

Räumlich-zeitliche Rekonstruktion der
Murgangaktivität im Val Brüna, Schweizerischer
Nationalpark

Masterarbeit der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Bern

vorgelegt von
Andrea Häberli
2013

Leiter der Arbeit
PD Dr. Markus Stoffel

Zusammenfassung

Murgänge stellen einen der wichtigsten geomorphologischen Prozesse in den Gebirgsregionen dar und verursachen häufig Schäden an Verkehrswegen und Infrastruktur. Mit Hilfe von dendrogeomorphologischen Methoden können Informationen über vergangene Murgangereignisse gewonnen werden, was dem besseren Verständnis des Prozesses dient.

Im Umfang dieser Studie wurde der Murgang im Val Brüna (GR) im Schweizerischen Nationalpark untersucht. Das Ziel war die räumlich-zeitliche Rekonstruktion der Murgangaktivität in einem natürlichen System. Dazu wurden insgesamt 164 *Pinus mugo* (Bergföhren) im Bereich des Murkegels beprobt. Die beprobten Bäume wiesen ein Alter von 48 bis 314 Jahren (Durchschnitt: 215 Jahre) auf. Anhand der in den Bäumen registrierten Wachstumsstörungen konnten 32 Murgangereignisse seit 1789 rekonstruiert werden, wobei für die Zeit von Ende des 19. Jahrhunderts bis Anfang des 20. Jahrhunderts weniger Murgänge registriert wurden. Die meisten Wachstumsstörungen traten in Form von Wachstumsschüben (51%) und Wachstumseinbrüchen (26.1%) auf, Verletzungen waren eher selten.

Die räumliche Ausbreitung der Murgänge hat sich mit der Zeit verändert. Der Verlauf der Hauptrinne scheint sich verschoben zu haben, wobei sich die Mündung immer weiter Richtung Westen verschoben hat und andere Ausbruchsstellen aktiv waren.

Der Vergleich der Ereignisjahre mit den Niederschlagsdaten ergab keine deutliche Korrelation von Starkniederschlägen und Murgangereignissen. Dies legt nahe, dass die Verfügbarkeit von Lockermaterial die Entstehung von Murgängen im Val Brüna limitiert und bei genügend vorhandenem Material bereits kleinere Niederschlagsmengen Murgänge auslösen können.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Zusammenfassung | I |
| Inhaltsverzeichnis | II |
| Abbildungsverzeichnis | V |
| Tabellenverzeichnis..... | I |
| 1. Einleitung..... | 1 |
| 2. Grundlagen..... | 2 |
| 2.1 Prozessbeschreibung..... | 2 |
| 2.1.1 Murgang als geomorphologischer Prozess | 2 |
| 2.2 Dendrogeomorphologie..... | 5 |
| 2.2.1 Begriffserklärung | 5 |
| 2.2.2 Geschichte der Jahrringforschung..... | 5 |
| 2.2.3 Anwendungsfelder | 6 |
| 2.3 Baumwachstum..... | 6 |
| 2.4 Interaktion Wald – Murgang..... | 9 |
| 2.4.1 Einfluss von Murgängen auf die Bäume | 9 |
| 3. Untersuchungsgebiet | 13 |
| 3.1 Geographische Lage..... | 13 |
| 3.1.1 Der Schweizerische Nationalpark (SNP) | 14 |
| 3.2 Geologie..... | 15 |
| 3.2.1 Die ostalpinen Decken..... | 15 |
| 3.2.2 Die Engadiner Dolomiten..... | 16 |
| 3.2.3 Gesteinsformationen im Val Brüna | 18 |
| 3.3 Morphologie des Schweizerischen Nationalparks | 21 |
| 3.4 Murgangprozesse im Val Brüna..... | 23 |
| 3.5 Klima | 27 |
| 3.6 Vegetation | 28 |
| 3.6.1 Pinus mugo | 28 |
| 4. Methoden | 31 |
| 4.1 Dendrogeomorphologische Rekonstruktion von Murgängen | 31 |

| | |
|--|----|
| 4.1.1 Probenahme..... | 31 |
| 4.1.2 Auswertung der Proben | 35 |
| 4.1.3 Räumlich-zeitliche Rekonstruktion von Murgangereignissen | 36 |
| 4.1.4 Alterskorrekturen..... | 38 |
| 4.2 Archivdatensuche..... | 39 |
| 4.3 Analyse der Klimadaten..... | 39 |
| 5. Resultate..... | 40 |
| 5.1 Murgangaktivität..... | 40 |
| 5.1.1 Wachstumsstörungen | 40 |
| 5.1.2 Baumalter..... | 40 |
| 5.1.3 Ereignisjahre..... | 42 |
| 5.1.4 Ereignisfrequenz | 44 |
| 5.1.5 Treffer pro Baum..... | 45 |
| 5.1.6 Räumliche Ausbreitung der Ereignisse | 47 |
| 5.1.7 Lawine von 1951 | 49 |
| 5.3 Klimadaten..... | 51 |
| 6. Diskussion..... | 59 |
| 6.1 Methoden..... | 59 |
| 6.1.1 Auswahl der Bäume | 59 |
| 6.1.2 Probenahme..... | 60 |
| 6.1.3 Auswertung der Proben | 61 |
| 6.1.4 Räumlich-zeitliche Rekonstruktion | 62 |
| 6.1.5 Alterskorrektur..... | 62 |
| 6.1.6 Analyse der Klimadaten | 63 |
| 6.2 Resultate | 63 |
| 6.2.1 Wachstumsstörungen | 63 |
| 6.2.2 Baumalter..... | 64 |
| 6.2.3 Ereignisjahre und Frequenz | 64 |
| 6.2.4 Räumliche Ausbreitung der Ereignisse und Treffer pro Baum..... | 66 |
| 6.2.5 Lawine von 1950/51 | 69 |
| 6.3 Vergleich der Muren im Val Brüna mit Archivdaten | 69 |

| | |
|--|-----|
| 6.4 Klimadaten..... | 81 |
| 7. Schlussfolgerungen..... | 83 |
| 8. Dank..... | 84 |
| 9. Literaturverzeichnis..... | 85 |
| 10. Anhang..... | 90 |
| 10.1 Luftbilder der Ereignisjahre..... | 105 |
| Erklärung..... | 113 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Hauptbestandteile eines Murgangs in einem Drei-Phasen-Diagramm im Vergleich zu anderen schnellen Massenbewegungen (Rickenmann 2001)..... | 3 |
| Abbildung 2: Typischer Längsschnitt durch einen Murenschub mit grobblockiger Front (Rickenmann 2001)..... | 4 |
| Abbildung 3: Jahrringe mit Früh- und Spätholzzellen in Pinus mugo. Das Frühholz hat eine hellere Farbe als das Spätholz (WSL 2013)..... | 7 |
| Abbildung 4: Baum mit einer Verletzung am Stamm (links). Querschnitt durch einen Stamm mit Verletzung (rechts) (Stoffel & Bollschweiler 2009). | 10 |
| Abbildung 5: Baum mit ge-krümmtem Stamm wegen Schräg-stellung durch einen Murgang. | 10 |
| Abbildung 6: Verschüttete Bäume. | 11 |
| Abbildung 7: Baum mit freigelegten Wurzeln..... | 12 |
| Abbildung 8: Geographische Lage des Val Brüna im Schweizerischen Nationalpark, Kanton Graubünden (Swisstopo 2013, archicultura 2013)..... | 13 |
| Abbildung 9: Luftbild des Untersuchungsgebiets (Swisstopo 2013)..... | 13 |
| Abbildung 10: Blick auf das Val Brüna mit Murgangkegel und den Munt Chavagl..... | 14 |
| Abbildung 11: Tektonische Karte der Engadiner Dolomiten (Trümpy et al. 1997)..... | 17 |
| Abbildung 12: Sammelprofil der S-charl-Decke (Trümpy et al. 1997)..... | 18 |
| Abbildung 13: Geologische Karte des Untersuchungsgebiets (Doessegger 1987)..... | 20 |
| Abbildung 14: Geologische Karte des Val Brüna (Doessegger 1987)..... | 23 |
| Abbildung 15: Oberer Bereich des Einzugsgebietes mit eingezeichneten Murgang- und Zubringerrinnen (Stolz 2006)..... | 24 |
| Abbildung 16: Oberflächendarstellung des Untersuchungsgebiets. Die Ablagerungsdeltas mit verschiedenen eingeschnittenen Rinnen sind gut erkennbar (Swisstopo 2013)..... | 25 |
| Abbildung 17: Oberes Einzugsgebiet..... | 26 |
| Abbildung 18: Murgangrinne mit Blickrichtung hangaufwärts bei der Biegung der Rinne. | 26 |
| Abbildung 19: Heutige Bewaldungssituation im Gebiet des Val Brüna (Schweizerischer Nationalpark 2012) | 28 |
| Abbildung 20: Verbreitung der Bergföhre in der Schweiz (Brändli 1998)..... | 29 |
| Abbildung 21: Karte mit den eingetragenen Positionen der beprobten Bäume. | 32 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 22: Anbohrhilfe, Zuwachsbohrer und Lasche mit Bohrkern..... | 33 |
| Abbildung 23: Baumscheibe mit den gekennzeichneten Bohrrichtungen a,b,c und d. Die c-Seite ist dabei hangaufwärts gerichtet und somit dem Prozess zugewandt (Stoffel et al. 2005)..... | 34 |
| Abbildung 24: Die optimale Position zur Beprobung einer Verletzung. (Stoffel & Bollschweiler 2008). | 34 |
| Abbildung 25: LINTAB Messtisch und Stereomikroskop. | 35 |
| Abbildung 26: Altersverteilung der beprobten Bäume | 41 |
| Abbildung 27: Rekonstruierte Murgangfrequenz im Val Brüna. | 44 |
| Abbildung 28: Anzahl rekonstruierte Ereignisjahre und mögliche Ereignisjahre pro Dekade. Die grüne Linie stellt wiederum die Anzahl der lebenden, beprobten Bäume an. | 45 |
| Abbildung 29: Räumliche Darstellung der Anzahl Treffer pro Baum. | 46 |
| Abbildung 30: Darstellung der 4 Ausbruchsstellen vergangener Murgänge (rot) und den beiden momentan aktiven Rinnen (schwarz). | 47 |
| Abbildung 31: Räumliche Ausbreitung der Murgänge von 1839, 1859, 1947 und 1998.. | 48 |
| Abbildung 32: Räumliche Verteilung der durch die Lawine von 1950/51 verletzten Bäume. | 50 |
| Abbildung 33: Entwicklung der durchschnittlichen Frühlingstemperatur von 1959 bis 2012..... | 51 |
| Abbildung 34: Klimadiagramm von 1963..... | 52 |
| Abbildung 35: Klimadiagramm von 1967..... | 53 |
| Abbildung 36: Klimadiagramm von 1977..... | 53 |
| Abbildung 37: Klimadiagramm von 1982. Der rote Pfeil markiert die aufgezeichneten Rüfenniedergänge im Münstertal am 16. August. | 54 |
| Abbildung 38: Klimadiagramm von 1993. Der rote Pfeil markiert die aufgezeichneten Murgänge vom 3. und 4. August. | 55 |
| Abbildung 39: Klimadiagramm von 1995..... | 55 |
| Abbildung 40: Klimadiagramm von 1996..... | 56 |
| Abbildung 41: Klimadiagramm von 1998..... | 57 |
| Abbildung 42: Komadiagramm von 2003. Die roten Pfeile markieren die aufgezeichneten Murgangereignisse am 12. Juni und 16. Juli..... | 57 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 43: Klimadiagramm von 2006. Der rote Pfeil markiert das Datum der registrierten Murgänge im Schweizerischen Nationalpark..... | 58 |
| Abbildung 44: Murgangrinne unterhalb der Kurve. | 66 |
| Abbildung 45: Möglicher Verlauf von frühern Hauptmurgangrinnen..... | 67 |
| Abbildung 46: Luftbilder vom Val Brüna zwischen 1959 und 1997 (Swisstopo (b), 2013). | 68 |
| Abbildung 47: Ort und Stärke der Unwetterschäden von September bis Oktober 1839 (Röthlisberger 1991). | 70 |
| Abbildung 48: Ort und Stärke der Unwetterschäden von Ende September bis Anfang Oktober 1868 (Röthlisberger 1991). | 72 |
| Abbildung 49: Ort und Stärke der Unwetterschäden von Ende Juli bis Anfang August 1874 (Röthlisberger 1991). | 72 |
| Abbildung 50: Ort und Stärke der Unwetterschäden vom 25. bis 28. August 1834 (Röthlisberger 1991). | 75 |
| Abbildung 51: Ort und Stärke der Unwetterschäden vom September 1920 (Röthlisberger 1991). | 76 |
| Abbildung 52: Ort und Stärke der Unwetterschäden vom 24. Und 25. September 1927 (Röthlisberger 1991). | 77 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Tabelle 1: Temperatur und Niederschläge der Wetterstation Buffalora (816'494/170'225), Normperiode 1981-2010 (MeteoSchweiz 2013)..... | 27 |
| Tabelle 2: Durchschnittliche, saisonale Niederschlagssummen und Temperaturen bei der Station Buffalora. | 27 |
| Tabelle 3: Anzahl beobachteter Wachstumsstörungen..... | 40 |
| Tabelle 4: Klassifikation der analysierten Jahre in Ereignisjahre und mögliche Ereignisjahre. | 43 |
| Tabelle 5: Anzahl Bäume mit 0 bis 6 Treffern pro Baum..... | 45 |
| Tabelle 6: Zusammenfassung des Vergleichs von rekonstruierten Ereignisjahren und den Archivdaten. | 80 |
| Tabelle 7: Ereignistabelle mit allen analysierten Jahren. | 90 |
| Tabelle 8: Liste aller analysierten Jahre. | 98 |
| Tabelle 9: Korrigierte Alter der Bäume. | 100 |

1. Einleitung

In Gebirgsregionen wie den Schweizer Alpen stellen Murgänge einen der wichtigsten geomorphologischen Prozesse dar. Die oft unvorhersehbaren Murgangereignisse verursachen häufig Schäden an Verkehrswegen, Gebäuden oder kosten Menschenleben (Bollschweiler et al. 2008, Bollschweiler & Stoffel 2010a, Stoffel et al. 2011). Zurzeit wird auch diskutiert, welchen Einfluss die Klimaveränderung auf Intensität und Häufigkeit von Murgangereignissen in der Zukunft haben könnte (Bollschweiler & Stoffel 2010b, Stoffel et al. 2011) Zur Verbesserung der Gefahrenabschätzung von Murgängen ist es deshalb wichtig, das räumliche und zeitliche Vorkommen vergangener Ereignisse zu verstehen. Es gibt jedoch nur wenige Daten über vergangene Murgangereignisse (Bollschweiler & Stoffel 2010a,b). Die Dendrogeomorphologie stellt hier eine gute Möglichkeit dar, um Informationen über vergangene Murgangereignisse zu sammeln.

Im Umfang dieser Arbeit wurde ein Murgangkegel im Val Brüna untersucht, welches im Kanton Graubünden liegt. Da sich das Untersuchungsgebiet im Schweizerischen Nationalpark befindet, werden weder Wald noch das Mursystem von Menschen beeinflusst und es herrschen natürliche Bedingungen. Für die Rekonstruktion der Ereignisse wurden ausschliesslich Bergföhren (*Pinus mugo*) beprobt, da dies die vorherrschende Baumart im Untersuchungsgebiet darstellt.

Durch den Vergleich der dendrogeomorphologischen Resultate mit Klimadaten der nahegelegenen Wetterstation Buffalora, wurde der Einfluss der Niederschläge auf die Murgangaktivität untersucht. Starkniederschläge spielen eine wichtige Rolle bei der Auslösung von Murgängen (VanDine & Bovis 2002).

2. Grundlagen

2.1 Prozessbeschreibung

2.1.1 Murgang als geomorphologischer Prozess

Geomorphologische Prozesse sind Vorgänge, bei denen die Erdoberfläche geformt oder verändert wird. Dies geschieht unter anderem durch das Auftreten von Massenbewegungen. Massenbewegungen sind hangabwärts gerichtete Umlagerungen von Fest- und Lockergesteinen inklusive Bodenmaterial und Wasser. Sie können schnell und plötzlich auftreten (z.B. Felssturz) oder langsam und kontinuierlich ablaufen (z.B. Hangkriechen). Massenbewegungen werden durch Veränderung des Kräftegleichgewichts aufgrund physikalischer und/oder chemischer Prozesse ausgelöst. Sie werden aufgrund ihrer Bewegungsmechanismen in Rutsch-, Fliess- und Sturzprozesse unterteilt. Murgänge gehören dabei in die Kategorie der Fliessprozesse (Bundesamt für Raumplanung et al. 1997).

Murgänge sind Massenbewegungen, bei denen sich wassergesättigtes Material schnell in begrenzten Gerinnen hangabwärts bewegt (VanDine & Bovis 2002). Das Material fließt oft in mehreren Schüben talabwärts und erreicht dabei Geschwindigkeiten von 40 bis 60 km/h. Der Feststoffanteil bei Murgängen ist mit 30 bis 60% hoch und besteht aus Sand, Kies, Steinen, Blöcken und Holz (PLANAT 2012). In Abbildung 1 sind die relativen Anteile der drei Hauptkomponenten für solch schnelle Massenbewegungen dargestellt. Die physikalischen Vorgänge bei der Entstehung, während dem Fließen und bei der Ablagerung sind sehr komplex und bis jetzt noch nicht vollständig bekannt (Rickenmann 2001).

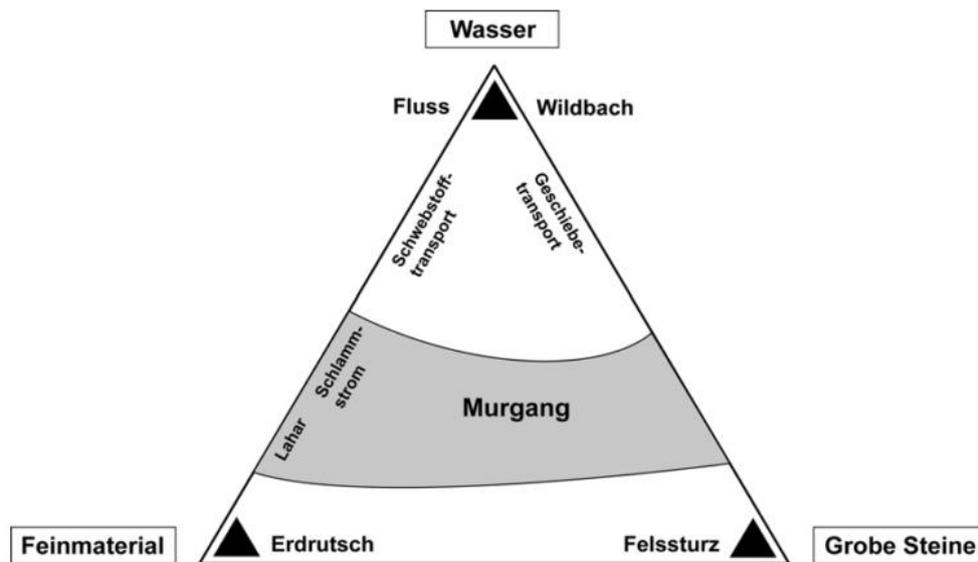


Abbildung 1: Hauptbestandteile eines Murgangs in einem Drei-Phasen-Diagramm im Vergleich zu anderen schnellen Massenbewegungen (nach Philips & Davies 1991) (Rickenmann 2001).

Murgänge treten dort auf, wo erosionsanfälliger geologischer Untergrund genügend Lockermaterial liefert und das Gefälle mindestens 25 bis 30% beträgt. Damit ein Murgang ausgelöst wird, ist ein klimatisches Ereignis wie starker Regen, intensive Schneeschmelze oder Regen auf Schnee nötig, damit genügend Wasser zur Verflüssigung des Lockermaterials zur Verfügung steht. Weitere Auslöser für Murgänge können das Ausbrechen eines Gletschersees oder das Brechen von natürlichen und künstlichen Dämmen sein (VanDine & Bovis 2002; PLANAT 2012). Bei der Auslösung spielt aber nicht nur der Oberflächenabfluss eine Rolle sondern auch die Bodensättigung durch langanhaltende Niederschläge.

Das Fliessverhalten von Murgängen ist mit dem von Nassschneelawinen vergleichbar. Charakteristisch sind der schubartige Abfluss und die Bildung einer Front. An dieser Murfront sind die Feststoffe konzentriert und ziemlich gleichmässig über die Abflusstiefe verteilt. Sehr grosse Blöcke mit bis zu mehreren Metern Durchmesser können im Bereich der Murfront transportiert werden. Hinter der Front nehmen die Feststoffkonzentration sowie die Abflusstiefe ab. Somit tritt normalerweise auch der grösste Abfluss im Bereich der Front auf. In den Alpen kann der Maximalabfluss bei Murgängen $100 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ erreichen und die Höhe der Murenfront kann bis zu 10 m hoch werden (Rickenmann 2001).

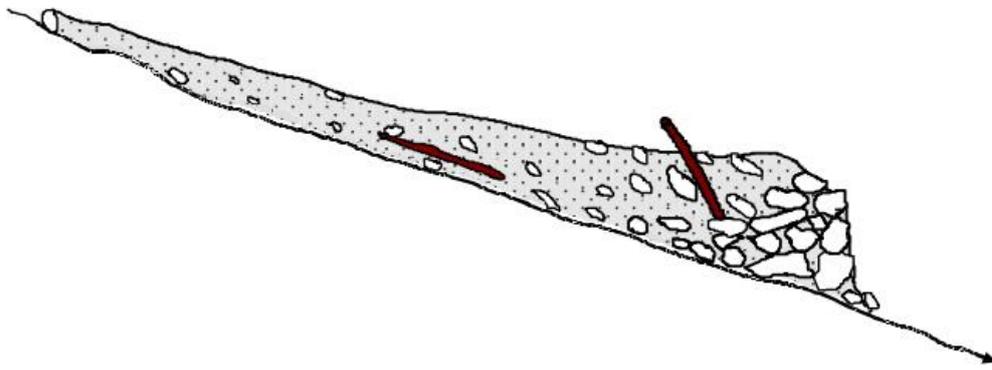


Abbildung 2: Typischer Längsschnitt durch einen Murenschub mit grobblockiger Front (Rickenmann 2001).

Murgänge bilden entlang der Fliessbahn wallartige Materialablagerungen, sogenannte Levées und schaffen so ihre eigene seitliche Begrenzung falls diese noch nicht vorhanden ist. Die Murgangmasse kommt abrupt zum Stillstand wenn die Bodenreibung zu gross wird. Dies geschieht oft bei einer Verbreiterung des Gerinnes, bei Abnahme des Gefälles oder durch plötzliche Entwässerung. Der plötzliche Stillstand des Murgangmaterials führt zur Bildung von Murkegeln mit typischen scharf begrenzten Ablagerungen von Murköpfen und Murzungen. Die Murköpfe stellen dabei den steil gestellten Frontbereich dar und die relativ flachen weitreichenden und zungenförmigen Ablagerungen eines Murgangs werden als Murzungen bezeichnet. Murgangablagerungen sind unsortiert und weisen unterschiedliche Korngrössen von groben Blöcken bis zu feinkörniger Matrix auf (Rickenmann 2001; PLANAT 2012).

Bei grösseren Murgängen in den Alpen können mehrere 10'000 m³ bis einige 100'000 m³ Geschiebe transportiert werden. Aufgrund der riesigen Materialmengen, der grossen Blöcke an der Front und der hohen Fliessgeschwindigkeit zählen Murgangereignisse zu den gefährlichsten Massenbewegungen in den Alpen (Rickenmann 2001; PLANAT 2012).

2.2 Dendrogeomorphologie

2.2.1 Begriffserklärung

Die Dendrogeomorphologie ist eine Kombination der beiden Wissenschaftszweige Dendrochronologie und Geomorphologie.

Geomorphologie: Die Geomorphologie beschreibt und ordnet die Oberflächenformen der Erde, und sie erforscht ihre Entstehungs- und Weiterbildungsprozesse. Sie ist also die Lehre von der Gestalt oder Form der Erde (Zepp 2002).

Dendrochronologie: Der Begriff Dendrochronologie ist aus den griechischen Wörtern déndron für Baum, chrónos für Zeit und lógos für Lehre zusammengesetzt. Wörtlich übersetzt bedeutet der Begriff also Lehre der Baumzeit. Die Wissenschaft beschäftigt sich mit der Altersbestimmung von Holz durch Analyse der Jahrringe. (Beuting 2013).

Die Dendrogeomorphologie ist ein Teilgebiet der Dendroökologie und studiert Oberflächenprozesse wie Murgänge, Steinschlag, Lawinen oder Erdrutschen mit Hilfe von Jahrringanalysen von Bäumen (Bollschweiler 2007). Sie kann dem übergeordneten Fachgebiet der Dendroökologie zugeordnet werden, in welchem alle Forschungszweige vereint sind, die Fragestellungen aus dem Bereich der Umwelt durch Analyse von Jahrringsequenzen beantworten (Schweingruber 1996).

2.2.2 Geschichte der Jahrringforschung

Die Geschichte der Jahrringforschung geht weit zurück. Bereits Leonardo da Vinci hielt erste schriftliche Hinweise über Beobachtungen an Jahrringen fest. Er entdeckte im 15. Jahrhundert einen Zusammenhang zwischen dem jährlichen Wachstum von Bäumen und dem Klima (Schweingruber 1983; 1996).

Die wesentlichen Grundlagen der Jahrringforschung waren bis zu Beginn des Ersten Weltkriegs gelegt. Theodor Hartig hatte bereits 1855 klare Vorstellungen über die Entwicklung des Jahrrings und Robert Hartig widmete sein Leben der Erforschung der Jahrringe. Schon Ende des 19. Jahrhunderts datierte er Hagel-, Frost- und Insektenschäden in den Bäumen. Als Vater der Dendrochronologie gilt jedoch der Amerikaner Andrew E. Douglass (1867-1962), denn nur er verfügte über den Weitblick, die einfachen dendrochronologischen Grundsätze in Beziehung zur Geschichtsforschung, Klimatologie und Astronomie zu stellen. Als erster erstellte er eine bis weit in die Vergangenheit reichende Chronologie (Schweingruber 1983).

2.2.3 Anwendungsfelder

Die Jahrringforschung findet in vielen Gebieten Anwendung. Beispielsweise in der Siedlungsgeschichte und Kunstgeschichte aber auch in der Insektenkunde. Ein wichtiges Gebiet ist die Klimatologie, wo durch Jahrringanalysen Informationen über das vergangene Klima gewonnen werden können. Auch für die Erforschung der Flussgeschichte, Gletschergeschichte, Waldbrandgeschichte und von Oberflächenprozessen oder von vergangenen Vulkanausbrüchen bildet die Jahrringforschung eine Informationsquelle (Schweingruber 1983).

2.2.3.1 Jahrringanalyse von Oberflächenprozessen

Bäume reagieren mit Wachstumsreaktionen auf Störungen durch geomorphologische Prozesse. Durch die Analyse solcher Reaktionen kann der Zeitpunkt des Ereignisses bestimmt werden und somit auch die Wiederkehrdauer solcher Ereignisse. Durch die Lage der Wachstumsstörung innerhalb der Baumringe, kann der Zeitpunkt des Ereignisses auf ein Jahr und manchmal sogar auf einen Monat genau bestimmt werden. Informationen über räumliche Ausbreitung, Geschwindigkeit oder Magnitude der Massenbewegung, könne durch kartieren von geomorphologischen Formen und Bäumen bestimmt werden. In Kombination mit meteorologischen, hydrologischen und/oder seismischen Daten, können die Ergebnisse von Baumringanalysen dabei helfen, die Faktoren zu identifizieren, welche das Ereignis ausgelöst haben (Stoffel & Bollschweiler 2009).

2.3 Baumwachstum

In diesem Abschnitt wird auf das Wachstum von Koniferen (Gymnospermen / Nacktsamer) eingegangen.

Verantwortlich für das Baumwachstum ist das sogenannte vaskuläre Kambium, welches unterhalb der Borke liegt. Das Kambium besteht aus lebenden Zellen, die durch Zellteilung neue Holz- und Rindenzellen bilden. An der inneren Seite des Kambiums werden Holzzellen (Xylem) gebildet und an der äusseren Seite entstehen Rindenzellen (Phloem) (Shigo 1986, Rossi et al. 2006). Im Phloem werden Flüssigkeiten abwärts transportiert (hauptsächlich durch Photosynthese produzierte Stoffe) und im Xylem werden Wasser und wasserlösliche Stoffe aufwärts transportiert (Shigo 1985).

Die Bildung einer Zelle kann in drei Phasen unterteilt werden. Die erste Phase bildet die Zellteilung, welche die Duplikation des Erbmaterials und die Bildung einer neuen

Zellwand beinhaltet. In der zweiten Phase wird die Zelle vergrößert indem die Zellwand durch neu hinzugefügtes Zellmaterial gedehnt wird. Zelldifferenzierung und Reifung bilden die letzte Phase. Dabei nimmt die Zelle die strukturellen Merkmale des Gewebes an, dem sie angehören wird. Wenn die Strukturen fertig ausgebildet sind, muss die Zelle im Fall von Tracheiden absterben, bevor sie ihre Funktion als Wassertransporteur aufnehmen kann (Fritts 1976).

Während der vegetativen Periode werden zu Beginn Frühholzzellen und gegen Ende der Wachstumsphase Spätholzzellen gebildet. Die Dauer der Wachstumsphase ist abhängig vom Standortklima und der Baumart. Sie startet im April, Mai oder Juni und endet im August oder September. Die Zellen im Frühholz leben meist nur ein bis zwei Wochen und die Tracheiden (Zellen) bleiben deshalb dünnwandig. Die Spätholzzellen leben hingegen länger als ein bis drei Monate und die Zellwände haben so länger Zeit zum Wachsen, wodurch die Spätholztracheiden dickwandiger sind (Fritts 1976, Schweingruber 1996). Die grossen Tracheiden im Frühholz dienen hauptsächlich dem Transport von Flüssigkeiten während dem die abgeflachten Zellen im Spätholz der Stabilität des Holzes dienen (Shigo 1985, Stoffel & Bollschweiler 2009).

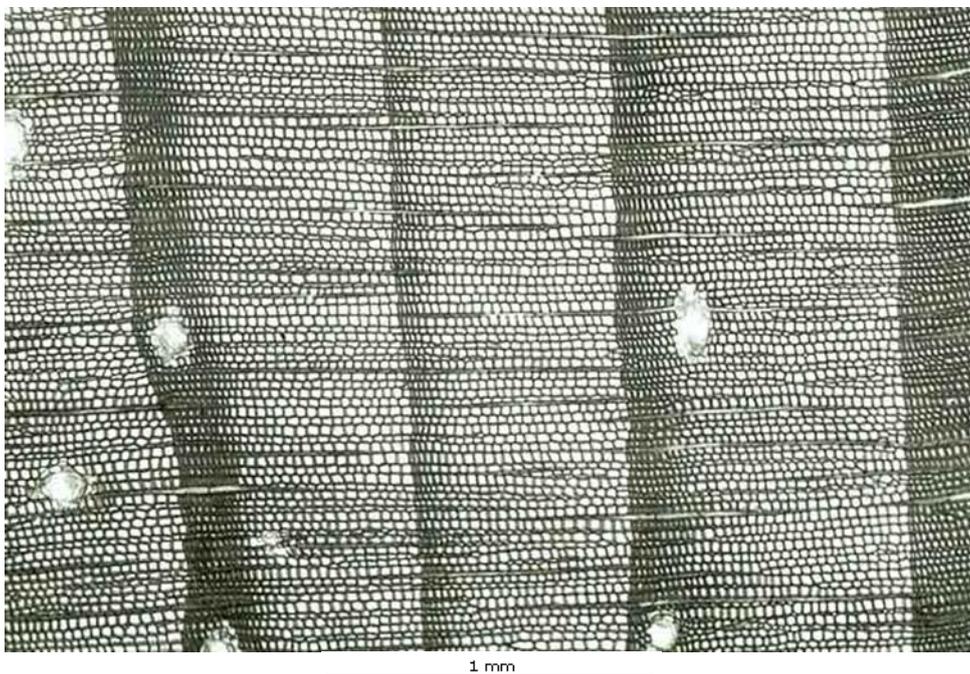


Abbildung 3: Jahrringe mit Früh- und Spätholzzellen in Pinus mugo. Das Frühholz hat eine hellere Farbe als das Spätholz (WSL 2013).

Aufgrund der Wechsel von Früh- und Spätholzbildung sowie den Wachstumspausen im Winter, werden in Gebieten mit temperiertem Klima Jahrringe gebildet. Die Breite dieser Jahrringe ist dabei abhängig von biotischen und abiotischen Faktoren. Zu den biotischen

Faktoren gehörten die genetischen Eigenschaften sowie das Alter eines Baumes und sind somit unterschiedlich für die verschiedenen Arten und Individuen. Meist produzieren Bäume mit zunehmendem Alter kleinere Jahrringe. Die abiotischen Faktoren sind für alle Bäume an einem Standort mehr oder weniger gleich. Dazu gehören Licht, Temperatur, Wasser, Nährstoffangebot, Wind, mechanische Schäden sowie Luft- und Bodenverschmutzung (Fritts 1979, Schweingruber 1996, Stoffel & Bollschweiler 2009).

2.4 Interaktion Wald – Murgang

Die Analyse von geomorphologischen Prozessen mit Hilfe von Jahrringen in Bäumen basiert auf dem ‚process-event-response‘ Konzept. Dabei repräsentieren Massenbewegungsprozesse wie Murgänge den Prozess (*process*). Diese Prozesse haben Auswirkungen auf den Wald (*event*), indem sie Bäume beispielsweise verletzen, schräg stellen oder einsedimentieren. Diese Störungen rufen wiederum Reaktionen (*response*) in den Bäumen hervor. Sie erleiden einen Wachstumseinbruch oder Wachstumsschub, bilden Druckholz oder neue Wurzelhorizonte aus (Shroder 1978).

Im Folgenden werden die verschiedenen Einflüsse von Murgängen auf die Bäume und deren Reaktionen beschrieben.

2.4.1 Einfluss von Murgängen auf die Bäume

Verletzung

Durch Steine, Holz oder anderes Material, das in einem Murgang transportiert wird, können Bäume verletzt werden. Wird dabei das Kambium des Baumes verletzt, so kann er an dieser Stelle nicht mehr weiterwachsen. Nachdem ein Baum verletzt wurde, beginnt er seitlich der Wunde mit der Bildung von Kallusgewebe. Dieses Gewebe besteht aus unregelmässig geformten und angeordneten Zellen. Das Gewebe dient der Wiederverschliessung der Wunde um Pilz-, Bakterien- und Insektenbefall zu verhindern. Die seitliche Überwallung der Wunde dauert so lange bis die Wunde vollständig verschlossen ist und der Baum normal weiterwachsen kann. In den Jahren nach einer Verletzung können auch geringere Jahrringbreiten beobachtet werden (Shroder 1978, Hupp et al. 1987, Schweingruber 1996, Bollschweiler 2007). Die Heilung der Wunde hängt stark vom jährlichen Holzzuwachs, dem Baumalter und der Grösse der Verletzung ab (Stoffel & Bollschweiler 2009). Abhängig von der Energie des Aufpralls und der relativen Grösse der Verletzung, konzentriert sich der verletzte Baum in den Jahren nach dem Ereignis auf die Bildung von Jahrringen in den Teilen, die überlebenswichtig sind und reduziert das Wachstum in anderen Teilen (Bollschweiler 2007, Stoffel & Bollschweiler 2008).

Traumatische Harzkanäle können ebenfalls als Reaktion auf eine Verletzung gebildet werden. Die Bergföhren, welche im Umfang dieser Studie analysiert wurde, bilden solche Harzkanäle nach einer Verletzung aufgrund ihres genetischen Aufbaus jedoch nicht aus (Stoffel 2008, Procter et al. 2011).



Abbildung 4: Baum mit einer Verletzung am Stamm (links). Querschnitt durch einen Stamm mit Verletzung (rechts) (Stoffel & Bollschweiler 2009).

Schrägstellung

Durch ungleichmässigen Druck der Murgangmasse können Bäume schräggestellt werden. Um wieder in eine aufrechte Position zu gelangen, bilden Koniferen Druckholz auf der talwärtigen Seite aus (Hupp et al. 1987). Druckholz hat eine höhere Dichte als normales Holz. Die Druckholzzellen sind normalerweise rund und haben sehr dicke Zellwände. Makroskopisch unterscheidet sich Druckholz durch seine dunklere Farbe von normalen Jahrringen (Schweingruber 1996). In schräggestellten Bäumen ist ein abrupter Wechsel zu exzentrischem Wachstum zu beobachten, da auf der Druckholzseite breitere Jahrringe entstehen als auf der gegenüberliegenden Seite des Stammes (Hupp et al. 1987). Zusätzlich zur Druckholzbildung können Bäume auch mit einem Wachstumseinbruch auf die Schrägstellung reagieren (Bollschweiler 2007).



Abbildung 5: Baum mit gekrümmtem Stamm wegen Schrägstellung durch einen Murgang.

Manchmal steht die Reduktion der Jahrringbreite mit der Zerstörung von Wurzeln durch die abrupte und starke Neigung des Stammes in Zusammenhang. Der Wachstumseinbruch ist normalerweise auf der Seite, auf welcher Reaktionsholz gebildet wird schlechter zu erkennen (Stoffel & Bollschweiler 2008).

Verschüttung

Lagert ein Murgang Material um einen Baum ab, so reagiert dieser meist mit einer Phase mit geringerem Wachstum. Der Wechsel erfolgt dabei abrupt. Es ist auch möglich, dass die Bäume Adventivwurzel-Horizonte bilden (Shroder 1978, Hupp et al. 1987). Wachstumseinbrüche nach Einsedimentierung werden dadurch verursacht, dass die Aktivität der Wurzeln abnimmt und durch den Druck auf den Stamm, den das abgelagerte Murgangmaterial verursachen kann (Strunk 1997). Für die Fichte bestimmte Strunk (1997) eine kritische Verschüttungshöhe zwischen 1.6 m und 1.9 m, bei deren Überschreitung der Baum abstirbt. Ein Sonderfall stellt die Einsedimentierung mit kalkreichem Material dar. Der hohe Nährstoffgehalt in kalkigem Material kann als Dünger wirken und zu einem Wachstumsschub führen. Dies besonders dann, wenn nur eine geringmächtige Schicht abgelagert wird und die zusätzliche Nährstoffzufuhr die negativen Effekte der Einsedimentierung kompensiert. Wird der Baum jedoch zu tief eingesedimentiert, sind die positiven Effekte zu gering und es kommt trotzdem zu einem Wachstumseinbruch. Die Reaktion auf die Einsedimentierung mit kalkigem Material ist ebenfalls abhängig von der Baumart. Häufige Wachstumsschübe nach Ablagerung von kalkigem Material wurden bei *Pinus sylvestris* und *Pinus mugo* beobachtet (Stoffel et al. 2008, Procter et al. 2011).



Abbildung 6: Verschüttete Bäume.

Wurzelfreilegung

Die Freilegung von Wurzeln durch erosive Prozesse kann zu verschiedenen Wachstumsreaktionen im Stamm und den freigelegten Wurzeln führen. Durch die Erosion des Betts und der Ufer der Fließrinne können Murgänge die Wurzeln von Bäumen, die am Rand der Rinne wachsen, freilegen. Die Art und Intensität der Reaktionen ist abhängig von der Art des erosiven Ereignisses, das als kontinuierlicher oder plötzlicher Prozess auftreten kann. Werden mehrere Wurzeln durch ein plötzliches Ereignis, wie beispielsweise einen Murgang, komplett freigelegt, sind diese nicht mehr in der Lage ihre Aufgabe zu erfüllen und sterben ab. Das führt zu einem Wasser- und Nährstoffmangel, worauf der Baum mit einem Wachstumseinbruch reagiert.

Werden nur Teile einer Wurzel freigelegt und der äusserste Teil im Boden bleibt, kann die Wurzel weiterwachsen und ihre Funktion erfüllen. Im freigelegten Abschnitt gibt es anatomische Veränderungen und individuelle Wachstumsringe, ähnlich denen im Stamm und den Ästen, werden gebildet (Bollschweiler 2007, Stoffel & Bollschweiler 2008 und dort aufgeführte Referenzen).



Abbildung 7: Baum mit freigelegten Wurzeln.

Elimination von Nachbarbäumen

Murgänge können grössere Waldflächen zerstören und Schneisen in den Wald schlagen. Überlebende Bäume profitieren anschliessend von besseren Wachstumsverhältnissen, da die Konkurrenz um Wasser, Licht und Nährstoffe kleiner geworden ist. Diese verbesserten Verhältnisse resultieren in einem Wachstumsschub der überlebenden Bäume (Hupp et al. 1987, Stoffel & Bollschweiler 2008).



Abbildung 10: Blick auf das Val Brüna mit Murgangkegel und den Munt Chavagl.

3.1.1 Der Schweizerische Nationalpark (SNP)

Der SNP ist der einzige Nationalpark der Schweiz und befindet sich im Unterengadin. Bereits im Jahre 1904 regte Nationalrat Dr. Bühlmann die Gründung eines grossen Schutzgebietes an. Das Ofenpassgebiet erwies sich aufgrund seiner Abgelegenheit und der reichen Tier- und Pflanzenwelt als bester Standort. Im Jahre 1909 konnten Naturschutzpioniere die Val Cluozza von der Gemeinde Zernez pachten. Der Nationalpark wurde schliesslich am 1. August 1914 gegründet und seither immer wieder erweitert. Die letzte Erweiterung erfolgte im Jahre 2000 mit der Seenplatte von Macun. Der Schweizerische Nationalpark erstreckt sich heute über eine Fläche von 170.3 km². 1957 stimmte die Schweizer Bevölkerung dem Bau einer Staumauer durch die Engadiner Kraftwerke zur Wassernutzung des Spöls zu. Der Bau dieses Wasserkraftwerks veränderte das ökologische System des Spölbachs nachhaltig.

Die UNESCO erklärte das Gebiet des Nationalparks 1979 zum Biosphärenreservat und Anfangs Juni 2010 stimmte sie ausserdem der Erweiterung des Biosphärenreservats auf das Val Müstair zu (Schweizer Nationalpark 2013)

Die rechtliche Grundlage des Nationalparks bildet das 1980 erlassene Nationalparkgesetz. Das Gesetz definiert Wesen und Zweck des Nationalparks folgendermassen:

¹ Der Schweizerische Nationalpark im Engadin und Münstertal im Kanton Graubünden ist ein Reservat, in dem Natur vor allen menschlichen Eingriffen geschützt und namentlich die gesamte Tier- und Pflanzenwelt ihrer natürlichen Entwicklung überlassen wird. Es sind nur Eingriffe gestattet, die unmittelbar der Erhaltung des Parks dienen.

² Der Nationalpark ist der Allgemeinheit zugänglich, soweit es die Parkordnung zulässt. Er soll Gegenstand dauernder wissenschaftlicher Forschung sein (Artikel 1, Nationalparkgesetz, SR 454).

3.2 Geologie

3.2.1 Die ostalpinen Decken

Das Untersuchungsgebiet gehört tektonisch gesehen zu den ostalpinen Decken. Das Ostalpin macht fast den gesamten Teil der Ostalpen aus, in den Zentralalpen ist das Ostalpin jedoch fast vollständig abgetragen. Kleinere Erosionsreste, sogenannte Klippen, wie beispielsweise in der Gegend der Dent Blanche, zeugen aber davon, dass das Ostalpin früher noch einen viel grösseren Teil des Alpenbogens bedeckte (Pfiffner 2009). Das Ostalpin ist wie das Südalpin dem adriatischen Kontinentalrand zuzuordnen und wurde bis zu 100 km weit auf den europäischen Kontinent überschoben (Labhart 2005, Pfiffner 2009).

Im alpinen Deckenstapel macht das Ostalpin das tektonisch höchste Bauelement aus. Wegen dieser Lage hoch oben im Deckenstapel sind die ostalpinen Gesteine, mit Ausnahme einer wurzelnahen Zone im Süden, alpin nur schwach metamorph (Labhart 2005). Die Deformation der ostalpinen Decken erfolgte in der Kreide, vor allem von 90 bis 70 Ma. Seit Mitte der Kreidezeit (ab 100 oder 110 Ma) bewegten sich die Europäische und die Apulische Platte aufeinander zu. Dabei wurde das dazwischenliegende Gebiet gefaltet und als Decken übereinander geschoben. Im Tertiär, besonders gegen 40 Ma wurden die ostalpinen Decken gesamthaft nordwärts über die penninischen Decken geschoben. Noch jünger sind die Bewegungen entlang der Engadiner Linie (Trümpy et al. 1997).

In den Zentralalpen werden die ostalpinen Decken in unter- und oberostalpine Decken unterteilt. In beiden sind sowohl das prä-triadische Grundgebirge wie auch dessen mesozoische Sedimentbedeckung am Deckenbau beteiligt (Pfiffner 2009). Unterostalpine Decken sind nur im Oberengadin sichtbar. Fast der gesamte Schweizer Nationalpark besteht aus den Serien der oberostalpinen Decken. Dabei machen Dolomite der Trias den grössten Teil der oberostalpinen Sedimente aus. Am Bau der oberostalpinen Decken sind sechs Gesteinsgruppen beteiligt, wobei die ersten zwei siliatisch und die übrigen ganz oder vor allem karbonatisch sind: 1. das kristalline Grundgebirge der Sesvenna-Einheit, 2. die Gruppe des Münstertaler Verrucanos und die Fuorn-Formation, 3. die Gruppe der Mitteltrias-Karbonatgesteine, 4. die Raibler Gruppe, 5. die Hauptdolomit Gruppe und 6. die Jura- und Kreide-Einheiten (Trümpy et al. 1997).

3.2.2 Die Engadiner Dolomiten

Als Engadiner Dolomiten werden mehrere Decken im westlichen Teil des Oberostalpins bezeichnet. Geographisch gesehen bedecken die Engadiner Dolomiten etwa das Dreieck zwischen S-chanf im Westen, dem Reschenpass im Nordosten und dem Ortler im Südosten (Schmid 1973). Abbildung 11 gibt über einen Überblick über die Engadiner Dolomiten.

Im Süden befindet sich der Ortler-Komplex, der als schmales Band von Ost nach West verläuft. Er besteht vor allem aus Sedimenten der Obertrias bis Kreide, enthält aber selten auch Kristallingesteine. Nördlich davon grenzten im Westen die Quattervals-Decke und im Osten die Umbrail-Chavalatsch-Schuppenzone an die Ortler-Decken an. Die Quattervals-Decke ist aus Dolomiten der Obertrias aufgebaut währendem die Umbrail-Chavalatsch-Schuppenzone zusätzlich zu den obertriadischen Dolomiten auch Kristallin enthält. Das Zentrum der Engadiner Dolomiten bildet die S-charl-Decke. Diese Einheit wird im Nordwesten durch die Engadiner Linie begrenzt, im Nordosten befindet sich die kristalline Ötztal-Decke. Über den Konglomeraten aus dem Perm liegt eine mächtige Unter- und Mitteltrias. Der S-charl-Oberbau besteht hauptsächlich aus Dolomiten der Obertrias. Den kristallinen Sockel der S-charl-Decke bildet das Sesvenna-Kristallin, welches im östlichen Teil aufgeschlossen ist. Die Sedimente des Unterbaus bilden ziemlich enge, SW-NE streichende und gegen Nordwesten überliegende Falten. Die plastischen Schichten der Raibler-Formation trennen den gefalteten Unterbau vom starren Hauptdolomit im Oberbau. Dieser ist durch Dehnungstektonik mit vorwiegend gegen Osten bis Südosten einfallenden Abschiebungen gekennzeichnet. Das

Untersuchungsgebiet befindet sich im Unterbau der S-charl-Decke. In Abbildung 12 ist der Aufbau der S-charl-Decke in einem Sammelprofil dargestellt (Trümpy et al. 1997).

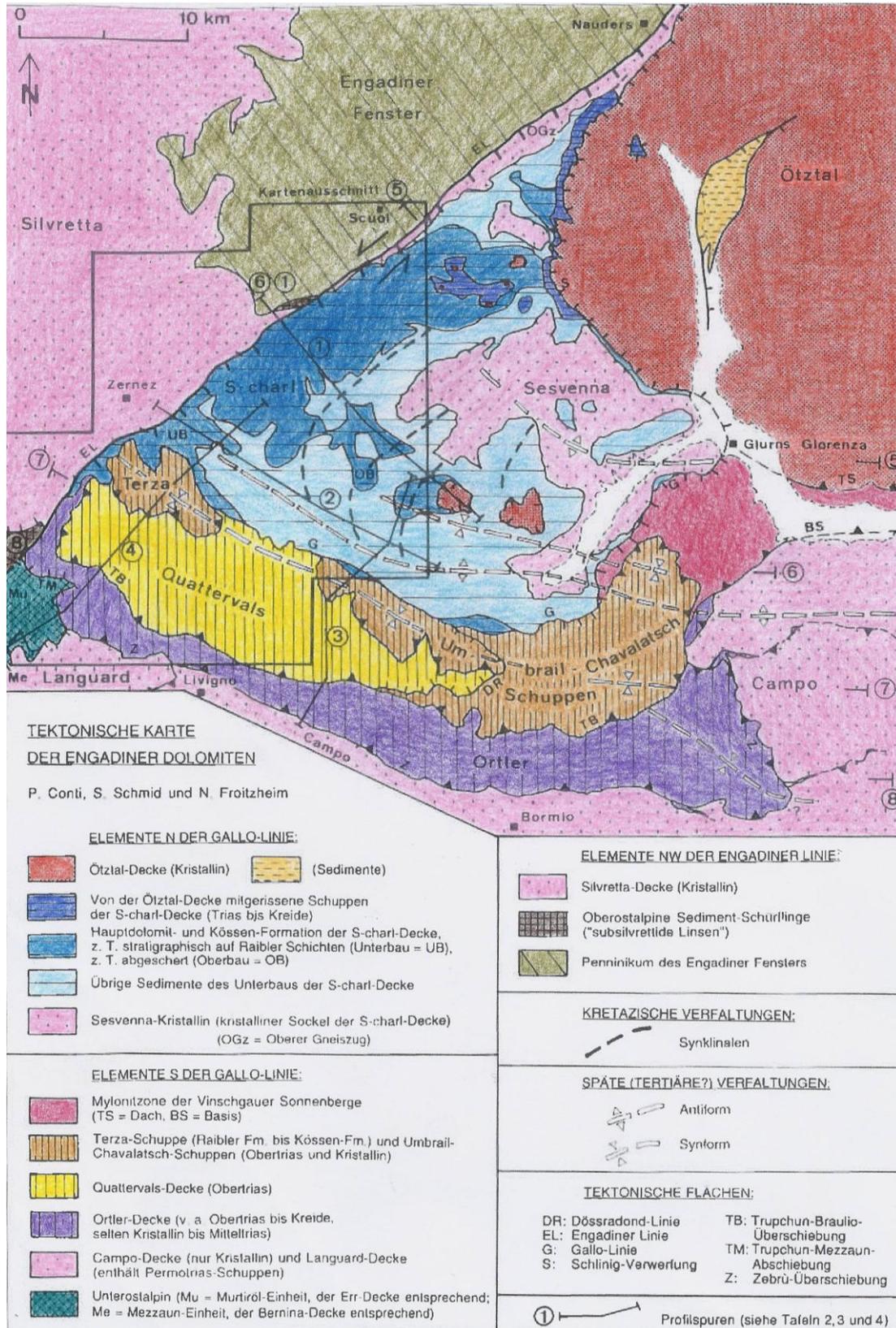


Abbildung 11: Tektonische Karte der Engadiner Dolomiten (Trümpy et al. 1997).

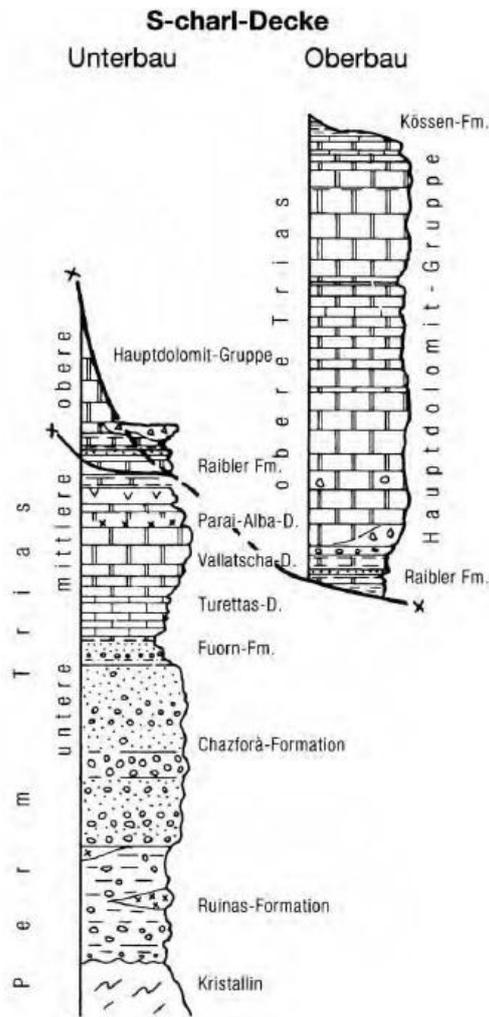


Abbildung 12: Sammelprofil der S-charl-Decke (Trümpy et al. 1997).

3.2.3 Gesteinsformationen im Val Brüna

Abbildung 13 gibt einen Überblick über die geologische Situation im Val Brüna. Am meisten verbreitet sind Gesteine der Chazforà-Formation, besonders im unteren Teil entlang des Bachs. Häufig anzutreffen ist auch die angrenzende Fuorn-Formation. Eher im oberen Bereich des Tals sind S-charl-Kalke und Vallatscha-Dolomit zu finden. Weiter treten im Bereich des Gipfels vom Munt Chavagl Parai-Alba-Dolomit und Rauhwacken der Raibler-Formation auf (Doessegger 1987).

Chazforà-Formation

Die Chazforà-Formation besteht aus grünen und violetten Sandsteinen, Konglomeraten mit Quarz- und Vulkanitkomponenten sowie sandigen Tonschiefern des Perms. Das Ablagerungsmilieu war kontinental und der Materialtransport erfolgte vor allem durch regenzeitliche Flüsse (Doessegger 1987, Trümpy et al. 1997).

Fuorn-Formation

Über der Chazforà-Formation folgt die geringmächtigere und weniger verbreitete Fuorn-Formation. Sie umfasst bunte Sandsteine, Konglomerate, Kalke, Dolomite und Rauhacken der Untertrias. Die Formation zeigt marine Einflüsse und ihre Sandsteine enthalten Karbonat. Den Übergang in die darüber liegende Kalk-Dolomit-Gruppe wird durch eine Wechsellagerung von Sandsteinen, Schiefen, Dolomiten und Rauhacken gebildet (Doesseger 1987, Trümpy et al. 1997).

Buffalora-Gruppe

Diese 100 – 400 m mächtige Gruppe von Mitteltrias-Karbonatgesteinen beinhaltet den S-charl-Kalk sowie den Turettas-, den Vallatscha- und de Parai-Alba-Dolomit. Die S-charl-Kalke sind dünnbankige, graue und bunte Kalke und Kalkschiefer. Der düster graue, dickbankige Vallatscha-Dolomit ist das markanteste Schichtglied. Er führt Kalkalgen und kleine Schnecken und wurde in einem flachmarinen Milieu abgelagert. Der gelblich anwitternde Parai-Alba-Dolomit ist dünn- und regelmässig gebankt und enthält Tonschieferlagen. Die Karbonatgesteine der Buffalora-Gruppe zerfallen meist zu eher kleinblockigem Schutt. Sie sind kalk- und tonreicher als der Hauptdolomit und daher auch weniger vegetationsfeindlich (Doesseger 1987, Trümpy et al. 1997).

Raibler-Formation

Die Raibler-Formation der unteren Obertrias bildet häufig ein schuttbedecktes Band zwischen den Mitteltrias-Dolomiten und dem Hauptdolomit. Die Formation beinhaltet gelb anwitternde, dünnbankige Dolomiten mit Tonschieferzwischenlagen. Typisch sind Evaporite und, vor allem in unteren Teil, Rauhacken. Die Gesteine der Raibler-Formation wurden in einem flachen, warmen und oft übersalzenen Meer abgelagert. Während der alpinen Deformation verhielten sich die Evaporite und zum Teil auch die Tonschiefer inkompetent. Sie dienten als Abscherhorizont zwischen dem S-charl-Unterbau und –Oberbau. Auch die Quattervals-Einheit wurde auf Raibler-Schichten abgeschert (Doesseger 1987, Trümpy et al. 1997).

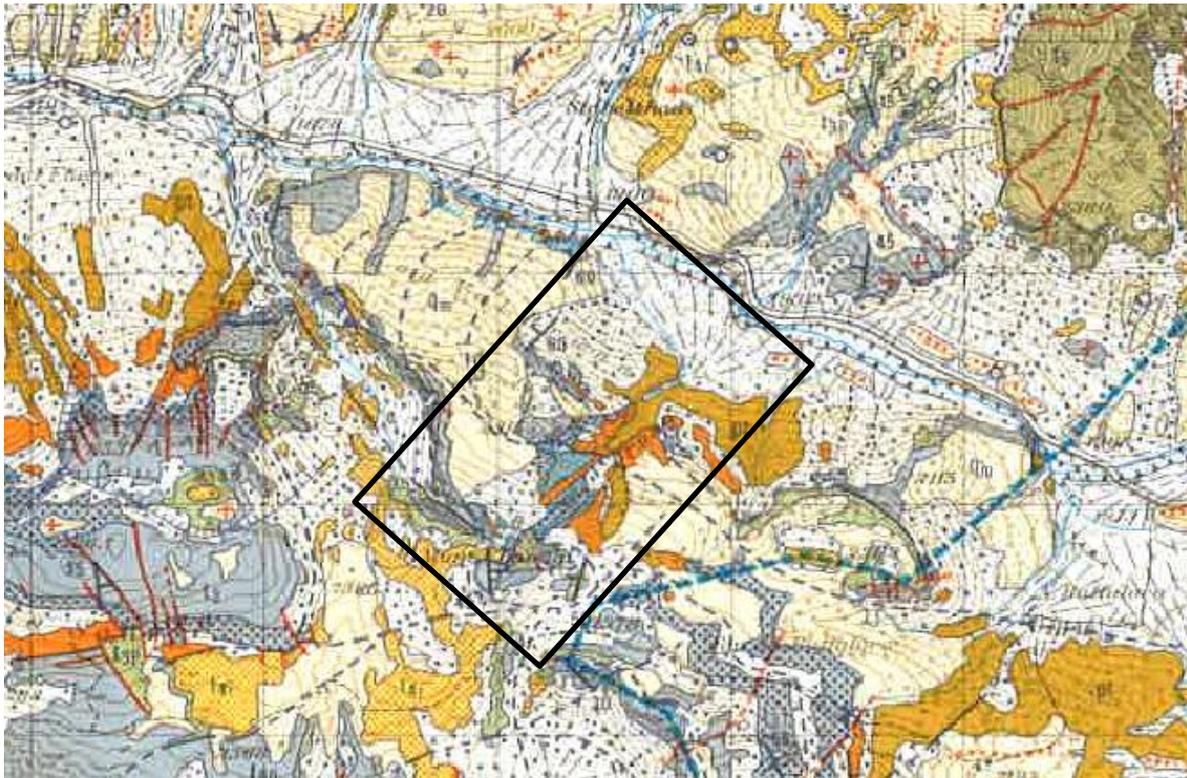


Abbildung 13: Geologische Karte des Untersuchungsgebiets (Doesseger 1987).

3.3 Morphologie des Schweizerischen Nationalparks

Die Informationen im folgenden Abschnitt stammen aus den Erläuterungen zur geologischen Karte des Schweizerischen Nationalparks von Trümpy et al. (1997) und den dort angegebenen Referenzen.

Der Schweizerische Nationalpark gehört nicht nur geologisch sondern auch morphologisch gesehen zu den Ostalpen. Das Relief der Ostalpen ist im Allgemeinen älter als das der Westalpen. Charakteristisch sind weite Bereiche, in denen alle Berge ungefähr gleich hoch sind, sogenannte Gipfelfluren. Die meisten Gipfel sind um die 3100 m hoch, etwas niedriger sind die Berge im Bereich der Ofenpass-Quersenke. Die mittlere Höhenlage im Gebiet des Schweizer Nationalparks beträgt aufgrund der hoch gelegenen Täler 2300 m. Der mittlere Höhenunterschied zwischen Berg und Tal, die sogenannte Reliefenergie, ist deshalb für alpine Verhältnisse gering.

Über die Entstehungsgeschichte des verschlungenen Bündner Talnetzes gibt es wenig konkrete Daten. Das Inntal folgt zwischen Maloja und Pfunds (Tirol) grösstenteils einer tektonischen Störung, der Engadiner Linie. Die Verschiebungen an dieser Linie fanden im späten Oligozän und frühen Miozän vor rund 30 bis 20 Millionen Jahren statt. Eine erste Anlage des Engadiner Längstales könnte somit aus dieser Zeit stammen. Die ersten Anlagen der Quertäler des Ofenpasses und des Reschenpasses entstanden wahrscheinlich noch etwas früher.

Teilweise sind in der Umgebung des Schweizer Nationalparks Reste von vor- und frühglazialen Hochflächen und Tälern zu finden (z.B. Piz Starlex, bei Jufplaun). Während der pleistozänen Eiszeit war das ganze Gebiet mit Ausnahme der steil aufragenden Gipfel mit Eis bedeckt. Die Gleichgewichtslinie lag damals auf 1600 – 1800 m. Die glaziale Übertiefung der meisten Alpentäler und wahrscheinlich auch des Engadins, erfolgte vor allem während der vorletzten Kaltzeit, der Riss-Eiszeit, vor ca. 150 000 Jahren. Während der letzten Kaltzeit, der Würm-Eiszeit, vor 110 000 – 12 000 Jahren wurden Geländeformen und Ablagerungen der vorherigen Eiszeiten stark überprägt. Das Oberengadiner Eis staute sich damals an der Talenge zwischen Zernez und Susch. Ein Teil floss auch über den Ofenpass in den Vinschgau (Val Venosta) ab. Eindeutig drang Inn-Eis ausserdem weit in die Seitentäler ein (z.B. Val dal Fuorn, Val S-charl) und hinterliess Granitblöcke aus dem Berninagebiet. Die unteren Hangpartien wurden durch das Eis deutlich abgerundet. Oberhalb von ca. 2600 m, wo sich die Gletscher nicht grossflächig ausbreiteten, blieben scharfe Grate erhalten. Die Eismassen formten durch

Erosion Rundhöcker heraus, die im Kristallin und im Verrucano besser erhalten blieben als in reinen Karbonatgesteinen. Ausserdem entstanden durch subglaziale und randglaziale Schmelzwasserrinnen die Anlagen junger Schluchten (z.B. Ova da Spöl) und heutiger Trockentäler (z. B. von Champensch und von Champlönch). Die Moränen des Höchststandes der letzten Eiszeit vor ca. 20 000 Jahren sind an den Flanken der Haupttäler nur undeutlich entwickelt. Viel besser erhalten sind die Spuren der Lokalgletscher, die erst gegen Ende der letzten Eiszeit entstanden. In hohen Lagen zeichnen sich auch noch Gletscherstände postglazialer Vorstösse z. B. um 1850 ab.

Nach dem Ende der Eiszeit bildeten sich ausgedehnte Trockenschutthalden und Schuttkegel, als der Permafrost auftaute und die vegetationsfreien, mit Gletscherschutt bedeckten Hänge in Bewegung gerieten. Während dieser Zeit sind im SNP auch andere typische Reliefeinheiten wie Blockgletscher und Solifluktuionsformen entstanden. Diese Formen sind an temporären oder ständigen Bodenfrost gebunden, wie er auch heute noch in Höhenagen über 2000 m in weiten Teilen des SNP vorkommt. Die Solifluktion hat oberhalb der Waldgrenze häufig einen offenen Girlandenrasen hervorgebracht. Ebenso sind Erdströme entstanden mit beispielsweise 30 – 50 m langen Zungen bei Buffalora (Trümpy et al. 1997).

Wie Abbildung 14 zeigt, besteht das Val Brüna zu einem grossen Teil aus dem Schwemmkegel, der durch den Murgang aufgebaut wurde und aus Blockschutt und Bergsturzmateriel. Im untersten Teil, nahe des Fuornbachs sind auch Überreste von Moränen vorhanden. Auf der andren Talseite befinden sich weitere Moränen sowie mehrere erratische Blöcke, die von der früheren Vergletscherung des Tals zeugen (Doessegger 1987).

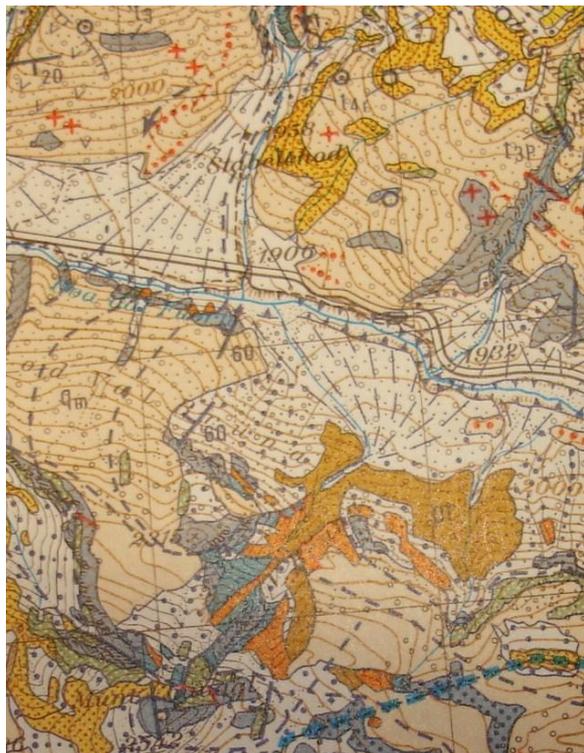


Abbildung 14: Geologische Karte des Val Brüna (Doessegger 1987).

3.4 Murgangprozesse im Val Brüna

Die Gesamtlänge des Murganggerinnes im Val Brüna beträgt ca. 1970 m, wobei die Höhendifferenz bei etwa 620 m liegt. Daraus ergibt sich ein durchschnittliches Gefälle von 14.2°. Das gesamte Einzugsgebiet hat eine Fläche von 0.5 km².

Die Anrisszone befindet sich in einem Gebiet mit steilen, meist schwach konsolidierten Schutthängen. Im Gerinne gibt es stellenweise grössere Ansammlungen von Schutt, welcher mobilisiert werden kann. Teilweise wird das Gerinne durch Felsen begrenzt und verengt (Haerberli et al. 1991, Stolz 2006).

Das obere Einzugsgebiet befindet sich oberhalb der Baumgrenze an der Nordostflanke des Munt Chavagl und hat eine Ausdehnung von rund 0.3 km². In diesem Bereich gibt es verschiedene Einschnitte, die als Gerinne für Murgänge dienen können und wo sich Lockermaterial sammeln kann. Alle Rinnen vereinigen sich bis zur Waldgrenze zu einer Murgangrinne. Die Karte in Abbildung 15 zeigt das Gebiet im Bereich des oberen Einzugsgebiets.



Massstab 1:9'000

Quelle: RGB Orthophoto, © Nationalpark

Abbildung 15: Oberer Bereich des Einzugsgebietes mit eingezeichneten Murgang- und Zubringerrinnen (Stolz 2006).

Bevor das Ablagerungsgebiet beginnt, verläuft die Murgangrinne durch ein enges Tal, dessen Flanken im unteren Teil häufig aus Fels und im oberen Teil vermehrt aus Lockergesteinen bestehen. Anschliessend verläuft die Rinne in einer 90° Kurve, wo die Tiefe des Gerinnes rund 4 m erreicht. Die Fläche des Murgangkegels im Val Brüna beträgt rund 0.23 km². Der grösste Teil des Murgangkegels ist bewaldet, ausgenommen sind die momentan aktiven Bereiche. Viele der Murgangablagerungen im Wald unterhalb der Murgangrinne sind auch mit Gras überwachsen. Die aktive Rinne verläuft auf der orographisch linken Seite entlang des Kegels. Dabei sind besonders im unteren Teil verschiedene Ausbrüche in den darunterliegenden Wald zu beobachten. Viele der Murgänge erreichen die Ova da Fuorn nicht, da sie vorher auf dem flachen Kegel zu stehen kommen (Stolz 2006). Ein grösserer Ausbruch aus der Hauptrinne ist bei der Kurve der Rinne zu beobachten. Es scheint sich hier um ein jüngeres Ereignis zu handeln. Etwa 160 Meter unterhalb dieses Ausbruchs befindet sich eine Fläche mit jungen Bäumen, die alle ungefähr gleich gross und somit auch etwa gleich alt sind. Die Fläche ist beispielsweise auf dem Luftbild in Abbildung 21 gut erkennbar. Dies deutet darauf hin, dass dieser Bereich in den letzten Jahren nicht von Murgängen betroffen war und so junge Bäume wachsen konnten. Die Murgangrinne liegt hier, besonders im

oberen Teil, tiefer als diese frisch bewaldete Fläche, wodurch diese wegen der erhöhten Lage besser vor Murgängen geschützt ist. In Abbildung 16 ist der Murgangkegel im Val Brüna deutlich erkennbar. Auf dem Kegel gibt es verschiedene Einschnitte, die vermutlich früher aktive Murgangrinnen darstellen.

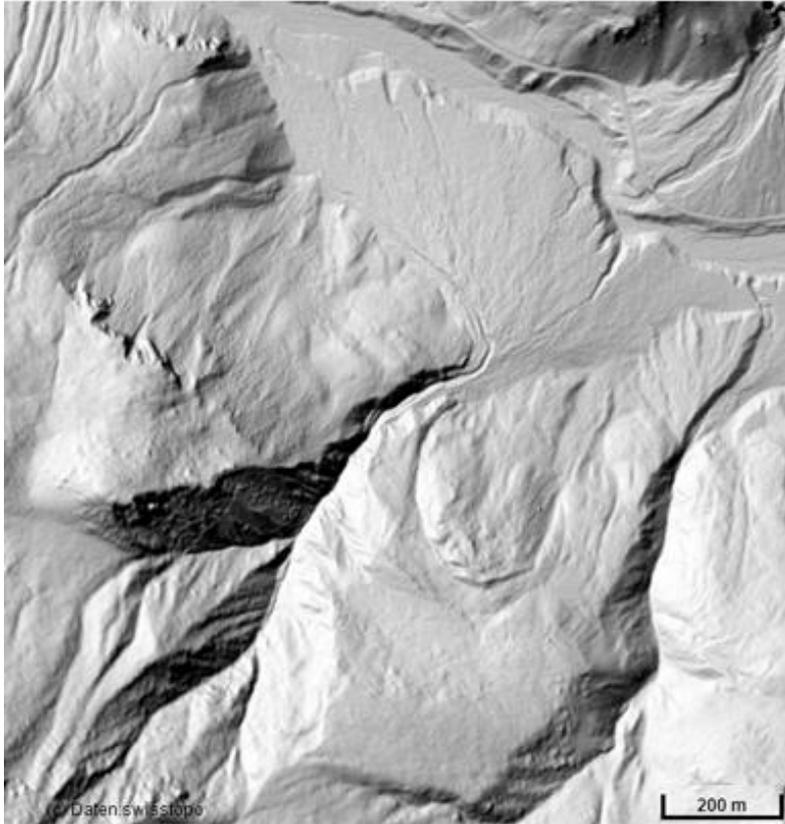


Abbildung 16: Oberflächendarstellung des Untersuchungsgebiets. Die Ablagerungsdeltas mit verschiedenen eingeschnittenen Rinnen sind gut erkennbar (Swisstopo 2013)

Stolz und Huggel (2008) charakterisierten den Murgang im Val Brüna als granular. Der Vergleich der Korngrößenverteilung mit anderen alpinen Murgängen zeigte, dass die Ereignisse im Schweizer Nationalpark eine geringere Menge der feinkörnigeren Sand, Silt und Ton Fraktionen aufweisen. Für grosse Murgangereignisse modellierten Stolz und Huggel (2008) bei maximalem Abfluss von $10 \text{ m}^3/\text{s}$ und einer Sedimentkonzentration von 40 % ein Murgang-Volumen von $50'000 \text{ m}^3$ und eine Fließgeschwindigkeit von 5-12 m/s.



Abbildung 17: Oberes Einzugsgebiet



Abbildung 18: Murgangrinne mit Blickrichtung hangaufwärts bei der Biegung der Rinne.

3.5 Klima

Das Klima im Unterengadin ist durch die inneralpine Lage kontinental geprägt. Die inneralpiner Täler zeigen ein ausgeprägtes Lokalklima, da sie gegen Niederschlagsaktivitäten aus dem Norden sowie aus dem Süden abgeschirmt sind. Dadurch herrschen in diesen Gebieten trockene Bedingungen (MeteoSchweiz 2013). Bei der Wetterstation Buffalora, welche sich an der Grenze des Nationalparks auf 1968 m ü. M. befindet, beträgt der durchschnittliche Niederschlag für die Zeitspanne von 1959 bis 2012 pro Jahr 865.2 mm. Entlang der nördlichen Voralpen und in den Alpen sowie in der Südschweiz fallen gemäss MeteoSchweiz (2013) durchschnittliche Niederschlagsmengen von rund 2000 mm/Jahr und im Flachland nördlich der Alpen beträgt die Menge ungefähr 1000 bis 1500 mm/Jahr. Die Niederschläge sind bei Buffalora im Sommer etwa doppelt so hoch wie im Winter. In Tabelle 2 sind die durchschnittlichen Niederschlagssummen und Temperaturen für Frühling, Sommer, Herbst und Winter aufgeführt. Die Temperaturen erreichen im Juli und August ihr Maximum und im Dezember bis Februar das Minimum. Über das ganze Jahr betrachtet betragen die Temperaturschwankungen rund 20 °C (MeteoSchweiz 2013).

Tabelle 1: Temperatur und Niederschläge der Wetterstation Buffalora (816'494/170'225), Normperiode 1981-2010 (MeteoSchweiz 2013).

| | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. | Jahr |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| Temperatur [°C] | -9.2 | -8.4 | -4.4 | -0.4 | 4.8 | 8.4 | 10.7 | 10.3 | 6.6 | 2.2 | -4.1 | -8.4 | 0.7 |
| Maximumtemp. [°C] | -2.2 | -0.7 | 2.3 | 5.3 | 10.7 | 14.6 | 17.5 | 17 | 13 | 8.9 | 2.1 | -2.2 | 7.2 |
| Minimumtemp. [°C] | -16.2 | -15.9 | -11.4 | -6.6 | -1.2 | 1.9 | 3.8 | 3.7 | 0.6 | -3.2 | -9.6 | -14.5 | -5.7 |
| Niederschlag [mm] | 34 | 28 | 40 | 52 | 83 | 87 | 107 | 106 | 75 | 75 | 66 | 42 | 793 |

Tabelle 2: Durchschnittliche, saisonale Niederschlagssummen und Temperaturen bei der Station Buffalora.

| | Niederschlag [mm] | Temperatur [°C] |
|----------|-------------------|-----------------|
| Frühling | 195.2 | -0.2 |
| Sommer | 303.1 | 9.6 |
| Herbst | 227.6 | 1.7 |
| Winter | 135.2 | 0.6 |

Mit 60% (Station Buffalora) ist die Bewölkung der Region sehr gering, und wegen der Höhenlage ergibt sich daraus eine starke Insolation (direkte Sonnenbestrahlung der Erdoberfläche) und damit verbunden starke Schwankungen der Lufttemperatur.

Die Windverhältnisse in Buffalora sind im Sommer hauptsächlich durch SW- bis NW-Winde, im Herbst durch N- bis E-Winde gekennzeichnet (Uttinger 1966).

3.6 Vegetation

Die Wälder im Ofenpassgebiet wurden früher wie viele Waldbestände in den Alpen für die Bedürfnisse der regionalen Bevölkerung genutzt und dadurch verändert. Im Vergleich zu anderen Wäldern wurden sie aber überdurchschnittlich stark beansprucht. Dies lag unter anderem daran, dass in diesem Gebiet Erzvorkommen abgebaut und verarbeitet wurden, was grosse Mengen an Holzkohle benötigte. Ausserdem wurden grosse Brennholzmengen auf dem Spöl und dem Inn zur Salzproduktionsstätte in Hall im Tirol geflösst (Parolini 2012).

In Abbildung 19 ist die heutige Bewaldungssituation im Gebiet des Val Brüna dargestellt. Die ehemalige Waldgrenze (1) vor der Rodung des Waldes, lag deutlich höher als die heutige Waldgrenze (2), welche sich im Bereich der einstigen Weidewiesen befindet. Typischer Nadelmischwald mit Arve, Lärche, Fichte und Bergföhre ist in dem mit der Nummer 3 gekennzeichneten Gebieten anzutreffen. Unterhalb der Murgangrinne im Val Brüna, im Beprobungsgebiet, steht ein reiner Bergföhrenwald (4), welcher nach dem letzten Kahlschlag gewachsen ist. Oberhalb der heutigen Waldgrenze sind noch vereinzelte Arve und Lärchen anzutreffen (5) (Schweizerischer Nationalpark 2012).



Abbildung 19: Heutige Bewaldungssituation im Gebiet des Val Brüna (Schweizerischer Nationalpark 2012)

3.6.1 *Pinus mugo*

Das Verbreitungsgebiet der Bergföhre (*Pinus mugo*) reicht von den Pyrenäen bis in die Karpaten (Zoller 1981). Im westlichen Teil des Verbreitungsgebiets überwiegt die aufrechte Bergföhre (*Pinus mugo* ssp. *uncinata*, Spirke, Bergkiefer, Hakenkiefer), im

östlichen Teil die Legföhre (*Pinus mugo* ssp. *mugo*, Latsche). Im Nationalparkgebiet sind sowohl aufrechte Bergföhren als auch Legföhren anzutreffen (Mayer 1977, Brändli 1998, Lauber & Wagner 1998). Aufgrund der natürlichen Bastardierung zwischen Berg- und Waldföhre, existieren in der Literatur teilweise widersprüchliche Angaben zur Verbreitung (Landesforstinventar 2013). Im Ofenpassgebiet ist die Bergföhre die häufigste Baumart und hat als erste Baumart die Flächen besiedelt, welche im 19. Jahrhundert kahlgeschlagen wurden (Schweizer Nationalpark 2013). Mehr als 90 % der Bergföhren wachsen in der subalpinen Stufe, 62 % sogar oberhalb 1880 m. ü. M. Die Bergföhre ist eine frost- und windharte Lichtbaumart, welche noch geringere Bodenansprüche als die Waldföhre hat. In den Voralpen ist sie zu 90 % auf sehr sauren Böden anzutreffen, während dem sie in den Alpen, besonders im Gebiet des Nationalparks, zu 60 % auf basischem Untergrund steht. Bevorzugte Lagen der Bergföhre sind Süd- bis Nordwesthänge mit einer Neigung von 10° bis 40°.

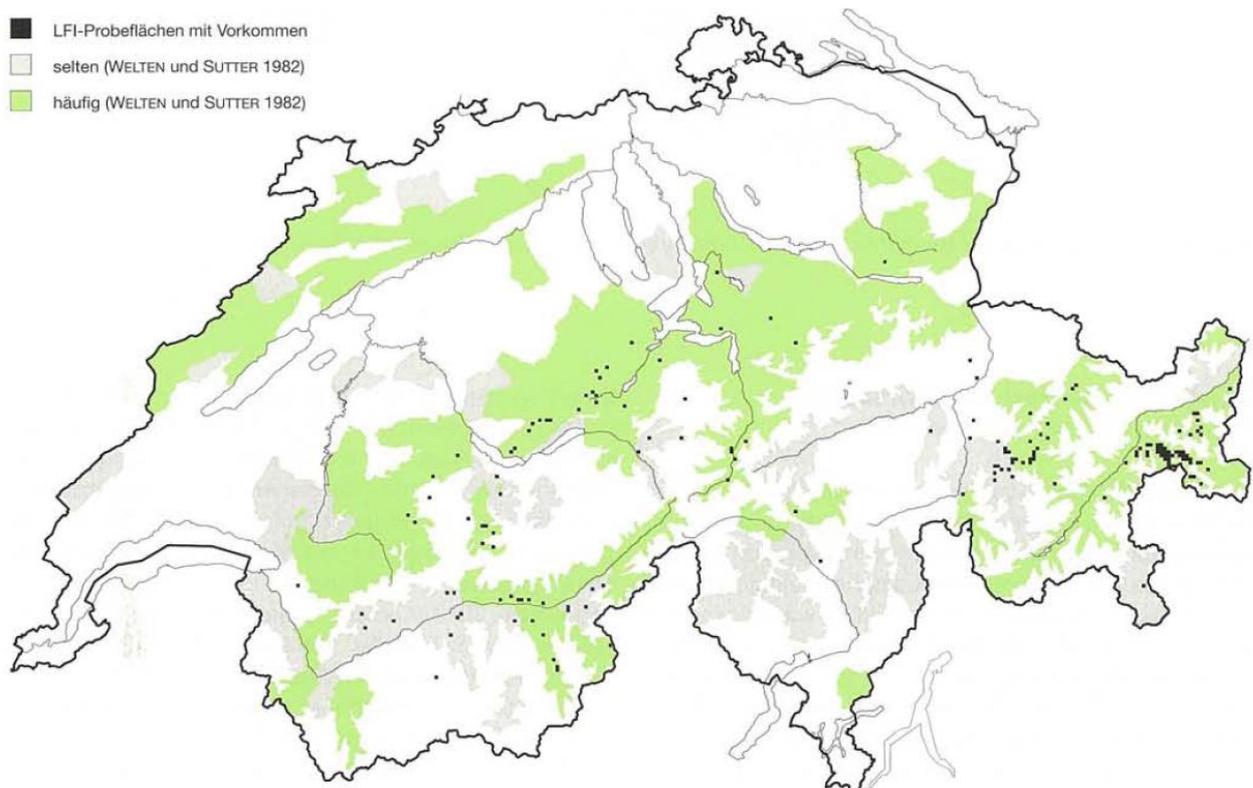


Abbildung 20: Verbreitung der Bergföhre in der Schweiz (Brändli 1998).

Als Pionierbaumart bildet die Bergföhre häufig Reinbestände, muss aber auf gemässigten Standorten mit der Zeit oft Schlusswaldbaumarten wie Fichte und Arve weichen. In der unteren Subalpinstufe dominieren Bergföhren-Mischbestände, inneralpin und in der oberen Subalpinstufe hingegen Reinbestände.

Aufgrund ihres Vorkommens an Extremstandorten (Hochmoorrand, Trockenwälder) und der lockeren Bestandsstruktur (lichte Wälder) kommt den Bergföhrenwäldern ein bedeutender Naturschutzwert zu. Zudem gelten die aufrechten Bergföhren als wichtige Schutzwaldbaumart, besonders auf Extremstandorten. Die frostharte und genügsame Pionierbaumart spielt bei der Aufforstung eine wichtige Rolle zur Stabilisierung von Schutt- und Geröllhängen als auch zur Verhinderung von Steinschlag und Schneebewegungen. Wirtschaftlich haben die Bäume aufgrund ihrer geringen Wuchsleistung keine nennenswerte Bedeutung (Brändli 1998).

4. Methoden

4.1 Dendrogeomorphologische Rekonstruktion von Murgängen

4.1.1 Probenahme

4.1.1.1 Auswahl der Bäume

Im Umfang dieser Studie wurden 396 Proben von 164 Bergföhren (*Pinus mugo*) entnommen. Die Probenahme erfolgte entlang der Hauptrinne, grösstenteils im darunterliegenden Wald. Die Verteilung der beprobten Bäume ist in Abbildung 21 dargestellt. Die Bäume sollten möglichst gleichmässig, ohne grössere Lücken im Untersuchungsgebiet verteilt sein.

Es wurden nur Bäume beprobt, welche Anzeichen von Störungen durch Murgangereignisse zeigten. Also Bäume, welche Verletzungen aufwiesen, schräggestellt oder einsedimentiert waren, oder deren Wurzeln durch Erosion freigelegt worden sind. Bäume mit Baumkrebs, geköpfte und teilweise oder ganz abgestorbene Bäume sowie solche mit Verletzungen, welche möglicherweise durch Wildtiere oder das Umfallen benachbarter Bäume verursacht wurden, sind von der Beprobung ausgeschlossen worden.

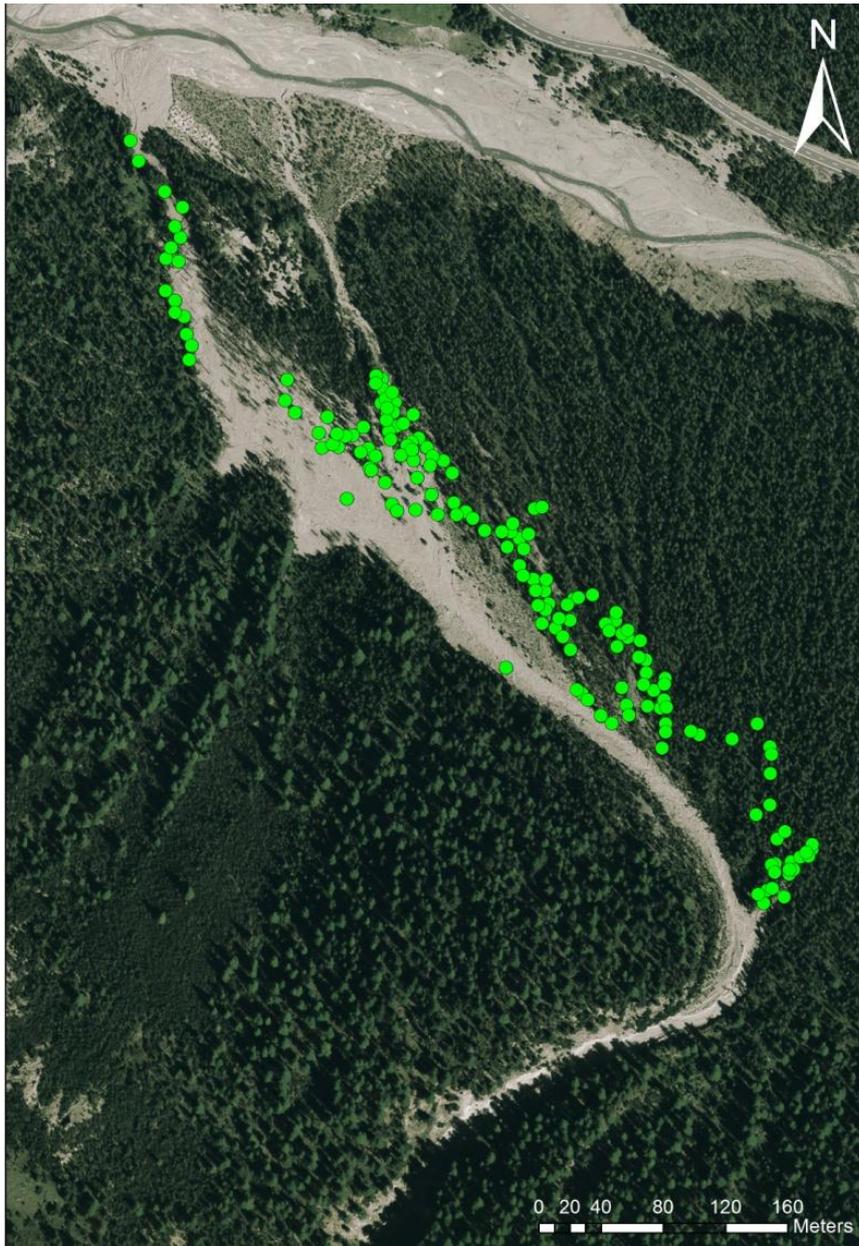


Abbildung 21: Karte mit den eingetragenen Positionen der beprobten Bäume.

4.1.1.2 Beprobung der Bäume

Die Beprobung der Bäume erfolgte im August und September 2011 und im August 2012. Im Jahr 2011 wurden insgesamt 100 Bäume und im Jahr 2012 die restliche 64 Bäume beprobt.



Abbildung 22: Anbohrhilfe, Zuwachsbohrer und Lasche mit Bohrkern.

In dieser Studie wurden die Bäume durch Entnahme von Bohrkernen beprobt. Dazu wurden Zuwachsbohrer der Marke Suunto verwendet. Um eine Probe zu entnehmen wird der Bohrer möglichst rechtwinklig zum Stamm manuell in den Stamm gedreht. Ziel ist es, möglichst die Mitte des Baums zu treffen, damit alle Jahrringe in der Probe zu sehen sind. Wenn die notwendige Bohrtiefe erreicht ist, wird eine Lasche von hinten in den Bohrer geschoben und der Bohrer um eine Umdrehung zurückgedreht um die Probe zu lösen. Der Bohrkern kann dann mit der Lasche herausgezogen werden. Die entnommenen Proben werden in Plastikröhrchen verstaut, beschriftet und später auf Holzträger aufgeleimt. Dabei ist darauf zu achten, die Proben so aufzukleben, dass die Holzfasern senkrecht zum Träger stehen, damit die Holzzellen nach dem Schleifen erkennbar sind.

In dieser Studie wurden pro Baum mindestens zwei Bohrkern entnommen. Bei Bäumen, welche eingesedimentiert waren oder freigelegt Wurzel hatten, wurden die Proben möglichst nah am Boden entnommen (ca. 20-40 cm). Damit kann eine maximale Anzahl an Baumringen in der Probe erreicht werden. Ein Bohrkern wurde wenn möglich auf der dem Prozess zugewandten Seite © entnommen, der andere auf der gegenüberliegenden Seite des Stamms (Seite d). Bei schräggestellten Bäumen wurden ebenfalls zwei Proben entnommen, eine auf der hangabwärts gerichteten Seite (d) und eine auf der hangaufwärts gerichteten Seite (c).

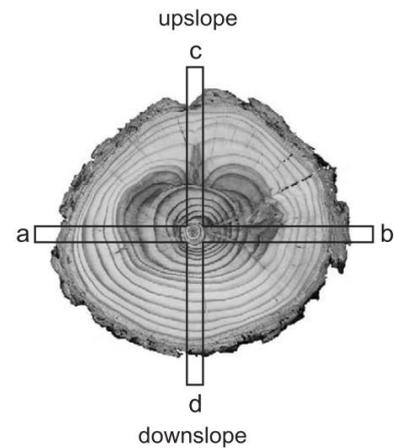


Abbildung 23: Baumscheibe mit den gekennzeichneten Bohrrichtungen a,b,c und d. Die c-Seite ist dabei hangaufwärts gerichtet und somit dem Prozess zugewandt (Stoffel et al. 2005)

Das Druckholz ist dabei auf der abwärts gerichteten Seite des Stamms zu erwarten. Falls der Baum eine Krümmung aufwies, wurden die Proben in dieser Höhe entnommen. Bei verletzten Bäumen sind ebenfalls mindestens zwei Proben nötig. Aus der Überwallung der Wunde wurde mindestens ein Bohrkern entnommen und der andere auf der dem Prozess abgewandten Seite. Die optimale Position zur Beprobung der Verletzung ist in Abbildung 24 dargestellt. Wird direkt in die Überwallung gebohrt, so fehlen im Bohrkern mehrere Jahrringe, da die Wunde von der Seite her geschlossen wird. Wird dagegen nicht nah genug an der Überwallung gebohrt, so sind im Bohrkern keine Anzeichen einer Verletzung sichtbar und das Ereignis ist nicht datierbar.

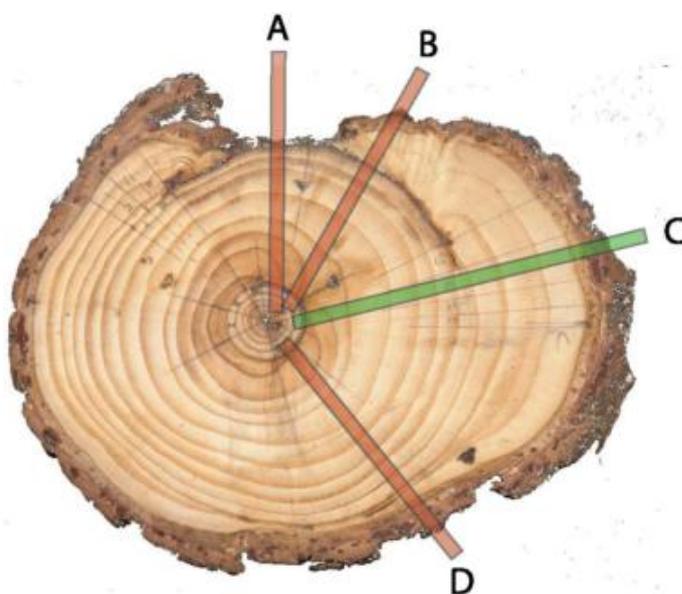


Abbildung 24: An den Positionen A oder B entnommene Proben enthalten nicht alle Jahrringe. Ein an Position D entnommener Bohrkern ist zu weit von der Verletzung entfernt und zeigt keine Anzeichen einer Verletzung. Die optimale Position zur Beprobung einer Verletzung ist an Position C, direkt am Rand der Verletzung (Stoffel & Bollschweiler 2008).

Nebst der Entnahme von Bohrkernen, wurden pro Baum folgende Angaben notiert: 1) Position des Baumes bezüglich geomorphologischer Formen; 2) Beschreibung und Skizze der sichtbaren Störungen (z.B. Wunden); 3) Position der entnommenen Proben; 4) Umfang des Stamms; 5) Informationen über benachbarte Bäume. Zusätzlich wurden von jedem Baum Fotos aufgenommen. Die Position der beprobten Bäume wurde mit Hilfe eines Laserdistometers und wenn nötig zusätzlich mit einem Massband bestimmt.

4.1.2 Auswertung der Proben

Bevor mit der Auswertung der Proben begonnen werden konnte, mussten sie mit Schleifpapier bis zu einer Körnung von 400 geschliffen werden um die Holzzellen sichtbar zu machen. Anschliessend wurden die Proben unter dem Binokular analysiert. In einem ersten Schritt wurden die Jahrringe gezählt. Begonnen wurde mit dem äussersten Ring, direkt unter der Rinde, welcher das Beprobungsjahr darstellt (2011 bzw. 2012). Auf den Proben wurden die Jahrringe am Ende einer Dekade (2010, 1990 etc.) mit einem Bleistiftpunkt, die Jahrringe in der Hälfte eines Jahrhunderts (1950, 1850 etc.) mit zwei Punkten und die Jahrringe am Ende eines Jahrhunderts (2000, 1900 etc.) mit drei Punkten markiert.

Als nächstes wurden die Jahrringbreiten aller Proben gemessen. Dazu wurde ein LINTAB Messtisch und ein Leica Stereomikroskop sowie die Software TSAPWin Scientific 4.63 der Firma Rinntech verwendet. Diese Software ermöglicht auch das Darstellen von gemessenen Jahrringserien sowie cross-dating und eine Qualitätsüberprüfung der Wachstumskurven (Bollschweiler 2007). Die Jahrringbreiten wurden mit einer Genauigkeit von 1/1000 mm gemessen.



Abbildung 25: LINTAB Messtisch und Stereomikroskop.

Mit den Proben aller Bäume ohne Wachstumsstörungen und guter Übereinstimmung der Wachstumskurven, wurde dann eine Referenzkurve erstellt. Mit Hilfe dieser Referenzkurve und durch Vergleich der Proben eines Baumes untereinander wurden fehlende Jahrringe ermittelt und eingefügt oder, beispielsweise bei Brüchen, doppelt gemessene Jahrringe gelöscht.

In einem nächsten Schritt wurden alle Wachstumsstörungen in einer Ereignistabelle erfasst. Dabei wurden Baum- und Probennummer, Koordinaten, Alter des innersten (ältesten) Jahrrings des entsprechenden Baums, Jahre mit Wachstumsstörungen, Art der Störung und deren Intensität notiert. Wachstumseinbrüche, Wachstumszunahmen und Druckholz wurden basierend auf Kogelnig-Mayer et al. (2011) nach deren Ausprägung in die drei Intensitätsklassen schwach (gelb), mittel (orange) und stark (rot) unterteilt. Verletzungen bildeten eine weitere Klasse (violett).

4.1.3 Räumlich-zeitliche Rekonstruktion von Murgangereignissen

Murgangereignisse verlassen die Murgangrinne oft nur in einem oder wenigen Sektoren des Ablagerungsgebietes. Sie hinterlassen deshalb nicht unbedingt eine grosse räumliche Spur in den Baumringserien. Aus diesem Grund gibt es bis jetzt keine quantitativen Grenzwerte die zur Bestimmung von Ereignisjahren systematisch angewendet werden können (Schneuwly-Bollschweiler et al., im Druck)

In dieser Arbeit wurden zur Bestimmung der Ereignisjahre die Stärke und Anzahl der Wachstumsstörungen in den Bäumen mit Reaktionen im gleichen Jahr sowie die räumliche Verteilung dieser Bäume berücksichtigt. Dazu wurden ein gewichteter und ein ungewichteter Index berechnet, sowie die räumliche Verteilung der Bäume mit Reaktionen mittels Moran's I und Getis-Ord Local Gi Indizes analysiert. Diese Berechnungen wurden nur für die Jahre durchgeführt, die vorher aufgrund der erstellten Ereignistabelle als mögliche Ereignisjahre bestimmt wurden. Als mögliche Ereignisjahre galten Jahre, in denen in mehreren Bäumen Wachstumsstörungen im gleichen Jahr beobachtet wurden.

Ungewichteter Index

Der ungewichtete Index I_t (1) beschreibt die Anzahl Wachstumsstörungen nach einem Ereignis mit Berücksichtigung der Anzahl lebender, beprobter Bäume im korrespondierenden Jahr. Dadurch wird berücksichtigt, dass zur Rekonstruktion von frühen Ereignissen im Gegensatz zu jüngeren Ereignissen weniger Bäume zur Verfügung stehen. Der Index für das Jahr t wird gemäss Formel (1) berechnet.

$$I_t = (\sum_{i=1}^n R_t) / (\sum_{i=1}^n A_t) * 100 \quad (1)$$

Dabei steht R für die Wachstumsreaktionen im Jahr t (höchstens eine Reaktion pro Baum und Jahr) und A für die beprobten Bäume, die im Jahr t bereits gelebt haben (Shroder 1978).

Gewichteter Index

Beim gewichteten Index W_{it} wird zusätzlich zur Anzahl lebender Bäume und Reaktionen in einem bestimmten Jahr auch die Intensität der Reaktionen mit einbezogen. Zwei wichtige Faktoren werden also mit einem Wert berücksichtigt (Kogelnig-Mayer et al. 2011). Der gewichtete Index wurde mit der Formel nach Kogelnig-Mayer et al. (2011) berechnet:

$$W_{it} = \left(\left(\sum_{i=1}^n T_i * 7 \right) + \left(\sum_{i=1}^n T_s * 5 \right) + \left(\sum_{i=1}^n T_m * 3 \right) + \left(\sum_{i=1}^n T_w \right) \right) * \frac{\sum_{i=1}^n R_t}{\sum_{i=1}^n A_t} \quad (2)$$

Dabei wird die Summe der Bäume mit einer Verletzung (T_i) mit einem Faktor 7 multipliziert, die Summe der Bäume mit starken Wachstumsreaktionen (T_s) mit einem Faktor 5 und die Summe der Bäume mit mittleren Wachstumsreaktionen (T_m) mit einem Faktor 3. R steht für die Anzahl Bäume, die eine Wachstumsreaktion im Jahr t aufweisen und A für die Anzahl lebender, beprobter Bäume im Jahr t . Da ein Baum unterschiedlich starke Reaktionen aufgrund des gleichen Ereignisses aufweisen kann, wird jeweils nur die stärkste Reaktion berücksichtigt (Kogelnig-Mayer et al. 2011).

Moran's I und Getis-Ord Local Gi

Die räumliche Verteilung der gestörten Bäume in einem bestimmten Jahr wurde in ArcGIS mit Hilfe des Moran's Index und des Getis Index analysiert. Bei Moran's Index wird die räumliche Autokorrelation von Bäumen mit gleichzeitigen Wachstumsreaktionen, basierend auf Feature-Speicherorten und Attributwerten gemessen. Dazu werden die Global Moran's I - Statistikwerte verwendet. Mit diesem Werkzeug kann ausgewertet werden, ob das von einer Gruppe von Features und einem zugeordneten Attribut gebildete Muster gruppiert (clustered), verteilt (dispersed) oder zufällig (random) ist. Ein positiver Moran's I-Indexwert zeigt eine Tendenz zur Cluster-Bildung und ein negativer Moran's I-Indexwert eine Tendenz zur Streuung an (ArcGIS help(a)); Schneuwly-Bollschweiler et al., im Druck). Der Getis-Index misst den Grad der Cluster-Bildung von hohen oder niedrigen Werten mit er Getis-Ord General G-Statistik. Je grösser das Z-Ergebnis, desto höher ist die Intensität der Cluster-Bildung. Liegt der Wert nahe bei Null, gibt es keine Cluster-Bildung im untersuchten Gebiet (ArcGIS help (b)). Bei beiden Funktionen wird ein Z-Ergebnis und ein p-Wert berechnet, die Aufschluss darüber geben, ob die Nullhypothese abgelehnt werden kann oder nicht. Dabei wird in der Nullhypothese davon ausgegangen, dass die Features oder die Feature-Werte im Untersuchungsgebiet zufällig verteilt sind (ArcGIS help (a), (c))

Die Berechnungen wurden nur für die Jahre durchgeführt, welche vorher aufgrund der Ereignistabelle als mögliche Ereignisjahre klassifiziert wurden. Das heisst, in den entsprechenden Jahren wurden mehrere Wachstumsstörungen in den gesammelten Proben beobachtet.

4.1.4 Alterskorrekturen

Zählt man die Jahrringe in den entnommenen Baumproben, so erhält man ein minimales Alter des Baumes. Um möglichst das wahre Alter der Bäume zu erhalten, müssen Korrekturen für die Entnahmehöhe für fehlende Jahre bis zum Mark vorgenommen werden. Für die Bergföhren im Untersuchungsgebiet wurde ein Höhenzuwachs von 5 cm pro Jahr angenommen. Folglich wurde bei einer Entnahmehöhe von 30 cm zum gemessenen Alter 6 Jahre hinzuaddiert. Wenn das Mark nicht in der Probe enthalten war, wurde zur Abschätzung der fehlenden Jahrringe bis zum Mark des Baumes eine Schablone mit konzentrischen Ringen verwendet (Trappmann 2011).

4.2 Archivdatensuche

Zusätzlich zur dendrogeomorphologischen Rekonstruktion von Murgangereignissen wurde in der Literatur nach aufgezeichneten, historischen Überschwemmungen, Rutschungen oder Murgängen in der Umgebung des Untersuchungsgebietes gesucht. Dazu wurde hauptsächlich die Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz von Röthlisberger (1991) verwendet. Weiter wurden in der Arbeit von Stolz (2006) Angaben zu dokumentierten Murgangereignissen im Schweizer Nationalpark gefunden. Schliesslich wurden die in dieser Arbeit rekonstruierten Ereignisjahre mit den Resultaten der Arbeiten von Procter et al. (2011) im österreichischen Gamperdonatal (Vorarlberg) und Benz (1997) im Münstertal verglichen.

4.3 Analyse der Klimadaten

Die Klimadaten wurden von MeteoSchweiz zur Verfügung gestellt und stammen von der Wetterstation Buffalora. Diese befindet sich an der Grenze des Nationalparks auf 1968 m ü. M., etwa 2 km weiter östlich des Untersuchungsgebiets. Von dieser Wetterstation gibt es tägliche Temperatur und Niederschlagswerte seit dem 1. Januar 1959. Mit diesen Daten wurde die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge über den Zeitraum von 1959 bis 2012 berechnet. Ausserdem wurde die durchschnittliche Temperatur und der durchschnittliche Niederschlag für Frühling (März, April, Mai), Sommer (Juni, Juli, August), Herbst (September, Oktober, November) und Winter (Dezember, Januar, Februar) berechnet.

Weiter wurde in den Jahren mit einem rekonstruierten Murgangereignis nach stärkeren Niederschlägen gesucht, die ein Ereignis ausgelöst haben könnten. Wenn der mögliche Tag der Ereignisse aus der Literatur bekannt war, wurde überprüft, ob sich diese Ereignisse in den Klimadaten an den entsprechenden Tagen widerspiegeln.

5. Resultate

5.1 Murgangaktivität

5.1.1 Wachstumsstörungen

In den 396 analysierten Proben wurden 402 Wachstumsstörungen beobachtet, die von vergangenen Ereignissen stammen. In Tabelle 3 ist die Anzahl beobachteter Wachstumsstörungen aufgelistet. Mit 51% wurden Wachstumsschübe am häufigsten beobachtet, gefolgt von Wachstumseinbrüchen mit 20.1%. Druckholz wurde 69 mal beobachtet und Verletzungen 23 mal. Die Wachstumsstörungen konnten nur aufs Jahr genau datiert werden, eine Zuordnung zur Jahreszeit war nicht möglich.

Tabelle 3: Anzahl beobachteter Wachstumsstörungen.

| Wachstumsstörung | Anzahl | % |
|-------------------|------------|------------|
| Verletzung | 23 | 5.7 |
| Druckholz | 69 | 17.2 |
| Wachstumsschub | 205 | 51.0 |
| Wachstumseinbruch | 105 | 26.1 |
| Total | 402 | 100 |

5.1.2 Baumalter

Das durchschnittliche, korrigierte Alter der beprobten Bäume im Val Brüna liegt bei 215 Jahren. Nach der Alterskorrektur lag das Durchschnittsalter 12 Jahre höher als vor der Korrektur. Der älteste Baum weist ein Alter von 314 Jahren (1697) auf und der jüngste ein Alter von 48 Jahren (1964). Abbildung 26 gibt eine Übersicht über die Altersverteilung der Bäume im Untersuchungsgebiet. Die ältesten Bäume (> 250 Jahre) befinden sich alle unterhalb der Hauptrinne oder im Bereich des östlich abzweigenden Arms der Rinne. Die jüngsten Bäume mit Altern bis 150 Jahre sind hauptsächlich in oder direkt an der Hauptrinne zu finden. Einige befinden sich auch bei der Waldschneise an der Biegung der Hauptrinne.

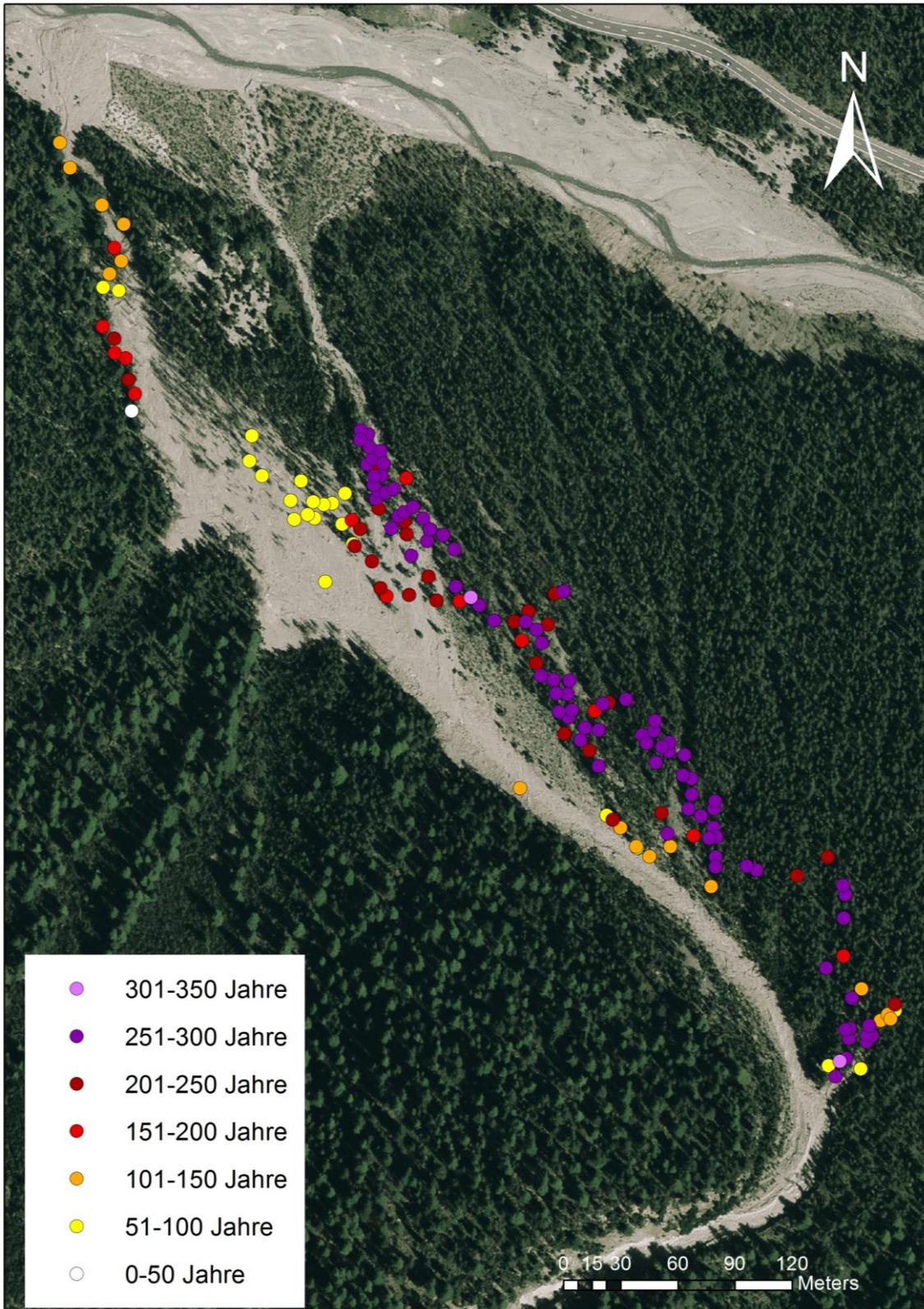


Abbildung 26: Altersverteilung der beprobten Bäume

5.1.3 Ereignisjahre

Durch die Analyse der 396 Proben konnten insgesamt 32 Murgangereignisse zwischen 1789 und 2006 rekonstruiert werden (Tabelle 4). Bei 17 Ereignissen basiert die Rekonstruktion auf vielen und deutlichen Wachstumsstörungen in den entnommenen Proben. Bei den anderen 15 Ereignissen ist die Anzahl der beobachteten Wachstumsstörungen geringer und/oder die Reaktionen waren weniger deutlich ausgeprägt. Diese Jahre wurden als mögliche Ereignisjahre klassiert. In 9 weiteren Jahren wurden ebenfalls Wachstumsreaktionen beobachtet, deren Anzahl und Stärke waren aber nicht ausreichend um sie als Ereignisjahren zu betrachten. Zusätzlich zu den 32 Murgangereignissen wurde für den Winter 1950/51 ausserdem eine Lawine rekonstruiert. Die Resultate der Berechnungen des gewichteten und ungewichteten Index sowie der Klassifizierung der räumlichen Verteilung nach Moran und Getis sind im Anhang in Tabelle 8 aufgelistet.

Das Jahr 1920 wurde trotz einem W_{it} von 2.4 und einem I_t von 8.8 % nur als mögliches Ereignisjahr klassifiziert. Grund dafür ist, dass bereits für das Jahr 1918 ein Ereignis rekonstruiert wurde und es daher schwierig ist, die beiden Ereignisjahre voneinander zu trennen. Die Reaktionen, die nach 1918 in den Bäumen beobachtet wurden, könnten einerseits verzögerte Folgereaktionen des Murgangs von 1918 sein oder sie könnten durch ein neues Ereignis verursacht worden sein.

Das Gleiche gilt für das Jahr 1928, wobei bei diesem Jahr der W_{it} bei 0.9 und der I_t bei 4.7% liegt. Hier wurde bereits im Jahr 1927 ein mögliches Ereignis rekonstruiert und es kann nicht mit Sicherheit bestimmt werden, ob im Jahr 1928 ein neues Ereignis stattfand, oder ob die beobachteten Reaktionen eine Folge des Murgangs von 1927 sind.

Tabelle 4: Klassifikation der analysierten Jahre in Ereignisjahre und mögliche Ereignisjahre.

| Jahr | Ereignis | Mögliches Ereignis |
|---------|----------|--------------------|
| 1789 | x | |
| 1813 | x | |
| 1821 | | x |
| 1831 | | x |
| 1834 | | x |
| 1839 | x | |
| 1851 | x | |
| 1859 | x | |
| 1865 | | x |
| 1868 | x | |
| 1874 | x | |
| 1880 | | x |
| 1888 | x | |
| 1918 | x | |
| 1920 | | x |
| 1927 | | x |
| 1928 | | x |
| 1930 | x | |
| 1944 | | x |
| 1947 | | x |
| 1950/51 | Lawine | |
| 1954 | x | |
| 1957 | x | |
| 1963 | x | |
| 1967 | | x |
| 1977 | | x |
| 1982 | | x |
| 1993 | | x |
| 1995 | | x |
| 1996 | x | |
| 1998 | x | |
| 2003 | x | |
| 2006 | x | |
| Total | 17 | 15 |

5.1.4 Ereignisfrequenz

Über eine Zeitspanne von 200 Jahren gesehen (d.h. seit 1812) beträgt die Wiederkehrperiode 6.5 Jahre, was eine Frequenz von 1.55 Ereignissen pro Dekade ergibt. Während dieser Zeit gab es Perioden mit höherer und tieferer Ereignisfrequenz. Im Zeitabschnitt von 1812 bis 1888 wurden 12 Ereignisse registriert, was eine Wiederkehrperiode von 6.3 Jahren ergibt. Betrachtet man den Abschnitt von 1918 bis 2012 beträgt die Wiederkehrdauer nur 4.7 Jahre. Für die 30 Jahre zwischen 1888 und 1918 wurden keine Murgangereignisse rekonstruiert. Es gab lediglich in 3 Jahre Anzeichen für Ereignisse, diese waren aber nicht deutlich genug um diese Jahre als mögliche Ereignisse zu klassieren. Dieser Zeitabschnitt stellt also möglicherweise eine Periode mit reduzierter Murgangaktivität dar. Es ist aber auch denkbar, dass die Rinne zu dieser Zeit zu tief war und die Murgänge den Wald nicht erreichten. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts und Anfang des 19. Jahrhunderts wurden ebenfalls weniger Ereignisse registriert. Ein Grund dafür ist die geringere Anzahl Bäume, die zu dieser Zeit bereits gelebt haben. Abbildung 27 illustriert die rekonstruierte Murgangfrequenz, wobei die gestrichelten Linien die Ereignisse repräsentieren, welche nur als mögliche Ereignisse klassifiziert wurden und die grüne Linie die Anzahl lebender, beprobter Bäume angibt. Abbildung 28 illustriert die Anzahl Ereignisse pro Dekade.

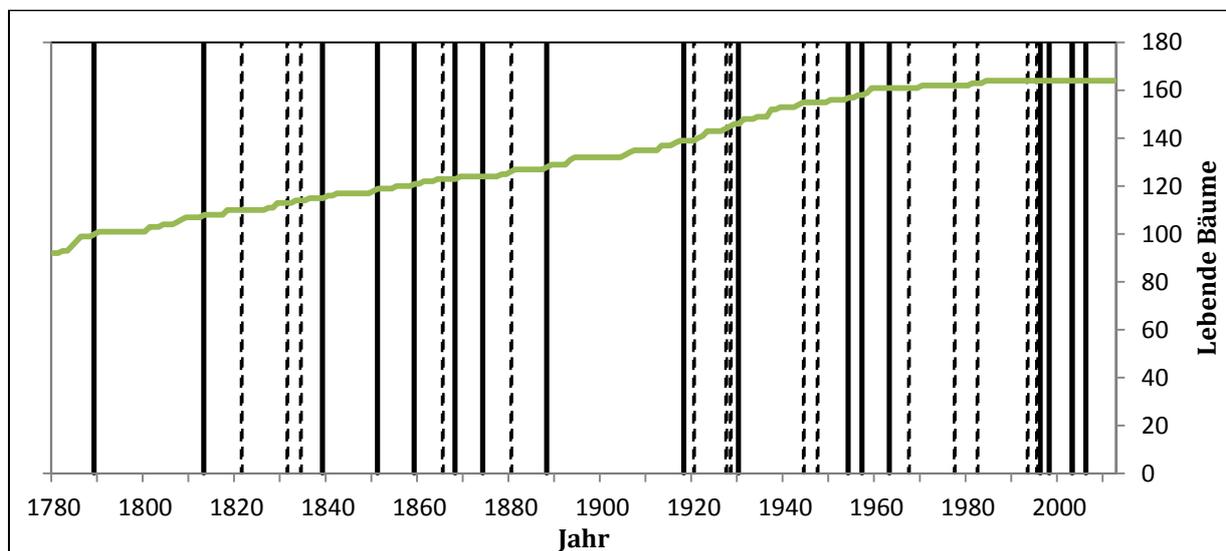


Abbildung 27: Rekonstruierte Murgangfrequenz im Val Brüna. Dargestellt sind die Anzahl lebender, beprobter Bäume (grün), rekonstruierte Ereignisjahre (schwarz) und rekonstruierte, mögliche Ereignisjahre (gestrichelt).

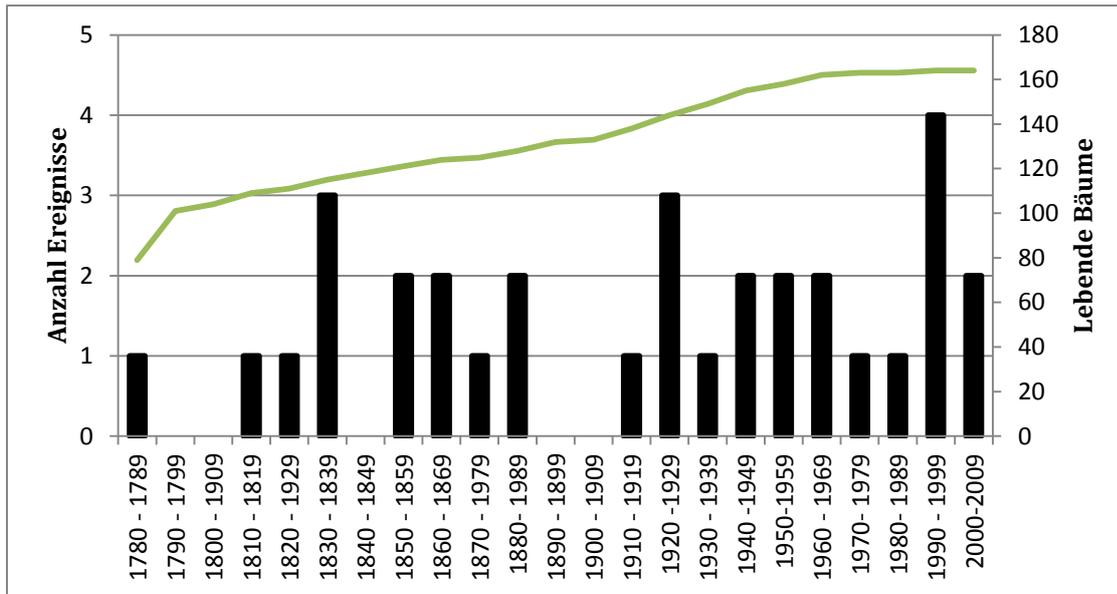


Abbildung 28: Anzahl rekonstruierte Ereignisjahre und mögliche Ereignisjahre pro Dekade. Die grüne Linie stellt wiederum die Anzahl der lebenden, beprobten Bäume an.

5.1.5 Treffer pro Baum

In Abbildung 29 ist die Verteilung der Anzahl Treffer pro Baum für die rekonstruierten Murgangereignisse dargestellt. Im Durchschnitt wurde jeder Baum 1.9 mal getroffen. Ein Baum weist mit 6 Treffern die maximale Anzahl Treffer pro Baum auf. Dieser Baum befindet sich in der Hauptrinne und ist daher sehr exponiert. 18.3 % der beprobten Bäume wurden nie getroffen und 20.1% wurden einmal getroffen. Die meisten Bäume (32.9 %) weisen 2 Treffer auf. Der Anteil Bäume welche mehr als dreimal getroffen wurden, liegt bei 13.4 %. Die Verteilung der Bäume mit hoher und niedriger Anzahl Treffer ist, wie in Abbildung 29 ersichtlich, ziemlich durchmischt. Es können keine Sektoren mit besonders hoher oder besonders niedriger Trefferrate abgegrenzt werden. Jedoch scheinen sich die Bäume mit höherer Trefferrate vermehrt in der Nähe der Ausbruchsrinnen (gemäss Abbildung 30) zu befinden. Dies ist besonders bei der Ausbruchsstelle 4 der Fall.

Tabelle 5: Anzahl Bäume mit 0 bis 6 Treffern pro Baum.

| Treffer pro Baum | Anzahl Bäume | % |
|------------------|--------------|-------|
| 0 | 30 | 18.3 |
| 1 | 33 | 20.14 |
| 2 | 54 | 32.9 |
| 3 | 25 | 15.2 |
| 4 | 16 | 9.8 |
| 5 | 5 | 3.0 |
| 6 | 1 | 0.6 |

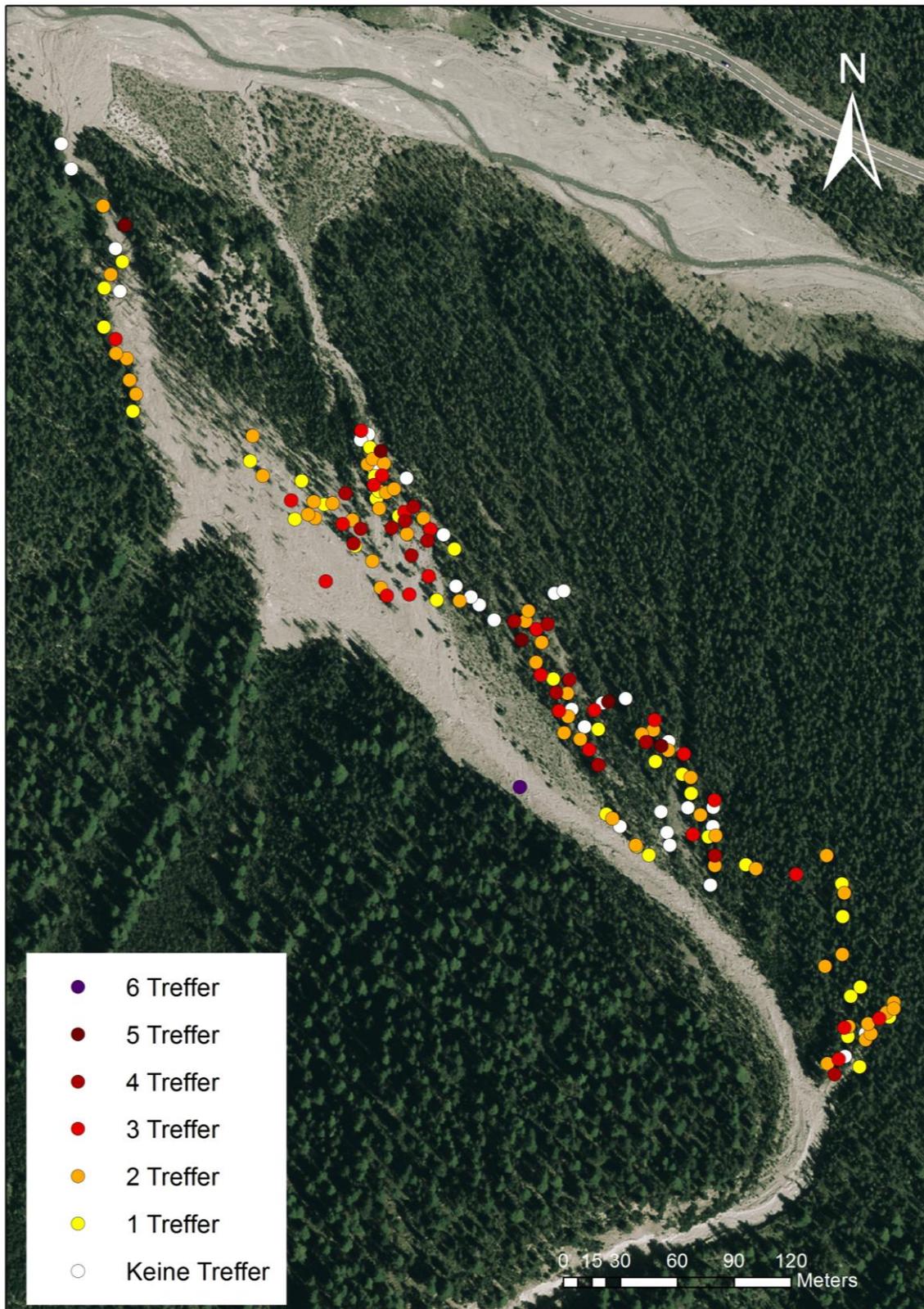


Abbildung 29: Räumliche Darstellung der Anzahl Treffer pro Baum.

5.1.6 Räumliche Ausbreitung der Ereignisse

Die räumliche Ausbreitung der vergangenen Murgangereignisse konnte aufgrund der Standorte der getroffenen Bäume bestimmt werden. Abbildung 30 zeigt die verschiedenen Ausbruchsstellen. Die Ereignisse in den ersten ungefähr 100 Jahren der rekonstruierten Zeitspanne, also bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts scheinen andere Fließwege bevorzugt zu haben als die Ereignisse in den letzten knapp 100 Jahren. Bis ca. 1918 verliessen die meisten Murgänge die Hauptrinne bei den Ausbruchsstellen 2 und 3. Manche erreichten auch die Bäume im Bereich der Rinne 1. Bei Rinne 2 und bei der Ausbruchsstelle 1 wurden die Bäume nur selten getroffen und zeigen nur schwache Wachstumsstörungen. Einzig das Ereignis von 1859 (Abb. 31) scheint die Hauptrinne hauptsächlich bei Position 1 verlassen zu haben und die Bäume im Bereich zwischen den Ausbruchsstellen 1 und 2 gestört zu haben.

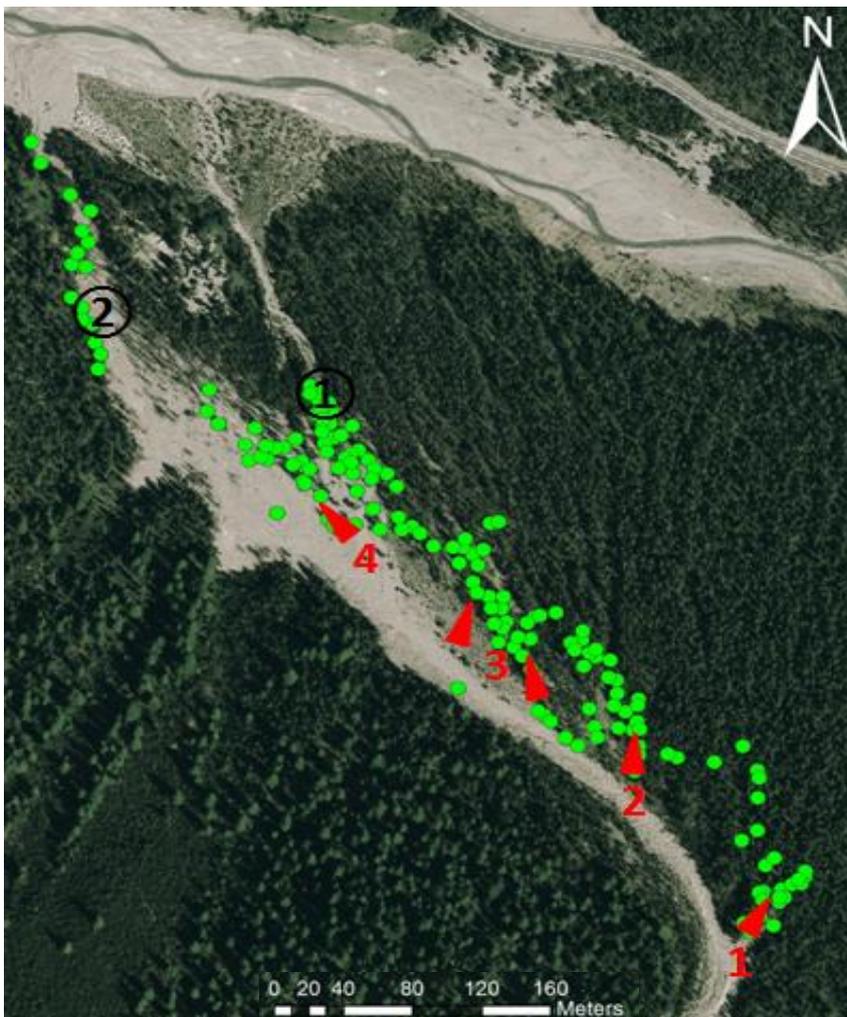


Abbildung 30: Darstellung der 4 Ausbruchsstellen vergangener Murgänge (rot) und den beiden momentan aktiven Rinnen (schwarz).

Nach ca. 1920 Verliessen die Murgänge die Hauptrinne seltener bei den Ausbruchsstellen 1 und 2 und erreichten vermehrt die Bäume bei der Rinne 2. Die Bäume in Rinne 1 wurden weiterhin häufig von den Murgängen gestört, aber zusätzlich wurde auch vermehrt der Bereich bei Position 4 getroffen. 1930 fand der erste grosse Ausbruch bei Ausbruchsstelle 1 statt. Der wahrscheinlich grösste Ausbruch ereignete sich hier im Jahr 1998 (Abb. 31). Sonst zeigen in diesem Bereich meist nur einzelne Bäume Wachstumsstörungen.

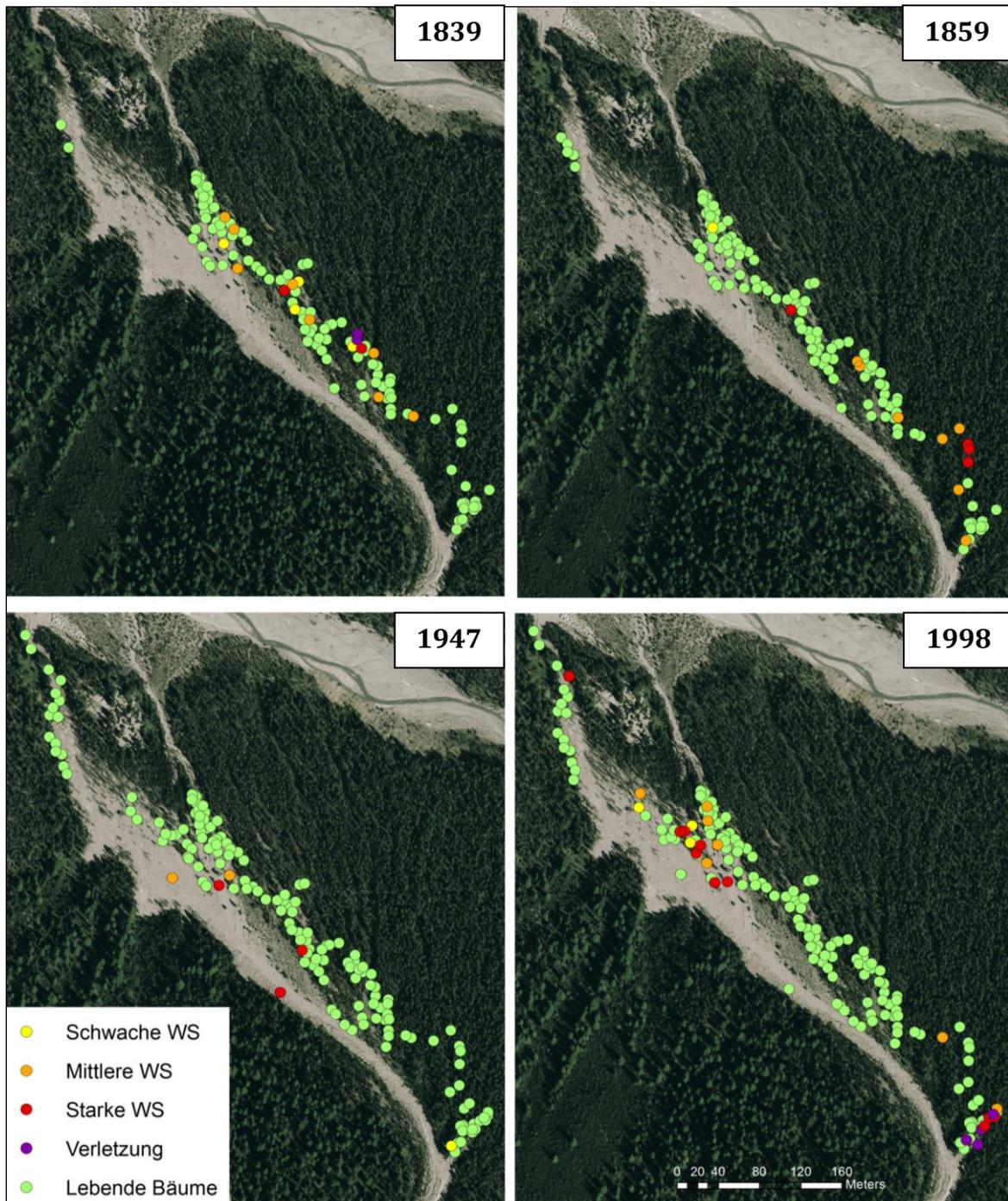


Abbildung 31: Räumliche Ausbreitung der Murgänge von 1839, 1859, 1947 und 1998.

Abbildung 31 zeigt die räumliche Verteilung der Bäume mit Wachstumsstörungen in vier ausgewählten Ereignisjahren. Das Ereignis von 1839 zeigt das typische Ausbreitungsmuster von Murgängen im 19. Jahrhundert, wo zumeist Bäume unterhalb der Ausbruchstellen 2 und 3 beeinflusst wurden. Der Murgang von 1947 scheint die Hauptrinne kaum verlassen zu haben und ist somit nur in wenigen Bäumen, die in oder direkt an der Rinne standen, sichtbar. Beim Murgang von 1998 wurden viele Bäume getroffen. Dies vor allem bei der Ausbruchsstelle 1 an der Biegung der Hauptrinne, wo mehrere Bäume Verletzungen aufweisen. Das Material, das die Rinne nicht an dieser Stelle verliess, folgte der Hauptrinne bis zur Aufgabelung in Rinne 1 und 2, wo ebenfalls zahlreiche Bäume getroffen wurden.

5.1.7 Lawine von 1951

Der Winter 1950/51 war ein Lawinenwinter mit extrem starken Schneefällen. Im Januar fanden insbesondere in den Ostalpen grosse Lawinenniedergänge statt. Besonders viele Lawinen ereigneten sich zwischen 19. und 22. Januar. Das Oberengadin erhielt in diesem Januar etwa fünfmal so viel Niederschlag wie im langjährigen Mittel. Ausserdem waren die Temperaturen in diesem Monat allgemein zu hoch. Der Februar war ebenfalls zu niederschlagsreich und Lawinen gingen nieder. Rund die Hälfte der schadenbringenden Lawinen dieses Winters ereigneten sich im Kanton Graubünden. Auch im Münstertal und im Gebiet von Zernez wurden Lawinen registriert (de Quervain et al. 1952). Wie Abbildung 32 zeigt, befinden sich die Bäume mit Wachstumsstörungen aus dem Jahr 1951 hauptsächlich unterhalb eines Hanges mit junger Vegetation, wo der Wald einmal durch eine Lawine zerstört wurde. Vermutlich geschah dies durch eine Lawine im Winter 1950/51. Weiter oben, im Bereich der Kurve der Rinne weisen ebenfalls einige Bäume Wachstumsstörungen auf. Möglicherweise stammen diese von einer weiteren Lawine, die durch den oberen Bereich der Murgangrinne niederging.

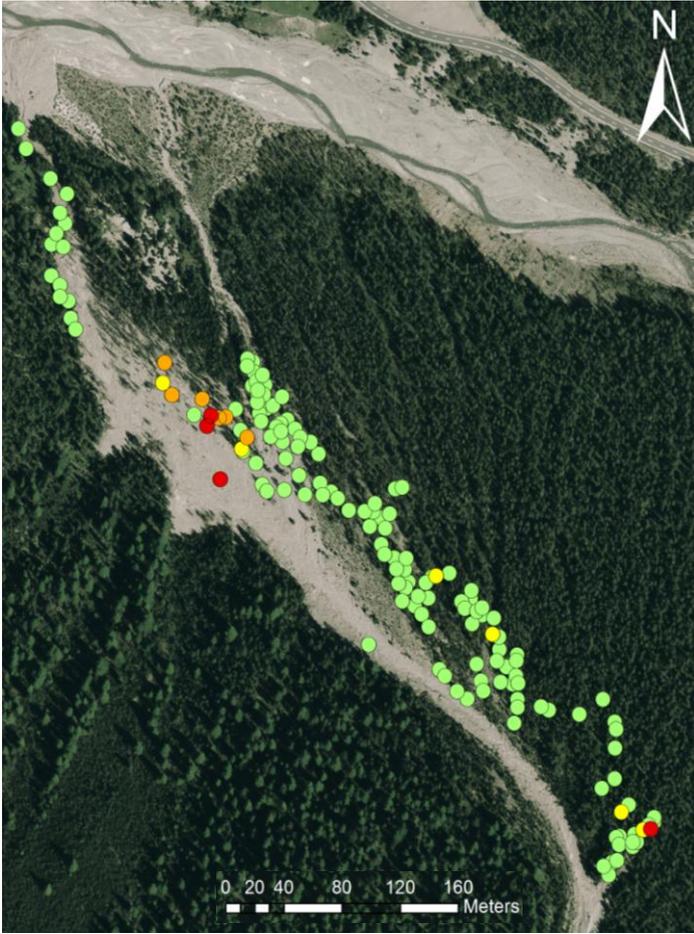


Abbildung 32: Räumliche Verteilung der durch die Lawine von 1950/51 verletzten Bäume.

5.3 Klimadaten

Über den Zeitraum der verfügbaren Messdaten konnte kaum Veränderung der saisonalen Temperatur und Niederschlagswerte festgestellt werden. Einzig die durchschnittliche Frühlingstemperatur scheint etwas gestiegen zu sein (Abb. 33).

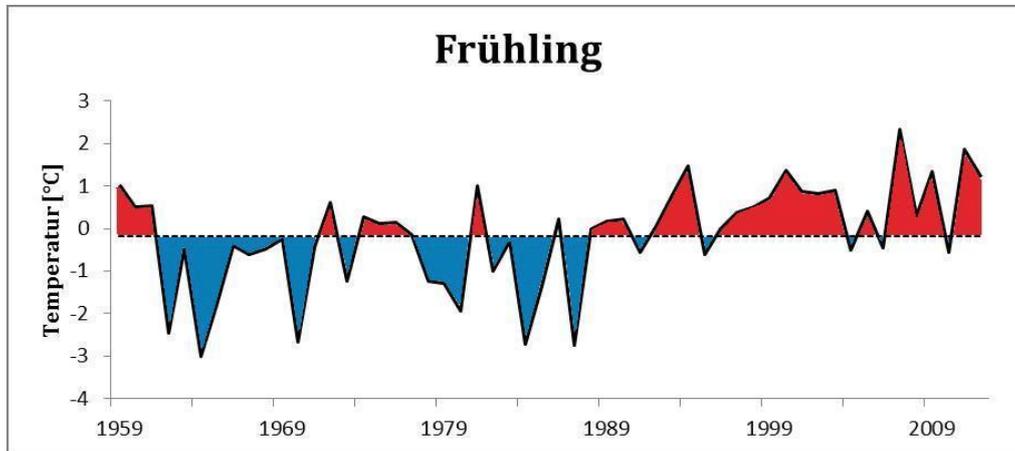


Abbildung 33: Entwicklung der durchschnittlichen Frühlingstemperatur von 1959 bis 2012.

Die maximalen Tagesniederschläge liegen für die rekonstruierten Ereignisjahre zwischen 25.3 und 68.4 mm, der Durchschnitt liegt bei 46.12 mm (1959-2012). In den Jahren, für die kein Ereignis rekonstruiert wurde liegen die maximalen Tagesniederschläge zwischen 25.1 mm und 93 mm und der Durchschnitt bei 50.25 mm. (1959-2012).

Für die Jahre mit rekonstruierten Murgängen (nach 1959) wurden die Niederschlagsdaten der Station Buffalora angeschaut. Dabei waren die Monate von Mai bis Oktober von Interesse, wo der Niederschlag in Form von Regen und nicht als Schnee fällt. Das Anrissgebiet des Murgangs im Val Brüna liegt rund 332 m höher als die Wetterstation Buffalora. Da die Temperatur pro 100 m Höhenanstieg um ca. 0.8 °C abnimmt, liegt die Temperatur im Anrissgebiet etwa 2.7 °C unter den bei Buffalora gemessenen Temperaturen. Zum Vergleich der Niederschlagsdaten mit den Murgängen wurden die Informationen aus der Archivdatensuche (Kapitel 6.3) hinzugezogen.

1963

In den Monaten Mai bis Oktober 1963 fiel am 17. August mit 32.2 mm am meisten Regen. Insgesamt gab es vom 12. bis am 17. August 68.6 mm Regen. Weiter gab es am 27. August 30.9 mm und am 15. Mai 30 mm sowie am 23. Juni 27.6 mm Niederschlag. Ansonsten fiel in diesem Jahr an keinem Tag von Mai bis Oktober mehr als 20 mm Regen.

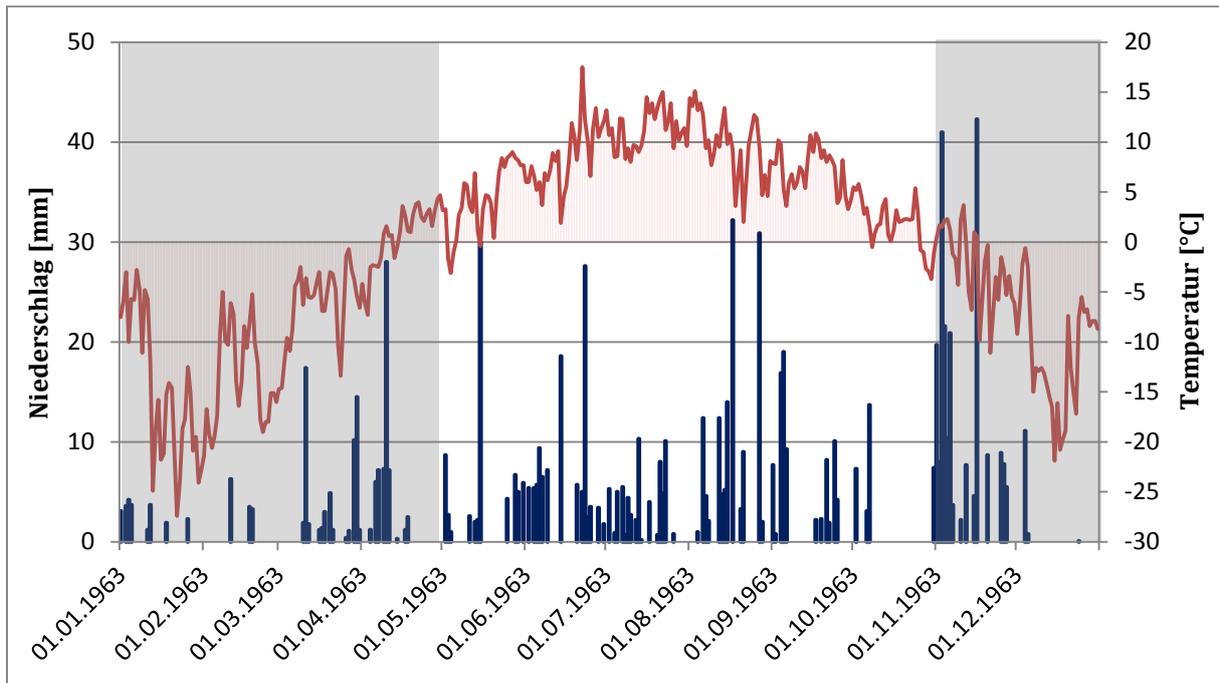


Abbildung 34: Klimadiagramm von 1963.

1967

In diesem Jahr erreichten die täglichen Niederschlagswerte mehrmals 22 bis 25 mm im Mai und Juli. Perioden mit mehreren Regentagen in Folge mit maximal ungefähr 15- 20 mm Niederschlag gab es Ende Juli, im August und Anfangs September. Ansonsten wurden keine stärkeren Regenfälle registriert und der maximale Niederschlag im Jahr 1967 erreichte nur 25.3 mm.

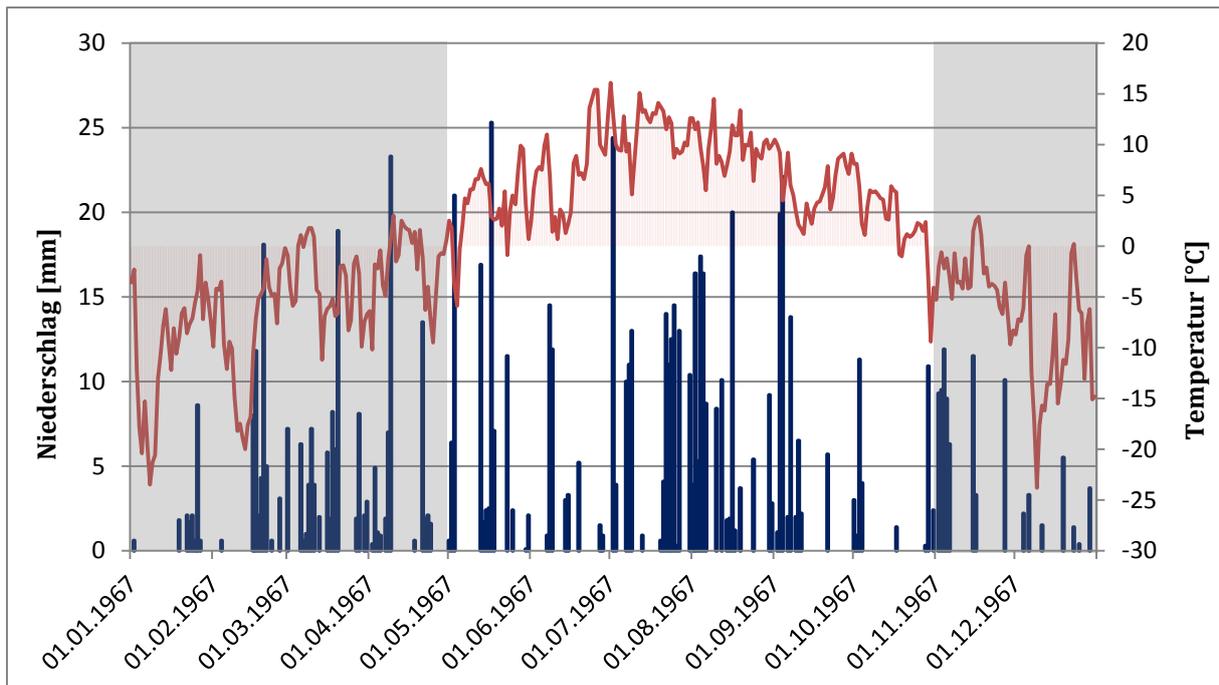


Abbildung 35: Klimadiagramm von 1967.

1977

In diesem Jahr ereigneten sich im Mai und Juni Murgänge im Münstertal. Die stärksten Niederschläge wurden am 19. Mai mit 49.9 mm und am 4. Mai mit 39.6 mm gemessen. Im Juni blieben alle Niederschläge unter 20 mm. Etwas mehr Regen gab es weiter am 25. Juli mit 31.9 mm.

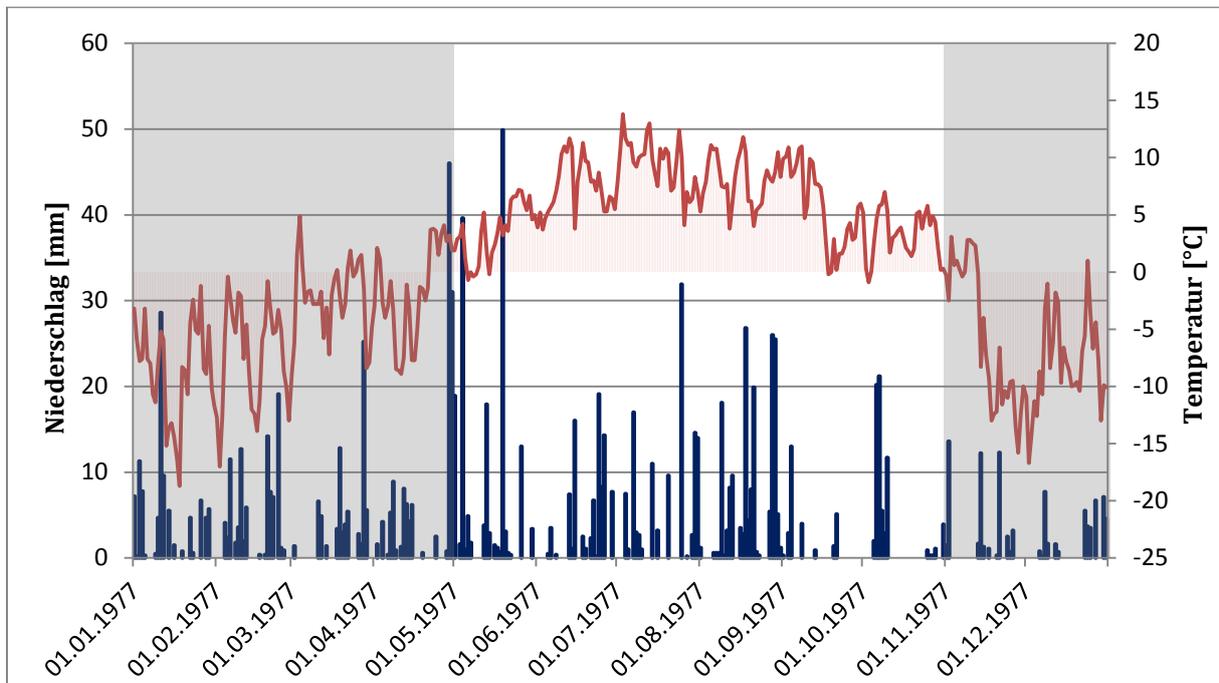


Abbildung 36: Klimadiagramm von 1977.

1982

Am 16. August 1982 kam es im Münstertal zu zahlreichen Rüfenniedergängen. An diesem Tag wurden bei Buffalora 18.7 mm Regen registriert. Am meisten Niederschlag gab es am 31. August mit 41.5 mm und am 11. und 12. Juni mit 29 bzw. 22.4 mm. Von Ende August bis Anfang September fielen mehrmals mehr als 20 mm Regen.

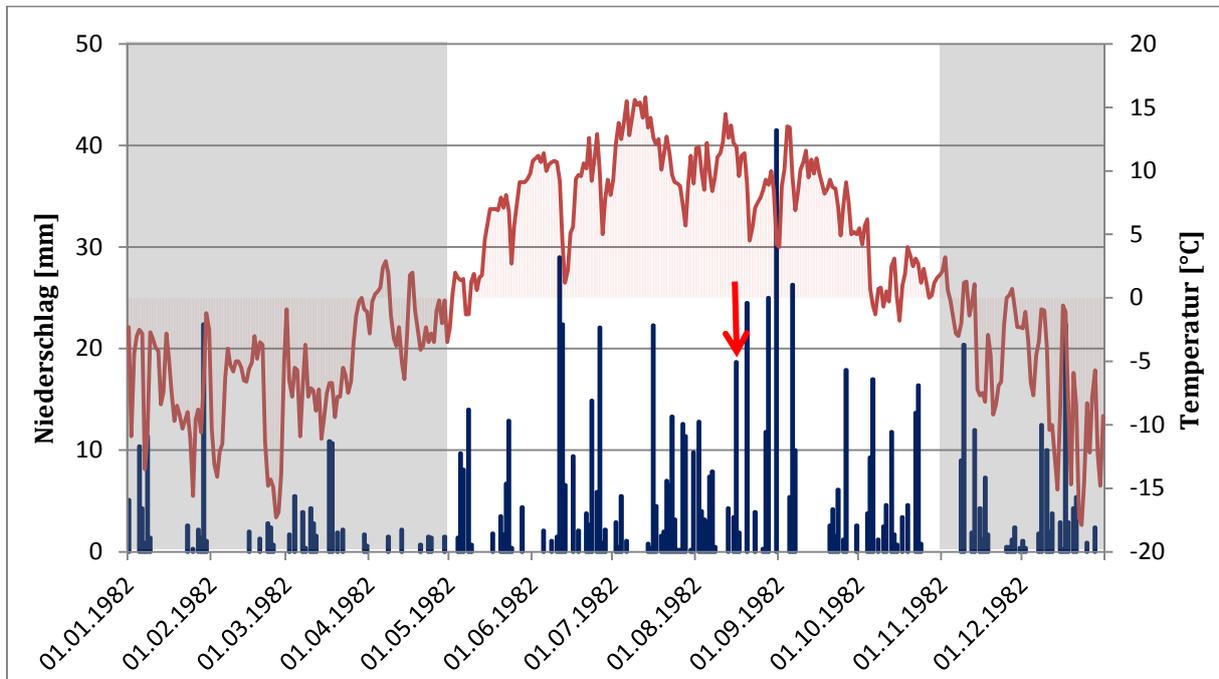


Abbildung 37: Klimadiagramm von 1982. Der rote Pfeil markiert die aufgezeichneten Rüfenniedergänge im Münstertal am 16. August.

1993

Im Nationalpark wurden am 3. und 4. August 1993 Murgänge registriert. Bei der Wetterstation Buffalora wurde am 3. August lediglich 1.7 mm Niederschlag gemessen und am 4. August blieb es ganz trocken. Der meiste Regen fiel in diesem Jahr im Oktober. Am 2. Oktober gab es 68.4 und am 8. Oktober 60.7 mm Niederschlag. Die Dreitagessummen liegen vom 30. September bis 2. Oktober bei 91.7 mm und vom 6. bis 8. Oktober bei 86.4 mm. Der dritthöchste Niederschlagswert wurde mit 48.7 am 10. Juli gemessen. Vorher und nachher gab es hier aber nur wenig Regen. Am 8. August und am 14. Oktober, als im Nationalpark Hochwasser registriert wurden, fiel bei Buffalora ebenfalls kaum Niederschlag.

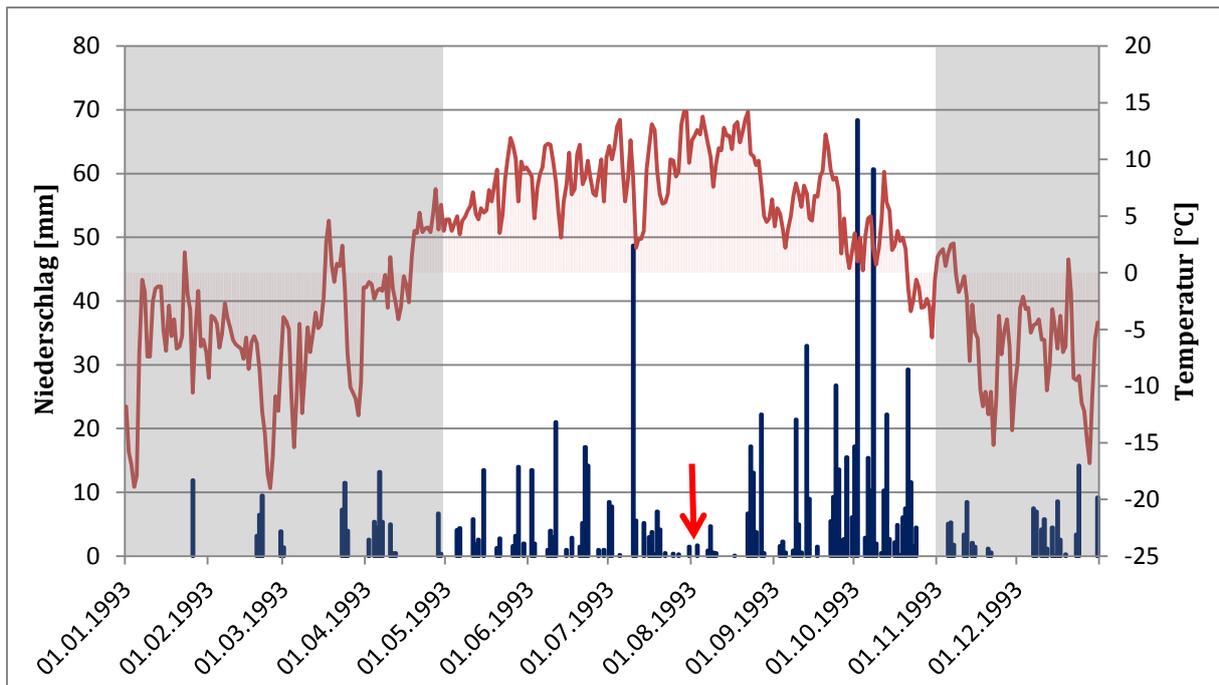


Abbildung 38: Klimadiagramm von 1993. Der rote Pfeil markiert die aufgezeichneten Murgänge vom 3. und 4. August.

1995

Der meiste Niederschlag fiel am 3. Juli, 7. September und 13. September, wo es jeweils zwischen 28.1 und 33.9 mm Regen gab. Eine regenreichere Periode wurde vom 29. bis am 31. Mai registriert, als es 56.6 mm Niederschlag gab gefolgt von weiteren Tagen mit etwas Regen.

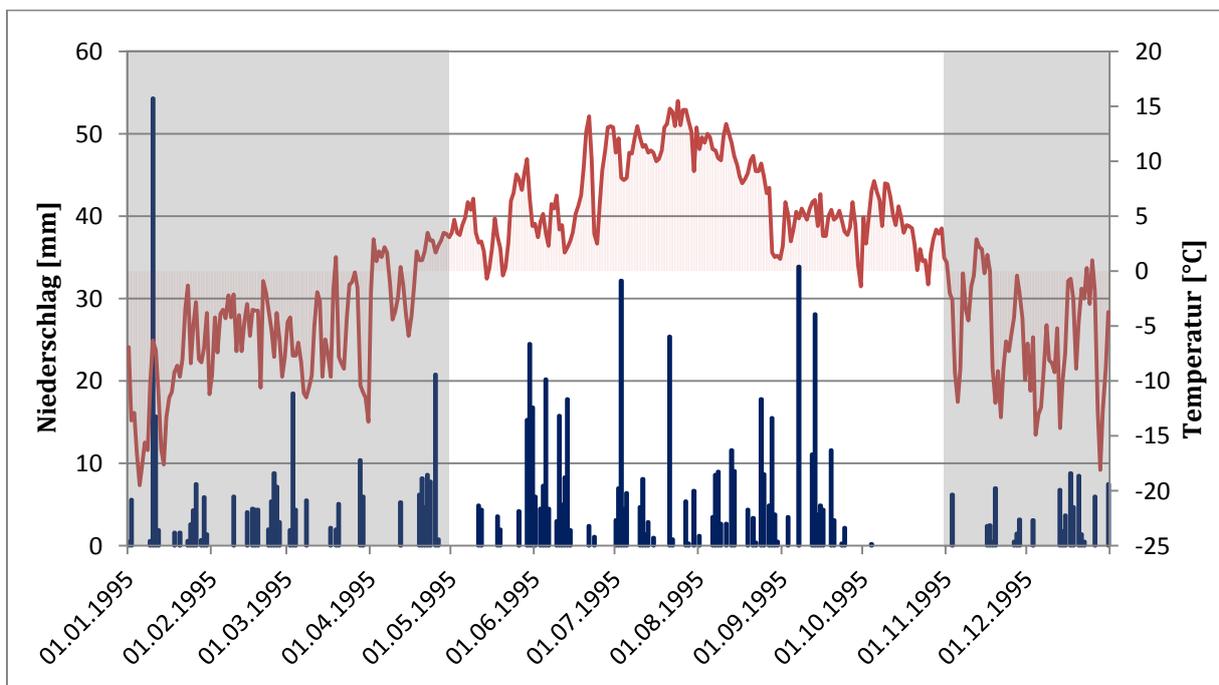


Abbildung 39: Klimadiagramm von 1995.

1996

Am meisten Regen gab es 1996 am 21. Juni mit 51.9 mm. Die Zweitagesessumme von 21. und 22. Juni liegt bei 89.6 mm und die Dreitagesessumme mit dem 20. Juni bei 101.4 mm. Der 27. August war mit 47.2 ebenfalls regenreich und zusammen mit dem 28. August fiel insgesamt 69.1 mm Niederschlag. Niederschlagswerte von rund 27 mm wurden am 5. Juli und am 16. Oktober gemessen. Dabei kam es jeweils auch an den Tagen davor und danach zu Regenmengen um die 20 mm.

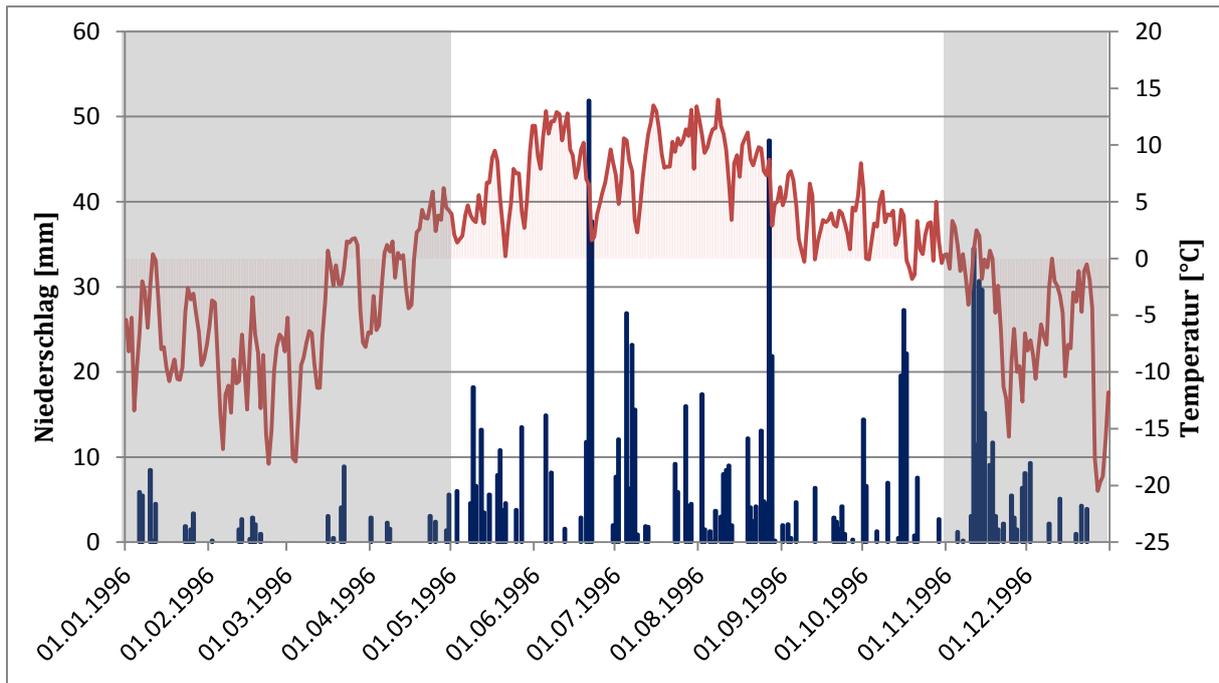


Abbildung 40: Klimadiagramm von 1996.

1998

In diesem Jahr gab es am 25. Juni den meisten Regen mit 47.2 mm gefolgt vom 11. Juni mit 41.6 mm. Vor dem 11. Juni gab es bereits seit dem 28. Mai immer wieder Tage mit Niederschlägen von 8 bis 18.6 mm, was sich zu 116.7 mm Regen aufsummierte. Anfang Oktober gab es ebenfalls eine feuchte Periode, wo es zwischen dem 30. September und dem 7. Oktober 81.6 mm Niederschlag gab. Davon fiel die Hälfte am 6. und 7. Oktober.

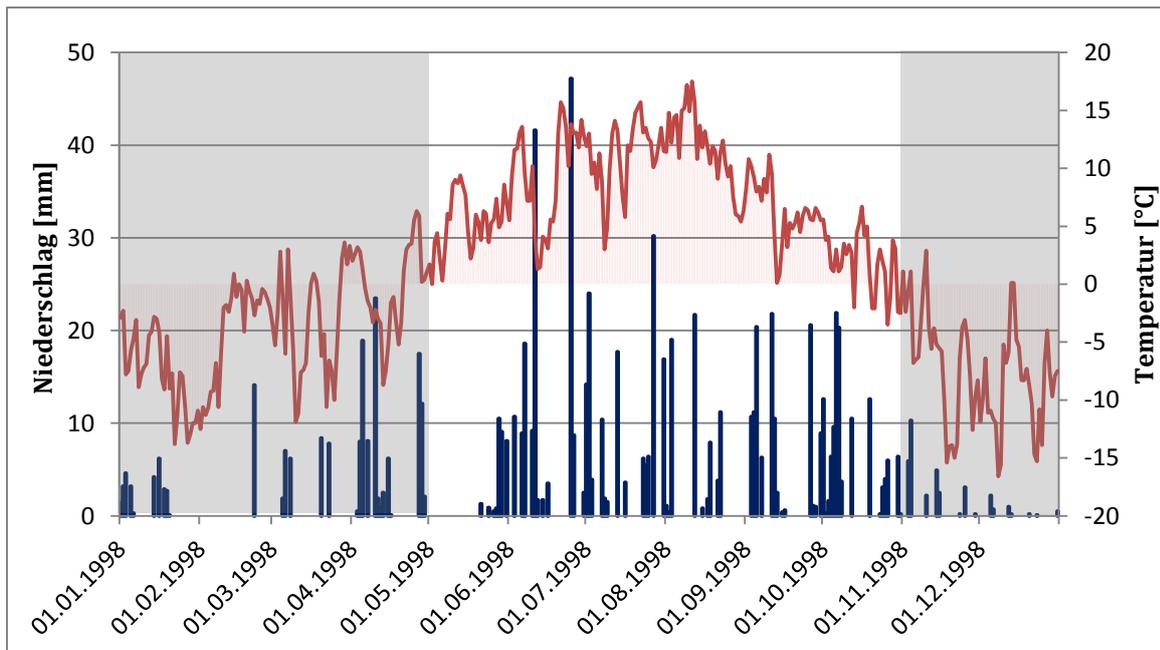


Abbildung 41: Klimadiagramm von 1998.

2003

Im Nationalpark wurden in diesem Jahr am 12. Juni, unter anderem im Val Chavagl, und am 16. Juli Murgänge registriert. Am 12. Juni wurden bei Buffalora 20.6 mm Regen gemessen, in den Tagen davor gab es nur wenig Niederschlag. Am 16. Juli fielen lediglich 2.9 mm Niederschlag, rechnet man die Werte vom 15. und 16. Juli zusammen ergeben sich 25.1 mm Regen. Am meisten Niederschlag gab es im Jahr 2003 mit 64.7 mm am 31. Oktober.

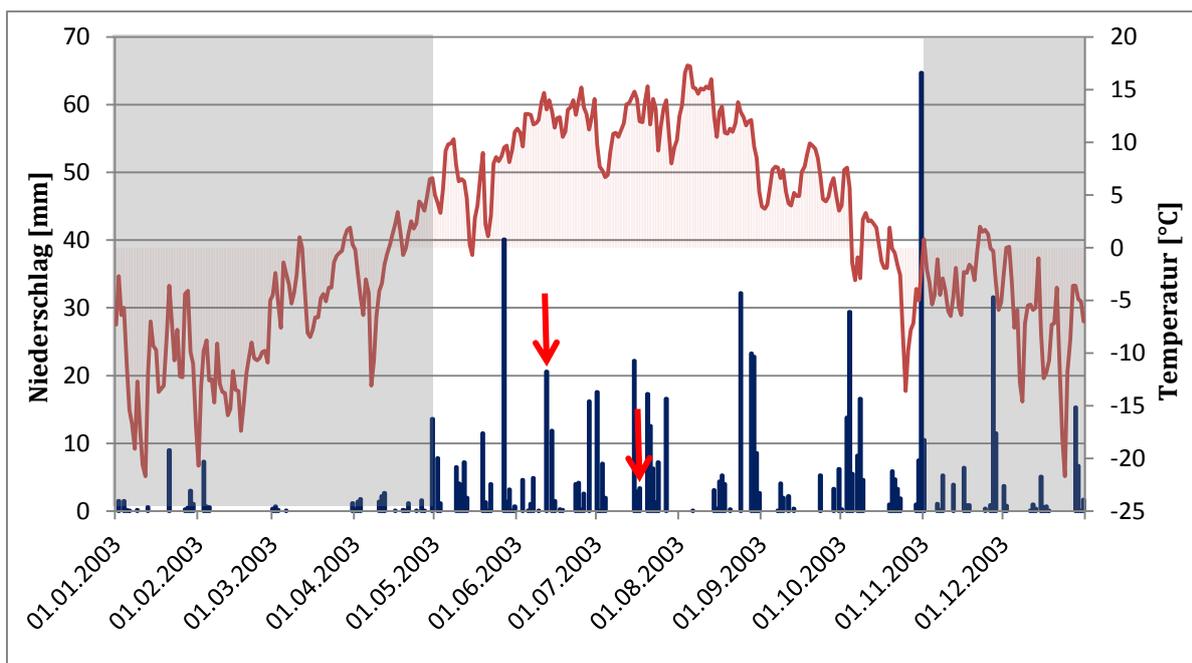


Abbildung 42: Klimadiagramm von 2003. Die roten Pfeile markieren die aufgezeichneten Murgangereignisse am 12. Juni und 16. Juli.

2006

In diesem Jahr kam es am 5. Juli nach einem heftigen Gewitter zu mehreren Murgängen im Gebiet des Schweizerischen Nationalparks. Unter anderem wurde auch ein Murgang im Val Chavagl registriert. Auch bei der Wetterstation in Buffalora wurde an diesem Tag mit 36.1 mm die höchste Niederschlagsmenge dieses Jahres gemessen.

Die zweitgrösste Regenmenge fiel am 8. Juli mit 22.9 mm. Insgesamt gab es vom 5. bis am 8. Juli 83.9 mm Regen. Eine feuchtere Periode gab es auch vom 28. Juli bis 3. August mit einer Niederschlagssumme von 57.7 mm.

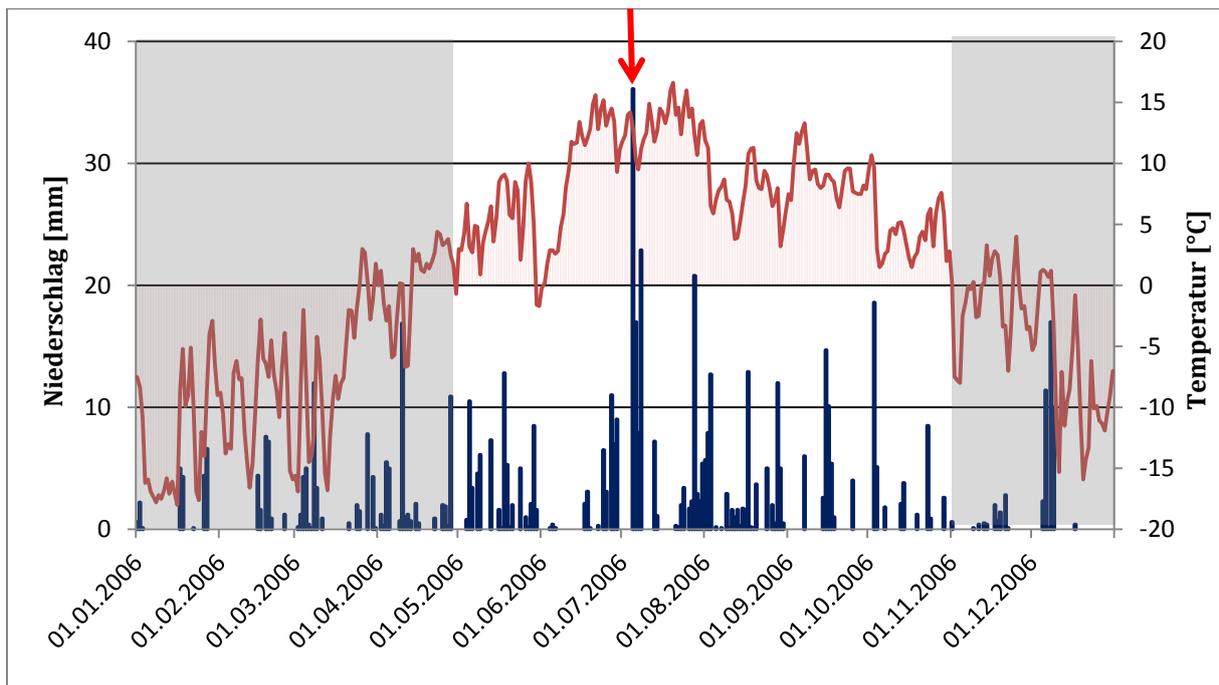


Abbildung 43: Klimadiagramm von 2006. Der rote Pfeil markiert das Datum der registrierten Murgänge im Schweizerischen Nationalpark.

6. Diskussion

Mit Hilfe der angewandten Methode war es möglich die minimal Ereignisfrequenz im Val Brüna zu rekonstruieren. Insgesamt wurden mit den 164 beprobten Bäumen 32 Murgangereignisse seit 1789 und eine Lawine rekonstruiert. Für mehrere rekonstruierte Ereignisjahre konnten übereinstimmende, aufgezeichnete Hochwasser- oder Murgangereignisse gefunden werden. Die Niederschlagswerte und der Zeitpunkt der Murgänge korrelierten nur in wenigen Fällen. Die Ausbreitungsmuster der Murgänge scheinen sich im Laufe der Zeit verändert zu haben. Die häufigsten Wachstumsstörungen traten in Form von Wachstumsschüben und Einbrüchen auf, Verletzungen wurden selten beobachtet. Das Alter der Bäume liegt bei allen in einem ähnlichen Bereich, der Durchschnitt beträgt 215 Jahre.

6.1 Methoden

6.1.1 Auswahl der Bäume

Für die Probenahme wurden Bäume ausgewählt, welche möglichst deutliche Spuren von einem Murgangereignis trugen. Im besten Fall waren dies Verletzungen im unteren Stammbereich, wo Verletzungen durch Wild oder umgefallene Nachbarbäume ausgeschlossen werden konnte. Weiter wurden schräggestellte und eingesedimentierte Bäume beprobt. Die Auswahl von Bäumen mit sichtbaren Störungen soll dazu dienen, möglichst nur Bäume zu beproben, die auch von einem Murgang betroffen wurden und somit möglichst viele der vergangenen Ereignisse rekonstruiert werden können. Weiter wurde bei der Beprobung darauf geachtet, möglichst eine gleichmässige Verteilung der Bäume entlang der Hauptrinne zu erhalten und möglichst viele Ausbrüche in den Wald zu erfassen. Teilweise ist die Beprobungsdichte etwas geringer, wenn in einem Abschnitt kaum gestörte Bäume standen oder der Waldabschnitt vor allem aus abgestorbenen Bäumen bestand. Direkt unterhalb der Kurve der Rinne mussten die Bäume etwas weiter unten im Wald beprobt werden, da im oberen Bereich der Wald ebenfalls durch eine Lawine gestört zu sein schien. Da die Bergföhren keine traumatischen Harzkanäle ausbilden, ist es nicht möglich zu bestimmen, in welcher Saison die Bäume verletzt wurden. Deshalb wurde es vermieden Bäume zu beproben, welche von anderen Prozessen (z. B. Lawinen) verletzt worden sein könnten.

Bei der Vermessung der Bäume mit Laserdistometer und Massband traten Ungenauigkeiten auf. Bei Sonnenschein war es oft nicht einfach den Laserpunkt zu erkennen, besonders wenn die Bäume etwas weiter auseinander standen. Wenn das Massband zu Hilfe genommen wurde, war es manchmal schwer das Messband horizontal zu halten und teilweise standen andere Bäume dazwischen und das Massband musste um diese herumgeführt werden. Wenn es möglich war die Position eines Baumes auf dem Luftbild zu bestimmen, wurde der Baum direkt dort eingetragen. Dies war vor allem für freistehende Bäume in der Rinne, oder bei Bäumen direkt an einem Waldeinschnitt und deutlich auf dem Luftbild erkennbaren Murgangablagerungen möglich.

6.1.2 Probenahme

Da sich das Untersuchungsgebiet in einem Schutzgebiet befindet, konnten keine Stammscheiben entnommen werden sondern nur Bohrkern. Dies erschwerte teilweise die Beprobung von Verletzungen. Da die untersuchten Bergföhren keine Harzkanäle ausbilden, musste in der Probe die Verletzung enthalten sein und zwar möglichst der Rand der Überwallung. Dies gelang jedoch nicht bei allen Bohrkernen, was zu fehlenden Jahrringen in den Proben führte. Mit dieser Methode ist es ausserdem kaum möglich alte, bereits vollständig überwachsene Verletzungen in den Proben zu erkennen. Die Chance, dass eine solche Verletzung in einem entnommenen Bohrkern enthalten ist, ist sehr gering. Einige Bäume konnten nicht beprobt werden, da sie sehr morsch waren und deshalb der Bohrkern auseinanderfiel und keine Jahrringe mehr erkennbar waren.

Bei einigen Bäumen mussten mehrere Proben entnommen werden, da das Baummark zu weit verfehlt wurde.

Beim aufkleben der Proben auf die Holzträger war es manchmal nicht ganz einfach die Holzfasern zu erkennen um die Proben mit senkrecht verlaufenden Fasern aufzukleben. Häufig waren die Proben auch verdreht und mussten zurückgedreht werden, was teilweise auch zum Zerbrechen der Bohrkern führte. Einige Proben waren auch bereits bei der Entnahme des Bohrkerns zerbrochen und es musste versucht werden, die einzelnen Bruchstücke wieder möglichst genau zusammenzufügen.

6.1.3 Auswertung der Proben

Die Mehrheit der entnommenen Proben war von guter Qualität. Bei einigen wurde aber direkt in die Verletzung gebohrt, kurze Abschnitte waren nicht ganz sauber abgeschliffen oder einige Teile waren nicht mit senkrechten Fasern aufgeklebt.

Das Zählen und Vermessen der Proben wurde bei manchen Proben dadurch erschwert, dass die Jahrringe sehr schmal ausgebildet waren. Man musste aufpassen, dass man keinen Ring vergisst oder doppelt zählt. Häufig befanden sich diese Abschnitte mit schmalen Jahrringen im äusseren Bereich der Proben von alten Bäumen. Manchmal war das Holz zusätzlich dunkel verfärbt was ebenfalls das Erkennen der Jahrringe erschwerte. Bei zerbrochenen Proben musste ebenfalls oft aufgepasst werden, dass kein Jahrring vergessen oder doppelt gezählt wurde.

Durch die Anwendung des cross-datings mit Hilfe der TSAPWin Software konnte die Datierung von vielen Proben verbessert werden. Es verbesserte vor allem die Datierung der Abschnitte mit schmalen Jahrringen und bei vielen Verletzungen, wo direkt in die Wunde gebohrt wurde, konnte so die fehlende Anzahl Jahrringe bestimmt werden und somit die Verletzung datiert werden. Ausserdem konnten Ringe eingesetzt werden die in einer Probe nicht ausgebildet waren. Teilweise kommt es vor, dass ein Baum einen Jahrring nicht um den kompletten Stamm ausbildet. Einzelne Proben konnten jedoch auch mit cross-dating nicht korrekt datiert werden. Ausserdem bestehen manchmal auch gewisse Unsicherheiten in welchem Jahr genau ein Jahrring fehlt und es bleiben gewisse Interpretationsfreiheiten.

Die Wachstumsstörungen wurden gemäss Kogelnig-Mayer et al. (2011) nach ihrer Intensität klassifiziert. Bei dieser Methode bleibt die Interpretation jedoch etwas objektiv. So hängt es beispielsweise vom Betrachter ab, ob eine Wachstumsstörung noch zur schwachen (gelben) oder bereits zur mittleren (orangen) Kategorie gezählt wird. Dies hat dann natürlich auch einen Einfluss darauf, ob ein Ereignis als solches gezählt wird oder nicht. Die saisonale Datierung der Wachstumsstörungen war bei den in dieser Studie untersuchten Bäumen nicht möglich, da keine traumatischen Harzkanäle ausgebildet werden. Bei der Bestimmung der möglichen Ereignisjahre mit Hilfe der Ereignistabelle muss berücksichtigt werden, dass Wachstumsstörungen wie Wachstumsschübe und Einbrüche oder Druckholz erst verzögert einsetzen können.

6.1.4 Räumlich-zeitliche Rekonstruktion

Die Berechnung des gewichteten und ungewichteten Indexes war sehr Hilfreich bei der Beurteilung, ob ein Jahr als Ereignisjahr klassifiziert werden kann oder nicht. Die Werte scheinen teilweise recht klein zu sein, so wurden Jahre mit einem W_{it} von 0.7 manchmal bereits als mögliches Ereignis klassifiziert (Tabelle 8 im Anhang). In diesen Fällen weist aber die räumliche Verteilung ebenfalls auf einen Murgang hin (z. B. 1865, Anhang). Jahre die einen ähnlichen Index hatten, die Bäume aber weit im Untersuchungsgebiet verstreut waren, wurden als kein Ereignis klassifiziert. Weiter wurden nur für Jahre Berechnungen angestellt, die bereits im Vorfeld als mögliche Ereignisse aussortiert wurden. Für Jahre mit nur sehr wenigen und/oder schwachen Wachstumsstörungen wurden die Indexe nicht berechnet, deshalb fehlen die ganz tiefen Werte. Damit ein Jahr als sicheres Ereignis klassifiziert wurde, musste der W_{it} mindestens grösser als 1 sein. Die Unterteilung der räumlichen Verteilung in verteilt und gruppiert nach Moran's I und Getis-Ord Local G_i^* war eine gute zusätzliche Unterstützung zur Bestätigung der Klassifizierung mit gewichtetem und ungewichtetem Index. Wichtig war aber auch immer die Betrachtung der Karten mit den eingetragenen verletzten Bäumen um die Fließwege der Murgänge nachzuvollziehen.

6.1.5 Alterskorrektur

Die vorgenommenen Korrekturen der Baumalter bieten eine gute Annäherung an die wahren Baumalter. Die Resultate sind aber immer noch mit Fehlern behaftet. Die Fehler werden grösser je weiter über Boden die Proben entnommen wurden und je mehr Ringe bis zum Mark fehlen. Wenn die Baummitte relativ weit verfehlt wurde, so weiss man nicht, ob sich die Baumringe gegen innen verbreitern, verkleinern oder gleich breit bleiben, was die Abschätzung erschwert. Bei etwa 65 % der Bäume war mindestens in einer Probe das Baummark getroffen worden und es musste nur die Korrektur für die Entnahmehöhe vorgenommen werden. Bei der Korrektur für die Entnahmehöhe ergeben sich Fehler einerseits daher, dass der Höhenzuwachs mit dem gerechnet wurde, nur eine Abschätzung ist und der wahre Höhenzuwachs pro Jahr nicht bekannt ist. Andererseits ist bei eingesedimentierten Bäumen die Entnahmehöhe nicht gleich der Baumhöhe an dieser Stelle. Da nicht bekannt ist wie tief die Bäume jeweils eingesedimentiert sind, kann dafür keine Korrektur vorgenommen werden.

6.1.6 Analyse der Klimadaten

Zur Analyse der möglichen Murgangauslösenden Klimaereignisse wurden die Daten der Wetterstation Buffalora verwendet. Dies ist die dem Untersuchungsgebiet am nächsten gelegene Wetterstation. Trotzdem sind Abweichungen von der Niederschlagsituation im Val Brüna anzunehmen, da sich die Wetterstation im Tal befindet. Auch sind sehr lokale Ereignisse im Val Brüna möglicherweise nicht registriert worden.

Da die Klimadaten dieser Station nur bis ins Jahr 1959 zurückgehen, konnten nur die Ereignisjahre nach diesem Jahr mit den Niederschlagswerten verglichen werden.

6.2 Resultate

6.2.1 Wachstumsstörungen

Die am häufigsten beobachteten Wachstumsstörungen waren Wachstumsschübe mit 51 % und Wachstumseinbrüche mit 26 %. Verletzungen machten nur 5.7 % aus. Die geringe Anzahl von Verletzungen hat verschiedene Gründe. So wurden nur Bäume mit sichtbaren Schäden beprobt und die Probenahme erfolgte durch Entnahme von Bohrkernen. Das bedeutet, dass bereits vollständig zugewachsene Verletzungen nicht erfasst wurden. Ein weiterer Grund ist, dass das transportierte Murgangmaterial nicht viele grosse Blöcke enthält welche Verletzungen verursachen. Wahrscheinlich ist auch die Fliessgeschwindigkeit des Murgangmaterials eher gering, was eher zur Einsedimentierung der Stämme als zu Verletzungen führt. Wachstumsschübe wurden am häufigsten beobachtet, obwohl das Einsedimentieren von Bäumen normalerweise zu Wachstumseinbrüchen führt. Es wurde jedoch gezeigt, dass es nach Ablagerung von kalkreichem Material zu Wachstumszunahmen kommen, da dieses Material Nährstoffreich ist und als Dünger wirken kann (Stoffel et al. 2008). Stoffel et al. (2008) beobachteten dieses Verhalten bei *Pinus sylvestris*, die die negativen Effekte der leichten Einsedimentierung mit der zusätzlichen Nährstoffzufuhr kompensierten. Wachstumseinbrüche traten aber auf, wenn die Bäume zu tief vergraben wurden oder ihre Wurzeln freigelegt wurden. *Pinus mugo* scheint sich auf die gleiche Weise zu verhalten. Da alle beobachteten Wachstumsstörungen ausser Verletzungen verzögert auftreten können, musste dies bei der Bestimmung der Ereignisjahre miteinbezogen werden.

6.2.2 Baumalter

Das durchschnittliche Alter der Bäume liegt bei 215 Jahren. Viele der Bäume haben ein ähnliches Alter, was auf eine Neubesiedelung von entwaldeten Flächen passen würde. Nach Parolini (2012) fanden im Val Brüna im Bereich unterhalb der heutigen Murgangrinne die letzten grösseren Holzschläge zwischen 1870 und 1889 statt. Die Bäume mit einem Alter von 215 Jahren waren damals etwa 80 Jahre alt und somit möglicherweise noch zu klein als das sie abgeholzt worden wären. Die Mehrheit der Bäume im Val Brüna ist älter als 200 Jahre und jünger als 300 Jahre. Vor allem im Waldbereich unterhalb der heutigen Murgangrinne ist das Alter sehr gleichmässig verteilt. Die jüngsten Bäume befinden sich in der Murgangrinne. Die älteren Bäume wurden wahrscheinlich alle durch Murgänge zerstört und die jüngeren sind nachgewachsen. Ganz junge Bäume befinden sich auf einer Fläche beim Ausbruchbereich 3 (Abb. 30). Die Bäume sind alle noch sehr klein und haben etwa das gleiche Alter. Sie besiedeln vermutlich eine Fläche, auf welcher der vorherige Wald durch ein Murgangereignis völlig zerstört wurde. Die Bäume dort waren zu klein um sie zu beproben.

6.2.3 Ereignisjahre und Frequenz

Die im Umfang dieser Studie rekonstruierte Murgangfrequenz stellt eine minimale Frequenz dar. Kleinere Ereignisse wurden mit der angewendeten Methode möglicherweise nicht erfasst. Vor allem wenn sie die Hauptrinne nicht oder kaum verlassen haben und daher in keinen oder zu wenigen beprobten Bäumen abgebildet wurden. Ausserdem erscheinen mehrere Murgänge, die sich innerhalb von einem Jahre ereigneten als ein einziges Ereignis, da die Datierung der Murgänge nur auf das Jahr genau möglich war. Auch bei Ereignissen in aufeinanderfolgenden Jahren kann diese Problem auftreten. Es ist manchmal nicht möglich solche Ereignisse sicher voneinander zu trennen. Beispiele für diese Situation sind die Jahre 1918 und 1920 sowie 1927 und 1928. Sowohl für das Jahr 1920 und 1928 kann nicht mit Sicherheit bestimmt werden, ob tatsächlich ein neues Ereignis stattgefunden hat, oder ob die beobachteten Reaktionen noch eine Folge des vorherigen Murgangs sind. Eine Trennung von 2 Murgängen in Folgejahren ist jedoch möglich, wenn im zweiten Jahr Verletzungen auftreten. Dies war beispielsweise für die Jahre 1995 und 1996 der Fall.

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts konnten weniger sichere Ereignisjahre rekonstruiert werden als für das 20. Jahrhundert. Dies war zu erwarten, da zur Rekonstruktion von

älteren Murgängen weniger Bäume zur Verfügung stehen und kaum Verletzungen aus dieser Zeit heute noch sichtbar sind.

Eine Abnahme der Murgangaktivität fand möglicherweise zur Jahrhundertwende, zwischen 1888 und 1918 statt. Für diese 30 Jahre wurde kein Ereignis rekonstruiert und es gab lediglich in 3 Jahren Anzeichen für ein Ereignis. Sonst liegt die Wiederkehrperiode über einen Zeitabschnitt von 1812 bis 2012 bei 6.5 Jahren. Es ist jedoch möglich, dass Murgänge stattgefunden haben, welche die beprobten Bäume aber nicht getroffen haben. Möglicherweise war zu dieser Zeit die Murgangrinne so tief, dass das Murgangmaterial die Rinne nicht verlassen und in den Wald ausbrechen konnte. Dies ist besonders bei kleineren Ereignissen denkbar.

Betrachtet man die Anzahl Murgänge pro Dekade so gab es durchschnittlich 1.55 Ereignisse in 10 Jahren. Meist gab es also 1 – 2 Ereignisse pro Dekade. Nur zweimal wurden 3 Murgänge rekonstruiert und einmal, von 1990 – 1999, 4 Murgänge. Jeweils um die Jahrhundertwenden (1790-1809 und 1890-1909) wurden keine Murgänge rekonstruiert.

6.2.4 Räumliche Ausbreitung der Ereignisse und Treffer pro Baum

Wie in Kapitel 5.1.6 beschrieben, verliessen die meisten rekonstruierten Murgänge bis etwa 1918 die heutige Hauptrinne im Bereich unterhalb der Kurve, also bei den Ausbruchsbereichen 2 und 3 gemäss Abbildung 30. Einige erreichten auch die Bäume in Rinne 1. Da fast alle Bäume im unteren Bereich der Rinne 2 bis 1918 noch nicht lebten, kann nicht genau gesagt werden, ob dort Murgänge durchgeflossen sind oder nicht. Die Bäume im oberen Bereich der Rinne 2 zeigen jedoch keine Störungen. Der Murgang von 1859 bildet eine Ausnahme vom oben beschriebenen Fliessverhalten, da es scheint, als sei er bei der Kurve geradeaus in den Wald geflossen.

Nach 1918 scheinen sich die Fliesswege mehr gegen Westen verschoben zu haben und möglicherweise wurde die Rinne 2 erst ab diesem Zeitpunkt ausgebildet. Die Murgänge erreichten häufiger den Bereich der Rinne 1 und verliessen die Rinne weniger oft im oberen Bereich. Möglicherweise haben sich die Murgänge immer tiefer eingefressen, so dass sie schliesslich wegen den hohen Seitenwänden die Rinne in diesem Bereich nicht mehr verlassen konnten. Heute ist die Rinne in diesem Bereich wie in Abbildung 44 zu sehen sehr tief. Bei der Ausbruchsstelle 1 im Bereich der Kurve, kam es im letzten Jahrhundert zu 2 grösseren Ausbrüchen. Einerseits beim Murgang von 1930 und andererseits bei jenem von 1998, wo mehrere Bäume verletzt wurden. Heute ist die Rinne dort ebenfalls tief eingeschnitten. Durch die Kurve in der Rinne wird aber möglicherweise bei grösseren Murgängen das Material dort gestaut und es kommt zu Ausbrüchen in den Wald.



Abbildung 44: Murgangrinne unterhalb der Kurve.

Betrachtet man das Luftbild des Untersuchungsgebiets, so erkennt man im Wald Linien, die vermutlich frühere Murgangrinnen darstellen. In Abbildung 45 sind sie farblich nachgezeichnet. Bei der Linie in Gelb scheint es am heutigen Waldrand ein Delta zu geben mit einer etwas jüngeren Vegetation als im Wald oberhalb. Bei der Rinne 1, welche in Rot dargestellt ist, hat sich ebenfalls ein Delta ausgebildet, das mit jungen Bäumen zuzuwachsen beginnt. Das Delta wurde also in den letzten Jahren nicht mehr von Murgängen betroffen, so dass sich eine neue Vegetation bilden konnte. Wie es scheint hat sich der Hauptfließweg der Murgänge im Val Brüna als möglicherweise immer weiter nach Westen verschoben und bildete dabei die heutige Kurve aus.

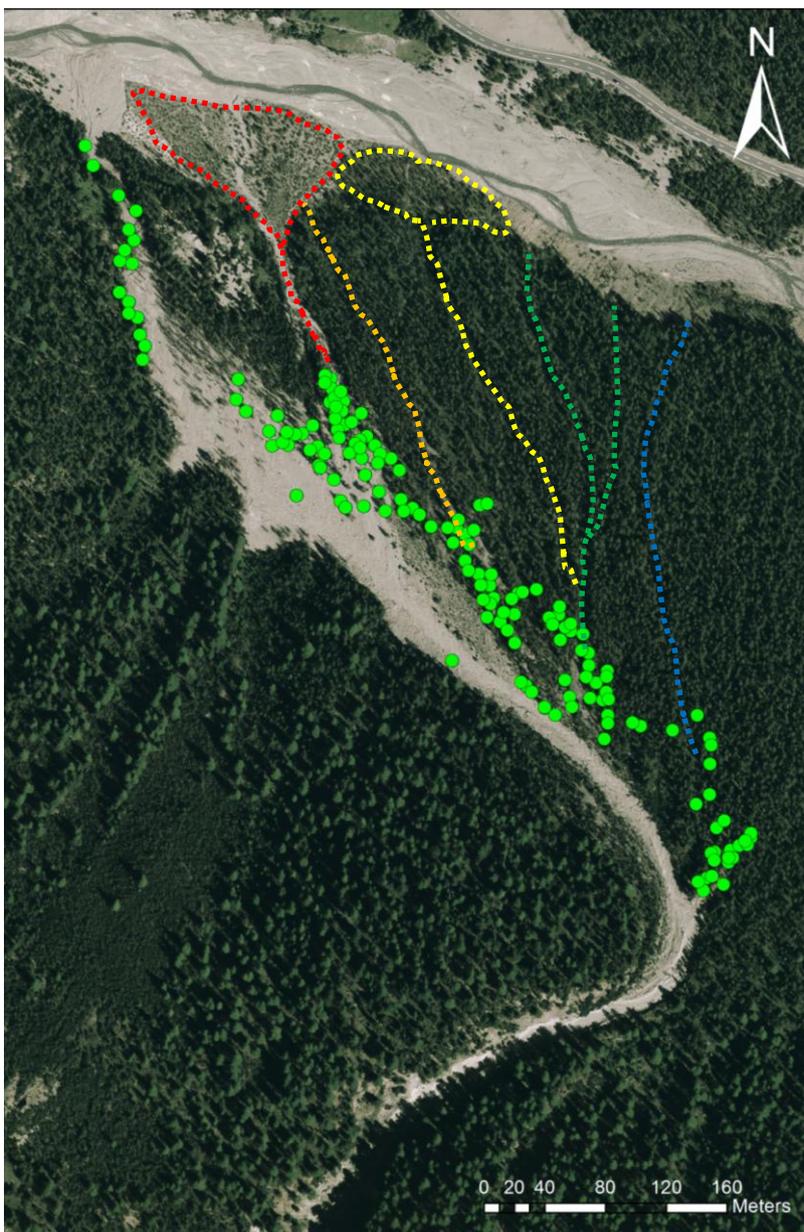


Abbildung 45: Möglicher Verlauf von frühern Hauptmurgangrinnen.

Wie bereits in Kapitel 5.1.5 beschrieben, ist die Verteilung der Bäume mit vielen und wenigen Treffern im ganzen Gebiet heterogen verteilt. Es können keine Sektoren mit stärkerer oder schwächerer Aktivität abgegrenzt werden. Dies kommt möglicherweise auch daher, dass sich die bevorzugten Fließwege der Murgänge verschoben haben, und deshalb immer etwas andere Bäume im Haupteinflussbereich der Murgangaktivität lagen.

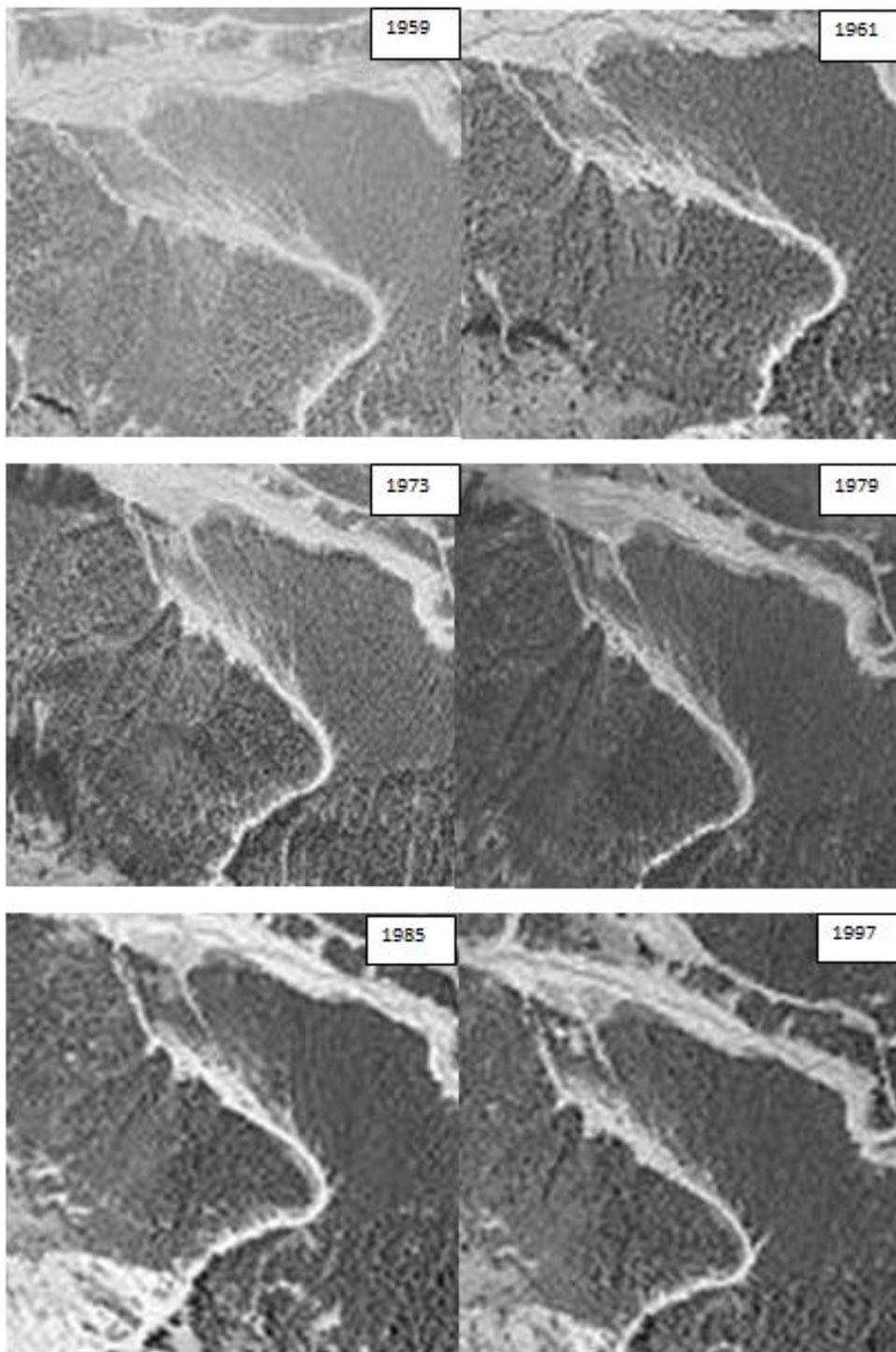


Abbildung 46: Luftbilder vom Val Bruna zwischen 1959 und 1997 (Swisstopo (b), 2013).

In Abbildung 46 sind mehrere Luftbilder zu sehen, die zwischen 1959 und 1997 aufgenommen wurden. Auf den ersten Bildern, bis ca. 1973, sind im Bereich der Ausbruchsstellen 2 und 3 deutliche Murgangrinnen im Wald unterhalb der Hauptrinne zu erkennen. Ebenfalls scheint das Ablagerungsdelta am Ende der Rinne 1 noch nicht mit Bäumen bewachsen zu sein. Auf dem Luftbild von 1997 ist aber eine Vegetation sichtbar, möglicherweise auch bereits auf dem Luftbild von 1985. Der Ausbruch bei der Kurve (Ausbruchsstelle 1) ist 1997 sehr gut sichtbar. Auf dem Bild von 1985 ist er weniger deutlich zu sehen und scheint etwas kleiner zu sein. Auf den älteren Luftbildern ist diese Waldschneise noch nicht zu sehen.

6.2.5 Lawine von 1950/51

Obwohl es nicht möglich war aus den analysierten Proben die Saison zu bestimmen, in der es zu einem Ereignis gekommen ist, wurde das Ereignis von 1950/51 als Lawine klassifiziert, da der Winter 1950/51 ein Extremwinter mit zahlreichen Lawinnenniedergängen in der ganzen Schweiz war. Ausserdem sind die verletzten Bäume hauptsächlich auf den Bereich beschränkt der unterhalb einer ehemaligen Waldschneise liegt, wie auf den Luftbildern gut zu erkennen ist. Auch im Feld konnten in diesem Bereich des Waldes Bäume beobachtet werden, die in verschiedene Richtungen umgefallen sind, was auf Lawinenaktivität hindeutet. Ansonsten sind die Hänge im Bereich des Untersuchungsgebiets keine Lawinenhänge. Lawinen ereignen sich hier nur in extremen Wintern.

6.3 Vergleich der Muren im Val Brüna mit Archivdaten

In diesem Kapitel werden zuerst die rekonstruierten Ereignisjahre im Val Brüna mit den Unwetterereignissen in der Chronik von Röthlisberger (1991) und den Resultaten der Arbeiten von Benz (1997) im Münstertal und Procter et al. (2011) im Gamperdonatal verglichen. Ausserdem wurde 1988 im Schweizerischen Nationalpark die Ereignisprotokolle eingeführt, in denen Parkwächter unter anderem Murgänge und Hochwasserereignisse aufgezeichnet haben. Diese Protokolle sind allerdings nicht vollständig und in einigen Jahren Lücken auf (z.B. von 1995 bis 1998). Zudem sind die Meldungen davon Abhängig, wie häufig ein Gebiet von Parkwächtern begangen wird. Da die Parkwächter häufig auf den Wanderwegen unterwegs sind, betreffen die Meldungen häufig Ereignisse in der Nähe von Wanderwegen (Haller 2007). In der Chronik von Röthlisberger (1991) sind Ereignisse aufgeführt, welche Schäden verursacht haben.

Kleinere Ereignisse und lokale Ereignisse in wenig bewohnten Gebieten fehlen vermutlich in diesen Aufzeichnungen. In dieser Chronik sind Ereignisse bis ins Jahr 1988 aufgezeichnet. Schliesslich werden auch die Jahre mit möglichen Murgangereignissen im Val Brüna mit den Archivdaten verglichen.

Ereignisjahre

1789

Das erste rekonstruierte Murgangereignis im Val Brüna ereignete sich im Jahr 1789. Das einzige aufgezeichnete Ereignis in diesem Jahr ist ein Ausbruch des Calancabaches in Gröno (GR) am 14. September. Dabei kamen 14 Menschen ums Leben und es wurden Häuser und Ställe weggeschwemmt (Röthlisberger 1991). Da dies wahrscheinlich nur ein lokales Ereignis war, besteht vermutlich kein Zusammenhang zum Murgang im Val Brüna.

1813

Für dieses Jahr konnte kein Ereignis gefunden werden, das im Zusammenhang mit einem Murgang stehen könnte.

1839

In diesem Jahr kam es am 15. September und vom 5. bis 6. Oktober nach starken Regenfällen und Schneeschmelze zu Hochwasser in den Alpen. Im Kanton Graubünden gab es Schäden im Puschlav, Bergell und Münstertal und teilweise kam es zu Murgängen (Röthlisberger 1991). Es ist gut möglich, dass dieses Ereignis auch den Murgang im Val Brüna auslöste. Auch Procter et al. (2011) rekonstruierten für diese Jahre ein Murgangereignis.

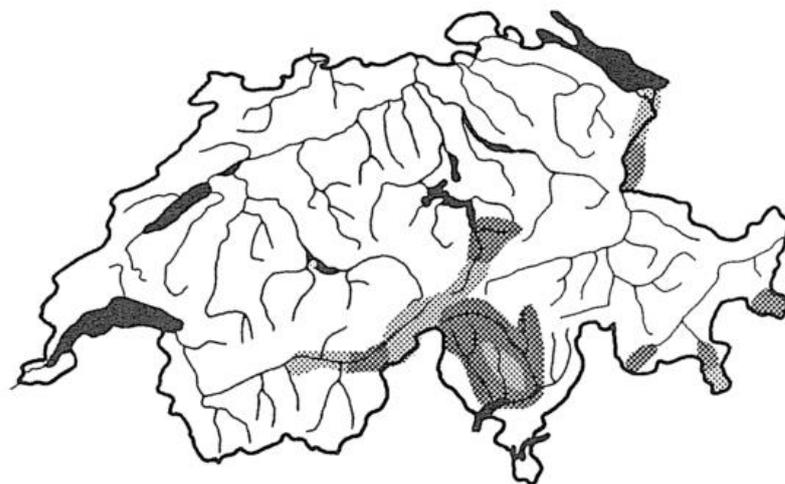


Abbildung 47: Ort und Stärke der Unwetterschäden von September bis Oktober 1839 (Röthlisberger 1991).

1851

In diesem Jahr kam es zwar von Ende Juli bis Anfang August zu zahlreichen Überschwemmungen aufgrund schwerer Niederschlägen und Schneeschmelze, für den Kanton Graubünden sind aber keine Schäden aufgezeichnet (Röthlisberger 1991). Es ist deshalb schwer zu sagen, ob es auch im Untersuchungsgebiet zu starken Niederschlägen oder Hochwasser gekommen ist, die im Zusammenhang mit der Mure im Val Brüna stehen könnten. Ebenfalls in diesem Jahr kam es im Gamperdonatal zu einem Murgang (Procter et al. 2011).

1859

Für dieses Jahr wurde kein Übereinstimmendes Ereignis gefunden

1868

Von Ende September bis Anfang Oktober kam es in diesem Jahr nach starken Gewittern mit heftigen Niederschlägen und einsetzender Schneeschmelze in höheren Lagen zu katastrophalen Hochwassern in den Kantonen Tessin, Graubünden, St. Gallen, Uri und Wallis. Im Graubünden waren das Vorderrheintal und das Hinterrheintal stark betroffen. Schäden dokumentierte man auch im Misox, Engadin, im Puschlav und im Münstertal Röthlisberger (1991). Benz (1997) hat im Münstertal ein Ereignis im Jahr 1869 rekonstruiert. Es ist aber möglich, dass sich dieser Murgang ein Jahr vorher ereignet hat und beispielsweise aufgrund verzögerter Reaktionen als Ereignis im Jahr 1869 datiert wurde.

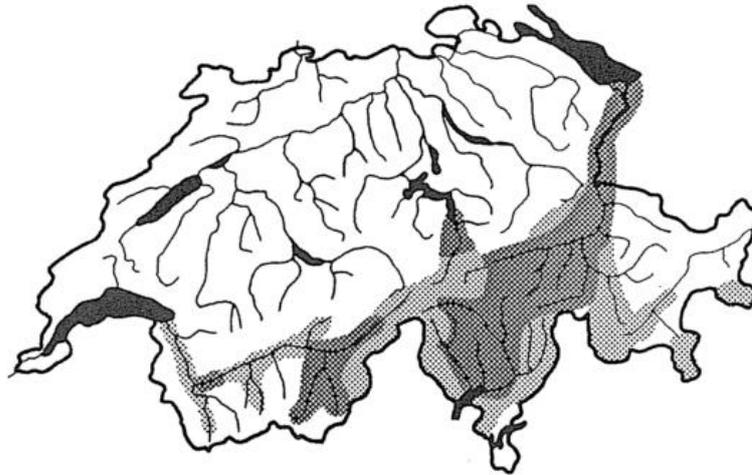


Abbildung 48: Ort und Stärke der Unwetterschäden von Ende September bis Anfang Oktober 1868 (Röthlisberger 1991).

1874

Auch in diesem Jahr kam es zu Hochwassern wovon auch der Kanton Graubünden betroffen war. Die Überschwemmungen ereigneten sich von Ende Juli bis Anfang August wegen Gewittern und ununterbrochenen Regenfällen und betrafen 14 Kantone (Röthlisberger 1991). Die Schadenskarte in Abbildung 49 zeigt, dass auch im Bereich des Untersuchungsgebietes Schäden aufgetreten sind. Ein Zusammenhang zwischen dem Unwetter und dem Murgangereignis im Val Brüna ist deshalb wahrscheinlich.

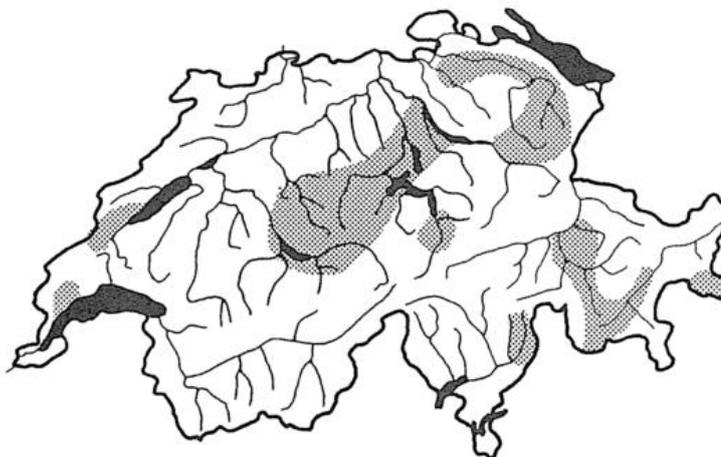


Abbildung 49: Ort und Stärke der Unwetterschäden von Ende Juli bis Anfang August 1874 (Röthlisberger 1991).

1888

1888 kam es vom 31. Juli bis am 3. August zu Überschwemmungen, Rüfenniedergängen und Rutschungen wobei im Kanton Graubünden vor allem im Bereich des Vorderrheins Schäden auftraten. Im selben Jahr gab es am 10. und 11. September im Bündnerland ein weiteres Hochwasser. Dabei wurden alle Talschaften des Tals betroffen. Beide Ereignisse in diesem Jahr wurden durch heftige Regenfällen verursacht. Für den Murgang im Val Brüna war wohl eher das Hochwasser vom September von Bedeutung (Röthlisberger 1991).

1918

In diesem Jahr ereignete sich vom 23.-25. Dezember ein Hochwasser in 16 Kantonen infolge Schneeschmelze und anhaltenden Regenfällen. Auch der Kanton Graubünden war betroffen (Röthlisberger 1991).

1930

Zu Überschwemmungen und Rutschungen in 16 Kantonen kam es in diesem Jahr vom 12.-16. Mai nach starken Niederschlägen und einsetzendem Tauwetter. Der Kanton Graubünden wurde nicht von Hochwasser betroffen, möglicherweise gab es aber auch hier stärkere Regenfälle. Im Juni 1930 gab es zahlreiche Gewitter und Wolkenbrüche in der gesamten Schweiz (Röthlisberger 1991). Der Murgang im Val Brüna kann eher mit dem Ereignis im Juni in Verbindung gebracht werden.

1954

Der Murgang in diesem Jahr fand möglicherweise statt, als am 21. und 22. August schwere Regenfälle Unwetterschäden am Alpennordrand und im Engadin verursachten (Röthlisberger 1991)

1957

Für dieses Jahr finden sich keine Einträge über Unwetter oder Hochwasser in der Schweiz. Benz (1997) rekonstruierte aber im Münstertal einen Murgang im Jahr 1958. Wie bereits für das Ereignisjahr 1968 beschrieben, ist es auch hier denkbar, dass sich dieser Murgang bereits im Jahr 1957 ereignete und die Wachstumsstörungen verzögert aufgetreten sind. Möglicherweise haben sich die Murgänge im Münstertal und im Val Brüna als Folge des gleichen Niederschlagsereignisses ereignet.

1963, 1996 und 1998

Für alle diese drei Jahre rekonstruierten auch Procter et al (2011) Murgangereignisse im österreichischen Vorarlberg. Ansonsten wurden keine Unwetter oder Hochwasserereignisse gefunden.

2003

Im Schweizerischen Nationalpark wurden im Jahr 2003 am 12. Juni zwischen 17.00 und 19.00 Uhr mehrere Murgänge registriert. Dokumentiert sind Murgänge bei Il Fuorn, im Val Chavagl, bei Laviner la Drossa und Munt la Schera und beim Munt Chavagl. Dabei wurden Brücken, Wege und Weiden zerstört und auch ein Parkplatz und die Kantonsstrasse wurden beschädigt. Die Murgänge wurden durch ein aussergewöhnlich starkes, lokales Gewitter um den Munt la Schera, mit Schwerpunkt bei Laviner la Drossa, Val Brüna und Chaschabella ausgelöst. Es ist naheliegend, dass das Gewitter auch den Murgang im Val Brüna auslöste. Am 16. Juli 2003 ereignete sich ein weiterer Murgang bei Minger Dadaint nach Starkniederschlägen nach einer Trockenperiode Procter et al. (2011) haben für das Jahr 2003 ebenfalls einen Murgang rekonstruiert.

2006

Der Murgang im Val Brüna in diesem Jahr ereignete sich vermutlich am 5. Juli. An diesem Tag kam es im Schweizerischen Nationalpark zwischen 17.00 und 18.00 Uhr zu verschiedenen Murgängen in der Umgebung des Munt la Schera. Aufgezeichnet sind Murgänge bei Il Fuorn, im Val Chavagl, bei Punt la Drossa und zwischen Falla da l'Uors und Punt la Drossa sowie bei der Alp la Schera zwischen Punt dal Gall und Periv. Auslöser war ein heftiges, lokales Gewitter mit Hagel wobei grosse Niederschlagsmengen innerhalb kürzester Zeit fielen. Es kam zu grossen Materialverschiebungen und die Kantonsstrasse sowie Fusswege wurden beschädigt. Auch für dieses Jahr rekonstruierten Procter et al. (2011) ein Murgangereignis.

Mögliche Ereignisjahre

1821, 1831, 1865, 1947, 1967 und 1995

Für diese Jahre wurden keine Hochwasser- oder Unwetterereignisse gefunden, die in Zusammenhang mit den möglichen Murgängen stehen könnten.

1834

Auslöser für ein Murgangereignis in diesem Jahr könnten starke Hochgewitter gewesen sein. Diese verursachten vom 25. bis 28. August katastrophale Überschwemmungen in grossen Gebieten der Alpen. Im Kanton Graubünden führten viele Flüsse und Bäche Hochwasser. Schäden sind bekannt aus Misox, Bergell, Rheinwald, Schams, Vals und dem Vorderrheintal. Das Oberengadin, der Oberalpstein, das Domleschg und die Rheingebiete von Reichenau bis Landquart wurden etwas weniger stark getroffen (Röthlisberger 1991).

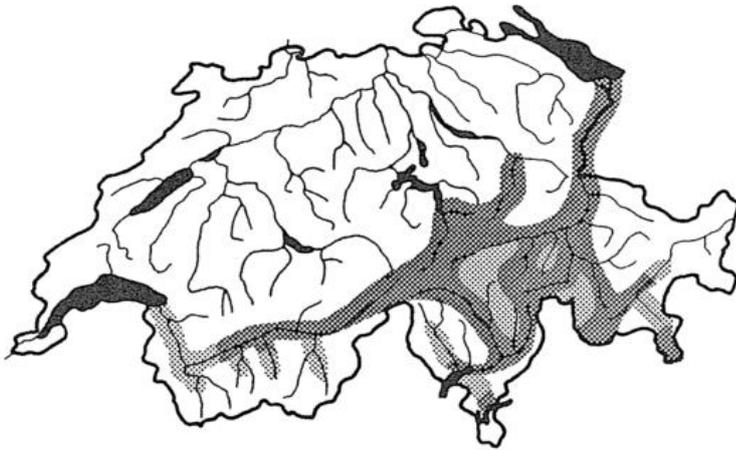


Abbildung 50: Ort und Stärke der Unwetterschäden vom 25. bis 28. August 1834 (Röthlisberger 1991).

1880

Benz (1997) rekonstruierte im Münstertal für dieses Jahr ebenfalls ein Murgangereignis. Es ist gut möglich, dass die beiden Murgänge durch das gleiche Niederschlagsereignis ausgelöst wurden. Ansonsten wurden keine Übereinstimmungen gefunden.

1920

Zu Wasserschäden kam es in diesem Jahr zwischen dem 19. und 24. September durch anhaltende, starke Regenfälle. Betroffen waren die Kantone Wallis, Tessin, Graubünden (Engadin, Münstertal, Schams, unteres Plessurtal), St. Gallen und Bern (Röthlisberger 1991). Vermutlich gab es in dieser Zeit auch im Untersuchungsgebiet stärkere Niederschläge, die Murgänge ausgelöst haben könnten. Dies unterstützt die Vermutung, dass im Jahr 1920 ein weiteres Murgangereignis stattfand und die beobachteten Wachstumsstörungen in den Bäumen nicht verzögerte Reaktionen des Murgangs von 1918 sind.

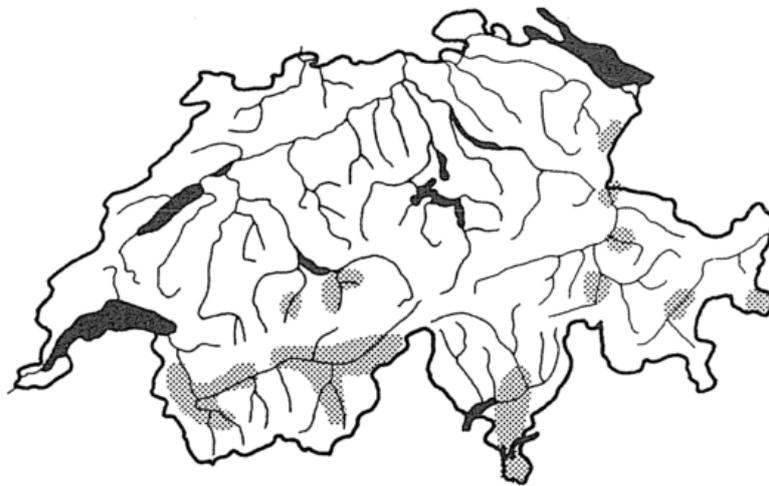


Abbildung 51: Ort und Stärke der Unwetterschäden vom September 1920 (Röthlisberger 1991).

1927

Im Val Brüna könnte sich ein Murgang aufgrund einer Hochwasserkatastrophe am 24. und 25. September ereignet haben. Zum Hochwasser kam es beidseits der Alpen infolge intensiver Niederschläge. Schäden gab es vor allem im Bergell und Oberengadin, im Bündner Oberland und im Glennergebiet (Röthlisberger 1991).

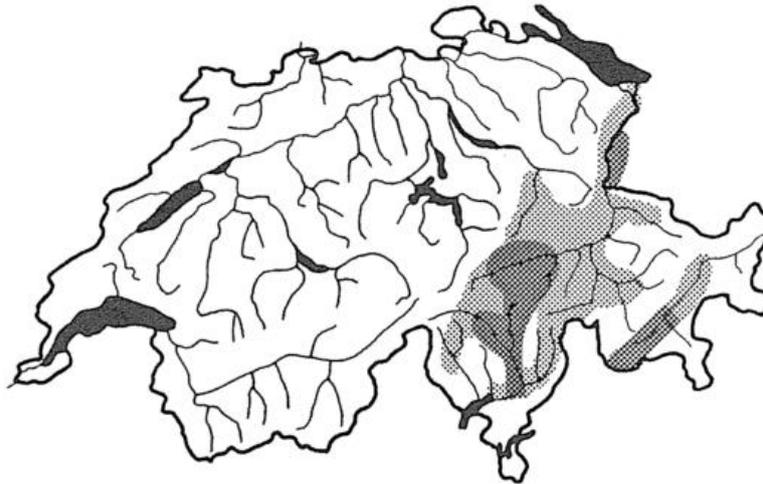


Abbildung 52: Ort und Stärke der Unwetterschäden vom 24. Und 25. September 1927 (Röthlisberger 1991).

1928

In diesem Jahr gab es Mitte Februar Überschwemmungen und Rutschungen in 12 Kantonen, darunter auch im Kanton Graubünden, wo es im Prättigau zu Schäden kam. Auslöser war die einsetzende Schneeschmelze und langanhaltende Niederschläge. Von Ende Oktober bis Anfang November kam es dann erneut zu Wasser- und Rutschungsschäden beidseits der Alpen. Dabei wurde im Kanton Graubünden das Vorderrheintal, das Lugnez, Avers, Oberalpstein, Bergün und das Münstertal betroffen (Röthlisberger 1991). Für das Val Brüna ist das zweite Hochwasser von Bedeutung. Es weist darauf hin, dass sich im Jahr 1928, also ein Jahr nach 1927, erneut ein Murgang ereignet hat. Für das Jahr 1928 haben auch Procter et al. (2011) ein Murgangereignis rekonstruiert.

1944

In diesem Jahr könnte ein Hochwasser am 2. September einen Murgang im Val Brüna verursacht haben. Während diesem Hochwasser wurden unter anderem Schäden im Wallis und im Kanton Graubünden registriert, wo das Engadin, Bergell und Misox betroffen wurden (Röthlisberger 1991).

1977

Von Mai bis Juni dieses Jahres löste die Schneeschmelze verbunden mit einer Regenperiode im Münstertal und Puschlav Rutschungen und murgangartige Abflüsse aus (Röthlisberger 1991). Dabei kam es möglicherweise auch im Val Brüna zu einem Murgang.

1982

In diesem Jahr kam es in der Schweiz mehrmals zu Schäden durch Unwetter. Für das Untersuchungsgebiet am bedeutsamsten war wohl der 16. August, als starke Gewitter im Münstertal zu zahlreichen Rüfenniedergängen kam. Auch in anderen Kantonen kam es zu Schäden (Röthlisberger 1991).

1993

In diesem Jahr wurden mehrere Murgangereignisse im Schweizerischen Nationalpark protokolliert. Am 3. August gab es einen Murgang bei Mingèr Dadaint, der sich zwischen 18.40 und 19.30 Uhr ereignete. Auch am 4. August gab es zwischen 14.30 und 19.00 Uhr mehrere Murgänge im Val Mingèr, bei Mingèr Dadaint und bei der Wasserfassung Mingèr. Auslöser für alle Murgänge waren Gewitter. Weiter gab es auch mehrmals Hochwasser. So führte etwa der Fuornbach am 8. August Hochwasser nach einer Regenperiode. Auch am 14. Oktober wurden Hochwasser und eine Rufe im Val Chavagl registriert.

Beim Vergleich der Resultate dieser Studie mit der Arbeit von Benz (1997) im Münstertal, wurden ein übereinstimmendes mögliches Ereignisjahr (1880) und zwei möglicherweise übereinstimmende Ereignisse gefunden, nämlich jene von 1868 und 1957. Allerdings datierte Benz diese Ereignisse jeweils ein Jahr später, also 1869 und 1958. Aufgrund der Möglichkeit, dass Wachstumsstörung erst verzögert in den Bäumen auftreten können, ist es gut möglich, dass diese Ereignisse bereits ein Jahr früher stattgefunden haben und somit möglicherweise durch das gleiche Niederschlagsereignis ausgelöst wurden.

Im Vergleich mit der Studie von Procter et al. (2011) im Vorarlberg wurden acht übereinstimmende Jahre gefunden, dies vor allem gegen Ende des rekonstruierten Zeitanschnitts. Die Anzahl der rekonstruierten Ereignisjahre liegt bei beiden Arbeiten in einem ähnlichen Rahmen. Procter et al. (2011) konnte für die Periode von 1839 bis

2010 insgesamt 63 Murgänge in 31 Jahren bestimmen, während in dieser Studie 32 Ereignisjahre rekonstruiert wurden.

Die Protokolle des Nationalparks konnten für den Vergleich mit den rekonstruierten Ereignissen der letzten etwa 30 Jahre genutzt werden. Drei der rekonstruierten Ereignisjahre fallen in die Periode, in der keine Protokolle vorhanden sind (1995-1998). Für die anderen drei Ereignisjahre ab 1993 wurden jeweils aufgezeichnete Murgangereignisse im Nationalpark gefunden, welche mit grosser Wahrscheinlichkeit mit den Murgängen im Val Brüna in Zusammenhang stehen. In den Protokollen waren ausserdem auch in anderen Jahren Murgänge oder Erdrutsche nahe des Untersuchungsgebiets registriert worden. In den Jahren 1989, 2007, 2008 und 2010 kam es im Juli zu Murgängen und im Jahr 1999 im August. Ebenso wurde in der Chronik von Röthlisberger (1991) Jahre gefunden, in denen im Kanton Graubünden Hochwasser und Unwetter aufgetreten sind, in denen jedoch im Val Brüna kein Murgang rekonstruiert wurde. So wurde beispielsweise das Münstertal im Jahr 1855 von Murgängen verwüstet und im Jahr 1911 von Überschwemmungen betroffen. Es ist möglich, dass sich in diesen Jahren auch im Val Brüna Murgänge ereignet haben. In den beprobten Bäumen wurden für diese Jahre jedoch keine oder zu wenige Wachstumsstörungen beobachtet, um sie als Ereignisjahre zu werten. Besonders wenn es sich bei diesen Murgängen um kleinere Ereignisse gehandelt hat, welche die bestehende Murgangrinne nicht oder nur an wenigen Stellen verlassen haben und somit nur wenige Bäume betroffen wurden, ist es schwierig diese Ereignisse zu rekonstruieren.

Tabelle 6: Zusammenfassung des Vergleichs von rekonstruierten Ereignisjahren und den Archivdaten.

| Jahr | Ereignis | Mögliches Ereignis | Kein Ereignis | Ereignis in Literatur | Rekonstruiertes Ereignis |
|------|----------|--------------------|---------------|-----------------------|--------------------------|
| 1767 | | | x | Nein | |
| 1789 | x | | | (Ja) | |
| 1801 | | | x | Nein | |
| 1804 | | | x | Nein | |
| 1813 | x | | | Nein | |
| 1821 | | x | | Nein | |
| 1831 | | x | | Nein | |
| 1834 | | x | | Ja | |
| 1839 | x | | | Ja | Procter |
| 1845 | | | x | Nein | |
| 1851 | x | | | Nein | Procter |
| 1859 | x | | | Nein | |
| 1862 | | | x | Nein | |
| 1865 | | x | | Nein | |
| 1868 | x | | | Ja | (Benz 1869) |
| 1874 | x | | | Ja | |
| 1880 | | x | | Nein | Benz |
| 1888 | x | | | Ja | |
| 1897 | | | x | (Ja) | |
| 1900 | | | x | (Ja) | |
| 1910 | | | x | Ja | |
| 1918 | x | | | Ja | |
| 1920 | | x | | Ja | |
| 1927 | | x | | Ja | |
| 1928 | | x | | Ja | Procter |
| 1930 | x | | | Ja | |
| 1935 | | | x | Nein | |
| 1944 | | x | | Ja | |
| 1947 | | x | | Nein | |
| 1951 | Lawine | | | - | |
| 1954 | x | | | Ja | |
| 1957 | x | | | Nein | (Benz 1958) |
| 1963 | x | | | Nein | Procter |
| 1967 | | x | | Nein | |
| 1977 | | x | | Ja | |
| 1982 | | x | | Ja | |
| 1993 | | x | | Ja | |
| 1995 | | x | | Nein | |
| 1996 | x | | | Nein | Procter |
| 1998 | x | | | Nein | Procter |
| 2003 | x | | | Ja | Procter |
| 2006 | x | | | Nein | Procter |

6.4 Klimadaten

Beim Vergleich der Niederschlagsdaten mit den rekonstruierten Ereignisjahren zeigte sich, dass die datierten Ereignisjahre nicht unbedingt mit den Jahren übereinstimmen, welche die höchsten Niederschlagswerte aufweisen. Der Durchschnitt der maximalen Tagesniederschläge liegt für die Jahre ohne Ereignis sogar etwas höher als für die Ereignisjahre. Über alle Jahre von 1959-2012 gesehen ereigneten sich die meisten maximalen Tagesniederschläge im September (20.8%) und im Juli (17%) und Oktober (17%).

Am besten für den Vergleich mit den Niederschlagsdaten eigneten sich die Jahre mit genauen Datumsangaben von dokumentierten Murgängen oder Rutschungen. Dies war bei den Jahren 1982, 1993, 2003, und 2006 der Fall. Es zeigte sich auch hier, dass die maximalen Niederschläge nicht unbedingt an den Daten fielen, für die ein Ereignis dokumentiert war. Am 12. Juni 2003 und am 16. August 1982, wo Murgänge und Rutschungen dokumentiert wurden, fielen 20.6 mm resp. 18.7 mm Niederschlag. In beiden Jahren gab es Tage mit deutlich mehr Niederschlag, sie gehören aber trotzdem noch zu den regenreicheren Tagen. Wie Stoffel et al. (2011) berichten, kann ein Niederschlag von <20 mm bereits ausreichen, um einen Murgang auszulösen. Eine sehr schlechte Korrelation zeigte das Jahr 1993 wo am 3. und 4. August mit 1.7 mm kaum Niederschlag gemessen wurde, im Nationalpark aber Murgänge registriert wurden. Im Jahr 1977 gab es im Mai und Juni Rutschungen und murgangartige Abflüsse in Münstertal. Tatsächlich findet sich in diesem Jahr der höchste und dritthöchste Niederschlag im Mai. Zusätzlich spielte hier, wie auch in der Chronik von Röthlisberger (1991) erwähnt, die Schneeschmelze wahrscheinlich eine wichtige Rolle. Eine gute Korrelation von Niederschlag und dokumentierten Murgängen besteht für das Jahr 2006. Im Nationalpark kam es in diesem Jahr am 5. Juli zu verschiedenen Murgängen nach einem Gewitter. Tatsächlich fielen an diesem Tag auch bei Buffalora mit 36.1 mm die stärksten Niederschläge in diesem Jahr.

Das nicht immer ein klarer Zusammenhang zwischen Starkniederschlägen und Murgangereignissen beobachtet werden konnte, kann verschiedene Gründe haben. Einerseits ist es möglich, dass Murgänge durch sehr lokale Niederschlagsereignisse ausgelöst wurden, welche bei der Messstation nicht, oder weniger stark, ausgeprägt waren. Hier kann auch der Höhenunterschied zwischen Messstation und Einzugsgebiet des Murgangs einen Einfluss haben. Neben dem Niederschlag spielen auch andere

Faktoren, wie die Stärke der Schneeschmelze eine Rolle, wodurch zusätzliches Wasser zugeführt werden kann.

Dass die Murgangereignisse nicht mit Starkniederschlägen korrelieren legt nahe, dass es sich beim Val Brüna Murgang um ein System handelt, dass nicht Transport-limitiert ist, sondern durch die Verfügbarkeit von Lockermaterial limitiert wird. Die führt dazu, dass auch bei kräftigem Regen kein Murgang entsteht, wenn sich noch nicht genügend Material angesammelt hat.

Dadurch, dass nicht immer eine Korrelation zwischen Murgangereignissen und dem Niederschlag beobachtet werden konnte, ist es kaum möglich in Jahren ohne dokumentierte Ereignisse den möglichen Zeitpunkt des Murgangs zu bestimmen.

7. Schlussfolgerungen

Durch die Analyse der Proben von 164 Bäumen (*Pinus mugo*) konnten für das Val Brüna 32 Murgangereignisse zwischen 1789 und 2006 rekonstruiert werden. Da das transportierte Material nur wenig grosse Blöcke enthält und die Fliessgeschwindigkeit des Materials eher gering ist, sind Verletzungen von Bäumen eher selten. Am häufigsten treten Wachstumsstörungen in Form von Wachstumsschüben und –einbrüchen auf, welche durch Einsedimentierung der Bäume verursacht werden. Besonders häufig wurden Wachstumsschübe beobachtet, was die Beobachtung von Stoffel et al. (2008) unterstützt, dass Föhren nach Einsedimentierung durch kalkiges Material mit stärkerem Wachstum auf die zusätzliche Nährstoffzufuhr reagieren. Für mehrere rekonstruierte Murgangereignisse, konnten in der Literatur aufgezeichnete Hochwasserereignisse, Murgänge, Rutschungen oder Gewitter in der Umgebung des Untersuchungsgebietes gefunden werden, was die Resultate der dendrogeomorphologischen Rekonstruktion unterstützt.

Durch den Vergleich der räumlichen Verteilung der verletzten Bäume in den verschiedenen Ereignisjahren, konnte eine Veränderung der bevorzugten Fliesswege beobachtet werden. Der Mündungsbereich des Murgangs und das Ablagerungsgebiet haben sich immer weiter nach Westen verschoben und die Kurve der Murgangrinne hat sich immer stärker ausgebildet. Heute ist nur ein kleiner Teil des gesamten Ablagerungsfächers aktiv.

Der Vergleich der Ereignisjahre mit den Niederschlagswerten von 1959 bis 2012 zeigte, dass Starkniederschläge und Murgangereignisse nicht sehr gut korrelieren. Dies legt nahe, dass die Verfügbarkeit von Lockermaterial die Entstehung von Murgängen im Val Brüna limitiert und bei genügend vorhandenem Material bereits kleinere Niederschlagsmengen Murgänge auslösen können. Weiter spielt vermutlich auch die Schneeschmelze eine wichtige Rolle bei der Entstehung der Murgänge.

8. Dank

Ein grosser Dank geht an Markus Stoffel für die Ermöglichung und Betreuung dieser Arbeit, die Einführung im Untersuchungsgebiet und die Unterstützung bei der Auswertung der Resultate und bei offenen Fragen.

Michelle Schneuwly-Bollschweiler danke ich für kompetente Einführung und Unterstützung im Labor und die Hilfe bei offenen Fragen.

Daniel Trappmann möchte ich besonders für die tatkräftige Unterstützung im Feld danken, sowie für die Hilfe im Labor.

Herrn Ruedi Haller danke ich dafür, dass er mir die Ereignisprotokolle des Schweizerischen Nationalparks zur Verfügung gestellt hat.

Ein weiterer Dank geht an meine Mitstudenten für die tolle Studienzeit, die Unterstützung und Abwechslung während des ganzen Studiums und beim Verfassen dieser Arbeit. Speziell danken möchte ich Laura Blaser und Andrea Rösch für die Hilfe und den Austausch im Labor oder im GIS.

Ein ganz besonderer Dank geht an meine Eltern, die mir dieses Studium ermöglicht und mich immer unterstützt haben. Ebenfalls danken möchte ich meinem Freund für die Unterstützung und Motivation.

9. Literaturverzeichnis

- Benz, D. 1997. Die geomorphologische Entwicklung des Murfächers bei Tschier im Münstertal - erfasst mit dendrochronologischen Methoden. Diplomarbeit, Geographisches Institut der Universität Zürich ausgeführt an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) in Birmensdorf.
- Bollschweiler, M., Stoffel, M., 2010a. Changes and trends in debris-flow frequency since AD 1850: Results from the Swiss Alps. *The Holocene* 20 (6): 907–916.
- Bollschweiler, M., Stoffel, M., 2010b. Variations in debris-flow occurrence in an Alpine Catchment — A reconstruction based on tree rings. *Global and Planetary Change* 73 (3-4): 186–192.
- Bollschweiler, M., 2007. Spatial and temporal occurrence of past debris flows in the Valais Alps - Results from tree-ring analysis. Dissertation, Universität Freiburg.
- Bollschweiler, M., Stoffel, M., Schneuwly, D., 2008. Dynamics in debris-flow activity on a forested cone — A case study using different dendroecological approaches. *Catena* 72 (1): 67–78.
- Brändli, U.-B. 1998. Die Häufigsten Waldbäume Der Schweiz. 2. Auflage. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.
- Bundesamt für Raumplanung BRP, Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, 1997. Naturgefahren. Empfehlungen 1997. Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten.
- De Quervain, M., Zingg, Th., in der Gand H.R., Schild, M., Calörtscher, H., 1952. Schnee und Lawinen in den Schweizeralpen im Winter 1950/51. Weissfluhjoch, Davos.
- Dössegger, R., 1987. Geologische Karte des Schweizerischen Nationalparks 1:50'000. Geologische Spezialkarte Nr. 122.
- Fritts H. C., 1976. Tree rings and climate. London: Academic Press.

- Haerberli, W., Rickenmann, D., Zimmermann, M., Rösli, U., 1991. Murgänge. In: Ursachenanalyse der Hochwasser 1987. Ergebnisse der Untersuchungen, Mitteilung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Nr. 4, Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie, Nr. 14, Bern, 77-88.
- Hupp, C. R., Osterkamp, W. R., Thornton, J. L., 1987. Dendrogeomorphic evidence and dating of recent debris flows on Mount Shasta, northern California. U.S. Geological Survey Professional Paper 1396B: 1–39.
- Haller, R., 2007. Die Protokollierung spezieller Ereignisse im Nationalpark. Cratschla (2)
- Kogelnig-Mayer, B., Stoffel, M., Schneuwly-Bollschweiler, M., Hübl, J., Miklau, F.R., 2011. Possibilities and limitations of dendrogeomorphic time-series reconstructions on sites influenced by debris flows and frequent snow avalanche activity. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 43 (4): 649-658.
- Labhart, T.P., 2005. *Geologie der Schweiz* 7. Auflage., Bern: Ott Verlag.
- Lauber, K., & Wagner, G., 1998. *Flora Helvetica*. 2. verbesserte und ergänzte Aufl. Bern/Stuttgart/Wien, Haupt.
- Mayer, H., 1977. *Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage*. 1. Aufl. Stuttgart, Fischer. 483 S.
- Parolini, J. D., 2012. *Vom Kahlschlag zum Naturreservat, Geschichte der Waldnutzung im Gebiet des Schweizerischen Nationalparks*, Haupt Verlag.
- Pfiffner, O. A. 2009. *Geologie der Alpen*. Haupt Verlag.
- Procter, E., Bollschweiler, M., Stoffel, M., Neumann, M., 2011. A regional reconstruction of debris-flow activity in the Northern Calcareous Alps, Austria. *Geomorphology* 132: 41-50.
- Rickenmann, Dieter. 2001. Murgänge in den Alpen und Methoden zur Gefahrenbeurteilung. *Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Rheinisch- Westfälische Technische Hochschule Aachen* 124: 51–77.

- Röthlisberger, G., 1991. Chroniken der Unwetterschäden in der Schweiz. Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.
- Rossi, S., Deslauriers, A., Anfodillo, T., 2006. Assessment of cambial activity and xylogenesis by microsampling tree species: An example at the Alpine timberline. *IAWA Journal* 27 (4): 383–394.
- Schmid, S. 1973. Geologie des Umbrailgebiets. *Eclogae Geologicae Helveticae* Vol. 66, Nr. 1, 109 Seiten.
- Schneuwly-Bollschweiler, M., Corona, C., Stoffel, M., in press. How to improve dating quality and reduce noise in tree-ring based debris-flow reconstructions. *Quaternary Geochronology*.
- Schweingruber, F. H. 1996. Tree rings and environment – Dendroecology. Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien.
- Schweingruber, F. H., 1983. Der Jahrring. Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien.
- Schweizerischer Nationalpark, 2012. Informationstafel Naturlehrpfad.
- Shigo, A. L. 1985. Compartmentalization of decay in trees that resist the spread of the invading microorganisms. *Scientific American*: 96-103.
- Shigo, A. L. 1986. A new tree biology: facts, photos, and philosophies on trees and their problems and proper care. Shigo and Trees, Associates, Durham, New Hampshire.
- Shroder, J. F. 1978. Dendro-geomorphological analysis of mass movement on Table Cliffs Plateau, Utah. *Quaternary Research* 9: 168–185.
- Stoffel, M., 2008. Dating past geomorphic processes with tangential rows of traumatic resin ducts. *Dendrochronologia* 26 (1) (July): 53–60.
- Stoffel, M., Bollschweiler, M., 2009. What tree rings can tell about earth-surface processes: Teaching the principles of dendrogeomorphology. *Geography Compass* 3 (3): 1013-1037.

- Stoffel, M., Bollschweiler, M., 2008. Tree-ring analysis in natural hazards research – an overview. *Natural Hazards and Earth System Science* 8 (2) (March 11).
- Stoffel, M., Bollschweiler, M., Beniston, M., 2011. Rainfall characteristics for periglacial debris flows in the Swiss Alps: Past incidences–potential future evolutions.” *Climatic Change* 105 (1-2): 263–280.
- Stoffel, M., Bollschweiler, M., Leutwiler, A., Aeby, P., 2008. Tree-ring reconstruction of debris-flow events leading to overbank sedimentation on the Illgraben cone (Valais Alps, Switzerland). *The Open Geology Journal* 2 (1): 18–29.
- Stoffel, M., Schneuwly, D., Bollschweiler, M., Lièvre, I., Delaloye, R., Myint, M., Monbaron, M., 2005. Analyzing rockfall activity (1600–2002) in a protection forest—a case study using dendrogeomorphology. *Geomorphology* 68 (3-4): 224–241.
- Stolz, A., & Huggel, C. 2008. Debris flows in the Swiss National Park: the influence of different flow models and varying DEM grid size on modeling results. *Landslides*, 5(3), 311-319.
- Stolz, A. 2006. Murgänge im Schweizerischen Nationalpark: Parametrisierung und Modellierung. Diss. Geographisches Institut der Universität Zürich.
- Strunk, H., 1997. Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods. *Catena* 31 (1-2): 137–151.
- Trappmann, D., 2011. Impaktbezogene Jahrringanalyse als Komponente zur Abschätzung von Steinschlag-Frequenzen. Ein dendrogeomorphologischer Beitrag zu risikoanalytischen Methoden. Masterarbeit, Institut für Alpine Naturgefahren (IAN), Universität für Bodenkultur, Wien.
- Trümpy, R., Schmid, S., Conti, P., Froitzheim, N. 1997. Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:50 000 Des Schweizerischen Nationalparks (Geologische Spezialkarte Nr. 122). Nationalpark-Forschung in der Schweiz (87), pp. 40
- Uttinger, H., 1968. Klima (Ökologische Untersuchungen im Unterengadin). Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen des schweizerischen Nationalparks. Vol. 12(1)

Vandine, D F, and M Bovis. 2002. History and goals of canadian debris flow research , a review. Natural Hazards 26 (1). 69–82.

Zepp, H. 2002. Geomorphologie: Eine Einführung. Vol. 2164. Utb.

Zoller, H., 1981: Gymnospermae, Nacktsamige Pflanzen. In: HEGI, G. (ed) Illustrierte Flora von Mitteleuropa. 1/2, 3. Aufl. Hamburg, Parey. 148 S.

Internetseiten:

ArcGIS help (a).

<http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/005p000000n0000000/>, 3.6.2013

ArcGIS help (b).

<http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/005p0000000090000000/>; .6.2013

ArcGIS help ©.

http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/An_overview_of_the_Analyzing_Patterns_toolset/005p0000000070000000/; 3.6.2013

Beuting, M. 2013. <http://www.dr-beuting.de/>; 27.2.2013

Archicultura, Stiftung für Orts- und Landschaftsbildpflege,

<http://www.archicultura.ch/Karten/CH-GR.gif>, 21.8.2013

Landesforstinventar, WSL. <http://www.lfi.ch/resultate/daten/trees/bergfoehre1.php>; 16.1.2013

MeteoSchweiz, Eidgenössisches Departement des Innern EDI, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, www.meteoschweiz.admin.ch; 17.1.2013

Plattform Naturgefahren PLANAT, www.planat.ch; 19.12.2012

Schweizerischer Nationalpark. <http://www.nationalpark.ch/go/de/flora-und-fauna/pflanzen/bergfoehre/>; 16.1.2013

Swisstopo, map.geo.admin.ch, 8.2.2013

Swisstopo (b), LUBIS Datenviewer. <http://map.lubis.admin.ch/>; 31.10.2013

WSL, <http://www.woodanatomy.ch/species.php?code=PIMU#>, 21.8.2013

10. Anhang

Tabelle 7: Ereignistabelle mit allen analysierten Jahren.

| Baum Nr. | X | Y | Erster JR | Alter | Probe | Rkt. Jahr | Rkt. Int. | WS | Ereignisjahr |
|----------|--------|--------|-----------|-------|------------|--------------|-----------|------------|--------------|
| NPVB333 | 814582 | 170941 | 1759 | 252 | c | 1767 | 3 | gs | 1767 |
| NPVB333 | 814582 | 170941 | 1759 | 252 | d1/d2/c | 1769 | 2 | cw+gr | 1767 |
| NPVB334 | 814580 | 170947 | 1761 | 250 | d1 | 1769 | 2 | cw+gr | 1767 |
| NPVB203 | 814762 | 170731 | 1759 | 252 | c1/ca | 1790 | 2 | cw | 1789 |
| NPVB204 | 814762 | 170725 | 1755 | 256 | d1 | 1790 | 1 | cw | 1789 |
| NPVB217 | 814730 | 170797 | 1761 | 250 | d | 1790 | 3 | gr (cw) | 1789 |
| NPVB219 | 814723 | 170795 | 1765 | 246 | d1/d2+c | 1790 | 3 | cw+gs | 1789 |
| NPVB319 | 814612 | 170904 | 1763 | 248 | d | 1790 | 1 | gs | 1789 |
| NPVB118 | 814830 | 170639 | 1763 | 248 | d | 1791 | 1 | cw | 1789 |
| NPVB220 | 814726 | 170791 | 1761 | 250 | d | 1791 | 3 | cw+gr 1792 | 1789 |
| NPVB116 | 814843 | 170641 | 1748 | 263 | d | 1792 | 2 | gs | 1789 |
| NPVB208 | 814754 | 170752 | 1750 | 261 | d1/a1 | 1792 | 2 | cw? | 1789 |
| NPVB210 | 814749 | 170763 | 1727 | 284 | d | 1792 | 3 | gs | 1789 |
| NPVB239 | 814668 | 170851 | 1747 | 264 | d | 1792 | 1 | gs | 1789 |
| NPVB213 | 814746 | 170784 | 1768 | 243 | d/c | 1794 | 2 | gr | 1789 |
| NPVB216 | 814734 | 170789 | 1750 | 261 | d1 | 1794 | 1 | gr | 1789 |
| NPVB223 | 814731 | 170780 | 1749 | 262 | d | 1794 | 2 | gr | 1789 |
| NPVB224 | 814701 | 170779 | 1756 | 255 | d/c | 1794 | 1 | gr | 1789 |
| NPVB318 | 814608 | 170910 | 1748 | 263 | d/c | 1794 | 1 | gr | 1789 |
| NPVB220 | 814726 | 170791 | 1761 | 250 | c | 1801 | 2 | gs | 1801 |
| NPVB229 | 814682 | 170796 | 1781 | 230 | d | 1801 | 2 | gr (cw) | 1801 |
| NPVB318 | 814608 | 170910 | 1748 | 263 | c/d | 1801 | 1 | gs | 1801 |
| NPVB328 | 814593 | 170925 | 1768 | 243 | d | 1801 | 2 | gs | 1801 |
| NPVB338 | 814579 | 170954 | 1752 | 259 | c | 1801 | 2 | gs | 1801 |
| NPVB223 | 814731 | 170780 | 1749 | 262 | c | 1802 | 2 | gr | 1801 |
| NPVB229 | 814682 | 170796 | 1781 | 230 | c2 | 1802 | 1 | cw | 1801 |
| NPVB414 | 814715 | 170814 | 1758 | 254 | d | 1804 | 3 | cw + gr | 1804 |
| NPVB415 | 814703 | 170812 | 1735 | 277 | c/d | 1804 | 3 | gr (+ cw) | 1804 |
| NPVB401 | 814737 | 170743 | 1769 | 242 | d | 1804 nach | 3 | cw | 1804 |
| NPVB204 | 814762 | 170725 | 1755 | 256 | c1 | 1795 | 4 | i | 1813 |
| NPVB216 | 814734 | 170789 | 1750 | 261 | d1/c1 /d2 | 1813 | 2 | gs | 1813 |
| NPVB315 | 814599 | 170908 | 1768 | 243 | c1/c2 | 1813 | 2 | gs | 1813 |
| NPVB101 | 814825 | 170614 | 1741 | 270 | a | 1813 | 2 | gs | 1813 |
| NPVB203 | 814762 | 170731 | 1759 | 252 | d/c1/c2/ca | 1813 | 1 | gs | 1813 |
| NPVB204 | 814762 | 170725 | 1755 | 256 | d2/c2 | 1813 | 1/2 | gs | 1813 |
| NPVB211 | 814749 | 170772 | 1740 | 271 | c | 1813 | 1 | gs | 1813 |
| NPVB214 | 814737 | 170786 | 1747 | 264 | d1/d2/a1 | 1813 | 1 | gs | 1813 |
| NPVB218 | 814730 | 170803 | 1757 | 254 | c1/c2 | 1813 | 2 | gs | 1813 |
| NPVB226 | 814691 | 170792 | 1758 | 253 | d/c | 1813 | 1 | gs | 1813 |
| NPVB228 | 814685 | 170804 | 1728 | 283 | d/c | 1813 | 2 | gs | 1813 |
| NPVB233 | 814685 | 170824 | 1724 | 287 | d/c1 | 1813 | 2 | gs | 1813 |

| | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|------|-----|------------|--------|---|---------|------|
| NPVB234 | 814678 | 170817 | 1757 | 254 | c | 1813 | 2 | gs | 1813 |
| NPVB312 | 814602 | 170890 | 1765 | 246 | c | 1813 | 2 | gs | 1813 |
| NPVB313 | 814581 | 170887 | 1791 | 220 | d/c | 1813 | 1 | gs | 1813 |
| NPVB322 | 814592 | 170905 | 1760 | 251 | c | 1813 | 2 | gs | 1813 |
| NPVB332 | 814579 | 170938 | 1753 | 258 | d | 1813 | 2 | gs | 1813 |
| NPVB229 | 814682 | 170796 | 1781 | 230 | d | 1821 | 3 | cw | 1821 |
| NPVB323 | 814585 | 170915 | 1778 | 233 | d | 1822 | 2 | gr | 1821 |
| NPVB218 | 814730 | 170803 | 1757 | 254 | c1 | 1822 | 2 | gr | 1821 |
| NPVB238 | 814671 | 170844 | 1735 | 276 | c/d | 1822 | 2 | gr | 1821 |
| NPVB310 | 814586 | 170873 | 1809 | 202 | d | 1822 | 2 | gr | 1821 |
| NPVB318 | 814608 | 170910 | 1748 | 263 | c/d | 1822 | 2 | gr | 1821 |
| NPVB327 | 814589 | 170923 | 1761 | 250 | c | 1822 | 1 | gr | 1821 |
| NPVB332 | 814579 | 170938 | 1753 | 258 | d | 1822 | 2 | gr | 1821 |
| NPVB706 | 814446 | 171005 | 1813 | 199 | d | 1822 | 2 | gr cw | 1821 |
| NPVB417 | 814674 | 170854 | 1807 | 205 | c1 | ?1831? | 4 | i | 1831 |
| NPVB233 | 814685 | 170824 | 1724 | 287 | d | 1831 | 1 | gs | 1831 |
| NPVB413 | 814706 | 170812 | 1786 | 226 | d | 1831 | 2 | gr | 1831 |
| NPVB417 | 814674 | 170854 | 1807 | 205 | c2 | 1831 | 3 | gs | 1831 |
| NPVB208 | 814754 | 170752 | 1750 | 261 | a1(d1)/d2 | 1832 | 1 | gs | 1831 |
| NPVB225 | 814696 | 170787 | 1782 | 229 | c | 1832 | 1 | gs | 1831 |
| NPVB226 | 814691 | 170792 | 1758 | 253 | d | 1832 | 2 | gs | 1831 |
| NPVB326 | 814582 | 170927 | 1748 | 263 | d1/d2 | 1832 | 1 | gs | 1831 |
| NPVB315 | 814599 | 170908 | 1768 | 243 | d | 1836 | 2 | gs | 1834 |
| NPVB236 | 814670 | 170826 | 1760 | 251 | d | 1836 | 2 | gs | 1834 |
| NPVB240 | 814662 | 170855 | 1761 | 250 | d | 1836 | 2 | gr | 1834 |
| NPVB321 | 814625 | 170893 | 1757 | 254 | d | 1836 | 1 | gs | 1834 |
| NPVB335 | 814586 | 170945 | 1750 | 261 | d | 1836 | 3 | gs | 1834 |
| NPVB413 | 814706 | 170812 | 1786 | 226 | c1 | 1836 | 2 | gs | 1834 |
| NPVB109 | 814832 | 170640 | 1744 | 267 | d | 1837 | 2 | gs | 1834 |
| NPVB216 | 814734 | 170789 | 1750 | 261 | d1/d2 | 1839 | 3 | gr | 1839 |
| NPVB217 | 814730 | 170797 | 1761 | 250 | b/c | 1839 | 4 | i | 1839 |
| NPVB232 | 814684 | 170817 | 1737 | 274 | d | 1839 | 2 | gr | 1839 |
| NPVB207 | 814750 | 170742 | 1829 | 182 | d | 1840 | 2 | gs | 1839 |
| NPVB213 | 814746 | 170784 | 1768 | 243 | d/c | 1840 | 2 | gr | 1839 |
| NPVB217 | 814730 | 170797 | 1761 | 250 | d | 1840 | 3 | gr | 1839 |
| NPVB218 | 814730 | 170803 | 1757 | 254 | c1/c2 | 1840 | 4 | i | 1839 |
| NPVB239 | 814668 | 170851 | 1747 | 264 | d | 1840 | 2 | gr | 1839 |
| NPVB306 | 814615 | 170866 | 1789 | 222 | d | 1840 | 2 | gr | 1839 |
| NPVB312 | 814602 | 170890 | 1765 | 246 | c | 1840 | 1 | gr | 1839 |
| NPVB317 | 814603 | 170916 | 1771 | 240 | d | 1840 | 2 | gr | 1839 |
| NPVB416 | 814660 | 170845 | 1829 | 183 | c1/ c in d | 1840 | 3 | cw + gr | 1839 |
| NPVB609 | 814783 | 170723 | 1762 | 250 | a | 1840 | 2 | cw | 1839 |
| NPVB220 | 814726 | 170791 | 1761 | 250 | c | 1841 | 1 | gs | 1839 |
| NPVB236 | 814670 | 170826 | 1760 | 251 | c | 1841 | 1 | gr | 1839 |
| NPVB319 | 814612 | 170904 | 1763 | 248 | c | 1841 | 2 | gs | 1839 |
| NPVB417 | 814674 | 170854 | 1807 | 205 | c2 | 1841 | 1 | gs | 1839 |
| NPVB225 | 814696 | 170787 | 1782 | 229 | d | 1845 | 2 | cw | 1845 |

| | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|------|-----|---------------|------|---|---------|------|
| NPVB216 | 814734 | 170789 | 1750 | 261 | c1/c2 | 1846 | 1 | gr | 1845 |
| NPVB226 | 814691 | 170792 | 1758 | 253 | d | 1846 | 2 | gr | 1845 |
| NPVB234 | 814678 | 170817 | 1757 | 254 | d/c | 1846 | 3 | gr | 1845 |
| NPVB317 | 814603 | 170916 | 1771 | 240 | ca1/3/2/(d)/a | 1846 | 3 | gr | 1845 |
| NPVB214 | 814737 | 170786 | 1747 | 264 | a2/d1 | 1849 | 4 | i | 1851 |
| NPVB225 | 814696 | 170787 | 1782 | 229 | c | 1850 | 2 | gr | 1851 |
| NPVB206 | 814758 | 170741 | 1738 | 273 | a | 1851 | 4 | i | 1851 |
| NPVB211 | 814749 | 170772 | 1740 | 271 | c | 1851 | 2 | gs | 1851 |
| NPVB220 | 814726 | 170791 | 1761 | 250 | d | 1851 | 1 | gs | 1851 |
| NPVB222 | 814762 | 170760 | 1744 | 267 | c/cb/b | 1851 | 4 | i | 1851 |
| NPVB235 | 814677 | 170824 | 1760 | 251 | d | 1851 | 2 | gs | 1851 |
| NPVB206 | 814758 | 170741 | 1738 | 273 | d/c | 1852 | 3 | gr | 1851 |
| NPVB228 | 814685 | 170804 | 1728 | 283 | c | 1852 | 1 | gr | 1851 |
| NPVB214 | 814737 | 170786 | 1747 | 264 | a1 | 1853 | 4 | i | 1851 |
| NPVB604 | 814829 | 170698 | 1757 | 255 | d | 1859 | 3 | gr | 1859 |
| NPVB605 | 814830 | 170711 | 1758 | 254 | d/c | 1859 | 3 | gr | 1859 |
| NPVB607 | 814821 | 170731 | 1808 | 204 | d/c | 1859 | 2 | gr | 1859 |
| NPVB104 | 814827 | 170622 | 1719 | 292 | d | 1860 | 2 | gs | 1859 |
| NPVB608 | 814805 | 170721 | 1772 | 240 | c | 1860 | 2 | gs | 1859 |
| NPVB202 | 814762 | 170741 | 1749 | 262 | c | 1861 | 2 | gr | 1859 |
| NPVB219 | 814723 | 170795 | 1765 | 246 | d1/d2/c | 1862 | 2 | gr | 1859 |
| NPVB220 | 814726 | 170791 | 1761 | 250 | d | 1862 | 2 | gr | 1859 |
| NPVB325 | 814585 | 170924 | 1749 | 262 | d/c | 1862 | 1 | gr | 1859 |
| NPVB606 | 814829 | 170716 | 1740 | 272 | d/c | 1862 | 3 | gr | 1859 |
| NPVB416 | 814660 | 170845 | 1829 | 183 | c1/c2/ c in d | 1863 | 3 | cw +gr | 1859 |
| NPVB602 | 814820 | 170672 | 1747 | 265 | c1 | 1863 | 2 | gr | 1859 |
| NPVB118 | 814830 | 170639 | 1763 | 248 | c | 1865 | 1 | cw | 1865 |
| NPVB216 | 814734 | 170789 | 1750 | 261 | d2 | 1865 | 2 | gs | 1865 |
| NPVB231 | 814680 | 170807 | 1761 | 250 | d | 1865 | 1 | gs | 1865 |
| NPVB411 | 814700 | 170798 | 1750 | 262 | d | 1865 | 1 | gs | 1865 |
| NPVB224 | 814701 | 170779 | 1756 | 255 | d | 1866 | 2 | gr | 1865 |
| NPVB241 | 814656 | 170855 | 1785 | 226 | d | 1866 | 2 | gr+cw | 1865 |
| NPVB408 | 814708 | 170750 | 1833 | 179 | d | 1866 | 3 | gr + cw | 1865 |
| NPVB603 | 814829 | 170678 | 1859 | 153 | c | 1866 | 1 | gr | 1865 |
| NPVB117 | 814833 | 170656 | 1754 | 257 | d | 1869 | 1 | gr | 1868 |
| NPVB233 | 814685 | 170824 | 1724 | 287 | d | 1869 | 1 | gr | 1868 |
| NPVB234 | 814678 | 170817 | 1757 | 254 | d | 1869 | 1 | gr | 1868 |
| NPVB241 | 814656 | 170855 | 1785 | 226 | c | 1869 | 3 | gr+cw | 1868 |
| NPVB314 | 814600 | 170901 | 1769 | 242 | d1/d2 | 1869 | 2 | gr | 1868 |
| NPVB317 | 814603 | 170916 | 1771 | 240 | ca2 | 1869 | 1 | gr | 1868 |
| NPVB322 | 814592 | 170905 | 1760 | 251 | d | 1869 | 2 | gr | 1868 |
| NPVB326 | 814582 | 170927 | 1748 | 263 | c | 1869 | 3 | gr | 1868 |
| NPVB327 | 814589 | 170923 | 1761 | 250 | d/c | 1869 | 2 | gr | 1868 |
| NPVB328 | 814593 | 170925 | 1768 | 243 | d | 1869 | 1 | gr+cw? | 1868 |
| NPVB329 | 814587 | 170933 | 1764 | 247 | c | 1869 | 1 | gr | 1868 |
| NPVB330 | 814583 | 170932 | 1745 | 266 | c | 1869 | 2 | gr | 1868 |
| NPVB339 | 814576 | 170956 | 1741 | 270 | d/c | 1869 | 1 | gr | 1868 |

| | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|------|-----|---------------|-------|---|---------|---------|
| NPVB308 | 814601 | 170869 | 1774 | 237 | c | 1870 | 2 | gs | 1868 |
| NPVB501 | 814575 | 170904 | 1786 | 226 | c/d | 1870 | 3 | gs/gr | 1868 |
| NPVB609 | 814783 | 170723 | 1762 | 250 | a | 1870 | 1 | cw | 1868 |
| NPVB225 | 814696 | 170787 | 1782 | 229 | c | 1875 | 1 | gr | 1874 |
| NPVB312 | 814602 | 170890 | 1765 | 246 | c | 1875 | 1 | gr | 1874 |
| NPVB501 | 814575 | 170904 | 1786 | 226 | d | 1875 | 2 | gr | 1874 |
| NPVB605 | 814830 | 170711 | 1758 | 254 | d//c | 1875 | 3 | gs | 1874 |
| NPVB702 | 814457 | 170976 | 1864 | 148 | d | 1875 | 1 | cw | 1874 |
| NPVB703 | 814454 | 170983 | 1818 | 194 | c | 1875 | 1 | cw | 1874 |
| NPVB203 | 814762 | 170731 | 1759 | 252 | c1(d)/ca | 1876 | 2 | gr | 1874 |
| NPVB241 | 814656 | 170855 | 1785 | 226 | d | 1876 | 3 | cw | 1874 |
| NPVB324 | 814584 | 170920 | 1768 | 243 | d | 1876 | 2 | gr | 1874 |
| NPVB416 | 814660 | 170845 | 1829 | 183 | d | 1876 | 3 | cw +gr | 1874 |
| NPVB118 | 814830 | 170639 | 1763 | 248 | c | 1877 | 2 | cw | 1874 |
| NPVB240 | 814662 | 170855 | 1761 | 250 | d | 1877 | 3 | cw+gr | 1874 |
| NPVB309 | 814589 | 170869 | 1827 | 184 | c | 1877 | 1 | gs | 1874 |
| NPVB317 | 814603 | 170916 | 1771 | 240 | ca1 | 1880 | 3 | gs | 1880 |
| NPVB416 | 814660 | 170845 | 1829 | 183 | c in d | 1880 | 2 | gr | 1880 |
| NPVB417 | 814674 | 170854 | 1807 | 205 | d | 1880 | 2 | gs | 1880 |
| NPVB118 | 814830 | 170639 | 1763 | 248 | c | 1881 | 3 | gs | 1880 |
| NPVB213 | 814746 | 170784 | 1768 | 243 | d | 1881 | 2 | gs | 1880 |
| NPVB224 | 814701 | 170779 | 1756 | 255 | d | 1888 | 3 | gr + cw | 1888 |
| NPVB234 | 814678 | 170817 | 1757 | 254 | d | 1888 | 2 | gs | 1888 |
| NPVB239 | 814668 | 170851 | 1747 | 264 | d | 1888 | 2 | gs | 1888 |
| NPVB336 | 814588 | 170939 | 1758 | 253 | d | 1888 | 1 | gs | 1888 |
| NPVB408 | 814708 | 170750 | 1833 | 179 | d/c | 1888 | 2 | cw +gr | 1888 |
| NPVB702 | 814457 | 170976 | 1864 | 148 | d/c | 1888 | 1 | gs | 1888 |
| NPVB703 | 814454 | 170983 | 1818 | 194 | c | 1888 | 3 | cw | 1888 |
| NPVB207 | 814750 | 170742 | 1829 | 182 | cb | 1889 | 2 | gr | 1888 |
| NPVB609 | 814783 | 170723 | 1762 | 250 | b | 1889 | 2 | gs | 1888 |
| NPVB301 | 814646 | 170856 | 1755 | 256 | a | 1897 | 4 | i | 1897 |
| NPVB301 | 814646 | 170856 | 1755 | 256 | d | 1897 | 3 | gr | 1897 |
| NPVB333 | 814582 | 170941 | 1759 | 252 | d2/c | 1897 | 2 | gr | 1897 |
| NPVB412 | 814698 | 170808 | 1836 | 176 | c/d | 1898 | 3 | gr | 1897 |
| NPVB321 | 814625 | 170893 | 1757 | 254 | c1/c2 | 1900 | 4 | i | 1900 |
| NPVB320 | 814619 | 170901 | 1723 | 288 | a/c | 1901 | 2 | gr | 1900 |
| NPVB607 | 814821 | 170731 | 1808 | 204 | c seite von d | 1910? | 4 | i? | 1910 |
| NPVB229 | 814682 | 170796 | 1781 | 230 | d | 1910 | 2 | gr | 1910 |
| NPVB408 | 814708 | 170750 | 1833 | 179 | d/c | 1910 | 1 | gr | 1910 |
| NPVB111 | 814848 | 170644 | 1880 | 131 | c2 | 1911 | 2 | gs | 1910 |
| NPVB229 | 814682 | 170796 | 1781 | 230 | c2 (c1) | 1911 | 2 | gs | 1910 |
| NPVB216 | 814734 | 170789 | 1750 | 261 | d2 | 1918 | 4 | i | 1918 |
| NPVB111 | 814848 | 170644 | 1880 | 131 | d2/d1 | 1919 | 3 | cw? | 1918 |
| NPVB107 | 814841 | 170633 | 1742 | 269 | d/cb1/cb2 | 1920 | 1 | gr | 1918 |
| NPVB309 | 814589 | 170869 | 1827 | 184 | d1/d2/c | 1920 | 2 | gr | 1918 |
| NPVB203 | 814762 | 170731 | 1759 | 252 | c2/ca | 1921 | 3 | gr | 1918/20 |
| NPVB232 | 814684 | 170817 | 1737 | 274 | c | 1921 | 1 | gr | 1918/20 |

| | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|------|-----|----------|------|---|----------|---------|
| NPVB237 | 814668 | 170833 | 1801 | 210 | c | 1921 | 2 | gr | 1918/20 |
| NPVB314 | 814600 | 170901 | 1769 | 242 | d1 | 1921 | 1 | gr | 1918/20 |
| NPVB335 | 814586 | 170945 | 1750 | 261 | d | 1921 | 2 | gr | 1918/20 |
| NPVB339 | 814576 | 170956 | 1741 | 270 | c | 1921 | 2 | gr | 1918/20 |
| NPVB412 | 814698 | 170808 | 1836 | 176 | c/d | 1921 | 2 | gr/gs | 1918/20 |
| NPVB413 | 814706 | 170812 | 1786 | 226 | c1 | 1921 | 1 | gs | 1918/20 |
| NPVB603 | 814829 | 170678 | 1859 | 153 | d/c | 1921 | 2 | gr | 1918/20 |
| NPVB607 | 814821 | 170731 | 1808 | 204 | c | 1921 | 1 | gr | 1918/20 |
| NPVB315 | 814599 | 170908 | 1768 | 243 | d | 1928 | 2 | gr | 1927 |
| NPVB101 | 814825 | 170614 | 1741 | 270 | d | 1928 | 1 | gs | 1927 |
| NPVB113 | 814856 | 170652 | 1776 | 235 | d | 1928 | 2 | gr | 1927 |
| NPVB317 | 814603 | 170916 | 1771 | 240 | d | 1928 | 2 | gr | 1927 |
| NPVB328 | 814593 | 170925 | 1768 | 243 | c | 1928 | 1 | gs | 1927 |
| NPVB336 | 814588 | 170939 | 1758 | 253 | c | 1928 | 1 | gr | 1927 |
| NPVB413 | 814706 | 170812 | 1786 | 226 | c1 | 1928 | 1 | gr | 1927 |
| NPVB311 | 814610 | 170898 | 1756 | 255 | d | 1929 | 2 | gr+cw | 1928 |
| NPVB705 | 814446 | 170997 | 1850 | 162 | d | 1929 | 1 | gr | 1928 |
| NPVB111 | 814848 | 170644 | 1880 | 131 | d1/d2/c2 | 1929 | 2 | gr | 1928 |
| NPVB304 | 814627 | 170866 | 1842 | 169 | d/c | 1929 | 3 | cw+gr | 1928 |
| NPVB333 | 814582 | 170941 | 1759 | 252 | d1 | 1929 | 1 | gr | 1928 |
| NPVB601 | 814839 | 170661 | 1878 | 134 | d/b | 1929 | 2 | gr | 1928 |
| NPVB704 | 814452 | 170994 | 1851 | 161 | d/c | 1929 | 2 | gr | 1928 |
| NPVB708 | 814440 | 171032 | 1931 | 81 | d | 1930 | 4 | i | 1930 |
| NPVB104 | 814827 | 170622 | 1719 | 292 | a2 | 1930 | 4 | i | 1930 |
| NPVB117 | 814833 | 170656 | 1754 | 257 | d2/d | 1930 | 2 | gr | 1930 |
| NPVB335 | 814586 | 170945 | 1750 | 261 | c | 1930 | 2 | gr | 1930 |
| NPVB106 | 814832 | 170634 | 1749 | 262 | d/c | 1931 | 2 | gr | 1930 |
| NPVB108 | 814844 | 170636 | 1818 | 193 | b | 1931 | 2 | gr | 1930 |
| NPVB109 | 814832 | 170640 | 1744 | 267 | c1 | 1931 | 1 | gr | 1930 |
| NPVB212 | 814745 | 170774 | 1745 | 266 | bc1 | 1931 | 1 | gr | 1930 |
| NPVB334 | 814580 | 170947 | 1761 | 250 | d2 | 1931 | 2 | gr (+cw) | 1930 |
| NPVB706 | 814446 | 171005 | 1813 | 199 | c | 1931 | 2 | gr | 1930 |
| NPVB116 | 814843 | 170641 | 1748 | 263 | c | 1932 | 1 | gr | 1930 |
| NPVB602 | 814820 | 170672 | 1747 | 265 | d | 1932 | 2 | gr+cw | 1930 |
| NPVB504 | 814557 | 170876 | 1923 | 89 | a/b | 1935 | 2 | gr | 1935 |
| NPVB516 | 814524 | 170932 | 1929 | 83 | c1+c2/d | 1935 | 4 | i+gs/ cw | 1935 |
| NPVB713 | 814451 | 171066 | 1907 | 105 | d | 1935 | 1 | gr | 1935 |
| NPVB107 | 814841 | 170633 | 1742 | 269 | c | 1936 | 3 | gr | 1935 |
| NPVB114 | 814856 | 170649 | 1922 | 89 | d/c | 1944 | 4 | i | 1944 |
| NPVB311 | 814610 | 170898 | 1756 | 255 | b | 1944 | 2 | gr | 1944 |
| NPVB316 | 814596 | 170911 | 1760 | 251 | c | 1944 | 1 | gr | 1944 |
| NPVB229 | 814682 | 170796 | 1781 | 230 | d | 1945 | 3 | gr+cw | 1944 |
| NPVB312 | 814602 | 170890 | 1765 | 246 | d/c | 1945 | 3 | gr+cw | 1944 |
| NPVB335 | 814586 | 170945 | 1750 | 261 | c | 1945 | 2 | gr | 1944 |
| NPVB417 | 814674 | 170854 | 1807 | 205 | d | 1945 | 2 | gr | 1944 |
| NPVB511 | 814561 | 170918 | 1931 | 81 | d/c | 1945 | 1 | gr | 1944 |
| NPVB103 | 814821 | 170620 | 1923 | 88 | d | 1947 | 1 | cw | 1947 |

| | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|------|-----|---------|------|---|------------|------|
| NPVB231 | 814680 | 170807 | 1761 | 250 | d | 1947 | 3 | gr + cw | 1947 |
| NPVB308 | 814601 | 170869 | 1774 | 237 | d | 1947 | 3 | gr+cw | 1947 |
| NPVB410 | 814659 | 170767 | 1937 | 75 | a/d | 1947 | 3 | gr + cw? | 1947 |
| NPVB307 | 814611 | 170879 | 1784 | 227 | d | 1948 | 2 | gr | 1947 |
| NPVB504 | 814557 | 170876 | 1923 | 89 | c/d/a/b | 1948 | 2 | gs/ cw(1) | 1947 |
| NPVB111 | 814848 | 170644 | 1880 | 131 | c2 | 1951 | 1 | gs | 1951 |
| NPVB115 | 814854 | 170645 | 1893 | 118 | d/c | 1951 | 3 | gr | 1951 |
| NPVB117 | 814833 | 170656 | 1754 | 257 | d | 1951 | 1 | gs | 1951 |
| NPVB501 | 814575 | 170904 | 1786 | 226 | c | 1951 | 2 | gs | 1951 |
| NPVB508 | 814548 | 170912 | 1934 | 78 | d/c | 1951 | 3 | gs /cw, gs | 1951 |
| NPVB511 | 814561 | 170918 | 1931 | 81 | d/c | 1951 | 2 | cw/gs | 1951 |
| NPVB512 | 814556 | 170917 | 1921 | 91 | d/c | 1951 | 2 | cw/gs | 1951 |
| NPVB513 | 814551 | 170918 | 1928 | 84 | d/c | 1951 | 3 | cw/gs | 1951 |
| NPVB514 | 814544 | 170930 | 1937 | 75 | d/(c) | 1951 | 2 | cw/(gs) | 1951 |
| NPVB516 | 814524 | 170932 | 1929 | 83 | d | 1951 | 2 | cw | 1951 |
| NPVB517 | 814517 | 170940 | 1944 | 68 | d | 1951 | 1 | cw | 1951 |
| NPVB518 | 814518 | 170953 | 1937 | 75 | d/c | 1951 | 2 | cw/gs | 1951 |
| NPVB212 | 814745 | 170774 | 1745 | 266 | d1 | 1952 | 1 | gr | 1951 |
| NPVB413 | 814706 | 170812 | 1786 | 226 | c2 | 1952 | 1 | gs | 1951 |
| NPVB503 | 814571 | 170896 | 1943 | 69 | d | 1952 | 1 | gr | 1951 |
| NPVB504 | 814557 | 170876 | 1923 | 89 | c/d/a/b | 1952 | 3 | gs | 1951 |
| NPVB416 | 814660 | 170845 | 1829 | 183 | d | 1954 | 2 | gr | 1954 |
| NPVB416 | 814660 | 170845 | 1829 | 183 | c2 | 1954 | 4 | i | 1954 |
| NPVB713 | 814451 | 171066 | 1907 | 105 | d | 1954 | 2 | gs | 1954 |
| NPVB711 | 814450 | 171046 | 1893 | 119 | c/d | 1955 | 3 | gs | 1954 |
| NPVB238 | 814671 | 170844 | 1735 | 276 | c | 1955 | 3 | gs | 1954 |
| NPVB418 | 814664 | 170860 | 1785 | 227 | d | 1955 | 1 | gs | 1954 |
| NPVB516 | 814524 | 170932 | 1929 | 83 | c2/c1 | 1955 | 2 | gs | 1954 |
| NPVB518 | 814518 | 170953 | 1937 | 75 | d/c | 1955 | 2 | gs | 1954 |
| NPVB310 | 814586 | 170873 | 1809 | 202 | d | 1957 | 2 | gt | 1957 |
| NPVB410 | 814659 | 170767 | 1937 | 75 | a | 1957 | 2 | gs | 1957 |
| NPVB901 | 814598 | 170913 | 1755 | 256 | a | 1957 | 2 | gs | 1957 |
| NPVB237 | 814668 | 170833 | 1801 | 210 | d | 1958 | 3 | gr | 1957 |
| NPVB503 | 814571 | 170896 | 1943 | 69 | c | 1958 | 2 | gr | 1957 |
| NPVB508 | 814548 | 170912 | 1934 | 78 | d | 1958 | 2 | gr | 1957 |
| NPVB212 | 814745 | 170774 | 1745 | 266 | bc2 | 1959 | 2 | gs | 1957 |
| NPVB241 | 814656 | 170855 | 1785 | 226 | d | 1959 | 3 | gr+cw | 1957 |
| NPVB714 | 814440 | 171076 | 1900 | 112 | a | 1959 | 1 | (cw) | 1957 |
| NPVB101 | 814825 | 170614 | 1741 | 270 | d | 1960 | 2 | gs | 1957 |
| NPVB515 | 814539 | 170919 | 1950 | 62 | d | 1960 | 1 | gs | 1957 |
| NPVB504 | 814557 | 170876 | 1923 | 89 | c/d | 1963 | 2 | gr | 1963 |
| NPVB510 | 814567 | 170923 | 1939 | 73 | c | 1963 | 2 | gr | 1963 |
| NPVB602 | 814820 | 170672 | 1747 | 265 | c1/c2 | 1963 | 1 | gr | 1963 |
| NPVB901 | 814598 | 170913 | 1755 | 256 | a | 1963 | 2 | gr | 1963 |
| NPVB304 | 814627 | 170866 | 1842 | 169 | d | 1964 | 2 | gr+cw | 1963 |
| NPVB329 | 814587 | 170933 | 1764 | 247 | d | 1964 | 1 | gr | 1963 |
| NPVB501 | 814575 | 170904 | 1786 | 226 | c | 1964 | 2 | gr | 1963 |

| | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|------|-----|---------|--------|---|---------------------|------|
| NPVB704 | 814452 | 170994 | 1851 | 161 | c | 1964 | 2 | gr | 1963 |
| NPVB713 | 814451 | 171066 | 1907 | 105 | d/c | 1964 | 3 | gr | 1963 |
| NPVB323 | 814585 | 170915 | 1778 | 233 | d | 1965 | 2 | gs | 1963 |
| NPVB412 | 814698 | 170808 | 1836 | 176 | c | 1965 | 2 | gr | 1963 |
| NPVB114 | 814856 | 170649 | 1922 | 89 | d/c | ?1967? | 4 | i | 1967 |
| NPVB114 | 814856 | 170649 | 1922 | 89 | d/c +a | 1967 | 2 | cw/ gr | 1967 |
| NPVB207 | 814750 | 170742 | 1829 | 182 | d/cb | 1967 | 1 | gr | 1967 |
| NPVB236 | 814670 | 170826 | 1760 | 251 | d | 1967 | 2 | gs | 1967 |
| NPVB714 | 814440 | 171076 | 1900 | 112 | a | 1967 | 3 | (cw) | 1967 |
| NPVB901 | 814598 | 170913 | 1755 | 256 | d | 1967 | 2 | gs | 1967 |
| NPVB224 | 814701 | 170779 | 1756 | 255 | d | 1977 | 3 | gr + cw | 1977 |
| NPVB404 | 814720 | 170736 | 1916 | 96 | d | 1977 | 3 | cw + gr | 1977 |
| NPVB603 | 814829 | 170678 | 1859 | 153 | c | 1977 | 1 | gr | 1977 |
| NPVB311 | 814610 | 170898 | 1756 | 255 | d | 1978 | 2 | gs | 1977 |
| NPVB202 | 814762 | 170741 | 1749 | 262 | d2 | 1978 | 1 | gr | 1977 |
| NPVB410 | 814659 | 170767 | 1937 | 75 | a/b/d | 1979 | 3 | gs | 1977 |
| NPVB315 | 814599 | 170908 | 1768 | 243 | d | 1982 | 2 | gr | 1982 |
| NPVB222 | 814762 | 170760 | 1744 | 267 | d | 1982 | 3 | gr | 1982 |
| NPVB319 | 814612 | 170904 | 1763 | 248 | d | 1982 | 1 | gr | 1982 |
| NPVB322 | 814592 | 170905 | 1760 | 251 | d/c | 1982 | 1 | gr | 1982 |
| NPVB329 | 814587 | 170933 | 1764 | 247 | d/c | 1982 | 2 | gr | 1982 |
| NPVB339 | 814576 | 170956 | 1741 | 270 | c | 1982 | 1 | gr | 1982 |
| NPVB413 | 814706 | 170812 | 1786 | 226 | c2/c1/d | 1982 | 2 | gr | 1982 |
| NPVB418 | 814664 | 170860 | 1785 | 227 | c | 1982 | 2 | gr + cw | 1982 |
| NPVB709 | 814444 | 171039 | 1913 | 99 | d | 1982 | 3 | gr | 1982 |
| NPVB713 | 814451 | 171066 | 1907 | 105 | c | 1982 | 2 | gr | 1982 |
| NPVB231 | 814680 | 170807 | 1761 | 250 | d | 1993 | 1 | gs | 1993 |
| NPVB410 | 814659 | 170767 | 1937 | 75 | a/d | 1993 | 3 | gs/gr +cw | 1993 |
| NPVB506 | 814566 | 170907 | 1959 | 53 | d | 1993 | 1 | gr | 1993 |
| NPVB510 | 814567 | 170923 | 1939 | 73 | c | 1993 | 2 | cw? | 1993 |
| NPVB610 | 814778 | 170726 | 1733 | 279 | c | 1993 | 1 | gr | 1993 |
| NPVB707 | 814440 | 171011 | 1855 | 157 | d | 1993 | 2 | cw | 1993 |
| NPVB713 | 814451 | 171066 | 1907 | 105 | d/c | 1993 | 2 | gr (+cw?)/gs | 1993 |
| NPVB307 | 814611 | 170879 | 1784 | 227 | d | 1995 | 2 | gs | 1995 |
| NPVB410 | 814659 | 170767 | 1937 | 75 | d | 1995 | 3 | gs | 1995 |
| NPVB503 | 814571 | 170896 | 1943 | 69 | d | 1995 | 2 | gr | 1995 |
| NPVB505 | 814571 | 170909 | 1840 | 172 | d | 1995 | 1 | gr | 1995 |
| NPVB507 | 814551 | 170910 | 1958 | 54 | d | 1995 | 2 | gr + cw ab 96/97 | 1995 |
| NPVB509 | 814541 | 170909 | 1959 | 53 | d/c | 1995 | 2 | cw/gr | 1995 |
| NPVB403 | 814727 | 170731 | 1927 | 85 | ac/b, d | 1996 | 4 | i + gr | 1996 |
| NPVB404 | 814720 | 170736 | 1916 | 96 | d | 1996 | 2 | cw + gr | 1996 |
| NPVB405 | 814721 | 170735 | 1956 | 56 | b/d | 1996 | 4 | i/gr | 1996 |
| NPVB409 | 814705 | 170752 | 1984 | 28 | b | 1996 | 4 | i | 1996 |
| NPVB515 | 814539 | 170919 | 1950 | 62 | d | 1996 | 2 | gr | 1996 |
| NPVB516 | 814524 | 170932 | 1929 | 83 | d | 1996 | 1 | gr | 1996 |
| NPVB412 | 814698 | 170808 | 1836 | 176 | c | 1997 | 2 | gr | 1996 |

| | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|------|-----|---------|------|---|----------------|------|
| NPVB505 | 814571 | 170909 | 1840 | 172 | c | 1997 | 3 | gr | 1996 |
| NPVB513 | 814551 | 170918 | 1928 | 84 | d/c | 1997 | 2 | gr | 1996 |
| NPVB514 | 814544 | 170930 | 1937 | 75 | d | 1997 | 1 | gr | 1996 |
| NPVB608 | 814805 | 170721 | 1772 | 240 | c | 1997 | 1 | gr | 1996 |
| NPVB112 | 814852 | 170647 | 1881 | 130 | a | 1998 | 4 | i | 1998 |
| NPVB102 | 814838 | 170618 | 1954 | 57 | c/d,a | 1998 | 4 | i,cw | 1998 |
| NPVB104 | 814827 | 170622 | 1719 | 292 | a2/(a1) | 1998 | 4 | i | 1998 |
| NPVB107 | 814841 | 170633 | 1742 | 269 | cb1 | 1998 | 2 | gs und dann gr | 1998 |
| NPVB107 | 814841 | 170633 | 1742 | 269 | cb2 | 1998 | 4 | i | 1998 |
| NPVB107 | 814841 | 170633 | 1742 | 269 | c | 1998 | 4 | i | 1998 |
| NPVB111 | 814848 | 170644 | 1880 | 131 | c2 | 1998 | 3 | gr | 1998 |
| NPVB115 | 814854 | 170645 | 1893 | 118 | d2/c | 1998 | 3 | gr | 1998 |
| NPVB308 | 814601 | 170869 | 1774 | 237 | d/c | 1998 | 3 | gr+cw | 1998 |
| NPVB309 | 814589 | 170869 | 1827 | 184 | d1/d2 | 1998 | 3 | gr | 1998 |
| NPVB322 | 814592 | 170905 | 1760 | 251 | d/c | 1998 | 2 | gr | 1998 |
| NPVB326 | 814582 | 170927 | 1748 | 263 | c/d1/d2 | 1998 | 2 | gr | 1998 |
| NPVB501 | 814575 | 170904 | 1786 | 226 | c | 1998 | 3 | gr | 1998 |
| NPVB506 | 814566 | 170907 | 1959 | 53 | d | 1998 | 1 | gr | 1998 |
| NPVB510 | 814567 | 170923 | 1939 | 73 | d | 1998 | 1 | cw | 1998 |
| NPVB511 | 814561 | 170918 | 1931 | 81 | d/c | 1998 | 3 | gr + cw | 1998 |
| NPVB512 | 814556 | 170917 | 1921 | 91 | d/c | 1998 | 3 | gr | 1998 |
| NPVB518 | 814518 | 170953 | 1937 | 75 | d/c | 1998 | 2 | gr+cw | 1998 |
| NPVB104 | 814827 | 170622 | 1719 | 292 | c | 1999 | 3 | gr | 1998 |
| NPVB113 | 814856 | 170652 | 1776 | 235 | c | 1999 | 2 | gr | 1998 |
| NPVB309 | 814589 | 170869 | 1827 | 184 | c | 1999 | 3 | gs | 1998 |
| NPVB333 | 814582 | 170941 | 1759 | 252 | c/d1 | 1999 | 2 | gr | 1998 |
| NPVB503 | 814571 | 170896 | 1943 | 69 | d/c | 1999 | 3 | gr | 1998 |
| NPVB713 | 814451 | 171066 | 1907 | 105 | d | 1999 | 3 | gs | 1998 |
| NPVB108 | 814844 | 170636 | 1818 | 193 | d(b) | 2000 | 3 | gr | 1998 |
| NPVB313 | 814581 | 170887 | 1791 | 220 | d | 2000 | 2 | gr | 1998 |
| NPVB517 | 814517 | 170940 | 1944 | 68 | d | 2000 | 1 | gs | 1998 |
| NPVB608 | 814805 | 170721 | 1772 | 240 | d | 2000 | 2 | gs | 1998 |
| NPVB112 | 814852 | 170647 | 1881 | 130 | d | 2003 | 1 | gr | 2003 |
| NPVB222 | 814762 | 170760 | 1744 | 267 | b | 2003 | 3 | gr | 2003 |
| NPVB507 | 814551 | 170910 | 1958 | 54 | d/c | 2003 | 3 | gr | 2003 |
| NPVB508 | 814548 | 170912 | 1934 | 78 | c | 2003 | 3 | gs | 2003 |
| NPVB503 | 814571 | 170896 | 1943 | 69 | c | 2004 | 3 | gr | 2003 |
| NPVB510 | 814567 | 170923 | 1939 | 73 | c | 2004 | 1 | gr | 2003 |
| NPVB513 | 814551 | 170918 | 1928 | 84 | c | 2004 | 1 | gr | 2003 |
| NPVB515 | 814539 | 170919 | 1950 | 62 | d | 2004 | 3 | gr | 2003 |
| NPVB311 | 814610 | 170898 | 1756 | 255 | b | 2006 | 2 | gr | 2006 |
| NPVB705 | 814446 | 170997 | 1850 | 162 | d | 2006 | 1 | gr | 2006 |
| NPVB233 | 814685 | 170824 | 1724 | 287 | c1/c2 | 2006 | 2 | gr | 2006 |
| NPVB234 | 814678 | 170817 | 1757 | 254 | d | 2006 | 1 | gr | 2006 |
| NPVB506 | 814566 | 170907 | 1959 | 53 | d | 2006 | 1 | gr | 2006 |
| NPVB701 | 814455 | 170967 | 1970 | 42 | d | 2006 | 3 | cw | 2006 |
| NPVB706 | 814446 | 171005 | 1813 | 199 | d | 2006 | 2 | gr | 2006 |

| | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|------|-----|-------|------|---|----|------|
| NPVB709 | 814444 | 171039 | 1913 | 99 | d | 2006 | 2 | gr | 2006 |
| NPVB101 | 814825 | 170614 | 1741 | 270 | a | 2007 | 3 | gr | 2006 |
| NPVB103 | 814821 | 170620 | 1923 | 88 | a1/a2 | 2007 | 3 | gs | 2006 |
| NPVB307 | 814611 | 170879 | 1784 | 227 | c | 2007 | 3 | gr | 2006 |
| NPVB504 | 814557 | 170876 | 1923 | 89 | c/a/b | 2007 | 3 | gs | 2006 |
| NPVB335 | 814586 | 170945 | 1750 | 261 | c | 2008 | 1 | gs | 2006 |
| NPVB410 | 814659 | 170767 | 1937 | 75 | a | 2008 | 3 | gs | 2006 |
| NPVB502 | 814572 | 170895 | 1801 | 211 | d | 2008 | 3 | gr | 2006 |

Tabelle 8: Liste aller analysierten Jahre.

| Jahr | Ereignis | mögliches Ereignis | Kein Ereignis | Wit | It | Getis | Moran |
|------|----------|--------------------|---------------|----------|----------|--------------|-----------|
| 1767 | | | x | 0.202532 | 2.531646 | high cluster | clustered |
| 1789 | x | | | 6.653465 | 15.84158 | high cluster | clustered |
| 1801 | | | x | 0.923077 | 5.769231 | random | random |
| 1804 | | | x | 0.428571 | 2.857143 | random | random |
| 1813 | x | | | 6.165138 | 14.6789 | high cluster | random |
| 1821 | | x | | 2.189189 | 8.108108 | random | random |
| 1831 | | x | | 1.04386 | 6.140351 | random | random |
| 1834 | | x | | 1.267241 | 6.034483 | random | random |
| 1839 | x | | | 7.172414 | 13.7931 | high cluster | clustered |
| 1845 | | | x | 0.720339 | 4.237288 | random | random |
| 1851 | x | | | 2.133333 | 6.666667 | high cluster | clustered |
| 1859 | x | | | 4.131148 | 9.836066 | high cluster | clustered |
| 1862 | | | x | 0.97561 | 4.878049 | random | random |
| 1865 | | x | | 0.774194 | 4.83871 | random | random |
| 1868 | x | | | 4.032 | 11.2 | high cluster | clustered |
| 1874 | x | | | 3.848 | 10.4 | random | random |
| 1880 | | x | | 0.748031 | 3.937008 | random | random |
| 1888 | x | | | 1.883721 | 6.976744 | random | random |
| 1897 | | | x | 0.340909 | 2.272727 | random | random |
| 1900 | | | x | 0.150376 | 1.503759 | high cluster | clustered |
| 1910 | | | x | 0.411765 | 2.9412 | random | random |
| 1918 | x | | | 4 | 10 | random | random |
| 1920 | | x | | 2.4 | 8.5714 | random | random |
| 1927 | | x | | 0.614865 | 4.7297 | high cluster | random |
| 1928 | | x | | 0.898649 | 4.7297 | random | random |
| 1930 | x | | | 2.75 | 7.432432 | high cluster | clustered |
| 1935 | | | x | 0.426667 | 2.666667 | random | random |
| 1944 | | x | | 1.445161 | 5.1613 | random | random |

| | | | | | | | |
|-------|--------|----|---|----------|----------|--------------|-----------|
| 1947 | | x | | 0.846154 | 3.846154 | random | random |
| 1951 | Lawine | | | 4.484076 | 10.19108 | high cluster | clustered |
| 1954 | x | | | 1.196203 | 4.43038 | random | clustered |
| 1957 | x | | | 2.26875 | 6.875 | random | random |
| 1963 | x | | | 1.851852 | 6.17284 | random | random |
| 1967 | | x | | 0.58642 | 3.08642 | random | random |
| 1977 | | x | | 0.736196 | 3.680982 | random | random |
| 1982 | | x | | 1.717791 | 6.134969 | random | random |
| 1993 | | x | | 0.72561 | 4.268293 | random | random |
| 1995 | | x | | 0.658537 | 3.658537 | high cluster | clustered |
| 1996 | x | | | 2.75 | 6.707317 | high cluster | clustered |
| 1998 | x | | | 14.92683 | 14.63415 | high cluster | clustered |
| 2003 | x | | | 1.365854 | 4.878049 | high cluster | clustered |
| 2006 | x | | | 4.664634 | 9.146341 | random | random |
| Total | 17 | 15 | 9 | | | | |

Tabelle 9: Korrigierte Alter der Bäume.

| Baum Nr. | X | Y | Fehlende JR | Entnahmehöhe [cm] | Alter gem. | Alter korrr. |
|----------|--------|--------|-------------|-------------------|------------|--------------|
| NPVB101 | 814825 | 170614 | 1 | 32 | 271 | 278 |
| NPVB102 | 814838 | 170618 | 0 | 0 | 58 | 58 |
| NPVB103 | 814821 | 170620 | 0 | 25 | 89 | 94 |
| NPVB104 | 814827 | 170622 | 18 | 30 | 278 | 302 |
| NPVB105 | 814830 | 170624 | 0 | 26 | 263 | 268 |
| NPVB106 | 814832 | 170634 | 4 | 55 | 263 | 278 |
| NPVB107 | 814841 | 170633 | 0 | 36 | 270 | 277 |
| NPVB108 | 814844 | 170636 | 70 | 43 | 194 | 273 |
| NPVB109 | 814832 | 170640 | 0 | 39 | 268 | 276 |
| NPVB110 | 814841 | 170636 | 0 | 65 | 270 | 283 |
| NPVB111 | 814848 | 170644 | 0 | 63 | 132 | 145 |
| NPVB112 | 814852 | 170647 | 0 | 47 | 131 | 140 |
| NPVB113 | 814856 | 170652 | 1 | 31 | 236 | 243 |
| NPVB114 | 814856 | 170649 | 0 | | 90 | 90 |
| NPVB115 | 814854 | 170645 | 0 | 21 | 119 | 123 |
| NPVB116 | 814843 | 170641 | 0 | 42 | 264 | 272 |
| NPVB117 | 814833 | 170656 | 0 | 35 | 258 | 265 |
| NPVB118 | 814830 | 170639 | 0 | 44 | 247 | 256 |
| NPVB201 | 814761 | 170746 | 0 | 39 | 273 | 281 |
| NPVB202 | 814762 | 170741 | 0 | 55 | 262 | 273 |
| NPVB203 | 814762 | 170731 | 8 | 20 | 250 | 262 |
| NPVB204 | 814762 | 170725 | 3 | 37 | 257 | 267 |
| NPVB205 | 814760 | 170715 | 0 | 54 | 123 | 134 |
| NPVB206 | 814758 | 170741 | 0 | 38 | 274 | 282 |
| NPVB207 | 814750 | 170742 | 0 | 49 | 182 | 192 |
| NPVB208 | 814754 | 170752 | 6 | 29 | 262 | 274 |
| NPVB209 | 814748 | 170756 | 0 | 44 | 266 | 275 |
| NPVB210 | 814749 | 170763 | 2 | 31 | 285 | 293 |
| NPVB211 | 814749 | 170772 | 0 | 32 | 272 | 278 |
| NPVB212 | 814745 | 170774 | 0 | 32 | 264 | 270 |
| NPVB213 | 814746 | 170784 | 0 | 34 | 244 | 251 |
| NPVB214 | 814737 | 170786 | 0 | 38 | 264 | 272 |
| NPVB215 | 814737 | 170791 | 0 | 32 | 267 | 273 |
| NPVB216 | 814734 | 170789 | 0 | 24 | 262 | 267 |
| NPVB217 | 814730 | 170797 | 0 | 34 | 251 | 258 |
| NPVB218 | 814730 | 170803 | 0 | 23 | 255 | 260 |

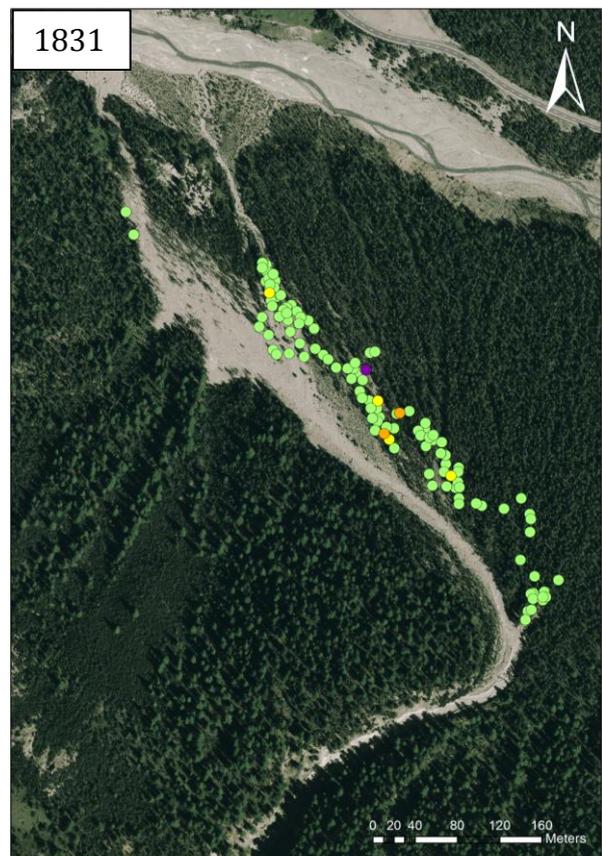
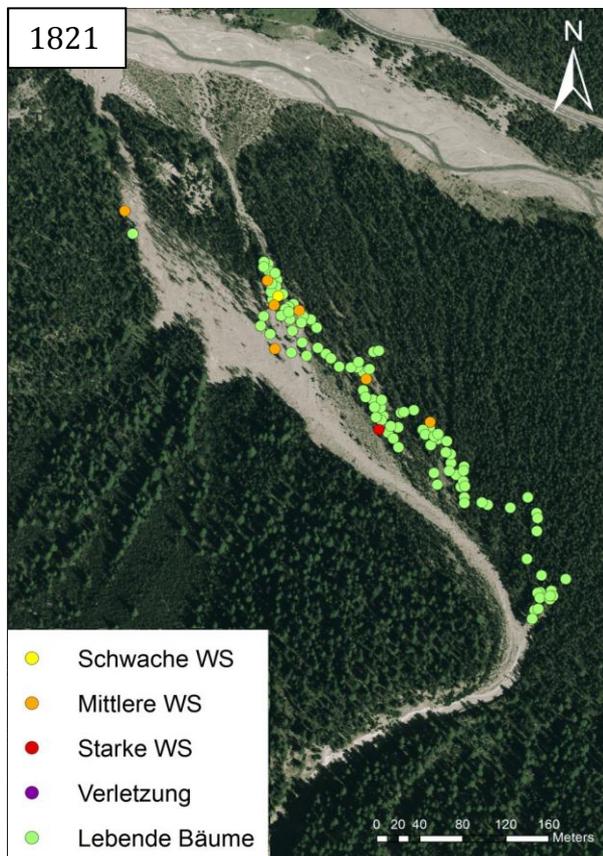
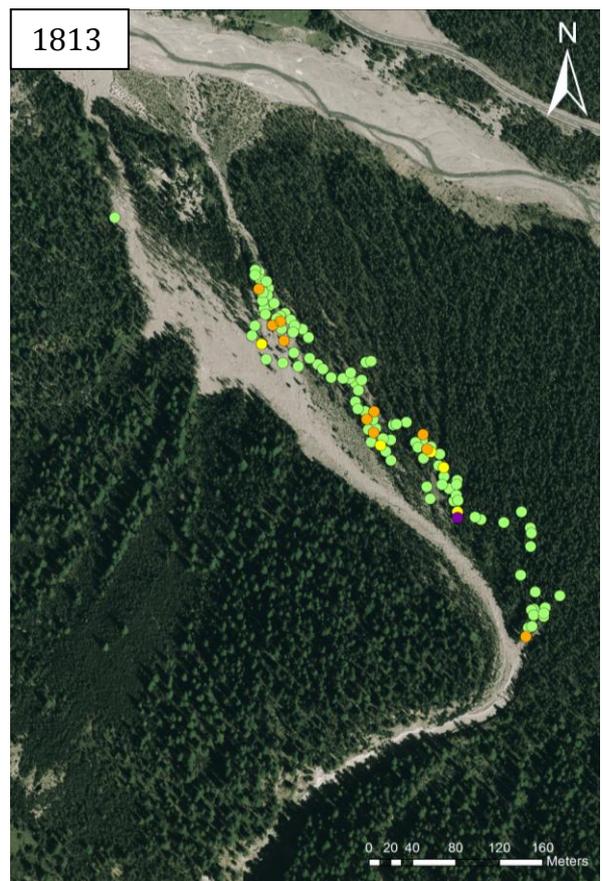
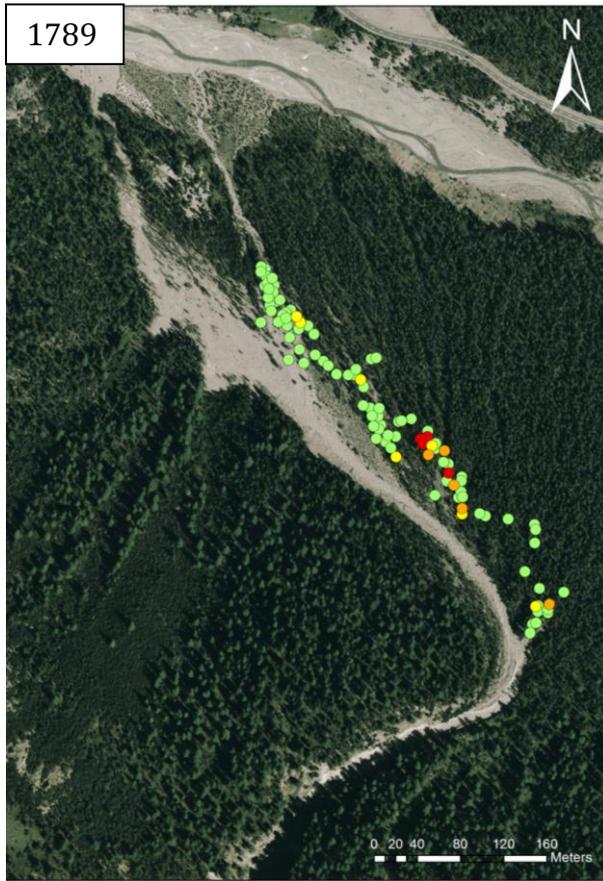
| | | | | | | |
|---------|--------|--------|---|------|-----|-----|
| NPVB219 | 814723 | 170795 | 0 | 26 | 247 | 252 |
| NPVB220 | 814726 | 170791 | 0 | 38.5 | 251 | 259 |
| NPVB221 | 814761 | 170756 | 2 | 37 | 253 | 262 |
| NPVB222 | 814762 | 170760 | 0 | 26 | 268 | 273 |
| NPVB223 | 814731 | 170780 | 0 | 24 | 263 | 268 |
| NPVB224 | 814701 | 170779 | 0 | 37 | 256 | 263 |
| NPVB225 | 814696 | 170787 | 0 | 33 | 228 | 235 |
| NPVB226 | 814691 | 170792 | 0 | 24 | 254 | 259 |
| NPVB227 | 814693 | 170799 | 0 | 40 | 264 | 272 |
| NPVB228 | 814685 | 170804 | 0 | 25 | 284 | 289 |
| NPVB229 | 814682 | 170796 | 0 | 29 | 231 | 237 |
| NPVB230 | 814687 | 170808 | 0 | 15 | 255 | 258 |
| NPVB231 | 814680 | 170807 | 0 | 30 | 251 | 257 |
| NPVB232 | 814684 | 170817 | 0 | 29 | 275 | 281 |
| NPVB233 | 814685 | 170824 | 0 | 23 | 288 | 293 |
| NPVB234 | 814678 | 170817 | 0 | 29 | 255 | 261 |
| NPVB235 | 814677 | 170824 | 0 | 25 | 252 | 257 |
| NPVB236 | 814670 | 170826 | 0 | 36 | 252 | 259 |
| NPVB237 | 814668 | 170833 | 0 | 24 | 211 | 216 |
| NPVB238 | 814671 | 170844 | 0 | 19 | 277 | 281 |
| NPVB239 | 814668 | 170851 | 0 | 32 | 264 | 270 |
| NPVB240 | 814662 | 170855 | 0 | 31 | 251 | 257 |
| NPVB241 | 814656 | 170855 | 2 | 27 | 227 | 234 |
| NPVB301 | 814646 | 170856 | 0 | 28 | 257 | 263 |
| NPVB302 | 814638 | 170864 | 3 | 36 | 243 | 253 |
| NPVB303 | 814633 | 170868 | 0 | 29 | 308 | 314 |
| NPVB304 | 814627 | 170866 | 0 | 33 | 170 | 177 |
| NPVB305 | 814626 | 170874 | 0 | 26 | 260 | 265 |
| NPVB306 | 814615 | 170866 | 0 | 32 | 223 | 229 |
| NPVB307 | 814611 | 170879 | 0 | 39 | 228 | 236 |
| NPVB308 | 814601 | 170869 | 0 | 23 | 241 | 246 |
| NPVB309 | 814589 | 170869 | 0 | 43 | 185 | 194 |
| NPVB310 | 814586 | 170873 | 0 | 35 | 203 | 210 |
| NPVB311 | 814610 | 170898 | 0 | 39 | 256 | 264 |
| NPVB312 | 814602 | 170890 | 0 | 26 | 247 | 252 |
| NPVB313 | 814581 | 170887 | 0 | 30 | 221 | 227 |
| NPVB314 | 814600 | 170901 | 0 | 40 | 242 | 250 |
| NPVB315 | 814599 | 170908 | 0 | 28 | 244 | 250 |

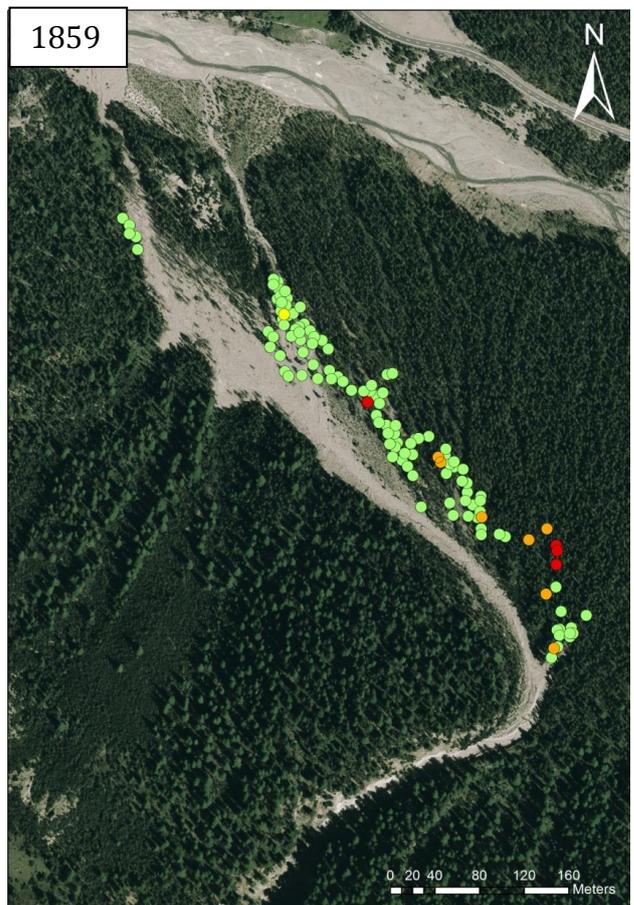
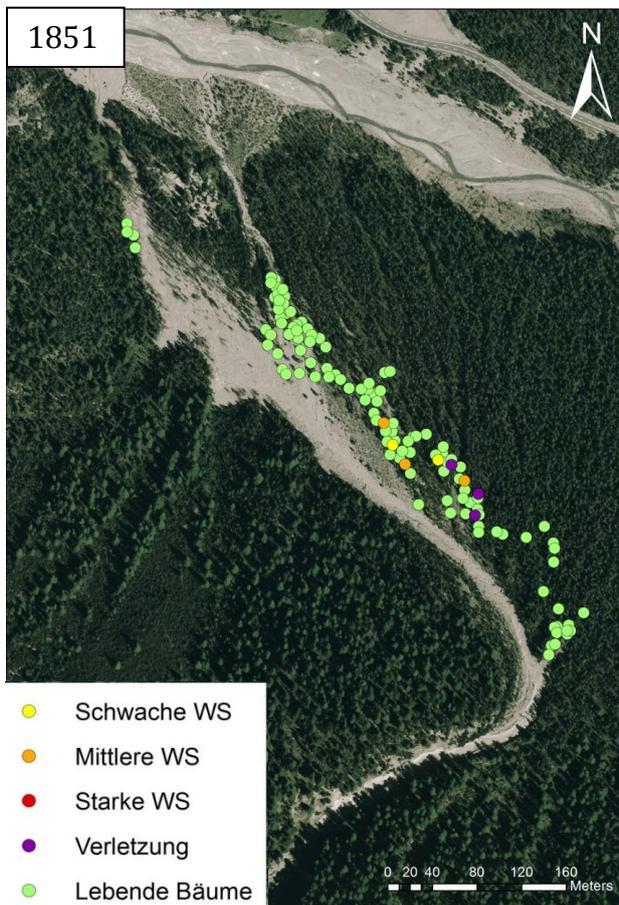
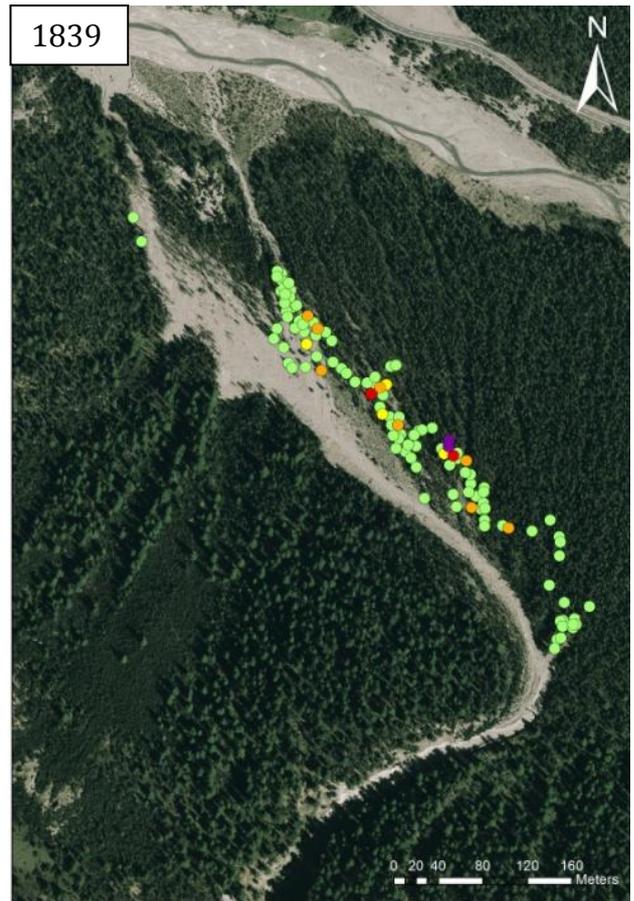
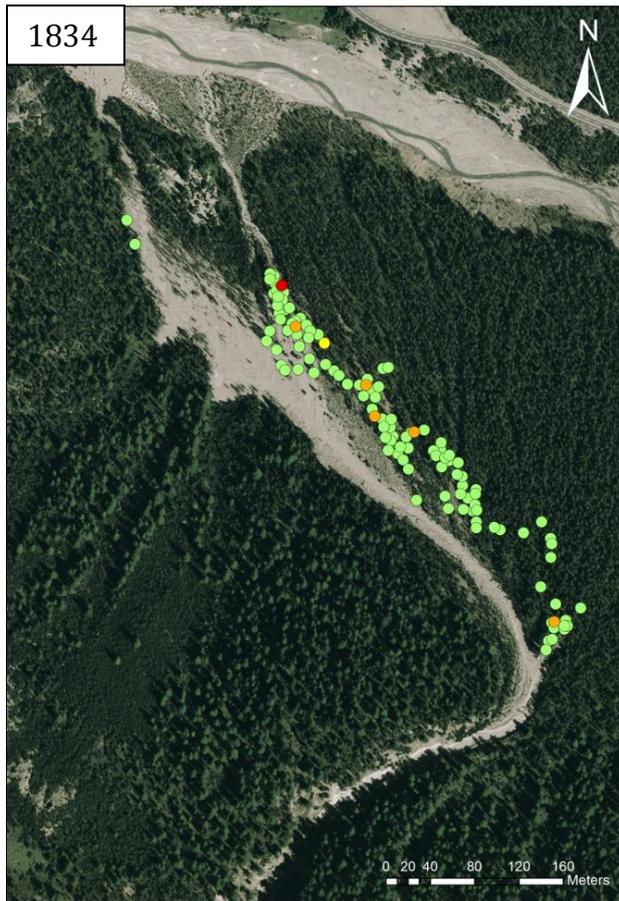
| | | | | | | |
|---------|--------|--------|----|------|-----|-----|
| NPVB316 | 814596 | 170911 | 0 | 24 | 252 | 257 |
| NPVB901 | 814598 | 170913 | 2 | 18.5 | 257 | 263 |
| NPVB317 | 814603 | 170916 | 4 | 32 | 241 | 251 |
| NPVB318 | 814608 | 170910 | 0 | 33 | 264 | 271 |
| NPVB319 | 814612 | 170904 | 0 | 27 | 248 | 253 |
| NPVB320 | 814619 | 170901 | 0 | 28.5 | 289 | 295 |
| NPVB321 | 814625 | 170893 | 2 | 27 | 255 | 262 |
| NPVB322 | 814592 | 170905 | 0 | 25 | 252 | 257 |
| NPVB323 | 814585 | 170915 | 6 | 50 | 234 | 250 |
| NPVB324 | 814584 | 170920 | 0 | 33 | 244 | 251 |
| NPVB325 | 814585 | 170924 | 0 | 24 | 263 | 268 |
| NPVB326 | 814582 | 170927 | 0 | 26 | 264 | 269 |
| NPVB327 | 814589 | 170923 | 0 | 27 | 251 | 256 |
| NPVB328 | 814593 | 170925 | 0 | 31 | 244 | 250 |
| NPVB329 | 814587 | 170933 | 0 | 25 | 248 | 253 |
| NPVB330 | 814583 | 170932 | 0 | 31 | 266 | 272 |
| NPVB331 | 814583 | 170935 | 0 | 27 | 232 | 237 |
| NPVB332 | 814579 | 170938 | 0 | 30 | 259 | 265 |
| NPVB333 | 814582 | 170941 | 0 | 22 | 253 | 257 |
| NPVB334 | 814580 | 170947 | 0 | 18 | 251 | 255 |
| NPVB335 | 814586 | 170945 | 2 | 47 | 262 | 273 |
| NPVB336 | 814588 | 170939 | 0 | 21 | 254 | 258 |
| NPVB337 | 814600 | 170931 | 3 | 31 | 171 | 180 |
| NPVB338 | 814579 | 170954 | 0 | 26 | 260 | 265 |
| NPVB339 | 814576 | 170956 | 0 | 26 | 269 | 274 |
| NPVB340 | 814575 | 170951 | 0 | 36 | 268 | 275 |
| NPVB401 | 814737 | 170743 | 8 | 15 | 242 | 253 |
| NPVB402 | 814738 | 170736 | 18 | 30 | 108 | 132 |
| NPVB403 | 814727 | 170731 | 9 | 40 | 86 | 103 |
| NPVB404 | 814720 | 170736 | 7 | 70 | 97 | 118 |
| NPVB405 | 814721 | 170735 | 16 | 20 | 57 | 77 |
| NPVB406 | 814712 | 170746 | 4 | 25 | 125 | 134 |
| NPVB407 | 814734 | 170754 | 6 | 30 | 209 | 221 |
| NPVB408 | 814708 | 170750 | 22 | 15 | 180 | 205 |
| NPVB409 | 814705 | 170752 | 38 | 50 | 29 | 77 |
| NPVB410 | 814659 | 170767 | 19 | 60 | 76 | 107 |
| NPVB411 | 814700 | 170798 | 2 | 20 | 263 | 269 |
| NPVB412 | 814698 | 170808 | 0 | 25 | 177 | 182 |

| | | | | | | |
|---------|--------|--------|----|----|-----|-----|
| NPVB413 | 814706 | 170812 | 6 | 20 | 227 | 237 |
| NPVB414 | 814715 | 170814 | 0 | 20 | 255 | 259 |
| NPVB415 | 814703 | 170812 | 0 | 10 | 278 | 280 |
| NPVB416 | 814660 | 170845 | 14 | 10 | 184 | 200 |
| NPVB417 | 814674 | 170854 | 6 | 55 | 206 | 223 |
| NPVB418 | 814664 | 170860 | 7 | 20 | 228 | 239 |
| NPVB419 | 814677 | 170870 | 4 | 40 | 229 | 241 |
| NPVB420 | 814682 | 170871 | 6 | 25 | 249 | 260 |
| NPVB501 | 814575 | 170904 | 10 | 20 | 227 | 241 |
| NPVB502 | 814572 | 170895 | 10 | 20 | 212 | 226 |
| NPVB503 | 814571 | 170896 | 24 | 15 | 70 | 97 |
| NPVB504 | 814557 | 170876 | 2 | 15 | 90 | 95 |
| NPVB505 | 814571 | 170909 | 21 | 15 | 173 | 197 |
| NPVB506 | 814566 | 170907 | 0 | 15 | 54 | 57 |
| NPVB507 | 814551 | 170910 | 0 | 15 | 55 | 58 |
| NPVB508 | 814548 | 170912 | 0 | 30 | 79 | 85 |
| NPVB509 | 814541 | 170909 | 0 | 20 | 54 | 58 |
| NPVB510 | 814567 | 170923 | 0 | 25 | 74 | 79 |
| NPVB511 | 814561 | 170918 | 0 | 20 | 82 | 86 |
| NPVB512 | 814556 | 170917 | 0 | 25 | 92 | 97 |
| NPVB513 | 814551 | 170918 | 0 | 20 | 85 | 89 |
| NPVB514 | 814544 | 170930 | 5 | 30 | 76 | 87 |
| NPVB515 | 814539 | 170919 | 0 | 15 | 63 | 66 |
| NPVB516 | 814524 | 170932 | 0 | 20 | 84 | 88 |
| NPVB517 | 814517 | 170940 | 0 | 20 | 69 | 73 |
| NPVB518 | 814518 | 170953 | 0 | 20 | 76 | 80 |
| NPVB601 | 814839 | 170661 | 0 | 5 | 135 | 136 |
| NPVB602 | 814820 | 170672 | 0 | 60 | 266 | 278 |
| NPVB603 | 814829 | 170678 | 2 | 20 | 154 | 160 |
| NPVB604 | 814829 | 170698 | 1 | 10 | 256 | 259 |
| NPVB605 | 814830 | 170711 | 8 | 20 | 255 | 267 |
| NPVB606 | 814829 | 170716 | 0 | 15 | 273 | 276 |
| NPVB607 | 814821 | 170731 | 4 | 15 | 205 | 212 |
| NPVB608 | 814805 | 170721 | 0 | 10 | 241 | 243 |
| NPVB609 | 814783 | 170723 | 3 | 15 | 251 | 257 |
| NPVB610 | 814778 | 170726 | 3 | 30 | 280 | 289 |
| NPVB701 | 814455 | 170967 | 0 | 25 | 43 | 48 |
| NPVB702 | 814457 | 170976 | 0 | 48 | 149 | 159 |

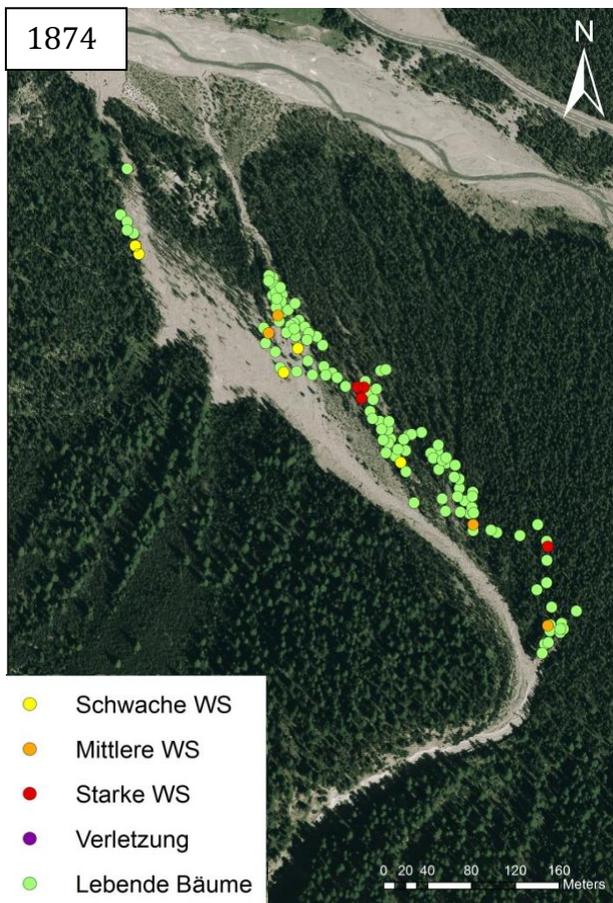
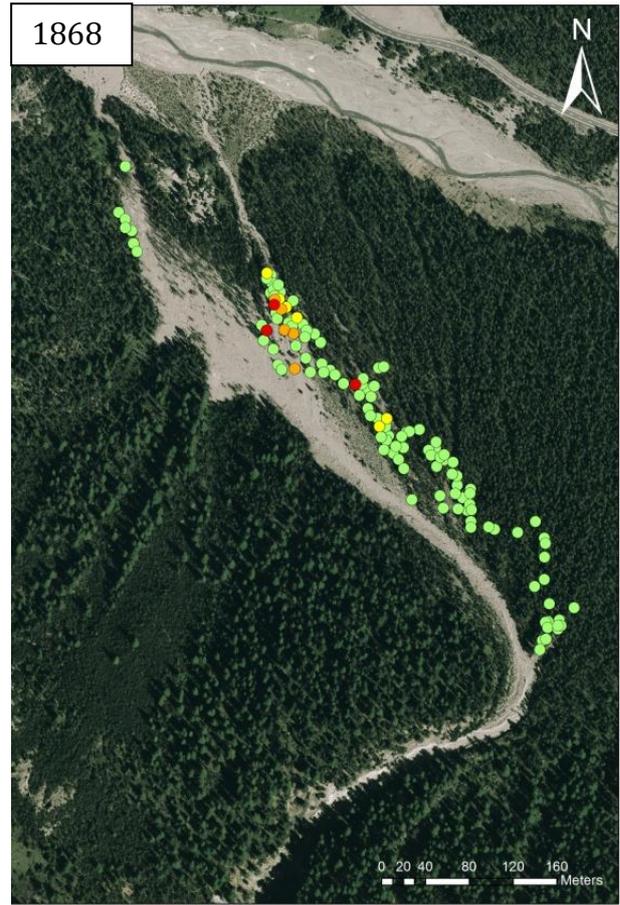
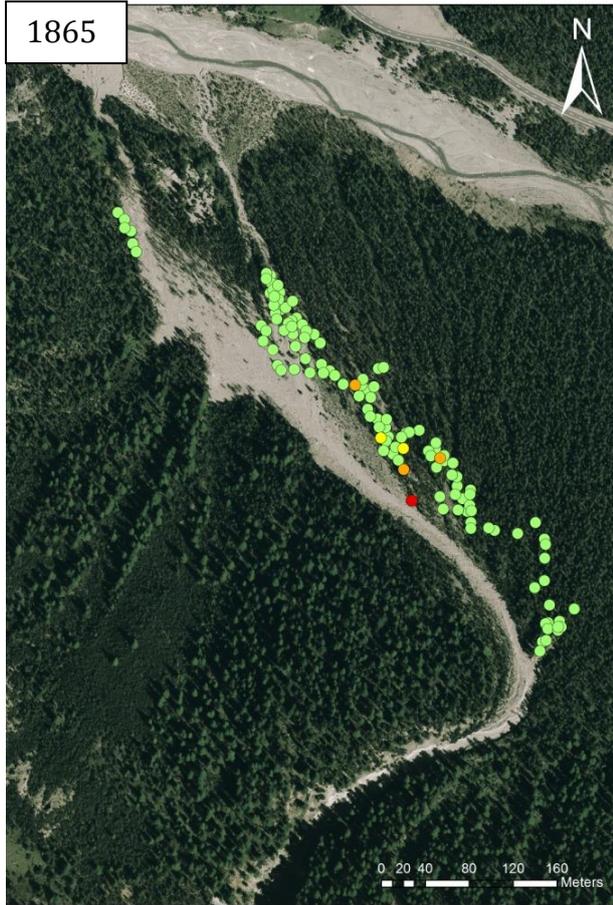
| | | | | | | |
|---------|--------|--------|----|----|-----|-----|
| NPVB703 | 814454 | 170983 | 0 | 35 | 195 | 202 |
| NPVB704 | 814452 | 170994 | 0 | 35 | 162 | 169 |
| NPVB705 | 814446 | 170997 | 16 | 25 | 163 | 184 |
| NPVB706 | 814446 | 171005 | 13 | 30 | 200 | 219 |
| NPVB707 | 814440 | 171011 | 3 | 25 | 158 | 166 |
| NPVB708 | 814440 | 171032 | 8 | 34 | 82 | 97 |
| NPVB709 | 814444 | 171039 | 13 | 35 | 100 | 120 |
| NPVB710 | 814448 | 171030 | 0 | 18 | 96 | 100 |
| NPVB711 | 814450 | 171046 | 1 | 20 | 120 | 125 |
| NPVB712 | 814446 | 171053 | 5 | 33 | 144 | 156 |
| NPVB713 | 814451 | 171066 | 6 | 30 | 107 | 119 |
| NPVB714 | 814440 | 171076 | 0 | 70 | 113 | 127 |
| NPVB715 | 814423 | 171095 | 0 | 30 | 107 | 113 |
| NPVB716 | 814418 | 171109 | 5 | 25 | 100 | 110 |

10.1 Luftbilder der Ereignisjahre

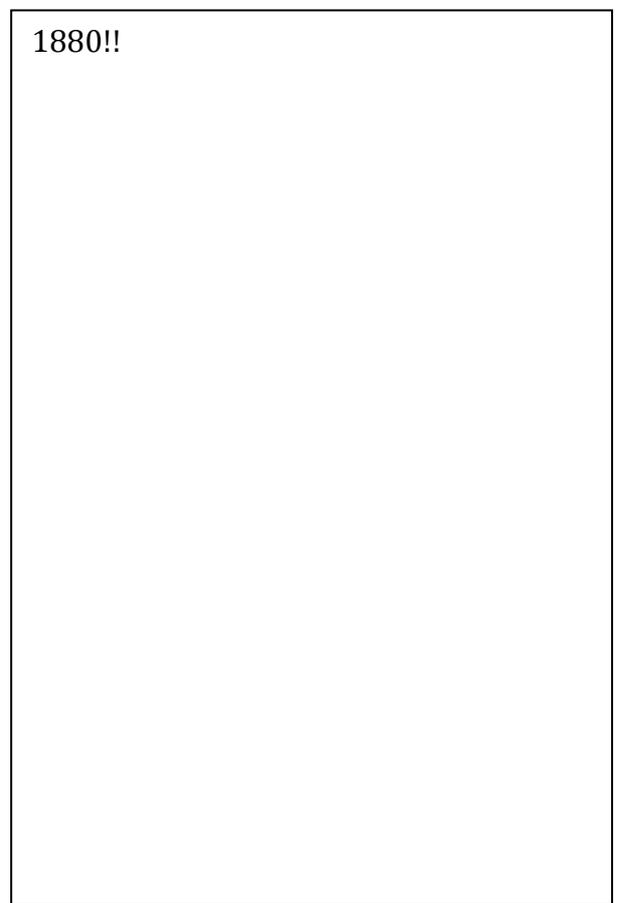


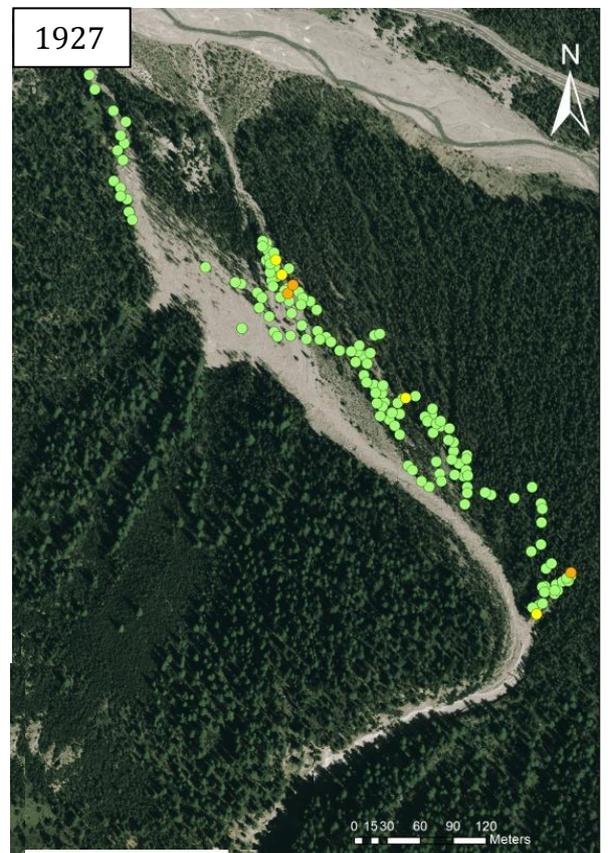
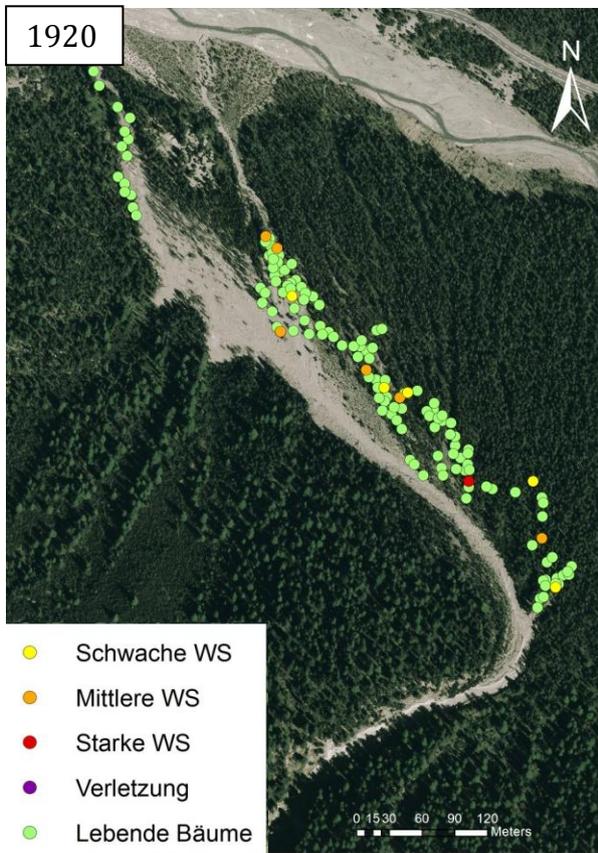
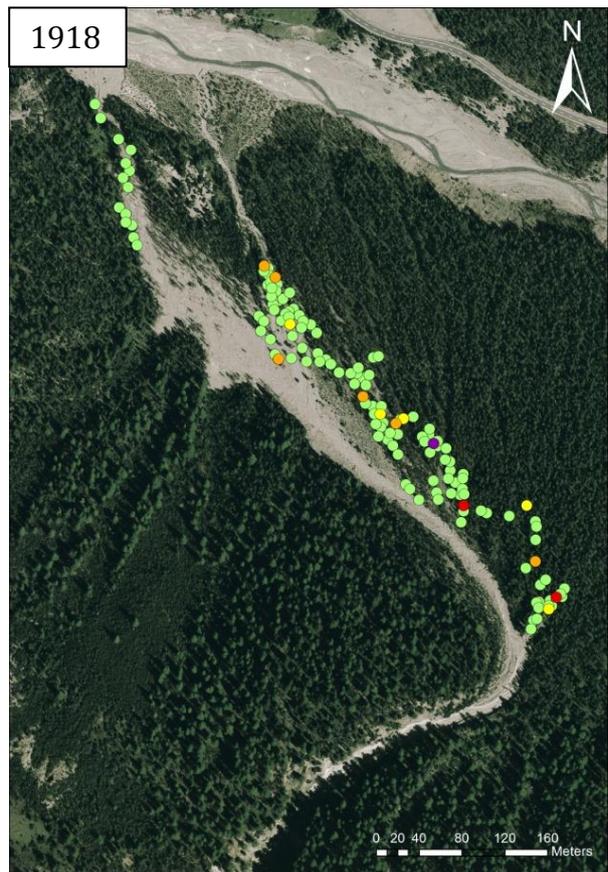
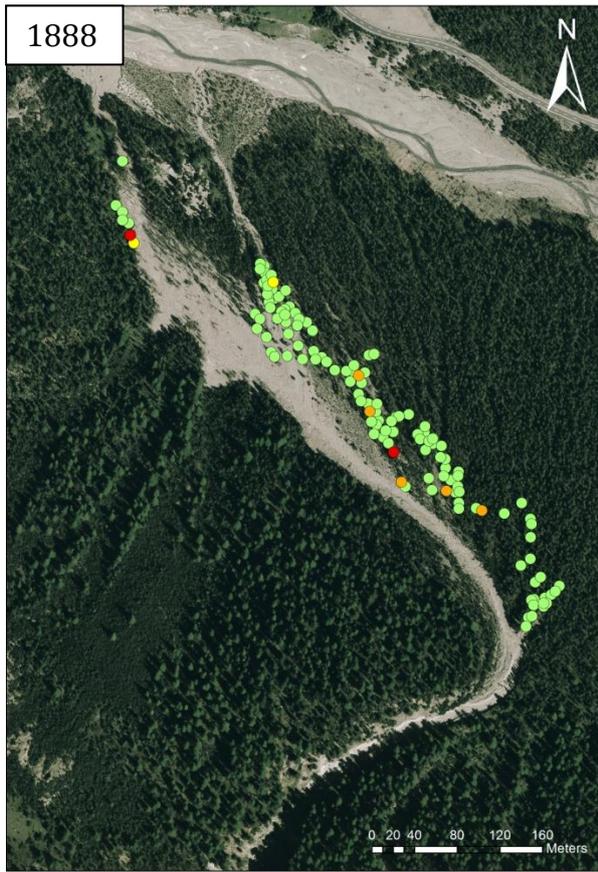


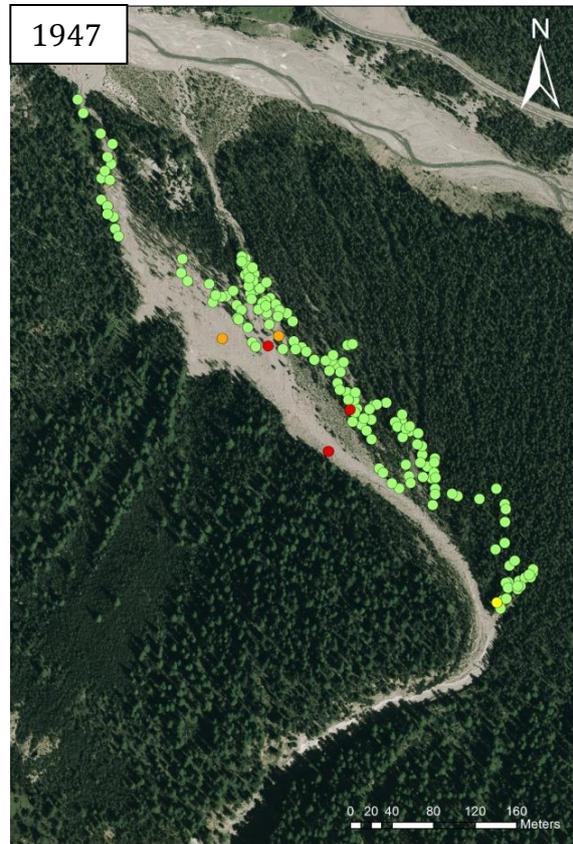
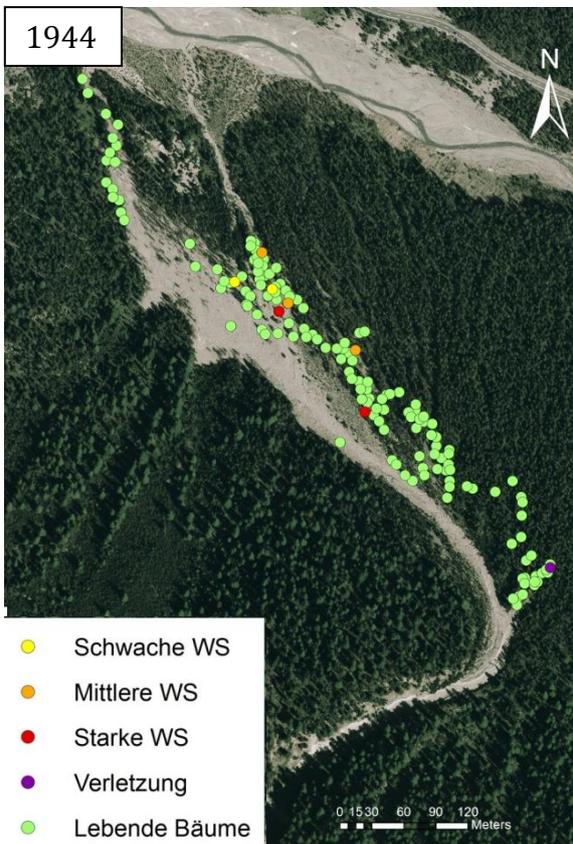
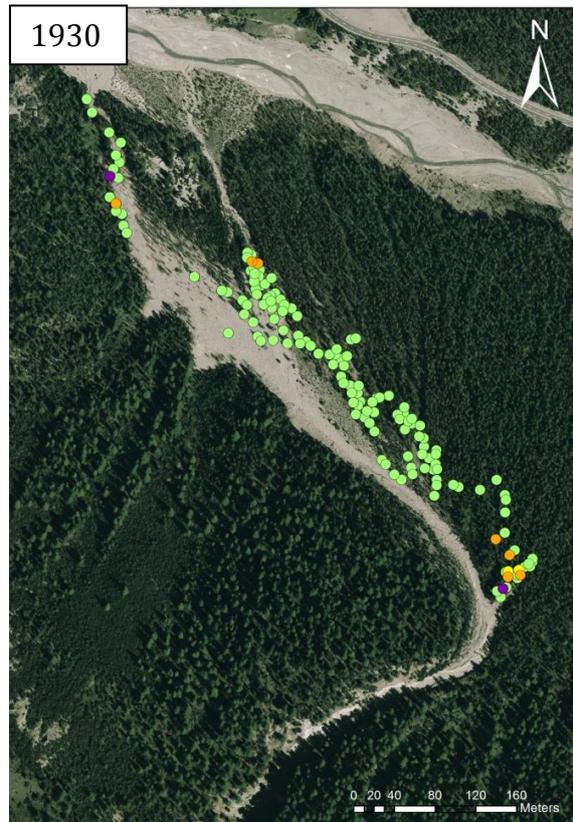
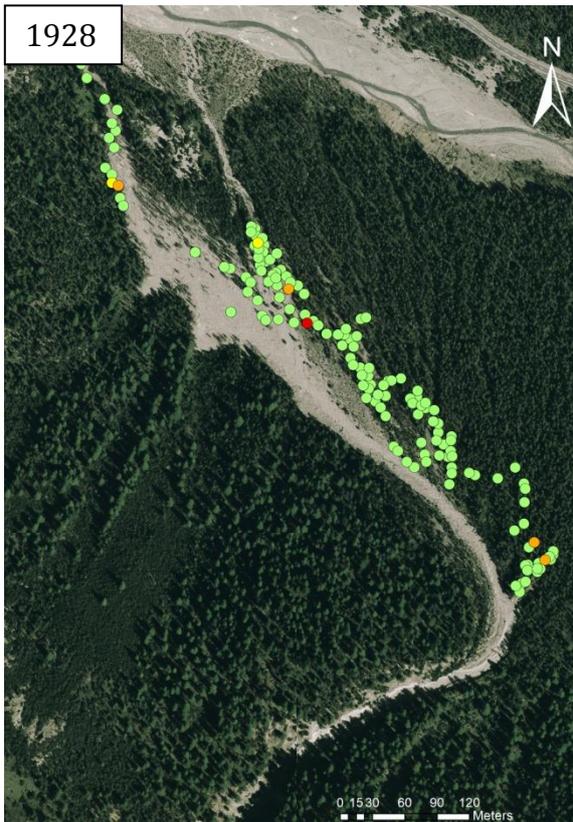
- Schwache WS
- Mittlere WS
- Starke WS
- Verletzung
- Lebende Bäume



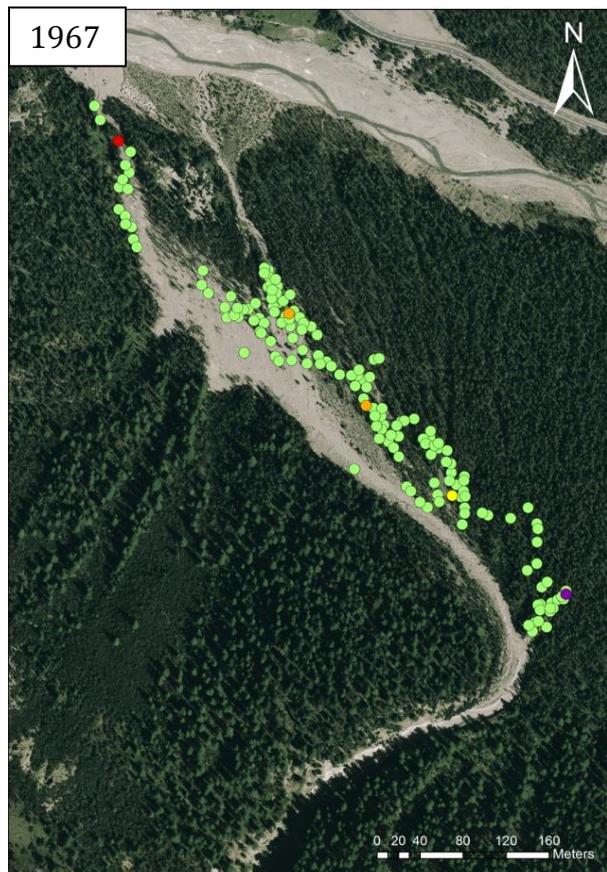
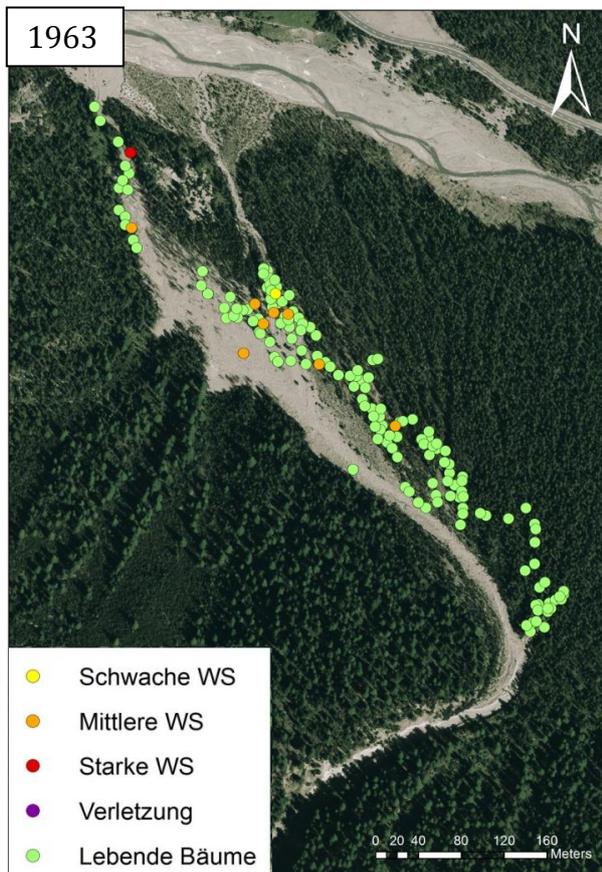
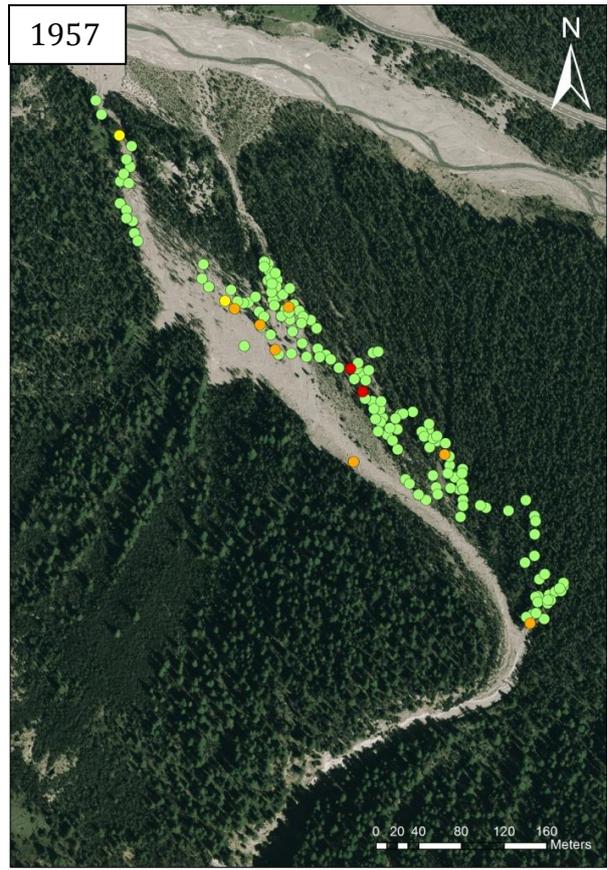
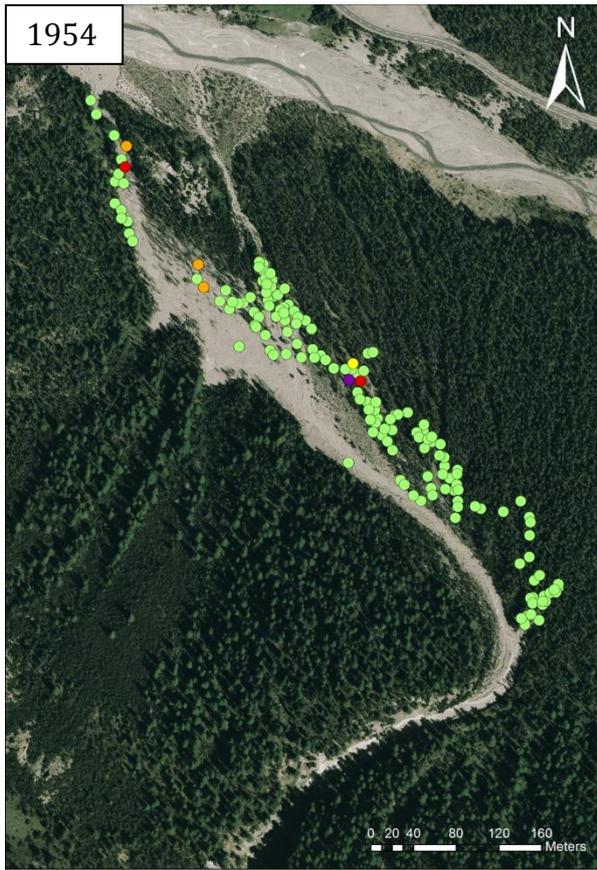
- Schwache WS
- Mittlere WS
- Starke WS
- Verletzung
- Lebende Bäume

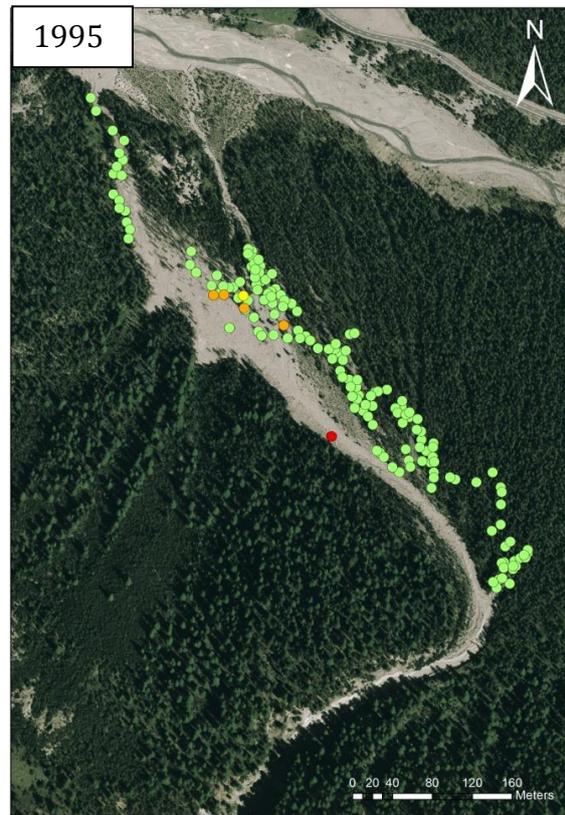
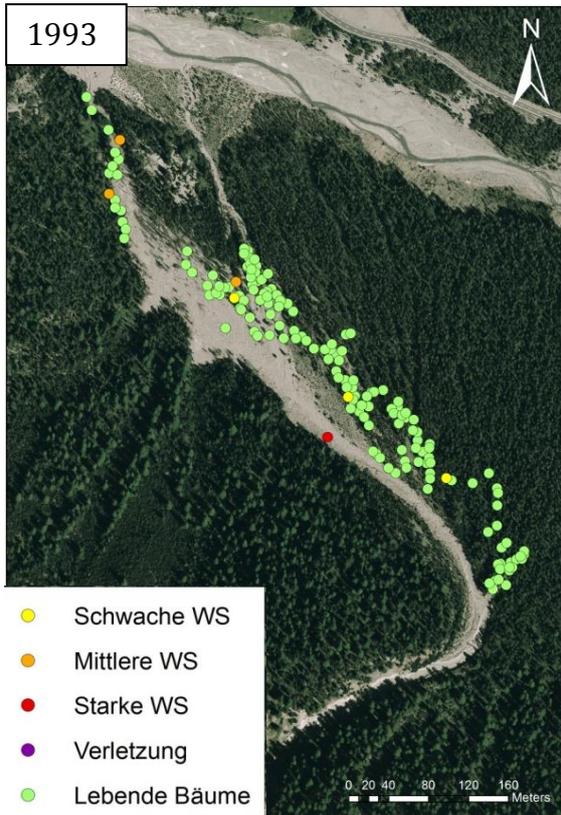
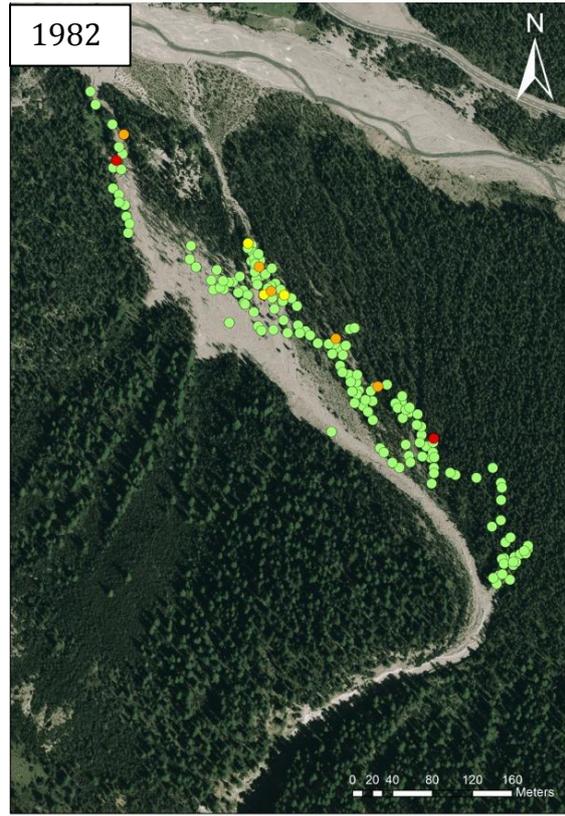
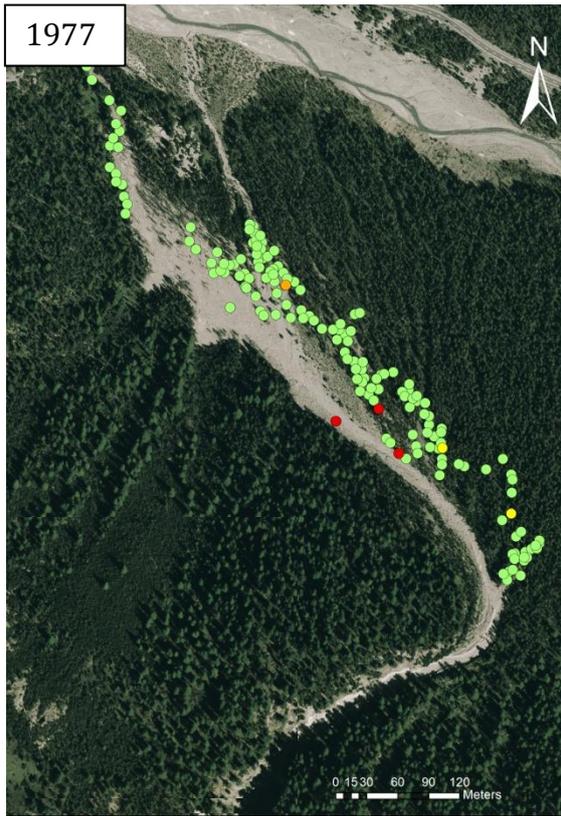


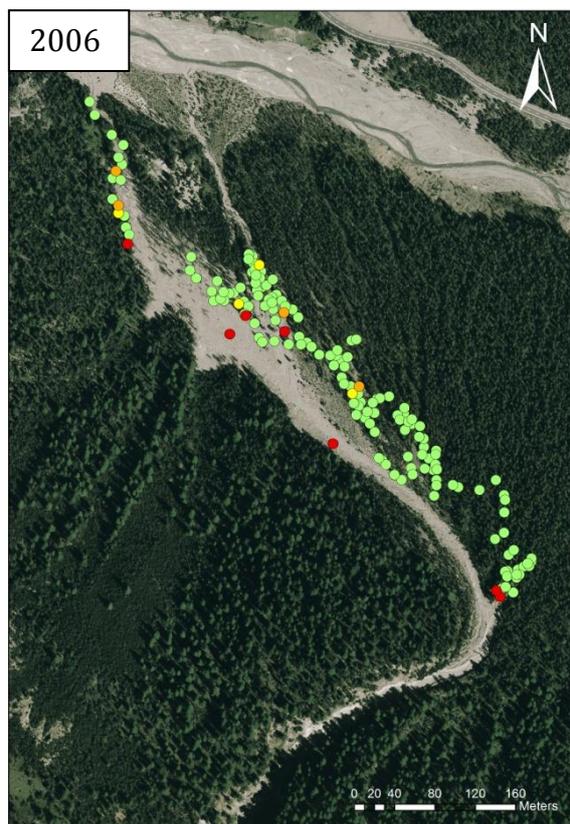
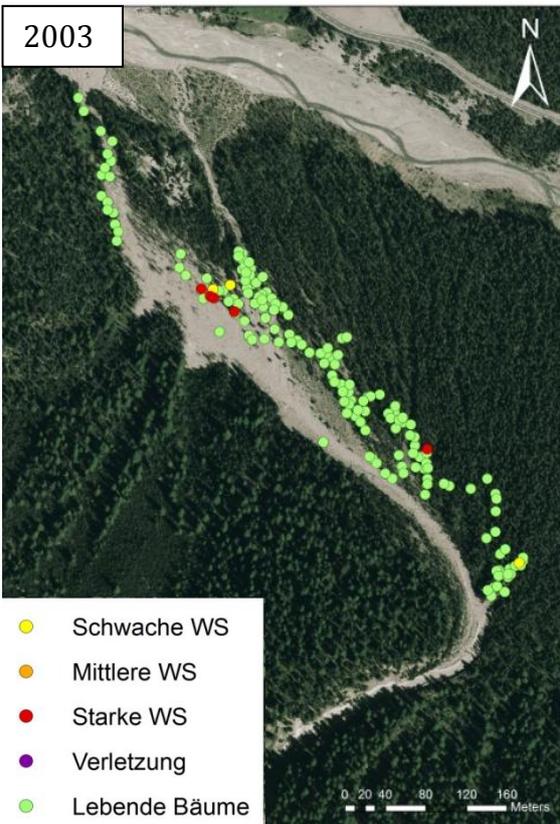
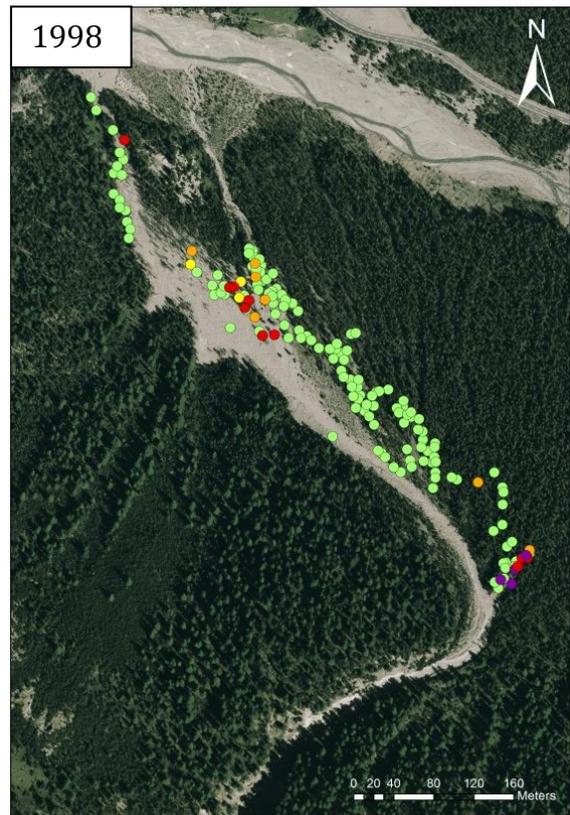
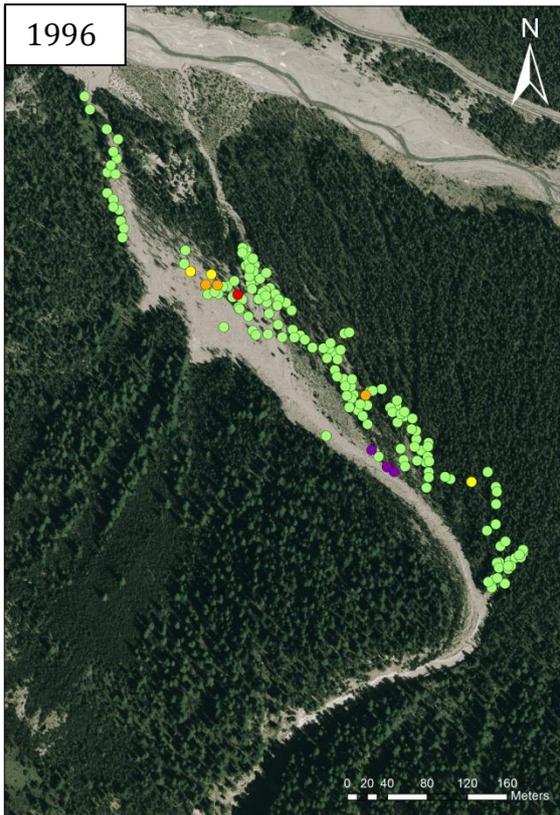




- Schwache WS
- Mittlere WS
- Starke WS
- Verletzung
- Lebende Bäume







- Schwache WS
- Mittlere WS
- Starke WS
- Verletzung
- Lebende Bäume

Erklärung

gemäss Art. 28 Abs. 2 RSL 05

Name/Vorname: *Häberli Andrea*

Matrikelnummer: *08-115-834*

Studiengang: *MSc Phil-nat. (Erdwissenschaften)*

Bachelor

Master

Dissertation

Titel der Arbeit: *Räumlich-zeitliche Rekonstruktion der Murgangaktivität im Val Brüna, Schweizerischer Nationalpark*

Leiter der Arbeit: *PD. Dr. Markus Stoffel*

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Quellen entnommen wurden, habe ich als solche gekennzeichnet. Mir ist bekannt, dass andernfalls der Senat gemäss Artikel 36 Absatz 1 Buchstabe o des Gesetzes vom 5. September 1996 über die Universität zum Entzug des auf Grund dieser Arbeit verliehenen Titels berechtigt ist.

Bern, 07. Juli 2013