

Jahrestagung der SGMG 2003 in Erstfeld

Turbulenzen in der Geomorphologie

Organisiert von der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich



Rekonstruktion der Muraktivität im Ritigraben (VS) und Vergleich mit Chronikdaten benachbarter Gewässer

Markus Stoffel, Igor Lièvre, Delphine Conus, Michael Grichting, Holger Gärtner, Michel Monbaron

ABSTRACT

During the last two decades, three major flooding events (1987, 1993, 2000) caused considerable damage in Valais (Switzerland). Simultaneously with the 1987 and 1993 flooding, important periglacial debris flows were recorded, whereas no debris flows occurred during the extensive October 2000 flooding. This study aims to put these events and the apparent increase in event frequency into a larger context, by reconstructing the debris-flow recurrence of the Ritigraben torrent (Grächen and St. Niklaus, VS) with dendrogeomorphic methods. The reconstructed event years are then compared to flooding in neighbouring catchment areas known from archives. As a result, the number of events on the intermediate debris-flow cone can be extended from 10 to 56 and the period of reconstruction enlarged back to the year 1605. The apparent increase of debris-flow events is not abnormal and debris flows even occurred more frequently in the 19th century. The distribution of damaged sites during the events in September 1993 can be frequently found in the past. Finally, the spatial distribution of injured trees in particular years leads to the conclusion that „large“ events comparable to that in 1993 always existed in the Ritigraben.

ZUSAMMENFASSUNG

Während der letzten Jahrzehnte traten im Wallis drei grössere Unwetter auf (1987, 1993, 2000). Während bei den Überschwemmungen von 1987 und 1993 zahlreiche Murgänge aus dem Periglazialbereich auftraten, blieben sie bei den Unwettern im Oktober 2000 aus. Die vorliegende Arbeit versucht, mit dendrogeomorphologischen Analysen die Murfrequenz auf dem Kegel des Ritigraben (Grächen und St. Niklaus, VS) zu rekonstruieren sowie die Ereignisse der jüngsten Vergangenheit und die offenbare Zunahme der Murfrequenz in einen breiteren Zusammenhang zu stellen. Dazu werden die rekonstruierten Ritigraben-Ereignisse mit Chronikdaten verschiedener Oberwalliser Gewässer und den Pegelmessungen des Lago Maggiore verglichen. Auf dem Kegel des Ritigraben konnte die bekannte Frequenz von zehn auf insgesamt 56 Ereignisse erweitert und die rekonstruierte Periode bis ins Jahr 1605 erweitert werden. Es zeigt sich, dass die offenbare „Häufung“ von Ereignissen seit 1987 nicht anomal ist – Ereignisse traten im 19. Jahrhundert gar noch häufiger auf als in der jüngsten Vergangenheit. Ein Vergleich mit Chronikdaten benachbarter Gewässer

ser zeigt zudem, dass Ereignisse, die aufgrund der Verteilung der Schadenorte mit dem Unwetter vom 24. September 1993 vergleichbar sind, auch in den vergangenen Jahrhunderten regelmässig vorkamen. Schliesslich muss aufgrund der Verteilung der Baumschäden auf dem Kegel angenommen werden, dass das bislang grösste bekannte Ereignis im Ritigraben (1993) kein Einzelfall war.

Keywords: Murgang, Dendrogeomorphologie, Murfrequenz, Hochwasser, saisonale Verteilung, Archivdaten, Walliser Alpen

1. Einleitung

Obwohl Murgänge in den Schweizer Alpen eine der bedeutendsten Naturgefahren darstellen, wurden umfassende Untersuchungen in der Schweiz erst nach den verheerenden Unwettern im Sommer 1987 an die Hand genommen (Naef et al. 1989, Rickenmann & Zimmermann 1993, VAW 1992). Weitere Erkenntnisse zum Auslösungs- und Ablagerungsverhalten des Prozesses lieferten die Unwetter im September 1993 (Röthlisberger 1994) und im Oktober 2000 (BWG 2002). Mittlerweile existieren in den Schweizer Alpen verschiedene Testgebiete, die mit Überwachungssystemen ausgestattet sind und weitere Erkenntnisse zum Prozess Murgang liefern sollen (Rickenmann et al. 2001).

Informationen zu älteren Ereignissen decken – wenn überhaupt – lediglich eine kurze Periode ab und liefern nur in Ausnahmefällen qualitativ hochstehende Daten zur vergangenen Muraktivität. Auf waldbestandenen Murkegeln kann die dürftige Datenlage zu Ereignisfrequenz und -magnitude durch die Kombination detaillierter geomorphologischer Kartierung mit umfangreichen Jahringanalysen (Alestalo 1971, Strunk 1995) verbessert werden. In der Schweiz wurde die so genannte Dendrogeomorphologie bislang nur auf zwei Murkegeln angewandt, namentlich auf denjenigen der Miltetta in Tschierv/GR (Baumann & Kaiser 1999) und des Wildibachs in Randa/VS (Gers 1998).

Die vorliegende Untersuchung hat zum Ziel, die Muraktivität auf dem Kegel des Ritigraben zu rekonstruieren. Für die Erweiterung der bekannten Murfrequenz werden detaillierte Kartierungen (Massstab 1:1'000) der Ablagerungen und Rinnen sowie die Datierung von Wachstumsanomalien in Bäumen durchgeführt. Des Weiteren werden die rekonstruierten Ritigraben-Ereignisse mit den Hochwasserdaten benachbarter Gewässer und den Pegelmessungen des Lago Maggiore abgeglichen. Ein weiteres Augenmerk wird auf die anscheinende „Häufung“ von Ereignissen nach 1987 gerichtet.

2. Untersuchungsgebiet

Die Untersuchung wird im Gerinne „Ritigraben“ (Gemeinden Grächen und St. Niklaus, VS) durchgeführt (Abb. 1). In seinem Anrissgebiet auf 2600 m ü. M. ist das Vorhandensein von Permafrost mit Geoelektrik- und BTS-Messungen nachgewiesen worden (Lugon & Monbaron 1998). Eislinnen, welche nach den Murgängen von 1994 an die Oberfläche traten (Gardaz et al. 1995), bestätigen diese Messungen.

Auf der Sackungsterrasse zwischen 1800 und 1500 m ü. M. schneidet die aktuelle Rinne einen grossen (intermediären) Murkegel. Im Mündungsbereich des Ritigraben in die Mattervispa sind dagegen so gut wie keine Ablagerungen vergangener Murgänge zu erkennen, da das Material von der Mattervispa wegge-

schaft wird. Nebst beachtlichen Teilen des Siedlungsgebiets von Niedergrächen und Rittinen bedroht der Ritigraben verschiedene Strassenverbindungen, darunter jene nach Zermatt (Bloetzer & Stoffel 1998).

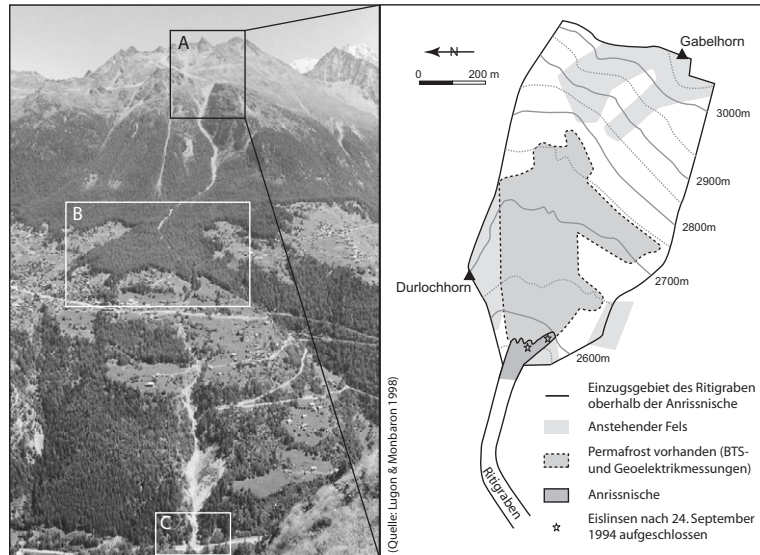


Abbildung 1: Einzugsgebiet des Ritigraben (VS) mit der Anrisszone (A), dem Murkegel (B) und der Mündung in die Matternvispa (C). In der Anrisszone ist Permafrost mit Geoelektrik und BTS-Messungen nachgewiesen worden.

Gemäss Brigger et al. (1993) und Fux-Anthamatten (2001) sind für die Periode 1922-1994 neun Murgänge in Archiven notiert (Abb. 2). Zudem trat am 28. August 2002 das bislang jüngste Ereignis auf. Da seit 1987 im Ritigraben offensichtlich vermehrt Murgänge auftreten (1987, 1991, 1993, 1994, 2002), wurde bisweilen ein Zusammenhang zwischen den gehäuft auftretenden Naturkatastrophen und dem sich wandelnden Klima postuliert. Auch Rebetez et al. (1997) stützen diese Vermutung, indem sie das Auftreten von Muren im Ritigraben mit kritischen Niederschlags-Grenzwerten vergleichen. Die Studie kommt zum Schluss, dass die Wetterlagen, bei welchen der kritische Schwellenwert zur Auslösung von Murgängen überschritten wird, deutlich zugenommen haben. Angaben zur Grösse einzelner Ereignisse liegen nur für die letzten zehn Jahre vor: Währenddem die Murgänge von 1994 und 2002 ca. 5000m³ (Dikau et al. 1996) bzw. 3000 m³ mobilisierten, wurden während der 11 Murschübe am 24. September 1993 rund 60'000 m³ Material transportiert. Als Folge der Ereignisse von 1993 wurde die aktuelle Rinne stark eingetieft (Zimmermann et al. 1997). Ein Vergleich mit den Archivdaten zeigt wiederum, dass die Murschübe von 1993 das „grösste bekannte Ereignis“ im Ritigraben darstellen.

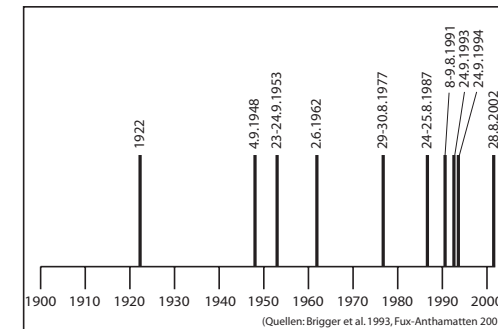


Abbildung 2: Die aus Archivdaten gewonnene Murgangfrequenz umfasst neun Ereignisse zwischen 1922 und 1994. Das bislang letzte Ereignis trat am 28. August 2002 zu.

3. Methoden

3.1 Geomorphologische Kartierung

Für die Aufnahme der geomorphologischen Formen auf dem Kegel werden Massband, Neigungsmesser und Kompass verwendet (Gärtner & Stoffel 2002). Kartiert werden insbesondere Loben, Levées, ehemals aktive Rinnen und Felsblöcke. Daneben findet auch die anthropogene Aktivität im Bereich des Kegels – wie etwa der Bau von Wasserleitungen und Wanderwegen – Eingang in die Karte. Die geomorphologische Karte wird für den gesamten Kegel im Massstab 1:1'000 realisiert, weshalb die Standardlegende des Symbolbalkens von Kienholz & Krummenacher (1995) dem gewählten Massstab sowie den räumlichen und thematischen Besonderheiten angepasst werden muss.

3.2 Dendrogeomorphologische Untersuchungen

Nach Abschluss der geomorphologischen Geländeansprache werden auf dem Murkegel Bäume ausgewählt, die offensichtlich durch Murgänge gestört oder in ehemals aktiven Rinnen aufgewachsen sind. Bäume, deren Wachstum möglicherweise durch andere geomorphologische Prozesse (wie etwa Steinschlag, Schneedruck) oder anthropogene Aktivitäten beeinflusst ist, werden nicht berücksichtigt. Die Untersuchungen umfassen Proben aller auf dem Kegel vorkommenden Baumarten. Es sind dies die Lärche (*Larix decidua* Mill.), die Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) sowie die Arve (*Pinus cembra* ssp. *sibirica*). Von jedem gestörten Baum wurden alsdann mit Zuwachsbohrern zwei Bohrkerngezogen. In einem weiteren Schritt werden ausserhalb des Einflussbereichs des Murkegels ungestörte Bäume beprobt. Die daraus gewonnene Referenzchronologie widerspiegelt die klimatisch bedingten Wachstumsveränderungen im Untersuchungsgebiet (Cook & Kairiukstis 1990). Danach werden die Jahringbreiten aller Proben nach der in Bräker (2002) beschriebenen Methode gemessen und bearbeitet. Die Jahringkurven jedes einzelnen gestörten Baumes werden mit der ungestörten Referenzchronologie synchronisiert (crossdating) und auf anormale Erscheinungen im Jahringbild untersucht. Ein besonderes

Augenmerk wird auf (i) das exzentrische Wachstum infolge Schrägstellung (z. B. Fantucci & Sorriso-Valvo 1999), (ii) abrupte Wachstumsveränderungen (Schweingruber 1996) nach der teilweisen Verschüttung des Baumes durch Murmaterial (Zuwachsreduktion) oder die Freistellung nach Elimination der Nachbarbäume (Zuwachszuschuss) sowie (iii) die Ausbildung traumatischer Harzkanäle infolge Verletzung des Kambiums (Schweingruber 2001) gelegt.

3.3 Übereinstimmende Ereignisjahre und Grosswetterlagen

Die rekonstruierten Ritigraben-Ereignisjahre werden (i) den Chronikdaten anderer Gewässer im Oberwallis und (ii) den Aufzeichnungen der Pegelstände im Lago Maggiore gegenübergestellt (Tab. 2).

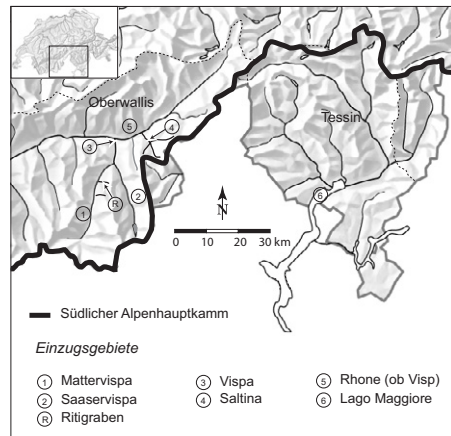


Abbildung 3: Standort des Ritigraben (R) und der ausgewählten Gewässer beidseits des südlichen Alpenhauptkammes (1-6).

Tabelle 2:

Datenbank mit Hochwasserereignissen, die sich zw. Juni und Oktober zutragen. [Quellen: Be= Berchtold (2002), Im= Imboden (1996); Js= Jossen (2000); Lü= Lüttschg-Lötscher (1926); Ru= Ruppen et al. (1979); Sp= Spinedi et al. (1995)]

Gewässer	Datenquelle	Prozess	Periode	Ereignisse
R Ritigraben		Murgang	1605 – 2002	56
1 Mattervispa	(Lü)	Hochwasser	1822 – 2002	11
2 Saaservispa	(Ru)	Hochwasser	1589 – 2002	17
3 Vispa (bei Visp)	(Lü, Be)	Hochwasser	1589 – 2002	26
4 Saltina	(Im, Lü)	Hochwasser	1331 – 2002	34
5 Rhone (ob Visp)	(Lü, Js)	Hochwasser	1331 – 2002	31
6 Lago Maggiore	(Sp)	hohe Pegelstände	1640 – 2002	25
Total				200

Die Auswahl der Gewässer umfasst die bekannten Schadensgebiete der jüngsten grossen Ereignisse (1987, 1993, 2000) (Abb.3). Archiveinträge werden berücksichtigt, falls (i) der Zeitpunkt des Ereignisses innerhalb des Kalenderjahres bekannt ist und (ii) dieses sich zwischen Juni und Oktober zugetragen hat. Es ist dies die Zeit, in welcher im Ritigraben Murgänge zu erwarten sind. Soweit möglich werden die Hochwasser nach Gletschersee-Ausbrüchen eliminiert (Lüttschg-Lötscher 1926, Ruppen et al. 1979). Die Quellenangaben zur räumlichen Verteilung der Schadenorte werden mit den Datenbanken von Pfister (1999) und Röthlisberger (1991) ergänzt. Schliesslich wird die langfristige Verteilung der Ereignisse während der Sommermonate mit den bekannten Ereignisdaten des 20. Jahrhunderts (1922-2002) in Beziehung gesetzt.

4. Resultate

4.1 Kartierung

Die detaillierte Kartierung des intermediären Murkells deckt eine Fläche von rund 32 Hektaren. Sie erlaubt eine Unterscheidung von mehr als 200 verschiedenen Ablagerungen, die mit der Muraktivität im Ritigraben zusammenhängen (Loben, Levées). Überdies konnten 12 alte Rinnen identifiziert werden (Abb. 4).

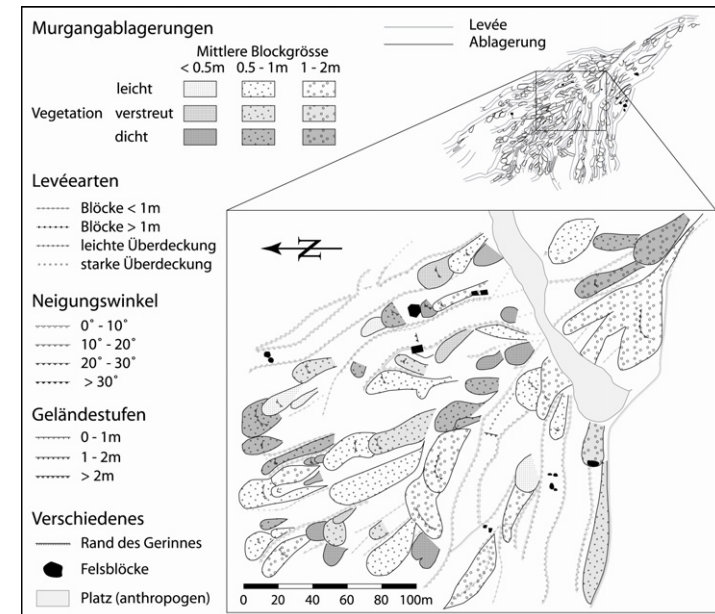


Abbildung 4: Ausschnitt der geomorphologischen Karte des intermediären Murkells mit Loben, Levées und Abflussrinnen (Originalmassstab: 1:1000).

Fluvial transportiertes Material kann auf dem Murkegel nicht ausgemacht werden. Diese Feststellung stimmt mit rezenten Beobachtungen zum Abflussverhalten des Ritigrabens überein, der nur nach Niederschlag sowie bei starker Schneeschmelze und während Tauprozessen in der aktiven Schicht (active layer) des Blockgletschers Wasser führt. Des Weiteren erweist sich die anthropogene Aktivität im unmittelbaren Einflussbereich des Kegels als sehr gering, weshalb sich die Wachstumsanomalien der Bäume ausgezeichnet mit den beeinflussenden Ablagerungen korrelieren lassen.

4.2 Dendrogeomorphologische Untersuchungen und Ereignisfrequenz

Für die Datierung der Ablagerungen auf dem intermediären Murkegel werden mehr als 1200 offensichtlich gestörte Nadelbäume (2450 Bohrkern) untersucht. Am häufigsten beprobt wird die lokal dominante Lärche. Das Alter der auf dem Kegel aufwachsenden Bäume variiert zwischen 40 (1962) und 510 Jahren (1492). Im Durchschnitt weisen die Bäume ein Alter von 250 Jahren auf.

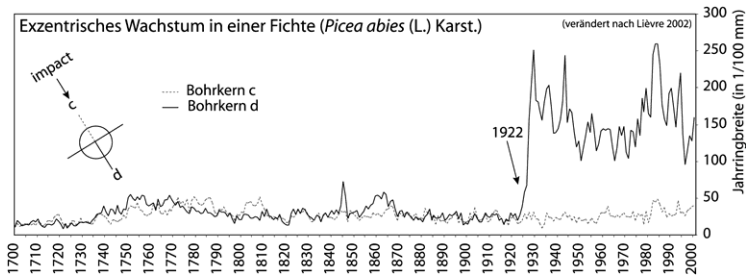


Abbildung 5: Exzentrisches Wachstum einer Fichte, die 1922 durch eine Mure schräggestellt wurde. Der Baum reagierte mit starkem Zuwachs auf der talwärtigen Seite (Bohrkern d) und bildete Druckholzzellen aus.

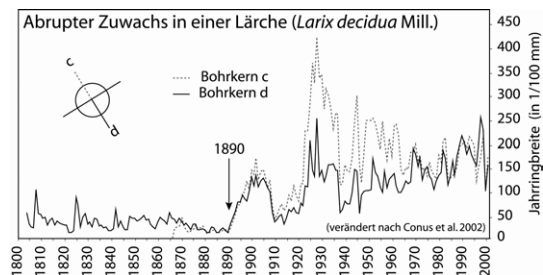


Abbildung 6: Der abrupte Zuwachs dieser Lärche nach 1890 ist auf die Elimination benachbarter Bäume und eine Verbesserung der eigenen Wachstumsbedingungen zurückzuführen.

Die ausgewählten Bäume zeigen nur in Ausnahmefällen offene oder teilweise überwallte Verletzungen (scars). Weitaus häufiger kommt dagegen die Ausbildung von Druckholz auf der talwärtigen, dem Aufprall gegenüberliegenden Seite vor. Die exemplarisch gewählte Fichte in Abbildung 5 zeigt stark exzentrisches Wachstum und die Ausbildung von Druckholzzellen als Folge einer murbedingten Störung im Jahre 1922.

Der abrupte Zuwachs in Baumproben (d.h. unvermittelte und andauernde Ausformung anormal breiter Jahrringe) stellt das Resultat besserer Wachstumsbedingungen (Licht, Feuchte, Nährstoffe) dar. Solche treten in der Regel nach der Elimination benachbarter Bäume durch Murgänge auf und wurden berücksichtigt, wenn im gleichen Jahr andere Bäume Druckholz oder traumatische Harzkanalreihen als Hinweise auf Murgänge zeigen, wie etwa die Lärche in Abbildung 6.

Insgesamt konnten durch die Analysen auf dem Murkegel 53 Ereignisse rekonstruiert werden. Von den bekannten Murgängen nach 1922 wurden sieben von zehn Ereignissen nachgewiesen und um drei bislang unbekannte Ereignisse in den 1930er Jahren ergänzt (1932, 1937, 1942). Im Gegensatz dazu konnten die Murgänge der Jahre 1991, 1994 und 2002 mit Jahrringanalysen nicht nachgewiesen werden, da die Murgänge in der aktuellen Rinne des Ritigraben abfließen und auf dem Kegel keine Spuren hinterließen. Im Gegensatz zu den Archivdaten, die lediglich bis 1922 zurückreichen, erlaubten die Jahrringanalysen eine Erweiterung der Murfrequenz bis ins Jahr 1605 (Abb. 7).

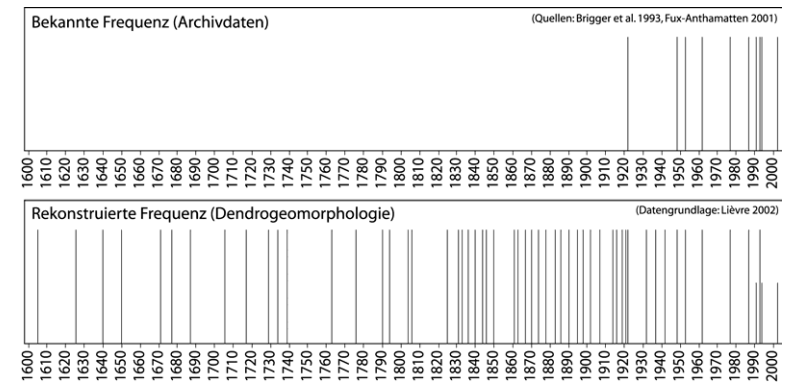


Abbildung 7: Gegenüberstellung der aus Archiven abgeleiteten (oben) und der rekonstruierten Frequenz. Die Murgänge von 1991, 1994 und 2002 (kurze Striche) haben auf dem Kegel keine Bäume beeinflusst.

4.4 Übereinstimmende Ereignisjahre

Ereignisjahre im Ritigraben und Aufzeichnungen zu Überschwemmungen in benachbarten Gewässern zeigen signifikante Ähnlichkeiten (Tab. 3). Dabei stimmen die rekonstruierten Ereignisjahre im Ritigraben in 68% der Fälle mit

Überschwemmungen in mindestens einem der anderen Einzugsgebiete überein. Dies trifft insbesondere für das späte 19. und das gesamte 20. Jahrhundert zu, wo mit der Ausnahme von 1919 alle Ereignisjahre in den anderen Einzugsgebieten repliziert sind (Stoffel et al. 2003).

Tabelle 3

Vergleich der Ritigraben-Ereignisjahre mit ausgewählten Hochwasserdaten [CP_{G₁G₂}: Ereignis in G₂ falls Ereignis in G₁?, CP_{G₂G₁}: Ereignis in G₁ falls Ereignis in G₂?]

Gewässer 1 (G ₁)	Gewässer 2 (G ₂)	CP _{G₁G₂}	CP _{G₂G₁}
Ritigraben	Mattervispa	0.25	0.55
Ritigraben	Saaservispa	0.36	0.47
Ritigraben	Vispa	0.50	0.43
Ritigraben	Saltina	0.54	0.44
Ritigraben	Rhone (oberhalb Visp)	0.61	0.40
Ritigraben	Lago Maggiore	0.35	0.38

Des Weiteren zeigt sich, dass Murgänge im Ritigraben am häufigsten auftreten, wenn die Rhone gleichzeitig Hochwasser verursacht (CP_{G₂G₁} = 0.61). In ähnlicher Weise treten Muren im Ritigraben dann regelmässig auf, wenn zeitgleich Hochwasser in der Saltina (0.54) oder der Vispa (0.50) verzeichnet werden. Bei umgekehrter Betrachtung (CP_{G₁G₂}) kann festgestellt werden, dass während des Auftretens von Murgängen im Ritigraben am häufigsten die Saltina (0.44) und die Vispa (0.43) Hochwasser führen.

4.4 Jahreszeitliche Verteilung der Muraktivität im Ritigraben

Aufgrund der Position des Anrissgebiets (2600 bis 3200 m ü. M.) treten Murgänge im Ritigraben ausschliesslich zwischen Juni und September auf. Auf die letzten vierhundert Jahre bezogen können Ereignisse vor allem im August (43%) und September (25%) erkannt werden. Diese Verteilung trifft insbesondere auf die letzten Dekaden (1948-2002) zu, wo sich mit einer Ausnahme alle Ereignisse im August und September zugetragen haben. Der „Ausreisser“ – ein Murgang im Juni 1962 – war durch rasche Schneeschmelze ausgelöst worden (Zimmermann et al. 1997). Im Gegensatz dazu haben sich zwischen dem frühen 19. Jahrhundert und 1947 alle Ereignisse im Juni, Juli (je 26%) oder August (48%) zugetragen. Kein einziges Ereignis fällt auf den Monat September. Diese Verschiebung der Muraktivität von Juni, Juli und August nach August und September kann in ähnlicher Art und Weise im 17. und 18. Jahrhundert ausgemacht werden, wo alle korrelierbaren Ereignisse im September auftreten (Stoffel et al. 2003).

4.5 Grosswetterlage und Murgänge im Ritigraben

Muster A: Lokale und regionale Ereignisse

Die vorhandene Datengrundlage zeigt auf, dass Murgänge im Ritigraben, die in den Monaten Juni und Juli auftraten, durch regionale Niederschlagsereignisse

(Sommergewitter) ausgelöst wurden. Bei dieser Art von Ereignis treten gleichzeitig Hochwasser in der Saltina, der Saaser- und/oder Mattervispa auf, im Lago Maggiore (Tessin) sind hingegen keine aussergewöhnlichen Pegelstände zu erkennen. Einzelne Ereignisse mit dieser Verteilung der Schadenorte können auch für den Monat August ausgemacht werden: So verursachte etwa ein Sommergewitter im Jahre 1850 (Abb. 8) nebst Muraktivität im Ritigraben grössere Schäden in den Einzugsgebieten der Saltina und der Vispa (Röthlisberger 1991). Vergleichbare Schadenmuster treten auch im Juni 1863 und im September 1948 (Berchtold 2002) auf. Im Gegensatz dazu scheinen sich bei den Ereignissen im August 1831, 1921, 1922 sowie im Juli 1932 die Schadenorte auf den Ritigraben und die Saltina zu begrenzen.

Bei anderen Ereignissen im Ritigraben scheinen die Niederschläge nur auf das Innere Nikolaital (d.h. zwischen St. Niklaus bis Zermatt) begrenzt zu sein (lokale Ereignisse). Ein solches Schadenmuster zeigt sich 1878, 1907 und im Juni 1942, wo Murgänge sowohl im Ritigraben wie auch im Wildibach bei Randa (Gers 1998, Zurbriggen 1952) auftraten. Im Gegensatz dazu muss aufgrund der unterschiedlichen Disposition und der Gletscherseeausbrüche im Weingartensee (Huggel et al. submitted) in Frage gestellt werden, ob zwischen dem Täschbach-Murgang vom Juli 1870 (Zurbriggen 1952) und den Murgängen von 1870 im Ritigraben ein Zusammenhang besteht.

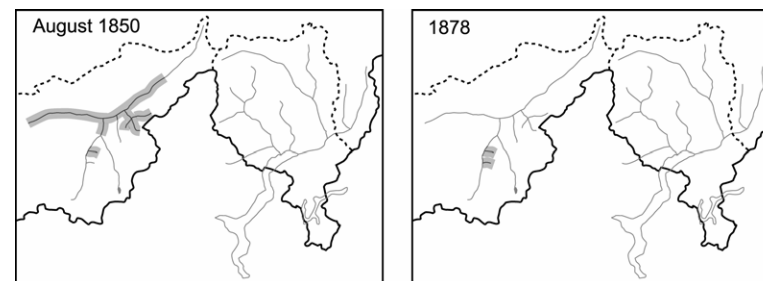


Abbildung 8: Räumliches Muster der Hochwasser- und Murgangaktivität während eines räumlich begrenzten Ereignisses (Oberwallis) im August 1850. Bei den Ereignissen von 1878 beschränkten sich die Schäden auf die murfähigen Rinnen Wildibach (Gers 1998) und Ritigraben.

Muster B: Grossräumige Ereignisse mit Murgängen im Ritigraben

Bei den „grossräumlichen Ereignissen“ führen die Rhone, der Ticino, die Saltina wie auch die Vispa gleichzeitig Hochwasser. Im Lago Maggiore werden hohe Pegelstände gemessen und im Ritigraben treten Murgänge auf. Das bislang jüngste grosse Ereignis mit einem derartigen Schadenmuster trat am 24. September 1993 auf (Abb. 9), brachte im Ritigraben die grösste bekannte Murserie hervor und verursachte beidseits des südlichen Alpenhauptkammes grosse Schäden (Röthlisberger 1994). Von der Verteilung der Schadenorte kann auch der 24. September 1994 zu dieser Kategorie gezählt werden. Das Ausmass der Schäden lag jedoch deutlich unter jenen des Vorjahres.

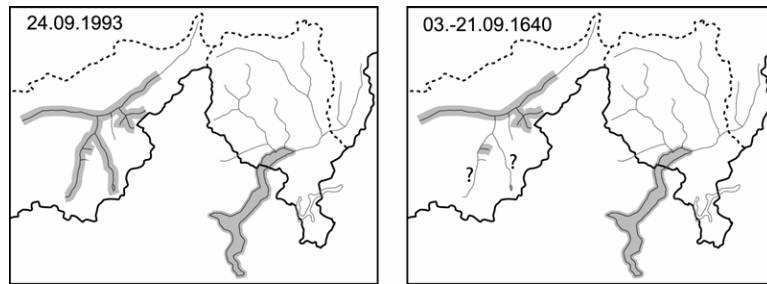


Abbildung 9: Verteilung der Schadensorte während der Unwetter am 24. September 1993. Das Schadenmuster von 1993 scheint den Ereignissen im September 1640 zu entsprechen. Allerdings liegen für die Matter- und die Saaser-vispa keine Daten vor (beide mit "?" gekennzeichnet).

Im 17. Jahrhundert zeigen etwa die Unwetter vom September 1640 (Abb. 9) ein ähnliches Bild. Dieselben Schadenmuster lassen sich überdies im Herbst 1705, im September 1740, im August 1834, im August 1846, im August 1860, im August 1868 und in beschränktem Masse im August 1987 (Fibicher 1993, Petrascheck 1989, Pfister 1999) erkennen.

Muster C: Grossräumige Ereignisse ohne Murgänge im Ritigraben

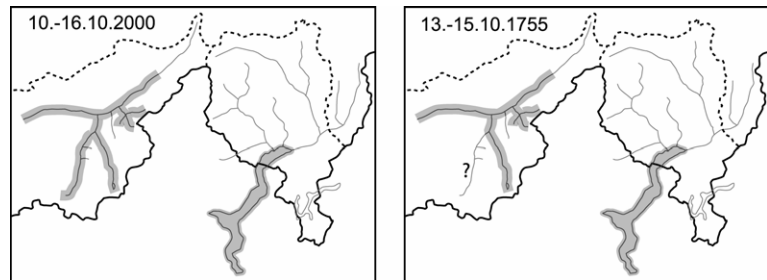


Abbildung 10: Schadenmuster während der Ereignisse im Oktober 2000. Im Gegensatz zu den Ereignissen von 1993 und 1987 fehlen Murgänge im Ritigraben. Die räumliche Muster scheinen jenen vom Oktober 1755 zu entsprechen. Wiederum fehlen Archivdaten für die Mattervispa (mit "?" gekennzeichnet).

Im Gegensatz zu Muster B bleiben bei diesen Unwettern Murgänge aus hochgelegenen Anrissnischen aus (Abb. 10). Das jüngste Beispiel mit einer solchen Verteilung der Schadensorte trat im Oktober 2000 auf, als in der Rhone und ihren Zuflüssen extreme Abflusswerte registriert wurden. Währenddem auch der Lago Maggiore hohe Pegelstände verzeichnete (BWG 2002), blieben im Ri-

tigraben wie auch in anderen murfähigen Rinnen mit Anrissnischen im Periglazialbereich Ereignisse aus.

Dasselbe Phänomen lässt sich im Oktober 1755, 1778 und im Oktober 1868 ausmachen, wo Überschwemmungen gleichzeitig im Ticino, Lago Maggiore und der Rhone verzeichnet wurden (Petrascheck 1989, Pfister 1999). Die Überschwemmungen im Mai 1872 (Rhone, Ticino, Lago Maggiore, Alpenrhein) sind ein weiteres schönes Beispiel für eine weit verbreitete Hochwasseraktivität ohne Loslösung von Murgängen aus hochgelegenen Anrissgebieten.

5. Diskussion

In der vorliegenden Untersuchung ermöglichte die Kombination von detaillierter geomorphologischer Kartierung mit dendrogeomorphologischen Analysen eine beachtliche Erweiterung der bekannten Murfrequenz (1922 – 2002) bis zurück ins Jahr 1605. Die rekonstruierte Frequenz wird dabei im Wesentlichen durch das Alter der aufwachsenden Bäume begrenzt. Eine weitere Einschränkung liegt darin begründet, dass kleine oder in eingetieften Rinnen verlaufende Murschübe nicht in jedem Fall Bäume verletzen oder Spuren auf dem Kegel hinterlassen (müssen). So haben etwa die Ereignisse von 1991, 1994 und 2002 – allesamt in Archiven dokumentiert oder direkt im Feld beobachtet – offensichtlich keine Spuren auf dem Murkegel hinterlassen und konnten daher nicht mit dendrogeomorphologischen Methoden nachgewiesen werden. Auch wenn die mit Jahrringen rekonstruierte Ereigniszahl eine realistische Annäherung an die Realität und die vergangene Murfrequenz im Ritigraben darstellen dürfte, kann sie keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben und muss daher als minimale Frequenz betrachtet werden.

In ähnlicher Art und Weise sind auch die berücksichtigten Archivdaten der benachbarten Gewässer unvollständig. Als besonders lückenhaft müssen das 17. und 18. Jahrhundert gewertet werden, wo eine anormal grosse Anzahl rekonstruierter Murereignisse im Ritigraben in keinem der anderen Einzugsgebiete repliziert ist. Es muss angenommen werden, dass nebst der unvollständigen Erfassung grösserer Hochwasser auch viele kleinere Ereignisse gänzlich unbeachtet blieben. Andererseits ist aber auch denkbar, dass während dieser Periode Murereignisse im Ritigraben vermehrt durch lokale „triggers“ ausgelöst wurden, wie dies in der jüngeren Vergangenheit am Beispiel rasch abschmelzenden Schnees im Juni 1962 vermutet wird (Zimmermann et al. 1997). Ebenso bleibt offen, wie viele Murereignisse durch lokale Sommergewitter verursacht wurden und in anderen Einzugsgebieten ohne Folgen blieben. Ein letztes Ereignis dieser Art datiert vom 28. August 2002.

Trotz dieser Einschränkungen stimmen die rekonstruierten Ereignisse im Ritigraben – im Vergleich etwa zur Arbeit im benachbarten Wildibach bei Randa (Gers 1998) – sehr gut mit den Hochwasserdaten der Einzugsgebiete im Oberwallis und den Pegelaufzeichnungen am Lago Maggiore überein. Gut übereinstimmende Resultate liefern Ereignisse mit jener Wetterlage, die im September 1993 grosse Schäden beidseits des Alpenkamms verursacht hat. Dabei staute sich während mehrerer Tage ein ausgeprägtes, über dem Golf von Genua liegendes Tiefdruckgebiet an den Schweizer Alpen und führte in den südlichen Seitentälern des Oberwallis zu intensivem Niederschlag bei hoher Nullgradgrenze (Grebner 1994). Aus den rekonstruierten Murgang- und Hochwasserda-

ten geht hervor, dass diese grossräumlichen Ereignisse mit jeweils denselben Schadenorten während der letzten vier Jahrhunderte regelmässig auftraten. Während für das 20. Jahrhundert dieses Muster nur im August 1987, September 1993 und bis zu einem gewissen Grad im September 1994 nachgewiesen werden konnte, weist die Rekonstruktion und der Datenabgleich – trotz begrenzter Datenlage – auf ein merklich häufigeres Vorkommen derartiger Wetterlagen im 18. und 19. Jahrhunderts hin.

Während der Unwetter im Oktober 2000 herrschte in etwa die gleiche Grosswetterlage. Im Gegensatz zu den 1993er-Ereignissen traten im Ritigraben jedoch keine Murgänge auf. Das Ausbleiben von Murgängen aus dem Periglazialbereich zwischen dem 10. und 16. Oktober 2000 liegt in der Nullgradgrenze beidseits des südlichen Alpenhauptkammes begründet, welche zu Beginn der intensiven Niederschläge auf 3200 m ü. M. lag und alsdann rasch absank. Zur selben Zeit lag die lokale Schneefallgrenze auf 2800 m ü. M. (Grebner & Hegg 2002). Aus diesem Grund war der Oberflächenabfluss im obersten Segment des Ritigraben-Einzugsgebiets sowohl zeitlich wie auch räumlich stark begrenzt und vermochte im Anrissgebiet auf 2600 m ü. M. keine Murgänge auszulösen (Abb. 1). Für dieses grossräumliche Schadenmuster lassen sich für das 20. Jahrhunderts keine Pendanten finden. Im Gegensatz dazu deuten die Daten des 18. und 19. Jahrhunderts auf ein regelmässigeres Auftreten derartiger Ereignisse hin.

Schliesslich zeigt die rekonstruierte Murgangfrequenz, dass eine „Häufung“ von Ereignissen, wie sie nach 1987 festgestellt wurde, keine neue Erscheinung darstellt. Vielmehr können in der Vergangenheit weitaus aktivere Phasen ausgemacht werden. Ein direkter Zusammenhang zwischen dem Klimawandel und der Anzahl von Murgangereignissen, wie dies etwa Haeblerli & Beniston (1998) vermuten, kann im Ritigraben nicht bestätigt werden. Ebenso muss aufgrund der räumlichen Verteilung der Ablagerungen einzelner Ereignisse auf dem Murkegel davon ausgegangen werden, dass die Grösse vergangener Ereignisse – wie beispielsweise 1763, 1825, 1846, 1863, 1870, 1898 und 1922 – durchaus mit der Magnitude von 1993 ($60'000 \text{ m}^3$) vergleichbar ist und der Ritigraben auch in den vergangenen Jahrhunderten „grosse“ Ereignisse gekannt hat.

6. Schlussfolgerungen

Rekonstruierte Murgangdaten im Ritigraben stimmen sehr gut mit Archivinformationen benachbarter Gewässer überein. Insbesondere die grossräumlichen Ereignisse im August und September sind nahezu perfekt in den rekonstruierten Ritigraben-Ereignissen repliziert. Das Ausbleiben von Murgangereignissen während intensiver Niederschlagsperioden im Spätherbst – wie im Oktober 2000 gesehen – erscheint im langfristigen Vergleich nicht aussergewöhnlich und auf die hohe Lage des Anrissgebietes und das Vorhandensein von Permafrost zurückzuführen zu sein. Überdies muss die Gewichtung der Ereignisse im späten 20. Jahrhundert grundlegend revidiert werden. Ereignisse, die mit jenem von 1993 vergleichbar sind, stellen für den Ritigraben keine neue Erscheinung dar und traten auch in der Vergangenheit auf. Eine Häufung von Ereignissen innert weniger Jahr(zehnt)en kann auch in der Mitte des 19. Jahrhunderts beobachtet werden, als sechs (grössere) Ereignisse zwischen 1834 und 1868 verzeichnet werden. Da die subtile Verschiebung der Murgangaktivität von Juni, Juli und

August (1800-1947) nach August und September (1948-2002) im vorliegenden Fallbeispiel die einzige eindeutig erkennbare Reaktion auf das sich ändernde Klima auf hochgelegenen Standorten (Beniston 2003, Diaz et al. 1997) darzustellen scheint, müssten sich künftige Analysen vermehrt auch mit diesem Aspekt der Ereignisse auseinandersetzen.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich herzlich beim Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG- Projekt 804.3189.002.01.01), der Dienststelle für Wald und Landschaft, der Dienststelle für Strassen- und Flussbau (beide Kanton Wallis) und den Ritigraben-Gemeinden St. Niklaus und Grächen für die finanzielle Unterstützung der vorliegenden Untersuchung. Schliesslich sei auch Prof. Dr. Hans Kienholz für das kritische Review gedankt.

Literatur

- Alestalo, J. 1971. Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. Societas Geographica Fenniae, *Fennia* 105.
- Baumann, F. & Kaiser, K.F. 1999. The Muletta Debris Fan, Eastern Swiss Alps: A 500-year Debris Flow Chronology. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 31/2: 128-134.
- Beniston, M. 2003. Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. *Climatic Change* 59 (1-2): 5-31.
- Berchtold, S. 2002. Zur Geschichte der Vispa-Hochwasser. *Walliser Jahrbuch* 71: 59-65.
- Bloetzer, W. & Stoffel, M. 1998. Klimawandel als Herausforderung für die Raumplanung der Vispertäler. In: Bloetzer, W., Egli, T., Petrascheck, A., Sauter, J. & Stoffel, M. *Klimaänderungen und Naturgefahren in der Raumplanung – Methodische Ansätze und Fallbeispiele*. Zürich: vdf Hochschulverlag AG: 127-200.
- Bräker, O.U. 2002. Measuring and data processing in tree-ring research – a methodological introduction. *Dendrochronologia* 20/1-2: 203-216.
- Brigger, K., Brigger, B., Chastonay, V., Lagger, R., Manz, R., Walter, R. & Walter, S. 1993. *Naturlehrpfad Grächen*. Denges: Stiftung „Greechu ischi Heimat“.
- BWG, 2002. Hochwasser 2000 – Les crues 2000. Ereignisanalyse / Fallbeispiele. *Berichte des Bundesamtes für Wasser und Geologie, Serie Wasser* No 2. Bern.
- Cook, E. R. & Kairiukstis, L. A. (eds.) 1990. *Methods of dendrochronology – Applications in the environmental sciences*. London: Kluwer.
- Diaz, H. F., Beniston, M., & Bradley, R. S. 1997. *Climatic Change at High Elevation Sites*. Dordrecht, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Dikau, R., Gärtner, H., Holl, B., Kienholz, H., Mani, P. & Zimmermann, M. 1996. Untersuchungen zur Murgangaktivität im Mattertal, Wallis, Schweiz. *Proceedings INTERPRAEVENT 1996*, Band 1: 397-408.
- Fantucci, R. & Sorriso-Valvo, M. 1999. Dendrogeomorphological analysis of a slope near Lago, Calabria (Italy). *Geomorphology* 30: 165-174.

- Fibicher, A. 1993. *Walliser Geschichte. Die Neuzeit – Ereignisse und Entwicklungen 1520 – 1991*. Band 3.1. Sitten: Kantonales Erziehungsdepartement.
- Fux-Anthamatten, S. 2001. *Familien- und Dorfchronik von Grächen 1900 – 2000*. Grächen: Eigenverlag.
- Gardaz, J.M., Lugon, R. & Monbaron, M. 1995. Prospection du pergélisol de montagne à l'aide de la méthode BTS (Alpes Valaisannes, Suisse). *UKPIK* 10: 93-105.
- Gärtner, H. & Stoffel, M. 2002. Detailed mapping and dendrogeomorphological analysis of a debris flow torrent in Switzerland. *Proceedings INTERPRAEVENT 2002*, Vol.1 : 199-207.
- Gers, E. 1998. *Dendrogeomorph. Frequenzanalyse von Murgangereignissen am Beispiel des Wildibaches im Mattertal, Wallis, Schweiz*. Unveröffentlichte Diplomarbeit. Geographische Institute der Universität Bonn.
- Grebner, D. 1994. Meteorologische Analyse des Unwetters von Brig und Saas Almagell vom 24. September 1993. *wasser, energie, luft* 86/1-2: 41-44.
- Grebner, D. & Hegg, C. 2002. Temperaturverlauf und Schneefallgrenze. *Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 2*: 42-46.
- Haeberli, W. & Beniston, M. 1998. Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps. *Ambio* 27/4: 258-265.
- Huggel, C., Haeberli, W., Kääh, A. & Bieri, D. submitted. Glacier-related hazards in the Swiss Alps: assessing the validity of empirical relations with four real-case test studies. *Journal of Glaciology*.
- Imboden, G. 1996. Die wilde Saltina. Baumeisterin des Städtchens Brig. *Blätter aus der Walliser Geschichte XXVIII*: 121-163.
- Jossen, E. 2000. *Naters: das grosse Dorf im Wallis*. Visp: Rotten Verlag.
- Kienholz, H. & Krummenacher, B. 1995. *Empfehlungen - Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene*. BUWAL & Bundesamt für Wasserwirtschaft. Mitteilungen 6, Bern.
- Lugon, R. & Monbaron, M. 1998. *Stabilité des terrains meubles en zone de pergélisol et changements climatiques. Deux études de cas en Valais: Le Ritigraben (Mattertal) et la moraine du Dolent (Val Ferret)*. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.
- Lütschg-Lötscher, O. 1926. Ueber Niederschlag und Abfluss im Hochgebirge: Sonderdarstellung des Mattmarkgebietes: ein Beitrag zur Fluss- und Gletscherkunde der Schweiz. Zürich: Schweiz. Wasserwirtschaftsverband.
- Naef, F., Haeberli, W. & Jäggi, M. 1989. Morphological changes in the Swiss Alps resulting from the 1987 summer storms. *Hydrology of Disasters, Proceedings of the WMO Technical Conference*: 36-42.
- Petrascheck, A. 1989. Die Hochwasser 1868 und 1987. Ein Vergleich. *wasser, energie, luft – eau, énergie, air* 81/1-3: 1-8.
- Pfister, C. 1999. *Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen*. Bern, Stuttgart, Wien: Verlag Paul Haupt.
- Rebetez, M., Lugon, R. & Baeriswyl, P.A. 1997. Climatic Change and Debris Flows in High Mountain Regions: The Case Study of the Ritigraben Torrent (Swiss Alps). *Climate Change* 36: 371-389.

- Rickenmann, D., Hürlimann, M., Graf, C., Näf, D. & Weber, D. 2001. Murgang-Beobachtungsstationen in der Schweiz. *wasser energie luft – eau, énergie, air* 93/1-2: 1-8.
- Rickenmann, D. & Zimmermann, M. 1993. The 1987 debris flows in Switzerland: documentation and analysis. *Geomorphology* 8/2-3: 175-189.
- Röthlisberger, G. 1994. Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1993. *wasser, energie, luft – eau, énergie, air* 86/1-2: 1-8.
- Röthlisberger, G. 1991. Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. *Berichte der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft* 330. Birmensdorf.
- Ruppen, P.J., Imseng, G. & Imseng, W. 1979. *Saaser Chronik 1200-1979*. Saas-Fee.
- Schweingruber, F.H. 1996. *Tree Rings and Environment. Dendroecology*. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL/FNP. Bern, Stuttgart, Wien: Verlag Paul Haupt.
- Schweingruber, F. H. 2001. *Dendrokologische Holzanatomie*. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. Bern, Stuttgart, Wien: Verlag Paul Haupt.
- Spinedi, F., Kappenberger, G., Sartori, S., Ambrosetti, P. & Zala, E. 1995. Le alluvioni del 1993 sul versante sudalpino. *Rapporti di lavoro dell'ISM* 186. Zürich.
- Stoffel, M., Gärtner, H., Lièvre, I. & Monbaron, M. 2003. Comparison of reconstructed debris flow event years (Ritigraben, Switzerland) and existing flooding data in neighboring rivers. *Proceedings 3rd International Conference on Debris-Flow Hazard Mitigation 2003*: 243-253.
- Strunk, H. 1995. *Dendrochronologische Methoden zur Ermittlung der Murgangfrequenz und Beispiele ihrer Anwendung*. Regensburg: Roderer Verlag.
- VAW, 1992. *Murgänge 1987*. Dokumentation und Analyse im Auftrag des Bundesamtes für Wasserwirtschaft. Bericht Nr. 97.6, Zürich.
- Zimmermann, M., Mani, P., Gamma, P., Gsteiger, P., Heiniger, O. & Hunziker, G. 1997. *Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz*. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.
- Zurbriggen, J. 1952. *Täsch. Familienstatistik, Chronik und Kirche*. Brig-Glis: Buchdruckerei Tscherrig-Tröndle.

Adresse der Autoren

Markus Stoffel, Igor Lièvre, Delphine Conus, Michael Griching, Holger Gärtner, Michel Monbaron, Dendrogeomorphologisches Labor, Departement Geowissenschaften, Einheit Géographie, Université Fribourg, chemin du Musée 4, 1700 Fribourg