

MURGANGPOTENTIAL EINES ALPINEN EINZUGSGEBIETES IM ANTHOLZER TAL (SÜDTIROL)

Christine Sandmeier¹, Bodo Damm² und Birgit Terhorst³

ZUSAMMENFASSUNG

Murgänge stellen eine bedeutende Naturgefahr im Alpenraum dar. In der vorliegenden Arbeit wurde das Murpotential eines alpinen Einzugsgebietes in den Ostalpen untersucht. Im Einzugsgebiet des Klammabaches in Südtirol ereigneten sich im Sommer 2005 mehrere Murereignisse, wovon das größte ein Volumen von 100 000m³ hatte. Mit Hilfe einer geomorphologischen Kartierung und der Analyse von Sedimentproben wurden Prozessgeschehen und Geschiebepotential im Einzugsgebiet untersucht. Auf dieser Basis konnten potentielle Anrissstellen bestimmt werden und deren Gerinne hinsichtlich ihrer Einzugsgebiete und ihrer Gerinnemorphologien untersucht werden. Aufgrund hoher Reliefenergie und großer Mengen an murfähigem, mobilisierbarem Lockermaterial im Einzugsgebiet ist eine Grunddisposition für Muren auch über die Ereignisse von 2005 hinaus gegeben. Permafrostrückgang könnte zudem eine weitere Erhöhung des mobilisierbaren Volumens bewirken. Eine bedeutende Rolle im Prozessgeschehen des Gebietes spielen durch Ablagerungen hervorgerufene Abflussbahnverlagerungen, da sie die Einzugsgebiete und damit die Wasserführung und die Erosionsleistung der Gerinne verändern. Dadurch ist weiterhin mit größeren Ereignissen im Gebiet zu rechnen.

Keywords: Mure, Geomorphologische Kartierung, Sedimentanalyse, alpines Einzugsgebiet

ABSTRACT

Debris flows are frequent natural hazards in the European Alps. In this study, the debris flow potential of an alpine catchment in the Eastern Alps is investigated. In the summer of 2005 a series of three debris flows occurred in the catchment of the Klammabach creek in South Tyrol. The largest event comprised a volume of 100 000 m³. Geomorphological mapping and sedimentological analysis were applied to investigate debris flow processes and sediment potential in the catchment. On this basis, potential starting areas were identified and the corresponding channels were analysed in regard to their catchment size and channel morphology. Due to high relief energy and high amounts of debris, that could be mobilised and have a debris-flow favourable composition, there is a disposition for debris flows even after the events of 2005. In addition, permafrost degradation can increase the amount of erodible debris. Channel relocations, caused by channel blockage through deposition are important for debris flow processes, because they change catchment sizes and therefore water supply as well as erosion capacity. Thus, potential for large events is still given in the study area.

Keywords: debris flow, geomorphological map, sedimentological analysis, alpine catchment

¹ Christine Sandmeier. Institut für Geographie und Geologie, Universität Würzburg, Am Hubland, 97074 Würzburg, Deutschland (e-mail: Christine.sandmeier@uni-wuerzburg.de)

² Prof. Dr. Bodo Damm. ISPA, Universität Vechta, Deutschland

³ Prof. Dr. Birgit Terhorst. Institut für Geographie und Geologie, Universität Würzburg, Deutschland

EINLEITUNG

Im Hochgebirgsraum werden natürliche periodische und episodische Abtragungsprozesse auf Grund von anthropogenen Nutzungsansprüchen von Naturereignissen zu Naturgefahren. Insbesondere treten in den Alpen häufig Murgänge auf, welche mit einem hohen Schadenspotential verbunden sind. Aufgrund hoher Geschwindigkeiten von bis zu 20m/s (Costa, 1984) können große Schuttmengen innerhalb kurzer Zeit über weite Strecken transportiert werden und somit Infrastruktur und Siedlungen in den Talräumen gefährden, welche sich weit entfernt vom Ursprungsort des Prozesses befinden können (Zimmermann, 1996).

Im Einzugsgebiet des Klammaches im Antholzer Tal (Südtirol) ereignete sich im Sommer 2005 eine Serie von Murgängen, bei denen Sediment im Umfang von insgesamt etwa 140 000m³ auf dem Murkegel im Antholzer Tal abgelagert wurde. Für zukünftige Planungen stellt sich die Frage, inwieweit nach den Ereignissen von 2005 weiteres Potential für Murgänge im Einzugsgebiet des Klammaches vorhanden ist. Es muss geklärt werden, ob ausreichend Lockermaterial als Ausgangsmaterial für weitere Prozesse vorhanden ist und ob die Zusammensetzung des Materials als murfähig gelten kann. In diesem Kontext sind weiterhin die geomorphologische Position der Sedimente sowie die Einzugsgebietsgröße der relevanten Gerinne von Bedeutung und ob das Lockermaterial mobilisierbar oder konsolidiert ist.

Um die Prozesse in einem spezifischen Einzugsgebiet zu verstehen und damit Aussagen über zukünftige Ereignisse treffen zu können, ist zudem die Kenntnis über früher abgegangene Murgänge, deren Ausmaße und deren Ablagerungs- und Erosionsstrecken im Murgerinne essentiell. Nicht zuletzt stellt sich im Hinblick auf zukünftige Ereignisse die Frage nach potentiellen Muranrissbereichen.

In Zusammenhang mit den Ereignissen des Jahres 2005 und der zukünftigen Gefährdung des Siedlungsraumes im Untersuchungsgebiet wurden als Basis für Modellierungen geomorphologische und sedimentgeologische Studien im Prozessbereich der Mure durchgeführt.

UNTERSUCHUNGSGBIET

Das untersuchte Einzugsgebiet des Klammaches liegt im Antholzer Tal, einem Seitental des Pustertals im Nordosten der Autonomen Provinz Südtirol in Italien (Fig. 1). Das Antholzer Tal trennt die Rieserferner Gebirgsgruppe im Nordwesten von den Villgratner Bergen im Südosten und verläuft entlang der Defereggen-Antholz-Vals-Störungszone, einer Teilstörung der Periadriatischen Naht.

Im Zusammenhang mit der Ausbildung der Störungen intrudierte der Rieserfernerpluton, dessen

Tonalite die höchsten Gipfel der Rieserfernergruppe aufbauen, in die metamorphen Gesteine des ostalpinen Kristallins. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um Gneise, welche die unteren Flanken des Klammacheinzugsgebietes aufbauen (Fig. 2). Die massiven Tonalite und der Verlauf des Antholzer Tales entlang der Störungszone bewirken eine große Steilheit des südexponierten Klammacheinzugsgebietes. Die Höhenlagen reichen von 1310m a.s.l im Kegelbereich bis auf 3273m a.s.l. (Magerstein) auf einer horizontalen Distanz von nur 3000m.

Das Einzugsgebiet wird in seinem oberen Teil von zwei Kares aufgebaut. Die östliche Flanke des östlichen Kares wird vom Rautsbach entwässert, der erst kurz unterhalb des Kegelhalses in den Klammbach mündet. Der Klammbach selbst unterteilt sich in zwei Hauptgerinne, die das westliche Kar zum einen und den westlichen Teil des östlichen Kars zum anderen entwässern. Die beiden

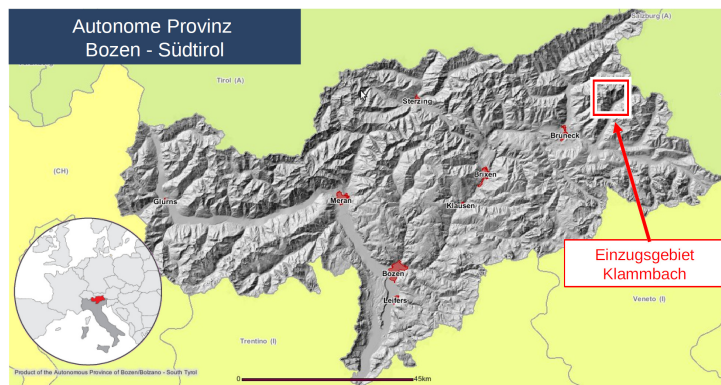


Fig. 1 Location of the study area in South Tyrol

Fig. 1 Lage des Untersuchungsgebietes in Südtirol

Gerinne vereinigen sich auf ca. 1700m auf einer Geländerverflachung. Der Klamm Bach fällt dann über die anschließende Steilstufe in einem Wasserfall ab.

Klimatisch weisen die zentralen Ostalpen Merkmale eines kontinentalen Klimas auf. Für die Murauslösung insbesondere relevant ist die damit verbundene Niederschlagsverteilung, welche ein deutliches Maximum in den Sommermonaten aufweist. Etwa 40% der Jahresniederschläge im Antholzer Tal fallen in den Monaten Juni bis August (Hydrographisches Amt, 2010). Hinzu kommt, dass im Sommer gewitterartige Niederschläge häufig sind, welche sehr hohe Intensitäten erreichen und sehr lokal auftreten können.

Die derzeitige anthropogene Nutzung des Untersuchungsgebietes besteht aus Weideflächen im oberen Teil, mehreren Wanderwegen, die das Gebiet durchziehen sowie im unteren Teil drei Almen mit den zugehörigen Almflächen und Forstwegen. Im Kegelbereich der Murablagerungen befinden sich mehrere Höfe mit Nutzflächen.



Fig. 2 The eastern part of the study area with the Hochflachkofel. On the left: wall in tonalite, on the right: wall in gneiss. Photography: C. Sandmeier, August 2009.

Fig. 2 Der östliche Teil des Einzugsgebietes mit dem Hochflachkofel. Links: Wand im Tonalit, rechts: Wand im Gneiss. Aufnahme: C. Sandmeier, August 2009

HINTERGRUND DER MUREREIGNISSE

Im Einzugsgebiet des Klamm Bachs sind historische Murereignisse aus den Jahren 1882, 1931, 1947 und 1979 bekannt (Damm et al., 2008). Im Jahre 1954 wurde im mittleren Gerinneabschnitt eine Konsolidierungssperre errichtet, welche die Mobilisierung von Lockermaterial aus dem flacheren Mittelteil des Gerinnes verhindern soll. In den 70er Jahren wurde zusätzlich auf der orographisch rechten Kegelseite ein Ablenkdamms zum Schutz der landwirtschaftlichen Flächen und der hier liegenden Höfe errichtet.

Im Sommer 2005 lösten lokale Sommergewitter eine Serie von Murgängen im Klamm Bachtal aus. Dabei gingen im Juli und August 2005 drei Murgänge ab und lagerten Material von insgesamt rund 140000m³ auf dem Kegel oberhalb Antholz Mittertal ab (Tab.1). Die Murgänge wurden durch Gewitterzellen ausgelöst, die nach Augenzeugenberichten sehr lokal, vor allem über dem westlichen Teil des Einzugsgebietes und nur über 1700m a.s.l Höhe abregneten (Moser, 2006). Nach dem ersten Murereignis am 18. Juli konnte bei einer Begehung durch das Amt für Wasserschutzbauten im oberen, vegetationslosen Bereich des Klamm Baches bereits starke Tiefenerosion festgestellt werden. Im flacheren Mittelteil des Einzugsgebietes wurde ein Großteil des Materials abgelagert, und eine Geschiebemenge von geschätzten 30 000m³ erreichte den Kegel (Moser, 2006). Die Mure lagerte auf dem orographisch linken Teil des Kegels ab und wurde durch den bestehenden Ablenkdamms umgelenkt (Fig. 3a). Landwirtschaftliche Nutzflächen, Erlenwälder des Kegelbereichs sowie ein

Tab.1 The debris flow events of 2005

Tab.1 Die Murereignisse von 2005

	18. Juli	25. Juli	1. August
Geschätztes Ablagerungsvolumen auf dem Murkegel	30000m ³	8000m ³	100000m ³
Niederschlag (auf 2800m)	35mm/15min	Unbekannt	30mm/60min
Laufzeit	30min	Unbekannt	20-30min

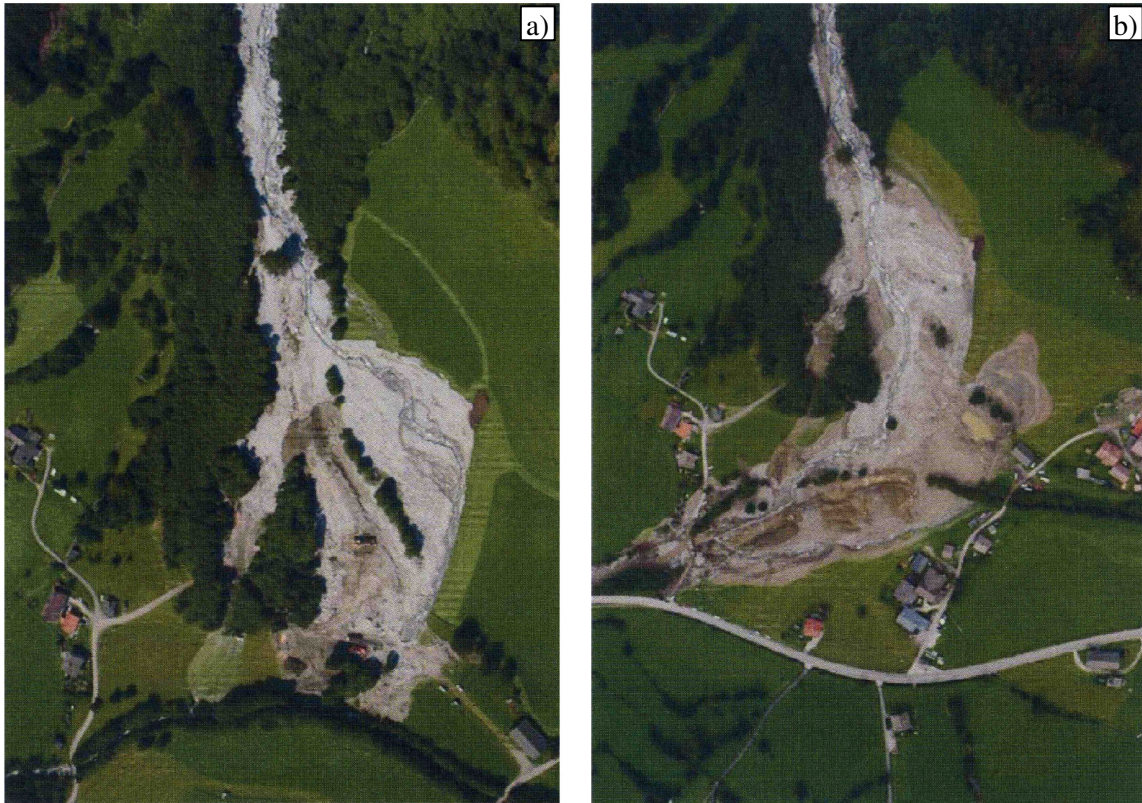


Fig. 3 Deposition on the cone in the Antholz valley. a) 18th of July. b) 1st of August (Damm et al., 2008)
Fig. 3 Ablagerung auf dem Kegel im Antholzer Tal. a) 18. Juli. b) 1. August (Damm et al., 2008)

Straßenabschnitt wurden im Zuge des Ereignisses überschüttet. Mehrere Personen gerieten in Bergnot, wodurch Hubschraubereinsätze nötig waren. Am 25. Juli kam es durch ein weiteres Ereignis zur Ablagerung von 8000m³ Geschiebe im Kegelbereich (Damm et al., 2008). Der größte Murgang ereignete sich schließlich am 1. August, ausgelöst durch einen weiteren Starkregen, der Niederschlagsmengen von 30mm innerhalb von 60 Minuten brachte (gemessen auf der Rieserfernerhütte zwischen 22.45 und 23.45 Uhr). Auf die hohe Intensität des Gewitters deutet auch eine im Gebiet vorgefundene Hagelschicht von 13 cm Stärke (Moser, 2006) hin. Nach einer Laufzeit von 20-30 Minuten lagerten sich durch dieses Ereignis etwa 100 000m³ Geschiebe auf dem Kegel ab (Damm et al., 2008). Die Anrisszone des Murganges liegt in einem steilen Schuttkegel an der Rückwand des westlichen Kars zwischen 2380m und 2600m a.s.l.. Der Schuttkegel wurde hier bis auf das anstehende Festgestein erodiert. Nach unten folgt eine kürzere Felsstrecke und eine zweite Anrisszone zwischen 2060m und 2300m a.s.l.. Nach Schätzungen wurden allein in diesem Bereich 90 000m³ mobilisiert (Moser, 2006). Oberhalb der Anrisszonen schließt eine steile Tonalitfelswand an, die in einer Höhe von ca. 3000m in ein kleineres Kar mit Toteisresten übergeht. Im weiteren Gerinneverlauf wechseln sich Erosionsstrecken im Lockermaterial und steilere Strecken im Festgestein ab. Die Ablagerung auf dem Kegel erreichte beim dritten Murgang eine größere Ausdehnung als bei den vorhergehenden Ereignissen (Fig. 3b). Der Antholzer Bach wurde dabei auf einer Länge von mehreren hundert Metern verlegt und aufgestaut, was in der Folge zum Ausbruch des Baches und zu Überschwemmungen führte (Damm et al., 2008). Im Rahmen der bereits begonnenen Aufräumarbeiten kam es zur Unterbrechung sowie zur Verschüttung von Baumaschinen. Als Reaktion auf die Murereignisse führte die Gemeinde Antholz präventive Baumaßnahmen durch. Eine bestehende Konsolidierungssperre im Mittelteil des Gerinnes wurde im Jahr 2008 durch eine Vorsperre verstärkt. Zusätzlich errichtete die Gemeinde auf dem Murkegel ein Rückhaltebecken mit Stahlbetonsperre mit einem Fassungsvermögen von 100 000m³, um die in der Nähe und auf dem Kegel liegenden Höfe zu schützen.

METHODEN

Im Mittelpunkt der durchgeführten Arbeiten stand eine detaillierte geomorphologische Kartierung. Die verwendeten Signaturen entstammen im Wesentlichen der GMK Hochgebirge (Kneisel et al., 1998), wurden jedoch im Hinblick auf die genauere Beschreibung der Murprozesse durch Signaturen in Anlehnung an den „Baukasten zur Kartierung der Phänomene“ (Kienholz und Krummenacher, 1995) ergänzt. Der Fokus der Kartierung lag zum einen auf den für die Murauslösung relevanten Bereichen oberhalb der Waldgrenze, zum anderen auf den Transport-, Ablagerungs- und Erosionszonen der Murgänge.

Auf der Basis der geomorphologischen Kartierung wurden potentielle Anrissgebiete definiert, die mittels Einzugsgebietsanalysen und Analyse der Längsprofile der zugehörigen Gerinne hinsichtlich ihrer Gefährdung für Murprozesse analysiert wurden.

Zudem wurden insgesamt zwölf Proben von verschiedenen Sedimentkörpern zur Einschätzung der Materialkonsistenz entnommen (Moränen, Schuttkegel (in Tonalit und in Gneis), fossiler Blockgletscher). Drei der Proben stammen aus dem Murgerinne des Klammbachs. Dabei wurde nur der Matrixanteil bis etwa 10cm Korndurchmesser beprobt. An allen Proben wurde eine Bestimmung der Korngrößenverteilung durch Siebung nach DIN 18123 „Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korngrößenverteilung“ (DIN 18123, 1996) vorgenommen.

ERGEBNISSE DER SEDIMENTOLOGISCHEN ANALYSE

Bei allen beprobten Sedimenten handelt es sich um matrixgestütztes Lockermaterial, in welches Blöcke mit Durchmessern von bis zu mehreren Metern eingelagert sind (Fig. 4). Der Grobbodenanteil liegt daher in der Realität höher als in Tab.2, da Blöcke ab einer Größe von etwa 10cm Durchmesser nicht mit beprobt werden konnten. Die Untersuchung des Feinanteils ergab durchweg einen hohen Sandanteil, mit Werten zwischen 69,9 und 95,3%. Der Schluffanteil schwankt zwischen 4,4 und 27,2%, der Tongehalt liegt bei höchstens 3%. Der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden, 2005) folgend, fällt eine Probe in die Bodentypenklasse reiner Sand, alle anderen Proben gehören der Klasse schwachschluffiger Sand an. Es lässt sich demnach eine Homogenität in der Matrix der beprobten Sedimente feststellen.

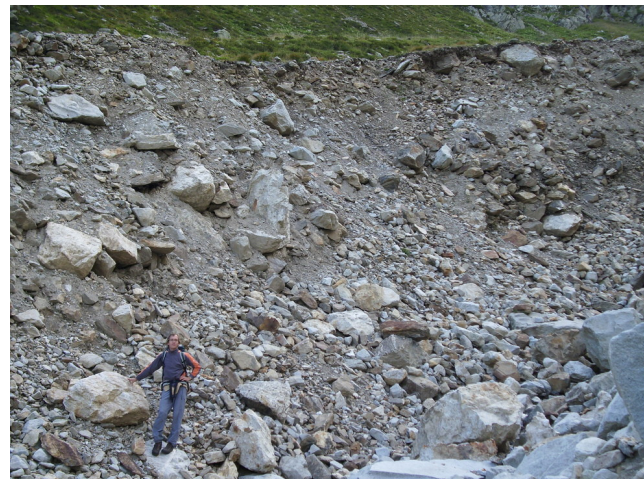


Fig. 4 Scar on 2150m a.s.l in the Klammbach creek. Photography: C. Sandmeier, August 2009.

Fig. 4 Anriss auf 2150m a.s.l. im Klammbach. Aufnahme: C. Sandmeier, August 2009

Tab.2 grain size distribution (in %) of the analysed sediments. d: sediment of unknown origin (probably moraine material); s: debris cone; *: sample from debris flow scar

Tab.2 Korngrößenanteile (in %) der beprobten Sedimente. d: Sediment ungesicherter Genese (vermutlich Moränenmaterial); m: Moränenmaterial, s: Schuttkegel; *: Probe aus Muranriss

Anteile in %	d*1	d*2	d3	d4	m1	s*1	s*2	s*3	s4	s5	s6	b1
Grobboden (>2mm)	47,35	72,28	52,62	36,71	62,55	67,10	55,79	53,72	53,45	75,79	56,75	55,26
Feinboden (<2mm), davon:	52,65	27,72	47,38	63,29	37,45	32,90	44,21	46,28	46,55	24,21	43,25	44,74
Sand (0,02-1mm)	79,59	71,61	84,14	82,84	87,08	74,23	83,55	83,92	85,57	95,30	69,87	77,70
Schluff (0,002-0,02mm)	18,54	26,55	15,10	15,83	12,00	23,74	14,99	13,07	13,73	4,41	27,20	20,32
Ton (<0,002mm)	1,88	1,84	0,76	1,33	0,92	2,03	1,46	3,01	0,70	0,29	2,93	1,98

ERGEBNISSE DER GEOMORPHOLOGISCHEN KARTIERUNG

Die geomorphologische Kartierung und die Geländeanalyse zeigen, dass in den oberen waldlosen Bereichen des Untersuchungsgebietes große Mengen an unkonsolidiertem Lockermaterial vorhanden sind. Zudem weisen charakteristische Ablagerungs- und Erosionsformen auf vergangene und rezente Muraktivität hin. Die steilen hohen Felswände, welche die obersten Bereiche des Einzugsgebiets dominieren, sind von Steinschlagprozessen betroffen. Durch diese wurden und werden flächenhaft an allen Wandfüßen Schuttkegel und -halden akkumuliert. Es lassen sich Kegelmächtigkeiten von mindestens 5m im östlichen Kar und bis 20m im westlichen Kar feststellen. Die unter den Tonalitwänden gelegenen Kegel sind meist unbewachsen, während die unter den Gneiswänden gelegenen Kegel zumeist Rasenbewuchs aufweisen.

Neben den durch gravitative Prozesse gebildeten Schuttkegel liegen im östlichen Kar periglaziale und glaziale Sedimente in Form eines fossilen Blockgletschers sowie mehrerer Moränenzüge vor. Die Moränen sind bewachsen und die darauf entwickelten Böden weisen stellenweise Podsolierungsmerkmale auf, was auf eine Zeit der relativen Stabilität in Bezug auf Erosionsprozesse hindeutet. Sie unterliegen jedoch lokal rezenter Erosion mit Blaikenbildung, welche vor allem an den steileren ostexponierten Flanken ansetzt. Weitere Lockermaterialvorkommen liegen im östlichen Kar unterhalb des Blockgletschers in Form eines unbewachsenen Blockschutfeldes vor. Zudem kann für größere Bereiche oberhalb der Waldgrenze Lockermaterial unter Rasen-, bzw. Zwergstrauch- und Latschenvegetation angenommen werden. Ein kleineres Kar im obersten Bereich des westlichen Einzugsgebietes weist ebenfalls Lockermaterial auf. Hier ist ein Toteiskörper vorhanden, der teilweise schutt- oder schneebedeckt ist.

Wichtig zur Beurteilung der Mobilisierbarkeit der Geschiebeherde, ist die Wasserzufuhr. Ausschlaggebend hierfür sind die Lage der Gerinne in Relation zu den Sedimenten sowie ihre Einzugsgebiete. Für die vorliegenden Sedimentkörper ergibt sich folgendes Bild: Der fossile Blockgletscher wird nicht von Gerinnen durchschnitten. Lediglich zwei kleinere Gerinne aus den oberhalb gelegenen Schutthalden führen dorthin. Der Bereich, der damit in den Blockgletscher entwässert, ist auf die zwar steilen, aber wenig hohen Felswände direkt oberhalb des Blockgletschers beschränkt. Ähnliches gilt für die Moränenzüge im östlichen Kar. Die vorhandenen Gerinne laufen längsgerichtet an den Moränenzügen vorbei, es findet dort keine Wasserzuleitung statt und das Einzugsgebiet beschränkt sich auf den Sedimentkörper selbst. Über die Lockersedimentfläche im oberen östlichen Kar verläuft ebenfalls kein Gerinne. Die Lage von Gerinnen in Bezug auf die Schuttkegel ist besonders wichtig vor dem Hintergrund, dass die Klamm Bachmure 2005 auf einem Schuttkegel angerissen ist. Hier verlief zuvor ein Gerinne direkt auf dem Kegel. Im östlichen Kar finden sich vor allem am Wandfuß unter dem Magerstein zahlreiche Gerinne im Bereich der Schuttkegel, welche ihre Einzugsgebiete in der mächtigen Ostwand des Magersteins haben (G1-G4). Hier sind die Einzugsgebiete entsprechend größer als an der Ostflanke des Kares, wo zwar auch Gerinne im Bereich der Schuttkegel liegen, welche sich aber aufgrund der kleineren Einzugsgebiete - bis auf Gerinne G8 - nicht bis zum Kegel fortsetzen. Im westlichen Kar finden sich drei Gerinne (G5,

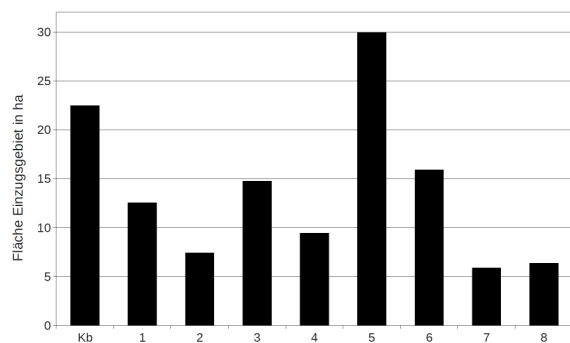


Fig. 5 Catchment areas of the investigated channels
Fig. 5 Einzugsgebietsflächen der untersuchten Gerinne

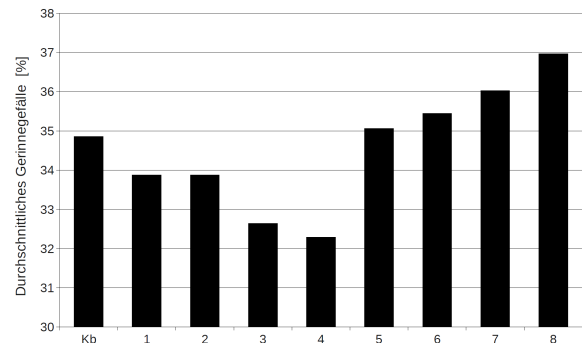


Fig. 6 Average channel slopes of the investigated channels
Fig. 6 Durchschnittliche Gefälle der untersuchten Gerinne

G6/Kb, G7), die ihren Ursprung im Bereich der Schuttkegel haben und bis zum Kegel verlaufen. Die

Einzugsgebietsanalysen für die ausgewählten Gerinne ergaben Flächenwerte zwischen 6 und 30ha (Fig. 5). Die Einzugsgebiete der beiden als Muranrisse identifizierten Stellen liegen bei 22ha (GKb) und 13ha (G1). Die Einzugsgebietsflächen von G3 (15ha) und G6 (16a) liegen zwischen diesen Werten und können daher vom Einzugsgebiet her als murfähig eingestuft werden. G2, 4, 7 und 8 weisen deutlich kleinere Flächen auf und können vom Einzugsgebiet her nicht eindeutig als murfähig bezeichnet werden. Betrachtet man Gerinne G2, so ist zwar das Einzugsgebiet aus den Felswänden verhältnismäßig klein, in dieses Gerinne münden jedoch bald weitere Gerinne ein, was eine Erklärung für die mittels der geomorphologischen Kartierung festgestellten Murprozesse trotz kleinem Einzugsgebiet darstellen könnte. Auffällig ist die Einzugsgebietsgröße von G5, die mit 30ha deutlich größer ist als das Einzugsgebiet des Klamm Bachmuranrisses.

Um Abschätzungen über das Verhalten von Murgängen in der Transportzone zu machen, ist es weiter wichtig, die Gerinneverläufe zu betrachten. Mit durchschnittlichen Gefällen zwischen 32 und 37% können alle untersuchten Gerinne als murfähig betrachtet werden (Corominas et al., 1996). Beide Kartröge werden von Festgesteinsschwellen in einer Höhe von etwa 1900m a.s.l. begrenzt, über die die jeweiligen Gerinne in Steilstufen abfallen. Unterhalb folgt ein längerer Abschnitt bis zur Konsolidierungssperre unterhalb des Lockermaterialdepots, in dem alle Gerinne im Lockermaterial verlaufen. Ab hier verläuft der Klamm Bach bis zum Kegel im Festgestein. In den Kartrögen ist die Verbreitung des Festgesteins unterschiedlich. Im östlichen Kar liegen alle Gerinnesohlen bis zur Karschwelle im Lockermaterial. Demzufolge könnten hier ablaufende Murprozesse auf dem Transportweg weiteres Material erodieren oder bei entsprechendem Abfluss Murgänge im Gerinne entstehen. Im westlichen Kar befinden sich mehr Gerinnestrecken im Festgestein, wo folglich keine Mobilisierung von Material stattfinden kann. So verläuft das Gerinne G5, abgesehen vom obersten Bereich, bis zur Karschwelle im Festgestein, wobei jedoch auch für den Beginn des Gerinnes aufgrund der Nähe zum Anstehenden von einer nur geringmächtigen Sedimentauflage ausgegangen werden kann. Es ist aber nicht allein das Auftreten von Festgestein im Gerinneverlauf entscheidend, sondern die Verteilung von Festgestein und Lockermaterial im Gerinnelängsprofil, da dieses Aufschluss gibt über die Geschwindigkeit und damit die Erosionskraft von Prozessen. Die Kombination von steilen Felsstrecken mit Gerinneengstellen und anschließenden flacheren Gefällstrecken im Lockermaterial, wie sie im Klamm Bach zu finden ist, kann Murprozesse begünstigen.

Neben den bereits vor der Kartierung bekannten Anriss-, Erosions- und Ablagerungsformen der Klamm Bachmure (Moser, 2006; Damm et al., 2008), wurden auch im östlichen Kar Hinweise sowohl auf rezente wie auch auf vergangene Murprozesse gefunden. Im Gerinne G1 befindet sich ein Anriss im Schuttkegel am Wandfuß. Im weiteren Gerinneverlauf folgt zunächst eine Transportzone, in der randlich Levées abgelagert und der Gerinnequerschnitt U-förmig verändert wurde. Das Gerinne verläuft hier zwischen zwei Moränenzügen. Durch die nachfolgende Aufweitung schaltet sich hier auf einem flacheren Geländeteil eine Ablagerungszone ein, auf der rezent Material abgelagert wurde. Die Ablagerung ließ sich über die Analyse von Orthofotos zeitlich zwischen die Jahre 2000 und 2006 einordnen, und es ist anzunehmen, dass sie in Zusammenhang mit den Ereignissen von 2005 im Klamm Bach steht. Die Ablagerung mehrerer Murloben in diesem Bereich lässt auf ein schubartiges Fließverhalten schließen. Während des Prozesses kam es zur Verstopfung und Stilllegung des ursprünglichen Gerinnes durch die Ablagerung einer solchen Murlobe. Die nachfolgenden Murschübe mussten einen anderen Weg nehmen und in der Folge wurde ein westlich gelegenes Gerinne aktiviert. Bedeutsam ist dies, da das ursprüngliche Gerinne in den Rautsbach entwässerte, das neue Gerinne jedoch noch oberhalb der Brücke und der Konsolidierungssperre dem Klamm Bach zugeführt wird. Das Ereignis änderte aufgrund der geomorphologischen Abläufe die Einzugsgebiete und damit die Abflussverhältnisse im Untersuchungsgebiet. Der obere westliche Bereich des östlichen Kares entwässert nunmehr in den Klamm Bach.

Neben den rezenten Ablagerungen konnte im gleichen Bereich eine größere Fläche (4,2 ha) mit alten, größtenteils bewachsenen Murablagerungen identifiziert werden. In der Transportzone oberhalb liegen neben dem aktuellen Gerinne ältere Murgerinne mit typischem U-förmigem Profil sowie Levées in der Verengung zwischen den Moränen. Die Gerinne lassen sich nach oben bis auf den Kegel verfolgen, sind aber nicht mehr aktiv. Auf dem Kegel selbst findet sich hierzu kein deutlicher Anrissbereich. Es lassen sich jedoch Geländeeinschnitte identifizieren, die durch Erosion überformte

Anrisse sein könnten. Die überformten Anrisse sowie der starke Bewuchs im Ablagerungsbereich und der fortgeschrittene Flechtenbewuchs der abgelagerten Blöcke sprechen für ein höheres Alter dieser Formen. Unterhalb des Ablagerungsbereiches folgt eine weitere Transportstrecke, wiederum verbunden mit randlicher Levéebildung und mit Tiefenerosion, welche verstärkt vor der Einmündung in das nächste Gerinne auftritt, wo auch keine Levéebildung mehr zu beobachten ist. Es handelt sich hierbei um den Gerinneabschnitt, der durch die Abflussverlagerung aktiviert wurde. Kurz darauf folgt die Steilstufe der Karschwelle. Der Geländeknick nach der Schwelle führt zu einem weiteren kleineren Ablagerungsbereich mit Murloben und Levées. Auch hier wurde während des jüngsten Ereignisses durch eine Murlobe ein Gerinne verstopft. In diesem Fall wurde hierdurch das großräumige Abflussgeschehen nicht verändert. Es handelt sich jedoch um einen Bereich, in dem die Gerinne von Klamm bach und Rautsbach räumlich dicht beieinander liegen. Abflussbahnverlagerungen in diesem Bereich können daher große Auswirkungen auf das Abflussgeschehen im gesamten Gebiet haben. Kurz unterhalb dieser Ablagerung folgt die Einmündung von Gerinne G4. Daran schließt sich ein Gerinneabschnitt mit wenig, bzw. keiner Erosion und auch keiner Ablagerung von Murlevées an. Kurz vor der Einmündung in den Klamm bach liegt wiederum ein Ablagerungsbereich, in dem jedoch weder Murloben noch Levées festgestellt wurden. Es ist möglich, dass durch die oberhalb erfolgte Einmündung und die bereits erfolgte Ablagerung von Geschiebe der Wasseranteil in der Mure so stark erhöht wurde, dass die Abflussart sich von einem Murgang in einen nurmehr stark geschiebeführenden, bzw. murartigen Abfluss veränderte.

Weitere Zeugen für Murprozesse sind im Gerinne G2 in Form von Levées und der Ablagerung zweier kleinerer Murloben im Gerinne vorhanden. Ein deutlicher Anrissbereich lässt sich jedoch nicht nachweisen. Möglicherweise handelt es sich beim formbildenden Prozess eher um einen murartigen Abfluss, der sich zwischenzeitlich durch erhöhte Erosion im Gerinne als Murgang bewegte, nach der Ablagerung und dem damit einhergehenden Geschiebeverlust aber wiederum als murartiger Abfluss weiterfloss. Solche murartigen oder stark geschiebeführenden Abflüsse konnten für mehrere Gerinne im östlichen Kar über die Ablagerungen festgestellt werden (G3, 4, 8 u.a.).

Im Bereich zwischen Forststraße und Murkegel liegt das durch eine Konsolidierungssperre gesicherte Lockermaterialdepot. Es folgt ein Geländeknick mit einer starken Versteilung des Gerinnes, welches im Anstehenden verläuft. Muren erfahren an dieser Stelle eine Beschleunigung, bevor sie dann auf dem Murkegel auslaufen. In diesem Bereich können deutliche Spuren der Klamm bachmure in Form von verletzten Bäumen und der Erosion von Vegetation im Bereich des Wasserfalls festgestellt werden.

Direkt auf dem Murkegel finden sich neben den rezenten Ablagerungen im orographisch linken Bereich Hinweise auf ältere Ablagerungen in Form von Wällen auf dem orographisch rechten Teil. Die Kegelfläche erstreckt sich außerdem noch weiter in diese Richtung. Die kegelaufbauenden Prozesse konnten im Rahmen der Geländeanalyse nicht genau identifiziert werden. Es kann sich um nachträglich überformte Murablagerungen handeln oder aber um fluviatile Ablagerungen - als Teil des Murprozesses oder als eigenständiger formbildender Prozess. Die Schüttrichtung des Klamm baches hat sich folglich mit der Zeit verlagert. Hierdurch würden, bestünde keine Verbauung, auch Flächen als potentielle Auslaufflächen relevant, die bisher noch gar nicht auf dem Kegel liegen.

DISKUSSION

Aufgrund hoher Reliefenergie und großer Mengen an mobilisierbarem Lockermaterial im Untersuchungsgebiet ist eine Grunddisposition für Murgänge auch über das Ereignis von 2005 hinaus vorhanden. Die Zusammensetzung der untersuchten Sedimente kann dabei als murfähig eingestuft werden. Zum einen sind alle untersuchten Sedimente matrixgestützt, womit von einem ausreichenden Feinmaterialanteil zur Murauslösung ausgegangen werden kann (Iverson, 2005), zum anderen besteht eine große Ähnlichkeit in der Korngrößenzusammensetzung der Proben aus den Muranrissen mit denen aus den anderen Sedimentkörpern. Da die Zusammensetzungen der Proben aus den unterschiedlichen Sedimentkörpern eine große Ähnlichkeit aufweisen, ist anzunehmen, dass der überwiegende Anteil der Sedimente im Untersuchungsgebiet murfähig ist. Die Muren, die aus diesen Sedimenten hervorgehen würden, wären mit großer Wahrscheinlichkeit granularen Typs und würden

damit ein schubartiges Fließverhalten aufweisen. Dies geht zum einen aus den untersuchten Ablagerungen hervor, zum anderen entspricht die Sedimentzusammensetzung den von Bonnet-Staub (1999), Remaître et al. (2005) und Znamensky und Gramani (2000) für granulare Murgänge festgestellten Zusammensetzungen. Die großen Blöcke in den Sedimentkörpern erhöhen insgesamt die Gefährdung, die von solchen Muren ausgehen würde. Die Konsolidierung aller Schuttkörper kann aufgrund der festgestellten Erosionsprozesse und der im Gelände beobachteten Instabilität der untersuchten Aufschlüsse als gering eingestuft werden. Dies erhöht die Anfälligkeit für Murprozesse (Zimmermann et al., 1997). Die Konsolidierung hat sich dabei zumindest im östlichen Kar mit der Zeit verändert. Auf den Moränen, für die aufgrund von Bewuchs und Bodenbildungsprozessen von einer längeren Konsolidierungsphase ausgegangen werden kann, spielen sich rezent Erosionsprozesse ab. Sie liegen in einem Bereich, aus dem vermutlich in den letzten 150 Jahren der Permafrost zurückgegangen ist (Damm und Felderer, 2008), was eine Erklärung für die veränderte Konsolidierung sein könnte.

Die Grunddisposition für Murgänge ist durch Permafrostrückgang in Verbindung mit größerer Schuttverfügbarkeit deutlich erhöht. Sowohl der Muranriss des Klammabaches, wie auch der im östlichen Kar identifizierte Anriss liegen im potentiellen Permafrostrückzugsbereich. Für beide Bereiche konnten auch ältere Ereignisse festgestellt werden, die sich mithin, wenn man von einer solchen Verteilung des Permafrostes ausgeht, entweder nach Rückgang des Permafrostes ereignet haben müssen, oder aber sich als periglaziale Murgänge innerhalb der sommerlichen Auftauschicht ereignet haben. Zumindest im östlichen Kar kann die geringere Anrissstiefe und damit kleinere Ereignisgröße in der Vergangenheit mit Ablagerungen noch im oberen Gerinnebereich auf eine periglaziale Entstehung hinweisen. Eine Untersuchung der Murkegelsedimente im Antholzer Tal mit Datierung der Ablagerungen sowie eine Recherche von Chroniken und Archiven zu vergangenen Ereignissen könnte Aufschluss darüber geben, ob sich die Murgangaktivität in den vergangenen 150 Jahren verändert hat.

Der Murgang aus G1 hat ein geringeres Anrissvolumen und eine kürzere Laufweite als die Klammabachmure. Während im Klammabach eine Anrissstiefe von bis zu 20m bis auf das Anstehende zu beobachten ist, liegt die Anrissstiefe im Anriss von G1 bei etwa 5m, wobei der Schuttkegel hier noch nicht bis auf das Anstehende erodiert ist. Neben der Möglichkeit einer Auslösung in der Auftauschicht eines Permafrostkörpers, ist auch die kleinere Einzugsgebietsgröße von G1 als Grund für das geringere Anrissvolumen in Betracht zu ziehen. Die Folge eines kleineren Anriss- und Murvolumens zu Beginn des Prozesses ist, dass die Mure bei einer Verringerung des Gefälles oder einer Verbreiterung des Gerinnes schneller zur Ablagerung kommen kann. In diesem Kontext ist wichtig, dass bei einem kleinen Murgang die Reibung am Untergrund im Verhältnis zum Volumen entsprechend größer ist. Zusätzlich wirkt sich ein Wasseraustritt an den Rändern stärker auf den Gesamtanteil Wasser in der Mure und damit auf die innere Reibung aus (Rickenmann, 1996). Zudem kann eine Mure kleineren Volumens auch nur in geringerem Umfang weiteres Material erodieren. Bei der Klammabachmure mit ihrem großen Anrissvolumen erfolgte auf der Felsstrecke eine Beschleunigung und in der nachfolgenden Lockermaterialstrecke aufgrund ihres bereits großen Volumens starke Tiefenerosion. Dies bewirkte eine weitere Erhöhung des Murvolumens. Im Gegensatz dazu folgt bei der Mure aus G1 auf den Anrissbereich nach einer kurzen Transportzone ein Ablagerungsbereich, bedingt durch eine Änderung von Gefälle und Gerinnebreite und damit im Gegensatz zum Klammabach eine Abnahme des Murvolumens. Der nunmehr kleinere Murgang erodierte zwar in der Folge ebenfalls, die Tiefenerosion ist aber auf ein kurzes Stück beschränkt. Auf der Lockermaterialfläche unterhalb der Karschwelle fand bei der G1-Mure keine Tiefenerosion mehr statt, während die Klammabachmure hier nochmals große Materialmengen mobilisierte. Das Längsprofil des Klammabachgerinnes und die Verteilung von Lockermaterial und anstehendem Gestein darin, trug hier sicherlich zum großen Volumen des Ereignisses bei. Das Längsprofil von Gerinne G1 weist hingegen weniger hohe Felsstrecken, weniger Engstellen sowie eine Verflachung direkt nach der Anrisszone auf. In der Konsequenz verringert sich die Disposition für große Ereignisse.

Für zukünftige Ereignisse ergibt sich folgendes Bild:

- Ein entsprechendes Starkregenereignis vorausgesetzt, sind im Gerinne G1 größere Ereignisse nicht auszuschließen. Obwohl die Niederschlagsmengen bei den Ereignissen von 2005 hoch waren, sind durchaus größere Intensitäten denkbar, besonders vor dem Hintergrund einer angenommenen Zunahme von Extremereignissen im Zuge des Klimawandels (Beniston et al., 2007). Zudem könnte Permafrostdegradation im Anrissbereich zu einer tieferen Mobilisierbarkeit der Sedimente führen. Im Rahmen eines solchen Szenarios erscheint es möglich, dass ein Murgang aus G1 mit größerem Anrissvolumen die erste Verflachung ohne Ablagerung überwindet. Wenn das Murgangvolumen groß genug ist, kann auch Erosion in den vorhandenen älteren Murablagerungen stattfinden. In der anschließenden Steilstufe im Lockermaterial ist von weiterer Erosion auszugehen, ebenso wie im nachfolgenden Gerinne bis zur Karschwelle. In der anschließenden Gerinneverteilung wird der Murgang beschleunigt. Während es beim vorigen Ereignis durch die Gefälleabnahme nach der Stufe zur Ablagerung kam, ist bei einem Ereignis mit größerem Volumen von Tiefenerosion in diesem Bereich auszugehen. Es handelt sich um denselben Sedimentkörper, in dem auch die Klamm Bachmure stark in die Tiefe erodierte. Bei einem größeren Anrissvolumen ist also mit Erosion auf dem Transportweg und damit auch mit einem Ereignisvolumen zu rechnen, das den Murkegel erreichen könnte. Denn schon im kleineren Umfang des kartierten Ereignisses aus G1, erreichten die Ablagerungen zumindest die Brücke am Zusammenfluss mit dem Klamm Bach. Ob die Mure darüber hinaus noch weiterfloss, kann aufgrund einer möglichen Verschneidung mit Klamm Bachmureablagerungen nicht eindeutig festgestellt werden. Durch die erfolgte Umlenkung der Abflussbahn zum Klamm Bach hin könnte ein zukünftiger größerer Murgang aus G1 das Lockermaterialdepot im Mittelteil erreichen. Sollten in Zukunft also Geschiebe und Abfluss aus beiden Karen in diesen Bereich gelangen, wirken entsprechend größere Kräfte auf die Konsolidierungssperre. Bei einem Versagen der Sperre wäre das Lockermaterialdepot der Erosion ausgesetzt und bei zukünftigen Ereignissen könnten sehr viel größere Volumina den Murkegel erreichen.
- Da die Abflussbahnen veränderlich bleiben, müssen Muren aus dem östlichen Kar trotz der erfolgten Gerinneverlagerung in Zukunft nicht zwangsläufig dem Klamm Bach zufließen. Abgesehen vom oberen Ablagerungsbereich ist insbesondere im Bereich unterhalb der Karschwelle im östlichen Kar mit Gerinneverlagerungen zu rechnen. Hier fand beim letzten Ereignis eine kleinere Gerinneverlagerung statt, eine Verlagerung der Abflussbahn in Richtung Rautsbach ist denkbar. Dadurch bestünde bei entsprechendem Ereignisvolumen Gefahr für die in diesem Bereich gelegene gefasste Quelle, sowie für die Schwörzalm und die zugehörigen Almflächen.
- Die Wirtschaftsflächen im Untersuchungsgebiet können demnach durch Ereignisse von beiden Karflanken des östlichen Kares betroffen sein. Vor allem die potentiellen Anrissstellen am Wandfuß des Magersteins sind dafür prädestiniert, da hier schon murartige Prozesse abgelaufen und mächtige Schuttkegel vorhanden sind. Bei entsprechendem Niederschlag, eventuell kombiniert mit der Sättigung des Lockermaterials durch langanhaltende Niederschläge, ist auch hier die Disposition für Murereignisse vorhanden.
- Im Klamm Bach selbst ist auch nach den Ereignissen von 2005 noch mit Murgängen zu rechnen. Obwohl die obersten Gerinnebereiche des Klamm Baches selbst bis aufs Anstehende ausgeräumt sind, könnte sich im einmündenden Gerinne G6 ein weiterer Anriss ereignen, da der Schuttkegel in diesem Bereich noch nicht erodiert ist. Auch wenn das initiale Anrissvolumen hier kleiner wäre als bei der Klamm Bachmure, kann durch Erosion in den nachfolgenden Lockermaterialstrecken eine größere Mure bis auf den Murkegel fließen.
- Aus Gerinne G5 ist kein Murgang mehr zu erwarten, da hier das Gerinne in der potentiellen Anrisszone bereits ausgeräumt ist. Aufgrund der Geländeanalysen kann aber davon ausgegangen werden, dass in der Vergangenheit hier Murprozesse stattfanden. Denn aufgrund der Größe des Einzugsgebietes von G5 ist davon auszugehen, dass hier durch Steinschlagprozesse ebenfalls ein größerer Schuttkegel bestanden hat. Möglicherweise trugen Murgänge aus diesem Bereich auch zum Aufbau des Murkegels im Antholzer Tal bei.

Es ist insgesamt festzuhalten, dass im Einzugsgebiet des Klammabaches mit weiteren Murereignissen zu rechnen ist. Dabei spielt insbesondere auch die Verlagerung von Abflussbahnen und die damit einhergehende Änderung der Einzugsgebietsgrößen eine Rolle.

REFERENZEN

- AG Boden (2005). *Bodenkundliche Kartieranleitung*. 5. Verbesserte und erweiterte Aufl.. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover. 438 S.
- Beniston M., Stephenson D.B., Christensen O.B., Ferro C.A.T., Frei C., Goyette S., Halsnaes K., Holt T., Jylhä K., Koffi B., Palutikof J., Schöll R., Semmler T., Woth K. (2007). Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climate Change* 81: 71-95.
- Bonnet-Staub (1999). Définition d'une typologie des dépôts de laves torrentielles et identification de critères granulométriques et géotechniques concernant les zones sources. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 57: 359-367.
- Corominas J., Remondo J., Farias P., Estevao M., Zézere J., Díaz de Terán J., Dikau R., Schrott L., Moya J. und González A. (1996). Debris Flow. In: R. Dikau, D. Brunsden, L. Schrott und M.L. Ibsen (Hrsg.). *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes*, Kap. 7. Wiley. S. 161-180.
- Costa J. (1984). Physical geomorphology of debris flows. In: J. Costa und P. Fleischer (Hrsg.). *Developments and applications of geomorphology*. Springer. Berlin. S. 268-317.
- Damm B. und Felderer A. (2008). Identifikation und Abschätzung von Murprozessen als Folge von Gletscherrückgang und Permafrostdegradation im Naturpark Rieserferner-Ahrn (Südtirol). In: J. Reitner, M. Fiebig, N.M. Ch., M. Pacher und V. Winiwarter (Hrsg.). *Veränderter Lebensraum - gestern, heute und morgen. Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt* 62: 29-32.
- Damm B., Langer M., Rösen P., Felderer A. und Köttrisch E. (2008). Auswirkungen von Permafrostdegradation und Gletscherschwund im Naturpark Rieserferner-Ahrn. Unveröffentlichter Projektbericht. Autonome Provinz Bozen – Südtirol, Amt für Naturparke.
- DIN 18123 (1996). Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korngrößenverteilung. Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.. Berlin.
- Hydrographisches Amt, Autonome Provinz Bozen – Südtirol (2010). Wetterdaten. <http://provinz.bz.it/hydro>, Zugriff: 31.5.2010.
- Iverson R.M. (2005). Debris-flow mechanics. In: M. Jakob und O. Hungr (Hrsg.). *Debris-flow Hazards and Related Phenomena*. Kap. 6. Springer. Berlin. S. 105-134.
- Kienholz H. und Krummenacher B. (1995). Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene. Vollzug Umwelt VU. Bundesamt für Umwelt BAFU. 60 S.
- Kneisel C., Lehmkuhl F., Winkler S., Tressel E. und Schröder H. (1998). Legende für geomorphologische Kartierungen im Hochgebirge (GMK Hochgebirge). *Trierer Geographische Studien* 18. Geographische Gesellschaft Trier. 24 S.
- Moser M. (2006). Klammabach – Gemeinde Rasen-Antholz. Hydrogeologische Studie. Unveröffentlichtes Gutachten.
- Remaître A., Malet J.P. und Maquaire O. (2005). Morphology and sedimentology of a complex debris flow in a clay-shale basin. *Earth Surface Processes and Landforms* 30: 339-348.
- Rickenmann D. (1996). Murgänge: Prozess, Modellierung und Gefahrenbeurteilung. In: B. Oddsson (Hrsg.). *Instabile Hänge und andere risikorelevante natürliche Prozesse*. Birkhäuser Verlag. Basel. S. 397-407.
- Zimmermann M. (1996). Murgänge erkennen und bewerten. Nachdiplomkurs in angewandten Erdwissenschaften. In: B. Oddsson (Hrsg.). *Instabile Hänge und andere risikorelevante natürliche Prozesse*. Birkhäuser Verlag. Basel. S. 183-197.
- Zimmermann M., Mani P. und Gamma P. (1997). Murgangefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz. vdf Hochschulverlag. Zürich. 162 S.

Znamensky D. und Gramani M. (2000). Debris-flow grain-size analysis. In: G. Wieczorek und N. Naeser (Hrsg.). Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment. Balkema. Rotterdam. S. 537–545.