stratigrafische Abfolge und die Gebirgsdurchtrennung ersichtlich. Oberflächliche Verwitterung, Schuttbedeckung und Vegetation sind hier jedoch weiter fortgeschritten als in den Brüchen. Die Gliederung (Lamprecht-Gliederung) basiert insbesondere auf den feinkörnigen Horizonten (α₃, β, γ₃, und δ), die als Trennfugen zwischen den mehr oder weniger mächtigen Sandstein-komplexen (a₁₋₃, b, c₁₋₃, d, e) wirken (Abbildung 3).

Abbildung 3: Vereinfachte lithostratigrafische Gliederung [12]

Entlang dieser Horizonte setzt die Verwitterung präferenziell an. Dieser Umstand führt zu Rückwitterung im Felsverband (Abbildung 4). Den horizontalen Schichtfugen wurde bei der Gewinnung der Bausteine durch Unterhöhlung bewusst gefolgt, um das Gebirge zu unterschneiden und dadurch ganze Wandbereiche zu fällen (Quelle: <http://www.steinbruchfuehrungen.de/geschichte.html>).



Abbildung 4: Ansicht der Bruchwand in den Zeichener Brüchen, Niveau der Schrammsteinschichten mit großbankigem Quarzsandstein Stufe d und zurückwitterndem Horizont (Pfeil). Es ist nicht klar, ob es sich dabei um den γ 3-Horizont (lokal auch Mergel von Zatzschke) handelt.

Im Untersuchungsgebiet sind insbesondere die Postelwitzer und die Schrammstein-Schichten beidseits der Elbe „wandbildend“ bzw. aufgeschlossen. Die Kreidegesteine werden im Hangenden neben lokal auftretenden glazialen und interglazialen Schmelz- und Flusswasserablagerungen (Elster-Kaltzeit) von bis mehreren Meter mächtigen pleistozänem Löss und Lösslehm überdeckt. Diese locker gelagerten, windverfrachteten Schluffe und Feinsande sind generell gut wasserdurchlässig. Entlang der Abbruchkanten der Steinbrüche bilden diese Lössablagerungen oftmals übersteilte Böschungen. Die Baumstämme entlang der Böschungskante sind oftmals unterkolkt (Abbildung 5).

Die zuvor erwähnten Schmelzwasserablagerungen bilden stellenweise in die Sandsteinoberfläche eingefresene fossile Bachläufe, die mit grobblockigen, sehr gut gerundeten Schottern verfüllt sind. Neben in situ aufgearbeiteten Sandsteinkomponenten finden sich auch kristalline Gerölle. Am Westrand der Zeichener Brüche fand sich eine solche Rinne, bei der durch die Steinbruchwand randlich angeschnittene, bis mehrere Meter messende Strudeltöpfe in den anstehenden Sandstein eingetieft sind. Unter Umständen könnte es sich hier auch um eine basale Abflussrinne des Gletschers gehandelt haben (Abbildung 6).



Abbildung 5: Hangkante der Zeichener Brüche oberhalb der Siedlung Oberposta



Abbildung 6: Strudeltopf im Sandstein bei den Zeichener Brüchen

Neben der Stratigrafie spielt die Tektonik für die Gebirgsstabilität eine wichtige Rolle. Das sächsische Kreidebecken wird im Nordosten durch die NW-SE streichende Lausitzer Überschiebung begrenzt, die schon während der Sedimentation der Sandsteine in der oberen Kreide aktiv war. Entlang dieser senkt sich das Becken als Halbgraben ein. Im Tertiär wurde dann der Graben entlang derselben Störung „invertiert“ bzw. eingeeignet und teilweise herausgehoben [1]. Die auf dem Geländemodell (Abbildung 7) deutlich sichtbare „Riesenfußflexur“, die sich vom Schönfelder Hochland über Zatzschke nach SE in Richtung der Elbeschleife bei den Zeichener Brüchen erstreckt, ist ein mit der Lausitzer Überschiebung in etwa paralleles, tektonisch assoziiertes Element, entlang dem die Schichtung der Sandsteine nach SW verbogen werden. In [1] wird vermutet, dass die im Gelände morphologisch als Absatz erkennbare Struktur einst den Talrand eines alten Elbelaufes darstellte.

Es wird angenommen, dass die Lausitzer Überschiebung bis heute aktiv ist [12]. Das Elbsandsteingebirge wird insgesamt durch steilstehende Brüche bzw. Klüfte durchschlagen, die – soweit ersichtlich – generell

Nordwest-Südost und als konjugiertes System Nordost-Südwest (bisweilen NNE-SSW) angelegt sind. Die Klüfte treten in unterschiedlichen Abständen von mehreren Dekametern Abstand bis zu sog. Dichtklüftungszonen mit Abständen von bis unter einem Meter auf. Diese Strukturelemente beeinflussen die Verwitterungsbildungen der Quadersandsteine, die Richtungsmuster der Täler und Gründe und deutlich auch den heutigen Lauf der Elbe. Deren genereller Lauf ist zwischen Schmilka und Pirna ESE-WNW, die beiden Biegungen bei der Festung Königstein und bei Rathen zeigen nach SW bzw. NE. Zwischen Stadt Wehlen und Pirna fließt die Elbe zuerst nach WSW, um dann bei den Zeichener Brüchen bzw. dort, wo sie die Riesenfußflexur quert, nach NW umzubiegen. Auch verschiedene von Norden in die Elbe mündende Flüßchen und Bäche zeigen im Talverlauf Mäander mit ähnlichem Richtungsverlauf.

Die Sandsteinabfolgen bilden beidseits der Elbe natürliche und anthropogen erschaffene Böschungen, Felsenhänge und Felswände. Die mehr oder weniger intensive steilstehende Klüftung durchtrennt das Gebirge und kontrolliert den Verlauf der Felswände sowohl in den Abschnitten natürlicher Wände als auch in den Steinbrüchen. Besonders ausgeprägt sind die Klüftungen im Bereich der Postelwitzer Brüche zwischen Schmilka und Bad Schandau sowie in der Bastei und den angrenzenden Weißen Brüchen zwischen Rathen und Wehlen (Abbildung 7 und Abbildung 8).

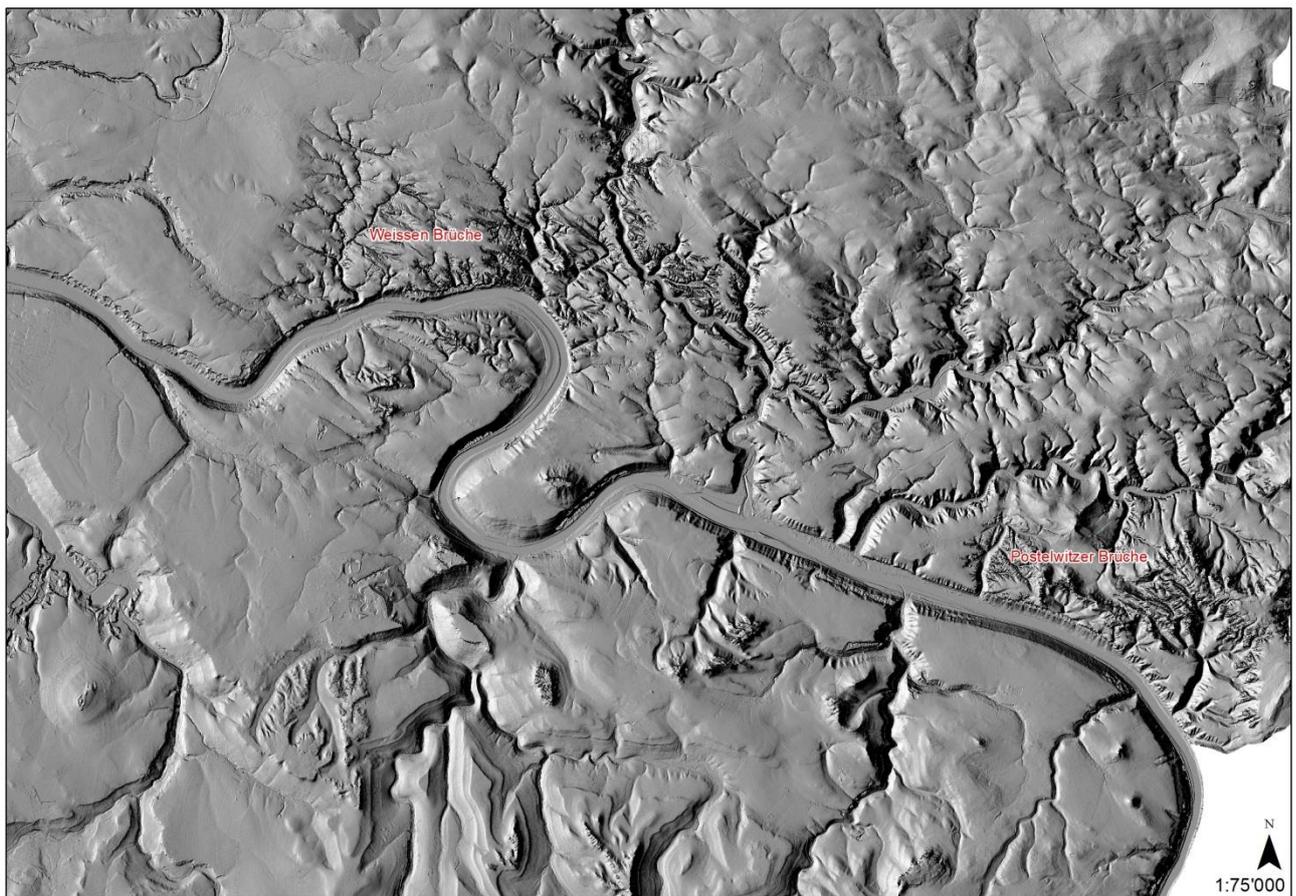


Abbildung 7: Hillshade Übersicht. Ersichtlich sind der Elbelauf und die angrenzenden Erhebungen, teilweise lassen sich alte Elbeläufe erkennen.

Die höchsten Felseinhänge über der Elbe bzw. die engsten Flussabschnitte finden sich im Bereich der Postelwitzer Brüche, der Bastei und der Weißen Brüche. Mit Ausnahme der Bastei und der Festung Königstein

sind die ausgeprägten Felsbereiche praktisch gänzlich durch die lang andauernde Steinbruchtätigkeit überprägt.

Der Felsabtrag erfolgte von unten nach oben bzw. er verlagerte sich mit der Zeit aus der Elbufernähe in höhere, von der Elbe weiter entfernte Bereiche. Es gibt offenbar keine detaillierten Belege aus den frühen Perioden des Abbaus. Durch die Zunahme der Schifffahrt, den Bau der linksufrigen Eisenbahn, der rechtsufrigen Straße nach Děčín und der Besiedlung der Elbufer wurde der Steinbruchbetrieb bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts stark eingeschränkt oder eingestellt. Die Steinbruchwände, welche in den Weißen Brüchen noch bis 80 m hoch sein können, überragen ein mehr oder weniger breites, meist ebenes Haldenplateau, das wiederum über eine 30–40° steile Haldenböschung zum Elbeufer abfällt.



Abbildung 8: Ansicht der Bruchwand in den Weißen Brüchen mit intensiver durchschlagender Klüftung (rot = SW-NE, blau = NW-SE)

Die mit rund 40 m höchsten Halden finden sich in den Postelwitzer Brüchen. Das Elbeufer bzw. die Niederterrasse der Elbe selbst wird durch einen flach ansteigenden Saum von weichselkaltzeitlichen Sanden und Kiesen gebildet. Die Steinbruchhalden wurden teilweise auf diese Auenlehme aufgeschüttet. In verschiedenen Abschnitten (Gans-Brüche, Kirchleiten-Brüche) erreichen die Halden das Elbeufer. Straßen und Bahn verlaufen einerseits am Fuß der Halden, andererseits in der Böschung selbst. Die Geometrie respektive die Raumbeziehung zwischen den für die Beurteilung relevanten Sturzquellen und dem Elbelauf spielt eine wichtige Rolle bei der Beurteilung der potenziellen Gefährdungssituation im Hinblick auf eine Verklausungsgefahr durch Sturz- und Rutschereignisse.

7 Abschnittseinteilung und -beschreibung

Durch die Abbautätigkeit des Wandfällens zeigen die Talabschnitte in den Bereichen der aufgelassenen Brüche eine spezielle Morphologie. Unterhalb der bis 80 m hohen, in der Regel senkrechten (teilweise bis 10 m Überhang aufweisenden) Bruchwände liegt eine ausgeprägte Steinbruchhalde mit einem flachen Haldenplateau (Bruchsohle) und eine vom Elbufer mehr oder weniger zurückversetzt, 30–40° steile, mit Bäumen und Büschen bewachsene Schutthalde. Das Lockermaterial, aus dem die Halden aufgebaut sind, besteht größtenteils aus sandigem Abraum mit darin eingebettetem Blockschutt. Die Anteile von Schluff (Silt) und Ton sind aufgrund der Lithologie des Ausgangsmaterials gering. Dort, wo tonig-mergelige Horizonte (Mergel von Zatzschke, Zeichen-Burglehn-Ton) mächtiger ausgebildet sind, können deren Verwitterungsprodukte lokal größeren Anteil am Haldenschutt haben. Über den Verlauf der Felsoberfläche unter den Schutthalden bestehen vorerst keine gesicherten Angaben. Aufgrund der historischen Aufnahmen und Angaben ist davon auszugehen, dass die Schutthalden relativ mächtig sind und der Fels darunter sehr unregelmäßig abgestuft verläuft. Es ist denkbar, dass der Fels hangaufwärts durch den Abtrag treppenförmig ansteigt.

Um einen Überblick über das Gebiet zu erhalten, wurden die Uferstrecken des Perimeters hinsichtlich ihrer Beschaffenheit analysiert. Dabei wurde unterteilt nach Siedlungsgebiet, Sandsteinbrüchen, natürlichen Felsböschungen und natürlichen Böschungen ohne Felsaufschlüsse. Siedlungsgebiet kann sich mit anderen Kategorien überschneiden. Ersichtlich wird, dass 35 % der Uferstrecke durch Steinbrüche anthropogen überprägt sind. Natürliche Felsaufschlüsse oder Böschungen kommen nur in je 19 % der Gesamtuferlänge vor. Die Auswertung ist in Tabelle 1 festgehalten.

Zur Bearbeitung des Perimeters wurde das Untersuchungsgebiet in folgende Abschnitte unterteilt:

- Abschnitt A: Tschechische Grenze – Bad Schandau
- Abschnitt B: Bad Schandau – Rathen
- Abschnitt C: Rathen – Pirna

Die einzelnen Abschnitte werden hinsichtlich ihrer anthropogenen Überprägung und ihrer Morphologie beschrieben. Außerdem wird eine Ereignisanalyse anhand der dokumentierten und im Gelände ersichtlichen Spuren vorgenommen. Vorherrschend sind Sturz-, Rutsch- und Wasserprozesse.

Tabelle 1: Auswertung der Beschaffenheit der Uferstrecken

Beschaffenheit des Ufers	Länge [km]	Prozentualer Anteil [%]
Natürliche Böschungen ohne Felsaufschlüsse	12	19
Natürliche Felsböschungen	12	19
Sandsteinbrüche	22	35
Siedlung	33	52
Perimeterlänge gesamt	33.5	-
Uferlänge gesamt (beidseits)	63.5	-

7.1 Abschnitt A: Tschechische Grenze – Bad Schandau (Flusskilometer 0,1 bis 11,9)

Abschnitt A verläuft für 11,8 km von der Tschechischen Grenze bis nach Bad Schandau. In diesem Abschnitt befinden sich die Postelwitzer, Fiscalischen, Teich- und Schmilkaer Brüche. Eine genaue Beschreibung der Postelwitzer Brüche findet sich in Anhang 1.

7.1.1 Morphologie

Entlang des Abschnitts gibt es drei größere Steinbrüche: die Postelwitzer, Fiscalischen und Teichsteinbrüche. Ein kleinerer Steinbruch befindet sich direkt an der Grenze (Steinbruch Schmilka). In diesen Gebieten sind die Elbtalhänge terrassiert und gliedern sich in Abbruchhalden, -plateaus und Steilwände. Dazwischen liegen größtenteils natürliche Elbhänge. Entlang des Abschnitts münden mehrere große Taleinschnitte in das Elbtal. Auf dem Plateaubereich sind nur sehr wenige größere Geländemulden erkennbar, die zur Bildung von Erosionsrinnen im Bereich des Elbhanges führen können.

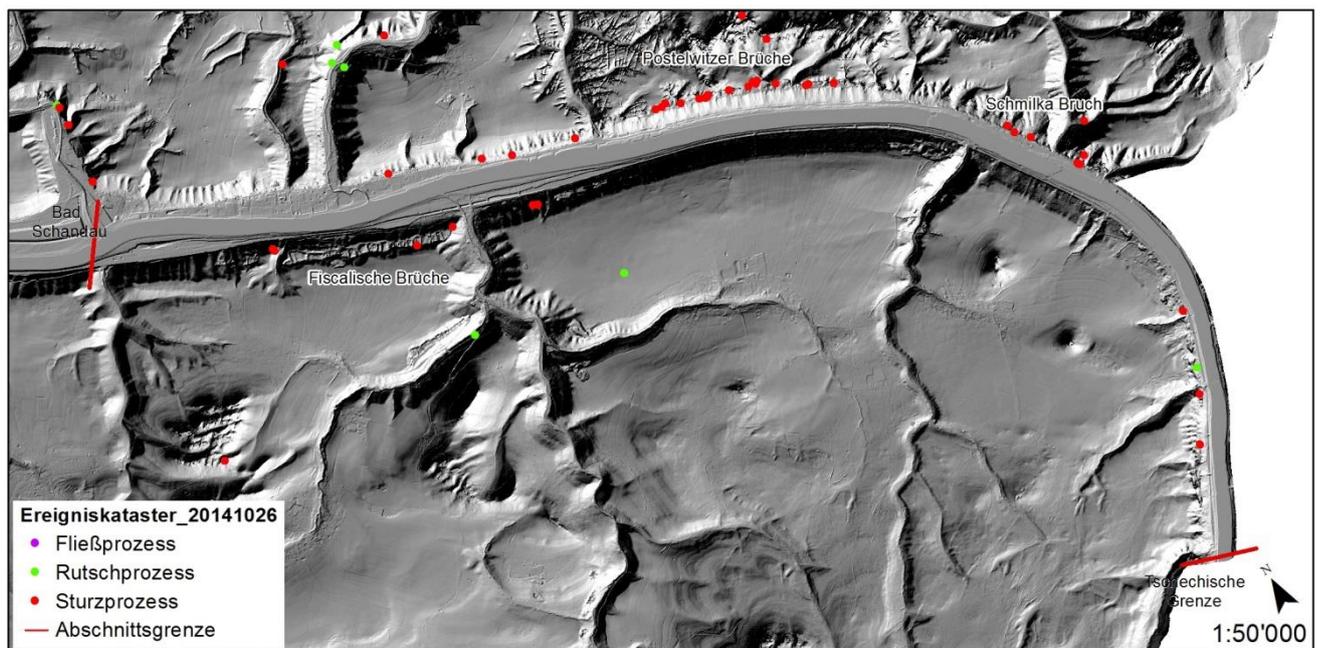


Abbildung 9: Für den Abschnitt A erstelltes Hillshade auf Basis des digitalen Geländemodells mit einer Auflösung von 2 m. Eingetragen sind die Ereignisse aus dem Ereigniskatasterauszug vom 26.10.2014.

7.1.2 Ereignisse

In diesem Abschnitt ist eine Ereignishäufung in den Steinbruchgebieten erkennbar, besonders bei den Postelwitzer Brüchen und dem Grenzübergang bei Schmilka (Abbildung 9). Die Ereignisgrößen variieren zwischen wenigen und 5.000 m³. Ein Großereignis mit 60.000 m³ ist ebenfalls dokumentiert. Bei diesem kam es 1862 zu einem vorzeitigen Wandfällen, wodurch 24 Steinbrecher verschüttet wurden. Für den gesamten an die Elbe angrenzenden Untersuchungsperimeter ist nur ein Rutschereignis erfasst.

7.2 Abschnitt B: Bad Schandau – Rathen (Flusskilometer 11,9 bis 22,7)

Der Abschnitt B erstreckt sich entlang des charakteristischen Elbkniees zwischen Rathen und Bad Schandau (Gesamtlänge ca. 10,8 km). Rechtseibisch existieren die stillgelegten Schulhain-Brüche und Oberen Kirchleiten-Brüche, linkselbisch die Niederen-Kirchleiten Brüche und der Stadt-Bruch.

7.2.1 Morphologie

Im Elbabschnitt B existieren vier kleinere Steinbrüche. Bei diesen finden sich die typischen Bruchwände mit darunter liegenden Bruchhalden und -terrassen. Die Geländeformen sind im Hillshade und Querprofil als terrassierte Strukturen erkennbar (Abbildung 10 und Abbildung 11). Die natürlichen Elbtalböschungen steigen von der Elbe bis zum Plateau konstant an (Abbildung 10). Das mittlere Gefälle der Hänge beträgt zwischen 19 und 24°. Es finden sich nur wenige Strukturen von Abflusssystemen auf den Plateaus.

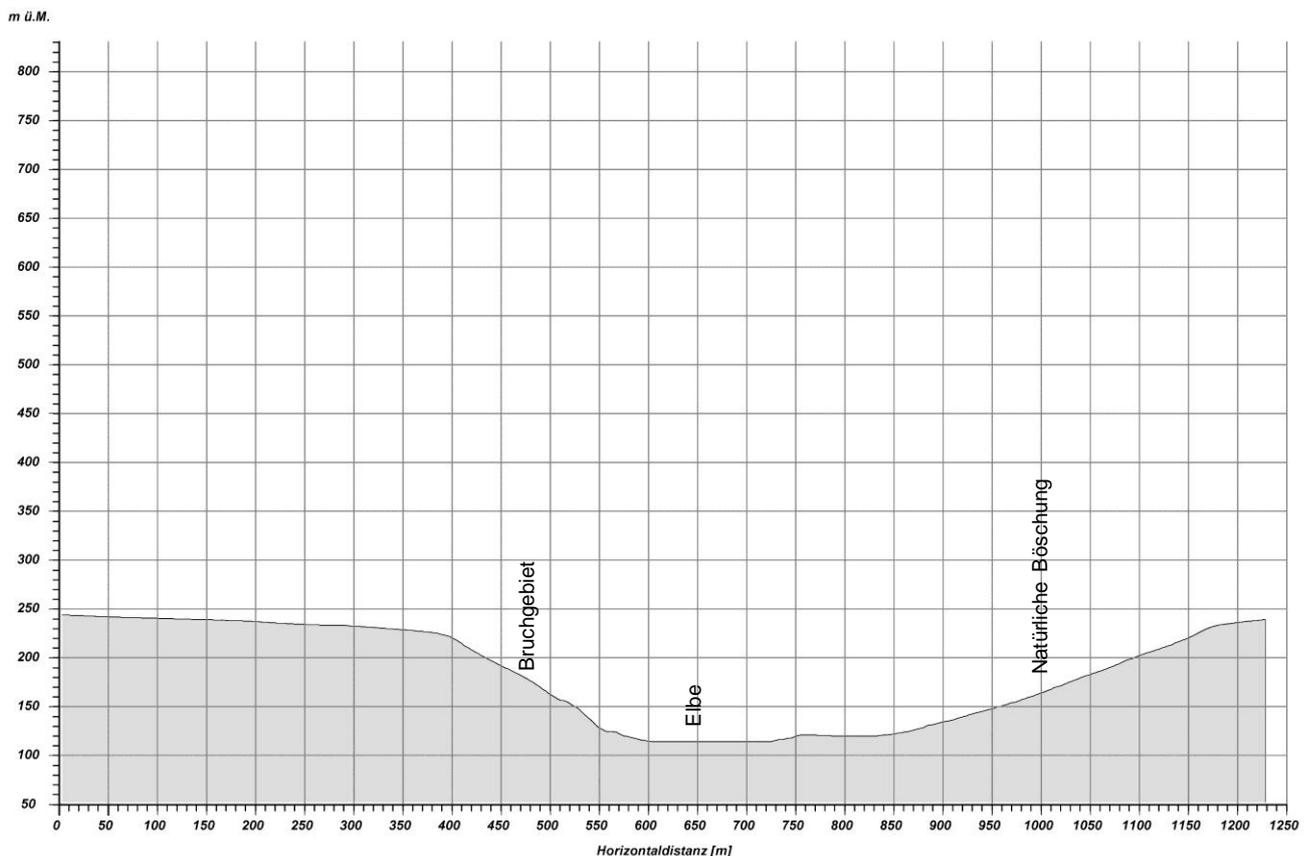


Abbildung 10: Querprofil bei km 20,6 (Niedere Kirchleiten-Brüche), von West nach Ost verlaufend

7.2.2 Ereignisse

Entlang des Elbabschnitts sind wenige Ereignisse dokumentiert, was vermutlich mit der geringen anthropogenen Überprägung/Beeinflussung zusammenhängen dürfte. Die Großzahl der Sturzereignisse beschränkt sich auf die stillgelegten Steinbruchgebiete. Entlang der natürlichen Böschungen sind einzelne Rutschereignisse erfasst.

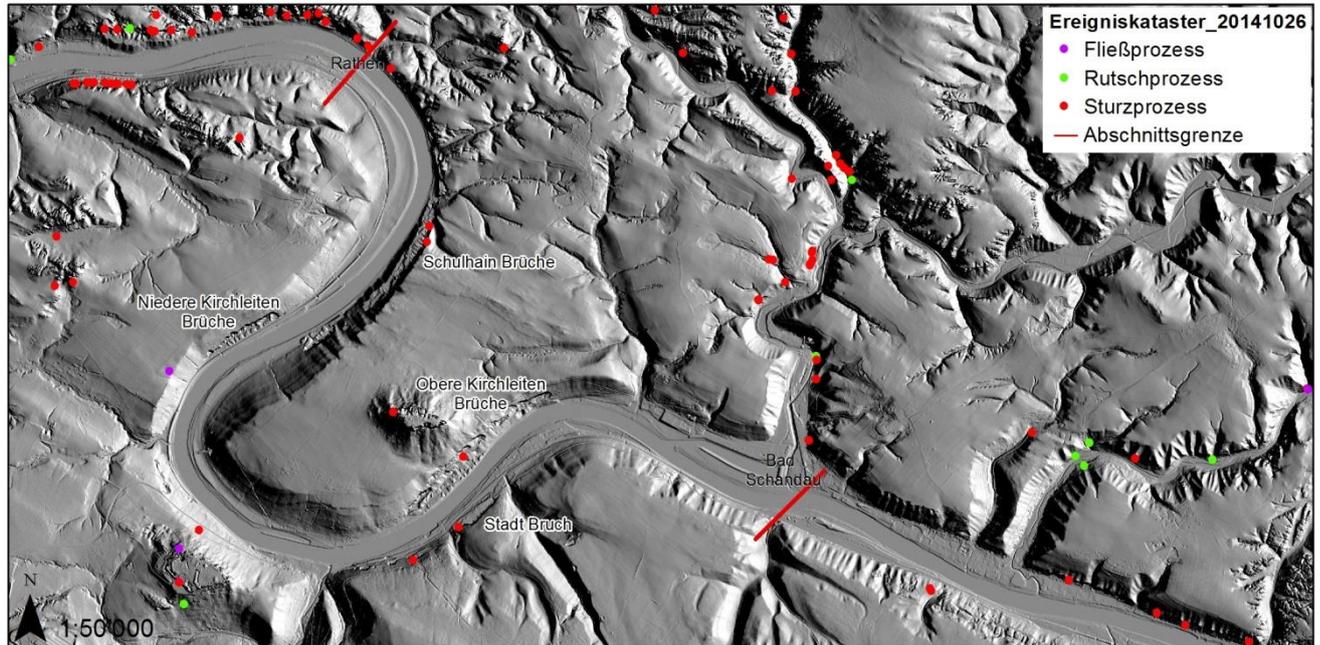


Abbildung 11: Für den Abschnitt B erstelltes Hillshade auf Basis des digitalen Geländemodells mit einer Auflösung von 2 m. Eingetragen sind die Ereignisse aus dem Ereigniskatasterauszug vom 26.10.2014.

7.3 Abschnitt C: Rathen – Pirna (Flusskilometer 22,7 bis 33,7)

Der Abschnitt zwischen Rathen und Pirna erstreckt sich über eine Länge von 11 km. Rechtsseitig ist die Elbe geprägt durch die Steinbruchtätigkeit in den Postaer, Zeichener und Weißen Brüchen. Linkselbisch sind die Hänge überwiegend natürlich. Im Anhang 1 sind die Standortblätter der Zeichener und Weißen Brüche sowie Vogelgesang zu entnehmen.

7.3.1 Morphologie

Durch die Steinbruchtätigkeit sind entlang des Elbabschnitts Steilwände mit Höhen bis zu 80 m entstanden. Unterhalb befinden sich terrassenförmige Halden aus Abbruchmaterial. Diese können bis zu 50 m hoch werden und weisen zumeist Böschungswinkel zwischen 28 und 35° Grad auf. Die Halden sind überwiegend mit Birken bewachsen. Die Halden können bis an die Steilwand heranreichen, oft befinden sich diese aber auch mittig auf den Terrassen und bilden so eine Mulde zwischen Wand und Halde. Durch die alten Ablagerungen wird die Rauigkeit auf den Terrassen erhöht. Dies kann einen Einfluss auf die Reichweite von Sturzereignissen haben (siehe Abbildung 12). Teilweise existieren unterhalb der Steilwände keine Terrassen und die Hänge reichen bis an die Elbe. Das Profil in Abbildung 13 zeigt einen solchen Bereich. Oberhalb ist eine Felsnase, die sich in Ablösung befindet (Resultat der Geländebegehung). Unterhalb führt der Hang bis an den Siedlungsbereich oberhalb der Elbe.

An verschiedenen Stellen oberhalb der Steilwände existieren Abflussrinnen, die nur periodisch Wasser führen (z. B. „Blutpfütze“ in den Postaer Brüchen, Rinne oberhalb des Fährhauses Zeichen). Auf dem Plateau sind diese nur als Geländemulden (Trockentäler) erkennbar. Unterhalb der Abflussrinnen im Bereich der Sandsteinwände und Abbruchhalden sind Erosionsspuren von Wasser erkennbar. Besonders stark ausgeprägt sind die Erosionsrinnen in Bereichen von glazialen Rinnen.

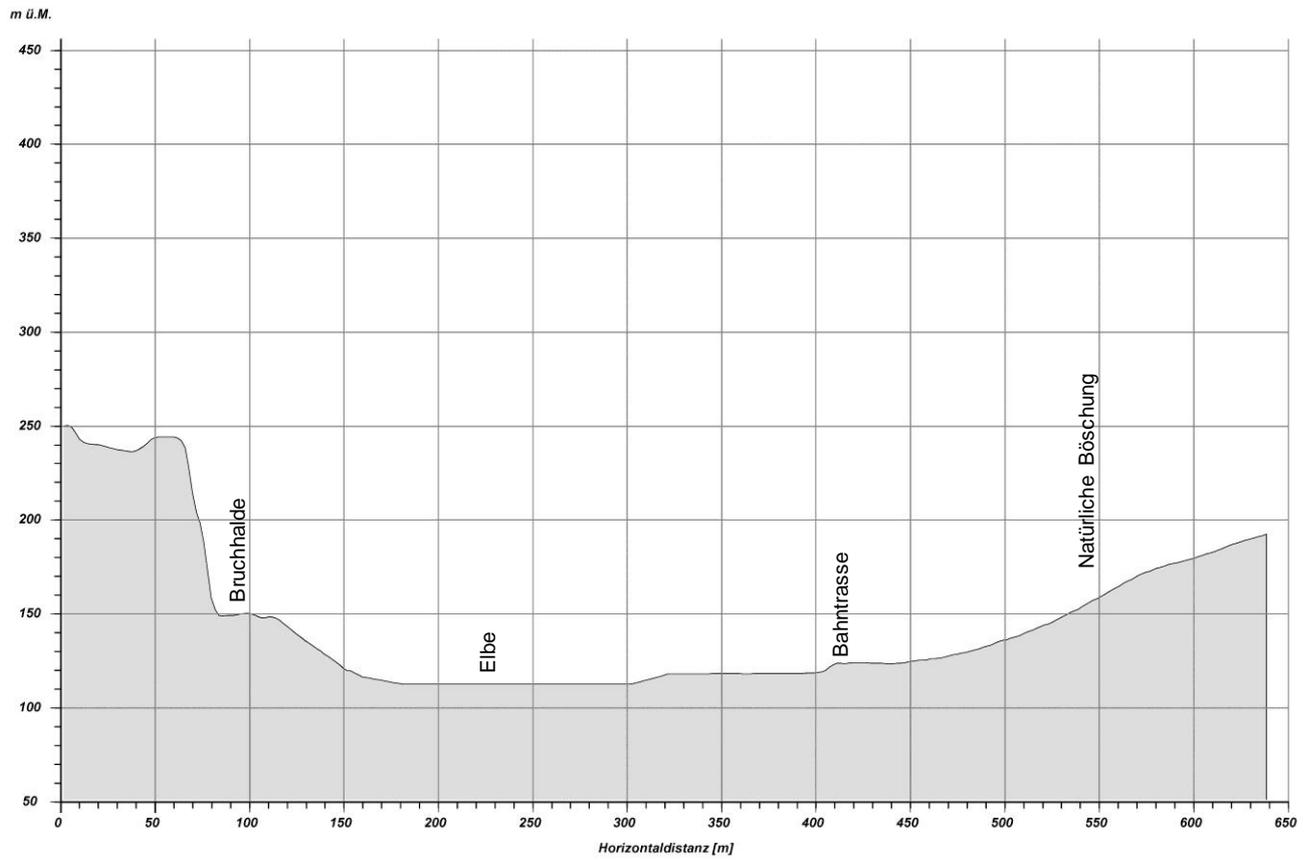


Abbildung 12: Querprofil bei km 23,5 (Weiße Brücke) von Nord nach Süd verlaufend

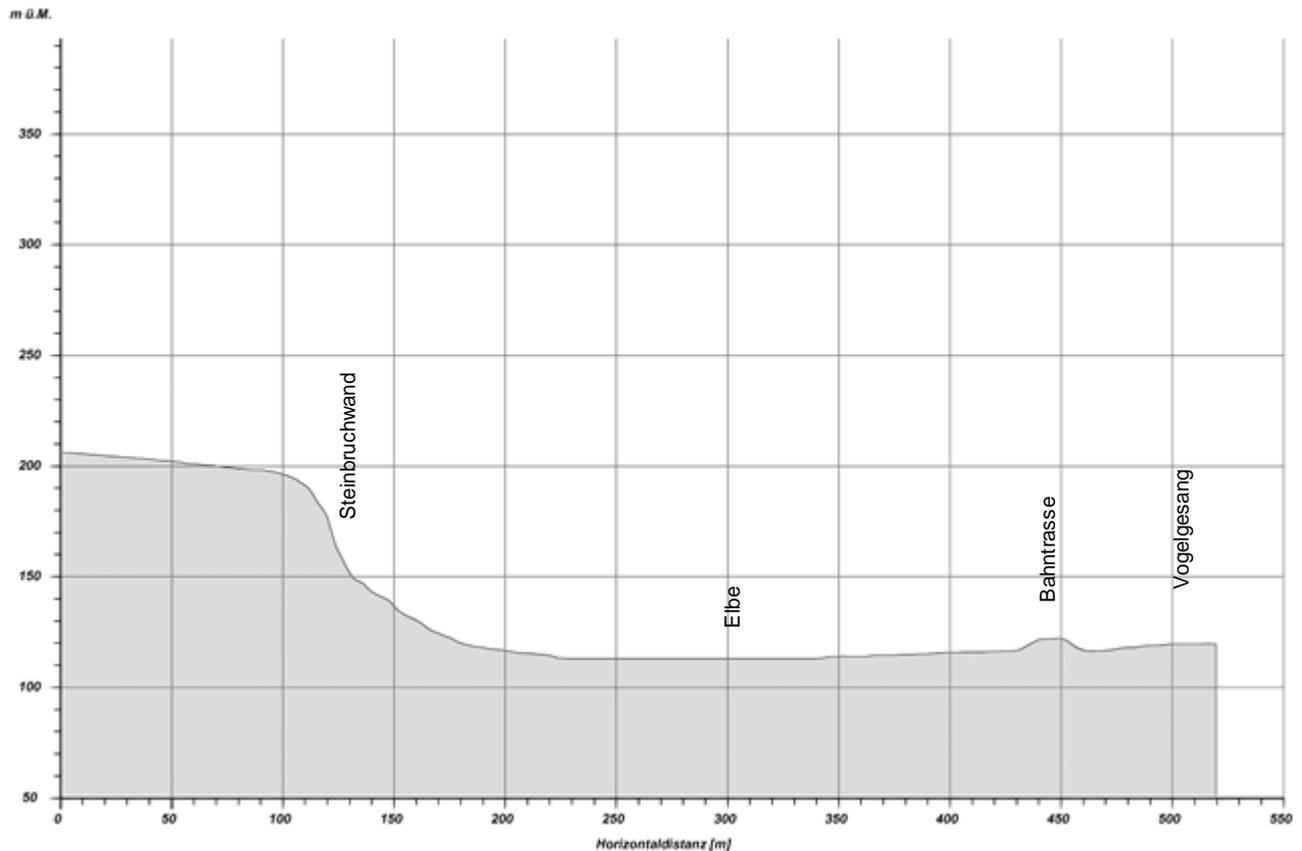


Abbildung 13: Querprofil bei km 29,95 (Zeichener Brüche) von NE nach SW verlaufend

7.3.2 Ereignisse

Aus dem Ereigniskataster geht eine Häufung von Sturzereignissen bei den Weißen Brüchen rechtselbisch und den Herrenleiten-Brüchen linkselbisch hervor (Abbildung 14). Die Sturzereignisse bewegen sich in einer Größenordnung zwischen 1 m^3 und 10.000 m^3 . Nur bei drei dokumentierten Ereignissen im Abschnitt C erreichten einzelne Blöcke das Elbufer. Die meisten Blöcke kamen auf der Terrasse zur Ablagerung.

Bei den Zeichener und Postaer Brüchen sind zudem zahlreiche Rutsch- und Wasserereignisse dokumentiert (siehe auch Standortblätter im Anhang 1). Die Rutschereignisse treten im Zusammenhang mit Wasserabflüssen aus Trockentälern infolge von Starkniederschlagsereignissen auf. Anhand der Ereignisdokumentation ist es leider nicht möglich, die Ereignisse eindeutig einem Prozess zuzuordnen. Erfasste Kubaturen variieren zwischen 20 und 1.100 m^3 . Das mobilisierte Material lagerte auf den darunter befindlichen Grundstücken ab und erreichte in Einzelfällen die Elbe.

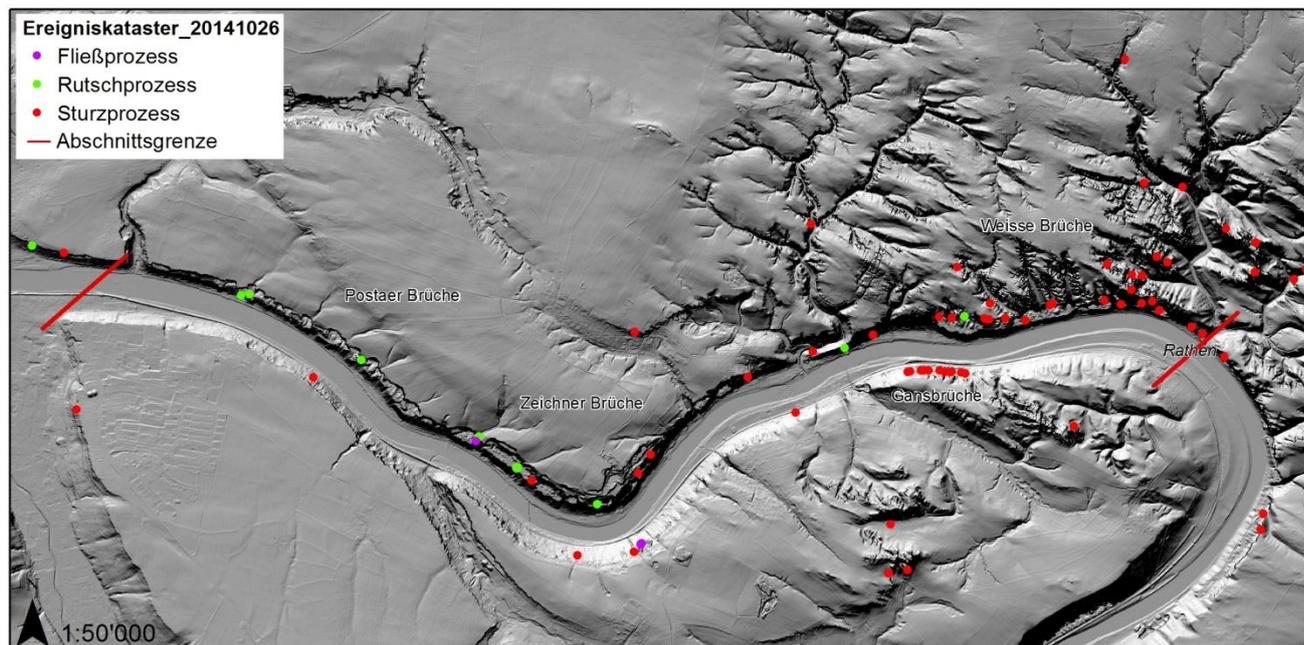


Abbildung 14: Für den Abschnitt C erstelltes Hillshade auf Basis des digitalen Geländemodells mit einer Auflösung von 2 m. Eingetragen sind die Ereignisse aus dem Ereigniskatasterauszug vom 26.10.2014.

8 Szenarienbildung

8.1 Sturz-/Rutschprozesse

Ausgehend von den morphologischen und geologischen Gegebenheiten sollen die Ereignisse mit großem und sehr großem Sturzvolumen beschrieben werden, die den Flussquerschnitt maßgeblich betreffen könnten. Maßgebend für die Gebirgsstabilität der entlang der Elbe bestehenden Felswände sind vor allem folgende Faktoren:

- Wandmorphologie; insbesondere Höhe und Neigungswinkel
- Durchtrennungsgrad des Gebirges; Dichte und räumliche Lage der Störungszonen
- Verbreitung und Einfallen von Stauhorizonten (Ton- und Mergelschichten)
- Aufbau- bzw. Vorhandensein von Kluftwasserdrücken

Die Stabilität der vorgelagerten Schutthalden wird andererseits von folgenden Faktoren bestimmt:

- Lockergesteinszusammensetzung und Schichtung; durch die vornehmliche Zusammensetzung aus Sand und Felsabraum ist die generelle Stabilität bei normaler Wasserinfiltration nicht gefährdet
- Verlauf der Felsoberfläche unter den Schutthaldenkörpern
- Hydraulische Verhältnisse; Art und Menge des Wasserzuflusses vom Hang; Drainageverhältnisse im Lockergesteinskörper etc.

Die „natürlichen“ Uferabschnitte der Elbe spielen für Fels- und Bergstürze, welche die Elbe betreffen können, aus folgenden Gründen eine untergeordnete Rolle:

- Die Felszonen sind oft zurückgewittert, die Böschungen sind mit geringmächtigem Lockergestein bedeckt. Die Talquerschnitte sind insgesamt „offener“, nur Massenumlagerungen mit sehr großen Kubaturen könnten überhaupt die Elbe erreichen. Die betrifft insbesondere die linkselbischen Uferabschnitte mit Ausnahme von Königstein.
- Die höchsten natürlichen Felsformationen bestehen bei Königstein und bei der Bastei. Hier gibt es keine generellen Hinweise auf umfassendere Felsinstabilitäten. In den Abschnitten der natürlichen Taleinschnitte bestehen primär Gefahren durch Hangrutsche und Murgangprozesse.

Aufgrund der Feldbeobachtungen und der dokumentierten Ereignisse sowie hypothetischen Annahmen können folgende Sturzscenarien unterschieden bzw. postuliert werden (Tabelle 2):

Tabelle 2: Szenarien der Sturzprozesse. Die Angaben von Wiederkehrdauern ist nur für häufige bis seltene Ereignisse möglich. Eine Zuordnung von Wiederkehrperioden für sehr seltene Ereignisse ist nicht gesichert belegbar. Deshalb erfolgt dort nur eine qualitative Beschreibung der Wiederkehrperioden.

Szenario	Gesamtkubatur [m ³]	Bezeichnung	Lokalisierung	Wiederkehrdauer
Sz I	1–10	kleiner Blocksturz	alle Felszonen	häufig; mehrere Ereignisse/Jahr
Sz II	10–100	mittlerer Blocksturz	alle Felszonen	häufig; ca. 1 Ereignis/Jahr
Sz III	100–1.000	kleiner Felssturz	Steinbrüche ausgeprägte Felszonen	häufig; ca. 1 Ereignis/10 Jahren
Sz IV	1.000–10.000	mittlerer Felssturz	Steinbrüche	selten; ca. 1 Ereignis/100 Jahren
Sz V	10.000–100.000	großer Felssturz	große Brüche - besondere Zonen	sehr selten
Sz VI	100.000–1.000.000	kleiner Bergsturz	große Brüche - besondere Zonen	sehr selten
Sz VII	1.000.000–5.000.000	mittlerer Bergsturz	Tektonische Sonderzonen	äußerst selten
Sz VIII	> 5.000.000	großer Bergsturz	Tektonische Sonderzonen	Restrisiko

Den Szenarien I bis III liegen Felsabbrüche zugrunde, die sich aus den Steinbruchwänden und in natürlichen Bereichen mit steil aufragenden, zerklüfteten Felszonen, wie z. B. der Bastei ereignen. Maßgeblich für die Häufigkeiten und Kubaturen sind Wandmorphologie, Schichtaufbau des Gebirges (Auftreten von Mergelhorizonten, Schwächezonen etc.) und tektonische Störzonen. Der Felssturz am Wartturm im November 2000 stellt mit einem Volumen von rund 500 m³ solch ein Szenario (Typ III) dar.

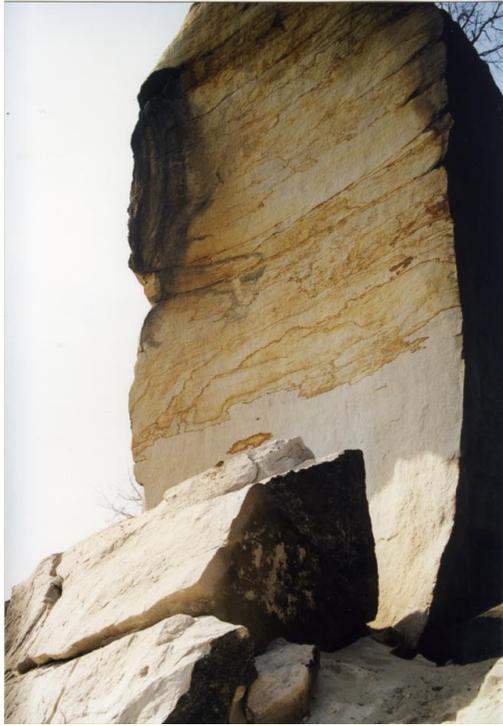


Abbildung 15: Detail der Ablösungsfläche beim Wartturm



Abbildung 16: Blick von der Bastei aus zum Wartturm

Abbrüche erfolgen in der Regel spontan, d. h. ohne besondere Vorankündigung. Die Sturzereignisse haben in der Regel eine Einwirkung, die sich auf den unmittelbaren Wandfuß beschränkt. Sie sind deshalb nur lokal für Siedlungsgebiete oder Straßen- und Bahnabschnitte von Bedeutung.

Die Szenarien IV und V umfassen Kubaturen, wie sie im Rahmen der Sandsteingewinnung in den Steinbrüchen entlang der Elbe mobilisiert wurden. Die Geschichte der Steinbruchtätigkeit mit den teilweise imposanten Wandfällungen zeigt, dass bei solchen Ereignissen einzelne oder mehrere Felsfragmente das Elbufer erreichten bzw. bis in die Elbe stürzten. Die dadurch entstehende Gefährdung führte schlussendlich zu einem Verbot dieser speziellen Art der Steingewinnung. Betrachtet man die aktuellen Bruchwände besonders in den Postelwitzer, Weißen und Zeichener Brüchen, sind kleinere und größere Nachbrüche auch in Zukunft denkbar.



Abbildung 17: Unregelmäßige Felsüberhänge im Bereich der Weißen Brüche

Die Mechanismen sind Auskippen oder Abscheren entlang steiler Bruchflächen wie in Abbildung 18 schematisch dargestellt. Bricht ein Felspaket mit einer Dicke von 10 m und einer Breite von 20 m aus einem Wandbereich mit 80 m Höhe aus, sind Kubaturen bis über 10.000 m³ ohne weiteres denkbar. Dabei werden primär die Haldenebenen zugedeckt. Allerdings können in Bereichen, wo die Halden eine reduzierte Breite aufweisen, Blöcke über die Haldenböschungen bis in den Vorlandbereich abstürzen oder sogar das Elbufer erreichen.

Die Szenarien VI bis VIII stellen **hypothetische Bergsturzereignisse** mit großen bis sehr großen Kubaturen dar, die nicht historisch dokumentiert sind. Untersucht man die Geländemodelle des Elbtales und der Felszonen des Elbsandsteingebirges auf Geländeformen, die solchen Ausbruchzonen entsprechen könnten, finden sich im Tal des aktuellen Elbelaufes keine Hinweise. Im Laufe der eiszeitlichen Entwicklung hat sich der Elbelauf mehrfach grundlegend geändert. Hierfür könnten unter Umständen große Bergsturzereignisse, die zu einer vollständigen Talverklausung führten, verantwortlich gewesen sein.

Als Beispiel eines Ereignisses der Szenarien VII bis VIII mag die Oso-Rutschung in Washington State von 2014 gelten. Hier rutschten rund 8 Millionen Kubikmeter glaziolakustrische Ablagerungen (Silte – Sande) aus einer rund 180 m hohen Talflanke ab und verschütteten ein Tal mit einer Breite von rund einem Kilometer. Dem Ereignis war eine Periode mit außerordentlichen Niederschlägen vorausgegangen.

Das Ereignis von Oso dient als Eichgröße für die Plausibilisierung der Rutsch- und Sturzmodelle, insbesondere für die Verteilung der Ablagerungsschwerpunkte der Massenbewegungen. Aufgrund der fundamental anderen geologischen Prädisposition können jedoch keine Analogieschlüsse für die Gefährdungsbilder im Elbtal gezogen werden.

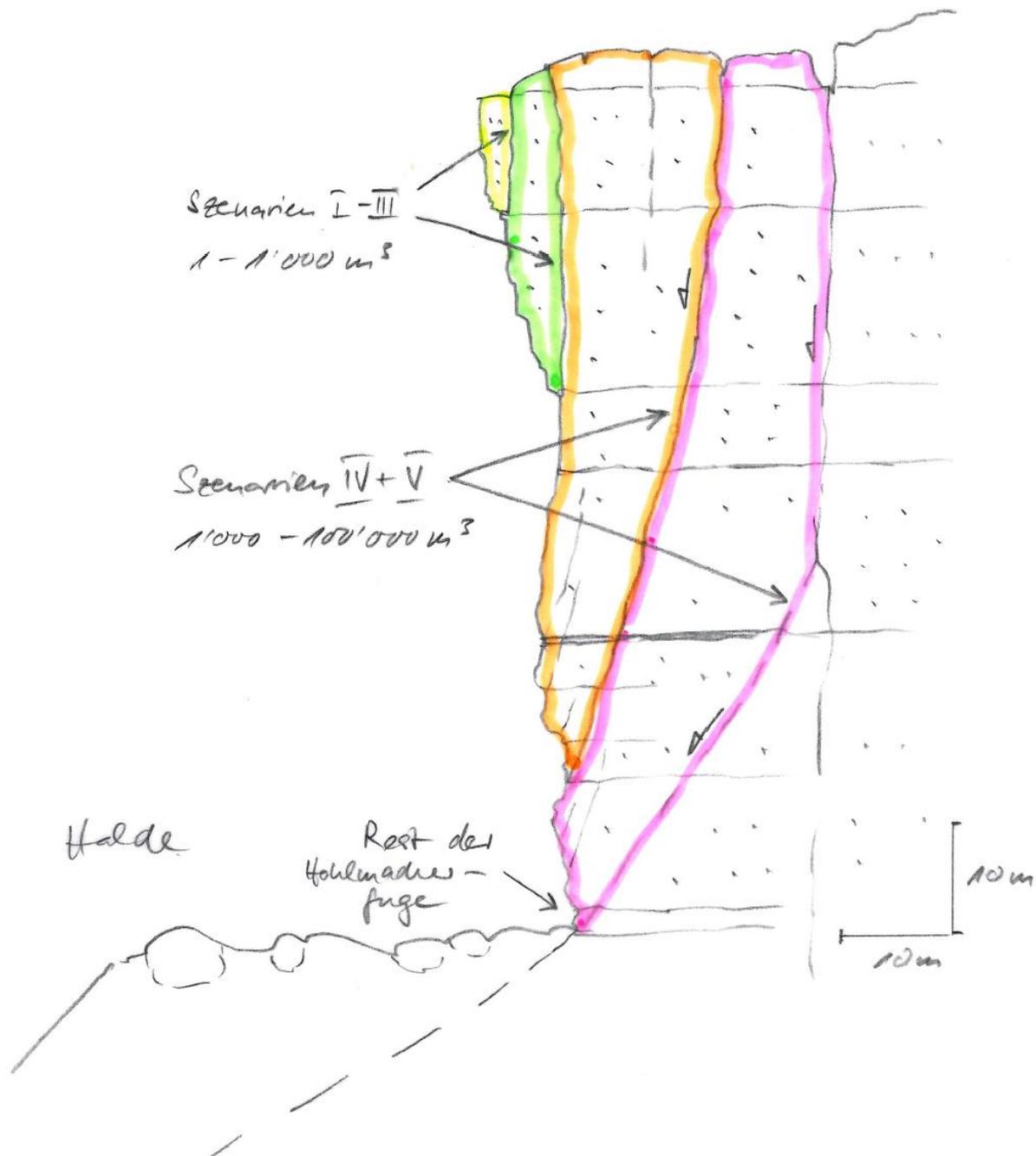


Abbildung 18: Schematische Darstellung möglicher Sturzscenarien aus den Steinbruchwänden entlang der Elbe (Zeichnung: Dr. Kaspar Graf)

Gelb und grün zeigen die Szenarien I-III mit Sturzvolumina von einem bis rund 1.000 m³; orange und violett die Szenarien IV und V mit Sturzvolumina von 1.000 bis 100.000 m³. Die Breite der Ausbruchnischen ist abhängig von der Höhe der Sturzsäule, aber auch von der Geometrie der tektonischen Trennflächen. Am Fuß der Bruchwände besteht häufig noch ein Relikt der früheren Hohlmauerfugen, die für die Wandfällungen ausgehauen wurden.

Aufgrund der Szenarien wurden vorerst nur Gefährdungsbilder mit einem Potenzial für Elbe-Einengung bzw. Elbe-Verklauserung modelliert. Solche Szenarien erfordern sehr große Massenbewegungen mit tiefgründigen Felsablösungen, die weit ins Gebirge hineingreifen (z. B. Sz VI–VIII). Drei Sturz- bzw. Felsgleitungsfälle wurden in konkreten Abschnitten modelliert (vgl. Kapitel 9.1 und 10.1).

8.2 Wasserprozesse (Murgang)

Murgangereignisse treten entlang der Elbhänge nur punktuell unterhalb von Abflussrinnen auf. Um potenzielle Prozessquellen auszuscheiden, wurden auf Grundlage des digitalen Geländemodells in ArcGIS hydrologische Einzugsgebiete berechnet. Dafür wird zunächst für jede Zelle des Geländemodells die Fließrichtung bestimmt. Die Fließrichtungen werden zu Abflusssystemen kumuliert. Nachdem für die einzelnen Abflussrinnen ein Ausflussspunkt definiert wurde, kann das Einzugsgebiet berechnet werden. 14 Ereignisse liegen in Gebietsauslässen von berechneten Einzugsgebieten.

Weil der für das Gefährdungsbild „Verklauserung der Elbe“ relevante Prozess Murgang ist, werden keine Reinwasserabflussmengen berechnet. Es wird die Annahme getroffen, dass ein Oberflächenabfluss durch bestimmte Negativfaktoren zu einem Murgang führen kann. Negativfaktoren können die Verklauserung einer Abflussrinne, ein Lockergestein- und Feinmaterialvorkommen (Silt, Schluff bspw. aus Lössablagerungen) in den Halden oder eine Rutschung sein. Für die Bearbeitung des Prozesses Murgang wurden folgende Einzugsgebiete (EZG) ausgewählt:

- EZG 65 oberhalb des Fährhauses Zeichen (Abbruchhalde)
- EZG 70 südöstlich des Fährhauses Zeichen (Abbruchhalde)
- EZG 117 bei Obervogelgesang (natürliche Böschung)

Es wird angenommen, dass bei einem Starkregeneignis Lockermaterial aus den Halden und Haldenterrassen sowie den natürlichen Böschungen mobilisiert werden kann. In den letzten 15 Jahren wurden insgesamt neun Murgangereignisse dokumentiert. Drei der neun Ereignisse weisen Ablagerungsvolumen zwischen 1.000 und 1.300 m³ auf. Bei den anderen Ereignissen sind die Kubaturen nicht bekannt. Diese Ereignisse werden als häufige Ereignisse eingestuft. Auf Grundlage der bekannten Ereigniskubaturen und der potenziellen Geschiebeherde (Halden/Böschungen) wurden für die verschiedenen Szenarien Geschiebekubaturen definiert (Tabelle 3). Es wird angenommen, dass sich das Geschiebe auf dem Haldenplateau oder im Hang löst und in Richtung Elbe fließt. Das Szenario einer Ablagerung auf dem Haldenplateau wurde nicht weiter betrachtet.

Tabelle 3: Szenarien Wasser (Murgang)

Szenario	Gesamtkubatur [m ³]	Bezeichnung	Lokalisierung	Wiederkehrdauer
Sz I	1.000–3.000	kleiner Murgang	Gebietsauslass; Abflussrinnen oberhalb von Abbruchhalden	häufig; ca. 1 Ereignis/10 Jahren
Sz II	4.000–6.000	mittlerer Murgang	Gebietsauslass; Abflussrinnen oberhalb von Abbruchhalden	selten; ca. 1 Ereignis/100 Jahren
Sz III	7.000–10.000	großer Murgang	Gebietsauslass; Abflussrinnen oberhalb von Abbruchhalden	sehr selten; ca. 1 Ereignis/300 Jahren

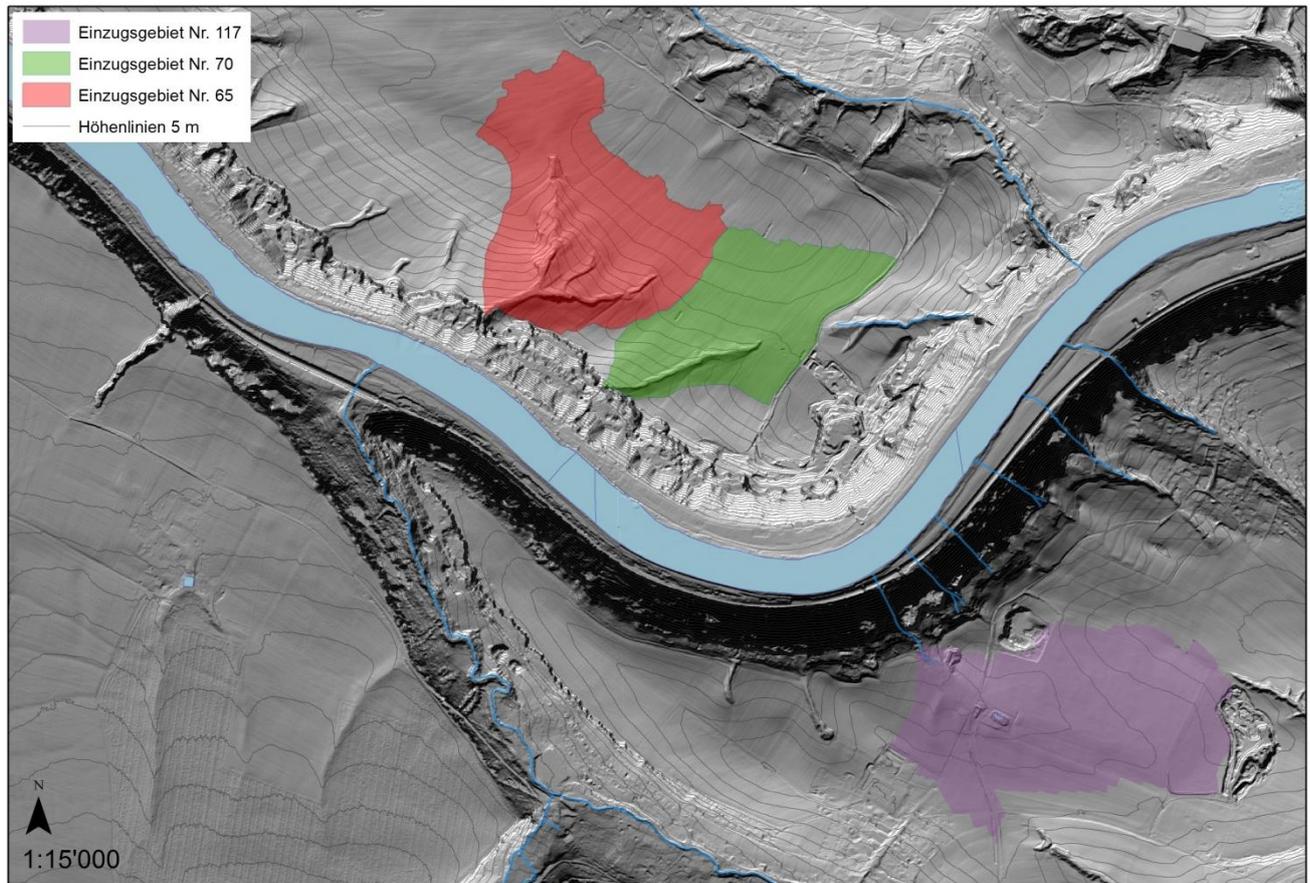


Abbildung 19: Einzugsgebiete der für die Murgangmodellierung ausgewählten Abflussrinnen

9 Modellierung der relevanten Szenarien

Die Prozesse Sturz/Rutsch und Wasser wurden mit dem Modell RAMMS berechnet. Das dynamische Modell RAMMS wurde am Eidgenössischen Forschungsinstitut WSL/SLF entwickelt [14]. Für die Modellierung der Prozesse wurde das Debris Flow Modul verwendet. In einer angepassten Form kann dieses auch zur Modellierung von Bergstürzen verwendet werden. Eine Modellbeschreibung und eine Auflistung der verwendeten Parameter ist Anhang 5 zu entnehmen.

9.1 Sturz-/Rutschprozesse

Es wurden drei Fälle großer hypothetischer Ausbrüche im Bereich Weiße Brüche, Postelwitzer Brüche und Zeichener Brüche modelliert (vgl. Anhang 1):

Fall 1

Kleiner Bergsturz Weiße Brüche (Sz VI); aus dem Bereich, wo der Tümpelgrund in den Steinbruch mündet; ein Ausbruchvolumen von 520.000 m³ wurde aus der Felszone im zentralen Bruchbereich simuliert. Die Ablösung erfolgt entlang einer talauswärts geneigten Gleitfläche und einer steilstehenden sowie tiefgreifenden Bruchfläche.

Fall 2

Mittlerer Bergsturz Postelwitzer Brüche im Bereich Großes Schrammtor (Sz VII); ein Ausbruchvolumen von rund 2.300.000 m³ wurde simuliert; die Ablösung erfolgt entlang einer vermuteten steilen tektonischen Grenzfläche (ENE-WSW) und einer relativ flach hangauswärts geneigten Gleitfläche.

Fall 3

Großer Bergsturz Zeichener Brüche (VIII); Abgleiten des gesamten Gebirgsabschnittes durch Ablösung entlang einer postulierten tektonischen Großstörung, für die es gegenwärtig keinen Nachweis gibt. Das modellierte Ausbruchvolumen beträgt 21.000.000 m³.

Um die Massenbewegungen zu simulieren, wurden in den fraglichen Abschnitten Ausbruchzonen definiert. Dazu wurden geländemorphologische und tektonische Merkmale, die sich im Geländemodell manifestieren, ausgewählt. Es handelt sich nicht um Zonen, wo Anzeichen aktueller Felsbewegungen nachgewiesen sind. Die zu mobilisierenden Gebirgsteile wurden im Geländemodell durch Anpassung der Felsisohypsen „ausgeschnitten“. Die Geometrie der Gleitflächen bzw. die sogenannte „Fahrböschung“ wurde ebenfalls aus Analogieschlüssen bekannter Großereignisse abgeleitet. Bei der RAMMS-Modellierung handelt es sich nicht um eine geotechnische Stabilitätsberechnung wie sie beispielsweise mit der finiten Elementsoftware PLAXIS erfolgt. Solche sehr aufwendigen Berechnungen könnten in einem weiteren Schritt in lokalen Zonen durchgeführt werden.

Die Modellierungsergebnisse sind Anhang 1 zu entnehmen. Generell kann man die Ergebnisse der drei Fälle wie folgt zusammenfassen:

Fall 1: Die Sturz- bzw. Gleitmassen erreichen knapp das Elbeufer, der Hauptteil der Massen bleibt jedoch auf dem Haldenplateau und der Haldenböschung liegen. Es ist keine Verklausung der Elbe zu erwarten.

Fall 2: Der Großteil der Massen bleibt im Bereich der Gleitfläche liegen, jedoch wird die Haldenebene „überflossen“, ein Teil der Massen erreicht das Elbeufer und gleitet in den Fluss. Dabei ist zu vermerken, dass einzelne Großblöcke weiter in den Flussquerschnitt hinausrollen können als es die Modellierung zeigt. Bei schnellem Gleiten ist eine Flutwelle zu erwarten. Eine Verklausung der Elbe ist nicht wahrscheinlich.

Fall 3: Bei einem Abgleiten des gesamten Elbkniees südlich von Stadt Wehlen entlang einer für diese Betrachtung angenommenen Störungszone kann es bei pessimistischen Annahmen (tiefer Winkel der inneren Reibung) zu einer teilweisen Verklausung des Elbquerschnitts kommen.

9.2 Wasserprozesse (Murgang)

Es wurden Murgangmodellierungen für drei ausgewählte Abflussrinnen durchgeführt (siehe Kapitel 8.2). Dabei wurde für alle durchgeführten Modellierungen in RAMMS ein Standardparametersatz für Murgänge mit einer Fließdynamik zwischen granular und fluid ausgewählt. Eine tabellarische Auflistung der verwendeten Parameter ist Anhang 5 zu entnehmen. Aufgrund fehlender Angaben zur Materialbeschaffenheit, Prozessdynamik und räumlicher Ausbreitung ist eine genauere Kalibrierung der Parameter leider nicht möglich. Entsprechend sind die Modellierungen als Hinweis auf mögliche Ausbreitungsflächen von Murgängen zu werten.

Als Auslösemethode wurde ein Hydrograf ausgewählt. Mit diesem ist es möglich, eine Abflussganglinie zu modellieren. Der Hydrograf wird an den oberen Rand der Haldenböschung oder des natürlichen Hanges gesetzt.

Szenario I: Bei Sz I lagert bei allen drei Abflussrinnen der Großteil des Geschiebes am Hangfuß ab. Nur geringe Materialmengen erreichen die Elbe. Die Ablagerungshöhen übersteigen 0,5 m nicht. Nur beim Einzugsgebiet 65 sind Ablagerungshöhen > 0,5 m ersichtlich. Diese lassen sich vermutlich durch eine Geländemulde im Auslauf erklären.

Szenario II: Bei dem mittleren Murgangsszenario (Sz II) breitet sich das Geschiebe bei den verschiedenen Einzugsgebieten bis zu 60 m in den Elbbereich aus. Ablagerungen > 0,5 m erreichen jedoch nur Reichweiten < 30 m. Bei Einzugsgebiet 70 werden im Elbbereich keine Ablagerungshöhen > 0,5 m erreicht.

Szenario III: Die Ablagerungshöhen des EZG 65 und 117 erreichen im Elbbereich bei großen Ereignissen (Sz III) bis zu 1 m, dies jedoch nur über wenige Meter Reichweite. Bei EZG 70 lagert ein Großteil des Geschiebes im angrenzenden Hangbereich ab. Es werden im Elbbereich keine Ablagerungen > 0,75 m erreicht.

10 Interpretation der Modellierungsergebnisse

10.1 Interpretation Modellierungsergebnisse Sturz/Rutsch

Bei allen drei Fällen müssten tiefgreifende Gebirgsentfestigungen auftreten, welche die Stabilität entscheidend herabsetzen und so große Massenbewegungen auslösen könnten. Entlang des heutigen Elbelaufes sind historisch und prähistorisch keine analogen Ereignisse bekannt. Die Modellierungen zeigen also Ergebnisse hypothetischer Szenarien, zu welchen sich keine historischen und prähistorischen Entsprechungen finden lassen.

Obwohl die Wandstabilität in den zahlreichen aufgelassenen Steinbrüchen aufgrund der Abbautätigkeit und der teilweise hochgradigen tektonischen Gebirgsdurchtrennung generell ungünstig ist und durch die intensive Verwitterung des Sandsteins auch in natürlichen Zonen kleinere und größere Felsstürze auftreten können, ist jedoch die tiefgründige Gebirgsstabilität des Elbsandsteingebirges generell als gut zu bezeichnen. Dazu sind folgende Hauptgründe zu nennen:

- Die durchweg subhorizontal bis leicht nach NE einfallenden Sandsteinabfolgen weisen entsprechend stabile Lagerungsverhältnisse auf.
- Tektonische Durchtrennung fördert zwar die Infiltration von Wasser, jedoch auch die schachbrettartige Drainage entlang der tiefeingeschnittenen „Gründe“.
- Mergelhorizonte treten zwar auf, sind jedoch selten stark ausgedehnt bzw. zeigen ein ungünstiges Schichtfallen.

Steinbrüche haben zwar die Felswände geschwächt, gleichzeitig aber die Ausbruchgebiete gegenüber dem Talgrund zurückversetzt. Zudem stellen die Haldenebenen oft einen schützenden Sturzraum dar.

10.2 Interpretation Modellierungsergebnisse Murgang

Die Modellierungsergebnisse zeigen, dass Murgänge eine Gefährdung für die am Hangfuß befindlichen Siedlungen und Verkehrswege darstellen. Ein Großteil des Materials wird aufgrund des geringen Gefälles (< 10 %) unterhalb der Halden schnell zur Ablagerung kommen. Nur geringe Geschiebemengen gelangen bis in die Elbe. Wie viel Material bei verschiedenen Ereignisgrößen im Elbbereich abgelagert, ist stark abhängig von der Topografie im Auslaufbereich.

11 Analyse der Reichweiten von Bergstürzen mittels Pauschalgefälleanalyse

Um die grundsätzliche und flächendeckende Fragestellung nach den Reichweiten hypothetischer Bergstürze im Elbtal zu beantworten, wurde in den maßgeblichen Abschnitten mit hohen und ausgeprägten Felszonen eine Pauschalgefällebetrachtung mittels GIS-Analyse durchgeführt.

Dabei wurden in den Bereichen Zeichener Brüche, Weiße Brüche inklusive Bastei, Schulhain-Brüche, Niedere und Obere Kirchleiten-Brüche, Fiscalische Brüche und Postelwitzer Brüche entlang der Geländekanten Punkte festgelegt, von denen das darunter liegende Gelände in einem Winkel von 32° betrachtet wurde. Dadurch erhält man eine Gebietsabgrenzung maximaler Reichweiten für große Felsstürze. Der Grenzwinkel von 32° wurde aus Analogüberlegungen von Ablagerungszonen von Felsstürzen im alpinen Raum gewählt. Die Flächengrenzen der Pauschalgefälleflächen (PG32°) sind entsprechend theoretische Reichweiten von Sturzblöcken ohne Berücksichtigung der Geländeparameter. Nicht berücksichtigt wurden dabei die Effekte der Dämpfung im Bereich der Geländestufen, insbesondere der Haldenebenen und der oft bewaldeten Haldenböschungen. Zudem wurde die Bremswirkung des Wassers bei einem Sturz in die Elbe nicht berücksichtigt. Solche Effekte können mit gängigen Steinschlagsimulationen nicht nachvollzogen werden.

Aufgrund dieser Überlegungen werden hier also sehr pessimistische Szenarien dargestellt, die aufzeigen sollen, in welchen Flussabschnitten einzelne Sturzkomponenten großer Felsstürze überhaupt den Uferbereich der Elbe erreichen könnten. Eine Verklauungsgefahr lässt sich aus den Resultaten entsprechend nicht ableiten.

Beschreibung der Resultate (Anhang 3)

- Zeichener Brüche: Nur im östlichen Abschnitt erreicht die PG32° knapp den Uferbereich der Elbe, die übrigen Zonen enden am Hangfuß.
- Weiße Brüche und Bastei (I und II): Hier wird im westlichen Teil das Elbufer erreicht, im östlichen Teil und im Bereich der Bastei erreicht die PG32° knapp das südliche Elbufer. Ein großer Felssturz kann hier entsprechend die Uferzonen erreichen, einzelne Blöcke mit hoher Energie könnten unter Umständen auch in das Fahrwasser der Elbe rollen.
- Schulhain-Brüche (I–III): Im nördlichen Teil zeigt die PG32° ebenfalls die Möglichkeit, dass Sturzblöcke die Elbe, insbesondere die Uferzone, erreichen können. Im südlichen Teil ist nur noch die Haldenböschung bestrichen.

- **Niedere Kirchleiten-Brüche:** Nur der unmittelbare Haldenfuß mit der Eisenbahnlinie ist betroffen. Das Elbufer wird nicht bzw. knapp nicht erreicht.
- **Obere Kirchleiten-Brüche/Lilienstein:** Das Elbufer wird nur im nordöstlichen Bereich knapp erreicht; die Felszonen sind hier jedoch wenig ausgeprägt.
- **Postelwitzer Brüche (I–IV):** Dieser Abschnitt ist neben den Weißen Brüchen und der Bastei die Hauptzone, in der Fragmente von Felsstürzen die Elbe erreichen können; die maximalen Reichweiten der PG32° erreichen knapp die Mitte des Flusses. Das bedeutet, dass einzelne Blöcke das Ufer erreichen bzw. in den ufernahen Gewässerbereich rollen könnten.

Die Analyse der Pauschalgefälle zeigt aus Sicht der Autoren eine generelle Prädisposition von Zonen, in denen bei großen Felsstürzen Fragmente bis in den Uferbereich bzw. bis in das Fahrwasser der Elbe gelangen könnten. Es handelt sich um eine einfache Gefahrenhinweisabgrenzung für diesen Prozess, ohne jedoch in den spezifischen Abschnitten eine konkrete Gefährdung anzuzeigen.

12 Verklausungsgefahr der Elbe durch große Massenbewegungen

Für Sturz- und Rutschprozesse werden die oben beschriebenen „verklausungsrelevanten“ Szenarien als äußerst unwahrscheinlich erachtet. Die generelle Gebirgsstabilität ist als gut zu erachten. Auch außerordentliche Niederschlagsereignisse dürften wegen der guten Drainage des Gebirges nicht zu einer tiefgreifenden Destabilisierung führen. Es sind in der Vergangenheit keine derartigen Ereignisse bekannt, es finden sich auch keine morphologischen Entsprechungen entlang des Elbtales (Ausbruchnischen). Große Felsgleitungen bzw. Bergstürze treten nicht spontan auf. Es ist immer eine Vorgeschichte mit Bildung von Rissen, kleineren Abbrüchen mit zunehmender Frequenz etc. zu verzeichnen. Den Autoren sind heute keine rezenten Felsbewegungen im untersuchten Elbabschnitt bekannt.

Weil Murgangereignisse geringere Kubaturen verlagern und Geschiebe teilweise durch die Elbe wegtransportiert werden kann, spielen sie aus heutiger Sicht keine Rolle für die Verklausung des Elbquerschnitts.

13 Schlussfolgerungen

Die betrachteten Verklausungsszenarien sind sehr unwahrscheinlich und können nach Ansicht der Autoren als Restgefährdung betrachtet werden. Weil sich Großereignisse ankündigen, können sie durch adäquate Beobachtungen frühzeitig erkannt und entsprechend überwacht werden. Dazu kann ein geodätisches Messsystem aufgezo-gen werden. Gute Möglichkeiten für eine periodische Überwachung können auch satellitengestützte Verfahren bieten.

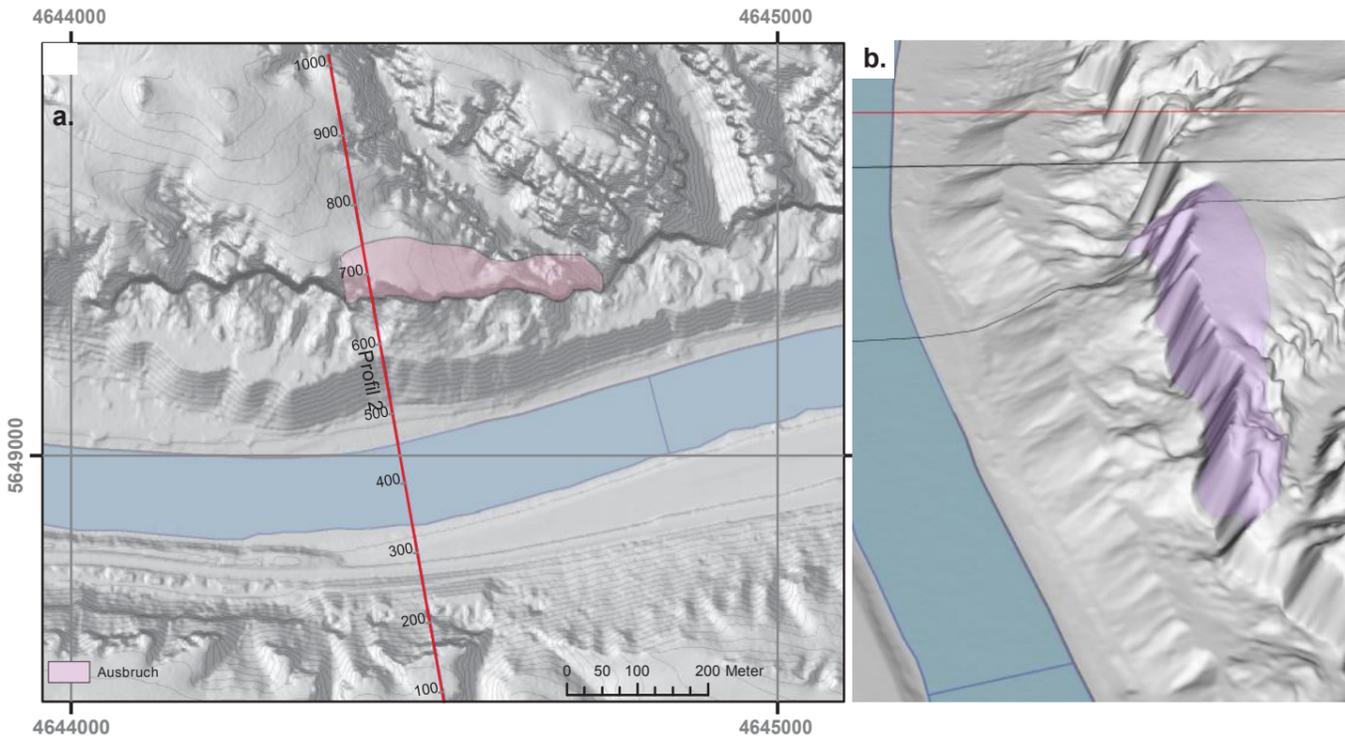
Eine reale Gefährdung besteht aus heutiger Sicht durch kleinere Szenarien wie Stein- und Blockschlag, Felsstürze sowie Murgang- und Rutschprozesse, die primär die Siedlungszonen und abschnittsweise die Verkehrswege betreffen. Eine systematische Untersuchung dieser Gefahrenbereiche kann die Gefährdung quantifizieren und allfällige Schutzdefizite aufzeigen.

Anhang 1

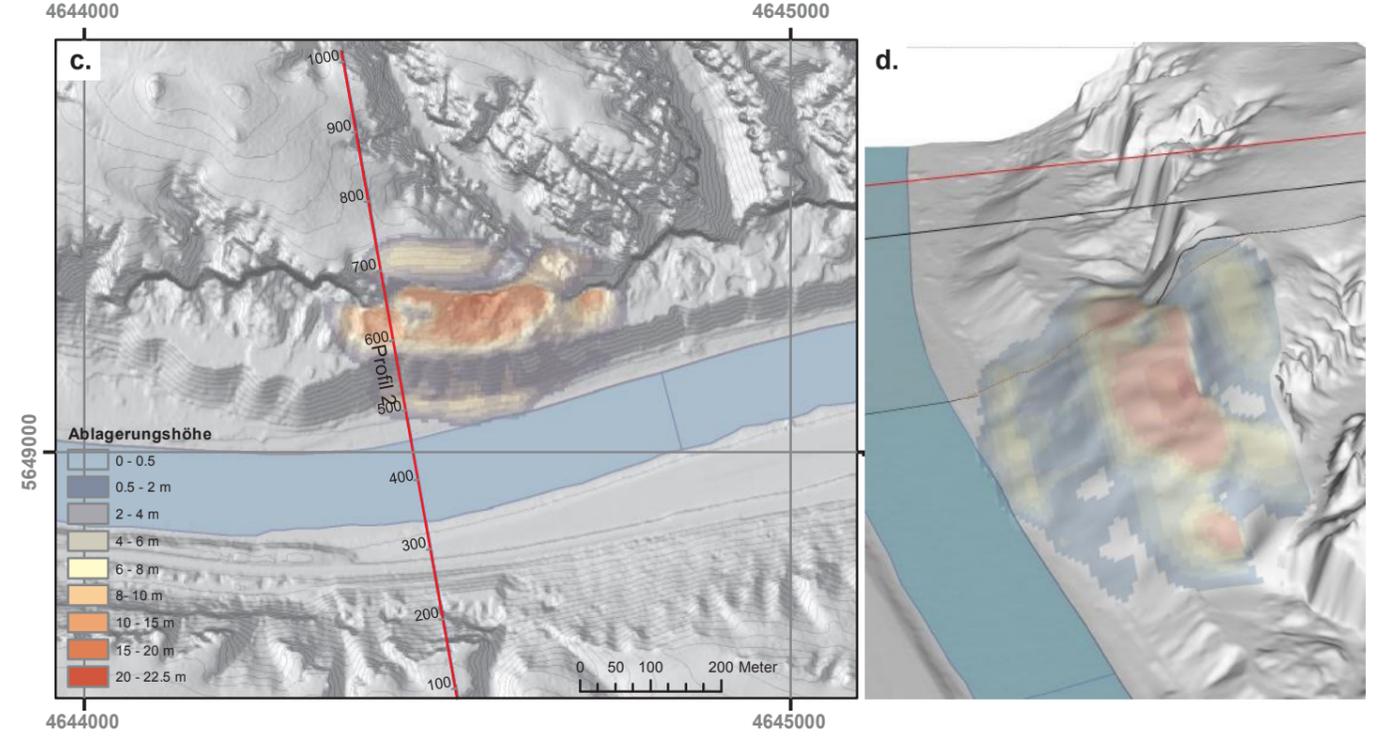
Modellierungsergebnisse Sturz/Rutsch

Weißer Brüche

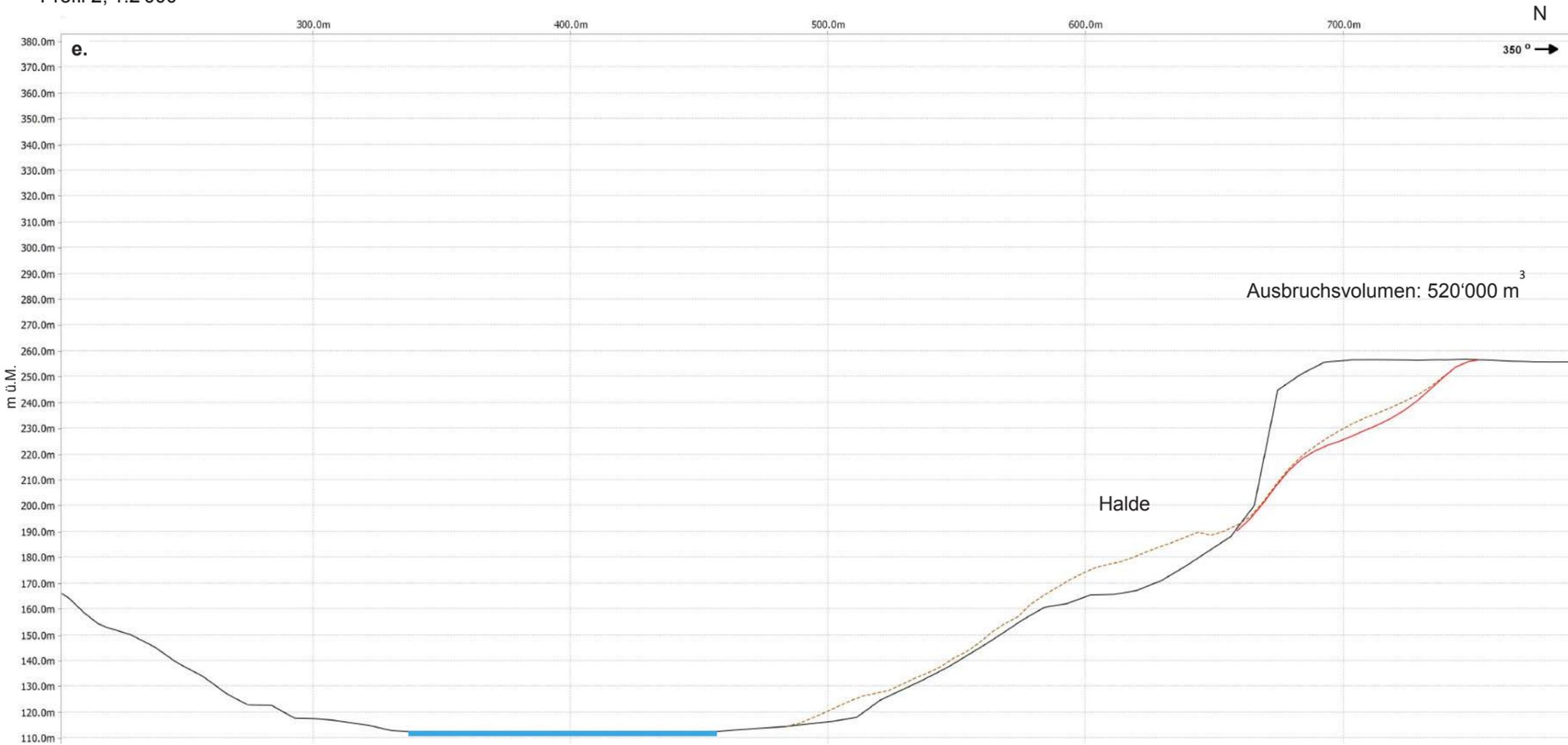
Situation Istzustand, 1:10'000



Situation nach Ausbruch, 1:10'000



Profil 2, 1:2'000



Fall 1: Szenario VI, kleiner Bergsturz

Situation Istzustand:
Aufsicht (a.) und 3D-Ansicht (b.) des potenziellen Ausbruchsgebietes mit Profilsur (Profil 2)

Situation nach Ausbruch:
Aufsicht (c.) und 3D-Ansicht (d.) des Gebietes mit den Ablagerungshöhen auf der Gleitfläche und der ursprünglichen Topografie

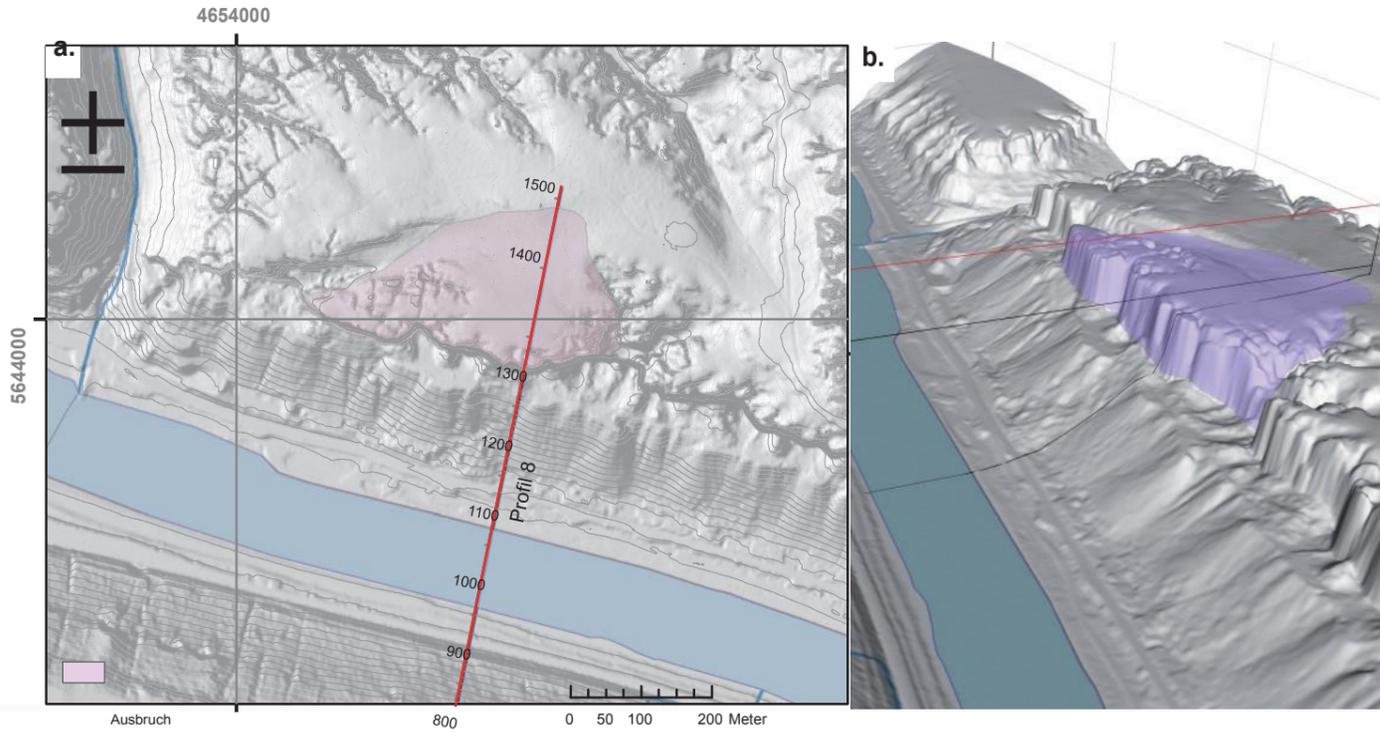
Profil 2:
Geländequerschnitt (e.) mit ursprünglicher Geländeoberfläche (schwarze Linie), potenzieller Gleitfläche (rote Linie) und modellierter Ablagerung des Ausbruches (braun gestrichelte Linie)

➤ Die Ablösung erfolgt entlang einer steilen Gleitfläche. Die Halden dienen dabei als Ablagerungsraum der Hauptmasse.

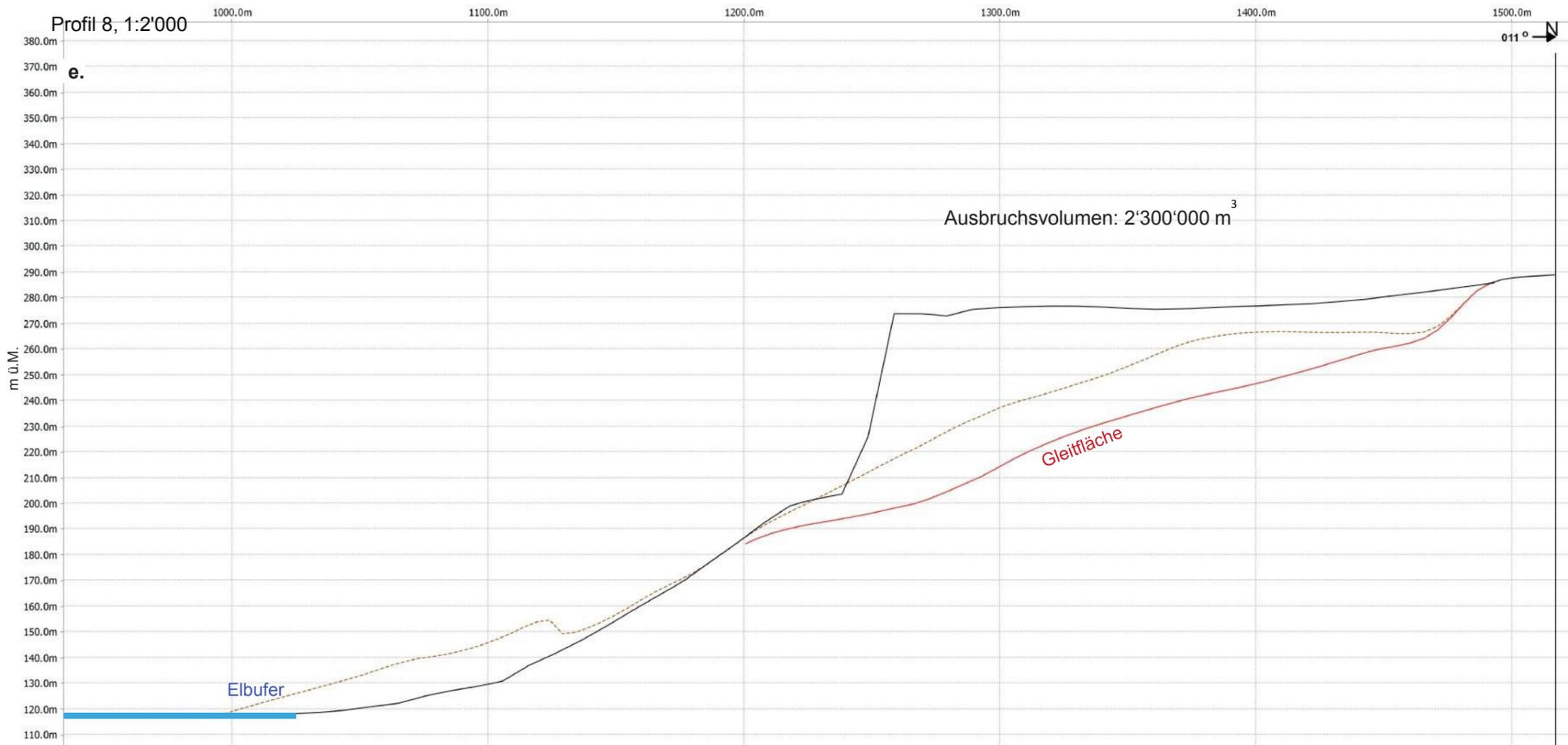
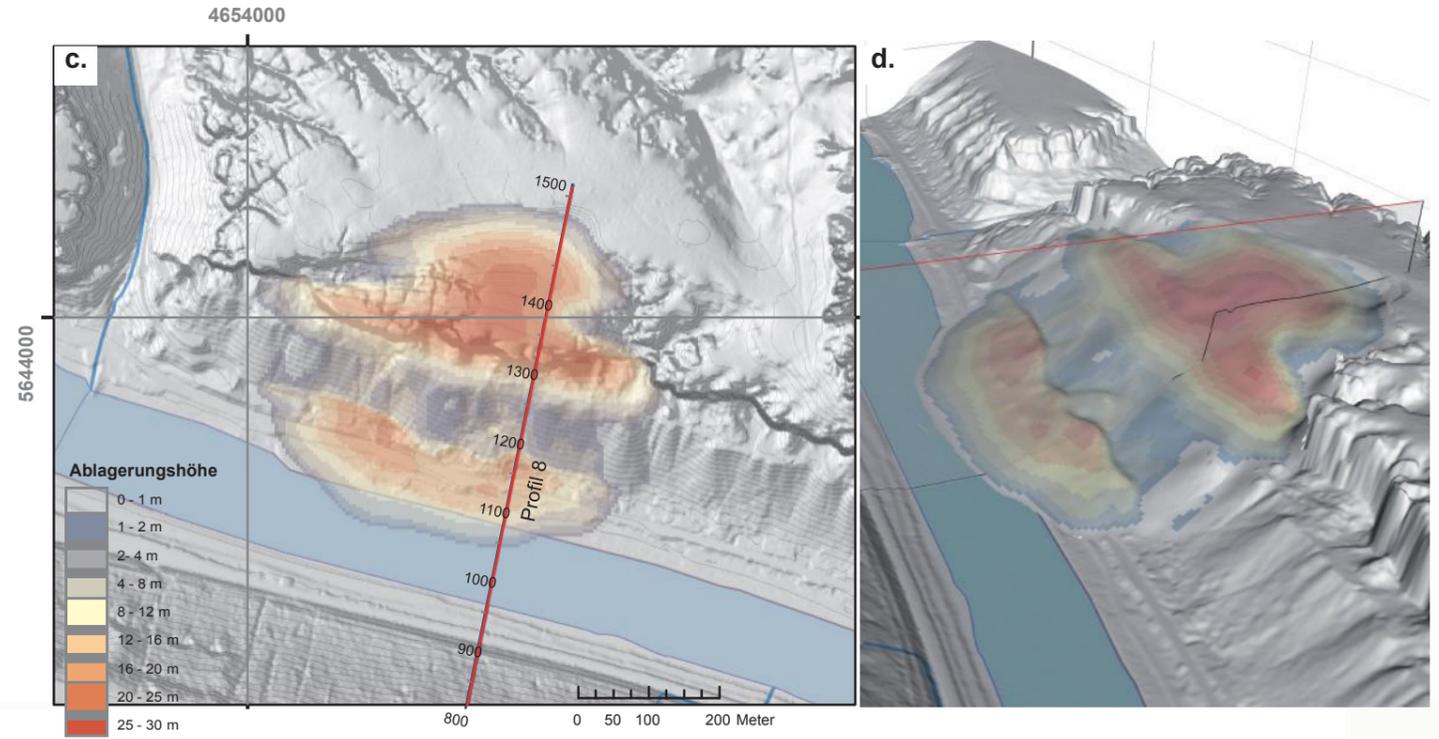
- bestehendes Terrain
- Gleitfläche
- - - Ablagerungsfläche

Postelwitzer Brüche

Situation Istzustand, 1:10'000



Situation nach Ausbruch, 1:10'000



Fall 2: Szenario VII, mittlerer Bergsturz

Situation Istzustand:
Aufsicht (a.) und 3D-Ansicht (b.) des potenziellen Ausbruchsgebietes mit Profilspur (Profil 8)

Situation nach Ausbruch:
Aufsicht (c.) und 3D-Ansicht (d.) des Gebietes nach dem Ausbruch mit den Ablagerungshöhen auf der Gleitfläche und der ursprünglichen Topografie.

Profil 8:
Geländequerschnitt (e.) mit ursprünglicher Geländeoberfläche (schwarze Linie), potenzieller Gleitfläche (rote Linie) und modellierter Ablagerung des Ausbruches (braun gestrichelte Linie)

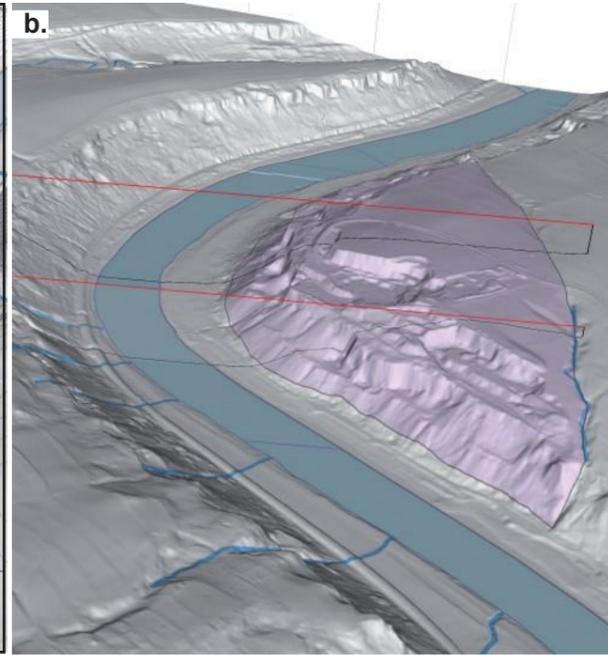
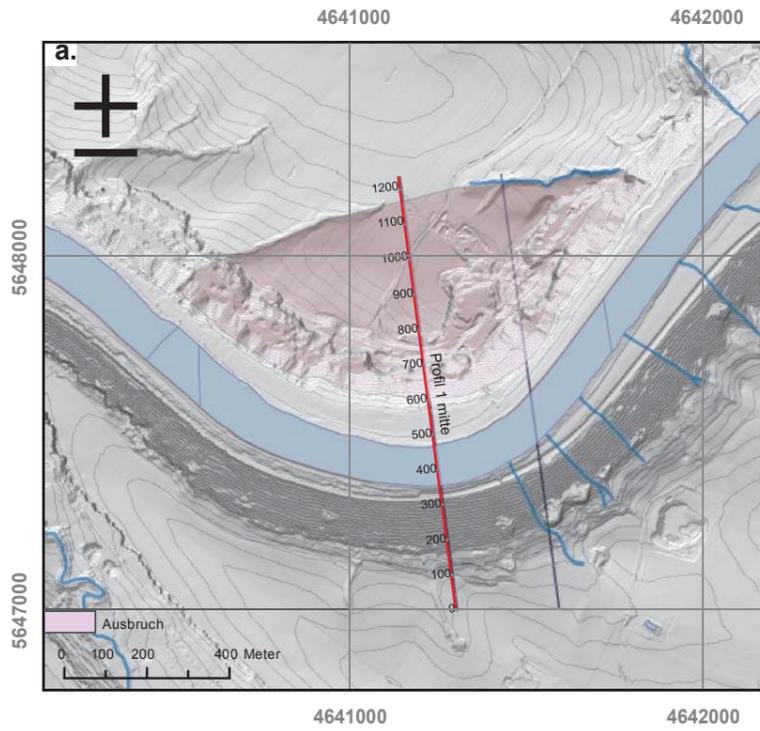


Die Ablösung erfolgt entlang tektonischer Linimente und einer flachen Gleitfläche. Die Haldenböschung wird teilweise abgeschert. Das Elbufer wird verschüttet, die Hauptablagerung findet jedoch im Ausbruchsgebiet auf der Gleitfläche statt.

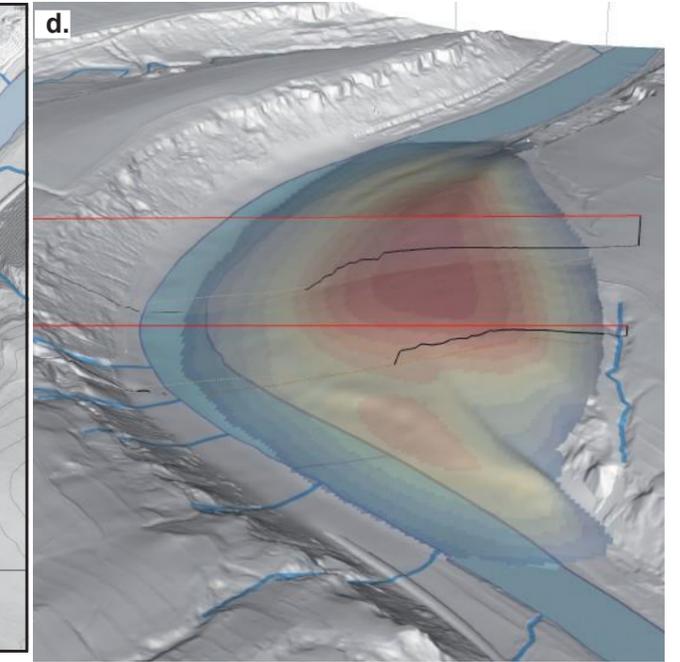
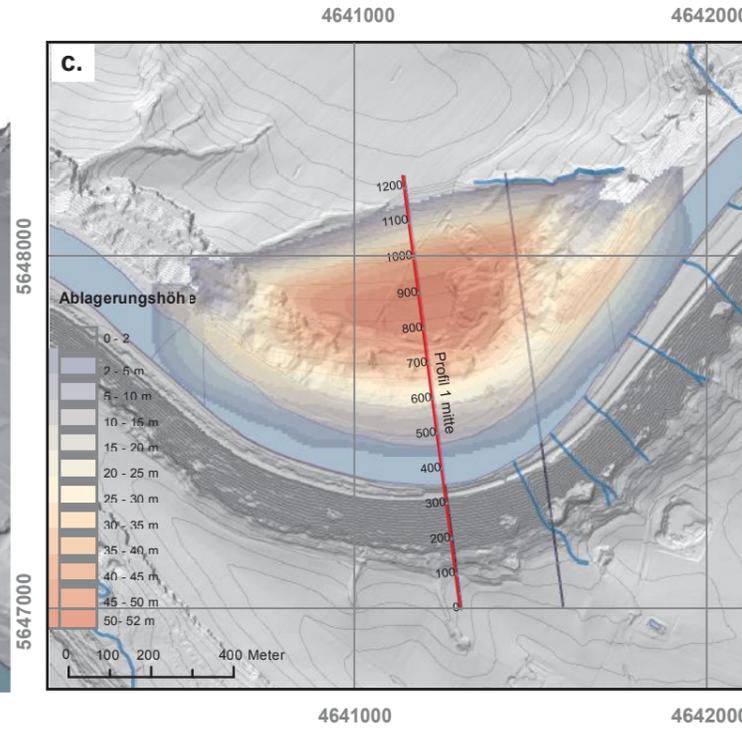
- bestehendes Terrain
- Gleitfläche
- Ablagerungsfläche

Zeichener Brüche

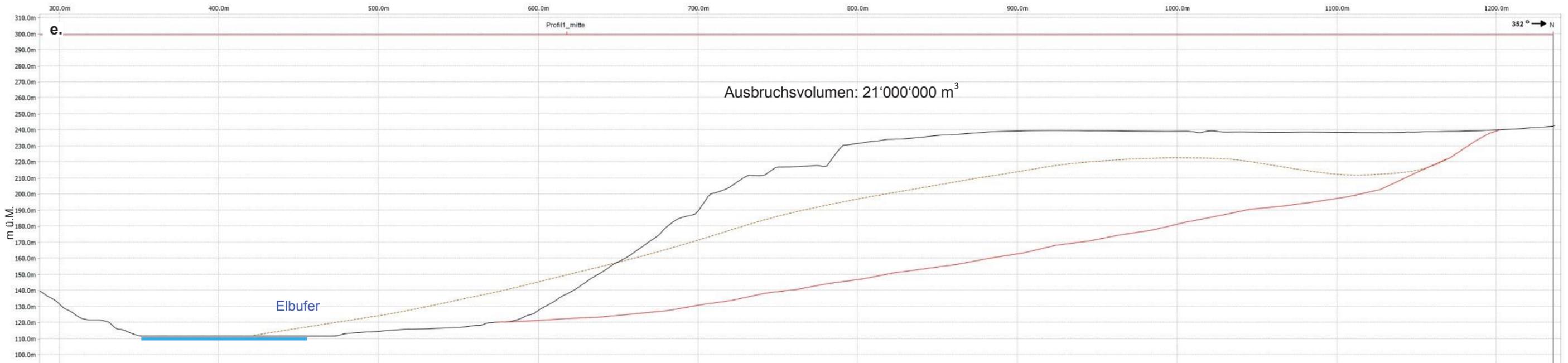
Situation Istzustand, 1:20'000



Situation nach Ausbruch, 1:20'000



Profil 1 mitte, 1:2'500



Fall 3: Szenario VIII, grosser Bergsturz

Situation Istzustand:

Aufsicht (a.) und 3D-Ansicht (b.) des potenziellen Ausbruchsgebietes mit Profilsuren (Profil 1 mitte)

Situation nach Ausbruch:

Aufsicht (c.) und 3D-Ansicht (d.) des Gebietes nach dem Ausbruch mit den Ablagerungshöhen auf der Gleitfläche und der ursprünglichen Topografie

Profil 1 mitte:

Geländequerschnitt (e.) mit ursprünglicher Geländeoberfläche (schwarze Linie), potenzieller Gleitfläche (rote Linie) und modellierter Ablagerung des Ausbruches (braun gestrichelte Linie)

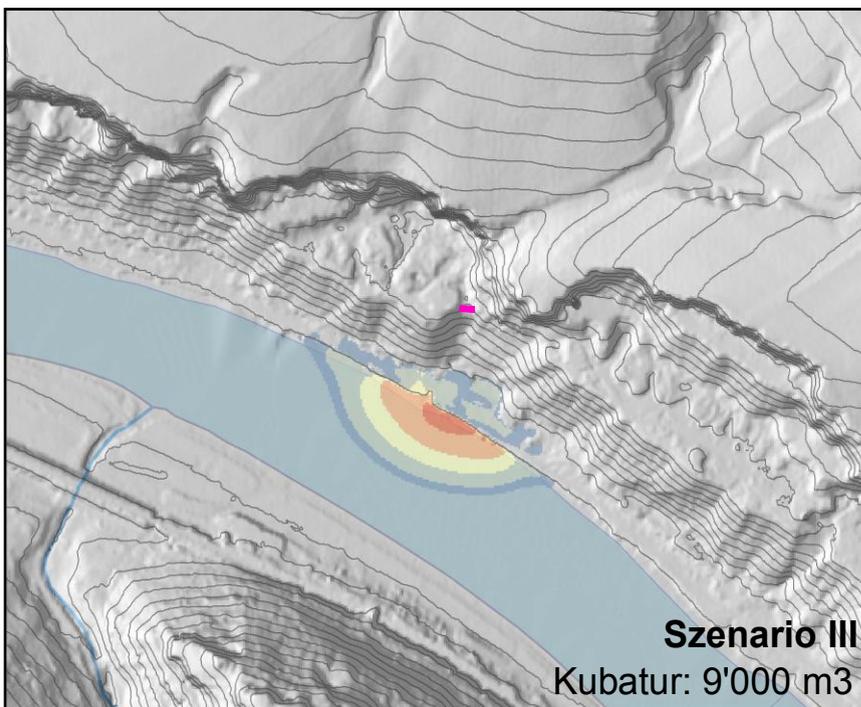
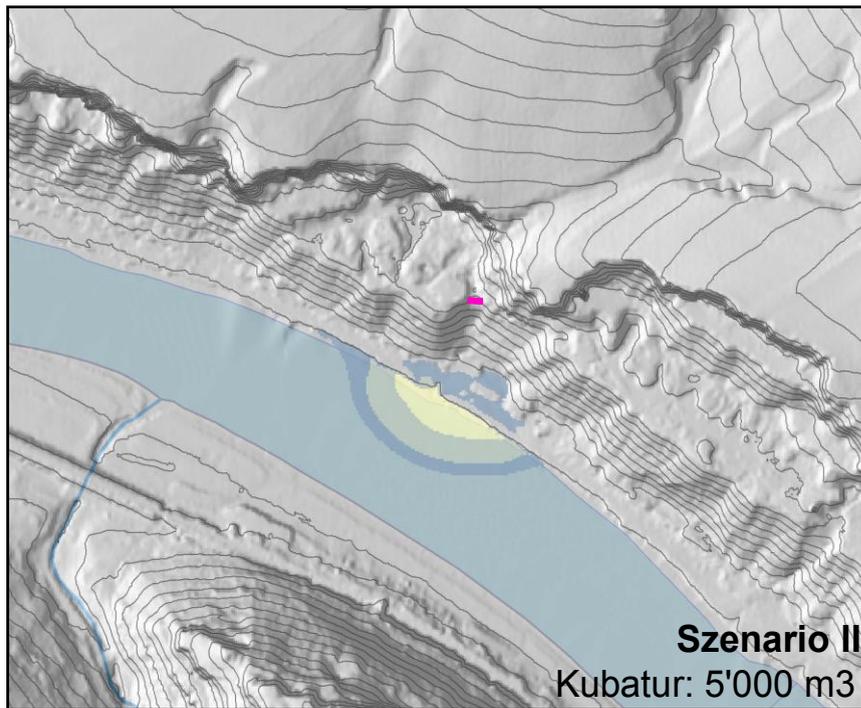
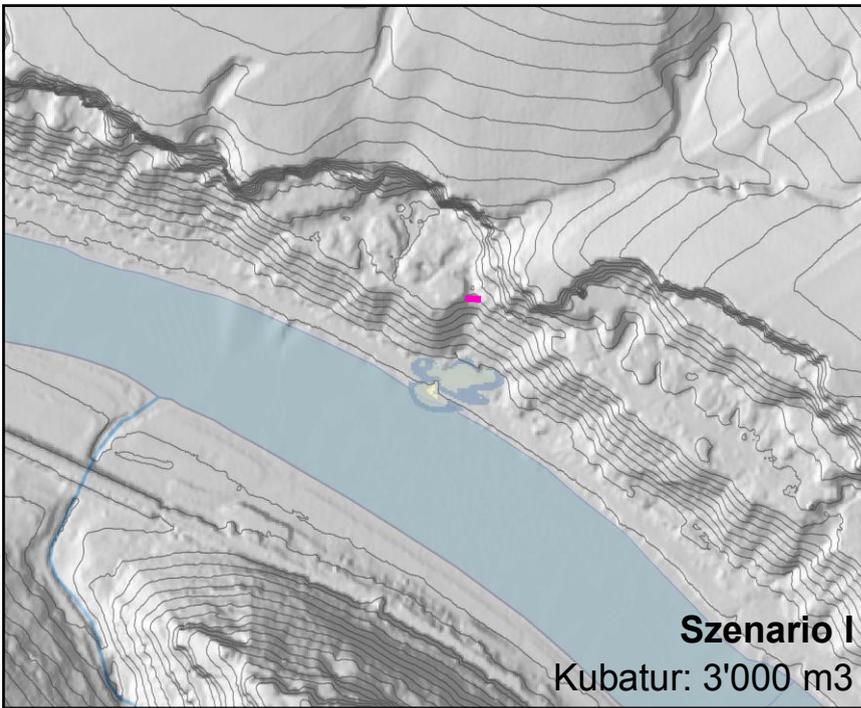
- Abgleiten des gesamten Gebirgsabschnittes durch Ablösen entlang einer postulierten tektonischen Großstörung. Die Hauptablagerung findet jedoch im Ausbruchsgebiet auf der Gleitfläche statt. Bei einer pessimistischen Annahme kann es zu einer weitgehenden Verklauung des Tales kommen.

- bestehendes Terrain
- Gleitfläche
- - - Ablagerungsfläche

Anhang 2

Modellierungsergebnisse Murgang

Resultate Murgangmodellierung EZG 65, Fährhaus Zeichen



 Hydrograf

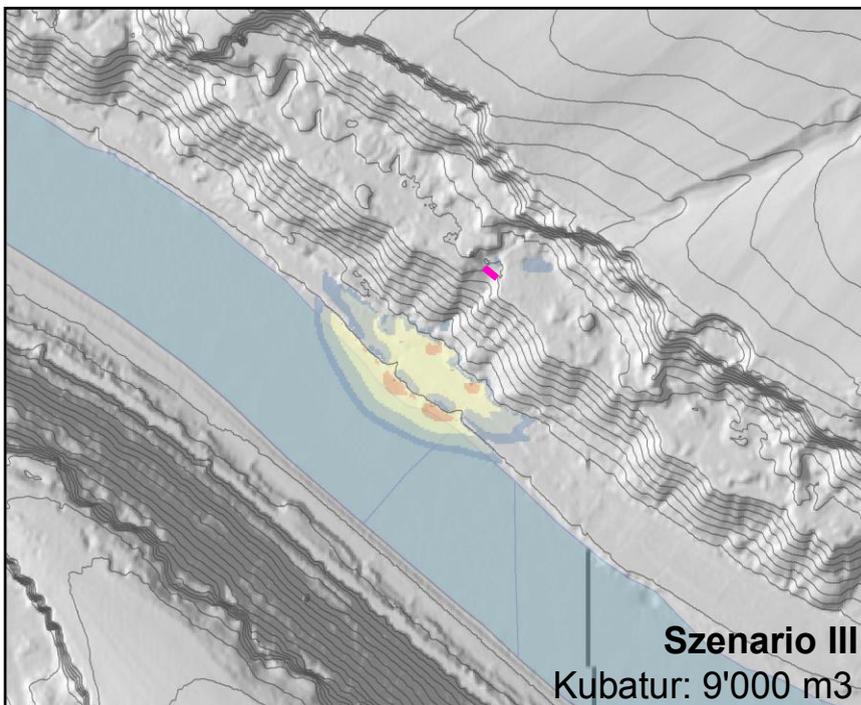
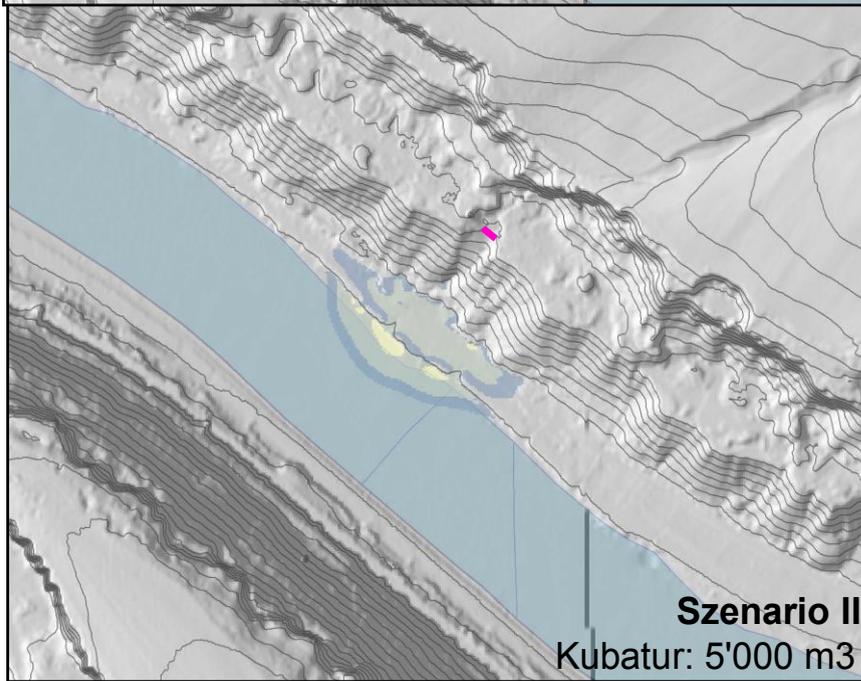
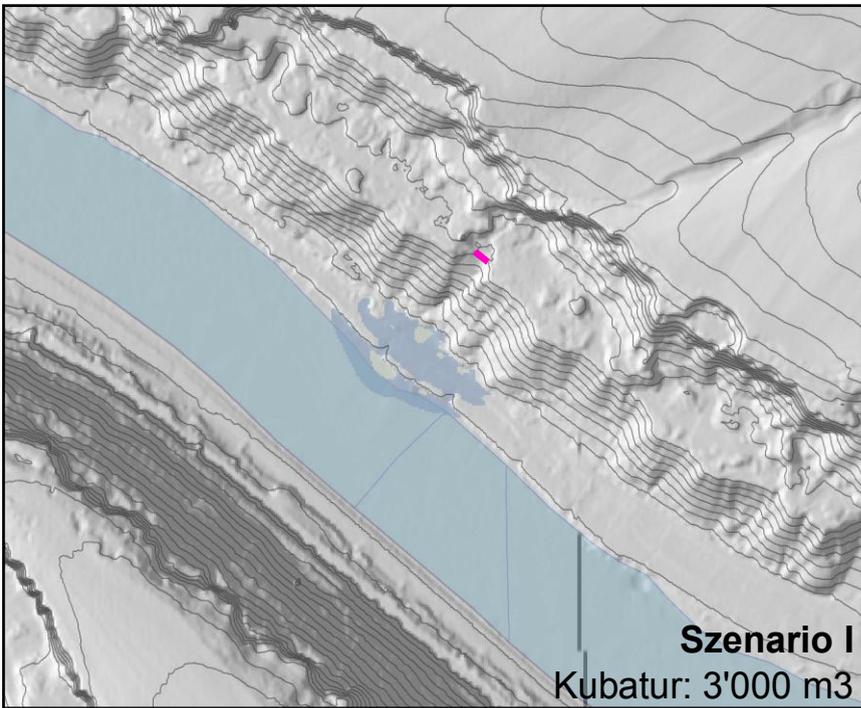
 Höhenlinien 5 m

Ablagerungshöhe [m]

-  < 0.25
-  0.25 - 0.5
-  0.5 - 0.75
-  0.75 - 1
-  1.0 - 1.25
-  > 1.25

0 100 200 Meter


Resultate Murgangmodellierung EZG 70, südöstlich Fährhaus Zeichen



 Hydrograf

 Höhenlinien 5 m

Ablagerungshöhe [m]

 < 0.25

 0.25 - 0.5

 0.5 - 0.75

 0.75 - 1

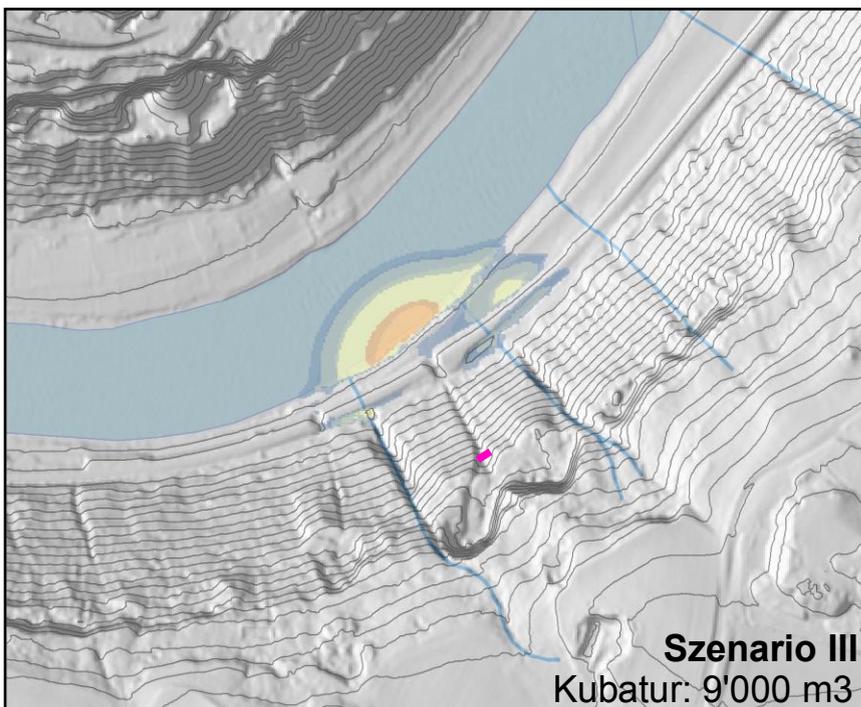
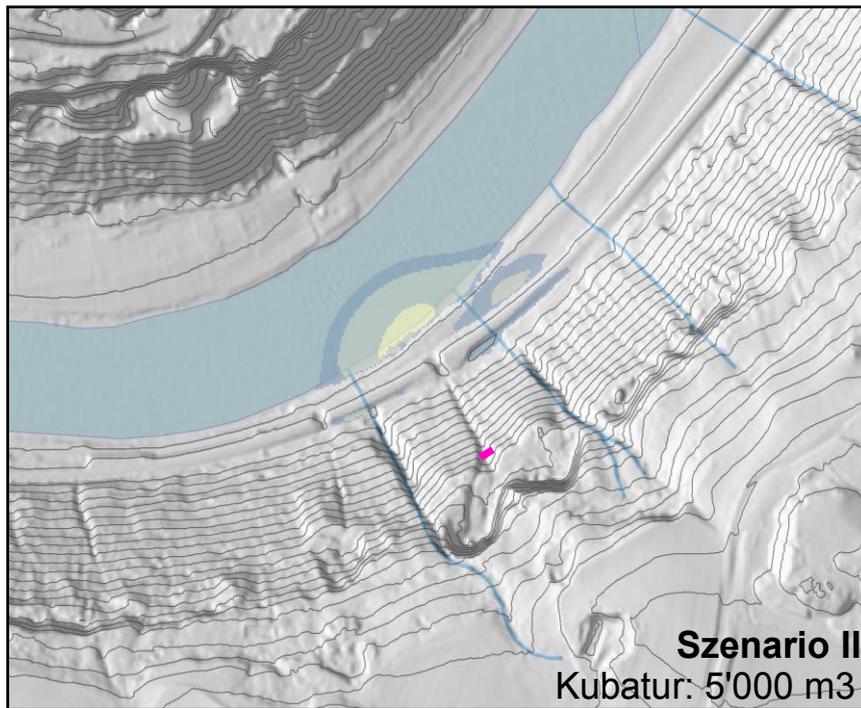
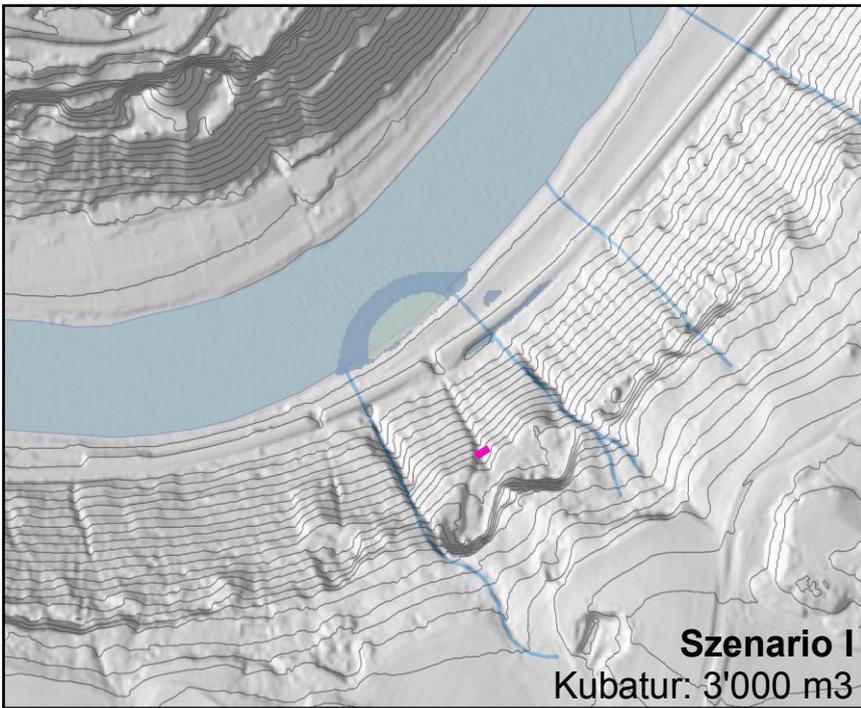
 1.0 - 1.25

 > 1.25

0 100 200 Meter



Resultate Murgangmodellierung EZG 117, Obervogelgesang



 Hydrograf

 Höhenlinien 5 m

Ablagerungshöhe [m]

-  < 0.25
-  0.25 - 0.5
-  0.5 - 0.75
-  0.75 - 1
-  1.0 - 1.25
-  > 1.25

0 100 200 Meter

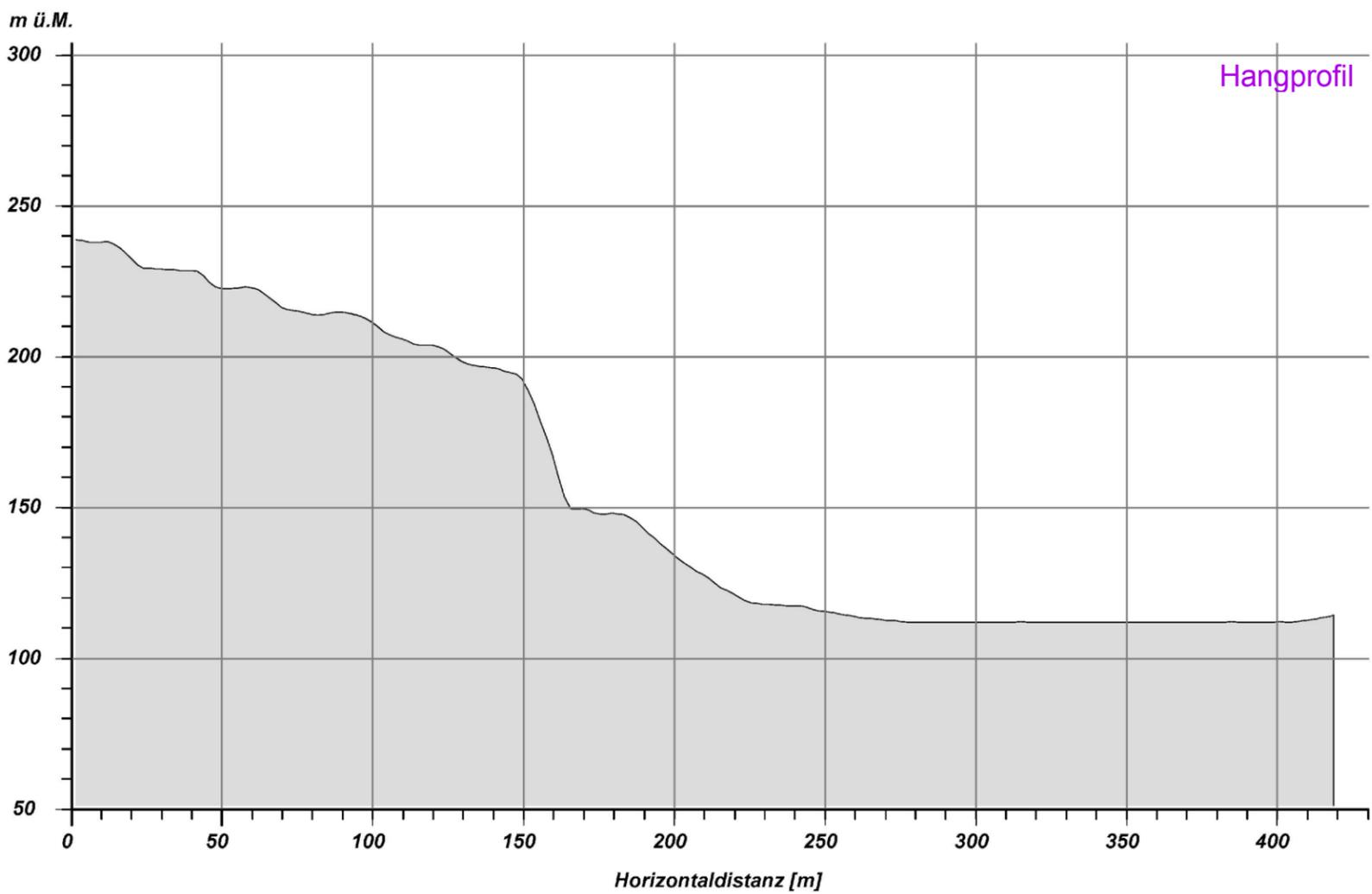
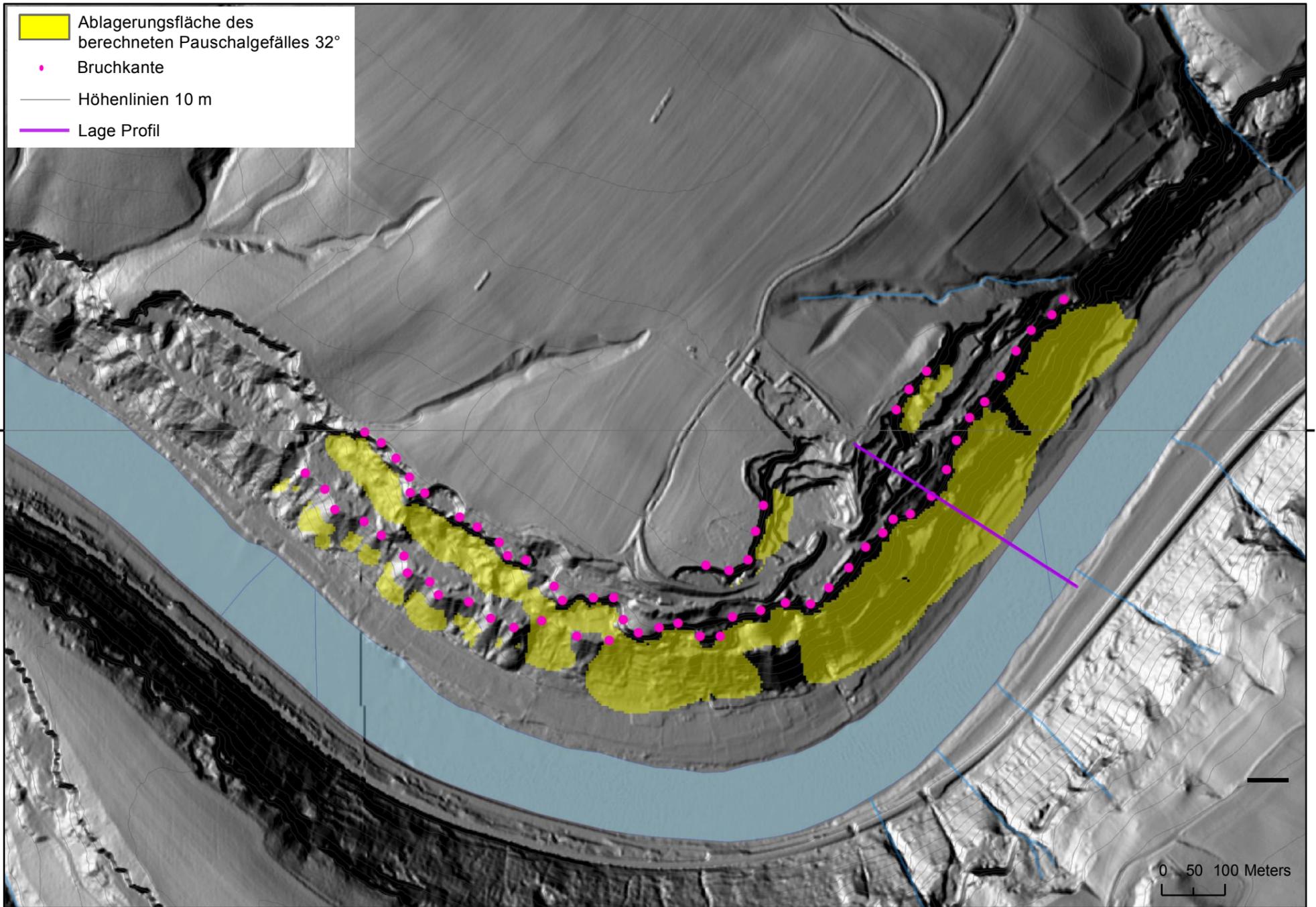


Anhang 3

Resultate Pauschalgefälleberechnung

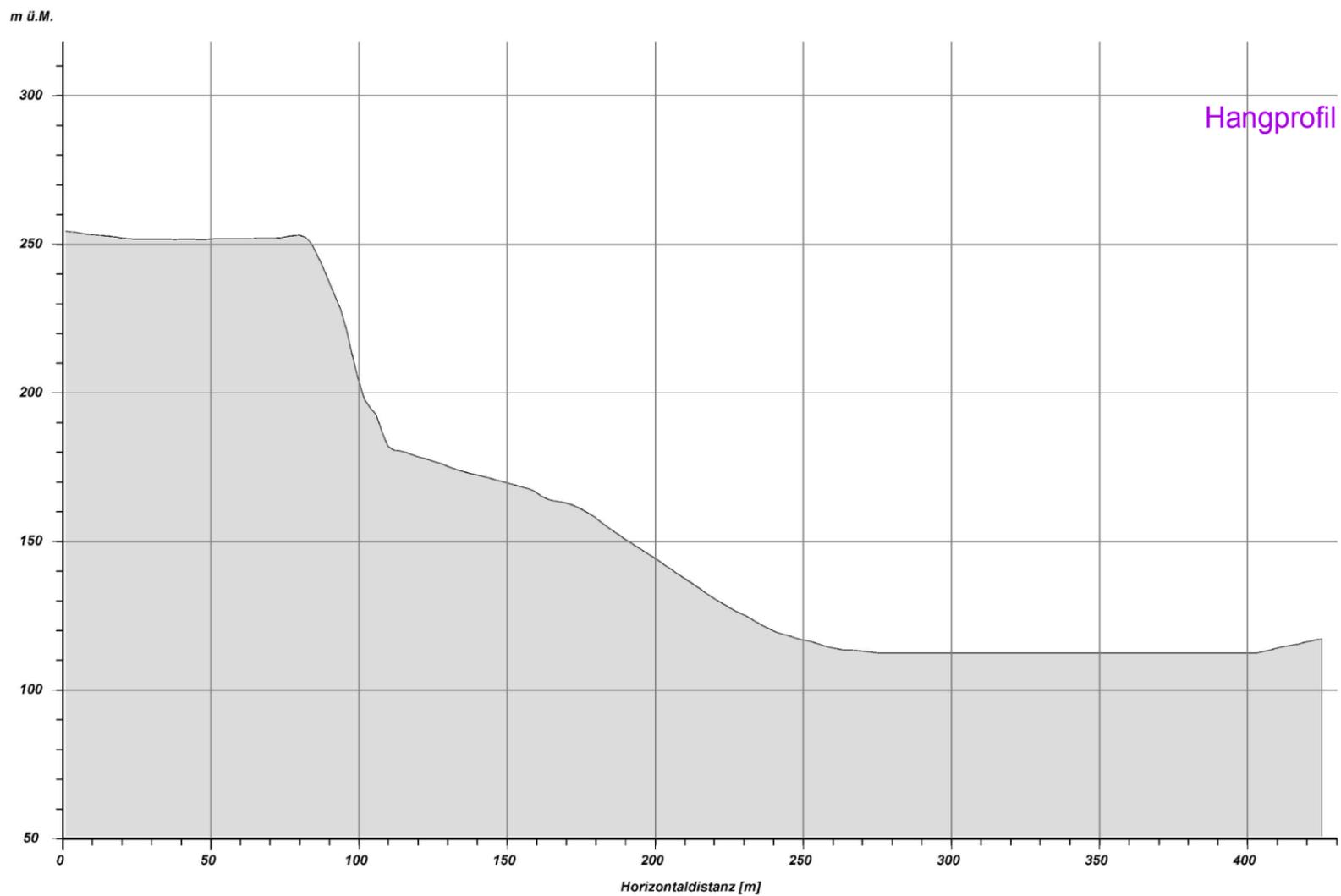
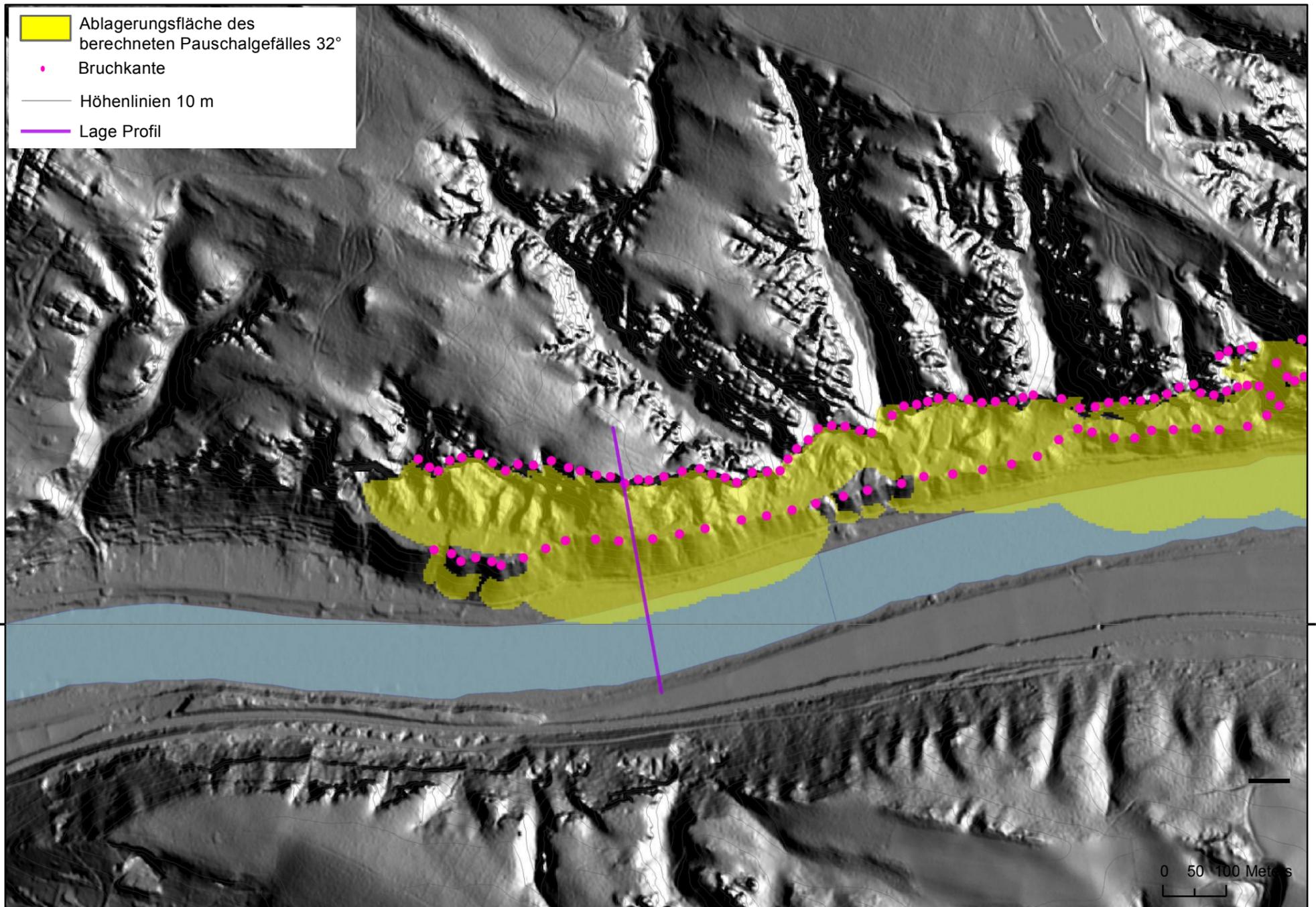
Zeichener Brüche

Resultate der Berechnung des Pauschalgefälles von 32°



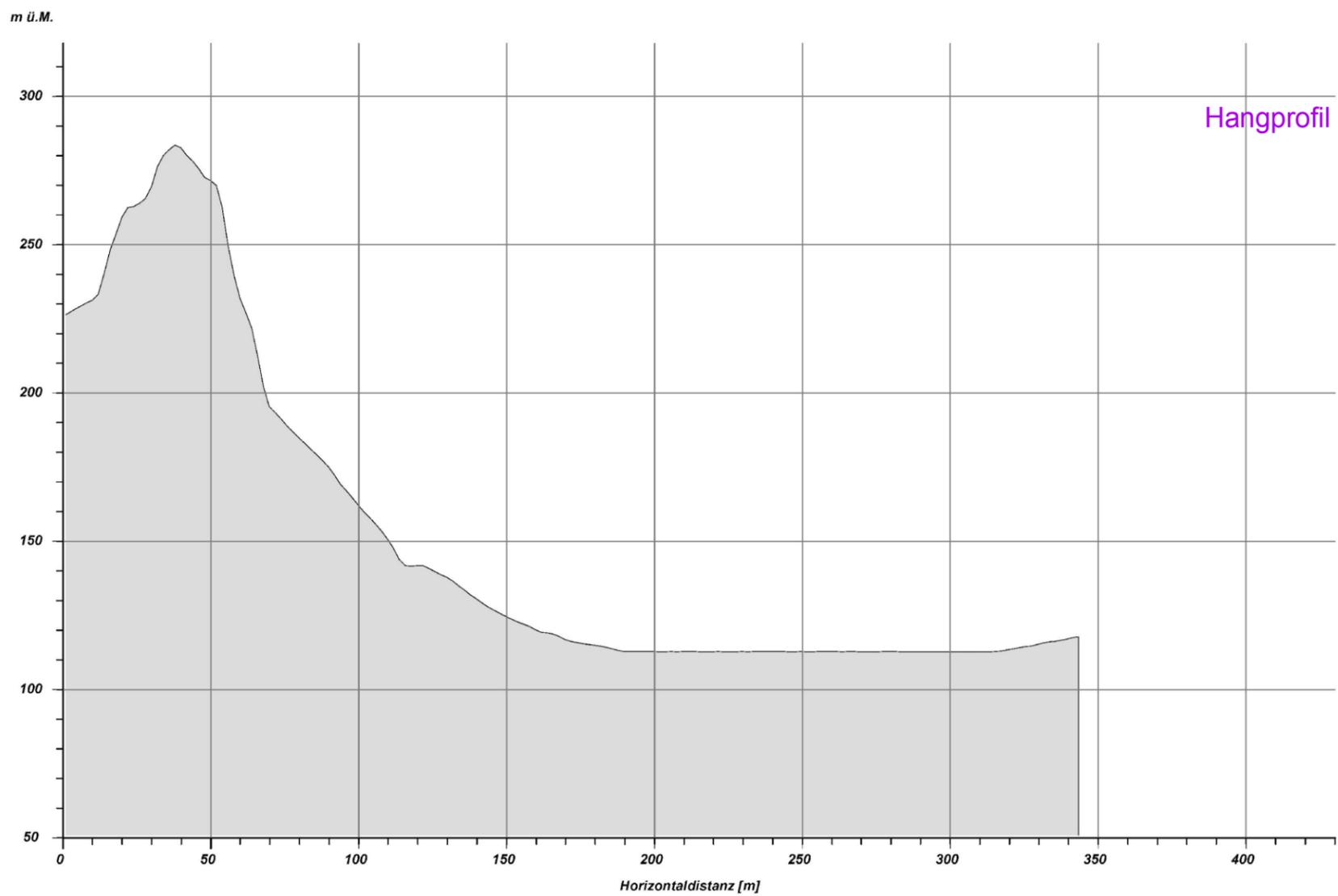
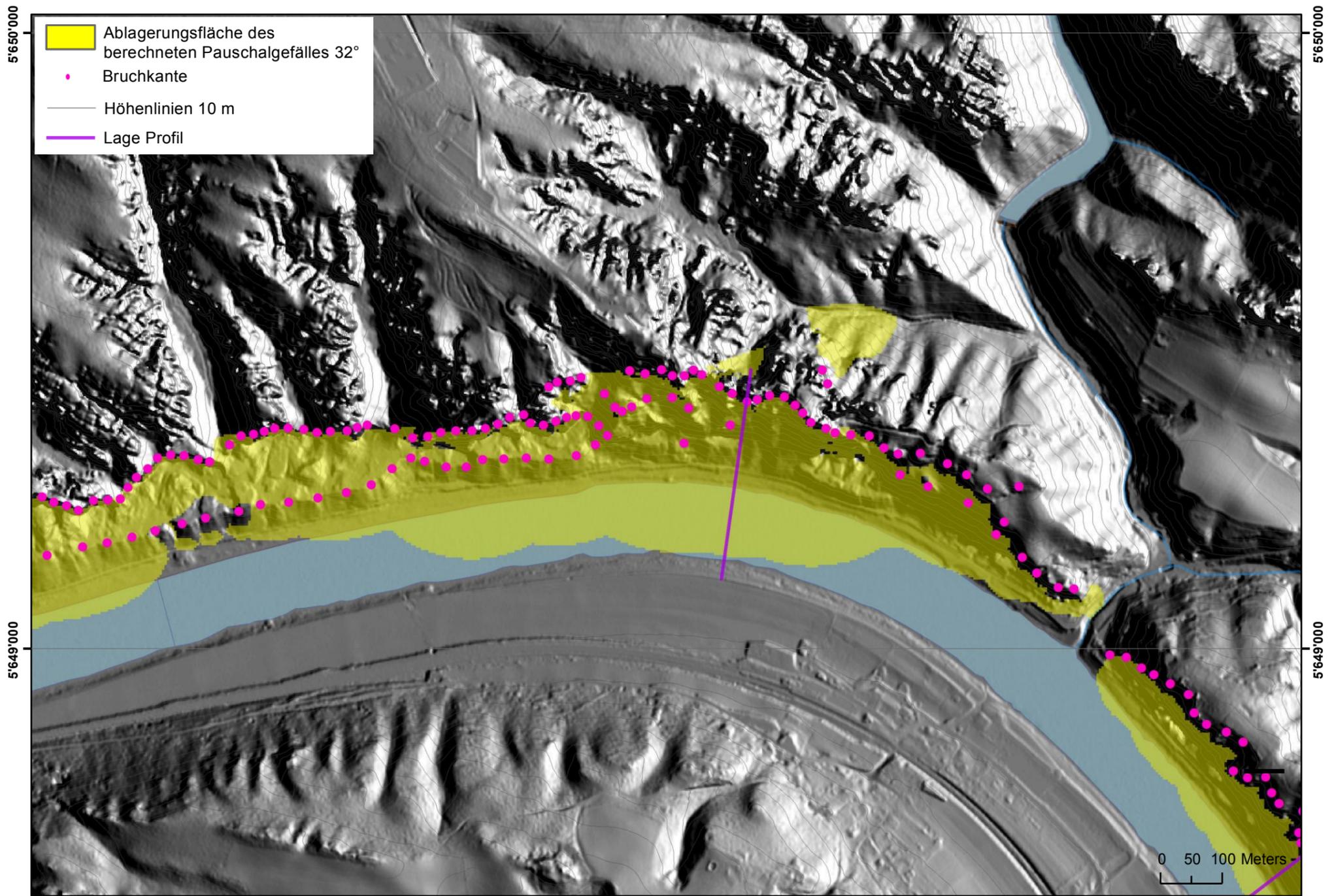
Weißer Brüche I

Resultate der Berechnung des Pauschalgefälles von 32°



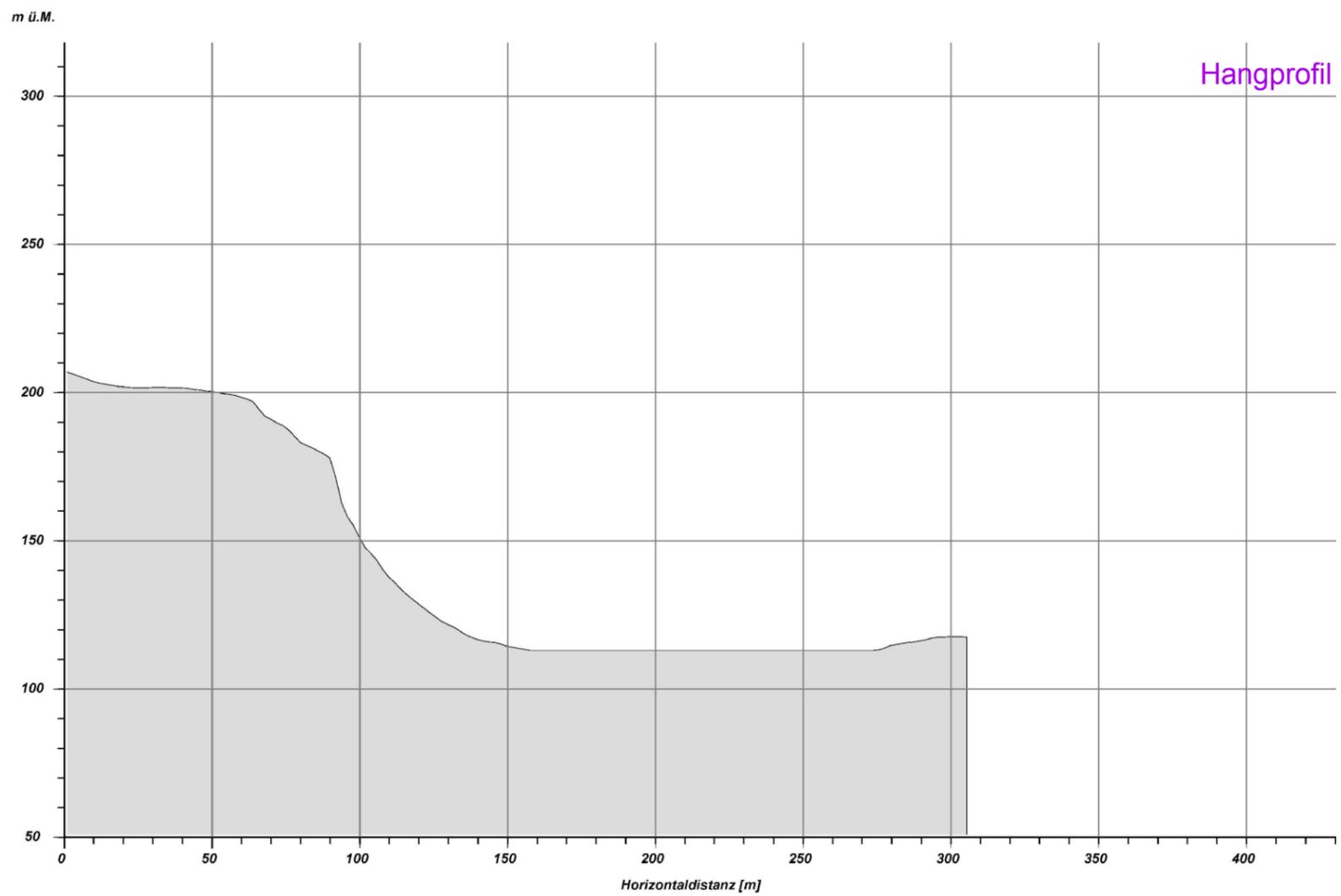
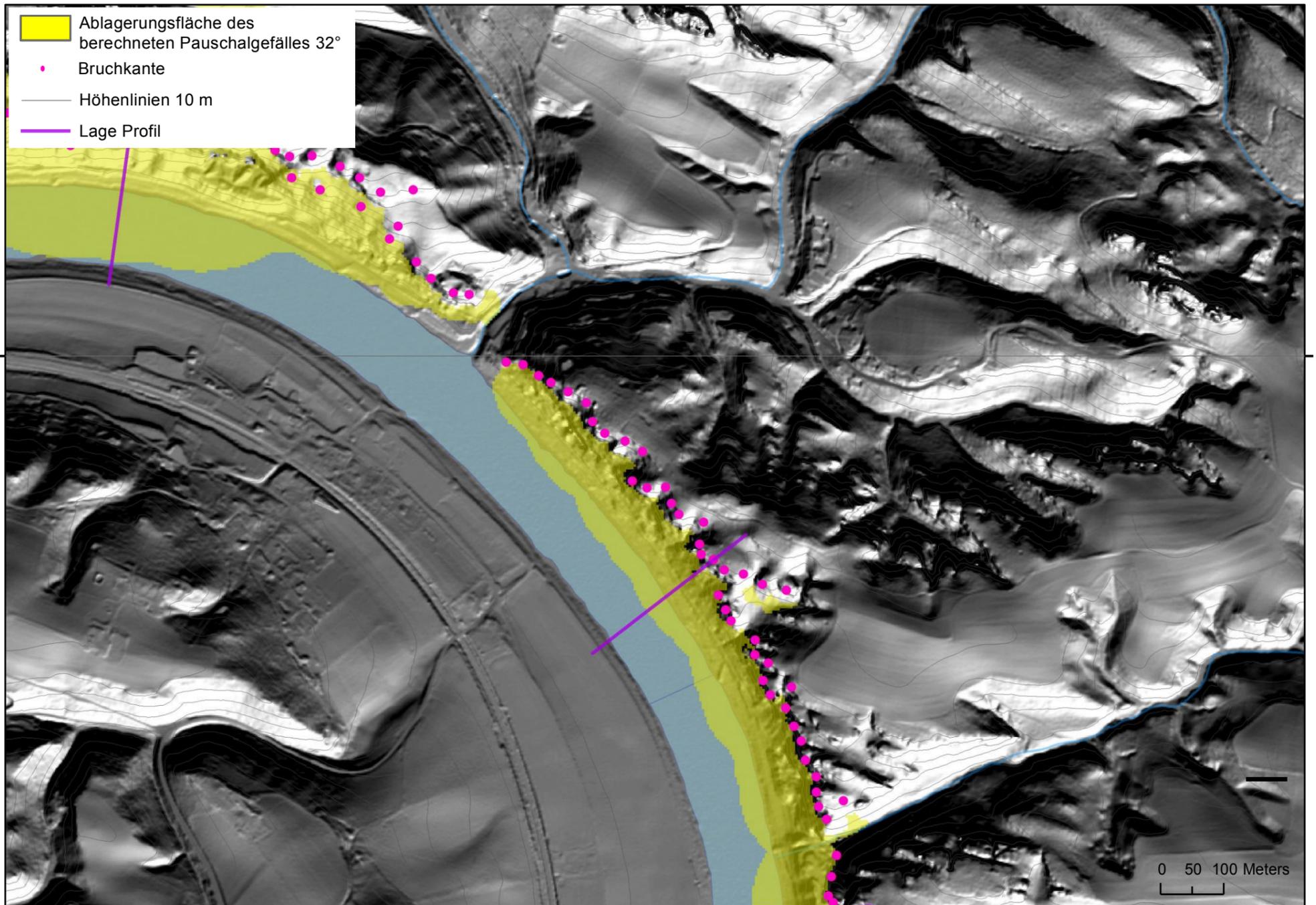
Weißer Brüche II

Resultate der Berechnung des Pauschalgefälles von 32°



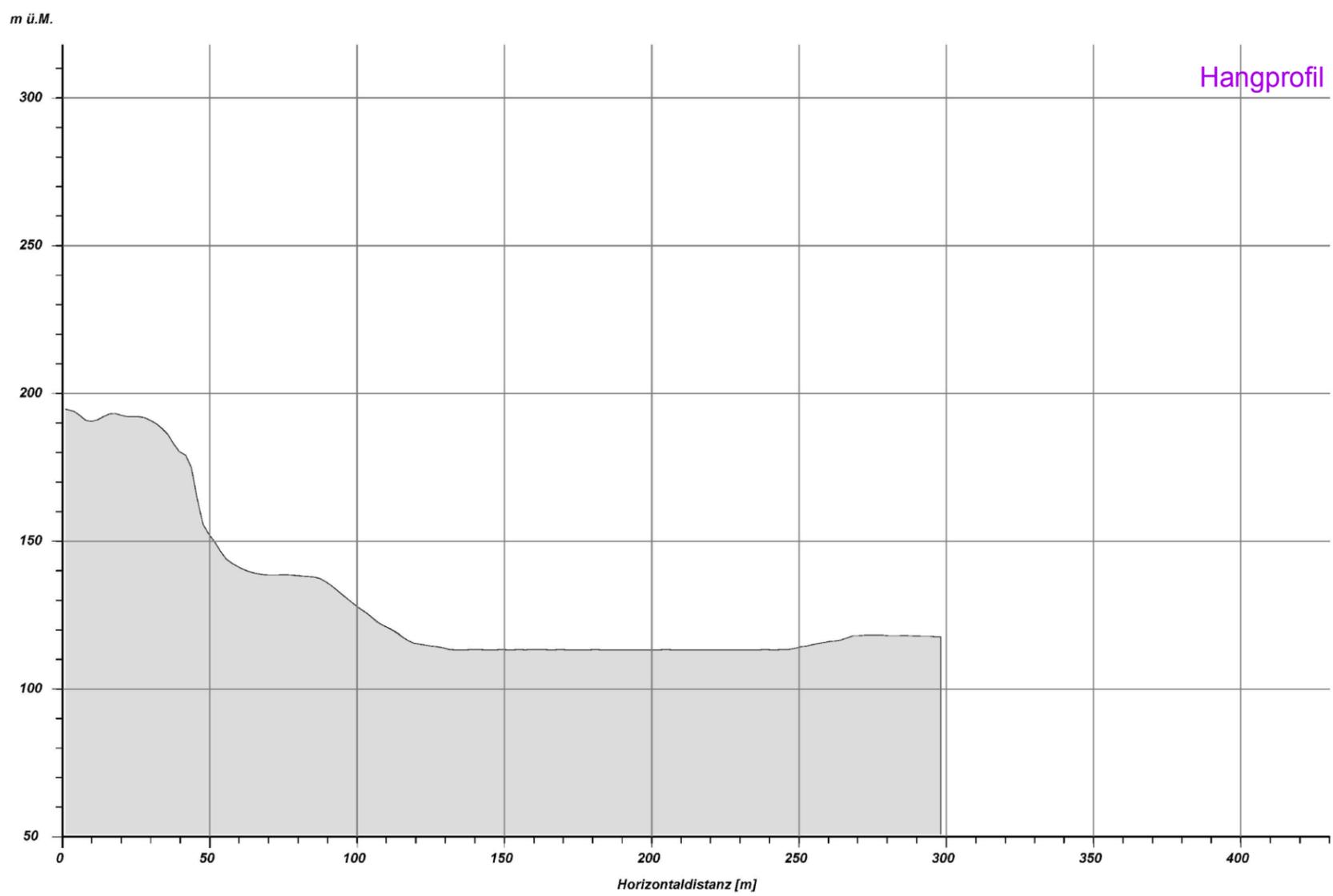
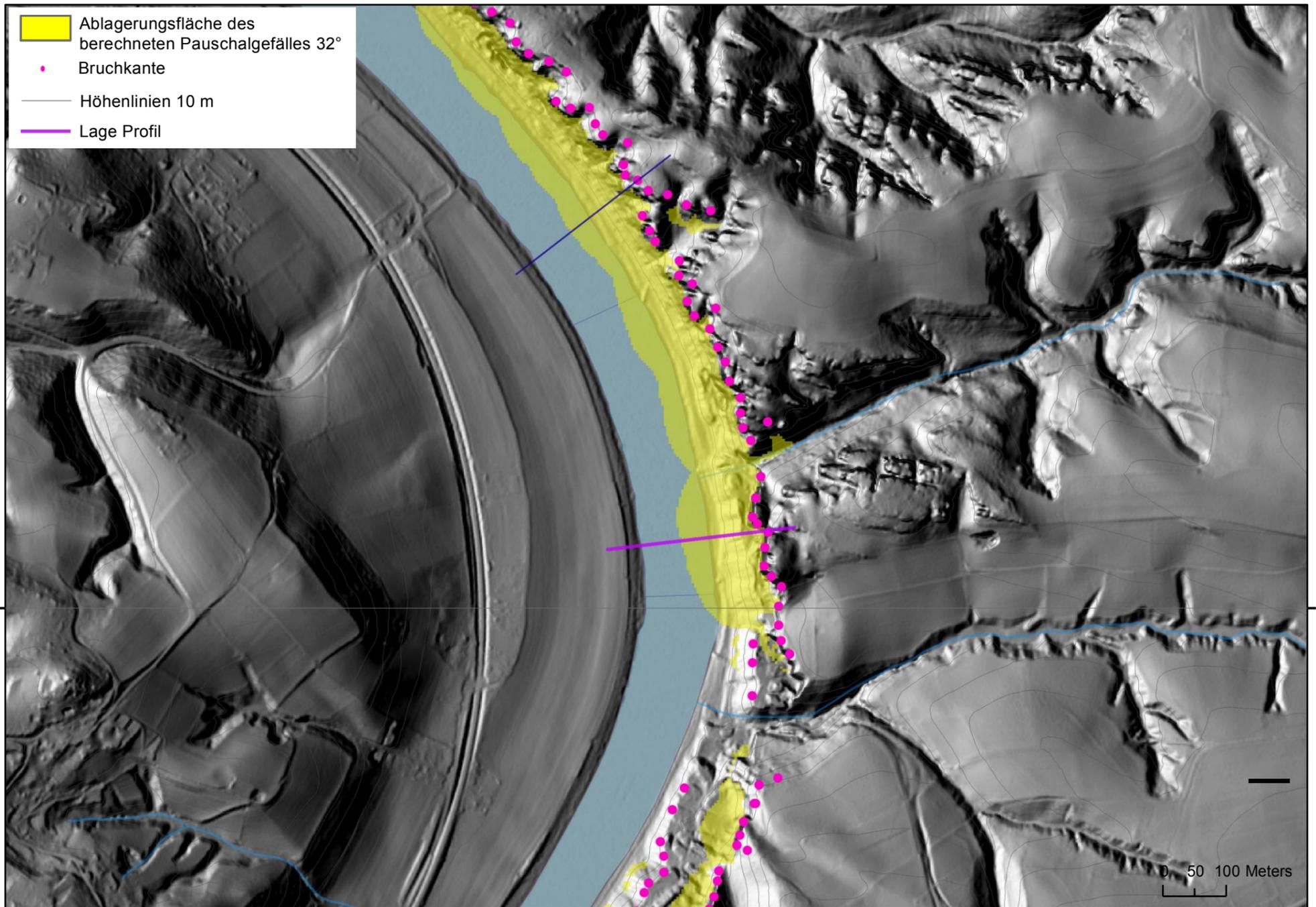
Schulhain-Brüche I

Resultate der Berechnung des Pauschalgefälles von 32°



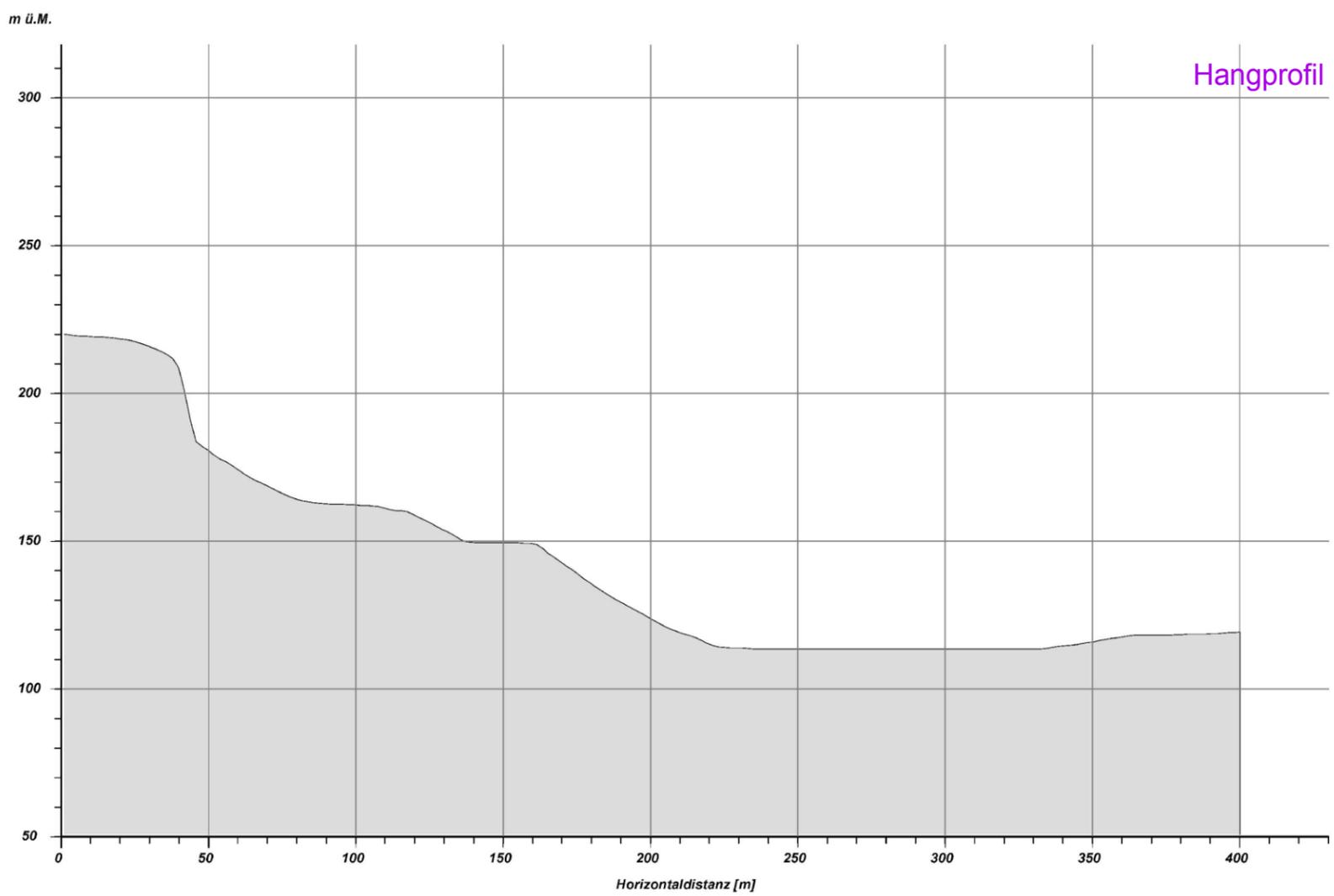
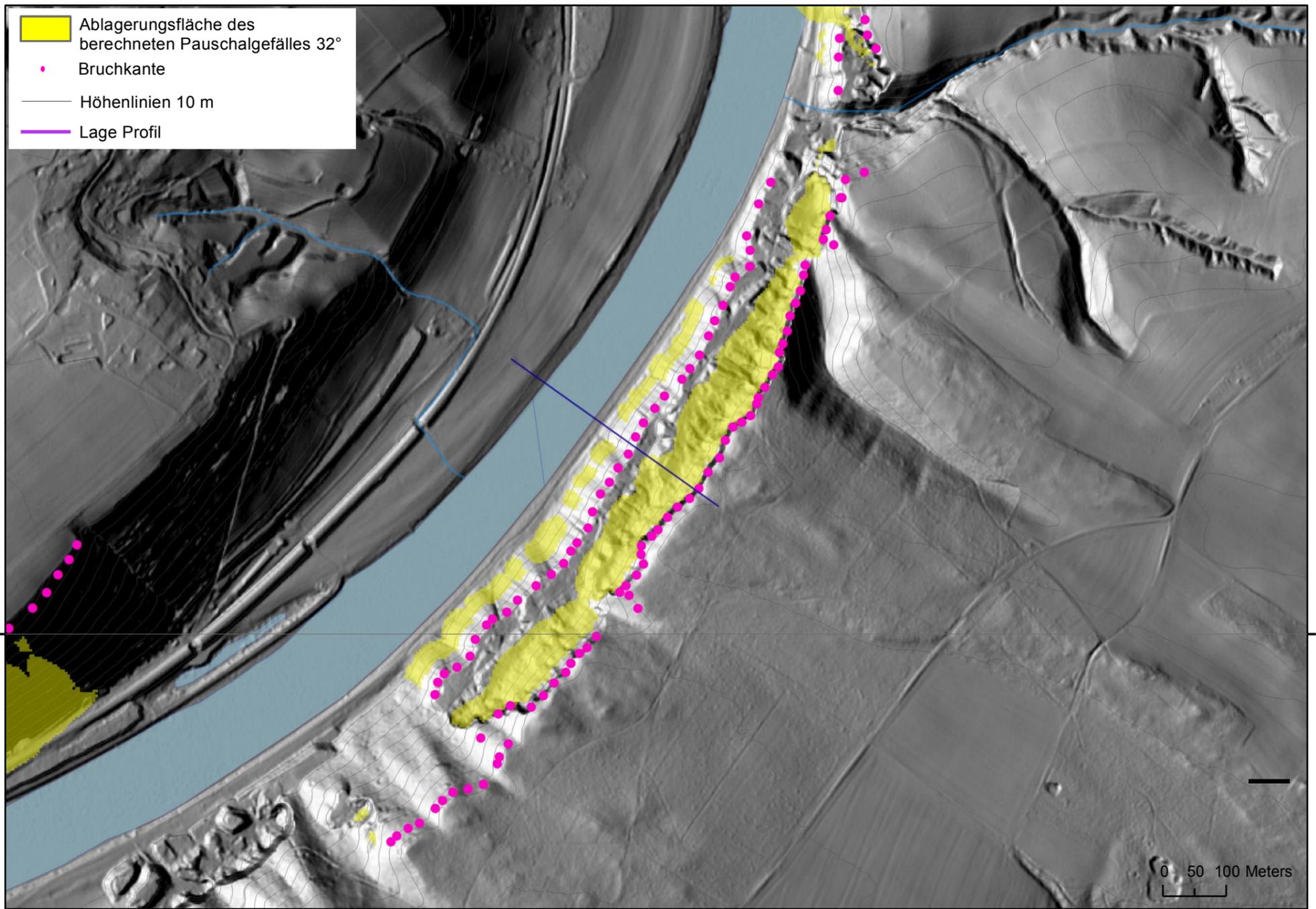
Schulhain-Brüche II

Resultate der Berechnung des Pauschalgefälles von 32°



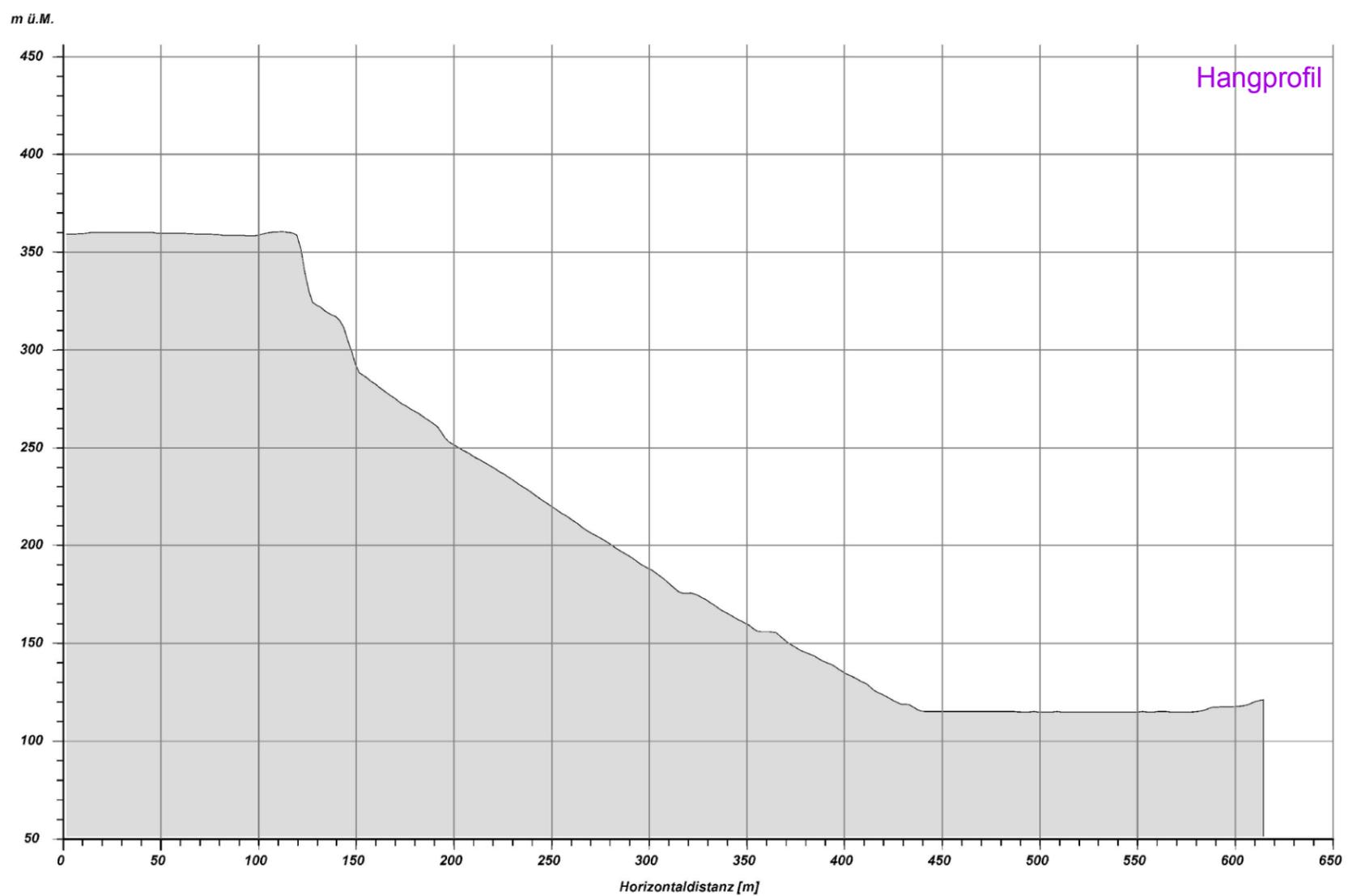
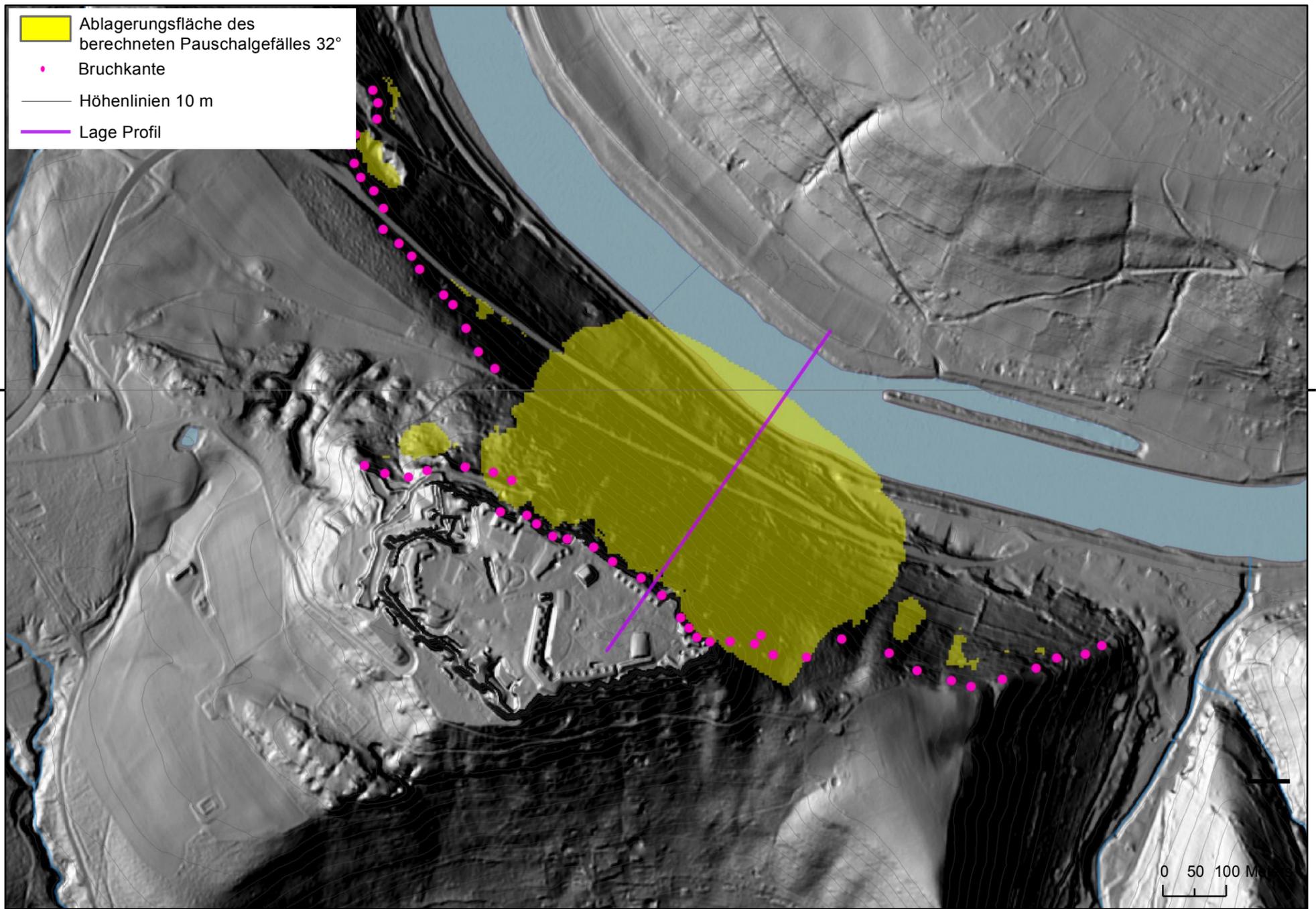
Schulhain-Brüche III

Resultate der Berechnung des Pauschalgefälles von 32°



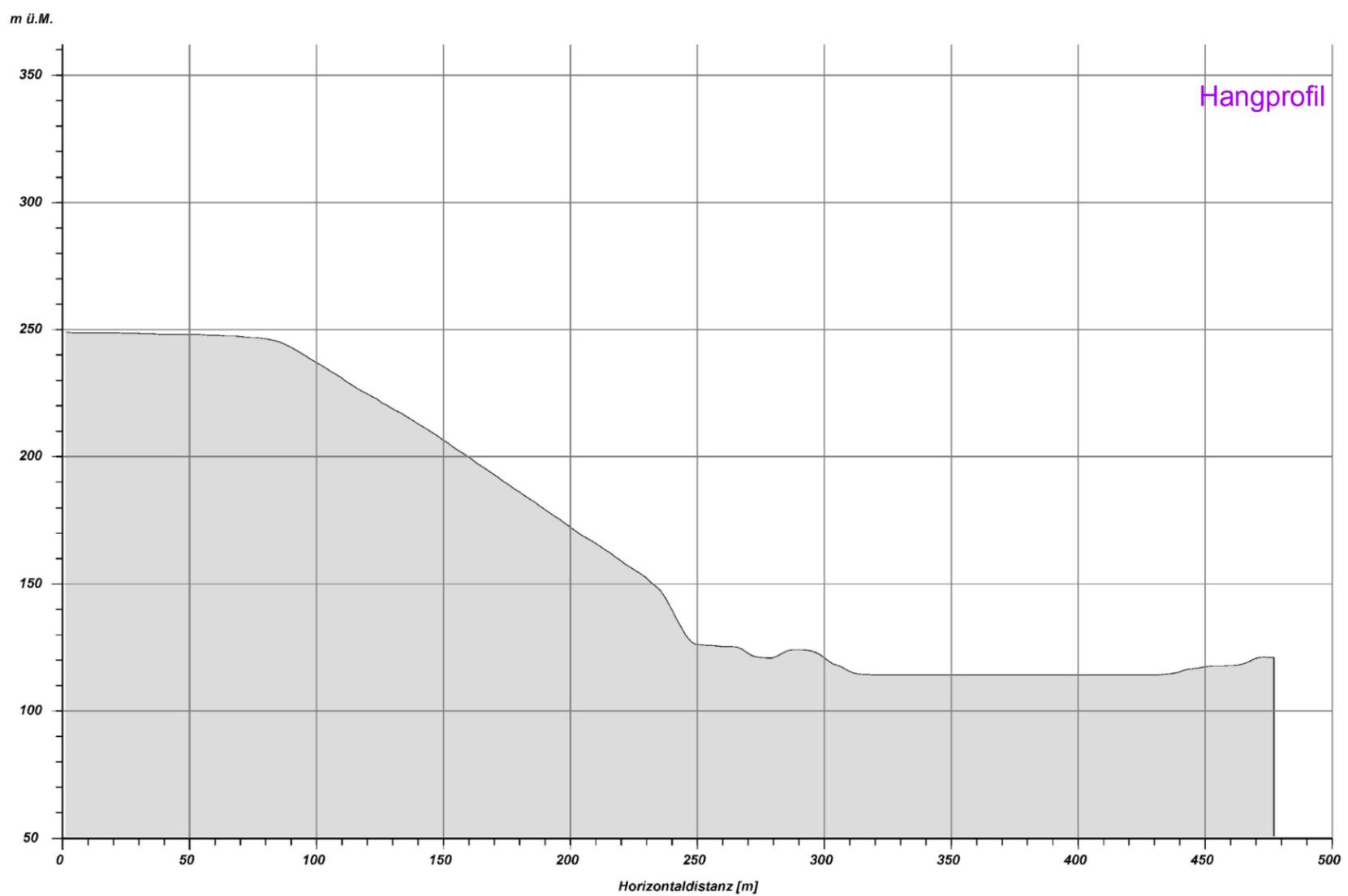
Königstein

Resultate der Berechnung des Pauschalgefälles von 32°



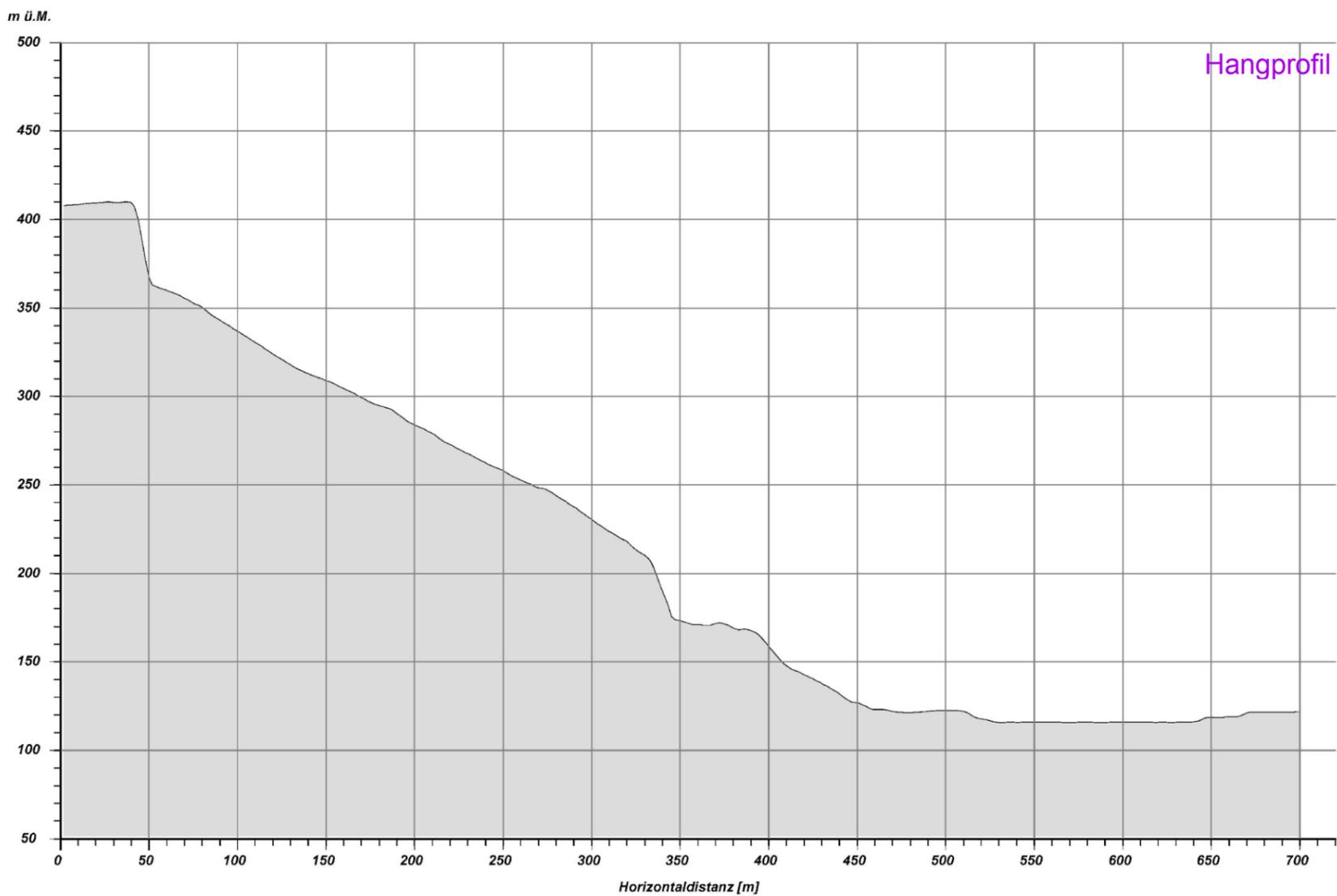
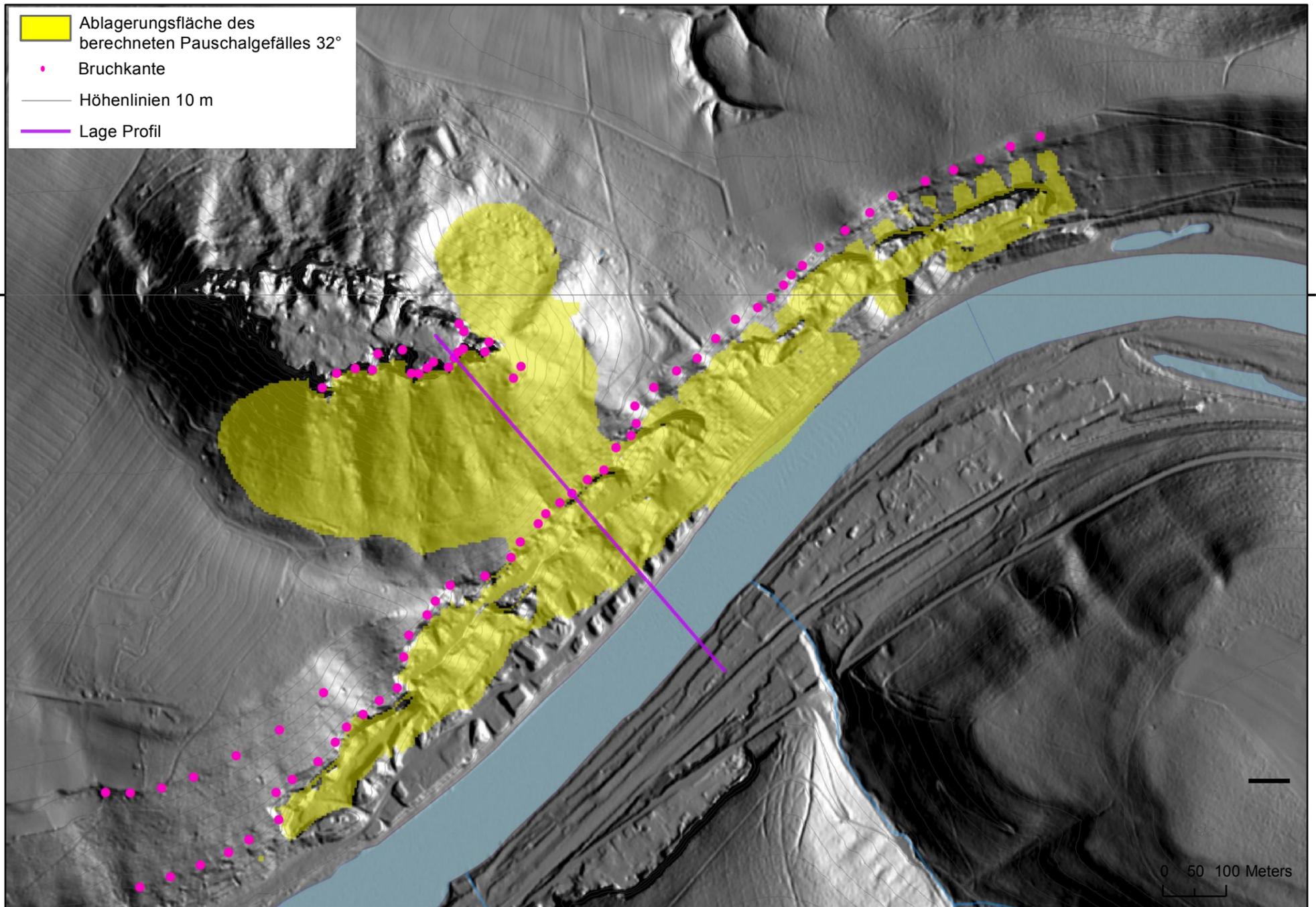
Niedere Kirchleiten-Brüche

Resultate der Berechnung des Pauschalgefälles von 32°



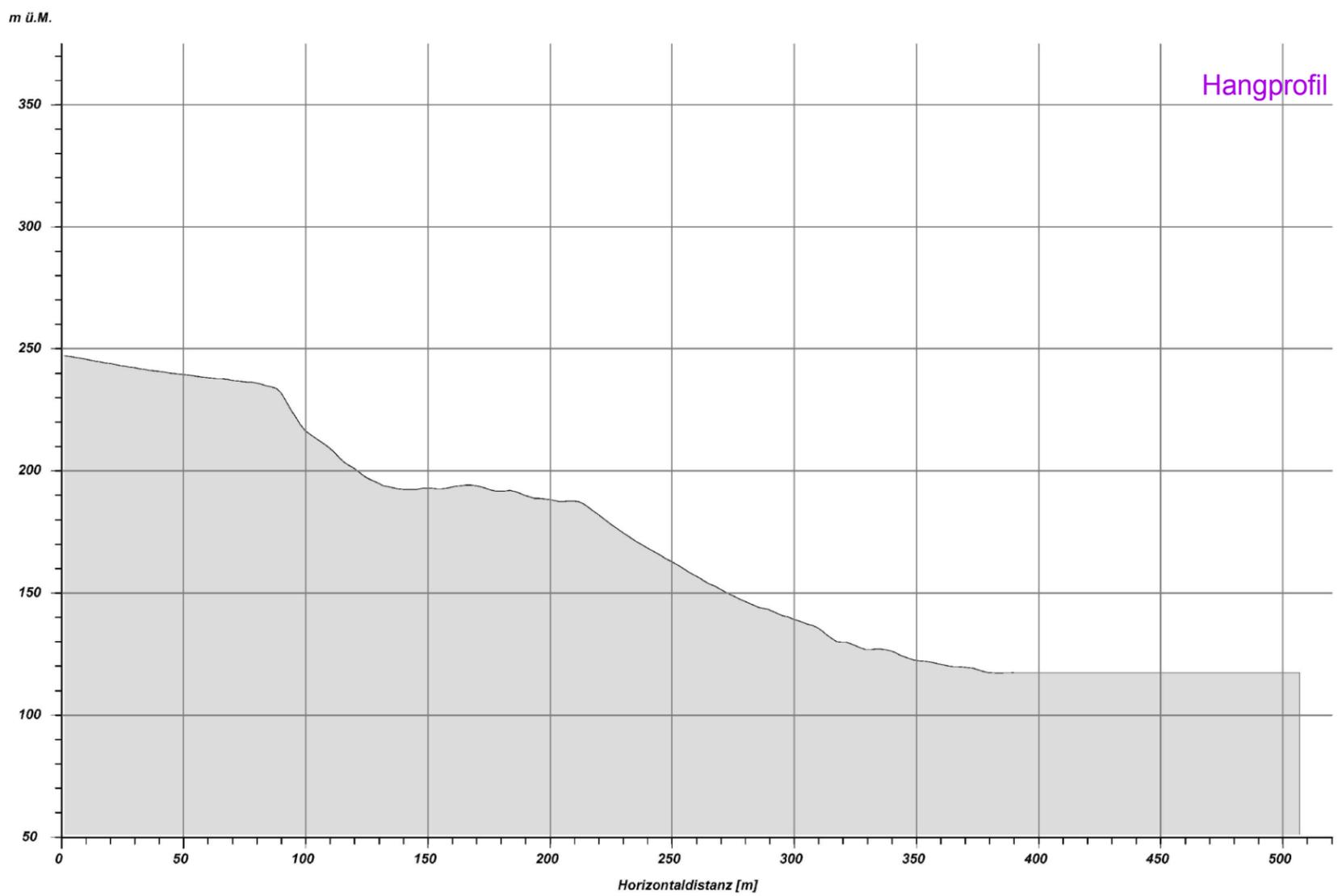
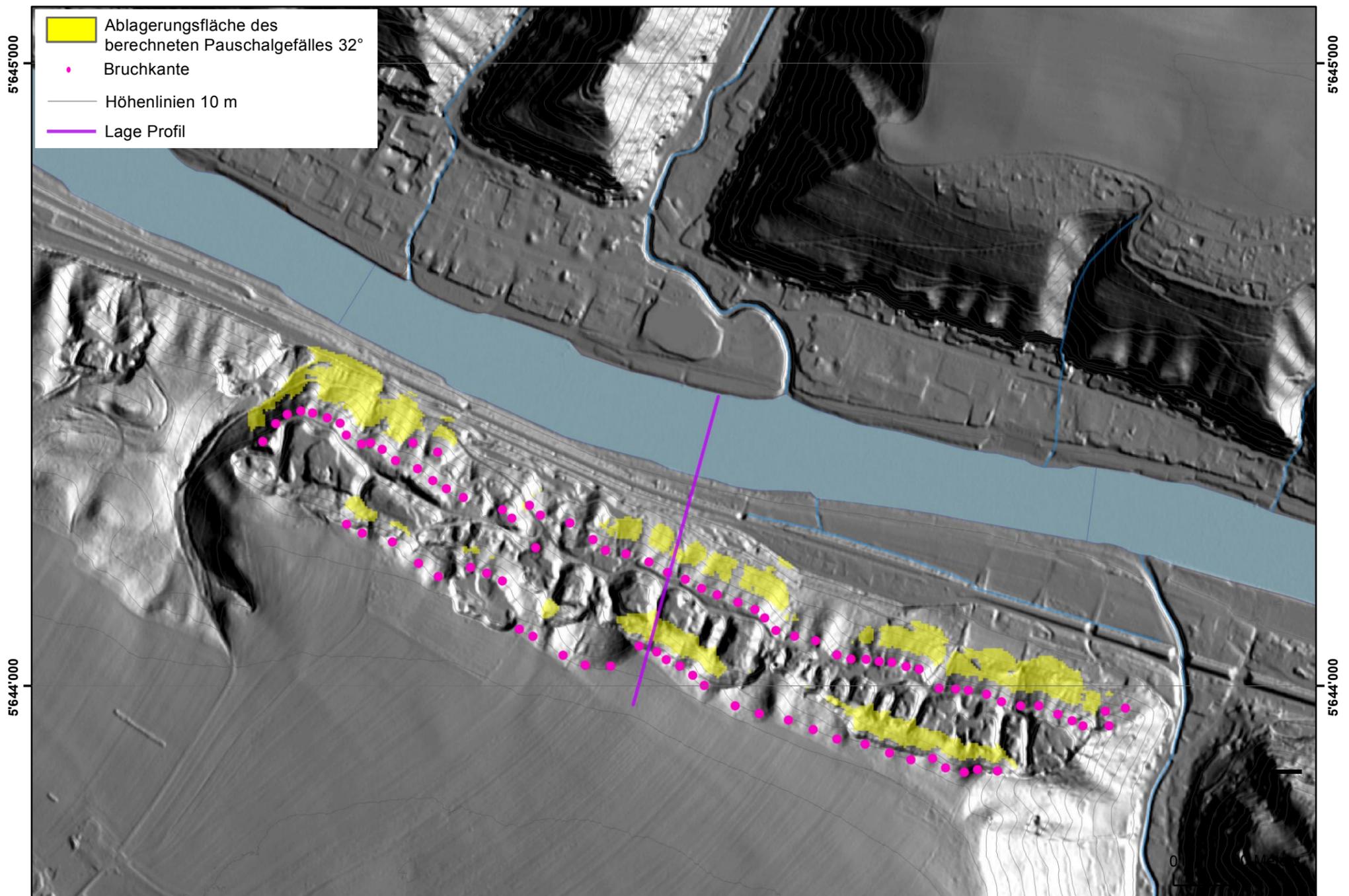
Obere Kirchleiten-Brüche/Lilienstein

Resultate der Berechnung des Pauschalgefälles von 32°



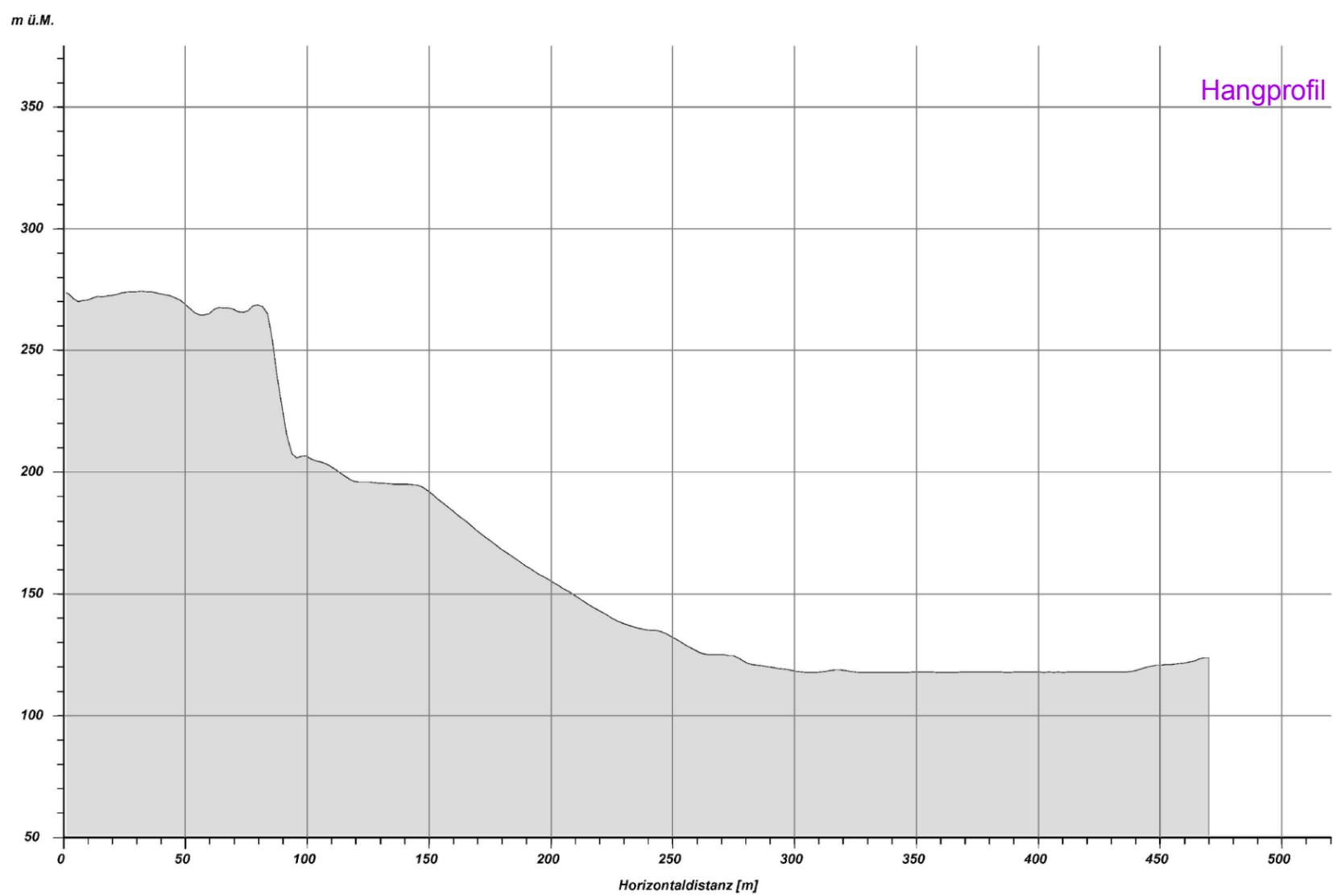
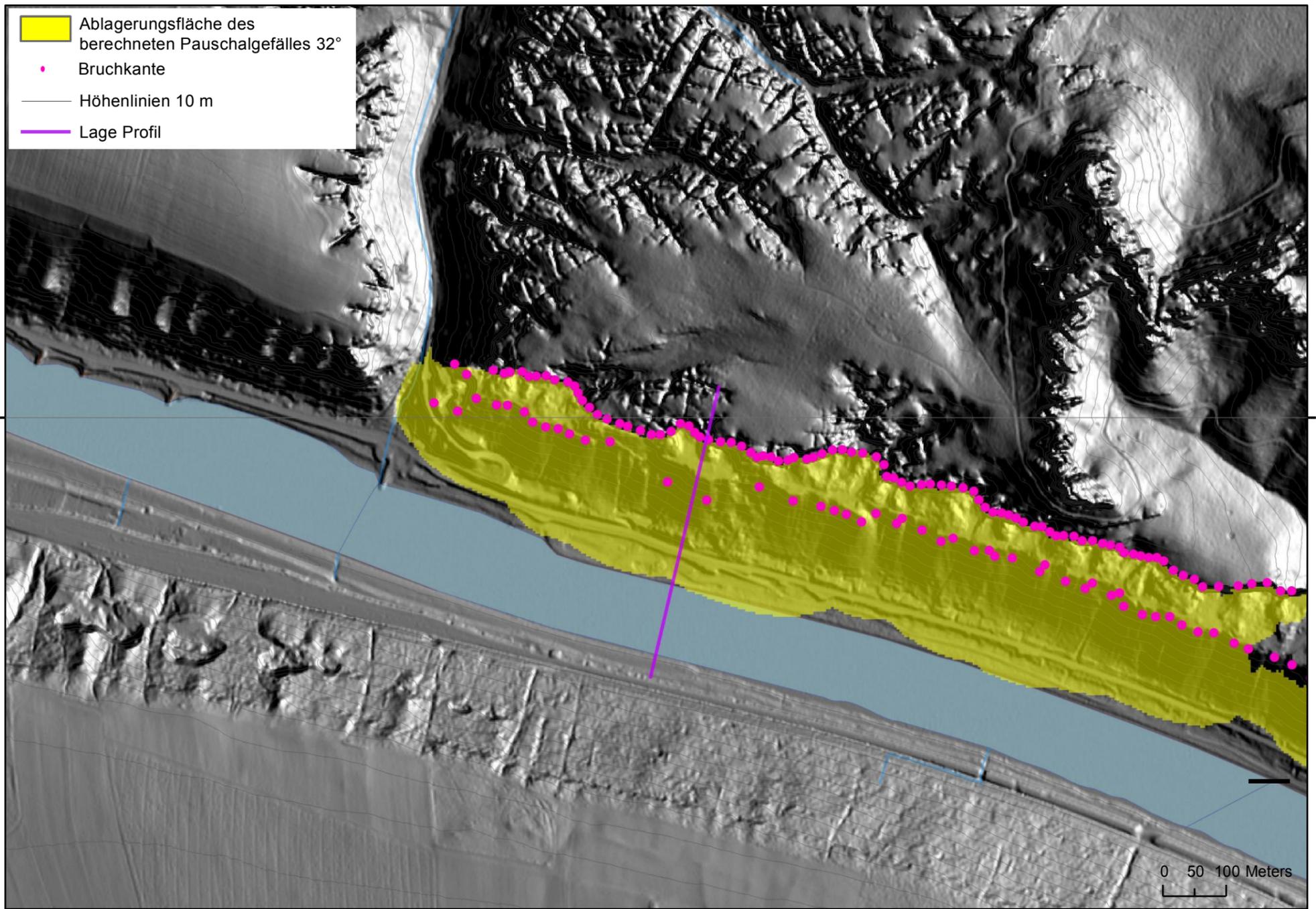
Fiscalische Brüche

Resultate der Berechnung des Pauschalgefälles von 32°



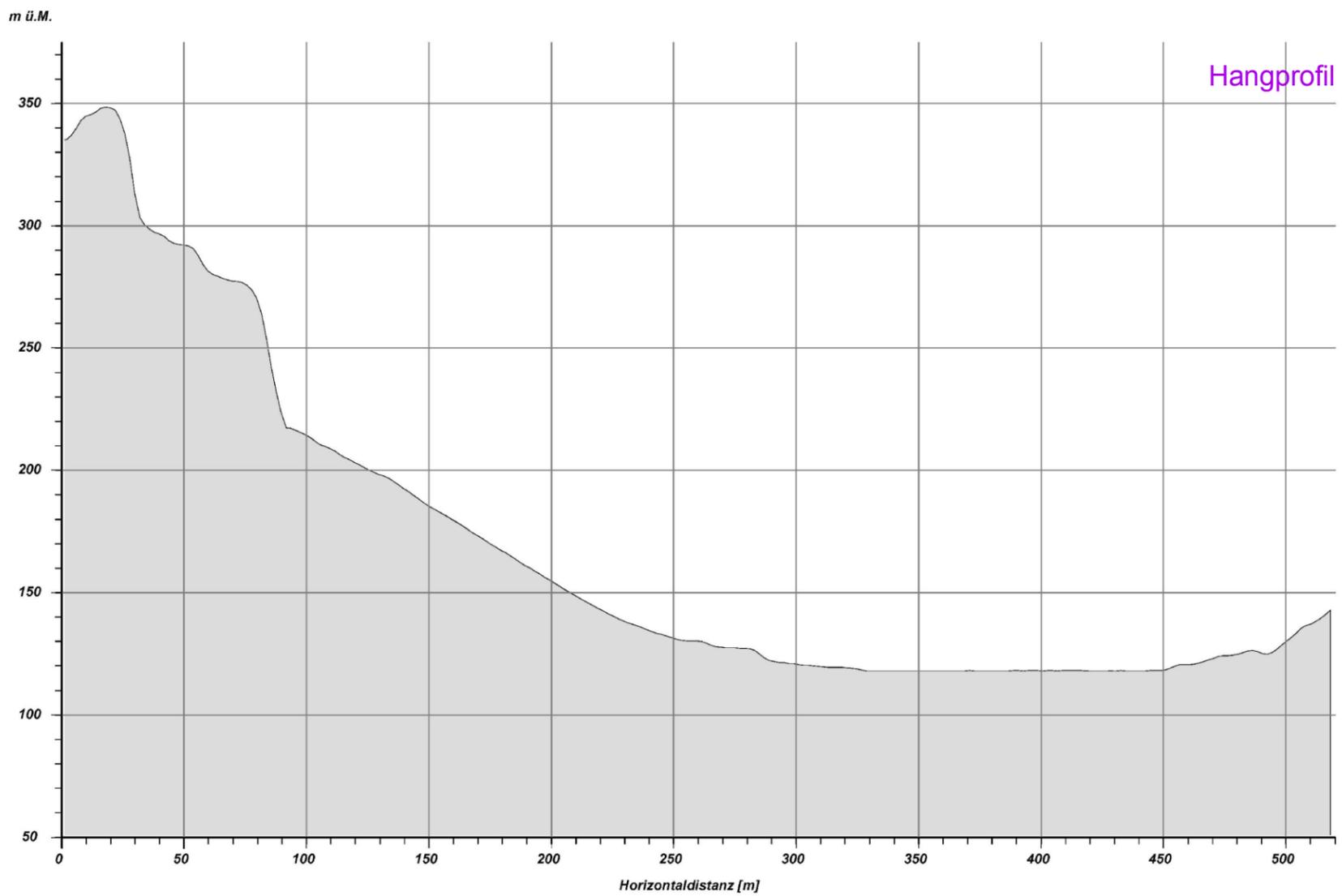
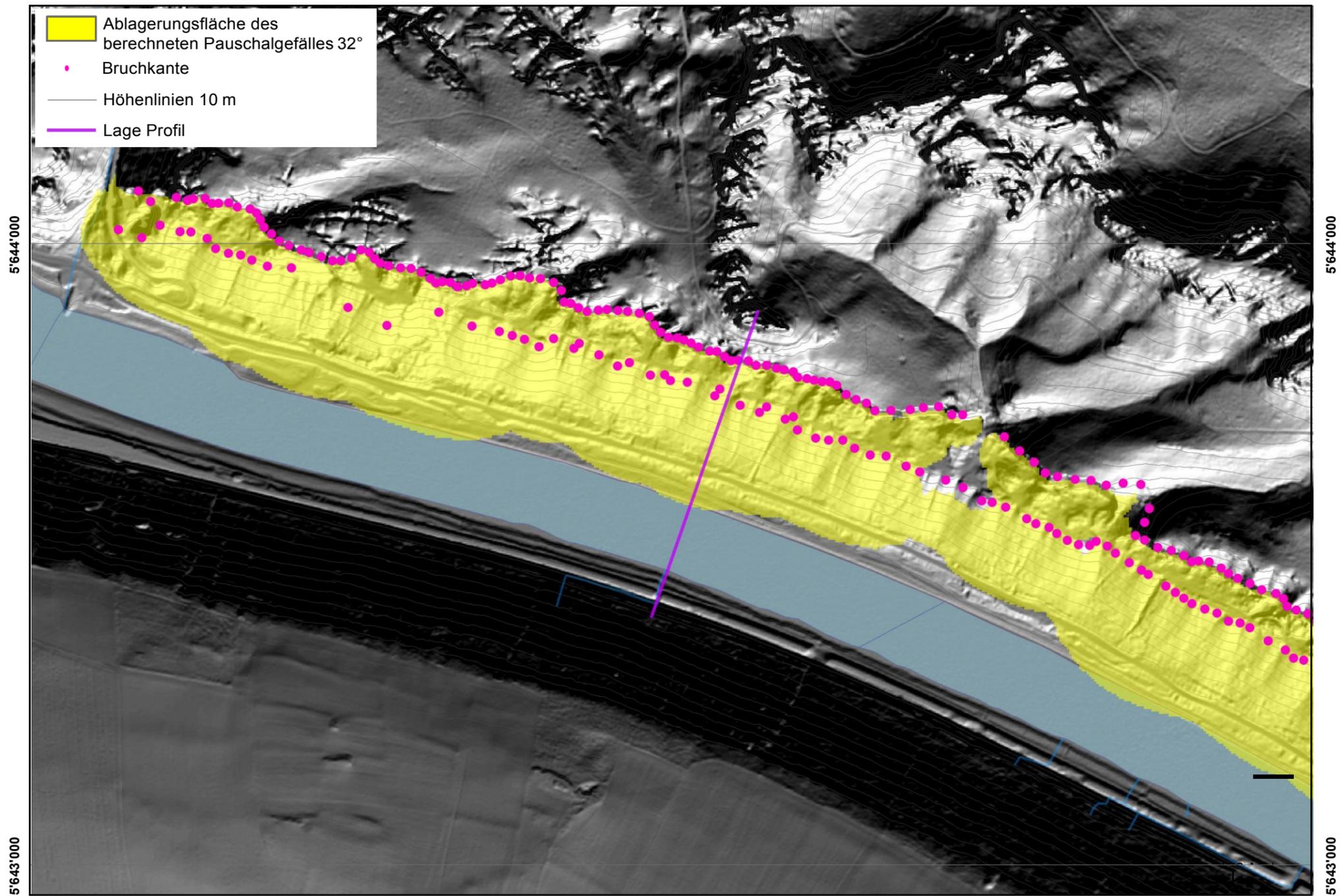
Postelwitzer Brüche I

Resultate der Berechnung des Pauschalgefälles von 32°



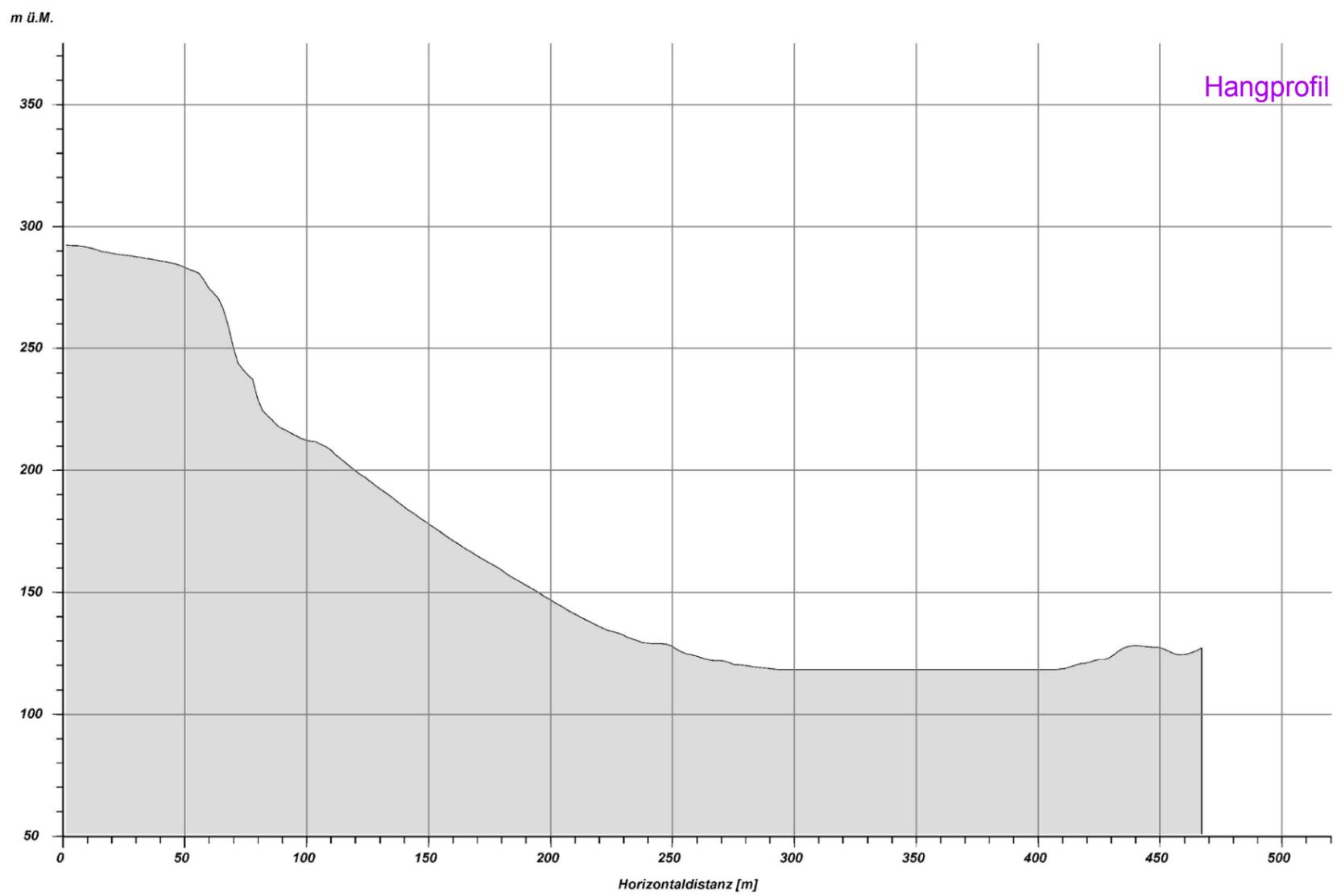
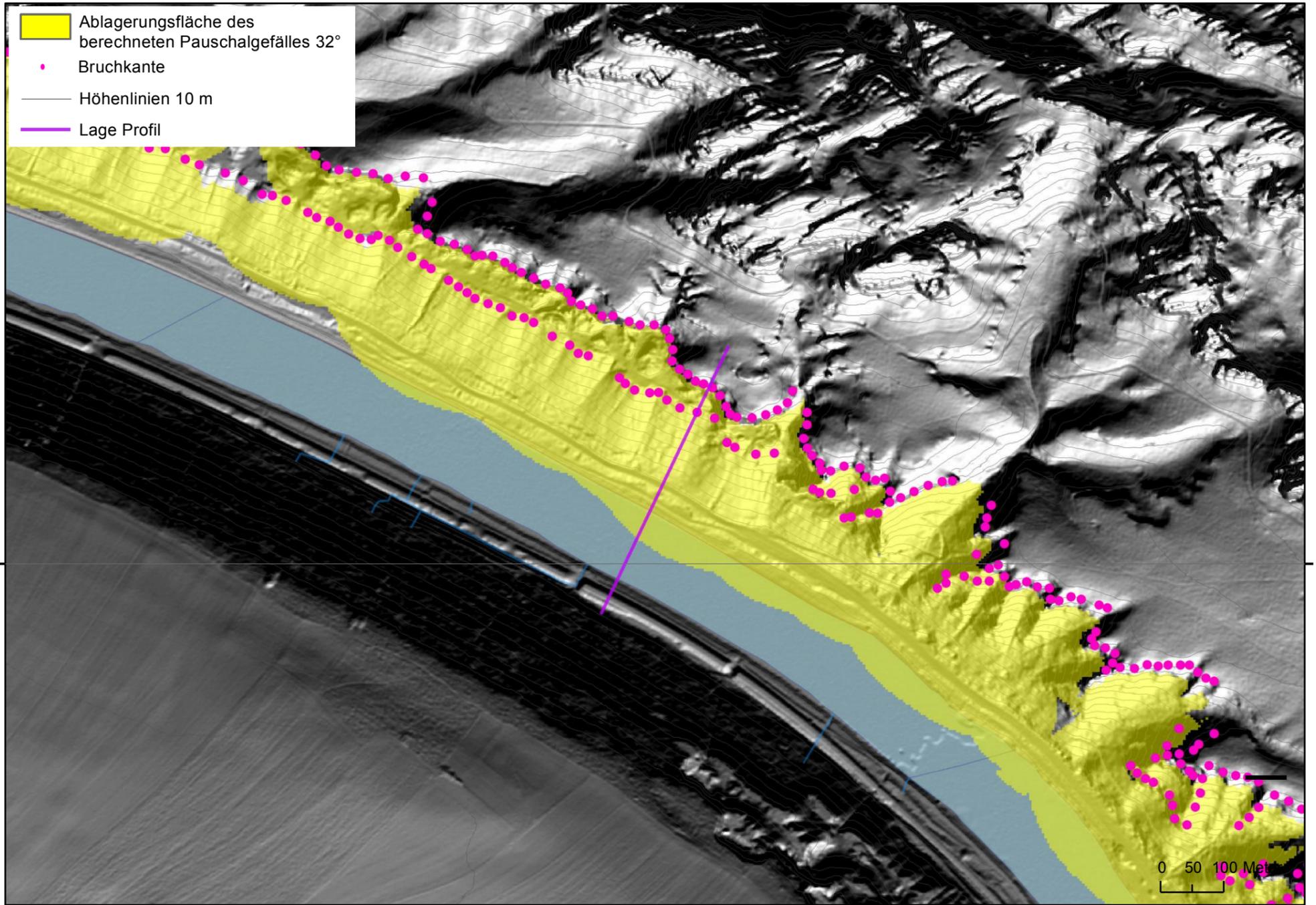
Postelwitzer Brüche II

Resultate der Berechnung des Pauschalgefälles von 32°



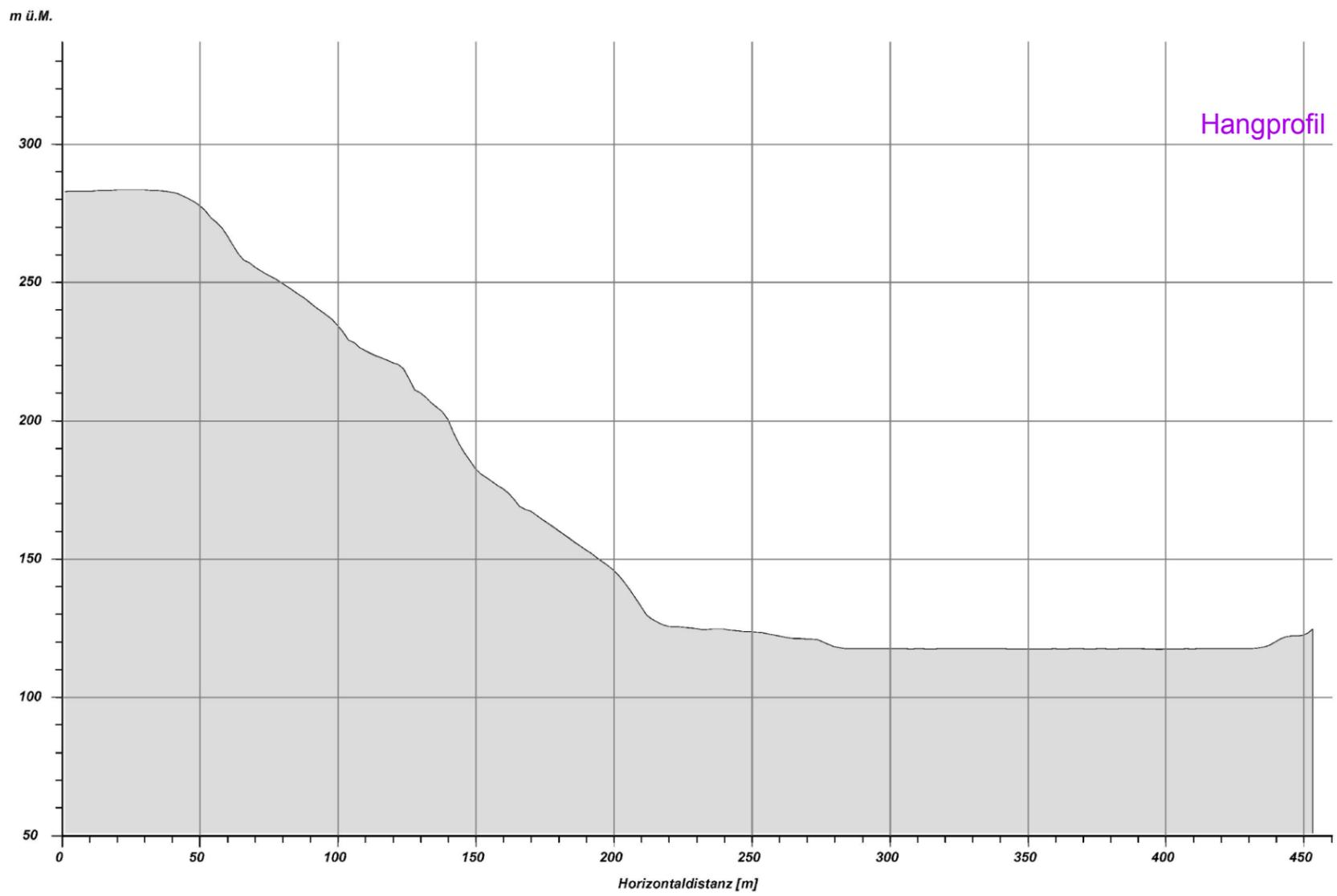
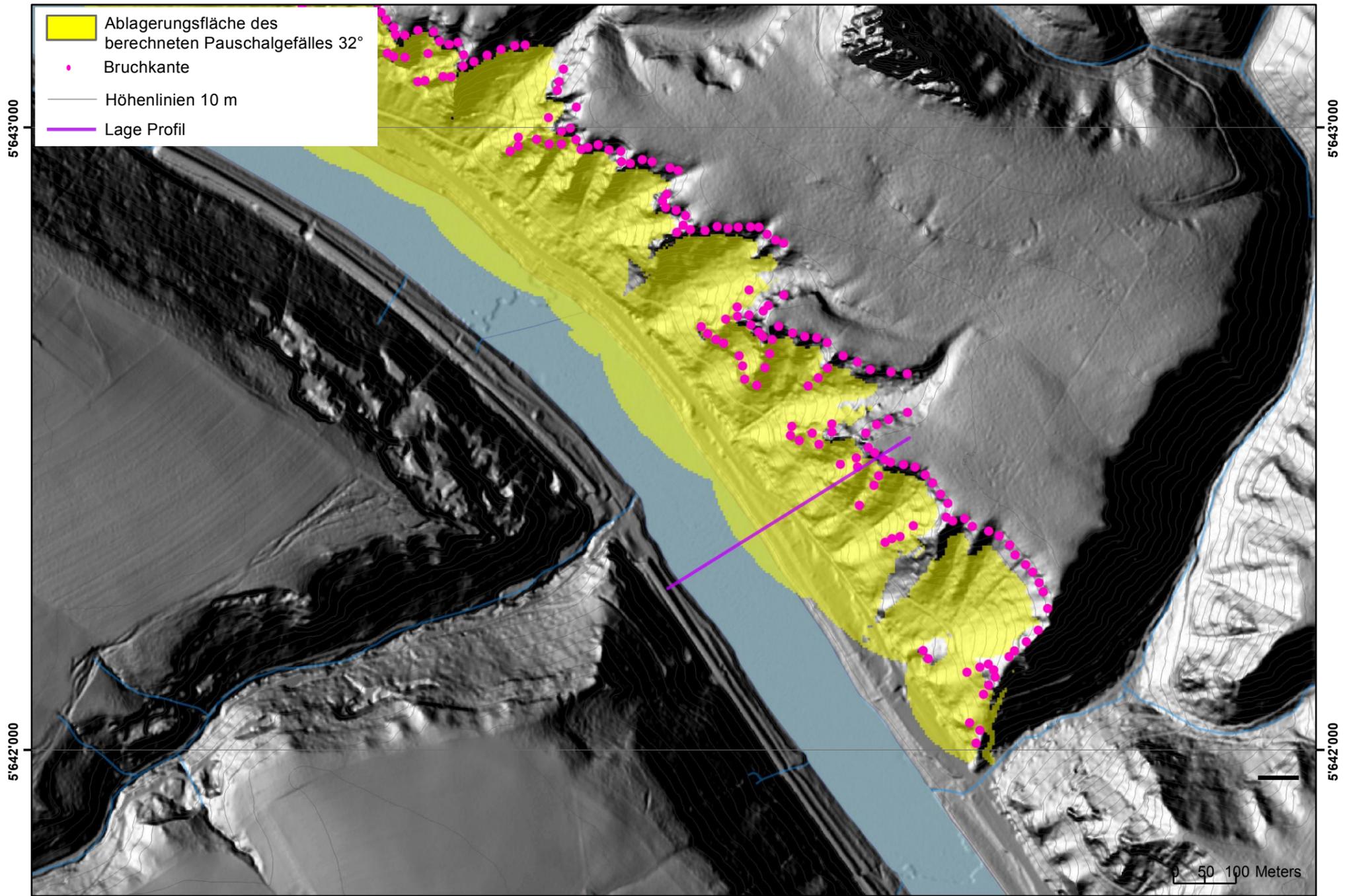
Postelwitzer Brüche III

Resultate der Berechnung des Pauschalgefälles von 32°



Postelwitzer Brüche IV

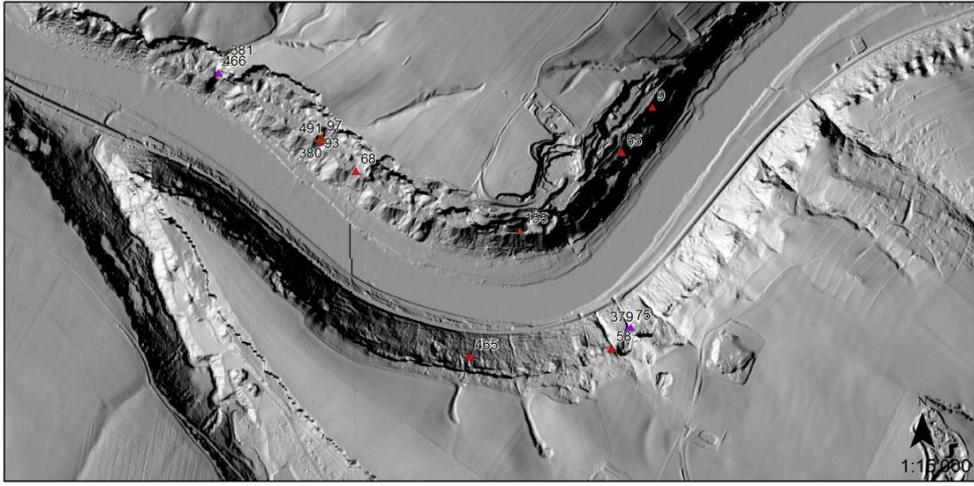
Resultate der Berechnung des Pauschalgefälles von 32°



Anhang 4

Standortblätter

Obervogelgesang (km 27.0–29.9)/Abschnitt C

Relevanter Prozess	Rutsch/Wasser/Sturz
Topografische Karte Prozessraum	
Hillshade Prozessraum	
Dokumentierte Ereignisse	<p>11.03.1999: Felssturz, 10 m³. <i>Lfd. Nr. 58</i></p> <p>20.08.2001: Murgang, 1'000 m³, Schäden am Schienenweg. <i>Lfd. Nr. 75</i></p> <p>07.08.2010: Murgang 1'300 m³, Schäden am Schienenweg. <i>Lfd. Nr. 379</i></p> <p>22.08.2012: Blockschlag, 5 m³, Schäden am Schienenweg. <i>Lfd. Nr. 465</i></p>
Beurteilung des Anrissgebiets	<p>Die Anrissgebiete und Geschiebelieferant der Rutsch- und Fließprozesse sind die Abbruchhalden unterhalb der Trockentäler. Sturzprozesse entstehen gemäß Ereigniskataster aus den anthropogen entstandenen Steinbruchwänden wie auch aus den natürlichen Böschungen.</p>
Beurteilung Transit- und Ablagerungsgebiet	<p>Das mobilisierte/erodierte Material der Rutsch- und Wasserprozesse lagert im unteren Bereich der Halden im Siedlungsbereich bis hin zur Elbe ab. Teilweise sind die Transit- und Ablagerungsbereiche mit Sohlenpflasterungen, Sperrungen und Murgangnetzen verbaut.</p>

Fotodokumentation



Abb. 1: Gegenhangfoto auf die Rinne unterhalb des Trockentals.

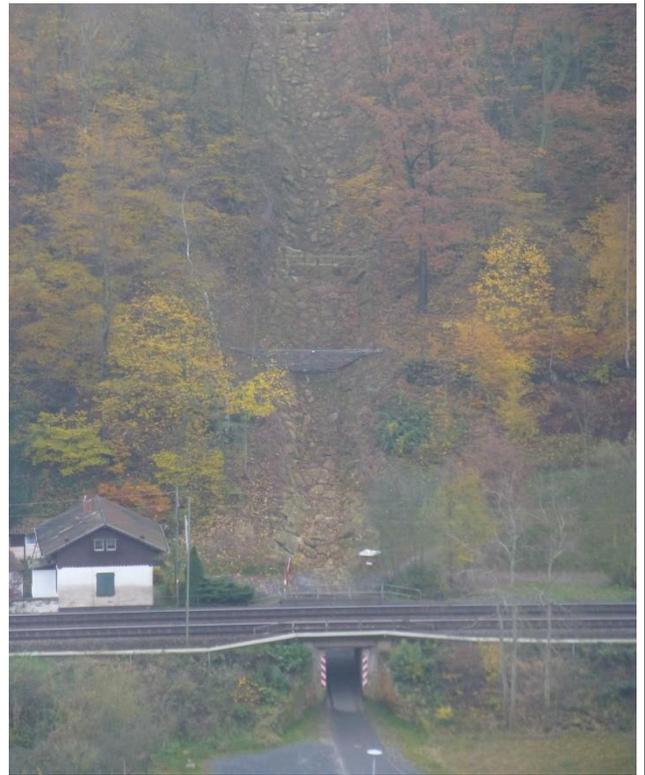
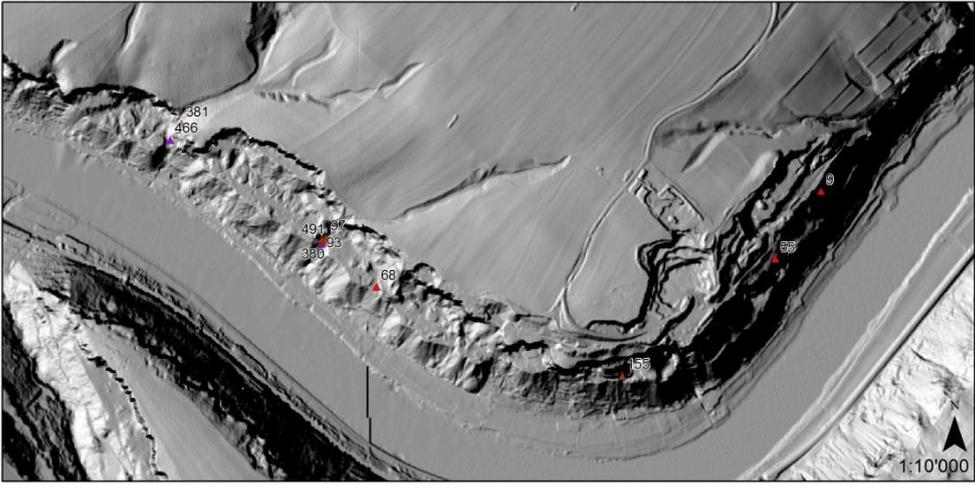


Abb. 2: Verbauung der Rinne mit Sohlenpflasterung, Sperren und Murgangnetzen.

Zeichener Brüche (km 26.430.0)/Abschnitt C

Relevanter Prozess	Rutsch/Wasser/Sturz
Topografische Karte Prozessraum	
Hillshade Prozessraum	
Dokumentierte Ereignisse	<p>06.07.1958: Haldenrutsch, 15'000 m³, Schaden an Wohngebäude. <i>Lfd. Nr. 93</i></p> <p>06.07.1958: Haldenrutsch, Schäden an Wohnhaus. <i>Lfd. Nr. 155</i></p> <p>24.06.1969: Schuttstrom, 1'500 m³, Straße überschüttet. <i>Lfd. Nr. 97</i></p> <p>25.03.1982: Sturzprozess, 200 m³, Schaden an Fahrweg und Energieleitung. <i>Lfd. Nr. 55</i></p> <p>01.04.1983: Felssturz, 90 m³. <i>Lfd. Nr. 68</i></p> <p>16.12.1987: Sturzprozess, 200 m³, Schäden an Wohnhaus. <i>Lfd. Nr. 9</i></p> <p>16.08.2010: Sandstein-Geröll Lawine, Wohnhaus und Grundstück betroffen. <i>Lfd. Nr. 381</i></p> <p>16.08.2010: Erdbeben, Schäden an Wohnhaus. <i>Lfd. Nr. 380</i></p> <p>01.08.2012: Hangrutschung an den Halden, 10 m³, Schäden am Wohnhaus Zeichen. <i>Lfd. Nr. 466</i></p> <p>29.05.2013: Schlammlawine. <i>Lfd. Nr. 491</i></p>
Geologie	<p>Das Elbknie im Bereich der Zeichener Brüche umfließt Sandsteinformationen der Schrammsteinschichten. Im Steinbruch Hanke findet sich der Zeichener Tonhorizont. Darüber lokal aufgeschlossen der Mergel von Zatzschke, der für die Stabilität der darüber liegenden Sandsteinbänke (Abb. 2) und der starken Rückwitterung der Bruchkante maßgebend ist.</p> <p>Die Geländemorphologie der lössbedeckten Ebenheit deutet auf eine mögliche strukturelle Durchtrennung des Gebirges hin. Die lokale Beurteilung der Geländemulden ergab vermutlich glazial aktive Rinnen mit gerundeten Grossgeröllen und Relikten von Strudeltöpfen.</p>

Beurteilung potenzielles Ausbruchgebiet	<p><i>Fließprozesse</i> Die potenziellen Anbruchgebiete der Rutsch- und Wasserprozesse befinden sich unterhalb von Geländemulden mit nicht perennierendem Abfluss. Die Geländemulden haben sich vermutlich entlang von bestehenden Depressionen entwickelt. Auf den oberhalb befindlichen Landwirtschaftsflächen des Plateaus sind Geländemulden, oberhalb der Abbruchwände frische Erosions- und Rutschspuren erkennbar. Das potenzielle Geschiebe stammt aus den glazialen Ablagerungen sowie den Abbruchhalden der Steinbrüche. Das Material ist vorwiegend feinkörnig mit einzelnen großen Blöcken.</p> <p><i>Sturzprozesse</i> Anbruchgebiet der Sturzprozesse sind die ehemaligen Abbruchwände. Unterhalb des Sandsteins befindet sich ein weicher Mergelhorizont (Mergel von Zatzschke), der zur Versackung der Sandsteinbänke im Hangenden führt. Durch die unterschiedliche Mächtigkeit der Mergelschicht entstehen Bruchmuster, entlang derer es zum Ablösen von Felsbereichen kommen kann. Vereinzelt ist die Ablösung von ganzen Felstürmen zu beobachten. Es ist denkbar, dass die von Nordwest in den Steinbruch hineinstreichende Riesenfußflexur für ein leichtes S-SW-Fallen der oberen Sandsteinhorizonte verantwortlich ist.</p>				
Beurteilung Transit- und Ablagerungsgebiet	<p><i>Fließprozesse</i> Transitgebiet der Fliessprozesse sind die Abbruchhalden. Bei ausreichender Erosionskraft können diese auch als Geschiebelieferant dienen. Das Ablagerungsgebiet ist der unterhalb befindliche Hangfuß bis zur Elbe. Das Ablagerungsgebiet enthält aufgrund der Besiedlung und Verkehrsinfrastruktur ein hohes Schadenpotenzial.</p> <p><i>Sturzprozesse</i> Ablagerungsgebiet von Felsstürzen sind die unterhalb der Wand befindlichen Halden und Terrassen. An Stellen mit einer geringen Terrassenbreite kann es auch zu einem Transit von Sturzkörpern bis auf den Talboden kommen. Die Halden sind größtenteils bewaldet. Zwischen Hangfuß/Haldenfuß und Elbuferbereich verläuft eine Straße, die Siedlungszonen erschließt.</p>				
Disposition maßgebender Felstrennflächen	<i>Struktur</i>	<i>Azimuth</i>	<i>Fallen</i>	<i>Abstand</i>	<i>Persistenz</i>
	Schichtung S	-	Horizontal bis teilweise wenige Grad S-SW fallend	Variable Bankmächtigkeiten	Diverse Horizonte durchgehend
	Kluftchar K1	40°	75° - 90°	Meter - Dekameter	durchtrennend
	Kluftchar K2	225°	65°-75°	Meter - Dekameter	durchtrennend
	Steinbruchwand	Ost – West streichend	Ca. 90°	-	-

Fotodokumentation



Abb. 1: Vom Felsverband gelöster Felsturm. Sicherung durch einen schlanken gemauerten Pfeiler.



Abb. 1: Weiche Mergelschicht unter Sandstein



Abb. 2: Nach einem Murgangereignis verbaute Abflussrinne



Abb. 3: Erosionsspuren in glazialen Ablagerungen: Glaziale Abflussrinne mit Löss überdeckt

Weißer Brüche (km 23.0–24.9)/Abschnitt A

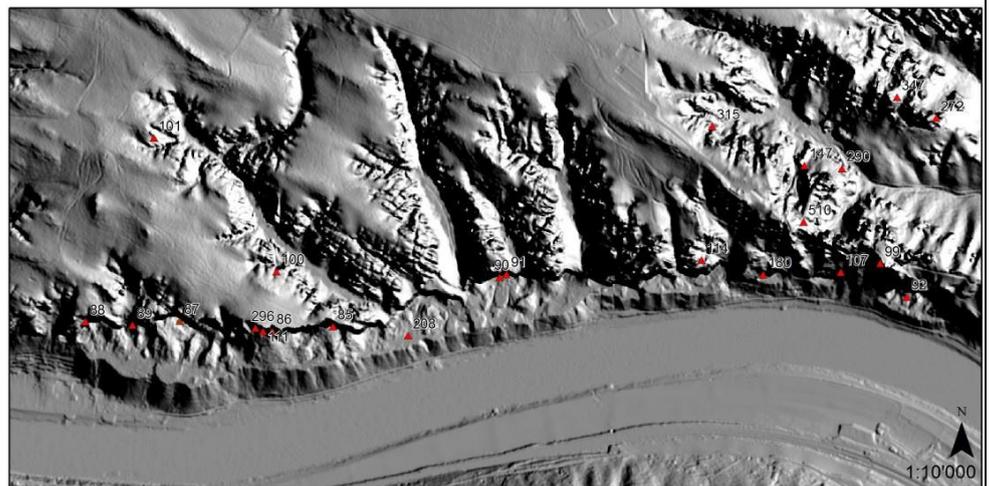
Relevanter Prozess

Sturz

Topografische Karte
Prozessraum



Hillshade Prozessraum



Dokumentierte
Ereignisse

- 06.09.1892: Sturz, Wand 19, 100 m³, einzelne Blöcke gelangten bis zum Elbufer. *Lfd. Nr. 85*
- 01.09.1916: Sturz, Wand 27 + 28, 100 m³. *Lfd. Nr. 90*
- 23.06.1916: Sturz, Wand 27 + 28, 1'500 m³. *Lfd. Nr. 91*
- 01.07.1930: Sturzereignis bei der Bastei, 20 m³. *Lfd. Nr. 99*
- 18.01.1934: Sturz, Wand 15, 10'000 m³, einzelne Blöcke gelangten bis zum Elbufer. *Lfd. Nr. 86*
- 01.07.1957: Sturz, bei Karl-Stein-Hütte, < 1 m³. *Lfd. Nr. 208*
- 11.07.1964: Sturz, Wand 8, 500 m³. *Lfd. Nr. 87*
- 16.12.1973: Sturz, Wand 2, 2'500 m³. *Lfd. Nr. 88*
- 01.03.1984: Sturzereignis in Rathen, 0.25 m³. *Lfd. Nr. 92*
- 16.04.1991: Sturz, Wand 5, 100 m³. *Lfd. Nr. 89*
- 22.11.2000: Sturz, Wartturm, 500 m³, Ablagerungen gelangten bis an Fuß-/Radweg. *Lfd. Nr. 114*
- 04.02.2002: Sturz, Wand 13, 100 m³. *Lfd. Nr. 111*
- 27.10.2002: Sturzereignis bei Rathen, 1 m³. *Lfd. Nr. 107*
- 18.02.2005: Sturz, Wand 42, 15 m³. *Lfd. Nr. 180*
- 20.05.2009: Sturz, Wand 13, 600 m³. *Lfd. Nr. 296*

Geologie	<p>In den Weißen Brüchen wurden im Hangenden die Schrammsteinschichten der Stufe d, bzw. KSr3 nach geologischer Karte und im Liegenden des Horizontes γ_3 die Herrenleite-Sandsteine der Stufen c2+3 abgebaut. Besonders hervorzuheben ist die Überlagerung der tektonischen Hauptrichtungen mit der Steinbruchwand, welche ca. Ost-West streicht. Dadurch ergibt sich in den bis 80 m hohen senkrechten und teilweise überhängenden Wänden ein charakteristisches Sägezahnmuster mit vor- und zurückspringenden Wandteilen. Durch die Spannungsumlagerung im Gebirge haben sich in den auskragenden Felsspornen listrische, nach unten ausstreichende Sprödbrüche gebildet. Entlang solcher Bruchflächen ist es in der Vergangenheit immer wieder zu kleineren und größeren Felsstürzen gekommen.</p>				
Beurteilung potenzielles Ausbruchgebiet	<p>Die Felswände der Weißen Brüche sind durch Steinbruchtätigkeit und nachfolgende Verwitterung und Nachstürze geprägt. Sie weisen Höhen von bis zu 80 m auf. Ausgehend von den Kluftsystemen können sich ganze Felstürme oder einzelne Felsbestandteile der Sandsteinwände aus dem Verband lösen.</p>				
Beurteilung Transit- und Ablagerungsgebiet	<p>Ablagerungsgebiet von Felsstürzen sind die unterhalb der Wand befindlichen Halden und Terrassen. Die Terrassen sind meist eben oder weisen sogar ein Gegengefälle zur Wand hinauf. Sie erreichen Breiten zwischen 50 bis 150 m. Die darauf befindlichen Sturzmassen mit riesigen Einzelblöcken sind teilweise noch Reste früherer Wandfällungen oder aber Ablagerungen späterer natürlicher Nachstürze. Der Haldenboden ist größtenteils sandig mit grobem Blockschutt und weist lichten Waldbewuchs (hauptsächlich Birken) auf. Teilweise ist Blockmaterial zu dammartigen Strukturen auf der Terrasse aufgeschüttet. Die Ablagerungen bestehen einerseits aus massiven Blöcken, andererseits zerfällt viel Material beim Aufprall und nachfolgender Verwitterung zu Sand. Ein eindrückliches Beispiel der Desintegration lieferte der Teilabsturz des Wartturmes am Ostende der Weißen Brüche im Jahre 2000.</p>				
Disposition maßgebender Felstrennflächen	<i>Struktur</i>	<i>Azimuth</i>	<i>Fallen</i>	<i>Abstand</i>	<i>Persistenz</i>
	Schichtung S	-	horizontal	Variable Bankmächtigkeiten	Diverse Horizonte durchgehend
	Kluftschar K1	40°	75° - 90°	Meter - Dekameter	durchtrennend
	Kluftschar K2	225°	65°-75°	Meter - Dekameter	durchtrennend
	Bruchflächen	Ca. Ost – West	Konkav-muschelig, nach unten listrisch ausstreichend	-	-
	Steinbruchwand	Variabel von 120° Ostteil, 180° Zentralteil, 220° Westteil	Ca. 90°	-	-

Fotodokumentation



Abb. 1: Felssturzalagerungen, vermutlich Ereignis 2002



Abb. 2: Haldenböschung unterhalb der Felswand



Abb. 3: Vom Gesteinsverband durch Kluft getrennter Fels-turm

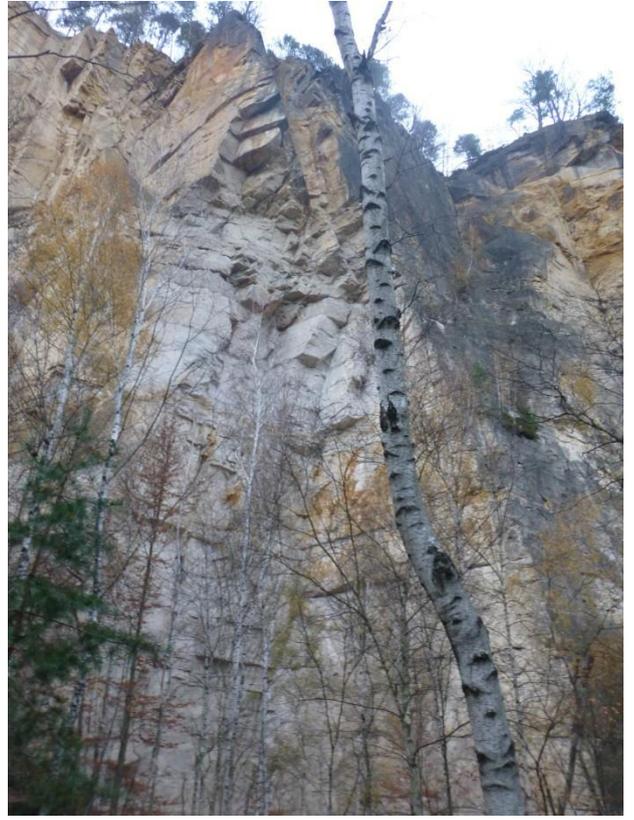
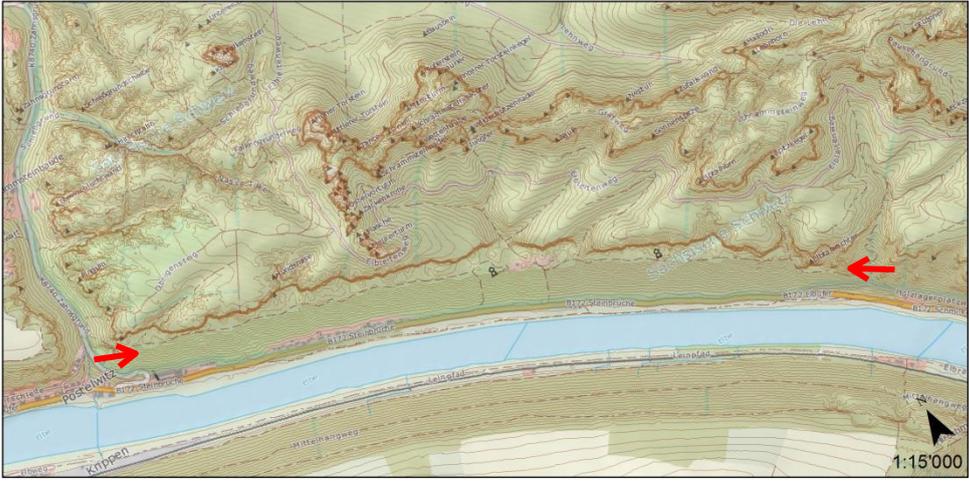
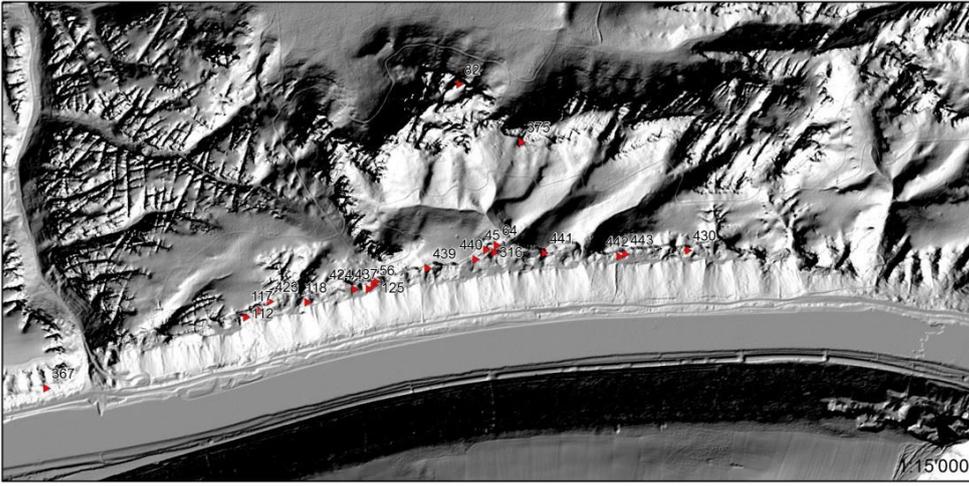


Abb. 4: Steinbruchwand der Weißen Brüche

Postelwitzer Brüche (km 5.2–7.7)/Abschnitt A

<p>Relevanter Prozess</p>	<p>Sturz</p>
<p>Topografische Karte Prozessraum</p>	 <p>1:15'000</p>
<p>Hillshade Prozessraum</p>	 <p>15'000</p>
<p>Dokumentierte Ereignisse</p>	<p>25.01.1862: Sturz, Wand 26, 60'000 m³, 24 Steinbrecher verschüttet. <i>Lfd. Nr. 45</i> 14.01.1936: Sturz, Wand 4, 5'000 m³, Schäden an Gebäuden. <i>Lfd. Nr. 117</i> 02.01.1964: Sturz, Hundsnase, 1'000 m³. <i>Lfd. Nr. 118</i> 19.08.1979: Sturz, Wand 15, 150 m³. <i>Lfd. Nr. 56</i> 24.04.1985: Sturz, Wand 26, 5'000 m³, zerstörte Bergsteigerhütte. <i>Lfd. Nr. 64</i> 18.04.2004: Sturz, Wand 12, 70 m³. <i>Lfd. Nr. 112</i> 31.07.2004: Sturz, Wand 21, 5 m³. <i>Lfd. Nr. 125</i> 26.02.2010: Sturz, 10 m³. <i>Lfd. Nr. 316</i> 01.06.2011: Sturz, 20 m³, Ablagerungen auf Wanderweg. <i>Lfd. Nr. 375</i></p>
<p>Geologie</p>	<p>Die Steinbrüche liegen in den Postelwitzer Schichten, der Stufen b und c1. Es handelt sich um kompakte, grob- bis mittelbankige Quarzsandsteine mit Sedimentstrukturen und häufigen Ichnofossilien (insb. Grabgänge).</p>
<p>Beurteilung potenzielles Ausbruchgebiet</p>	<p>Potentielle Ausbruchgebiete sind die ehemaligen Bruchwände. Aus der Steinbruchtätigkeit sind teilweise übersteilte oder unterhöhlte Sandsteinwände zurückgeblieben. Teilweise sind frische Bruchkanten erkennbar. Diese verlaufen entlang der Hauptkluftrichtungen, in Einzelfällen sind auch konkav Bruchflächen erkennbar, die dem Bruchmuster der Wandfällungen entsprechen.</p>
<p>Beurteilung Transit- und Ablagerungsgebiet</p>	<p>Das Transit- und Ablagerungsgebiet bilden ausgeprägte, bis 40 m hohe Halden und Haldenterrassen. Die Terrassenbreite zwischen Wand und Böschungskante variiert</p>

	zwischen 20 und 100 m. Aufgrund des Waldbewuchses und alten Ablagerungen weisen die Transit- und Ablagerungsgebiete hohe Oberflächenrauigkeiten auf. An Stellen mit geringen Terrassenbreiten oder Halden die bis an die Steilwände heranreichen, können Sturzprozesse auch über den Haldenrand bis ans Elbufer gelangen. Im bewaldeten Haldenhang oberhalb der B172 befinden sich vereinzelt Sturzblöcke. Am Haldenfuß entlang führt die Straße nach Schmilka und zur tschechischen Grenze.				
Disposition maßgebender Felstrennflächen	<i>Struktur</i>	<i>Azimuth</i>	<i>Fallen</i>	<i>Abstand</i>	<i>Persistenz</i>
	Schichtung S	-	horizontal	Variable Bankmächtigkeiten	Diverse Horizonte durchgehend
	Kluftschar K1	40°	75° - 90°	Meter - Dekameter	durchtrennend
	Kluftschar K2	225°	65°-75°	Meter - Dekameter	durchtrennend
	Bruchflächen	Ca. Ost – West	Konkav-muschelig, nach unten listrisch ausstreichend	-	-

Fotodokumentation



Abb. 1: Abbruchwand der Postelwitzer Brüche



Abb. 2: Ablagerungen am Hangfuß der Sandsteinwände

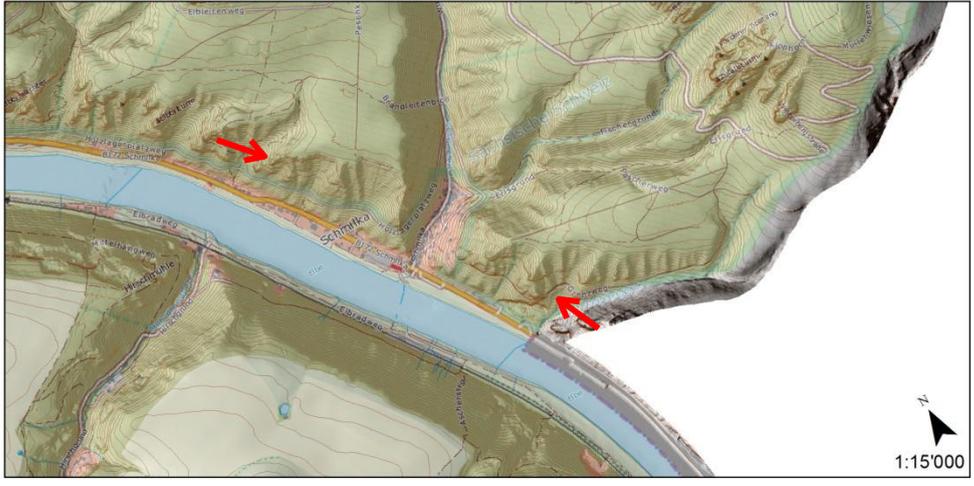
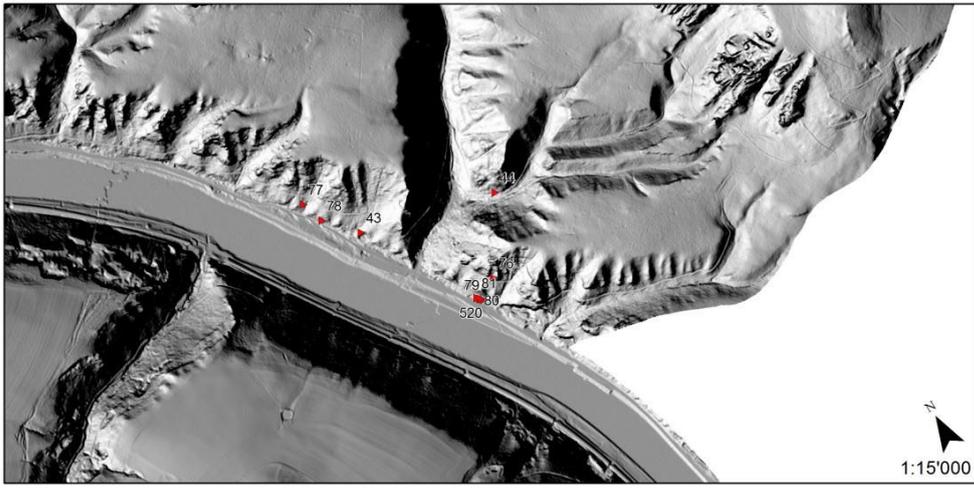


Abb. 3: Sturzblock auf Wanderweg, Ereignis 2002



Abb. 4: Sturzblock, der oberhalb der B172 zum Stehen kam

Schmilka (km 3.3–4.6)/Abschnitt A

Relevanter Prozess	Sturz
Topografische Karte Prozessraum	 <p>Topographic map of the Schmilka area showing the river and surrounding terrain. Two red arrows point to specific locations on the riverbank where rockfall events occurred. A scale of 1:15'000 and a north arrow are included.</p>
Hillshade Prozessraum	 <p>Hillshade map of the Schmilka area, highlighting the topography and the river. Red dots with numbers (43, 76, 78, 79, 80, 520) mark the locations of rockfall events. A scale of 1:15'000 and a north arrow are included.</p>
Dokumentierte Ereignisse	<p>01.07.1885: Sturz, 20 m³. <i>Lfd. Nr. 43</i> 29.06.1971: Sturz, 3 m³, Ablagerung auf B172. <i>Lfd. Nr. 81</i> 31.07.1977: Sturz, 1 m³, Ablagerung zwischen Kontrollhäusern. <i>Lfd. Nr. 76</i> 08.08.1978: Sturz, 1 m³, Ablagerung auf B172. <i>Lfd. Nr. 77</i> 03.08.1980: Sturz, 0.5 m³, Schaden an PKW. <i>Lfd. Nr. 78</i> 11.01.1983: Sturz, 1 m³, Gebäudeschaden an Kontrollhaus. <i>Lfd. Nr. 79</i> 19.01.1986: Sturz, 1 m³, Blöcke lösten sich aus Hangschutt, Gebäudeschäden an Kontrollhaus. <i>Lfd. Nr. 80</i> 01.08.2008: Sturz, 0.5 m³. <i>Lfd. Nr. 520</i></p>
Geologie	<p>Die Felsböschungen bzw. Felswände werden durch die Postelwitzer Schichten gebildet. Es handelt sich um dieselben Gesteine, welche in den Steinbrüchen abgebaut wurden, hier allerdings in mehr oder weniger natürlicher Verwitterungsform. Auffallend sind Dichtklüftungszonen, bzw. enggestufte steilstehende Klüftscharen, welche in den teilweise bizarr verwitternden Quadersandsteinen auftreten. Im Siedlungsgebiet wurden instabile Felsbereiche (isolierte Klüftkörper, Felsüberhänge) vielfach mit stabilisierenden Maßnahmen (Vernagelung, Felsverankerungen, Untermauerungen etc.) gesichert.</p>
Beurteilung potenzielles Ausbruchgebiet	<p>Hauptausbruchgebiet von Sturzprozessen bei Schmilka sind die ehemaligen Abbruchwände. Aus diesen können sich entlang von Klüftflächen Felsfragmente unterschiedlicher Größenordnungen lösen. Teilweise sind die Ausbruchgebiete mit Ankern, Spritzbeton und Betonuntermauerungen verbaut.</p>

Beurteilung Transit- und Ablagerungsgebiet	Transitgebiete sind die Hänge/Halden unterhalb der Felswände. Oberhalb der Kontrollhäuser ist aufgrund der Topografie ein Stoppen der Sturzblöcke wenig wahrscheinlich. An Stellen, wo die Terrassen deutlicher ausgebildet sind, können Sturzblöcke auf diesen ablagern. In vielen Gebieten reicht das Transitgebiet bis an die angrenzende Straße (B172).				
Disposition maßgebender Felstrennflächen	<i>Struktur</i>	<i>Azimuth</i>	<i>Fallen</i>	<i>Abstand</i>	<i>Persistenz</i>
	Schichtung S	-	horizontal	Variable Bankmächtigkeiten	Diverse Horizonte durchgehend
	Kluftchar K1	40°	75° - 90°	Meter - Dekameter	durchtrennend
	Kluftchar K2	225°	65°-75°	Meter - Dekameter	durchtrennend

Fotodokumentation



Abb. 1: Felswand und Sicherungsmaßnahmen bei der Grenzübergangsstelle Schmilka (Vernagelung oben, Steinschlagschutznetz unten)



Abb. 2: Durch Steinschlagschutznetz zurückgehaltene Steine

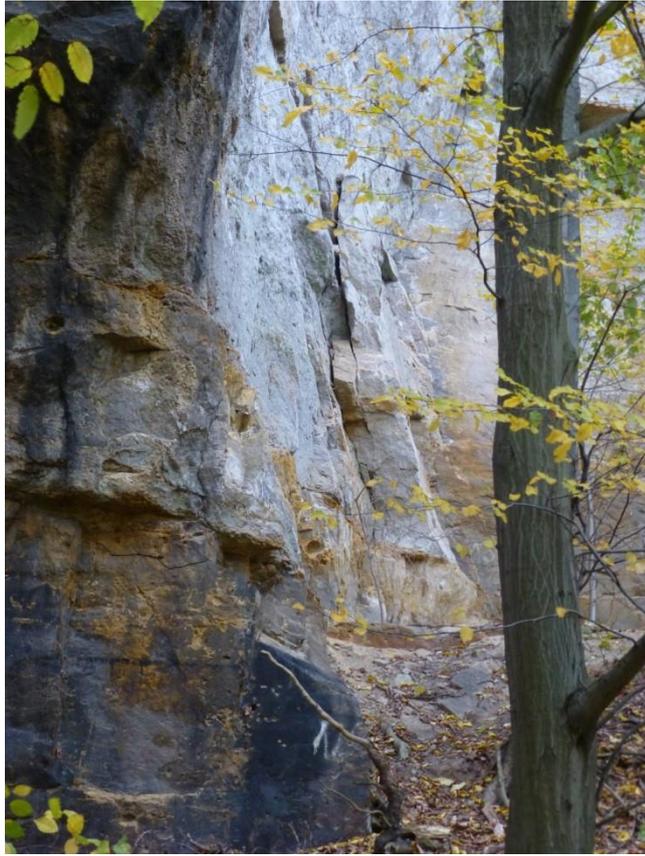


Abb. 3: Vom Felsverband losgelöste Felsplatte

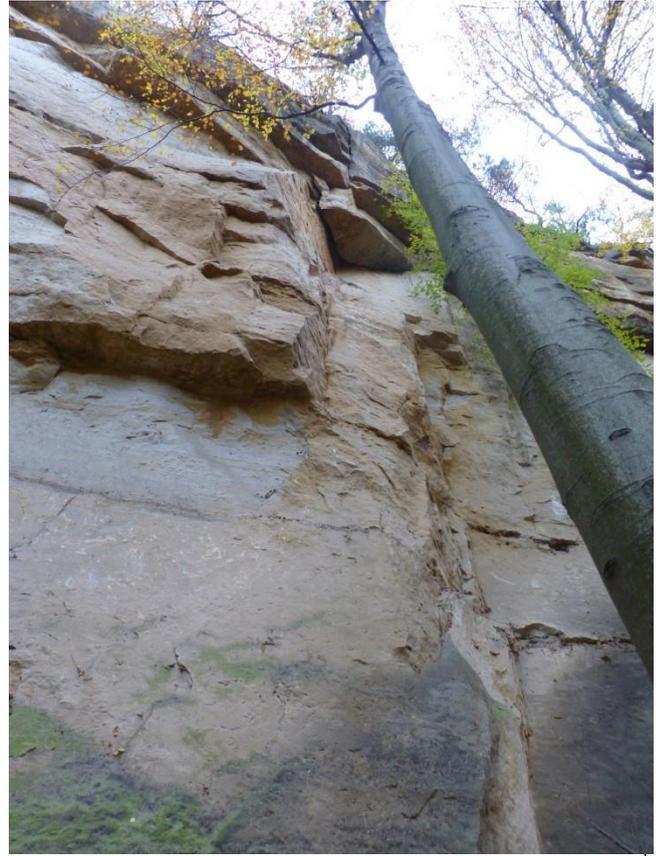


Abb. 4: Steinbruchwand der Schmilkaer Brüche

Anhang 5

Modellbeschreibung RAMMS::Debris Flow



RAMMS Debris Flow

Eine kurze Beschreibung des Murgangmodells

Hauptsitz :
GEOTEST AG Tel 031 910 01 01
Birkenstrasse 15 Fax 031 910 01 00
CH-3052 Zollikofen zollikofen@geotest.ch

Filialen :
4587 Aetingen SO 7260 Davos Dorf GR 1920 Martigny VS
6055 Alpnach Dorf OW 1762 Givisiez FR 2000 Neuchâtel
6460 Altdorf UR 6048 Horw LU 9001 St. Gallen
6374 Buochs NW 1052 Le Mont-s.-L. VD 8045 Zürich

1. Einleitung

Das zweidimensionale Murgangmodell RAMMS stellt gegenüber eindimensionalen Ansätzen eine grosse Weiterentwicklung dar, bei welcher vorgängig durch den Benutzer Fliessrichtung und Ausbreitung von Murgängen definiert werden mussten. Dies kann vor allem in komplexem Terrain mit mehreren möglichen Fliesswegen mit Schwierigkeiten verbunden sein. Zudem können mit 1D-Modellen auch Auffang- und Ablenkdämme nicht exakt abgebildet werden.

Aus diesem Grund wurde am Eidgenössischen Forschungsinstitut WSL/SLF das dynamische Murgangmodell RAMMS entwickelt, welches genaue Vorhersagen zu Auslaufdistanz, Fliessgeschwindigkeiten und Fliessdruck in dreidimensionalem Gelände liefert.

2. Das Modell

RAMMS basiert auf einem modifizierten, einphasigen Reibungsmodell nach Voellmy. Gestützt auf einem tiefengemittelten, der Massen- und Impulserhaltung folgenden Modell werden die Flachwassergleichungen durch ein finites Volumenverfahren im zweidimensionalen Gelände gelöst. Von massgebender Bedeutung für die Berechnung der Auslaufdistanz sind dabei die turbulente und trockene Reibung.

2.1 Reibungsmodell

Das in RAMMS implementierte Voellmy-Reibungsmodell teilt den Reibungswiderstand in einen trockenen, coulomb'schen Reibungsterm (Koeffizient μ) sowie in einen turbulenten Reibungsterm (Koeffizient ξ). Ersterer ist dabei hauptsächlich von den Materialeigenschaften (u.a. Dichte und Wassergehalt) und vom Druck senkrecht zur Bodenoberfläche abhängig ist. Letzterer dagegen quantifiziert den Verlust an kinetischer Energie, welcher durch die Reibung zwischen den Partikeln und dem Boden entsteht. Der Reibungswiderstand S (Pa) ist damit

$$S = \mu \rho H g \cos \phi + \frac{\rho g U^2}{\xi}$$

wobei ρ die Dichte, g die Erdbeschleunigung, ϕ die Hangneigung, H die Fliesshöhe senkrecht zur Bodenoberfläche und U die Fliessgeschwindigkeit. Für eine detaillierte Beschreibung des Modells (z.B. Lösung der Flachwassergleichungen) sei auf die entsprechenden wissenschaftlichen Artikel verwiesen.

2.2 Eingangsdaten

Die folgenden Eingangsdaten werden für Murgangmodellierungen mit RAMMS benötigt:

1. *Digitales Höhenmodell (DHM)*: Für exakte Modellierungsergebnisse werden Höhenmodelle mit einer Auflösung von 5 m oder besser benötigt. Solche hochpräzisen DHM werden häufig mit einem flugzeuggestützten Laserscanning erhoben.
-

2. *Anrissgebiete und Geschiebefrachten*: Die potentiellen Anrissgebiete von Murgängen werden entweder durch Fachexperten im Gelände bestimmt oder aber durch spezielle Algorithmen in Abhängigkeit von Hangneigung und Bodenbedeckung hergeleitet. Die Abschätzung der Geschiebefrachten erfolgt je nach Zielmassstab aufgrund von detaillierten Geländebegehungen oder in Kombination mit digitalen Grundlagendaten.
3. *Reibungsparameter*: Die Reibungsparameter werden sowohl anhand der Rauigkeit und der Geometrie des Gerinnes sowie anhand der Materialeigenschaften der Murgänge (u.a. Dichte und Wassergehalt) bestimmt.

2.3 Resultate und Visualisierung

Die Modellierungsergebnisse werden in einer integrierten GIS-Umgebung dargestellt. Dies erleichtert sowohl den Vergleich mit den erhobenen Felddaten als auch die Interpretation der Resultate. Die graphische Benutzeroberfläche erlaubt eine rasche Beurteilung von Auslaufdistanz, Fliessgeschwindigkeit, Fliesshöhe und Staudruck. Die Resultate können zusätzlich als Raster oder Shapefile exportiert und in einem Geographischen Informationssystem weiterverarbeitet werden.

2.4 Kalibrierung

RAMMS wurde an zahlreichen Murgangereignissen kalibriert, welche unter anderem an Mess- und Beobachtungsstationen in der Schweiz aufgezeichnet wurden. Diese Daten beinhalten Fliessgeschwindigkeitsmessungen, Videoaufzeichnung sowie eine gekoppelte Messung von Fliesshöhe, Porenwasserdruck, Normal- und Scherkräften.

Im Rahmen von Forschungs- und Projektarbeiten wurden zusätzliche Modellkalibrierungen durch diverse Nachberechnungen von gut dokumentierten Murgangereignissen in alpinen Regionen durchgeführt.

2.5 Anwendung von RAMMS Debris Flow zur Modellierung von Bergstürzen

Methodik

Seit einigen Jahren werden an der eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) sowie an der ETH Zürich Fels- und Bergsturzereignisse (Steinemann, 2012; Walter, 2013) sowie gemischte Eis- und Felsstürze (Schneider et al., 2011; Schneider et al., 2010) mit Hilfe des Murgang-Modul RAMMS (WSL/SLF, 2011a) nachmodelliert und zur Kalibrierung des Moduls verwendet. Im Rahmen der GHKperiGlazial (ARGE, 2014) wurden die Transit- und Ablagerungsräume ausgehend von den definierten Ausbruchflächen mit dem Murgang-Modul RAMMS Version 1.5 modelliert. Die für die GHKperiGlazial angewandte Methodik für die Parametrisierung basiert auf den Erfahrungen von Steinemann (2012), Walter (2013) und Graeminger (2012) und wurde für das vorliegende Projekt übernommen.

Modellbeschreibung

In der Annahme, dass sich die Hauptmasse eines Fels- oder Bergsturzes ähnlich verhält wie ein Murgang mit einem erhöhten coulomb'schen Reibungsterm (Koeffizient μ) und einem verringerten turbulenten Reibungsterm (Koeffizient ξ), können Transit- und Ablagerungsbereiche potentieller Ausbruchgebiete mit der numerischen Simulationssoftware RAMMS Debris Flow modelliert werden (Preuth T., 2010).

Die Länge des Auslaufes nimmt mit steigendem Ausbruchvolumen zu, während der Fahrböschungswinkel abnimmt (Preuth, 2010; Erismann, 2001; Scheidegger, 1973). Ausgehend von dieser Korrelation und der Annahme, dass μ dem Tangens des Fahrböschungswinkels entspricht, wird der interne coulomb'sche Reibungskoeffizient μ mit steigendem Ausbruchvolumen reduziert (Scheidegger, 1973). Der Koeffizient wird nach der von Erismann und Abele (2001) und Amann (2005) modifizierten Scheideggerkurve mit dem berechneten Ausbruchvolumen festgelegt (vgl. Abb 1). Diese Methode kann für Ausbruchvolumen $> 5 \times 10^6 \text{ m}^3$ angewandt werden (Erismann, 2001). Für den turbulenten Reibungskoeffizient ξ wurde ein konstanter Wert von 500 m/s^2 angenommen. Dieser scheint im Gegensatz zum internen coulomb'schen Reibungskoeffizient wesentlich weniger massgebend für die Auslaufdistanz zu sein (Walter, 2013).

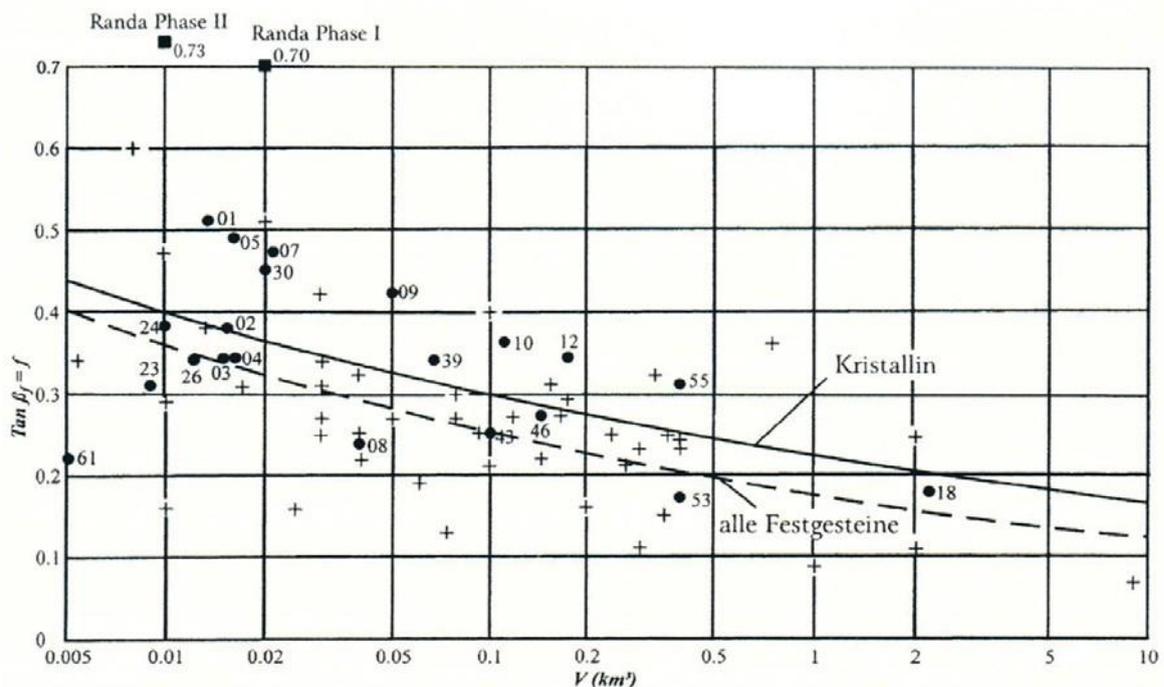


Abb. 1: Korrelationskurve Fahrböschungswinkel und Volumina $> 5 \times 10^6 \text{ m}^3$. Die Kurve basiert auf 69 historischen Ereignissen nach Scheidegger (1973), Erismann und Abele (2001) und Amann (2005); Punkte und ausgezogene Linie: 21 Ereignisse im Kristallin; gestrichelte Linie: Ereignisse aller Gesteinsarten; β_f Fahrböschungswinkel; V : Volumen (km^3).

3. Verwendete Modellparameter

Tab. 1: Verwendete Parameter für die RAMMS-Modellierung (Felsgleitung).

Kubatur	520'000 – 21'000'000 m ³
Dichte des Materials	2'500 kg/m ³
Reibungsparameter	μ : 0.3 - 0.6 ξ : 300 – 500 m/s ²
Auslösemethode	Block Release. Die Rutschmasse wird als Block auf das angepasste Höhenmodell gesetzt.
Momentum	8 - 10 %
Auflösung digitales Höhenmodell	5 m

Tab. 2: Verwendete Parameter für die RAMMS-Modellierung (Murgang).

Kubaturen	2'000 – 10'000 m ³
Dichte des Materials	1'900 kg/m ³
Reibungsparameter	μ : 0.2 ξ : 200 m/s ² Die verwendeten Reibungsparameter beschreiben einen Murgang mit einer Fließdynamik zwischen granular und flüssig.
Auslösemethode	Abflussganglinie (Hydrograph). Der Hydrograph wurde oberhalb der Haldenterrassen gesetzt.
Momentum	5 %
Auflösung digitales Höhenmodell	2 m

4. Literaturverzeichnis

- Amann, F. (2005): Grosshangbewegung Cuolm Da Vi (Graubünden, Schweiz) – Geologisch-geotechnische Befunde und numerische Untersuchungen zur Klärung des Phänomens. Germany: Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen – Nürnberg.
- ARGE GEOTEST/geo7. (2014). GHKperiGlazial, Pilot Kandertal - Phase I und II, Evaluation Resultate und Evaluation Phase I-II. Zollikofen/Bern.
- Erismann, H. (2003): Dynamics of Rockslides and Rockfalls. Heidelberg.
- Gräminger, L. Prehistoric rock avalanche at Rinderhorn Switzerland. Master's Thesis, ETH Zürich: Zürich, 2012.
- Preuth, T. (2010): A random kinetic energy model for rock avalanches.

Scheidegger, A.E. (1973): On the Prediction of the Reach and Velocity of Catastrophic Landslides. *Rock Mechanics* 5, Seiten 231-236.

Steinemann, S. Simulation of rock avalanche runout with RAMMS, Short Reports. WSL: Birmensdorf, 2012.

Walter, P. (2013): Evaluation of methods for run-out prediction of small and large scale rock avalanches. Zürich Switzerland: Departement of Earth Sciences.

WSL/SLF (2011): RAMMS Debris Flow 1.5. Birmensdorf.

WSL/SLF (2013): RAMMS Debris Flow User Manual v1.5. Birmensdorf.

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Maren Salz, Dr. Kaspar Graf
Geotest AG, Naturgefahren
Bahnhofstr. 8A, CH-7260 Davos Dorf
Telefon: + 41 81 41035-11
Telefax: + 41 81 41035-01
E-Mail: maren.salz@geotest.ch

Redaktion:

Peter Dommaschk
LfULG, Abteilung Geologie/Referat Ingenieurgeologie
Halsbrücker Str. 31a, 09599 Freiberg
Telefon: + 49 3731 294-1301
Telefax: + 49 3731 294-1099
E-Mail: peter.dommaschk@smul.sachsen.de

Fotos:

Maren Salz

Redaktionsschluss:

28.02.2015

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.