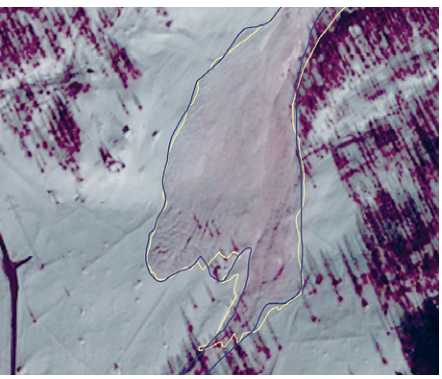




Heft 76, 2019

WSL Berichte

ISSN 2296-3456

Ereignisanalyse Lawinensituation im Januar 2018

Michael Bründl
Elisabeth Hafner
Peter Bebi
Yves Bühler
Stefan Margreth
Christoph Marty
Mark Schaer
Lukas Stoffel
Frank Techel
Kurt Winkler
Benjamin Zweifel
Jürg Schweizer

WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF

Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
CH-8903 Birmensdorf

Heft 76, 2019
WSL Berichte
ISSN 2296-3456

Ereignisanalyse Lawinensituation im Januar 2018

Michael Bründl
Elisabeth Hafner
Peter Bebi
Yves Bühler
Stefan Margreth
Christoph Marty
Mark Schaer
Lukas Stoffel
Frank Techel
Kurt Winkler
Benjamin Zweifel
Jürg Schweizer

Herausgeberin
WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos
Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf

Verantwortlich für die Herausgabe der Schriftenreihe
Prof. Dr. Konrad Steffen, Direktor WSL

Verantwortlich für dieses Heft
Dr. Jürg Schweizer, Leiter SLF

Autorinnen und Autoren
Bründl, M.; Hafner, E.; Bebi, P.; Bühler, Y.; Margreth, S.; Marty, C.; Schaer, M.; Stoffel, L.; Techel, F.; Winkler, K.; Zweifel, B.; Schweizer, J.

Auftraggeber
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Schriftleitung
Sandra Gurzeler, Teamleitung Publikationen, WSL

Lektorat
Christine Huovinen, WSL

Layout
Jacqueline Annen, WSL

Zitierung
Bründl, M.; Hafner, E.; Bebi, P.; Bühler, Y.; Margreth, S.; Marty, C.; Schaer, M.; Stoffel, L.; Techel, F.; Winkler, K.; Zweifel, B.; Schweizer, J., 2019: Ereignisanalyse Lawinensituation im Januar 2018. WSL Bericht, 76. 162 S.

ISSN 2296-3448 (Print)
ISSN 2296-3456 (Online)

PDF Downlaod: www.wsl.ch/berichte

Begleitgruppe und Review
Expertenkommission für Lawinen und Steinschlag (EKLS): Reto Baumann (Vorsitz), Niels Haehlen, Marc Hauser, Rolf Kaufmann, Andrea Predazzini, Urban Rieder, Pascal Stoebener, Christian Wilhelm

Fotos Umschlag:
1. Skigebiet Samnaun (GR), eindrücklicher Anriss aufgrund einer Sprengung, Foto: G. Darms.
2. Anriss in Lawinenverbauung Urseren, Brienz (BE), Foto: U. Ryter.
3. Nassschneelawine bei Goppenstein (VS), Foto: S. Margreth.
4. Vergleich Lawinenkartierung Satellitendaten mit Monoplotting, © Airbus DS 2018.
5. Putzloiwna bei Eisten, Saastal (VS), Foto: P. Stoebener.
6. Ausgeknickte Randstützen von Dickru-Stützwerken, Verbauung La Loutze, Leytron (VS), Foto: Nivalp SA.

Forschung für Mensch und Umwelt: Die Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL überwacht und erforscht Wald, Landschaft, Biodiversität, Naturgefahren sowie Schnee und Eis.
Sie ist ein Forschungsinstitut des Bundes und gehört zum ETH-Bereich. Das WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF ist seit 1989 Teil der WSL.

© Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
Birmensdorf, 2019

Vorwort

Ausgeprägte Trockenheit im Sommer, über 18 000 Lawinen im Winter – ist «extrem» das neue «Normal»? Tatsächlich charakterisierte MeteoSchweiz das Jahr 2018 mit «Wärme und Regenarmut ohne Ende»; es war das wärmste Jahr seit Messbeginn 1864. Die Trockenheit im Sommer, vor allem in der Ostschweiz war sie extrem, lässt beinahe vergessen, dass der Winter 2017/18 im Gebirge sehr schneereich war. Die Niederschlagsmengen waren verbreitet deutlich über der Norm und in Teilen des Wallis und Graubündens zum Teil gar doppelt so hoch als im Durchschnitt. Die grossen Schneemengen führten in weiten Teilen der Alpen zu einer ausserordentlichen Lawinensituation, wie sie seit dem Lawinenwinter 1999 nicht mehr aufgetreten war. Es lag auf der Hand, die Ereignisse zu untersuchen und zu prüfen, ob die nach 1999 getroffenen Massnahmen wirksam waren. Anders gefragt: Test bestanden?

Die Lawinengefahr erreichte vom 21. bis 23. Januar 2018 ihr Maximum. Während eineinhalb Tagen wurde sie als «sehr gross», also mit der höchsten Gefahrenstufe, prognostiziert. Bereits während dieser Tage erfolgten die ersten Abklärungen mit SwissTopo im Hinblick auf die Ereignisdokumentation aus der Luft. Schon am 24. Januar machte der Spot-6-Satellit Aufnahmen des gesamten betroffenen Alpenraums. Erstmals konnte somit eine ausserordentliche Lawinensituation mittels Fernerkundung umfassend dokumentiert werden. Die Aufnahmen bildeten eine wichtige Grundlage für die vorliegende Ereignisanalyse, die das SLF nur dank der Unterstützung durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) in dieser detaillierten Form erarbeiten konnte. Die Zusammenarbeit mit Bund, Kantonen und vielen Beteiligten, insbesondere den Lawinendiensten der am meisten betroffenen Talschaften, erlaubte eine umfassende Darstellung der ausserordentlichen Ereignisse. Diese wiederum bildete die Grundlage für die Erfolgskontrolle. Wurden die nach dem Lawinenwinter 1999 gezogenen Lehren umgesetzt und wenn ja, zeigten sie Wirkung? Die Ereignisanalyse des SLF «Der Lawinenwinter 1999» und die BUWAL-Broschüre «Leben mit dem Lawinenrisiko – Die Lehren aus dem Lawinenwinter» hatten nämlich den wichtigsten Handlungsbedarf in 26 Punkten aufgezeigt, um im Lawinenwinter 1999 festgestellte Schwachstellen zu eliminieren und den Lawinenschutz für die zukünftigen Herausforderungen weiter zu optimieren.

Die vorliegende Ereignisanalyse zeigt: Die Lawinensituation im Januar 2018 stellte für alle Beteiligten eine grosse Herausforderung dar, die sie in aller Regel gut meisterten. Die nach 1999 getroffenen Massnahmen bewährten sich. Auch wenn die Situation im Januar 2018 nicht so extrem wie im Februar 1999 war, hat der integrale Lawinenschutz die Bewährungsprobe bestanden. Die Schäden waren vergleichsweise gering und in Siedlungen und auf Verkehrswegen gab es glücklicherweise keine Todesopfer. In den bedeutenden Lawinenwintern im 20. Jahrhundert waren immer auch Opfer zu beklagen gewesen. Die Zahl der Personen, die in Gebäuden oder auf Strassen starben, hat seit der Mitte des letzten Jahrhunderts aber markant abgenommen. Eine ausserordentliche Lawinensituation mit Gefahrenstufe «sehr gross» ist nicht mehr zwangläufig eine Katastrophensituation. Das ist das klare Resultat der hohen Anstrengungen im integralen Lawinenschutz in der Schweiz. Diese positive Bilanz wird allerdings nur Bestand haben, wenn die baulichen, planerischen und organisatorischen Massnahmen konsequent weitergeführt und neuen Entwicklungen angepasst werden.

Die Ereignisanalyse 2017/18 reiht sich ein in frühere Untersuchungen. Dabei war es immer das erklärte Ziel, die Ereignisse nicht einfach zu dokumentieren, sondern daraus zu lernen, um für zukünftige Herausforderungen so gut wie möglich vorbereitet zu sein. Eine besondere Herausforderung stellt die Klimaerwärmung dar. Auf die Kryosphäre, also Schnee und Eis, im Hochgebirge wirkt sie sich besonders prägnant aus. Es wird in tiefen, aber auch mittleren Lagen deutlich weniger Schnee geben. Heisst weniger Schnee auch weniger Lawinen? Diese Frage lässt sich heute nicht schlüssig beantworten. Gemäss den aktuellen Klimaszenarien sollen die Niederschlagsmengen und -intensitäten im Winter leicht zunehmen. Es ist also gut möglich, dass es auch in Zukunft Grossschneefälle geben wird, die zu ausserordentlichen Lawinensituationen führen. Wie weit Grosslawinen in Tallagen vorstossen und damit Menschen und Infrastruktur bedrohen werden, wird vor allem von der Temperatur während der Schneefälle abhängen. Im Januar 2018 war

die Temperatur variabel und eher hoch, es regnete wiederholt in mittleren Lagen, während es in einer vergleichbaren Schneefallsituation im Januar 2019 deutlich kälter war. Entsprechend war das Fliessverhalten der Lawinen unterschiedlich: Nass im Auslauf im 2018, Staublawine im 2019. Aufgrund des aktuellen Kenntnisstandes ist es demnach auf jeden Fall verfrüht, Änderungen im Risikomanagement vornehmen zu wollen.

Die Unterzeichnenden danken allen an der Analyse der Lawinensituation vom Januar 2018 direkt oder indirekt Beteiligten für die geleistete Arbeit.

Dr. Jürg Schweizer
Leiter SLF
WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF

Josef Eberli
Leiter Abteilung Gefahrenprävention
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Inhalt

Vorwort 3

1 Einleitung 9

2 Wetter, Schnee und Lawinensituation 11
2.1 Wetter 11
2.1.1 Wetterverlauf vor der Lawinenperiode 11
2.1.2 Wetterlage 14
2.1.3 Temperatur 14
2.1.4 Niederschlag und Wind 15
2.1.4.1 Niederschlag und Wind vom 15. bis 19. Januar 2018 15
2.1.4.2 Niederschlag und Wind vom 21. bis 23. Januar 2018 21
2.3.4.3 Vergleich mit dem Februar 1999 35
2.2 Schneehöhenverlauf 38
2.2.1 Schneehöhe am 15. Januar 2018 38
2.2.2 Schneehöhe am 23. Januar 2018 48
2.2.3 Vergleich mit dem Februar 1999 46
2.2.4 Schneelasten im Winter 2017/18 46
2.3 Schneedeckenaufbau 49
2.3.1 Schneedeckenaufbau vor der Lawinenperiode 49
2.3.2 Schneedeckenaufbau während der Lawinenperiode 49
2.3.3 Vergleich mit dem Februar 1999 52
2.4 Lawinenbulletin und Lawinenaktivität vom 15. bis 20. Januar 2018 53
2.4.1 Ausgangslage am 15. Januar 2018 53
2.4.2 16. bis 20. Januar 2018 53
2.5 Lawinenbulletin vom 21. bis 23. Januar 2018 53
2.6 Lawinenaktivität vom 21. bis 23. Januar 2018 57
2.6.1 Grösste Lawinenperiode seit 1999 57
2.6.2 Zeitlicher Verlauf 57
2.6.3 Lawinenaktivität anhand der SPOT-6-Satellitenbilder 60
2.6.3.1 Satellitenaufnahmen und Lawinenkartierung 60
2.6.3.2 Analyse der Lawinenaktivität 65
2.6.3.3 Erkenntnisse und Schlussfolgerungen 72
2.7 Überprüfung der prognostizierten Gefahrenstufen 72

3 Schäden und unterbrochene Verkehrsverbindungen 75
3.1 Personenlawinen 75
3.2 Lawinen mit Sachschäden oder Suchaktionen 75
3.2.1 Räumliche und zeitliche Verteilung 75
3.2.2 Vergleich mit dem Lawinenwinter 1999 75
3.2.3 Schäden an Gebäuden durch Lawinen und Schneedruck 77
3.2.4 Schäden an Verkehrswegen 78
3.2.4.1 Strassen 78
3.2.4.2 Schäden an Eisenbahnlinien 78
3.2.5 Schäden an Leitungen 79
3.2.6 Schäden an Seilbahnen 79
3.2.7 Schäden an Wald und Flur 80
3.3 Ausgewählte Schadenlawinen 82
3.3.1 Andermatt, Bahnhof Oberalppass 82
3.3.2 Andermatt, Oberalptal 84
3.3.3 Zernez, Val da Barcli 85

3.3.4 Trun, Alp Cavistrau 87
3.3.5 Turtmanntal 89
3.3.6 Saas Fee 98
3.3.7 Strasse Sils-Maloja 99
3.3.8 Davos, Dischma 101
3.3.9 Oberried am Brienzersee 103
3.3.10 Samnaun Laret und Compatsch 104

4 Einsatz und Bewährung des integralen Lawinenschutzes 109
4.1 Bauliche Massnahmen 109
4.1.1 Stützverbau 109
4.1.1.1 Schneesituation in Stützverbauungen 109
4.1.1.2 Wirkung der Stützverbauungen 111
4.1.1.3 Schäden in Stützverbauungen 112
4.1.2 Verwehungsverbau 116
4.1.3 Lawinendämme 119
4.1.4 Lawinengalerien 120
4.1.5 Steinschlagbarrieren 121
4.2 Raumplanerische Massnahmen 122
4.3 Organisatorische Massnahmen 123
4.3.1 Lawinenaktivität und Massnahmen 124
4.3.1.1 Alle Regionen ausser Vispertäler und Lötschental sowie Unterengadin und Samnaun 124
4.3.1.2 Vispertäler und Lötschental 128
4.3.1.3 Unterengadin und Samnaun 132
4.3.1.4 Bemerkungen zur Aufhebung der Massnahmen 133
4.3.1.5 Übersicht über weitere aufgetretene Lawinen 134
4.3.2 Grundlagen für die Arbeit der Lawinendienste 134
4.3.2.1 Lawinenbulletin 134
4.3.2.2 Daten automatischer Stationen und eigene Beobachtungen 135
4.3.2.3 Vorinformation / Vorwarnung und Wettervorhersagen 135
4.3.2.4 GIN, IFKIS-EVAL und IFKIS-MIS 135
4.3.3 Organisation der Lawinendienste 136
4.3.3.1 Änderungen in der Organisation im Vergleich zu 1999 136
4.3.3.2 Bemerkungen zur Ausbildung 137
4.3.4 Durchführung von Sperrungen und Evakuierungen 138
4.3.4.1 Sperrungen sowie der Spezialfall abgelegener Wohngebäude an Strassen 138
4.3.4.2 Evakuierungen, Hausaufenthalte, Maiensässe 139
4.3.4.3 Lawinen auf offene Verkehrswege und in bewohntes Siedlungsgebiet 139
4.3.5 Künstliche Lawinenauslösung 140
4.3.5.1 Ortsfeste Anlagen für die künstliche Auslösung 140
4.3.5.2 Sprengungen aus dem Helikopter 140
4.3.5.3 Information der Bevölkerung über geplante Sicherungsaktionen 140
4.3.5.4 Durchgeführte Sicherungsaktionen und ausgelöste Lawinen 141
4.3.6 Alarm- und Detektionssysteme 144
4.3.6.1 Alarmsysteme in Lawinenzügen 144
4.3.6.2 Alarmsysteme am Gegenhang 144
4.3.6.3 Lawinen-Detektionssysteme 145
4.3.7 Gleitschnee 146
4.4 Schutzwald 146

5 Erfolgskontrolle 151

6 Erkenntnisse und Handlungsbedarf 155
6.1 Erkenntnisse 155
6.2 Gesetzliche Grundlagen und Finanzierung 157
6.3 Handlungsbedarf 157

7 Literatur 161

1 Einleitung

Ausserordentliche Schneefälle führten im Januar 2018 zu zahlreichen Lawinenniedergängen und erstmals seit rund 20 Jahren zur Ausgabe der höchsten Lawinengefahrenstufe für grosse Bereiche des Schweizer Alpengebietes. In der Folge beauftragte das Bundesamt für Umwelt BAFU das WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, die Ereignisse vom Januar 2018 zu analysieren und insbesondere zu prüfen, ob sich die Anstrengungen im integralen Lawinenschutz bewährt haben und wo allenfalls noch Handlungsbedarf besteht.

Nach dem Lawinenwinter 1999 wurden die umfangreiche Ereignisanalyse «Der Lawinenwinter 1999» (SLF 2000) sowie die Broschüre «Leben mit dem Lawinenrisiko» (BUWAL 1999) erarbeitet. In der Ereignisanalyse wurde der Ablauf der katastrophalen Lawinenereignisse dokumentiert, die aufgetretenen Schäden erfasst und die Wirksamkeit der getroffenen kurz- und langfristigen Massnahmen beurteilt sowie der nötige Handlungsbedarf ausführlich aufgezeigt. In der Broschüre «Leben mit dem Lawinenrisiko» wurden journalistisch aufbereitet die wichtigsten Lehren und der wichtigste Handlungsbedarf dargestellt.

Als bedeutendste Folge dieser beiden Dokumente wurde das Projekt «Interkantonales Frühwarn- und Kriseninformationssystem IFKIS» gestartet. Dieses hatte zum Ziel, ein Ausbildungskonzept und ein Pflichtenheft für Lawinendienste sowie ein Informationssystem aufzubauen, das den Informationsfluss zwischen dem SLF und den Lawinendiensten, aber auch unter den einzelnen Lawinendiensten verbessern sollte. So fanden bereits im Winter 2000 die ersten Grundkurse «Schnee und Lawinen» auf der Engstligenalp im Berner Oberland statt. Diese werden seitdem jährlich als Grund- und/oder Fortbildungskurs in den Stufen A und B abwechselnd in den Landessprachen Deutsch, Französisch und Italienisch angeboten und wurden bisher von weit mehr als 1000 Praktikern besucht. Mit dem Informationssystem IFKIS wurde den lokalen Sicherheitsverantwortlichen ein Instrument an die Hand gegeben, in dem die meisten Informationen, welche für die Einschätzung der lokalen und regionalen Lawinengefahr nötig sind, enthalten waren. Ab 2010 hat die Gemeinsame Informationsplattform GIN dieses Informationsangebot ergänzt beziehungsweise seit 2017 abgelöst.

So stellen sich die im integralen Lawinenschutz tätigen Institutionen rund 20 Jahre nach dem Lawinenwinter 1999 die Frage, wie sich die seitdem eingeführten Massnahmen bewährt haben. In diesem Bericht werden daher – ähnlich wie in der Ereignisanalyse 1999 – der Ablauf der Ereignisse, die aufgetretenen Schäden und die getroffenen Massnahmen dokumentiert und analysiert. Daraus wird der Erfolg der seit 1999 erreichten Verbesserungen überprüft und – wo nötig – der Handlungsbedarf identifiziert. Dabei konzentrieren wir uns auf die Periode zwischen dem 15. und 23. Januar 2018 und beziehen den übrigen Winter dort ein, wo es für das Verständnis notwendig ist.

Die konsequente Analyse des Umgangs mit extremen Ereignissen und die Ableitung von Massnahmen zur Verbesserung im Umgang damit haben in der Schweiz – nicht nur beim Prozess Lawinen – eine lange Tradition. So wurden auch schon nach den grossen Lawinenniedergängen von 1887/88 und vor allem nach dem Lawinenwinter 1950/51 Ereignisdokumentationen erstellt. Die Umsetzung der Erkenntnisse aus vielen Jahrzehnten hat in der Schweiz zu einem Umgang mit der Lawinengefahr geführt, den die UNESCO im November 2018 mit der Aufnahme ins immaterielle Kulturerbe ausgezeichnet hat. Im Sinne dieser Tradition mag auch dieser Bericht in Ergänzung des jährlichen Winterberichts des SLF helfen, das hohe Niveau im Umgang mit der Lawinengefahr zu halten und noch weiter zu verbessern.

2 Wetter, Schnee und Lawinensituation

Vom 21. bis 23. Januar 2018 ereignete sich in den Schweizer Alpen die intensivste dreitägige Lawinenperiode seit dem Lawinenwinter 1999. Schon seit dem 15. Januar hatte es anhaltend und gegen Schluss intensiv geschneit. Dabei wurden in der Höhe vielfach Rekordschneehöhen für diese Jahreszeit erreicht. Anhaltend starker bis stürmischer Westwind und ein Anstieg der Schneefallgrenze auf 2000 m ü. M. führten verbreitet zu einer «sehr grossen» Lawinengefahr (Stufe 5). Es gingen viele grosse (Grösse 4) und gebietsweise auch sehr grosse (Grösse 5) spontane Lawinen nieder[1]. Dies führte zu vielen Sachschäden. Im Siedlungsraum und auf offenen Verkehrswegen waren keine Todesopfer zu beklagen.

2.1 Wetter

2.1.1 Wetterverlauf vor der Lawinenperiode

Bereits früh im Winter fiel Schnee, so dass ab dem 6. November 2017 in den ganzen Schweizer Alpen eine Winterschneedecke lag. Mit weiteren Schneefällen im November und Dezember waren die Schneehöhen Ende Dezember in der Höhe überdurchschnittlich. Nachdem bereits am 30./31. Dezember 2017 verbreitet etwa ein halber Meter Schnee gefallen war, kam in den ersten vier Tagen des neuen Jahres im Wallis und im Norden nochmals etwa ein Meter Schnee dazu, mit Schwergewicht im Westen. Die Schneefallgrenze schwankte stark und stieg dabei mehrmals auf etwa 2000 m ü. M. Nach einer nur kurzen Pause fielen vom 5. bis 9. Januar in den oberen Vispertälern und im Simplongebiet weitere 1,5 bis 2 m Schnee. In den folgenden Tagen war es teils klar.

Alpennordhang
Die Schneehöhenentwicklung wird anhand der Vergleichsstation Hasliberg (Abb. 1) beschrieben, mit 1825 m ü. M. eine der höchstgelegenen, langjährigen Stationen am Alpennordhang. Allerdings regnete es an dieser Station mehrmals, insbesondere im Januar.

Beim Einschneien am 6. November stieg die Schneehöhe sogleich auf überdurchschnittliche Werte. Wiederholte Schneefälle liessen die Schneedecke ansteigen bis zu einer Spitze am 17. Dezember. Dieser Wert wurde erst am 19. Januar übertroffen, nicht zuletzt weil ein grosser Teil des Niederschlags vom 1. bis 4. Januar als Regen fiel. Auch am 22. Januar fiel zeitweise Regen, so dass die Schneehöhe trotz intensiver Niederschläge nur noch wenig anstieg. Die bereits mehrfach verregnete Schneedecke setzte sich in der Folge nur noch wenig, es kamen aber lange Zeit auch keine grösseren Schneefälle dazu. Erst an den Ostertagen führte ein intensiver Niederschlag zum Schneehöhenmaximum, welches mit 3 m exakt dem höchsten, bereits früher einmal an einem 1. April gemessenen Wert entspricht.

An den höher gelegenen IMIS-Stationen, an denen aller Niederschlag als Schnee fiel, wurden mehr Schnee und teilweise auch neue Tagesrekorde für die Schneehöhen gemessen. Dies allerdings bei Standorten mit Messreihen von unter 30 Jahren.

Nord- und Mittelbünden, Unterengadin
Die Schneehöhenverteilung wird anhand der Vergleichsstation Weissfluhjoch, 2536 m ü. M., (Abb. 2) gezeigt. Nach einem durchschnittlichen Winterstart stieg die Schneehöhe an der Vergleichsstation Weissfluhjoch mit den Grossschneefällen von Mitte Dezember, vom 30. Dezember bis zum 4. Januar und vom 15. bis zum 23. Januar stark an. Die maximale Schneehöhe des

[1] In diesem Bericht werden die im Winter 2017/18 gültigen Bezeichnungen der Lawinengrössen verwendet, nämlich für Lawinen der Grösse 1: Rutsch oder sehr kleine Lawine, Grösse 2: klein, Grösse 3: mittel, Grösse 4: gross, Grösse 5: sehr gross (WSL–SLF, 2017). Die Namen der Lawinengrössen wurden auf den Winter 2018/19 hin europaweit geändert auf Grösse 1 = klein; Grösse 2 = mittel; Grösse 3 = gross; Grösse 4 = sehr gross; Grösse 5 = extrem.

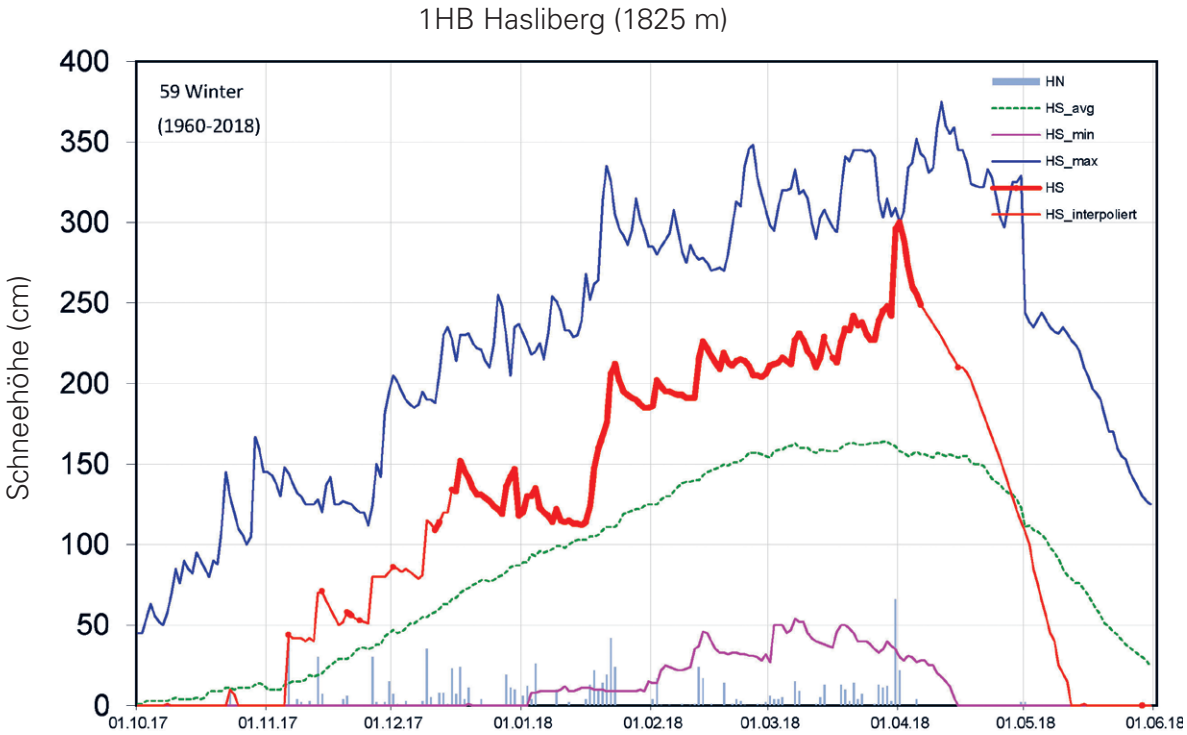


Abb. 1: Schneehöhenverlauf an der Station 1HB, Hasliberg, BE, 1825 m ü. M. (n = 59 Winter). Dargestellt sind die Schneehöhe (rot, fett: gemessen, HS; rot, dünn: interpoliert, HS_interpoliert), der Neuschnee (graue Säulen, HN), die langjährigen maximalen Schneehöhen (dunkelblau, HS_max), die langjährigen minimalen Schneehöhen (violett, HS_min) und die langjährigen mittleren Schneehöhen (grün, HS_avg).

Winters wurde am 23. Januar erreicht. An insgesamt 14 Tagen, konkret am 5. und vom 21. bis 29. Januar sowie vom 2. bis 5. Februar, wurden die maximalen Schneehöhen der entsprechenden Kalendertage registriert. Bis zur maximalen je erreichten Schneehöhe fehlten aber noch 53 cm.

Wallis

Die Schneehöhenentwicklung im Wallis wird anhand der Messstation Kühboden (Fiesch, VS), 2210 m ü. M., (Abb. 3) aufgezeigt. Nach dem Einschneien am 6. November waren die Schneehöhen durchschnittlich, mit den Niederschlägen vom 8. bis 11. Dezember eine Zeit lang überdurchschnittlich. Im Unterwallis und insbesondere in dessen westlichstem Teil waren die Schneefälle Anfang Winter ergiebiger und die Schneehöhen klar überdurchschnittlich. Mit weiteren Schneefällen vom 28. Dezember bis 4. Januar, am 9. und vom 15. bis 23. Januar wurden die Schneehöhen auch im nördlichen Wallis stark überdurchschnittlich. Mit 274 cm wurde das Schneehöhenmaximum des Winters an der Station Kühboden bereits am 23. Januar erreicht. Dabei war Kühboden eine der wenigen Stationen, bei der sogar das Allzeit-Maximum gemessen wurde – allerdings bei einer Messreihe von nur 30 Jahren.

Obere Vispertäler

Die oberen Vispertäler erhielten nicht nur in den West- und Nordwestlagen, sondern zusätzlich auch bei zwei Südostanströmungen am 8./9. Januar und Anfang Mai grosse Niederschläge. Daraus resultierte ein aussergewöhnlich schneereicher Winter 2017/18. Dies kann exemplarisch an der Schneehöhenentwicklung an der langjährigen Vergleichsstation Saas Fee (Abb. 4) gezeigt werden, selbst wenn auf dieser Höhe ein Teil des Niederschlags als Regen fiel und die Schneemengen in höheren Lagen somit noch deutlich grösser waren.

Nach dem Einschneien am 6. November waren die Schneemengen vorerst gering. Richtig Winter wurde es Mitte Dezember. Ab dem 28. Dezember liessen mehrere Grossschneefälle die

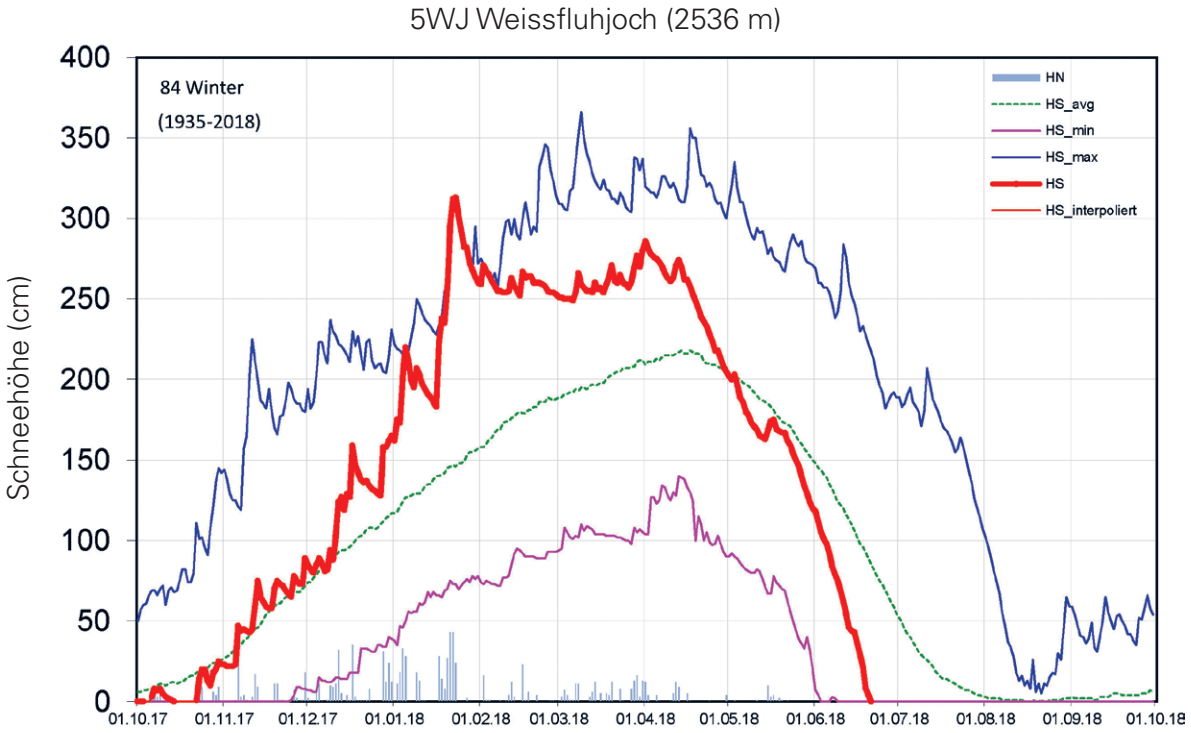


Abb. 2: Schneehöhenverlauf an der Station 5WJ, Weissfluhjoch, 2536 m ü. M. (n = 84 Jahre). Dargestellt sind die Schneehöhe (rot, fett: gemessen, HS; rot, dünn: interpoliert, HS_interpoliert), der Neuschnee (graue Säulen, HN), die langjährigen maximalen Schneehöhen (dunkelblau, HS_max), die langjährigen minimalen Schneehöhen (violett, HS_min) und die langjährigen mittleren Schneehöhen (grün, HS_avg).

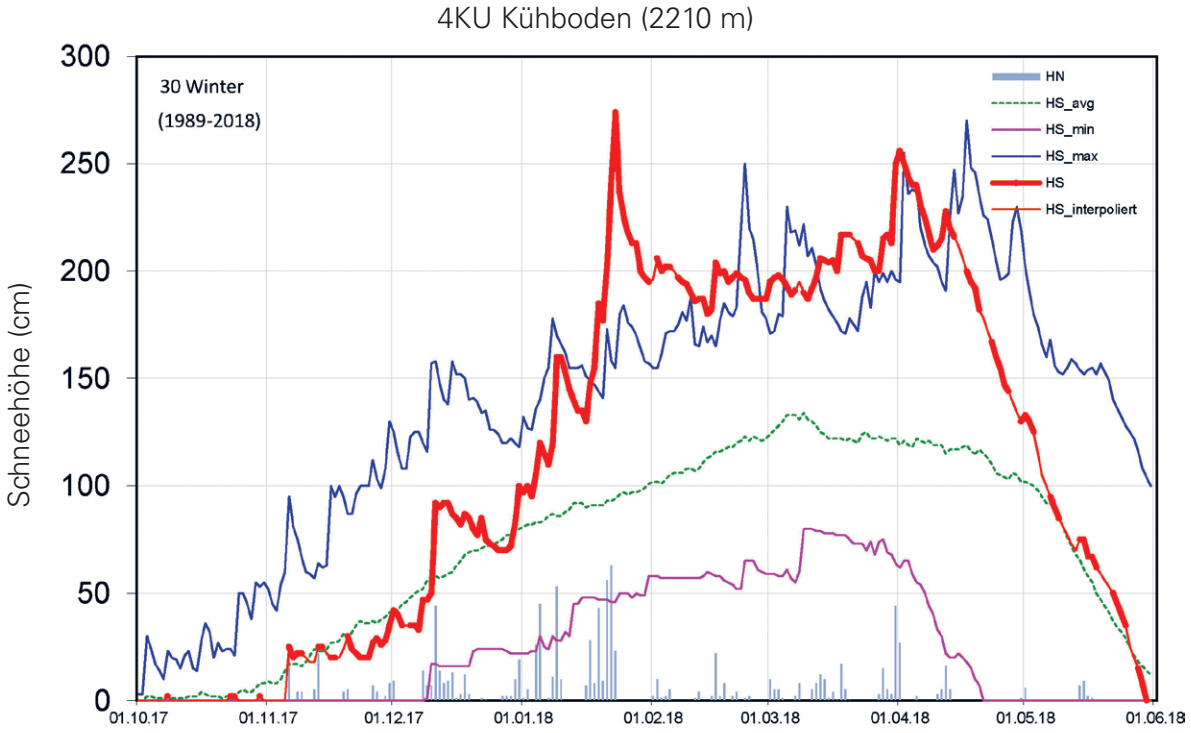


Abb. 3: Schneehöhenverlauf an der Station 4KU, Kühboden, 2210 m ü. M. (n = 30 Winter). Dargestellt sind die Schneehöhe (rot, fett: gemessen, HS; rot, dünn: interpoliert, HS_interpoliert), der Neuschnee (graue Säulen, HN), die langjährigen maximalen Schneehöhen (dunkelblau, HS_max), die langjährigen minimalen Schneehöhen (violett, HS_min) und die langjährigen mittleren Schneehöhen (grün, HS_avg).

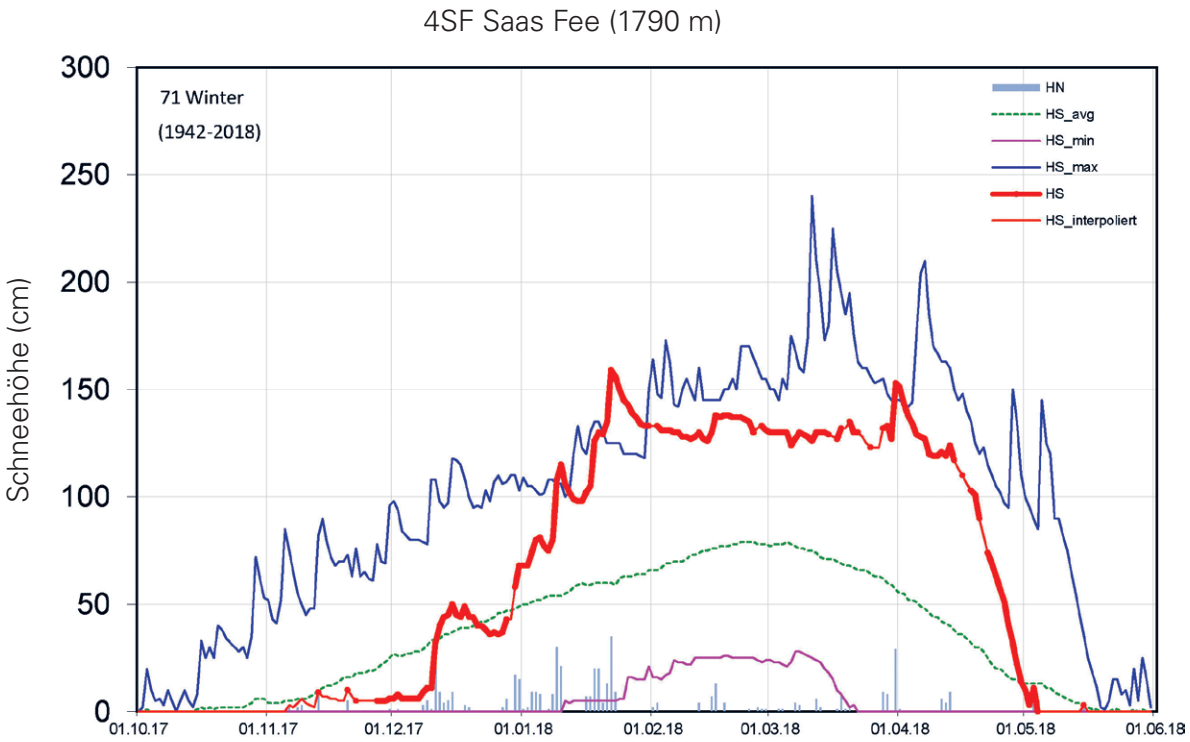


Abb. 4: Schneehöhenverlauf an der Station 4SF, Saas Fee, VS, 1790 m ü. M. (n = 71 Jahre). Dargestellt sind die Schneehöhe (rot, fett: gemessen, HS; rot, dünn: interpoliert, HS_interpoliert), der Neuschnee (graue Säulen, HN), die langjährigen maximalen Schneehöhen (dunkelblau, HS_max), die langjährigen minimalen Schneehöhen (violett, HS_min) und die langjährigen mittleren Schneehöhen (grün, HS_avg).

Schneehöhen stark ansteigen bis zur Spitze am 22. Januar. Dabei wurden bereits mit dem intensiven Schneefall vom 9. Januar kurzfristig die maximalen Schneehöhen des entsprechenden Kalendertages gemessen, ab dem 21. Januar dann für eine längere Zeitperiode.

2.1.2 Wetterlage

Während der gesamten Periode vom 15. bis 23. Januar bliesen die Höhenwinde aus West- bis Nordwest. Gemäss der auf Hess und Brezowsky zurückgehenden Klassierung (GERSTENGARBE *et al.* 1999) wurden anhand der Strömung auf 500 hPa jeweils für 0 Uhr folgende Wetterlagen bestimmt:

16. Januar indifferente Westlage (Nr. 17)
17. Januar zyklonale Nordwestlage (Nr. 3)
18. Januar antizyklonale Westlage (Nr. 9)
19. Januar zyklonale Westlage (Nr. 1)
20. Januar indifferente Nordwestlage (Nr. 19)
21. Januar zyklonale Nordwestlage (Nr. 3)
22. Januar indifferente Nordwestlage (Nr. 19)

2.1.3 Temperatur

Die Temperatur und damit auch die Schneefallgrenze variierten während der Niederschläge oft und stark (Abb. 5). Längere Zeit lag die Schneefallgrenze im Bereich von 1500 m ü. M. Dazwischen fiel sie am 17. Januar, am 19./20. Januar und abermals kurzzeitig am 21. Januar jeweils bis

in tiefe Lagen. Gegen den Schluss der Niederschlagsperiode, am Nachmittag des 22. Januars, stieg sie auf 1800 bis 2000 m ü.M., lokal sogar noch höher.

Insgesamt war 2018 der wärmste Januar seit Beginn der Messungen von MeteoSchweiz im Jahre 1864. Massgebend war dabei der sehr grosse Wärmeüberschuss in tiefen Lagen. Bereits Anfang Januar regnete es im Norden, am 22. Januar dann in allen Gebieten bis auf 2000 m ü. M. Damit lag unterhalb von rund 1300 m ü. M. nur wenig Schnee. Zum Zeitpunkt der grössten Lawinenaktivität am 22./23. Januar war der Schnee unterhalb von rund 2000 m ü. M. oberflächlich feucht.

2.1.4 Niederschlag und Wind

Mit anhaltend starkem bis stürmischem West- bis Nordwestwind fiel vom Abend des 15. bis am Morgen des 23. Januars anhaltend Niederschlag (Abb. 6 bis 10, Abb. 15, Abb. 17). Eine längere trockene Phase gab es nur am 20. Januar.

2.1.4.1 Niederschlag und Wind vom 15. bis 19. Januar 2018

In der Nacht auf den 16. Januar schneite es im Wallis, im Gotthardgebiet sowie am zentralen und östlichen Alpennordhang etwa 10 cm. In den folgenden vier Tagen fielen vor allem am nördlichen Alpenkamm und im Wallis täglich etwa 20 bis 40 cm Schnee, wobei die Neuschneemengen aufgrund des zeitweise schauerartigen Charakters der Niederschläge lokal unterschiedlich ausfielen (Abb. 6 bis 11). Im Süden und im Engadin waren die Neuschneemengen deutlich kleiner. Die Schneefallgrenze schwankte zwischen den Niederungen und 1600 m ü. M. (Abb. 5).

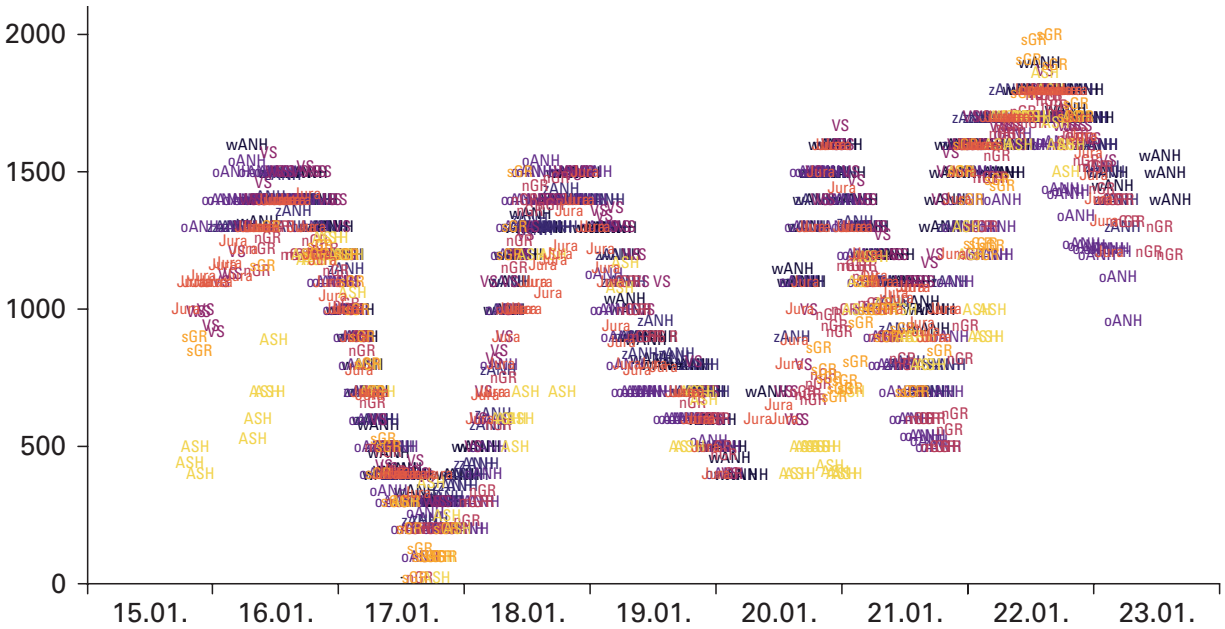
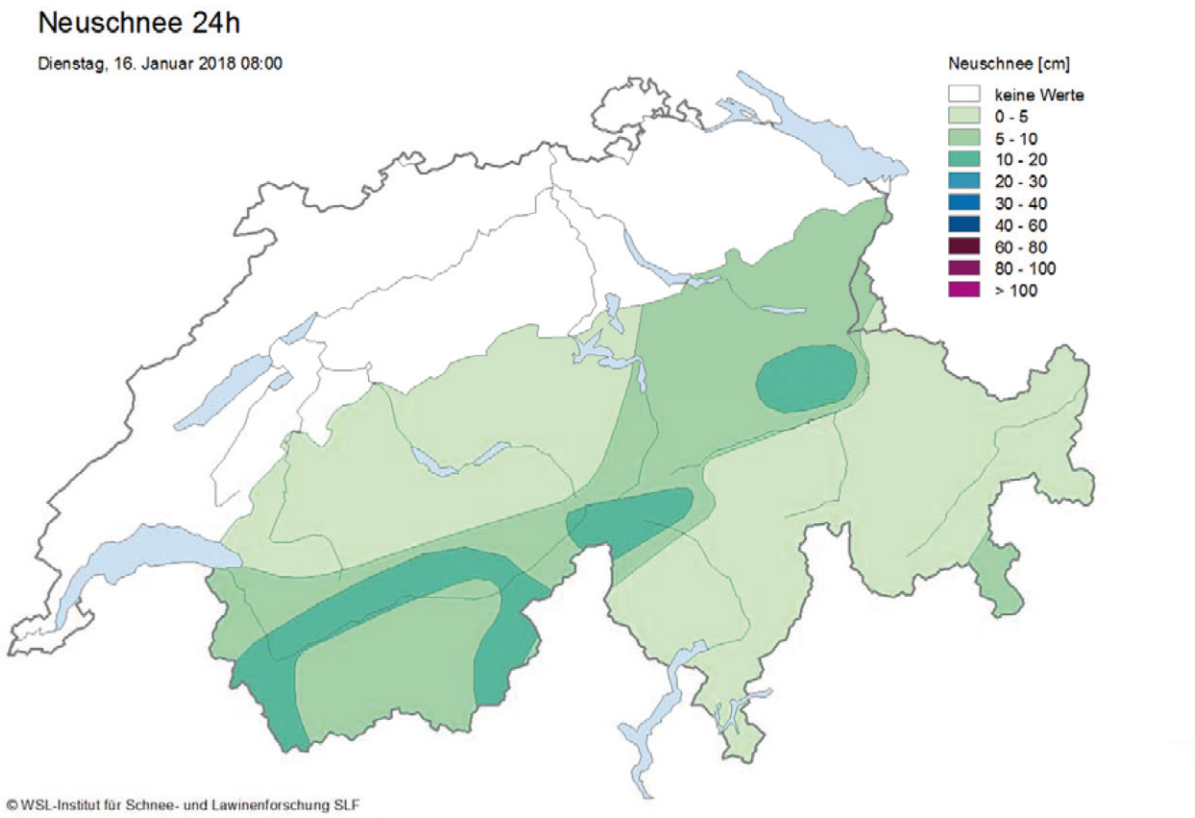


Abb. 5: Schneefallgrenze während der Niederschlagsperiode vom 15. bis 23. Januar 2018. Bei der Berechnung wurde für die einzelnen IMIS-Stationen und einzelne SwissMetNet-Stationen von MeteoSchweiz aus der Psychometer-Temperatur die Schneefallgrenze bestimmt, wobei ein Limit von +1,3 °C und ein Höhengradient von 0,6 °C pro 100 Höhenmeter angenommen wurden. Dargestellt ist für jeden Zeitschritt das 90 %-Quantil pro Klimaregion. Die farbigen Texte stehen für folgende Klimaregionen: wANH = westlicher Alpennordhang, zANH = zentraler Alpennordhang, oANH = östlicher Alpennordhang, VS = Wallis, nGR = Nord- und Mittelbünden, ASH = zentraler Alpensüdhang, sGR = Engadin und angrenzende Südtäler, Jura.



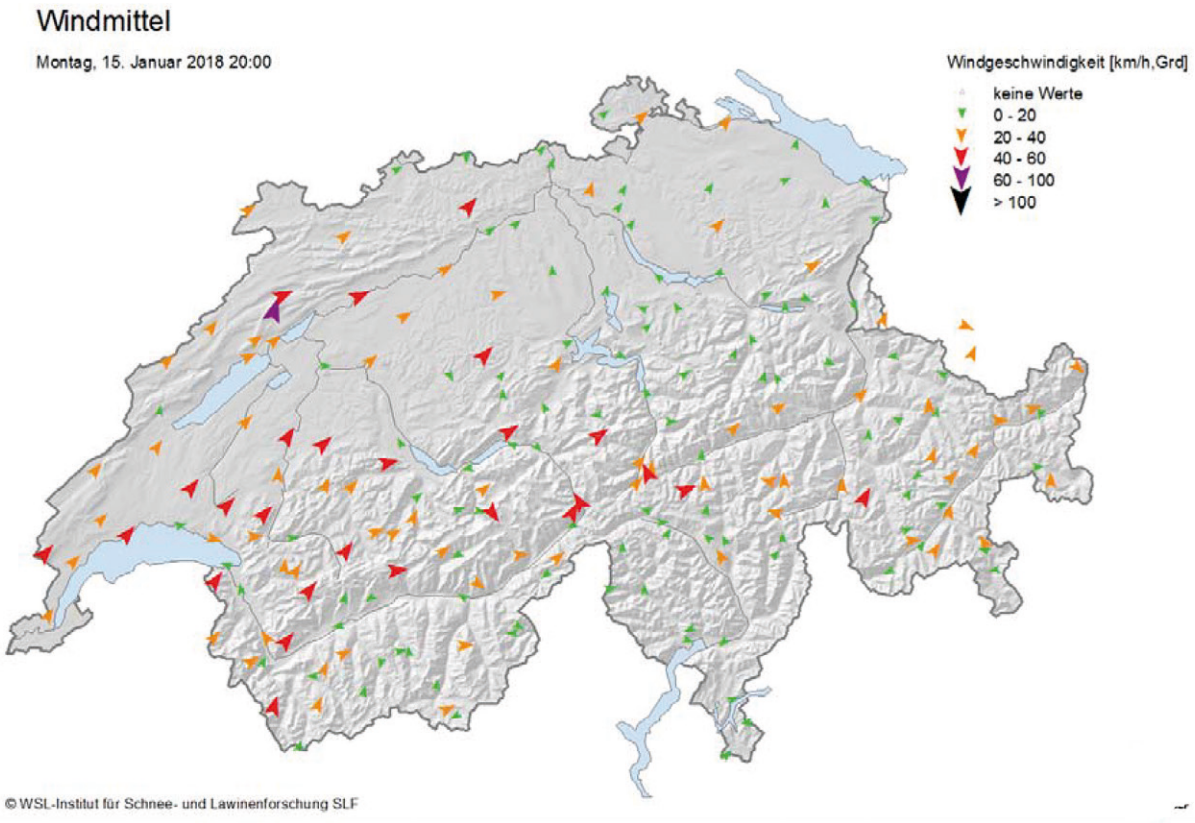


Abb. 6: Oben dargestellt ist die 1-Tages-Neuschneemenge oberhalb von 1800 m ü. M., interpoliert aus den um 08:00 Uhr an den manuellen Messfeldern gemessenen und an den automatischen IMIS-Stationen berechneten Neuschneewerten, vom Dienstag, 16. Januar 2018. Unten sind die in der Mitte der 24-Stundenperiode (d. h. am Montag, 15. Januar 2018 um 20:00 Uhr) von den IMIS-Windstationen und von MeteoSchweiz gemessene Windstärke und -richtung dargestellt.

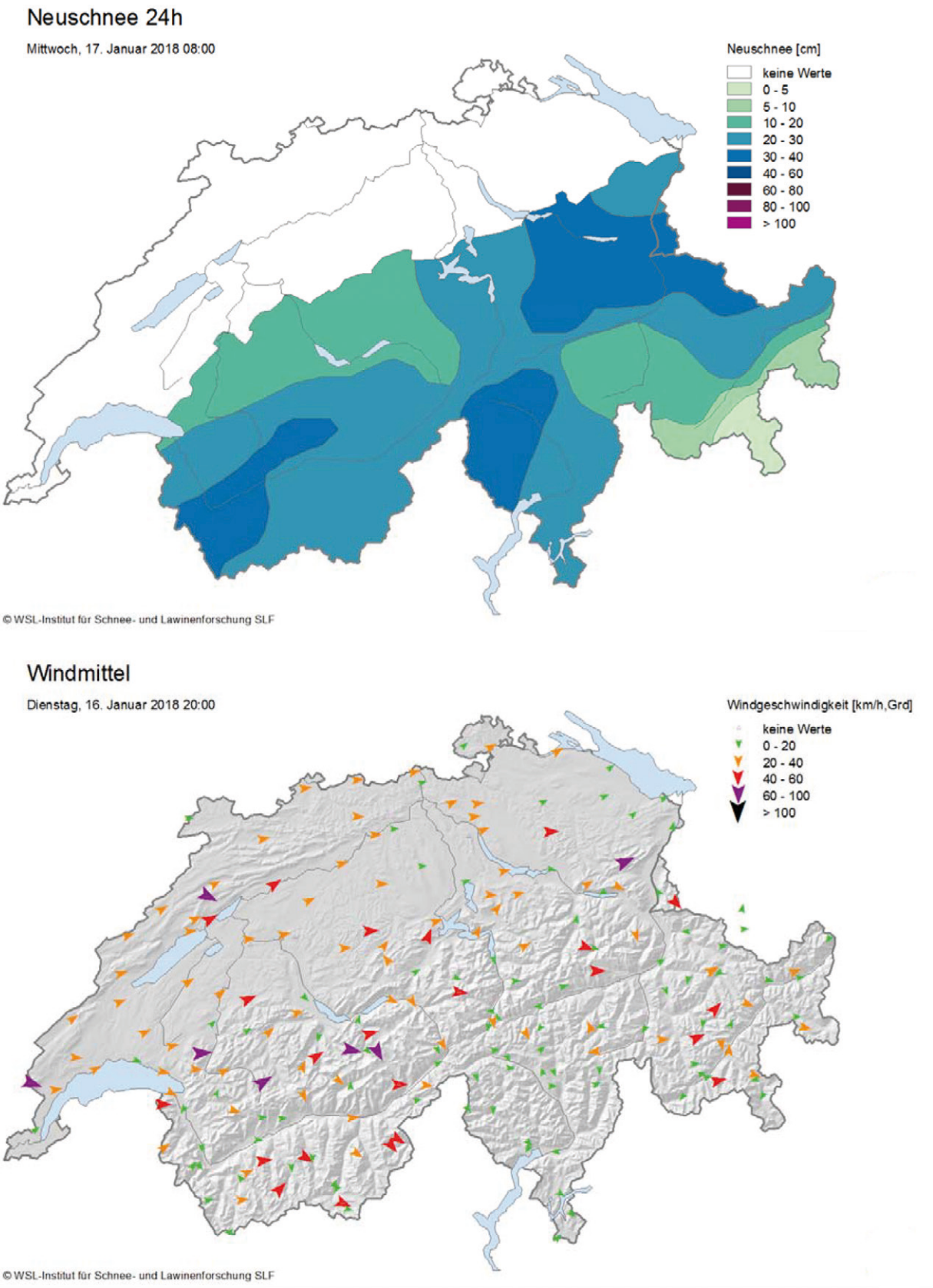


Abb. 7: Oben dargestellt ist die 1-Tages-Neuschneemenge oberhalb von 1800 m ü. M., interpoliert aus den um 08:00 Uhr an den manuellen Messfeldern gemessenen und an den automatischen IMIS-Stationen berechneten Neuschneewerten, vom Mittwoch, 17. Januar 2018. Unten sind die in der Mitte der 24-Stundenperiode (d. h. am Dienstag, 16. Januar 2018 um 20:00 Uhr) von den IMIS-Windstationen und von MeteoSchweiz gemessene Windstärke und -richtung dargestellt.

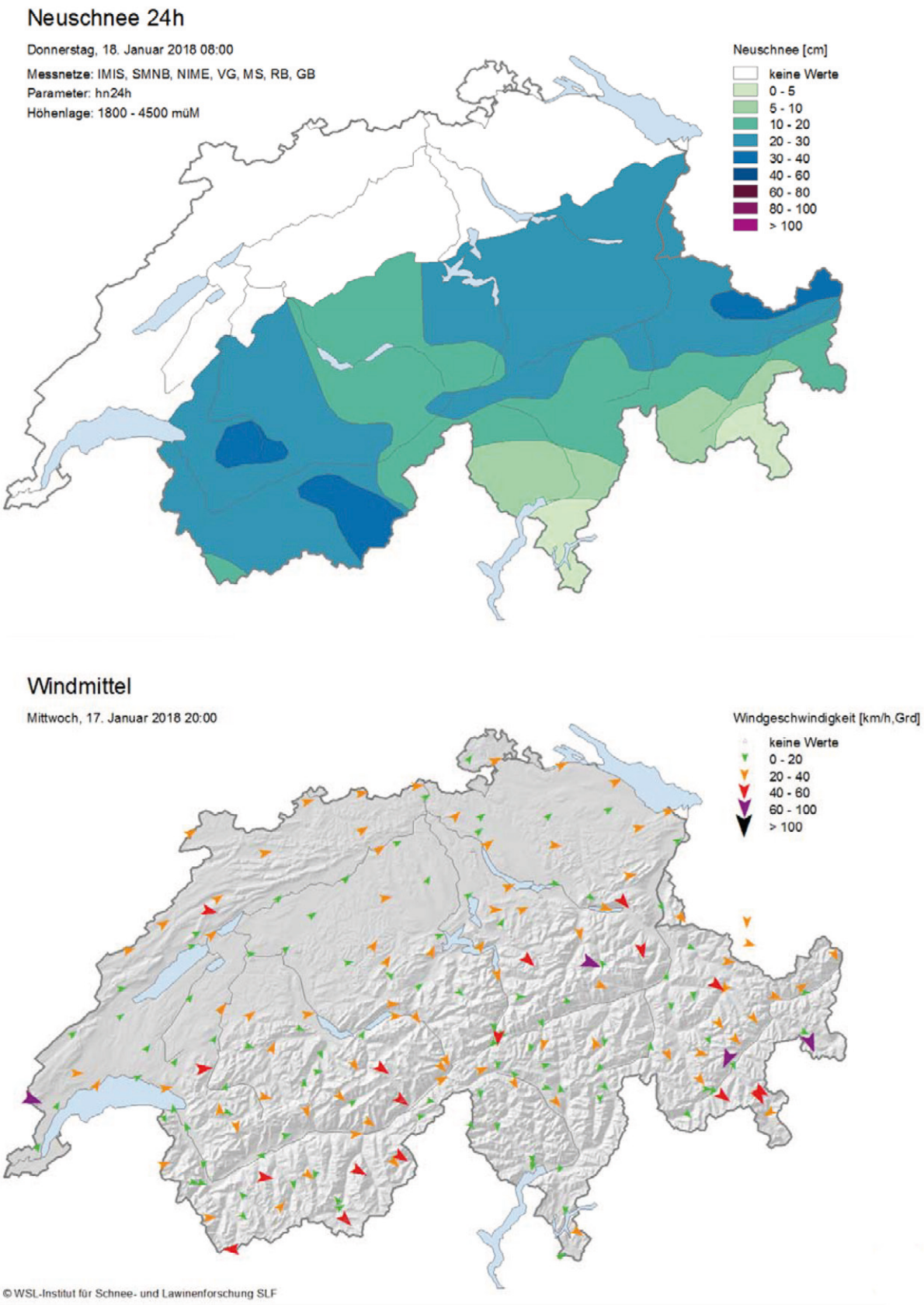


Abb. 8: Oben dargestellt ist die 1-Tages-Neuschneemenge oberhalb von 1800 m ü. M., interpoliert aus den um 08:00 Uhr an den manuellen Messfeldern gemessenen und an den automatischen IMIS-Stationen berechneten Neuschneewerten, vom Donnerstag, 18. Januar 2018. Unten sind die in der Mitte der 24-Stundenperiode (d. h. am Mittwoch, 17. Januar 2018 um 20:00 Uhr) von den IMIS-Windstationen und von MeteoSchweiz gemessene Windstärke und -richtung dargestellt.

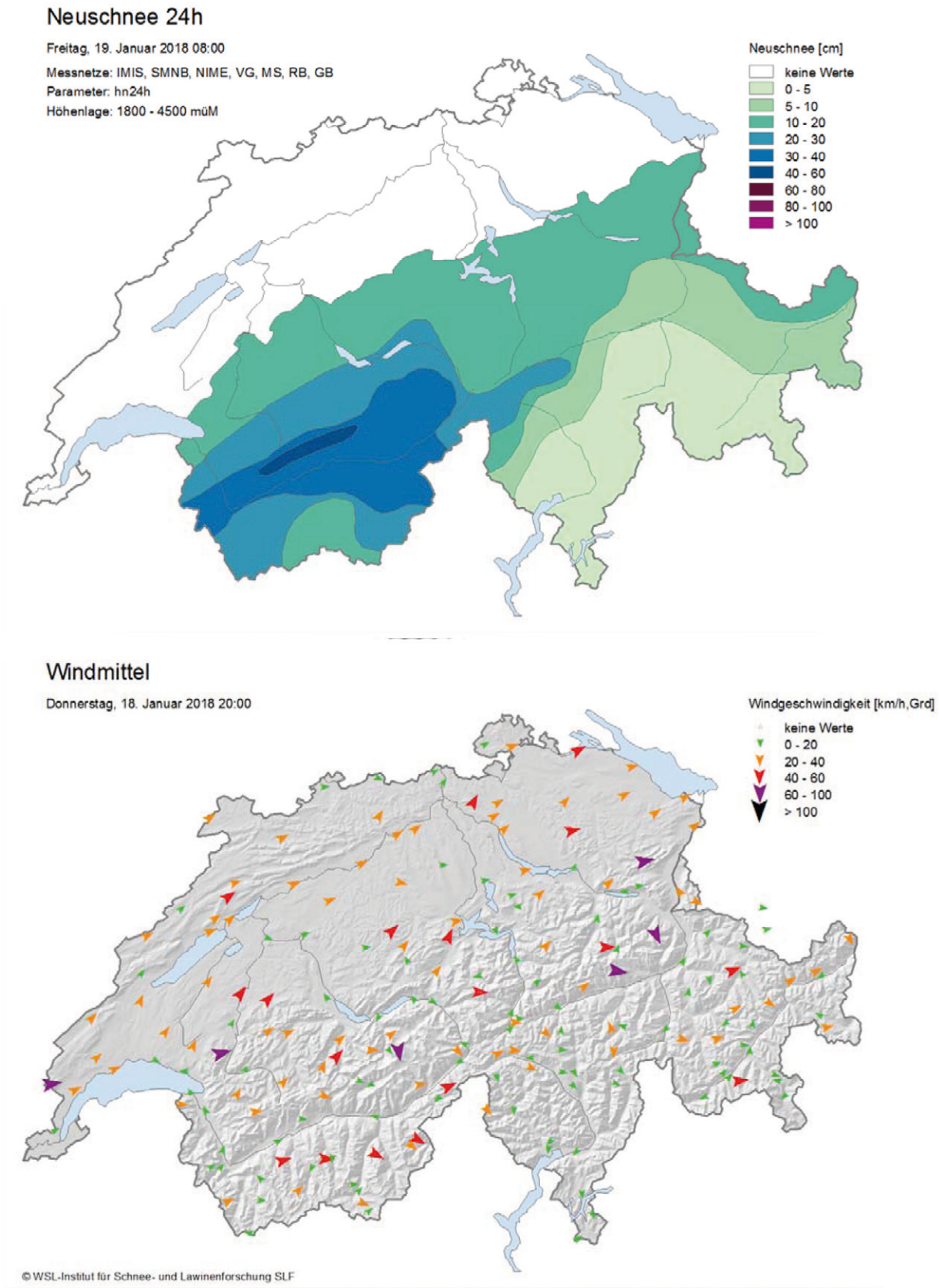
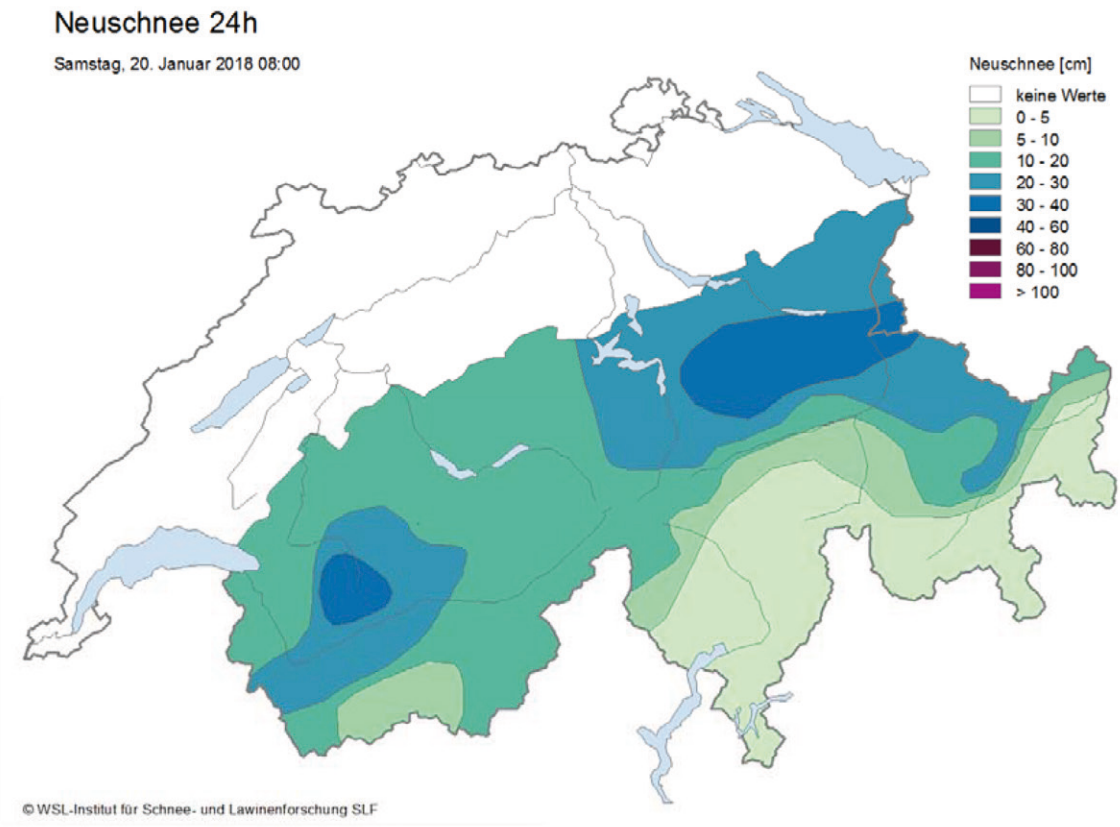


Abb. 9: Oben dargestellt ist die 1-Tages-Neuschneemenge oberhalb von 1800 m ü. M., interpoliert aus den um 08:00 Uhr an den manuellen Messfeldern gemessenen und an den automatischen IMIS-Stationen berechneten Neuschneewerten, vom Freitag, 19. Januar 2018. Unten sind die in der Mitte der 24-Stundenperiode (d. h. am Donnerstag, 18. Januar 2018 um 20:00 Uhr) von den IMIS-Windstationen und von MeteoSchweiz gemessene Windstärke und -richtung dargestellt.



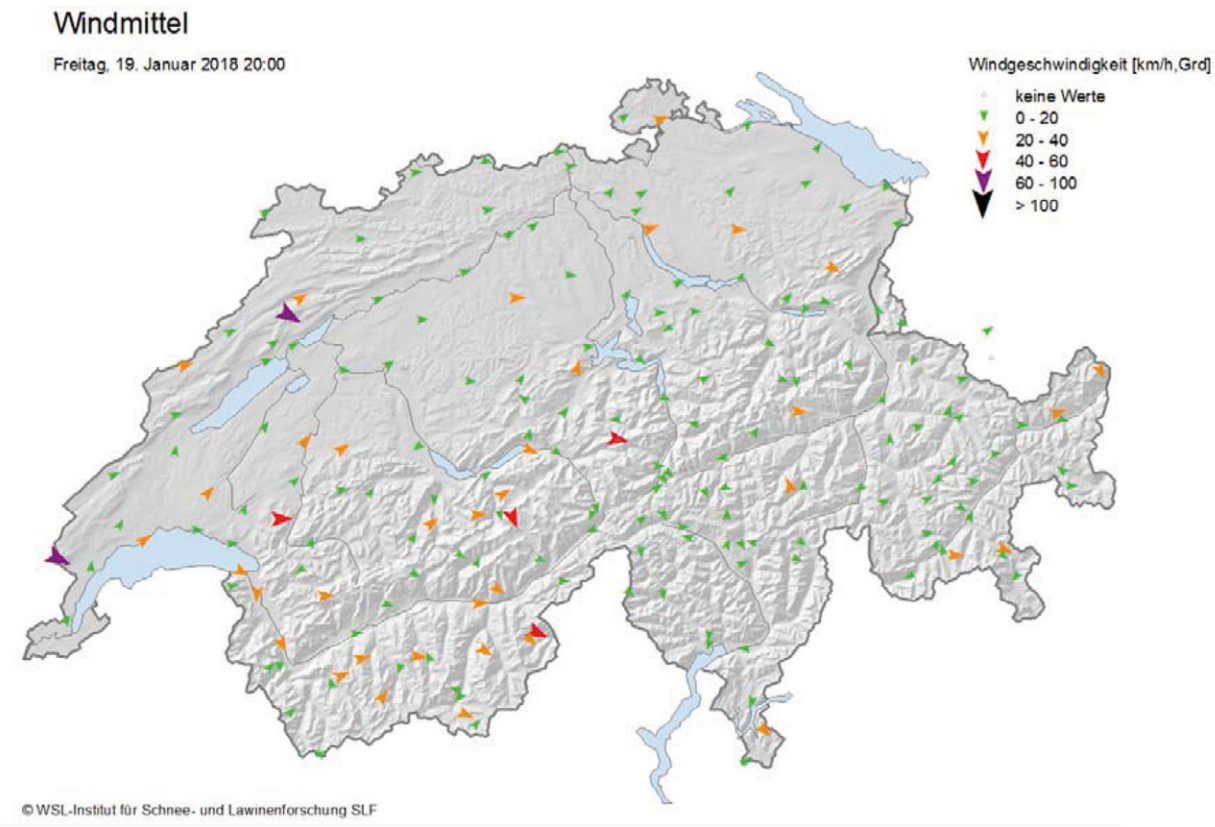


Abb. 10: Oben dargestellt ist die 1-Tages-Neuschneemenge oberhalb von 1800 m ü. M., interpoliert aus den um 08:00 Uhr an den manuellen Messfeldern gemessenen und an den automatischen IMIS-Stationen berechneten Neuschneewerten, vom Samstag, 20. Januar 2018. Unten sind die in der Mitte der 24-Stundenperiode (d. h. am Freitag, 19. Januar 2018 um 20:00 Uhr) von den IMIS-Windstationen und von MeteoSchweiz gemessene Windstärke und -richtung dargestellt.

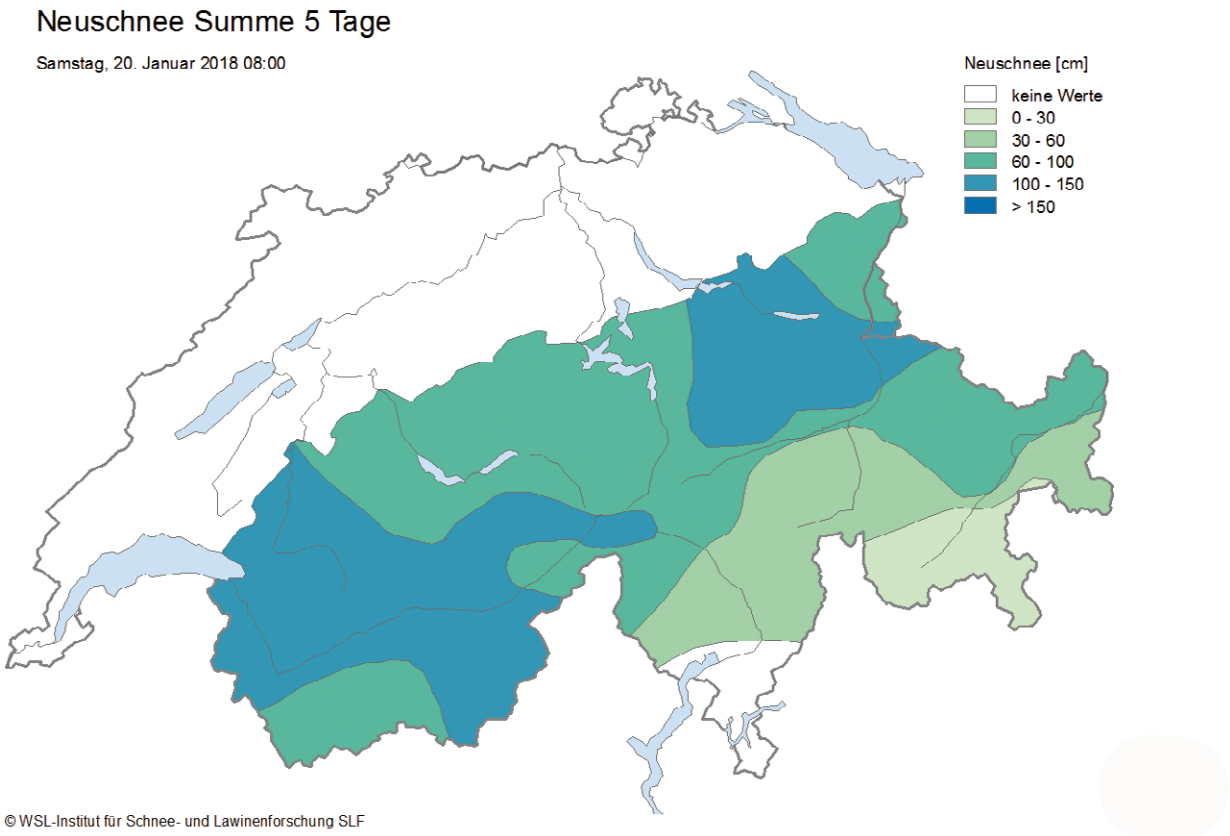


Abb. 11: 5-Tages-Neuschneesumme vom 16.–20. Januar 2018 oberhalb von rund 1800 m ü. M., interpoliert aus den um 08:00 Uhr an den manuellen Messfeldern gemessenen und an den automatischen IMIS-Stationen berechneten Neuschneewerten.

Damit fielen im ersten Teil der Niederschlagsperiode, vom Abend des 15. bis am Morgen des 20. Januars, oberhalb von 1800 m ü. M. insgesamt folgende Schneemengen (Abb. 6 bis 11):
– nördliches Wallis, Waadtländer Alpen, Oberwallis, östlicher Alpennordhang: 100 bis 130 cm, lokal bis 160 cm
– übriger Alpennordhang, südliches Unterwallis, nordwestliches Tessin, Nordbünden, nördliches Unterengadin: 60 bis 100 cm
– übriges nördliches Tessin, Mittelbünden, übriges Unterengadin: 30 bis 60 cm
– übrige Gebiete: weniger als 30 cm

Begleitet wurden diese Schneefälle von starken bis stürmischen Westwinden. Mit anhaltend gleicher Windrichtung entstanden vor allem an Osthängen mächtige Triebschneeansammlungen. Am 19. Januar liess der Wind am Abend etwas nach und wehte verbreitet schwach bis mässig aus Nordwest.

2.1.4.2 Niederschlag und Wind vom 21. bis 23. Januar 2018

Am 20. Januar erhielten der zentrale Alpensüdhang ohne Gotthardgebiet, Teile Mittelbündens, das Engadin und die angrenzenden Südtäler wenige Sonnenstunden. Auch in den übrigen Gebieten war es vorübergehend trocken, aber bedeckt. In der Nacht auf den 21. Januar setzten erneut intensive Niederschläge ein; im Wallis und im Norden fielen gebietsweise etwa 80 cm Schnee innerhalb von 24 Stunden (Abb. 12 bis 14). Die Schneefallgrenze stieg am 22. Januar markant an, im Westen und im Norden bis auf rund 2000 m ü. M.; danach sank sie wieder leicht ab (Abb. 5).

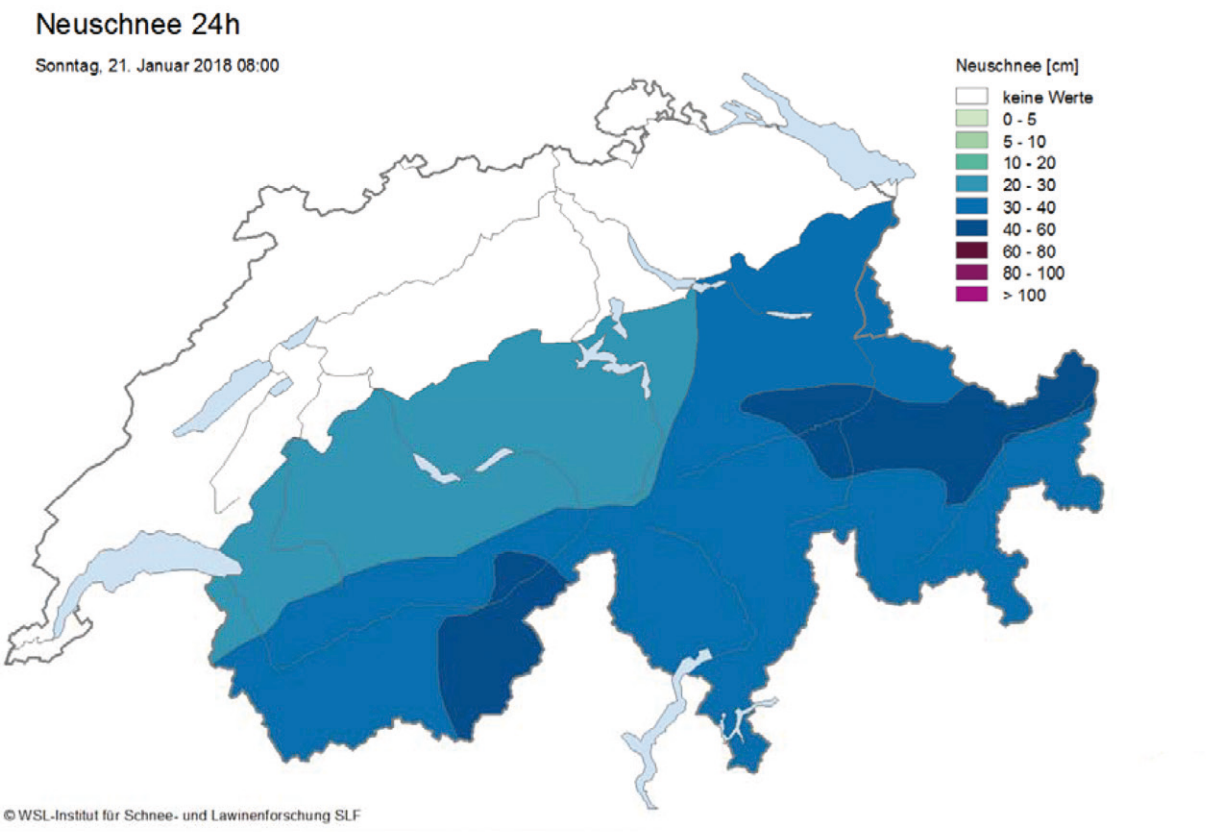


Abb. 12: Oben dargestellt ist die 1-Tages-Neuschneemenge oberhalb von 2000 m ü. M., interpoliert aus den um 08:00 Uhr an den manuellen Messfeldern gemessenen und an den automatischen IMIS-Stationen berechneten Neuschneewerten, am Sonntag, 21. Januar 2018. Die untere Karte zeigt die in der Mitte der 24-Stundenperiode (d. h. am Samstag, 20. Januar 2018 um 20:00 Uhr) von den IMIS-Windstationen und von MeteoSchweiz gemessene Windstärke und -richtung.

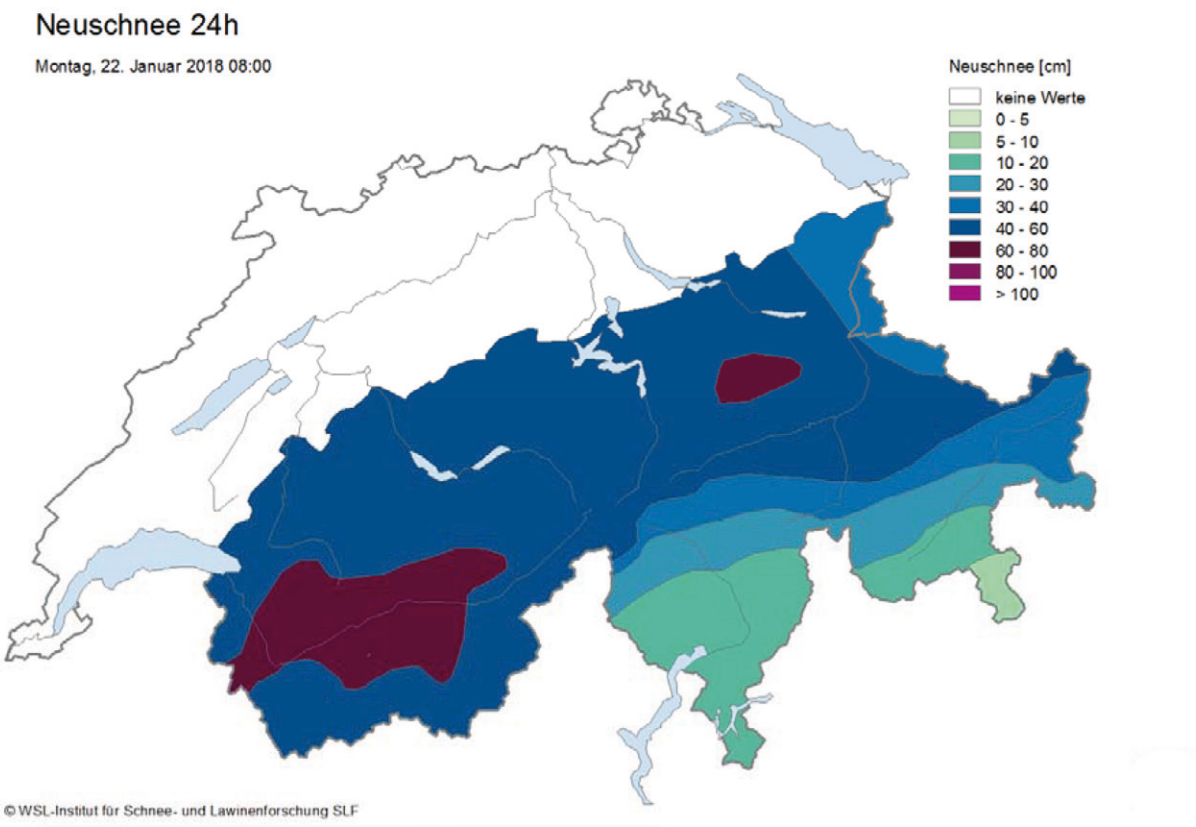


Abb. 13: Oben dargestellt ist die 1-Tages-Neuschneemenge oberhalb von 2000 m ü. M., interpoliert aus den um 08:00 Uhr an den manuellen Messfeldern gemessenen und an den automatischen IMIS-Stationen berechneten Neuschneewerten, am Montag, 22. Januar 2018. Die untere Karte zeigt die in der Mitte der 24-Stundenperiode (d. h. am Sonntag, 21. Januar 2018 um 20:00 Uhr) von den IMIS-Windstationen und von MeteoSchweiz gemessene Windstärke und -richtung.

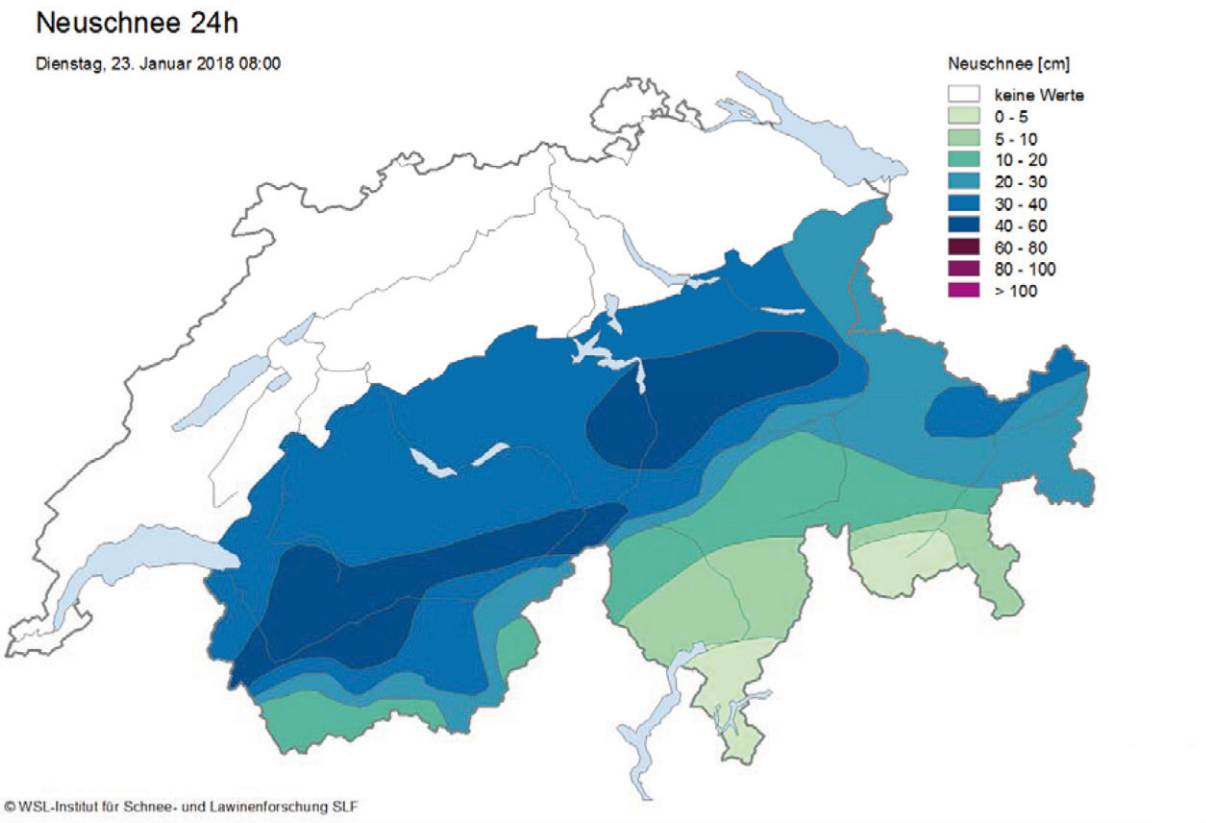


Abb. 14: Oben dargestellt ist die 1-Tages-Neuschneemenge oberhalb von 2000 m ü. M., interpoliert aus den um 08:00 Uhr an den manuellen Messfeldern gemessenen und an den automatischen IMIS-Stationen berechneten Neuschneewerten, am Dienstag, 23. Januar 2018. Die untere Karte zeigt die in der Mitte der 24-Stundenperiode (d. h. am Sonntag, 22. Januar 2018 um 20:00 Uhr) von den IMIS-Windstationen und von MeteoSchweiz gemessene Windstärke und -richtung.

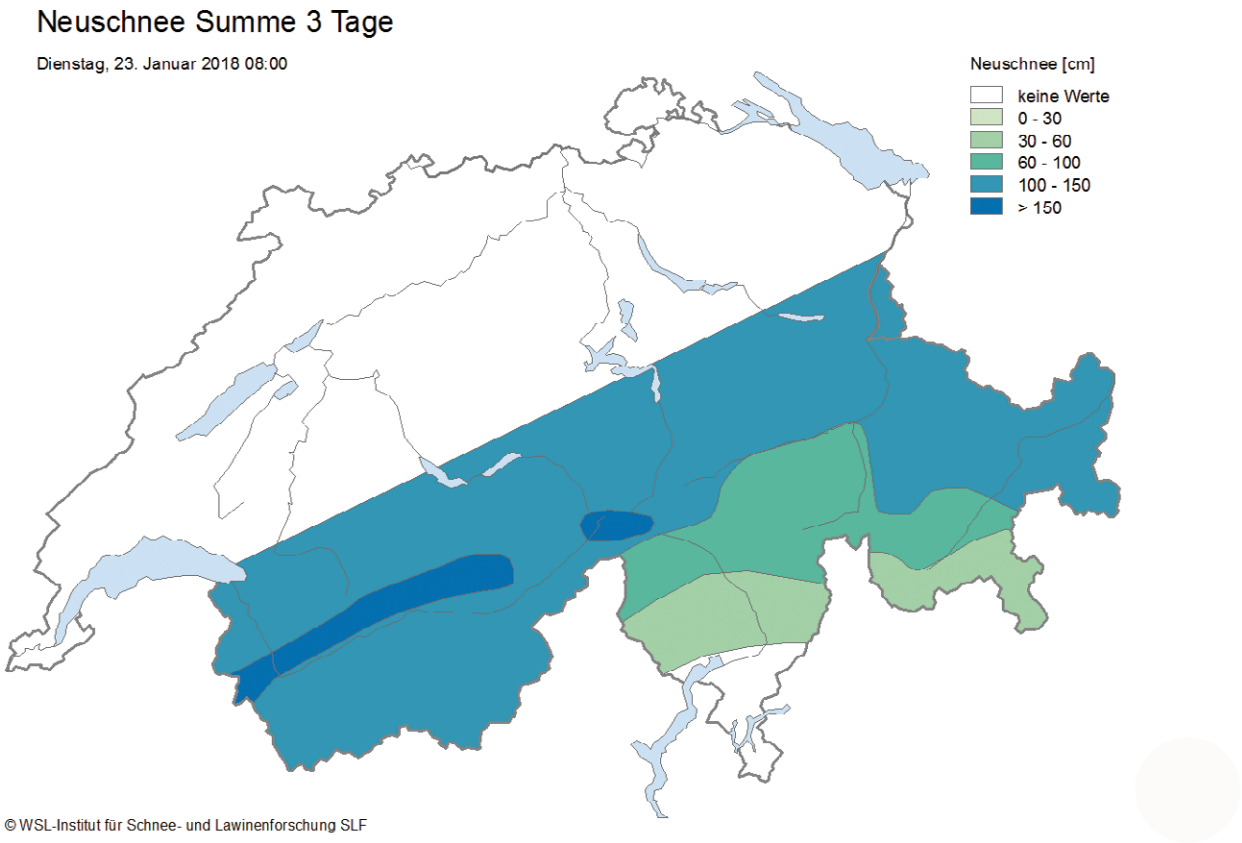


Abb. 15: 3-Tages-Neuschneesumme vom 21.–23. Januar 2018 oberhalb von rund 2200 m ü. M., interpoliert aus den um 08:00 Uhr an den manuellen Messfeldern gemessenen und an den automatischen IMIS-Stationen berechneten Neuschneewerten.

In der Nacht auf den 23. Januar endeten die Niederschläge, und tagsüber war es oberhalb von 2000 m ü. M. recht sonnig.

Auch diese Schneefälle wurden von starken bis stürmischen West- bis Nordwestwinden begleitet. Damit wuchsen die bereits mächtigen Triebschneeansammlungen der Vortage weiter an. In der Nacht auf den 23. Januar nahm der Wind von Westen her langsam ab und blies nur noch im Hochgebirge und im Engadin stark bis stürmisch. Im Süden blies in der Nacht auf den 23. Januar starker Nordwind bis in die Täler.

Damit fielen im zweiten Teil der Niederschlagsperiode vom Samstagabend, 20., bis am Dienstagmorgen, 23. Januar oberhalb von 2200 m ü. M. insgesamt folgende Schneemengen (Abb. 15):

– Gebiete nördlich einer Linie Rhone–Rhein, Wallis, Gotthardgebiet, Nordbünden und Unterengadin: 100 bis 150 cm, im nördlichen Wallis lokal bis zu 170 cm
– übrige Gebiete: 60 bis 100 cm, ganz im Süden weniger

Diese Schneemengen sind gross und teilweise auch aussergewöhnlich. Je nach Region treten sie etwa alle 10 bis 50 Jahre auf (Abb. 16). Stationen mit Jährlichkeiten von mehr als 20 Jahren finden sich fast ausnahmslos im sonst gebietsweise eher niederschlagsarmen Wallis und den direkt angrenzenden Gebieten.

Weil die berechnete Jährlichkeit stark von der Länge der vorhandenen Messreihe abhängt, wurden nur Messstationen berücksichtigt, die bereits im Lawinenwinter 1999 operationell waren, das heisst, mindestens 20 Jahre alt sind. Dies reduziert das IMIS-Netz auf rund 30 Stationen. Manuelle Stationen mit langjährigen Messreihen gibt es zwar deutlich mehr, aber viele davon liegen eher tief. Aufgrund der relativ hohen Schneefallgrenze werden in diesem Ereignis die Jährlichkeiten nur für Stationen oberhalb von 1500 m ü. M. gezeigt. Wirklich aussergewöhnliche Schneemengen verzeichneten fast nur Stationen oberhalb von 2000 m ü. M. Manuelle langjähri-

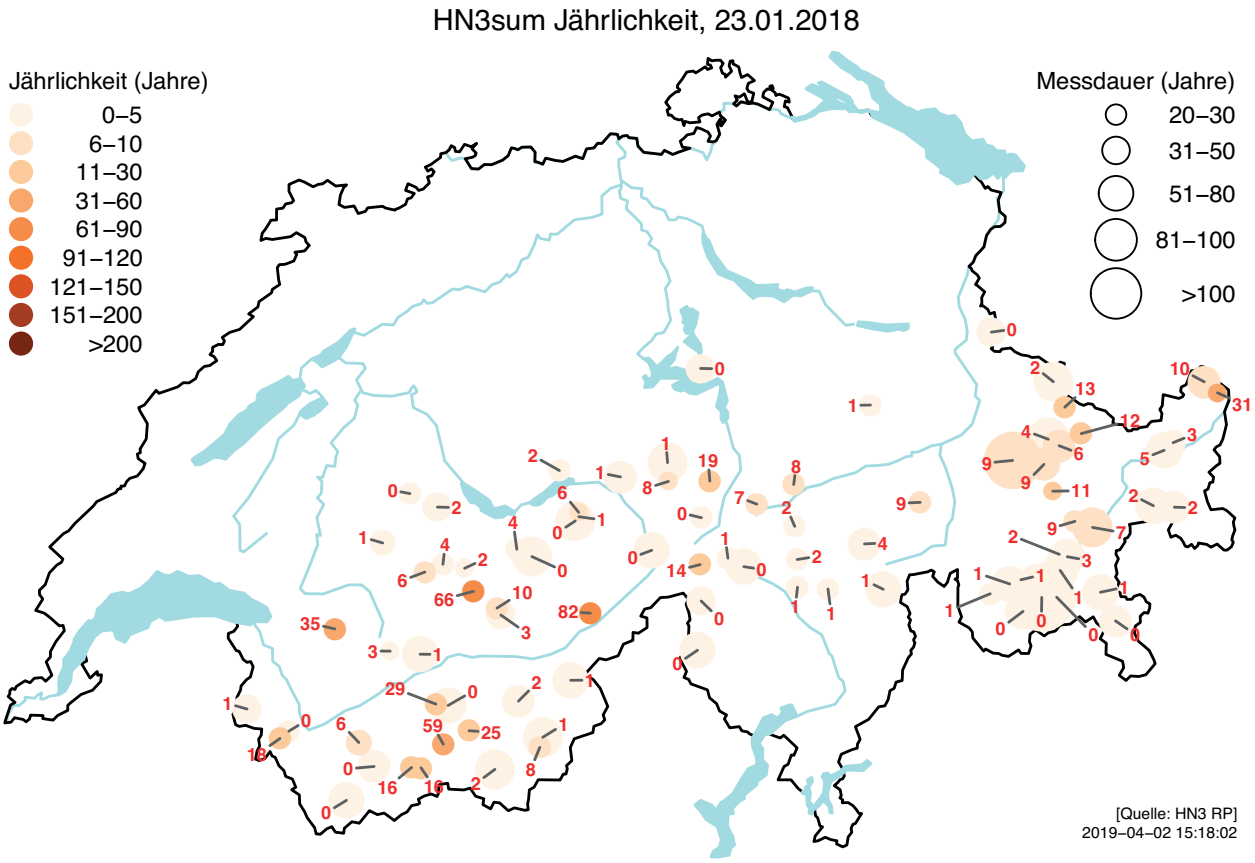


Abb. 16: Jährlichkeit (rote Zahl) der 3-Tages-Neuschneesumme am 23. Januar 2018 an manuellen und automatischen Stationen oberhalb 1500 m ü. M. Je dunkler die Kreise, desto grösser die Jährlichkeit. Je grösser die Kreise, desto länger die zur Verfügung stehende Messreihe.

ge Stationen in dieser Höhenzone gibt es nur gerade 8, wovon alle ausser Weissfluhjoch erst seit etwa 30 Jahren operationell sind. Der Einfluss der Länge der Messreihe auf die Jährlichkeiten wird am Beispiel der 25-Tages-Neuschneesumme gezeigt (Abb. 20).

Fehlerhafte Inputdaten oder Lawinenabgänge auf die Stationen können dazu führen, dass an IMIS-Stationen falsche Neuschneemengen berechnet werden. Deshalb wurden Perioden mit bekannten Lawinenabgängen oder offensichtlich falschen Extremwerten von der Analyse ausgeschlossen. Trotzdem zeigt die Erfahrung, dass fehlerhafte Extremwerte im «normalen» Bereich manchmal nicht als solche erkannt werden. Solche falschen jährlichen Extremwerte können an IMIS-Stationen zu einer Unterschätzung der Jährlichkeiten führen. Häufig treten Extremwerte während Sturmperioden auf, so auch im Januar 2018. Dabei kann der Wind die Werte auf die eine oder andere Weise beeinflussen. So kann die Schneehöhe zum Beispiel trotz starken Schneefalls abnehmen, weil gleichzeitig die Winderosion grösser ist.

7-Tages-Neuschneesumme am 23. Januar 2018

Insgesamt fielen in dieser einwöchigen Niederschlagsperiode bis am Dienstagmorgen, 23. Januar, oberhalb von rund 2200 m ü. M. folgende Schneemengen (Abb. 17):

– Wallis, nördlicher Alpenkamm und Graubünden von Arosa bis ins Samnaun: 2 bis 3 m, im nördlichen Unterwallis und den Glarner Alpen teils noch mehr
– übrige Gebiete: verbreitet 1 bis 2 m, gegen Süden weniger

Mit 2 bis 3 m sind die gemessenen 7-Tages-Neuschneesummen (Summe des täglich um 8 Uhr gemessenen oder berechneten Neuschnees) aussergewöhnlich. In den sonst eher nieder-

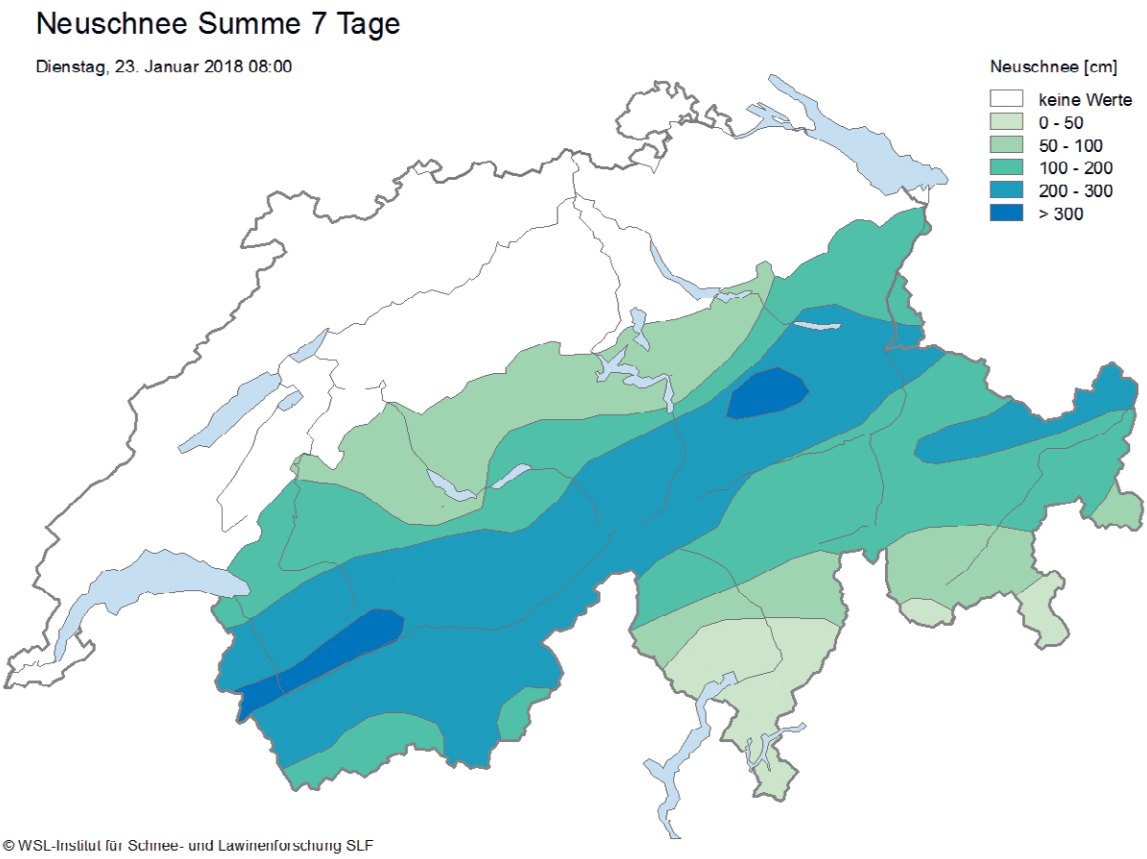


Abb. 17: 7-Tages-Neuschneesumme vom 17. bis 23. Januar 2018 oberhalb von rund 2200 m ü. M., interpoliert aus den um 08:00 Uhr an den manuellen Messfeldern gemessenen und an den automatischen IMIS-Stationen berechneten Neuschneewerten.

schlagsarmen Gebieten des Wallis und Graubündens kommen diese Mengen vielfach nur alle 15 bis 30 Jahre vor. Die grössten Jährlichkeiten (> 40 Jahre) zeigen sich an einzelnen Stationen im Wallis oberhalb 2000 m ü. M. (Abb. 18). Verschiedene Stationen erreichten am 23. Januar 2018 neue Rekordwerte der 7-Tages-Neuschneesummen (Tab.1):

Tab. 1: Stationen mit neuen Rekorden der 7-Tages-Neuschneesumme am 23. Januar 2018.

Station	Kanton	Höhe	7-Tages-Neuschneesumme	Anzahl Messjahre
CHA2, Chaussy	VD	2218 m	361 cm	21
FNH2, Finhaut	VS	2252 m	411 cm	21
ANV2, Orzival	VS	2640 m	277 cm	21
ARO3, Arolla	VS	2602 m	174 cm	22
VDS2, Vallée de la Sionne	VS	2385 m	369 cm	20
4KU, Kühboden	VS	2210 m	230 cm	30
4EG, Egginer	VS	2645 m	240 cm	26
BED2, Bedretto	TI	2540 m	436 cm	22
5AR, Arosa	GR	1845 m	207 cm	65
5IG, Innerglas	GR	1820 m	140 cm	26
VIN2, Vinadi	GR	2729 m	251 cm	20

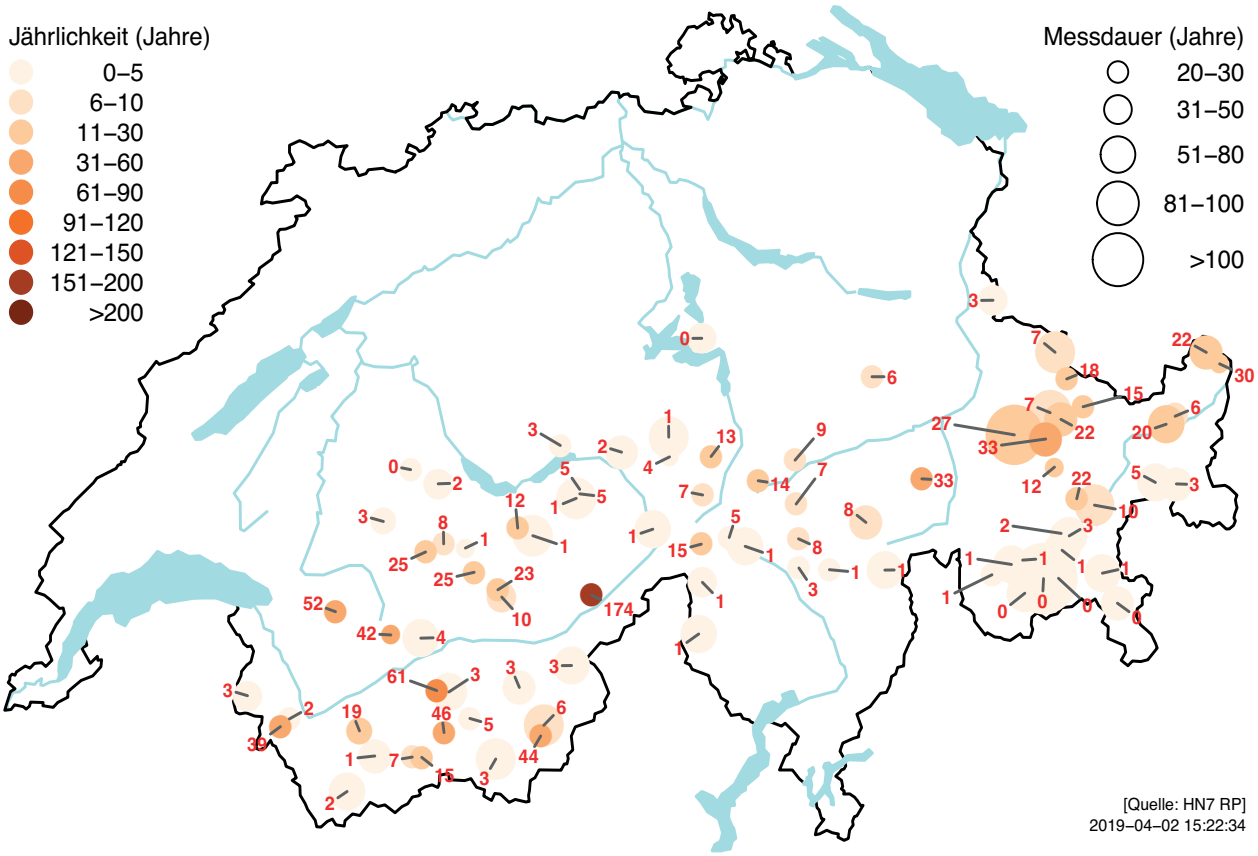


Abb. 18: Jährlichkeit (rote Zahl) der 7-Tages-Neuschneesumme am 23. Januar 2018 an manuellen und automatischen Stationen oberhalb 1500 m ü. M. Je dunkler die Kreise, desto grösser die Jährlichkeit. Je grösser die Kreise, desto länger die zur Verfügung stehende Messreihe.

25-Tages-Neuschneesumme am 23. Januar 2018

Bereits vor dem 15. Januar gab es vor allem im südlichen Wallis, im Oberwallis und im nordwestlichen Tessin grössere Schneefälle, und zwar vom 28. Dezember bis zum 5. Januar und vom 8. bis 10. Januar, was bis zum 23. Januar eine Neuschneesumme über 27 Tage ergäbe. Im Folgenden fokussieren wir aber auf die 25-Tages-Neuschneesumme, weil das besonders betroffene Gebiet der Vispertäler die grössten Jährlichkeiten über 25 Tage zeigt, und die Unterschiede in der Jährlichkeit sonst nur klein sind.

Ab dem 30. Dezember summierten sich innerhalb von 25 Tagen oberhalb von rund 2200 m ü. M. folgende Neuschneemengen (Abb. 19):

- Wallis und westliche Teile des Gotthardgebiets: 4 bis 5 m, im nördlichen Unterwallis, am Oberwalliser Alpenhauptkamm und im Bedretto teils mehr
- übrige Gebiete des nördlichen Alpenkamms und des nordwestlichen Tessins, Nordbünden und nördliches Unterengadin: 3 bis 4 m
- übrige Gebiete: verbreitet 2 bis 3 m

Verschiedene Stationen erreichten am 23. Januar 2018 neue Rekordwerte der 25-Tages-Neuschneesumme (Tab. 2). Die Station Triftchumme (ZER2) mass ebenfalls sehr hohe Werte, wurde aber am 4. Januar von einer Lawine getroffen, so dass dort keine verlässliche Auswertung möglich ist.

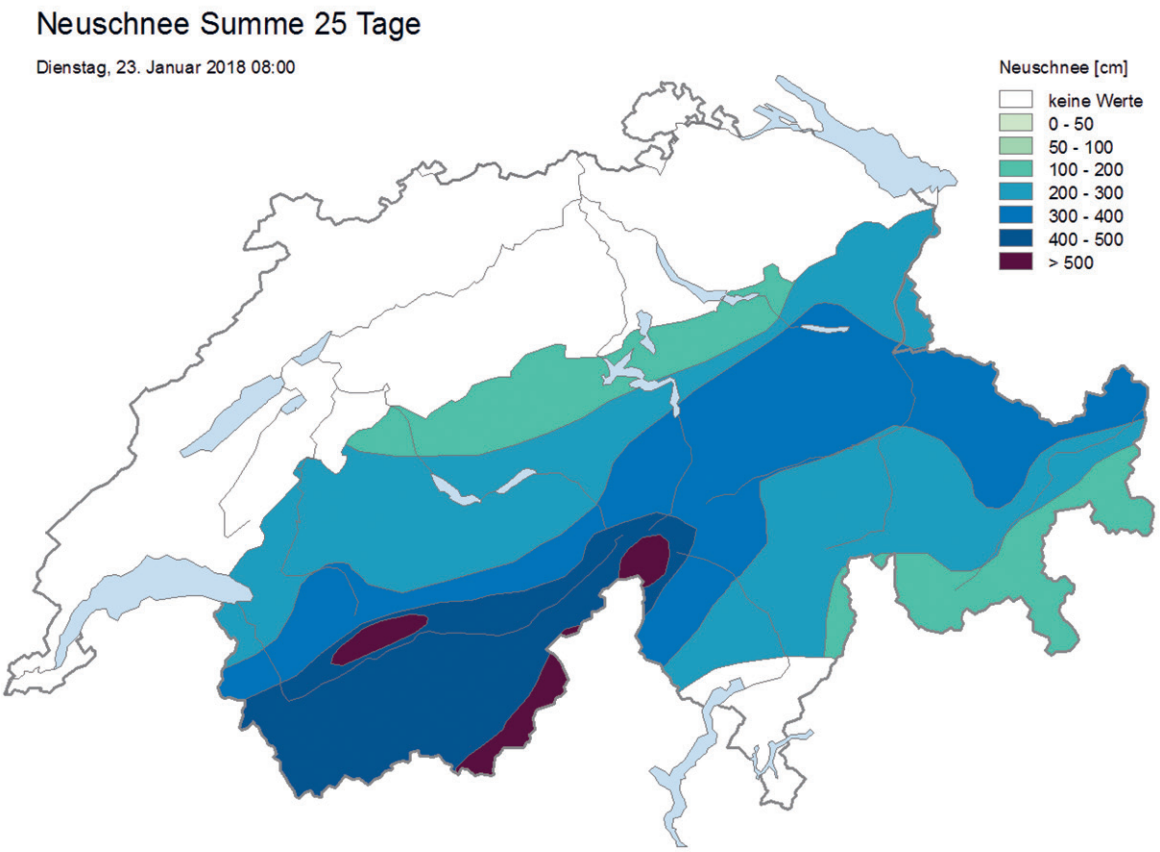


Abb. 19: 25-Tages-Neuschneesumme vom 31. Dezember bis 23. Januar 2018 oberhalb von rund 2200 m ü. M., interpoliert aus den um 08:00 Uhr an den manuellen Messfeldern gemessenen und an den automatischen IMIS-Stationen berechneten Neuschneewerten.

Tab. 2: Stationen mit neuen Rekorden der 25-Tages-Neuschneesumme am 23. Januar 2018.

Station	Kanton	Höhe	25-Tages- Neuschneesumme	Anzahl Messjahre
FNH2, Finhaut	VS	2252 m	739 cm	21
ANV2, Orzival	VS	2640 m	513 cm	21
ANV3, Anniviers	VS	2589 m	259 cm	21
ARO3, Arolla	VS	2602 m	407 cm	22
4AO, Arolla	VS	2070 m	255 cm	28
VDS2, Vallée de la Sionne	VS	2385 m	670 cm	20
4KU, Kühboden	VS	2210 m	418 cm	30
4ZE, Zermatt	VS	1600 m	255 cm	73
4EG, Egginer	VS	2645 m	539 cm	26
SAA3, Mälliga	VS	2950 m	431 cm	22
VIN2, Vinadi	GR	2729 m	425 cm	20

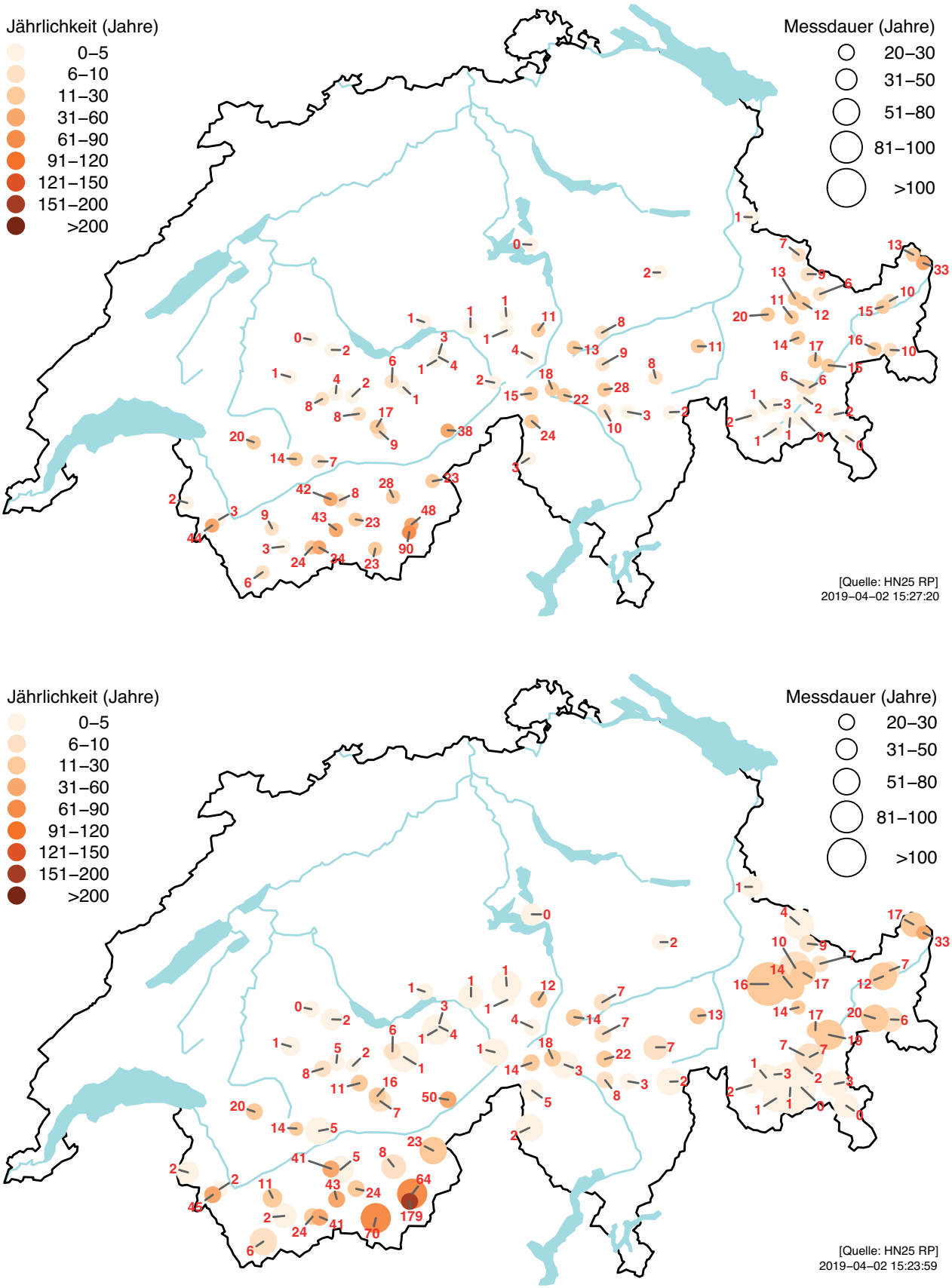


Abb. 20: Jährlichkeit (rote Zahl) der 25-Tages-Neuschneesumme vom 30. Dezember bis 23. Januar 2018 an manuellen und automatischen Stationen oberhalb 1500 m ü. M. Oben bei Verwendung der vollständigen Messreihen, unten bei Berücksichtigung nur der letzten 20 Messjahre. Je dunkler die Kreise, desto grösser die Jährlichkeit. Je grösser die Kreise, desto länger die zur Verfügung stehende Messreihe.

Eine Analyse der Stationen mit mindestens 20 Jahren Messdauer zeigt für die 25-Tages-Neuschneesummen folgende Jährlichkeiten (Abb. 20, oben):
– Tallagen der hinteren Vispertäler: etwa 70 Jahre
– übriges Wallis: 10 bis 40 Jahre
– Gotthardgebiet und nördliches Graubünden: 15 bis 25 Jahre

Um den Einfluss der Datenreihenlänge auf die Jährlichkeit zu zeigen, wird in Abbildung 20 (unten) dieselbe Analyse gezeigt, wenn bei allen Stationen jeweils nur die Daten der letzten 20 Jahre (1999–2018) verwendet werden. Damit werden die Unterschiede zwischen den Stationen kleiner. Vor allem die grossen Jährlichkeiten an den Stationen Zermatt und Saas Fee, wo seit rund 70 Jahren gemessen wird, nehmen um rund die Hälfte auf nur noch 25 bis 40 Jahre ab. Grund der Abnahme ist, dass die Einzigartigkeit der Rekordwerte vom Januar 2018 in den kürzeren Reihen weniger stark zu Tage tritt. Es gibt aber auch den umgekehrten Fall, dass die Jährlichkeit zunimmt. In Grächen mit seiner 50-jährigen Messreihe zum Beispiel von 8 auf 28 Jahre. In diesem Fall liegt 2018 auf Rang 8, und die 7 schneereicheren Winter traten alle vor 1999 auf.

Vergleich mit früheren Lawinenperioden bei Nordweststaulagen

Wie aussergewöhnlich war die Lawinenperiode vom 21. bis 23. Januar 2018? Diese Frage kann nicht pauschal, sondern nur für einzelne Parameter beantwortet werden. Dabei muss zwischen Schneefallereignissen und Lawinenabgängen unterschieden werden.

In der Ereignisanalyse zum Lawinenwinter 1999 wurde untersucht, welche Wetterlagen bis dahin zu grösseren Lawinenereignissen geführt hatten. Dabei zeigte sich, dass im Norden Perioden hoher Lawinenaktivität (mit mehr als 20 Schadenlawinen) vorwiegend bei Nordweststaulagen auftraten. Eine solche herrschte auch während der Hauptphase der hier beschriebenen Lawinenperiode um den 22. Januar. Im folgenden Vergleich beschränken wir uns deshalb auf von Nordweststaulagen verursachte Lawinenperioden. Die Daten wurden der Ereignisanalyse zum Lawinenwinter 1999 entnommen.

Für den Januar 2018 wurden die Neuschneesummen über 3 Tage (Abb. 15), 7 Tage (Abb. 17) sowie 25 und 27 Tage (Abb. 19 und 28) dargestellt. Karten mit den Schadenlawinen finden sich in Abb. 67 bis 69. Ein Vergleich mit früheren Lawinenperioden (Abb. 21 bis 27) zeigt Folgendes:
– Die 3-Tages-Neuschneesumme war mit gebietsweise gut 150 cm vergleichsweise bescheiden. Mit gebietsweise 300 cm wurden über 7 Tage aber sehr wohl Werte erreicht, die mit bedeutenden Lawinenwintern vergleichbar sind, zum Beispiel mit 1950/51. Allerdings fiel im Januar 2018 erst in hohen Lagen der gesamte Niederschlag als Schnee.
– Bei den untersuchten Lawinenperioden waren bisher am Alpennordhang stets grössere Schneemengen gefallen als im Wallis. 2018 wurden im Wallis vor allem bei der 7-Tages-Neuschneesumme mitunter die höchsten Werte erreicht. Der Grund dürfte in der zeitweiligen Westlage liegen, wie sie zu Beginn des 7-tägigen Ereignisses teilweise herrschte (2.1.1).
– Die 25- und 27-Tages-Neuschneesumme setzt sich aus ganz unterschiedlichen Wetterlagen zusammen. Dabei brachten insbesondere auch Westlagen und eine Südostanströmung um den 9. Januar bedeutende Niederschläge. Daraus resultierten eine unüblich hohe Belastung des Wallis, aber keine extremen Werte am Alpennordhang.
– Mit rund 141 Schadenlawinen (Kenntnisstand Januar 2019) gehören die Tage des 21. bis 23. Januars 2018 zu den weniger intensiven der hier untersuchten Lawinenperioden. Insbesondere das Schadensausmass lag weit hinter den bedeutenden Lawinenwintern 1951, 1968, 1984 und 1999 zurück. Gründe dürften die nicht allzu schwach Schneedecke, der feuchte Schnee in mittleren Lagen, der wenige Schnee unterhalb von rund 1300 m ü.M. und die seit den früheren Lawinenwintern ergriffenen Schutzmassnahmen sein.
– 1999 war ausser in den Vispertälern ein klar grösseres Niederschlags- und Lawinenereignis. Es wird im nächsten Abschnitt beschrieben. Dabei wird die ganze, fast einen Monat andauernde Periode berücksichtigt.

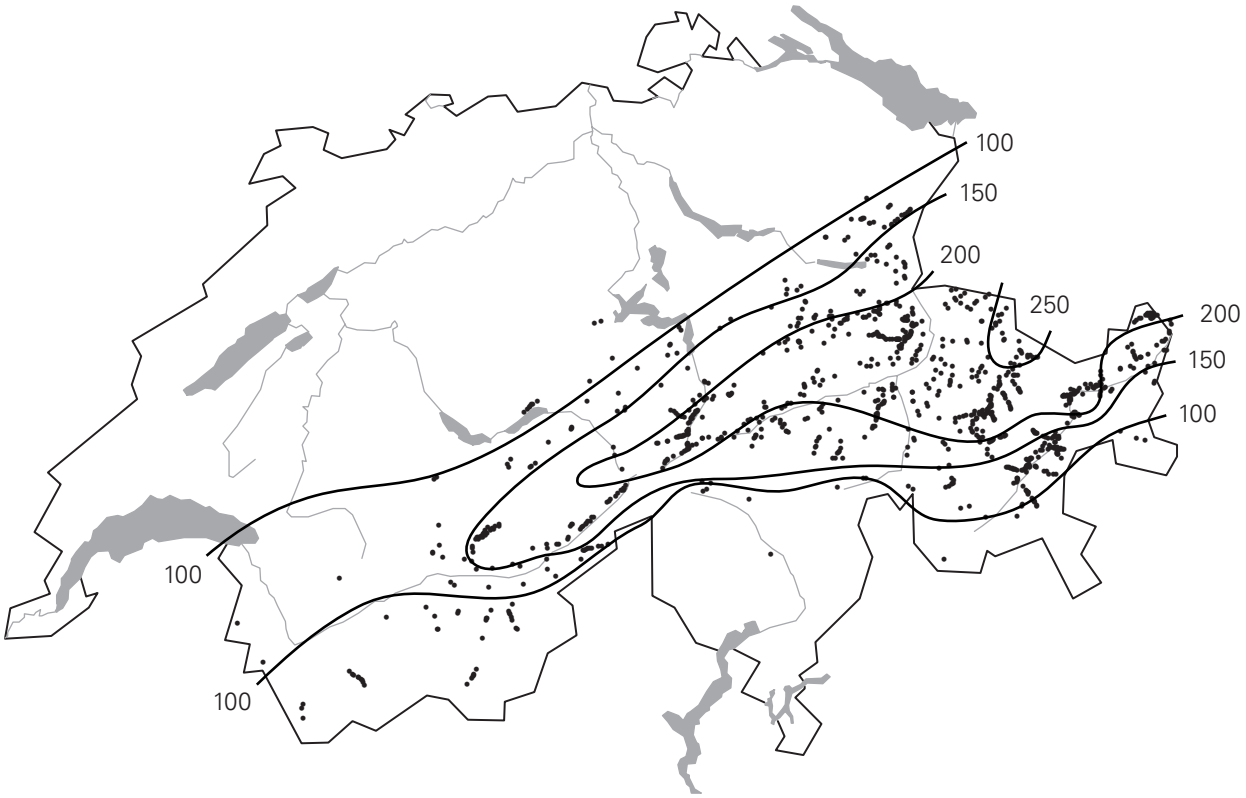


Abb. 21: 6-Tages-Neuschneesumme am 22. Januar 1951 (Isolinien, in cm) und Schadenlawinen aus dieser Zeit (schwarze Punkte, über 1000).

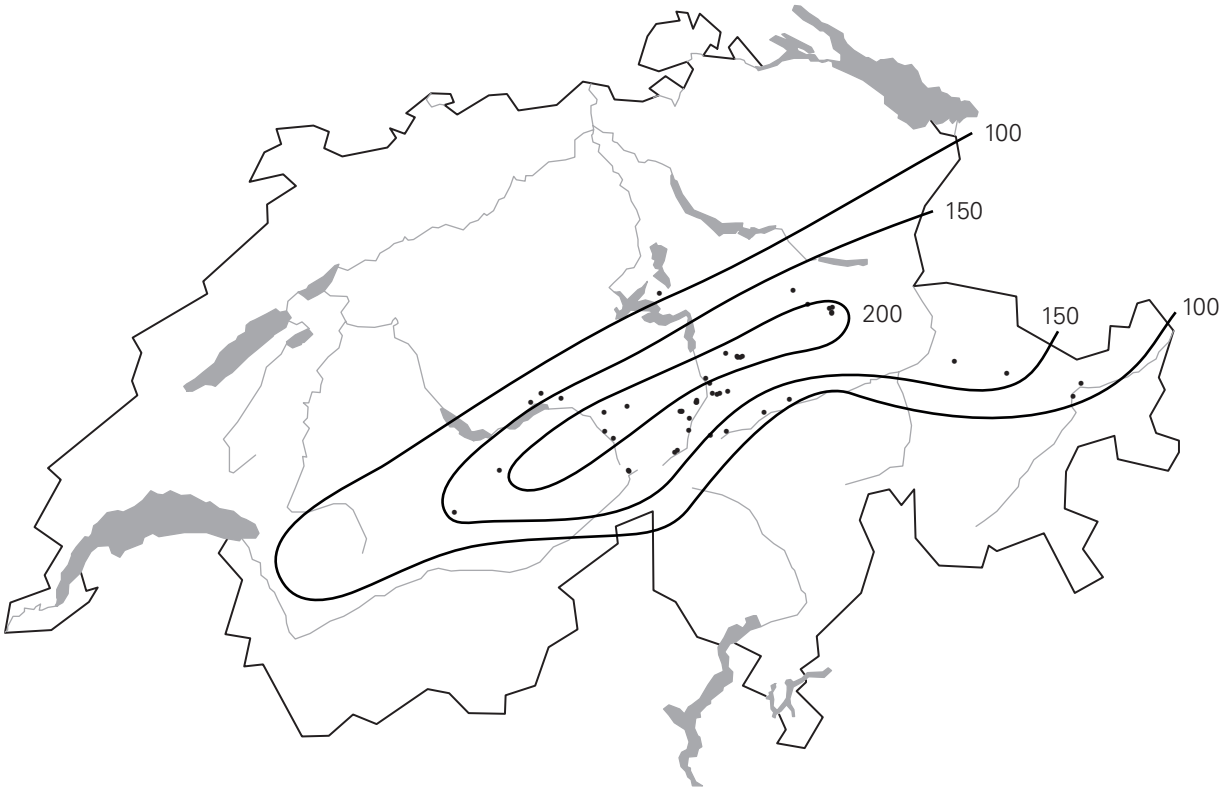


Abb. 22: 5-Tages-Neuschneesumme am 21. März 1967 (Isolinien, in cm) und Schadenlawinen vom 20. bis 22. März 1967 (schwarze Punkte, 47).



Abb. 23: 3-Tages-Neuschneesumme am 27. Januar 1968 (Isolinien, in cm) und Schadenlawinen am 26./27. Januar (schwarze Punkte, fast 250).

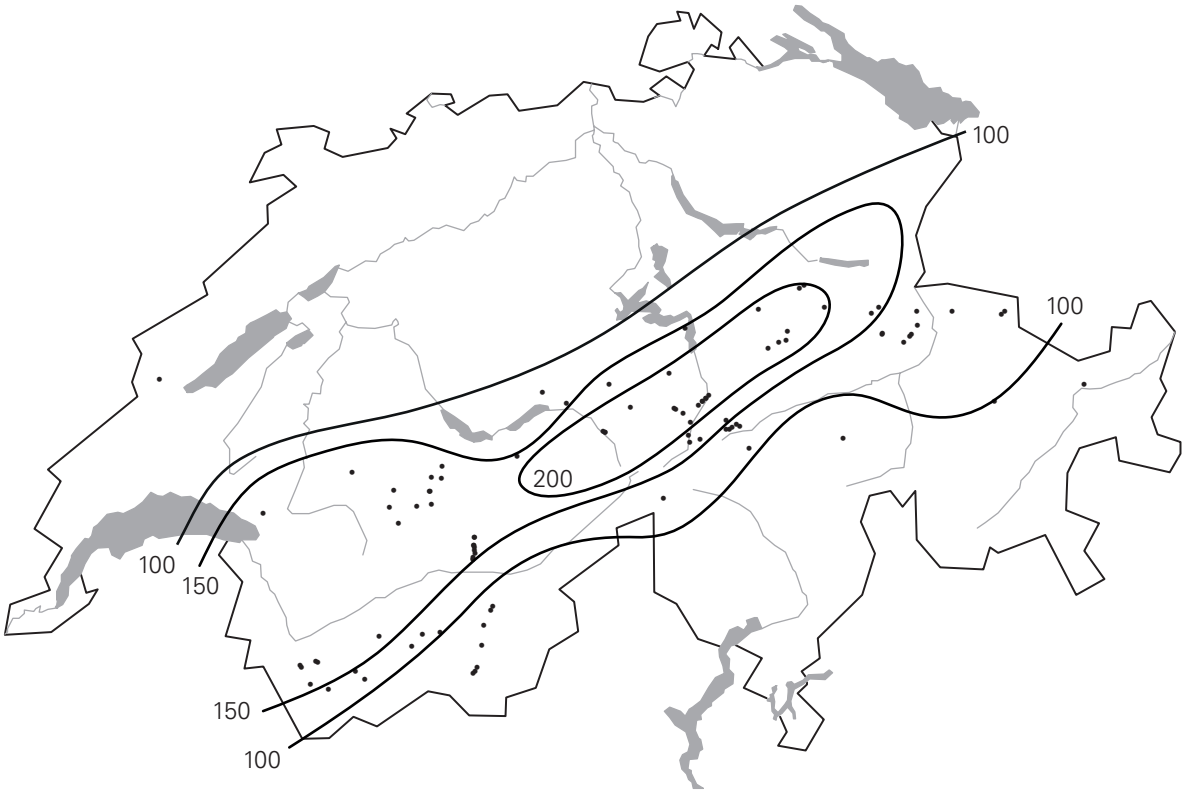


Abb. 24: 9-Tages-Neuschneesumme am 21. Januar 1981 (Isolinien, in cm) und Schadenlawinen vom 15. bis 22. Januar (schwarze Punkte, 100).

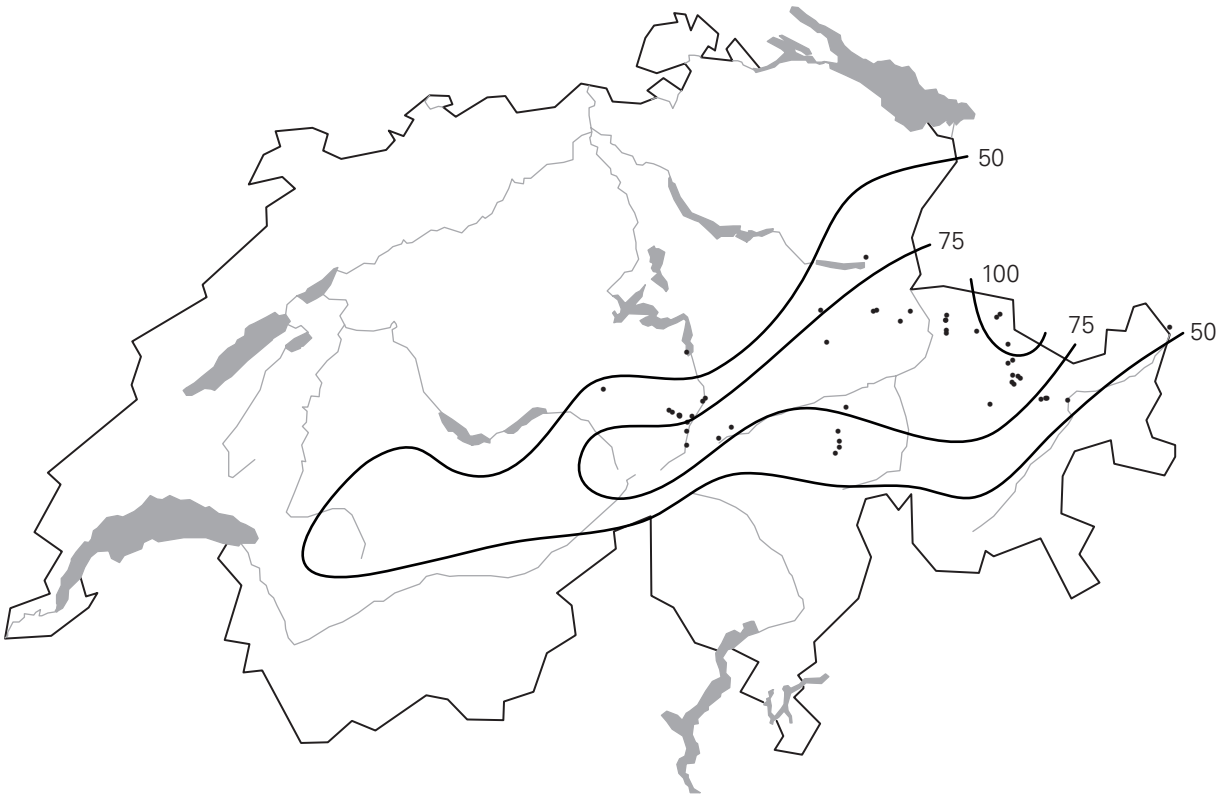


Abb. 25: 1-Tages-Neuschneesumme am 30. Januar 1982 (Isolinien, in cm) und Schadenlawinen am 29./30. Januar (schwarze Punkte, 54).

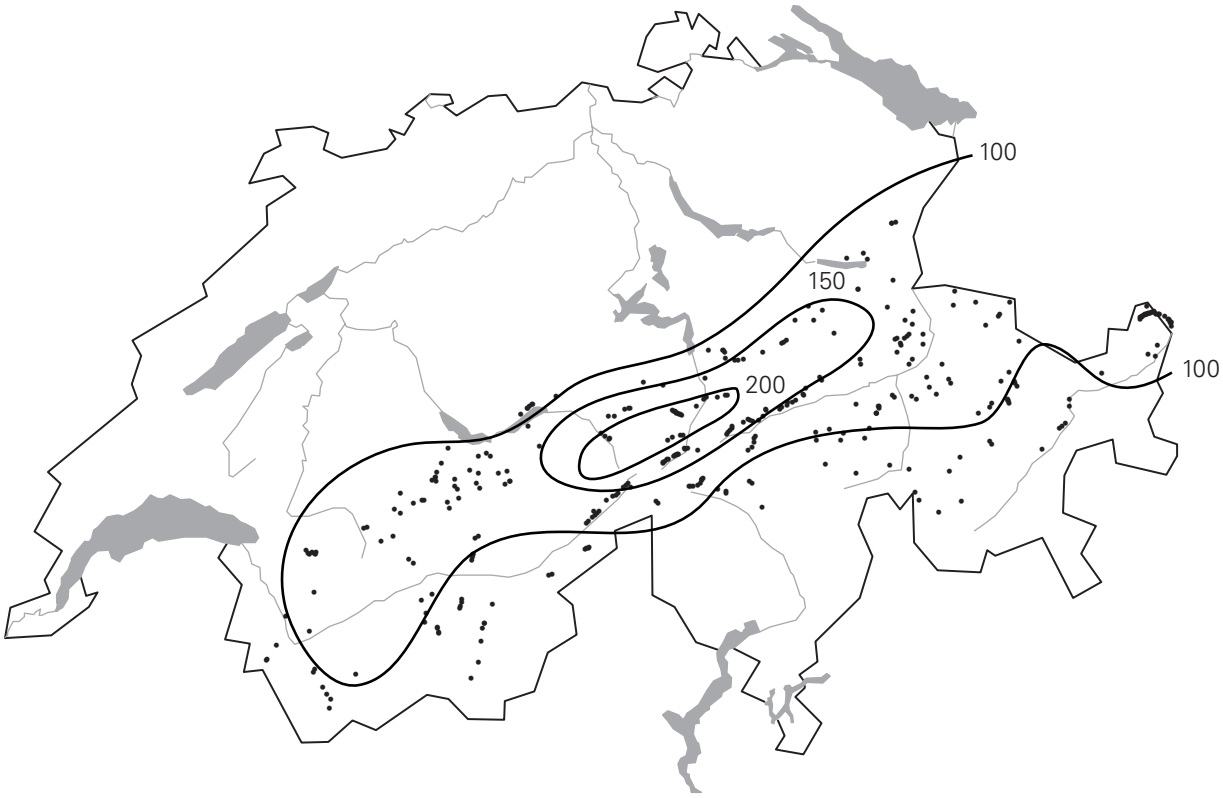


Abb. 26: 4-Tages-Neuschneesumme am 10. Februar 1984 (Isolinien, in cm) und Schadenlawinen vom 8. bis 10. Februar (schwarze Punkte, über 350).

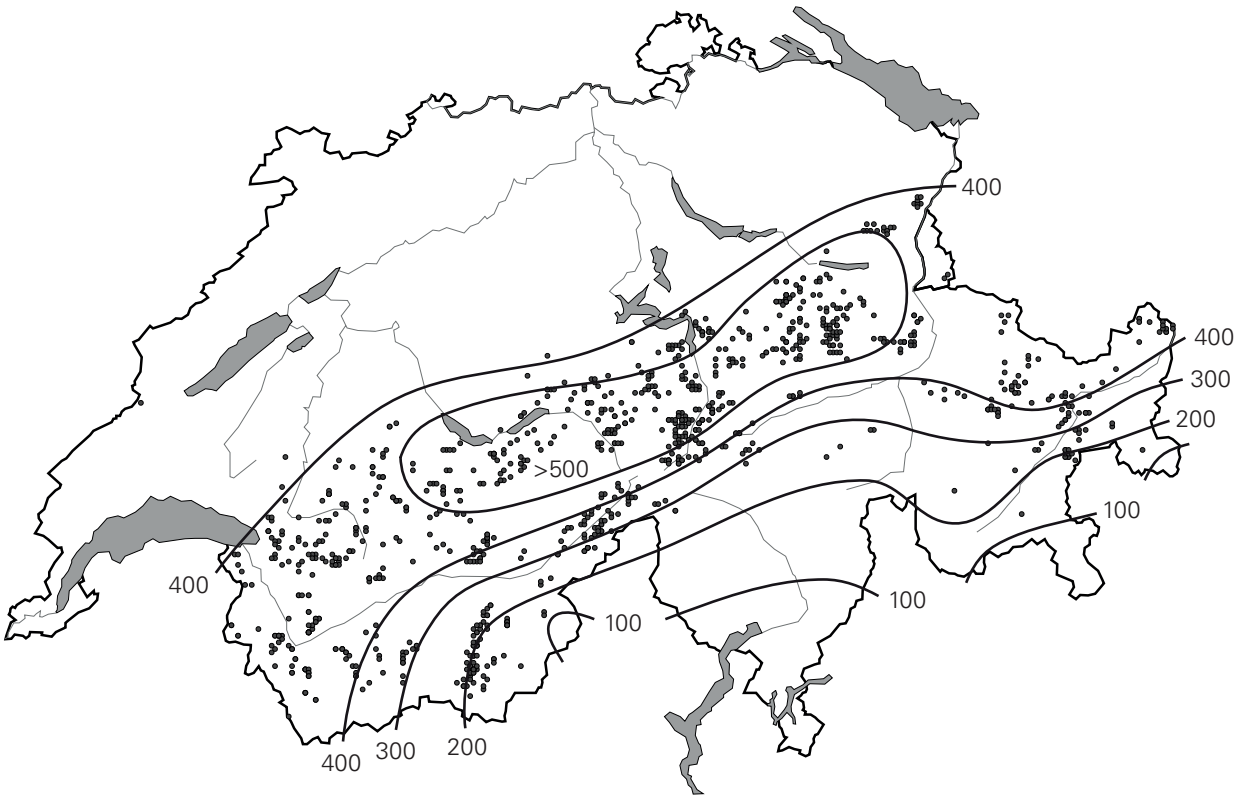


Abb. 27: 30-Tages-Neuschneesumme am 25. Februar 1999 oberhalb von rund 1500 m ü. M. (Isolinien, in cm) und die im Oktober 1999 bekannten Schadenlawinen aus dieser Zeit (schwarze Punkte, etwa 1000).

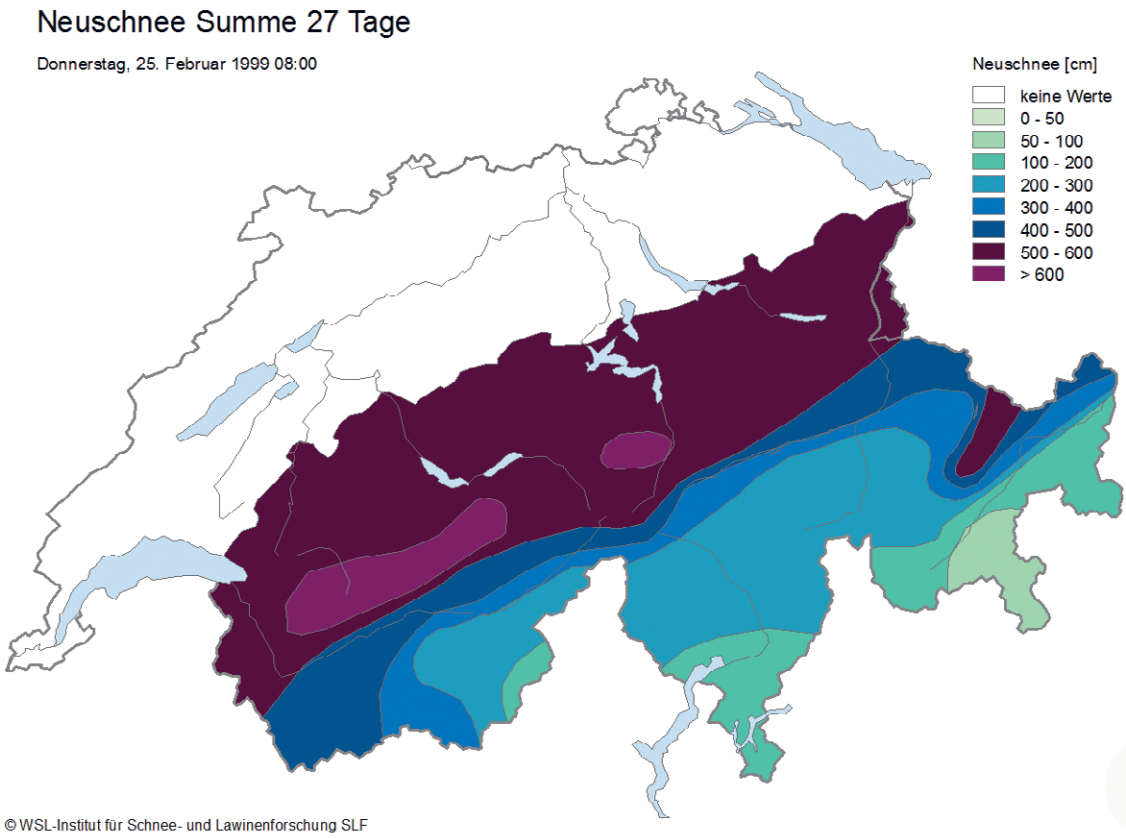
2.3.4.3 Vergleich mit dem Februar 1999

Auch 1998/99, im letzten bedeutenden Lawinenwinter, folgten kurz hintereinander drei Niederschlagsperioden (SLF 2000). Dabei waren 1998/99 die Pausen zwischen den Schneefallperioden kürzer, so dass sich damals die Schneedecke zwischenzeitlich weniger stabilisieren konnte. Wie im Winter 2017/18 war auch 1998/99 die letzte der drei Niederschlagsperioden die intensivste. Sie hatte in den niederschlagsreichsten Regionen in 9 Tagen Neuschneesummen zwischen 2,5 und 3,5 m gebracht. Allerdings wurden diese maximalen Werte damals am gewöhnlich eher niederschlagsreichen Alpennordhang gemessen. Die maximalen Neuschneesummen der letzten Niederschlagsperiode im Februar 1999 waren damit klar grösser als die vom 16. bis 23. Januar 2018.

Für den Lawinenwinter 1999 relevant war die 30-Tages-Neuschneesumme über alle drei Niederschlagsperioden. Am höchsten war diese am Alpennordhang mit 5,5 bis 7,5 m, was einer Jährlichkeit von gegen 80 bis 100 Jahren entspricht (SLF 2000).

Im Winter 2017/18 dauerte das gesamte Ereignis über die ganze Schweiz gesehen 27 Tage. Deshalb wurde für einen Vergleich auch die grösste 27-Tages-Neuschneesumme des Winters 1999 bestimmt, ebenfalls oberhalb von rund 2000 m ü. M. (Abb. 28). Für den Februar 1999 betrachten wir die 27-Tages-Neuschneesume vom 30. Januar bis 25. Februar; sie zeigt Folgendes:

– Am meisten Schnee fiel 1998/99 am Alpennordhang und im nördlichen Unterwallis mit 5 bis 7 m in 27 Tagen. Dies war deutlich mehr als im Winter 2017/18 mit gebietsweise 3 bis 4 m.
– Im Winter 2017/18 fielen im Oberwallis 4 bis 5 m Schnee, entlang des Alpenhauptkammes teils noch mehr. Dies war deutlich mehr als 1998/99 mit 2 bis 4 m.
– In Nordbünden fielen 1998/99 verbreitet 4 bis 5 m Schnee, im Winter 2017/18 nur 2 bis 4 m.



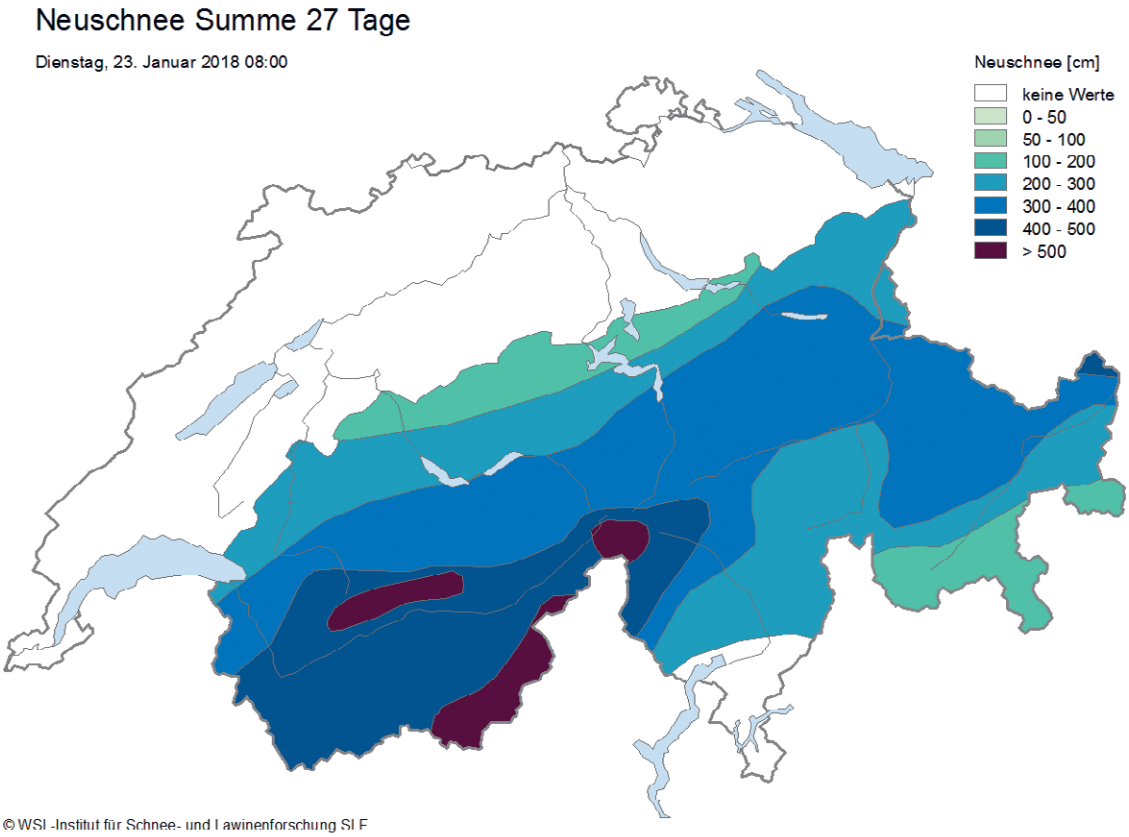


Abb. 28: 27-Tages-Neuschneesumme oberhalb von rund 2000 m ü. M., interpoliert aus den um 08:00 Uhr an den manuellen Messfeldern gemessenen und an den automatischen IMIS-Stationen berechneten Neuschneewerten. Oben: für den 25. Februar 1999. Unten: für den 23. Januar 2018.

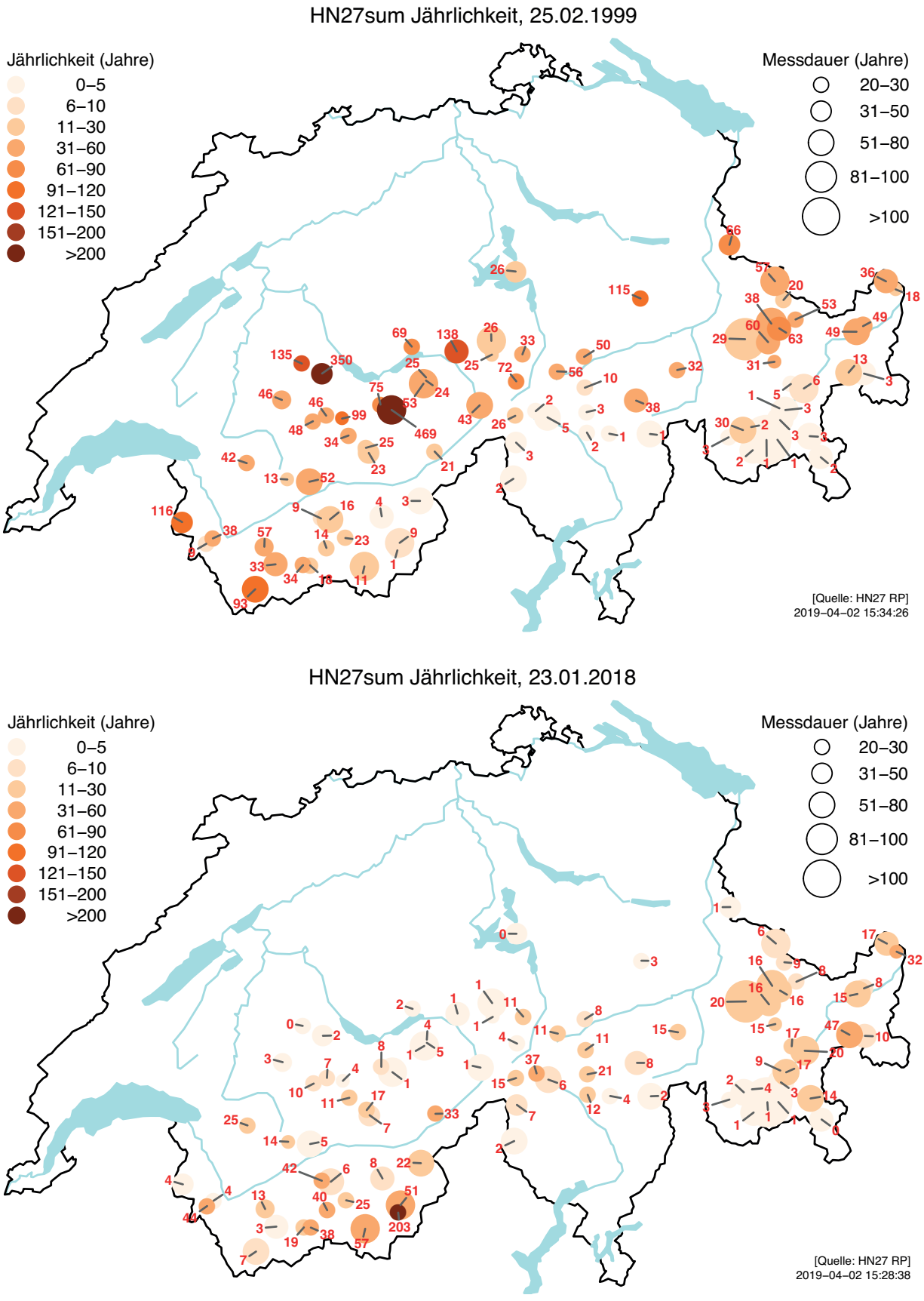


Abb. 29: Jährlichkeit (rote Zahl) der 27-Tages-Neuschneesumme an manuellen und automatischen Stationen oberhalb 1500 m ü. M. Oben: 25. Februar 1999. Unten: 23. Januar 2018. Je dunkler die Kreise, desto grösser die Jährlichkeit. Je grösser die Kreise, desto länger die zur Verfügung stehende Messreihe.

Ein Vergleich der entsprechenden Jährlichkeiten für die 27-Tages-Neuschneesumme in den beiden Wintern zeigt klar grössere Jährlichkeiten im 1999 vor allem am Alpennordhang und in Nordbünden (Abb. 29). Die einzige Region mit massiv grösseren Jährlichkeiten im 2018 sind die hinteren Vispertäler, die im 1999 nur relativ wenig Niederschlag erhielten. Es gilt zu beachten, dass Jährlichkeiten von mehr als 150 Jahren nicht zu stark zu werten sind, da methodenbedingt Jährlichkeiten grösser als die dreifache Länge der Datenreihe grosse Unsicherheiten aufweisen.

2.2 Schneehöhenverlauf

2.2.1 Schneehöhe am 15. Januar 2018

Nach einem frühen Winterstart und wiederholten Schneefällen im November und Dezember waren die Schneehöhen bereits Ende Dezember in der Höhe überdurchschnittlich. Vom 30. Dezember bis am 9. Januar fiel verbreitet viel Niederschlag. Im Norden stieg die Schneefallgrenze mehrmals auf etwa 2000 m ü. M.

Mitte Januar lagen folgende Schneemengen (Abb. 30 bis 32, jeweils oben):

– auf 2500 m ü. M. verbreitet 1,5 bis 2,5 m, im Engadin 0,8 bis 1,5 m
– auf 2000 m ü. M. nördlich einer Linie Rhone–Rhein, im Gotthardgebiet sowie im Prättigau verbreitet 1,2 bis 2 m, in den übrigen Gebieten etwa 1 m
– auf 1500 m ü. M verbreitet 0,5 bis 1,2 m

Der Vergleich zum langjährigen Mittel an diesem Kalendertag (15. Januar) zeigt Folgendes (Abb. 33 bis 35, jeweils oben):

– Oberhalb von rund 2100 m ü. M. waren die Schneehöhen überall überdurchschnittlich. Im Westen und im Wallis lagen die Werte klar über dem Durchschnitt, im südlichen Wallis teils stark darüber.
– Zwischen 1600 und 2100 m ü. M. waren die Schneehöhen verbreitet leicht überdurchschnittlich, im Wallis sogar klar überdurchschnittlich.
– Zwischen 1000 und 1600 m ü. M. waren die Schneehöhen im Wallis leicht überdurchschnittlich. In den übrigen Gebieten lagen sie etwa im Durchschnitt, am Alpennordhang und im Süden teils etwas darunter.

2.2.2 Schneehöhe am 23. Januar 2018

Am Ende der Niederschlagsperiode lagen folgende Schneemengen (Abb. 30 bis 32, unten):

– Auf 2500 m ü. M. verbreitet 2 bis 3 m, in den Waadtländer Alpen, dem nördlichen Unterwallis, dem Oberwallis und in den nördlichen Teilen des zentralen und östlichen Alpennordhanges 3 bis 4 m, im nördlichen Unterwallis sogar mehr als 4 m. Am zentralen Alpensüdhang ohne nordwestliches Tessin sowie im Oberengadin und den daran angrenzenden Südtälern lag mit 1.5 bis 2 m am wenigsten Schnee.
– Auf 2000 m ü. M. nördlich einer Linie Rhone–Rhein, im westlichen Unterwallis in Teilen des südlichen Oberwallis, im Gotthardgebiet sowie im Prättigau verbreitet 2 bis 3 m, im nördlichen Unterwallis und Teilen der Glarner Alpen sogar noch mehr. In den übrigen Gebieten lagen 1 bis 2 m Schnee.
– Auf 1500 m ü. M. lagen verbreitet 1 bis 2 m Schnee, in den Glarner Alpen und im westlichen Gotthardgebiet etwas mehr.

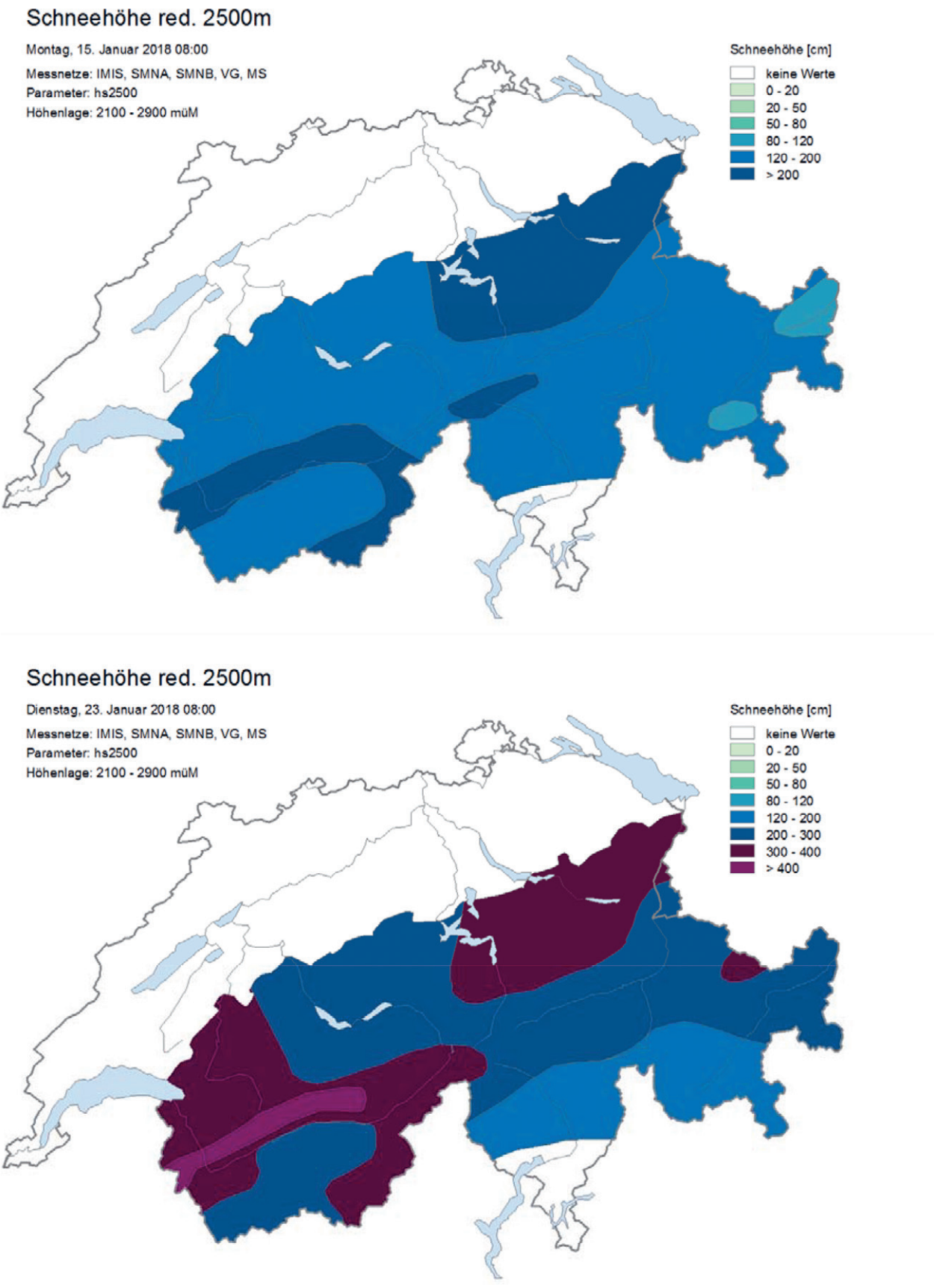


Abb. 30: Schneehöhen auf 2500 m ü. M., gemessen an den manuellen Messfeldern des SLF sowie an den automatischen IMIS-Stationen. Oben die Werte vor der Niederschlagsperiode (15. Januar 2018), unten die Werte danach (23. Januar 2018).

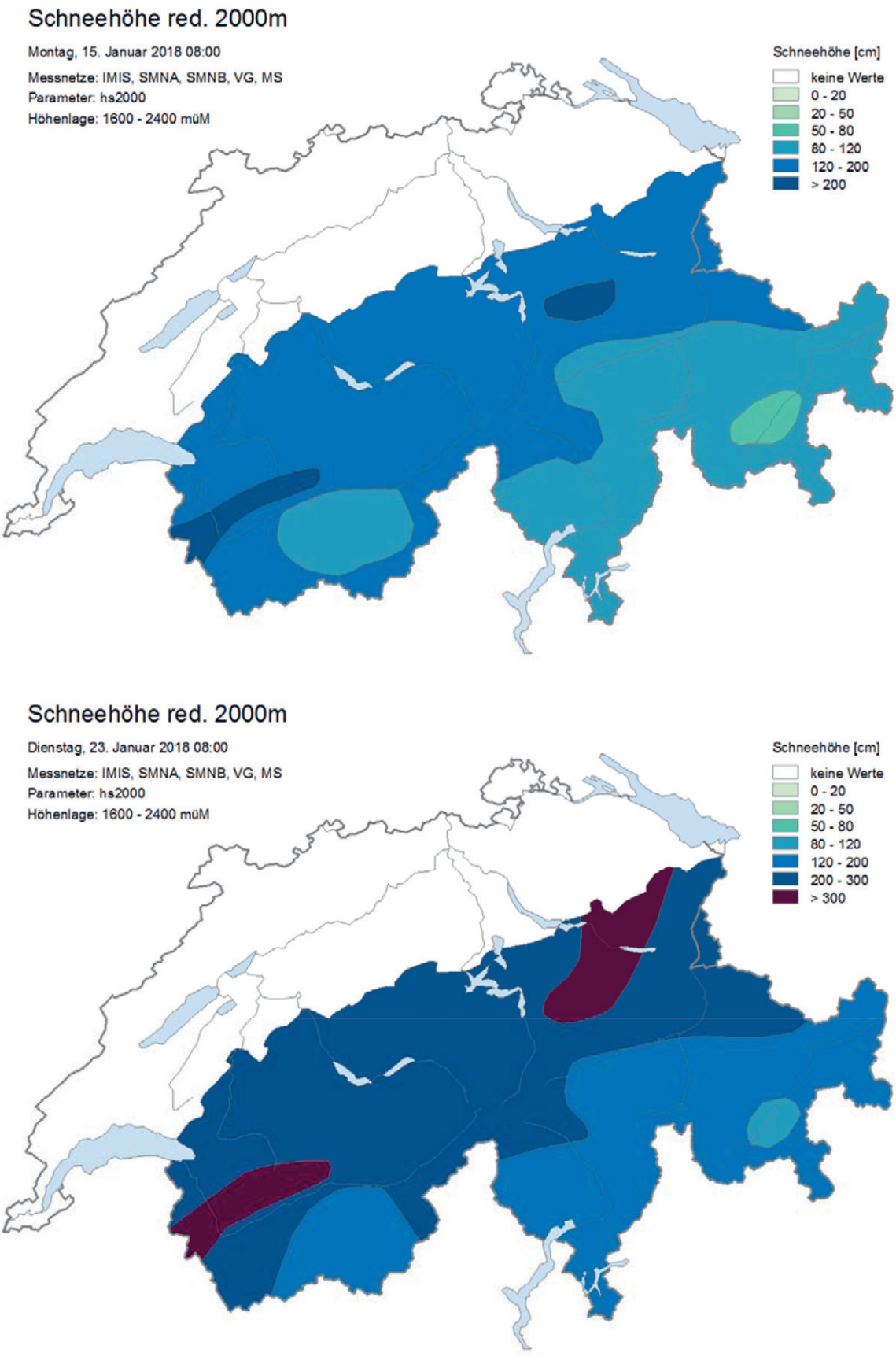


Abb. 31: Schneehöhen auf 2000 m ü. M., gemessen an den manuellen Messfeldern des SLF sowie an den automatischen IMIS-Stationen. Oben die Werte vor der Niederschlagsperiode (15. Januar 2018), unten die Werte danach (23. Januar 2018).

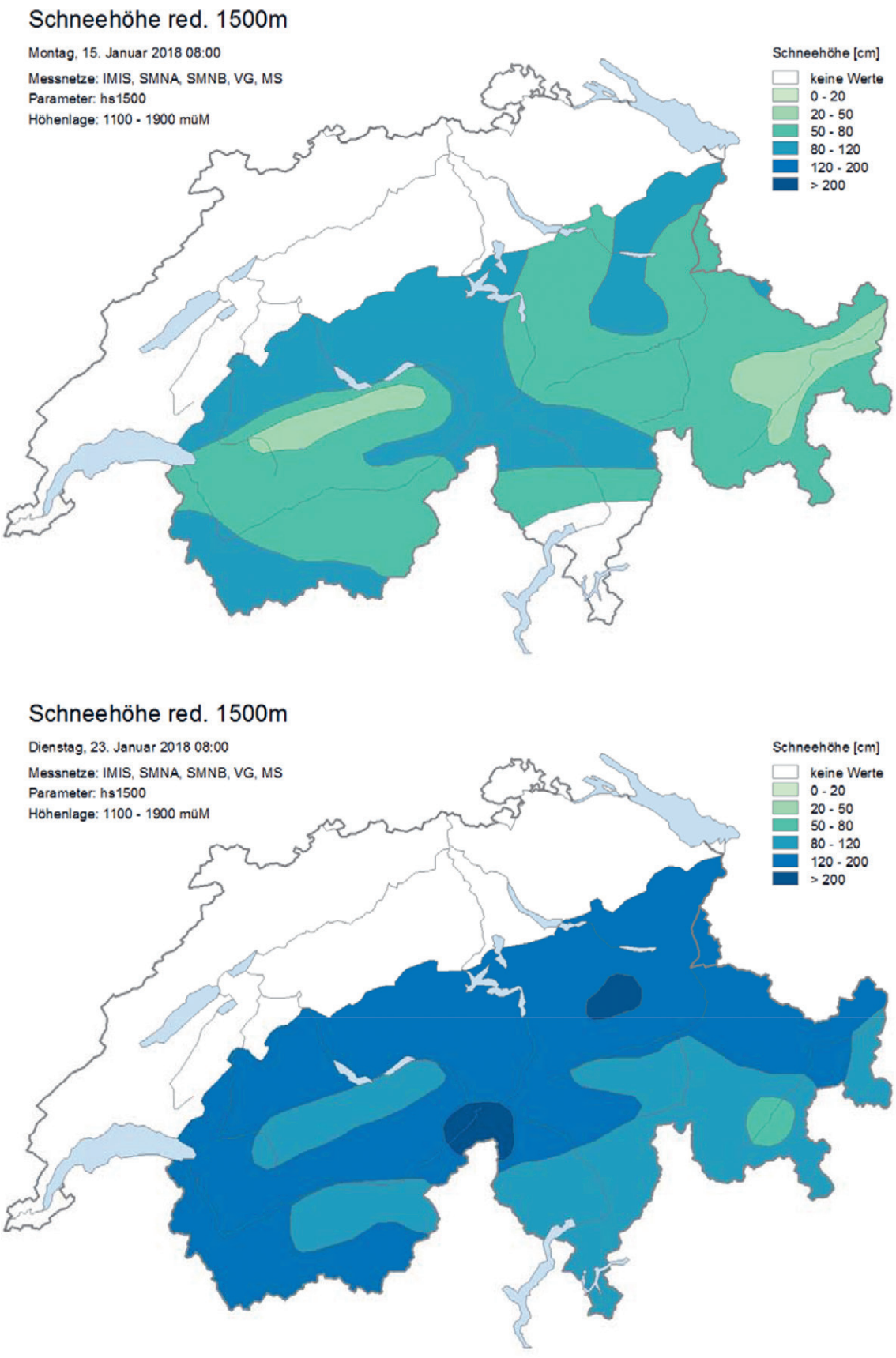


Abb. 32: Schneehöhen auf 1500 m ü. M., gemessen an den manuellen Messfeldern des SLF sowie an den automatischen IMIS-Stationen. Oben die Werte vor der Niederschlagsperiode (15. Januar 2018), unten die Werte danach (23. Januar 2018).

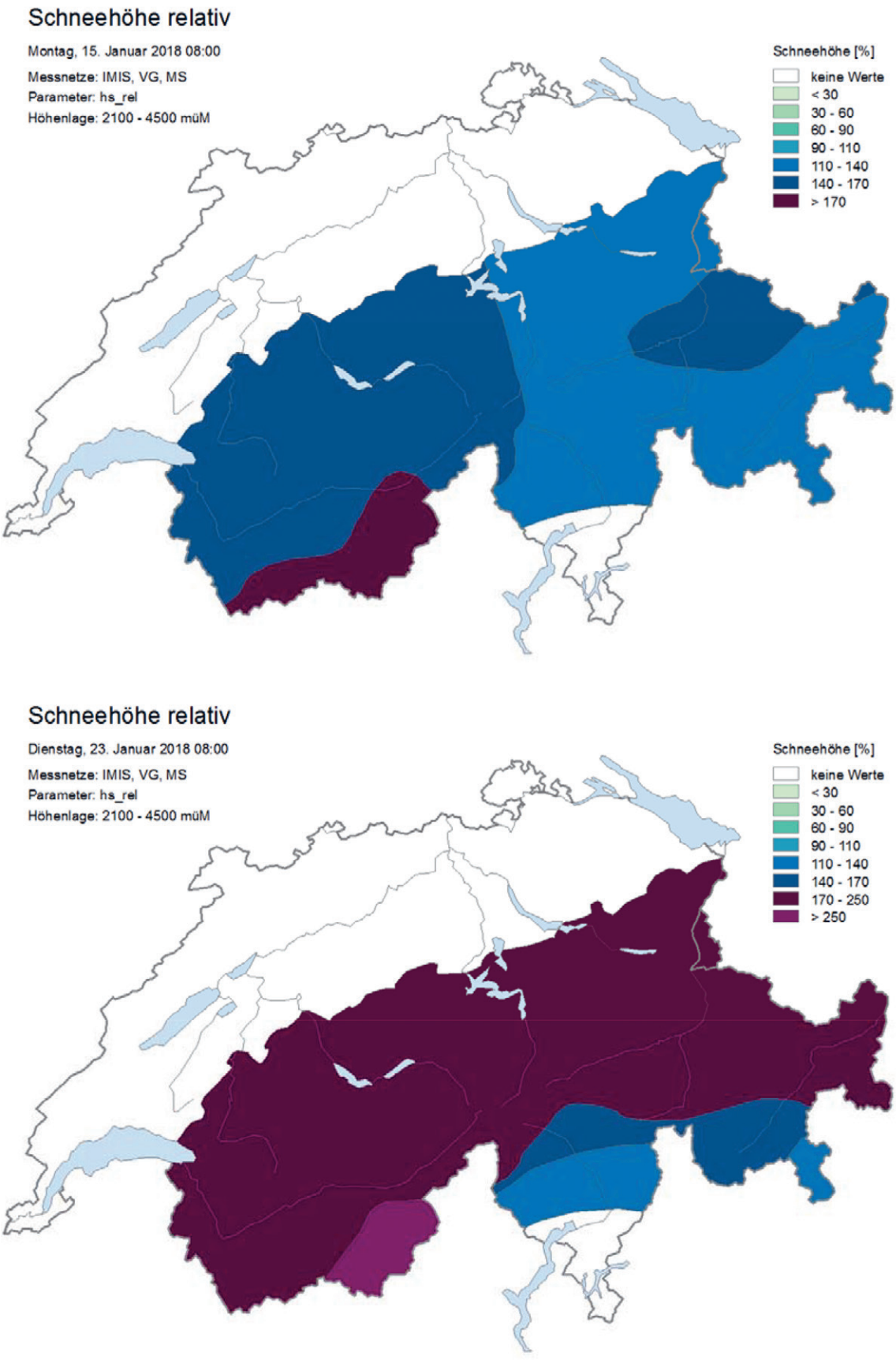


Abb. 33: Schneehöhen im Vergleich zum Mittelwert des entsprechenden Kalendertages, gemessen an den manuellen Messfeldern des SLF sowie an den automatischen IMIS-Stationen für die Höhenlage > 2100 m ü. M. Oben die Werte vor der Niederschlagsperiode (15. Januar 2018), unten die Werte danach (23. Januar 2018).

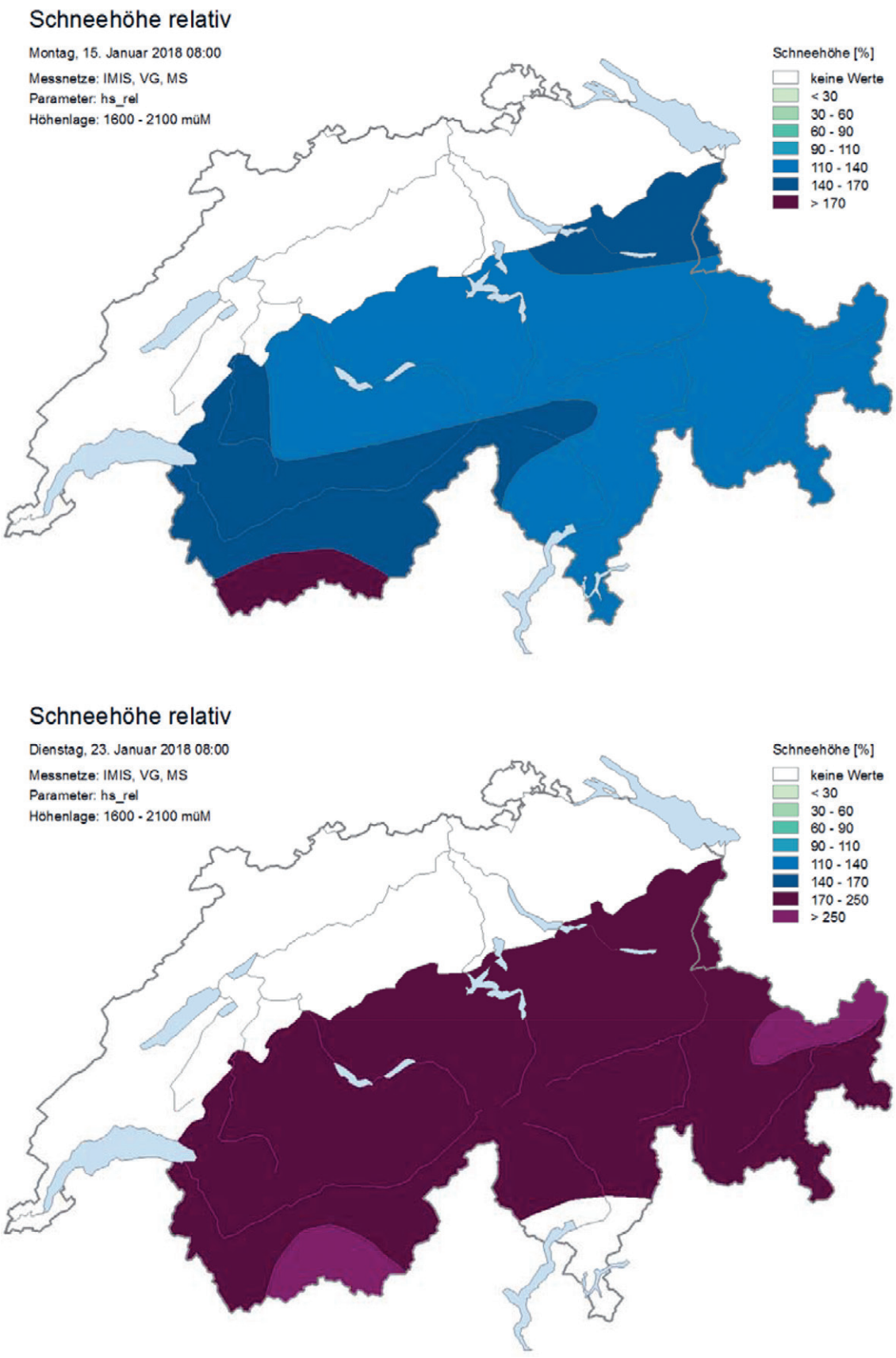


Abb. 34: Schneehöhen im Vergleich zum Mittelwert des entsprechenden Kalendertages, gemessen an den manuellen Messfeldern des SLF sowie an den automatischen IMIS-Stationen für die Höhenlagen 1600–2100 m ü. M. Oben die Werte vor der Niederschlagsperiode (15. Januar 2018), unten die Werte danach (23. Januar 2018).

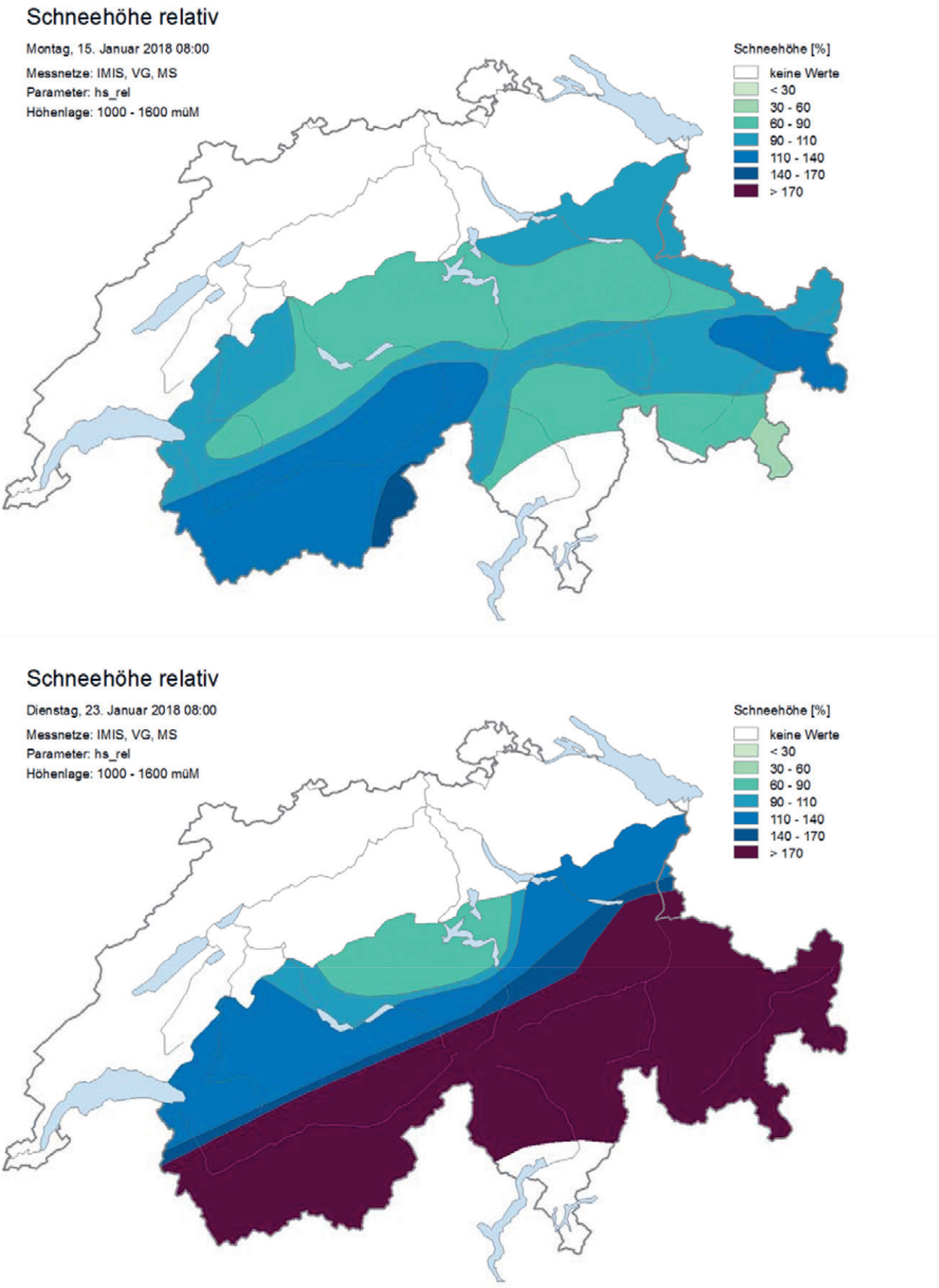


Abb. 35: Schneehöhen im Vergleich zum Mittelwert des entsprechenden Kalendertages, gemessen an den manuellen Messfeldern des SLF sowie an den automatischen IMIS-Stationen für die Höhenlagen 1000–1600 m ü. M. Oben die Werte vor der Niederschlagsperiode (15. Januar 2018), unten die Werte danach (23. Januar 2018).

Der Vergleich zum langjährigen Mittel an diesem Kalendertag (23. Januar) zeigt Folgendes (Abb. 33 bis 35, jeweils unten):

– Oberhalb von rund 2100 m ü. M. waren die Schneehöhen am zentralen Alpensüdhang ohne nordwestliches Tessin sowie im Oberengadin und den daran angrenzenden Südtälern überdurchschnittlich, sonst überall stark überdurchschnittlich. In den südlichen Vispertälern lag gar mehr als zweieinhalb Mal so viel Schnee wie zu dieser Jahreszeit üblich.
– Zwischen 1600 und 2100 m ü. M. waren die Schneehöhen überall stark überdurchschnittlich. In Teilen des südlichen Wallis und von Davos bis ins nördliche Unterengadin lag sogar mehr als zweieinhalb Mal so viel Schnee wie zu dieser Jahreszeit üblich.
– Zwischen 1000 und 1600 m ü. M. machte sich vor allem im Norden die teils hohe Schneefallgrenze bemerkbar. Weil ein grosser Teil des Niederschlags als Regen gefallen war, waren die Schneehöhen an den Voralpen lokal unterdurchschnittlich und auch am übrigen Alpennordhang nur leicht überdurchschnittlich. In allen anderen Gebieten waren die Schneehöhen auch auf dieser Höhe stark überdurchschnittlich.

Derart grosse Schneehöhen bereits im Januar sind aussergewöhnlich und werden statistisch an vielen Stationen nur alle 20 bis 100 Jahre erwartet (Abb. 36). Die grosse Mehrheit der Stationen (12 von 17) mit einer Jährlichkeit von mehr als 50 Jahren für die Schneehöhe im Januar befindet sich im Wallis. Der Rest der Stationen (mit einer Ausnahme) konzentriert sich im östlichen Graubünden.

Infolge des extrem warmen Januars 2018 war die Jährlichkeit der Schneehöhen stark von der Meereshöhe abhängig. Dies zeigt sich exemplarisch an den drei Stationen Klosters (1200 m ü. M.), Davos (1560 m ü. M.) und Weissfluhjoch (2536 m ü. M.). Die entsprechenden Jährlichkeiten für die Januar-Schneehöhen (basierend auf den 20 Jahren 1999 bis 2018) betragen 8, 16 und 29 Jahre.

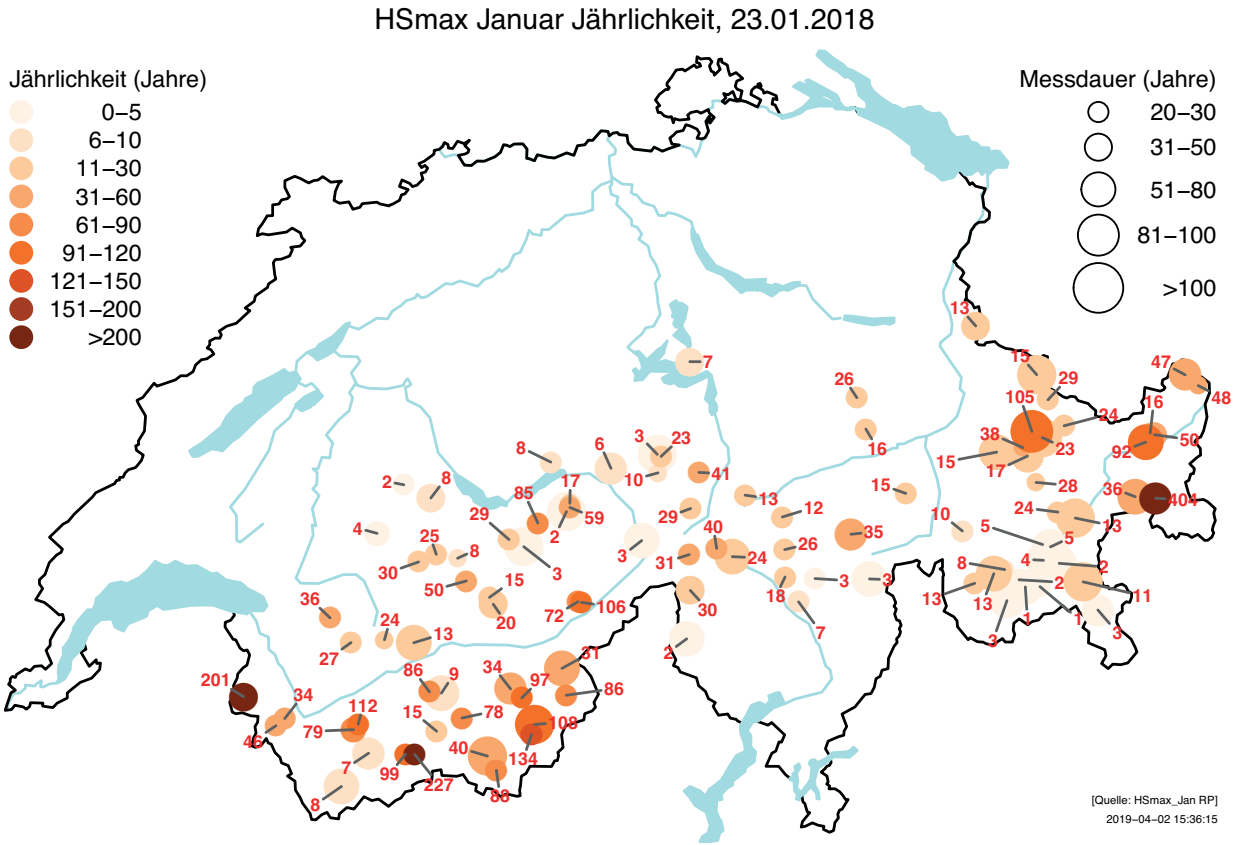


Abb. 36: Jährlichkeit (in rot) der Schneehöhen vom 23. Januar 2018 im Vergleich zu den übrigen Januar-Maxima an manuellen und automatischen Stationen oberhalb 1500 m ü. M. Je dunkler die Kreise, desto grösser die Jährlichkeit. Je grösser die Kreise, desto länger die zur Verfügung stehende Messreihe.

Tab. 3: Stationen mit absoluten Rekordschneehöhen am 23. Januar 2018.

Station	Kanton	Höhe	HS_{max} am 23.01.2018	HS_{max} bisher	Anzahl Messjahre
FNH2, Finhaut	VS	2252 m	454 cm	349 cm	21
4KU, Kühboden	VS	2210 m	274 cm	270 cm	30
STN2, Oberer Stelligletscher	VS	2914 m	350 cm	305 cm	20
DAV3, Hanengretji	GR	2455 m	292 cm	239 cm	20

Rund ein Drittel aller langjährigen Beobachterstationen unterhalb von 2000 m ü. M. hatte an einem 23. Januar noch nie so viel Schnee gemessen wie 2018. Absolute Rekordschneehöhen an Stationen mit mindestens 20-jähriger Messreihe wurden aber nur an drei Stationen im Wallis und einer Station in Graubünden erreicht (Tab. 3). Eine Analyse bezogen auf den ganzen Winter zeigt, dass maximale Schneehöhen wie sie 2018 erreicht wurden, in den besonders betroffenen Gebieten des Wallis und Graubündens trotzdem nur alle 15 bis 30 Jahre erwartet werden können.

Auch wenn am 23. Januar 2018 die maximalen je gemessenen Schneehöhen nur sehr vereinzelt erreicht wurden, barg eine so grosse Schneehöhe so früh im Winter trotzdem Gefahren:

– Bei weiteren Grossschneefällen im Verlaufe des Winters hätte die Bemessungsschneelast für Dächer überschritten werden können (Kap. 2.2.4).
– Viele Verbauungen ab einer Höhe von etwa 2000 m ü. M. waren bereits zu etwa zwei Dritteln mit Schnee gefüllt und vereinzelte Werkreihen insbesondere in Leehängen sogar ganz eingeschneit. Auch hier hätten weitere Grossschneefälle im Verlaufe des Winters zu Problemen geführt.
– Schäden durch Schneegleiten entstanden zwar kaum direkt während dieser Lawinenperiode, aber im Verlaufe des Winters als Folge der grossen Schneehöhen. Solche Schäden entstanden zum Beispiel an Gebäuden oder Wegen, aber auch durch das Aufreissen des Bodens, was in der Folge Erdrutsche begünstigte.

2.2.3 Vergleich mit dem Februar 1999

Der Januar 2018 war deutlich wärmer als der Februar 1999. Deshalb fiel der Niederschlag 2018 in tiefen und mittleren Lagen oft als Regen. Damit lag vor allem unterhalb von rund 1300 m ü. M. deutlich weniger Schnee als im Februar 1999, und unterhalb von rund 2000 bis 2200 m ü. M. wurde dieser gegen Ende der Niederschläge oberflächlich feucht. In hohen Lagen erreichten die Schneehöhen am 23. Januar 2018 im südlichen Wallis ähnlich hohe Werte wie im Februar 1999, sonst lagen sie darunter.

2.2.4 Schneelasten im Winter 2017/18

Im schneereichen Januar 2018 waren auch die Schneelasten auf Dächern oberhalb von rund 1000 m ü. M. gross. Zusätzlich zu den grossen Neuschneemengen fiel bis in grosse Höhen Regen. In solchen Situationen stellt sich oft die Frage, ob die Bemessungsschneelast eines Daches erreicht sein könnte und ob als Notmassnahme die Schneeräumung des Daches angezeigt ist. Die Dachschneelast im Gebirge ist für die Bemessung eines Gebäudes oft massgebend. Die Berechnung der Schneelast ist in der Norm SIA261 des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins geregelt (SIA 2014). Der charakteristische Wert der Schneelast wird für eine Wiederkehrperiode von 50 Jahren in Funktion der Höhenlage ermittelt. Die Höhenlage wird in Abhängigkeit des regionalen Klimas korrigiert. Die Korrektur variiert von – 200 m bis maximal + 500 m. Dieser Wert der Schneelast gilt für horizontales Gelände und wird dann mit verschiedenen Beiwerten für das jeweilige Dach korrigiert (die Beiwerte berücksichtigen die Dachform, die Windexposition und den Wärmedurchgang durchs Dach).



Abb. 37: Anfang Februar 2018 wurde grossflächig Schnee vom Dach des Eisstadions in Davos abgetragen, um im Falle von weiteren grossen Schneefällen Probleme mit der Statik des Tragwerkes zu verhindern. Bei der Räumung eines Daches von Schnee ist die Statik des Dachtragwerkes zu beachten. Ein einseitiges Abtragen oder lokale Schneeanhäufungen sind zu vermeiden. Die Personen auf dem Dach des Eisstadions waren mit Seilen gesichert. Dachschneeräumungen dürfen nur durch ausgebildetes Personal durchgeführt werden (Foto: SLF/ S. Margreth).

Im Winter 2017/18 wurde an 48 Vergleichsstationen alle 14 Tage die Schneelast resp. der Wasserwert der Gesamtschneedecke (SWE) bestimmt. Am 23. Januar 2018 betrug in Davos die Schneelast 380 kg/m^2. Dieser Wert entspricht rund 60 Prozent der SIA Schneelast von 640 kg/m^2. Da davon auszugehen war, dass im weiteren Verlauf des Winters die Schneelast weiter ansteigen könnte, wurde beispielsweise Schnee vom Dach der Eishalle in Davos geräumt (Abb. 37). Die maximale Schneelast des Winters betrug in Davos am 3. April 2018 500 kg/m^2 (entspricht 78 % der SIA-Schneelast; Abb. 38).

An vier Vergleichsstationen mit Messreihen von mindestens 30 Jahren wurden im Winter 2017/18 neue Maximalwerte der Schneelast gemessen. Beispielsweise auf der Rigi (1640 m ü. M., 57 Jahre) wurde eine neue Rekordschneelast von 950 kg/m^2 gemessen. Ein Vergleich der im Winter 2017/18 gemessenen Schneelasten mit der Schneelast gemäss der Norm SIA 261 zeigt erwartungsgemäss, dass an keiner Messstelle die SIA-Schneelast erreicht wurde (Abb. 39). Folglich sind uns nur wenige Gebäudeschäden infolge zu grosser Dachschneelast bekannt. Im Lawinenwinter 1999 lag insbesondere in tieferen Lagen bedeutend mehr Schnee als im Winter 2017/18 und die Schneelasten waren mehrheitlich grösser. Im Winter 1999 betrugen die Schneelastschäden an Gebäuden gegen 100 Millionen Franken.

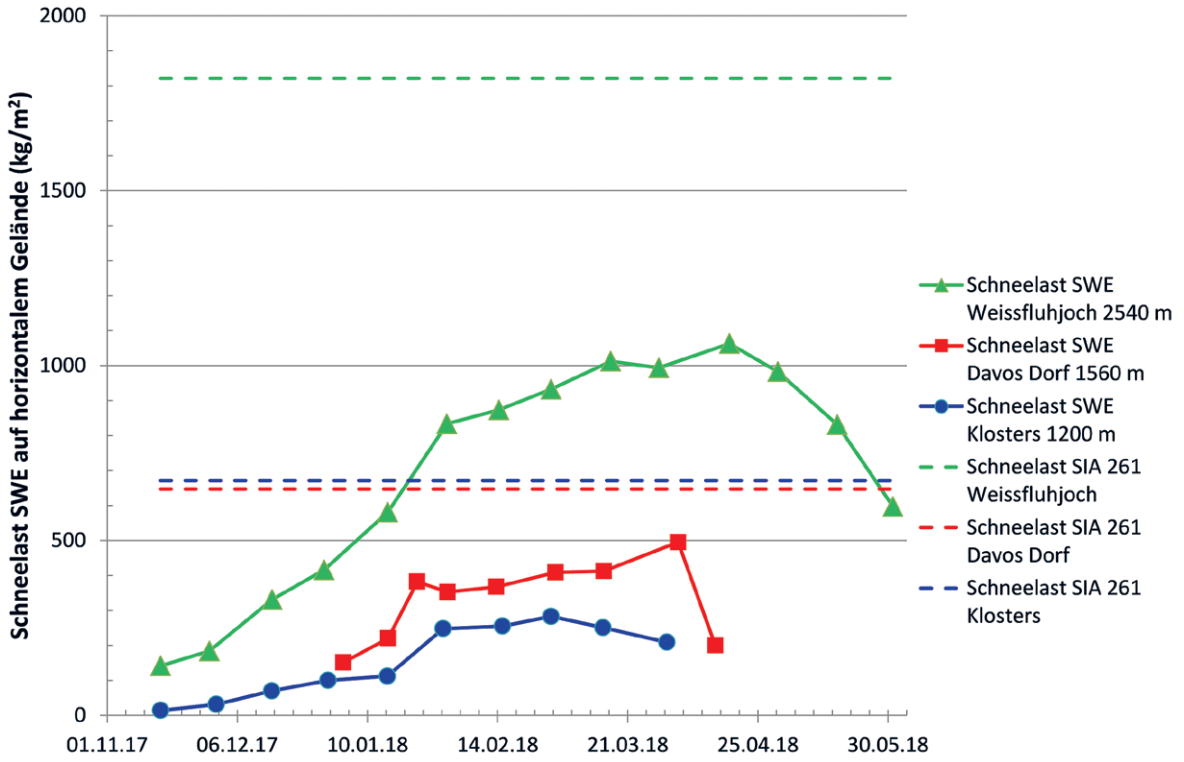


Abb. 38: Verlauf der Schneelast im Winter 2017/18, gemessen in Klosters, Davos und auf dem Weissfluhjoch, im Vergleich zur Schneelast gemäss der Norm SIA 261.

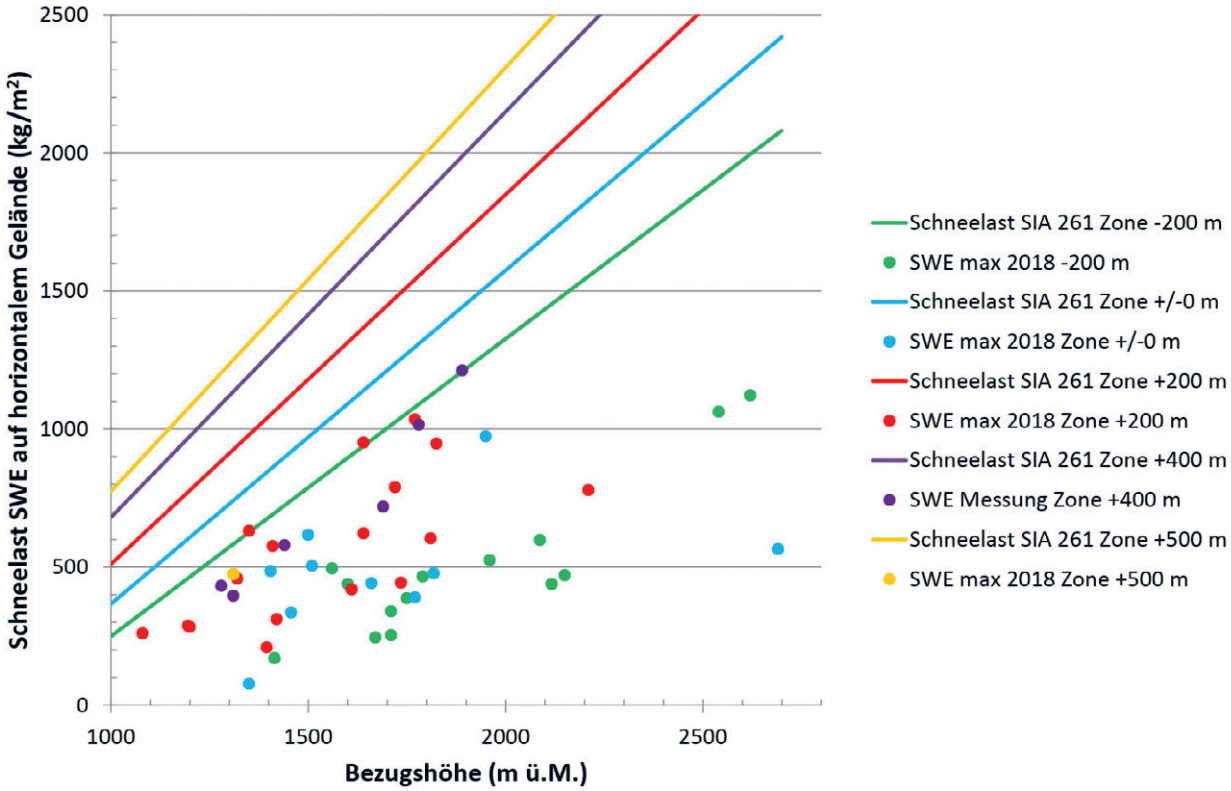


Abb. 39: Vergleich der an verschiedenen Messstationen im Winter 2017/18 gemessenen maximalen Schneelasten im Vergleich zur Schneelast gemäss der Norm SIA 261. Die Bezugshöhe bezeichnet die gemäss Anhang D der Norm SIA 261 korrigierte Meereshöhe des Standortes.

2.3 Schneedeckenaufbau

2.3.1 Schneedeckenaufbau vor der Lawinenperiode

Vor der Niederschlagsperiode vom 16. bis 23. Januar war die Schneedecke am 15. Januar im Norden günstig aufgebaut. Weiche Schichten aus kantigen Körnern, wie sie für Schwachschichten typisch sind, waren kaum vorhanden (Abb. 40). Im Wallis waren solche potenziellen Schwachschichten zwar vorhanden, aber bereits mächtig überlagert und damit nur noch schwer auslösbar. Im Süden und in weiten Teilen Graubündens war der Schneedeckenaufbau etwas weniger günstig. Die potenziellen Schwachschichten waren hier häufiger und zudem weniger stark überdeckt. Einige schöne Tage mit klaren Nächten (10. bis 15. Januar 2018) hatten aber dazu geführt, dass die oberflächennahen Schichten an Schattenhängen kantig aufgebaut und locker waren. Zudem lag an der Oberfläche verbreitet teils grosser Oberflächenreif (Abb. 41). Die Altschneeoberfläche stellte damit eine potenzielle Schwachschicht für die folgenden Schneefälle dar.

2.3.2 Schneedeckenaufbau während der Lawinenperiode

Während der gesamten Niederschlagsperiode wehte der Wind immer wieder stark bis stürmisch aus West bis Nordwest. Damit entstanden in immer denselben Windschattenhängen sehr grosse Triebschneeansammlungen. Diese wurden besonders an windgeschützten Hängen und im Bereich der Waldgrenze auf die schwache Altschneeoberfläche vom 15. Januar abgelagert (Abb. 42). Es ist davon auszugehen, dass viele der am 17./18. Januar abgegangenen, spontanen und im Wallis teils grossen Lawinen (Grösse 4) in dieser Schicht anrissen.

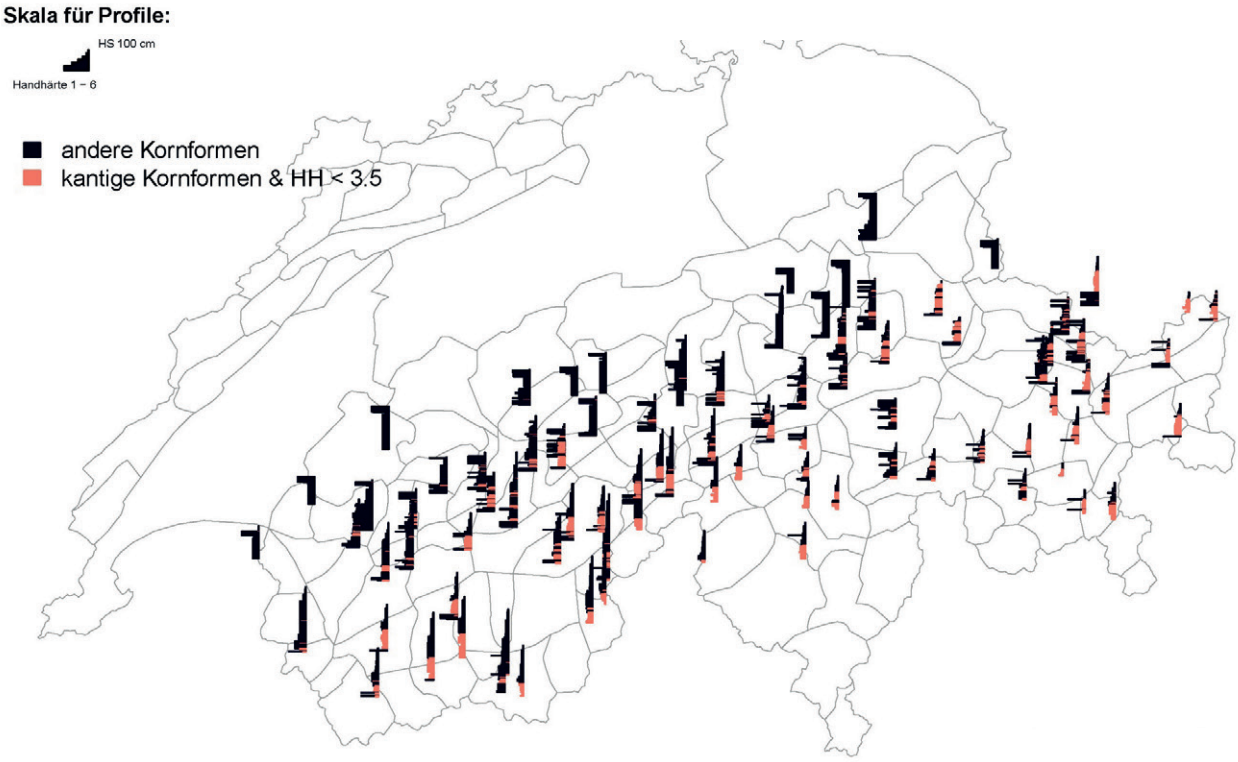


Abb. 40: Mit dem Schneedeckenmodell SNOWPACK simulierte Schneeprofile an Nordhängen bei den IMIS-Stationen für den 11. Januar 2018. Dargestellt ist die modellierte Handhärte der Schichten. Die roten Schichten zeigen Schichten mit kantigen Schneekristallen mit einer relativ geringen Handhärte HH (Faust, 4 Finger oder 1 Finger) und kommen am ehesten als potenzielle Schwachschichten in Frage.

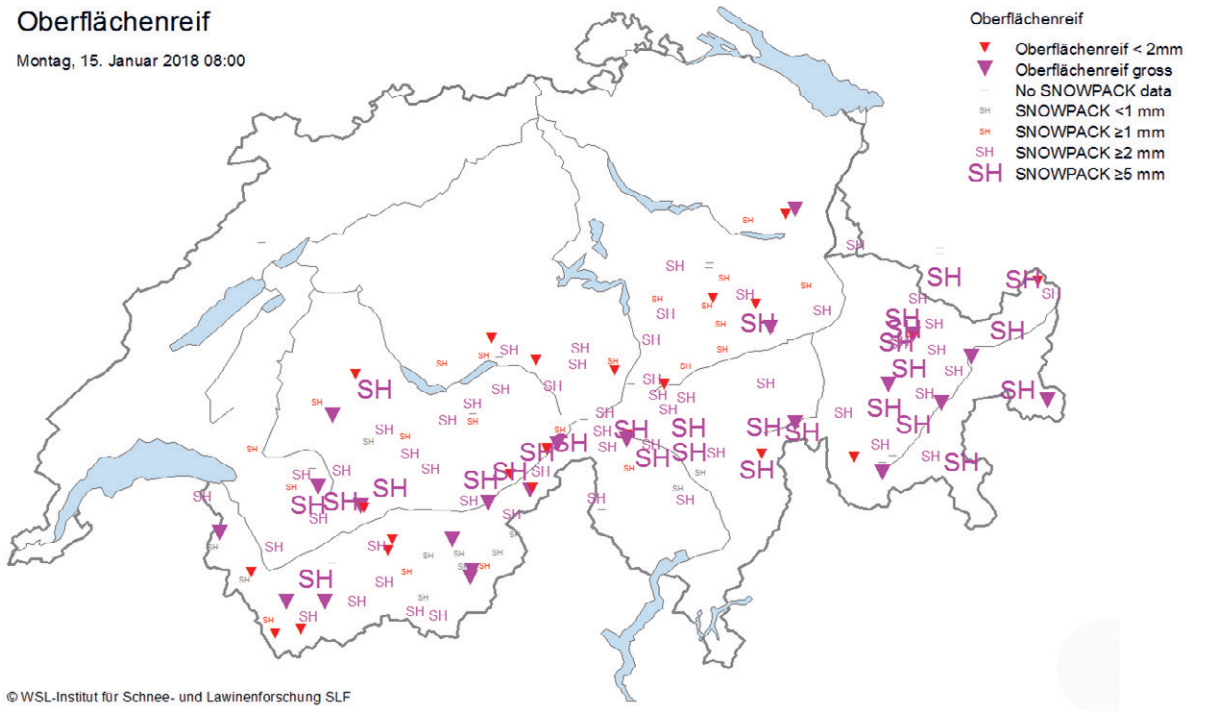


Abb. 41: Gemessener (Dreiecke) und mit SNOWPACK berechneter («SH») Oberflächenreif am Morgen des 15. Januars 2018.

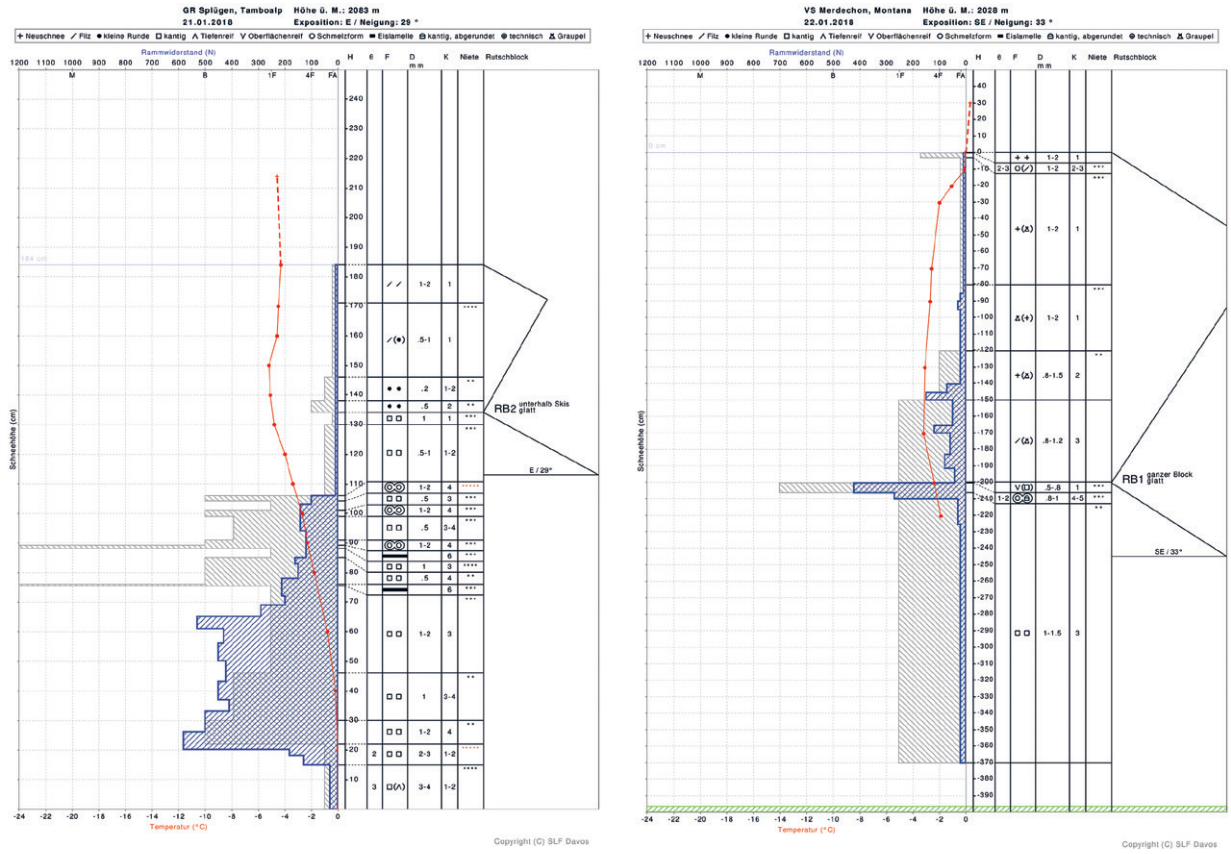


Abb. 42: Die Schneeoberfläche vom 15. Januar 2018 bildete vor allem an windgeschützten Hängen und im Bereich der Waldgrenze eine prominente Schwachschicht. Sie war vor allem an Schattenhängen oft kantig aufgebaut und weich, wie im linken Profil, aufgenommen am 21. Januar 2018 in Splügen (GR) auf 2083 m ü. M. Teilweise war auch Oberflächenreif eingeschneit worden, wie im rechten Profil, aufgenommen in Montana (VS) am 22. Januar 2018 an einem Südosthang auf 2028 m ü. M.

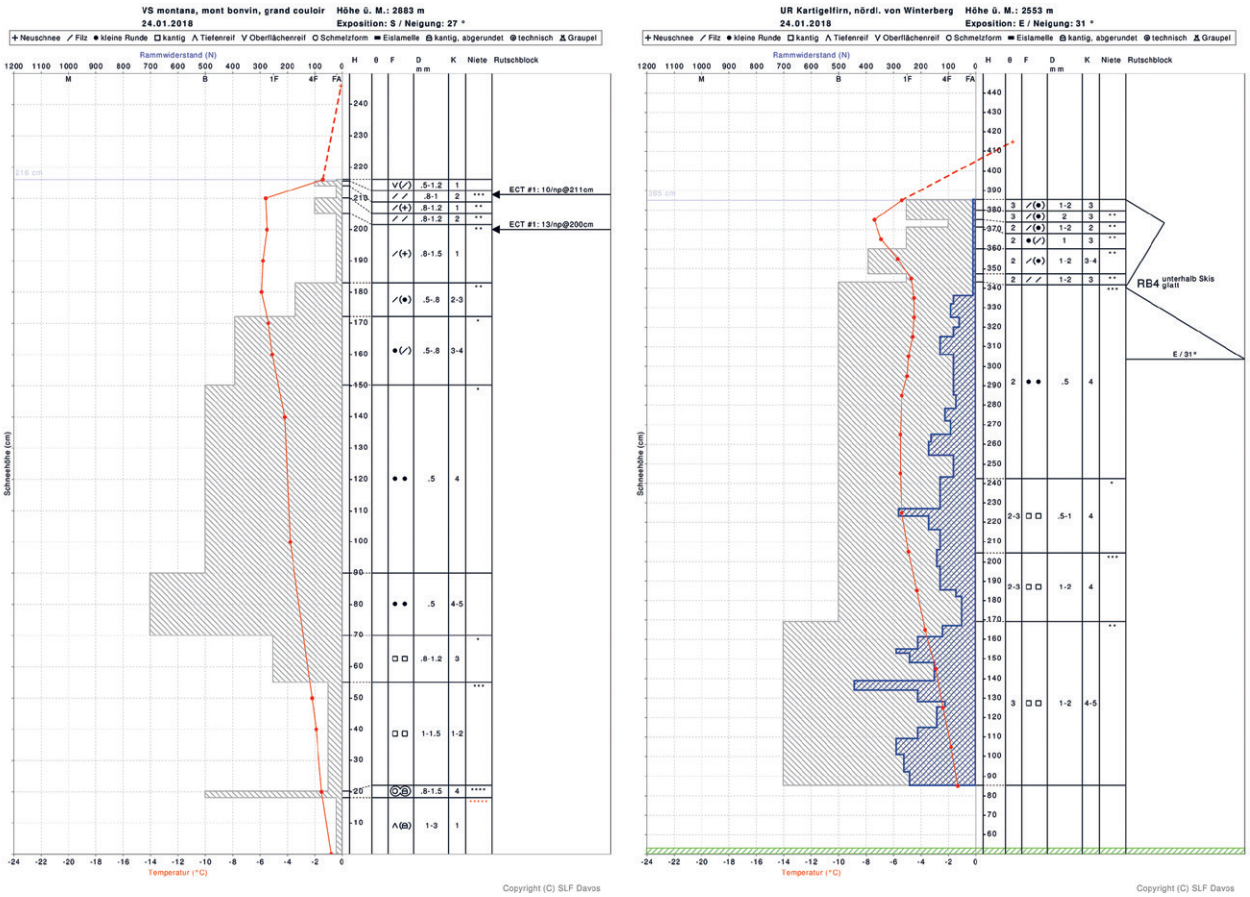


Abb. 43: Zwei Schneeprofile vom 24. Januar 2018. Links an einem Südhang auf 2883 m ü. M. in Montana (VS), rechts an einem Osthang auf 2553 m ü. M. auf dem Kartigelfirn (Wassen, UR). Beide Profile zeigen keinen eingeschneiten Oberflächenreif, wobei offen bleibt, ob dieser nicht eingeschneit oder in der Zwischenzeit abgebaut wurde. Innerhalb der verschiedenen Neu- und Triebschneeschichten der letzten Niederschlagsperiode konnten zwar noch Brüche erzeugt werden, doch breiteten sich diese nicht mehr über den ganzen Block aus. Im linken Profil bildeten die Schichten des Frühwinters einen schwachen Fuss, im rechten Profil wurden die untersten 85 cm nicht untersucht.

In der Folge zeigten Stabilitätstests und Lawinenanrisse, dass sich die oberflächennahen Schichten vom 15. Januar im Verlaufe der Niederschlagsperioden etwas verfestigt hatten. Die Lawinen vom 21. bis 23. Januar rissen zwar teils flächig, aber nicht immer so tiefgründig an, dass die Schneeoberfläche vom 15. Januar als Schwachschicht in Frage käme.

Schneedeckenuntersuchungen während dieser Tage liegen kaum vor. In den später durchgeführten Untersuchungen wurden innerhalb der riesigen Neu- und Triebschneeschichten keine ausgeprägten Schwachschichten mehr gefunden (Abb. 43). Damit dürften viele Lawinen in kurzlebigen Schwachschichten innerhalb der verschiedenen Neu- und Triebschneeschichten angebrochen sein. Das erklärt auch die teils hohe Lawinenaktivität an Südosthängen. Diverse Aufnahmen von Lawinen deuten darauf hin, dass die Lawinen in ihrer Sturzbahn teils grosse Teile der noch frischen Schneedecke mitrissen (bedeutendes Entrainment).

Die tiefen Schwachschichten waren, im Unterschied zu den Lawinenperioden von Anfang Januar 2018, nur noch sehr vereinzelt störanfällig. Auf den Satellitenbildern jedenfalls sind nur einige wenige Lawinen zu erkennen, die bodennah angerissen waren.

Mit der stark schwankenden Schneefallgrenze wurde die Schneeoberfläche in mittleren Lagen immer wieder angefeuchtet (Abb. 44). Dies führte vor allem am 22. Januar unterhalb von rund 2200 m ü. M. zu teils grossen, nassen Lawinen (Grösse 4), die bis ins Grüne vorstiessen. Gleichzeitig aber bremste der feuchte Schnee weiter oben in der trockenen Schneedecke angerissene Staublawinen auf ihrem Weg ins Tal. Unterhalb von rund 1300 m ü. M. lag nur wenig Schnee.

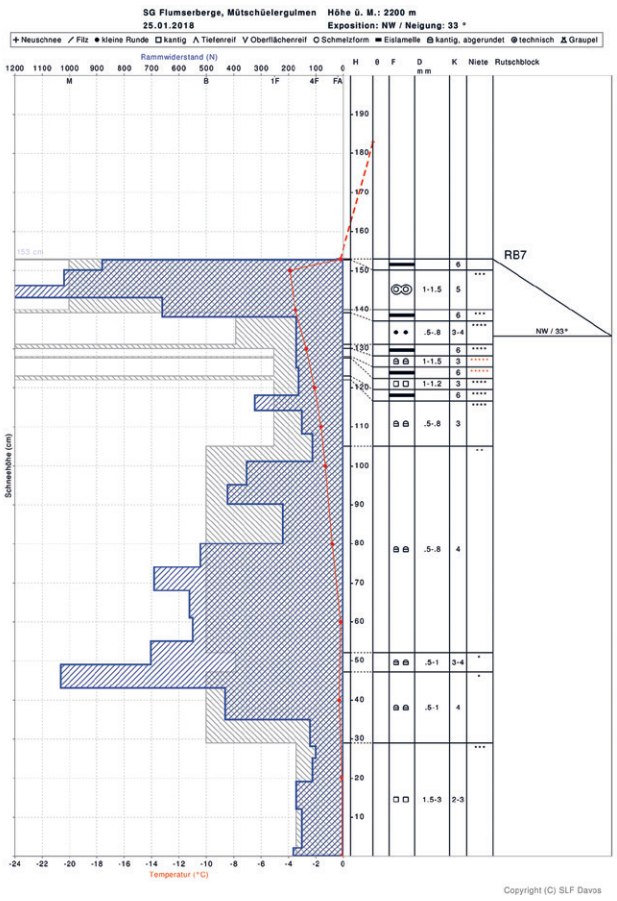


Abb. 44: Schneeprofil vom 25. Januar 2018 an einem Nordwesthang auf 2200 m ü. M. am Mütschüelergulmen, Quarten (SG). Fünf Eiskrusten und -lamellen im oberen Teil des Profils zeigen, dass die Schneeoberfläche am Alpennordhang auf dieser Höhe zwischen den Schneefällen mehrmals nass wurde.

2.3.3 Vergleich mit dem Februar 1999

Im Winter 1998/99 waren die Schneehöhen bis im Januar nur durchschnittlich. Vor den Grossschneefällen war die Schneedecke teils kantig aufgebaut mit mehreren eingelagerten Krusten. Sie war damit meist schwächer als im Winter 2017/18.

– Trotzdem wurde die Altschneedecke in der ersten Grossschneefallperiode Ende Januar 1999 nur selten mitgerissen. Meist lösten sich die Lawinen am Übergang vom Alt- zum Neuschnee.
– Beim zweiten Grossschneefall vom 5. bis 12. Februar 1999 setzte die hohe Lawinenaktivität in den schneereichen Gebieten erst ein, als dort in Summe etwa 1,5 m Schnee gefallen waren. Die Ablagerungsvolumen waren meist nicht allzu gross. Mit dem kalten, lockeren Schnee an der Oberfläche bildeten sich aber teils grosse Staublawinen (Grösse 4). Im Unterschied dazu war der Schnee im Winter 2017/18 in mittleren Lagen meist feucht, so dass Staublawinen auf ihrem Weg ins Tal gebremst wurden.
– Der dritte und letzte Grossschneefall im Februar 1999 war der ergiebigste. Die Überlast war inzwischen so gross, dass Lawinen oft bis in bodennahe Schichten rissen. Dies führte zu vielen, sehr grossen Lawinen (Grösse 5) und grossen Schäden vom 22. bis 25. Februar 1999. Im Unterschied dazu war die Basis der Schneedecke im Winter 2017/18 stabiler, so dass nur wenige Lawinen in tiefen Schichten anrissen.

2.4 Lawinenbulletin und Lawinenaktivität vom 15. bis 20. Januar 2018

2.4.1 Ausgangslage am 15. Januar 2018

Bereits um den 4. Januar, und in den Vispertälern dann sehr ausgeprägt am 9. Januar, waren viele grosse (Grösse 4) und teils auch sehr grosse Lawinen (Grösse 5) abgegangen. Damit war in diesen Gebieten bereits in vielen Lawinenzügen die Bodenrauigkeit ausgeglättet. In den Auslaufbereichen bestand zudem die Gefahr, dass neue Lawinen an alten Lawinenablagerungen abgelenkt wurden und die üblichen Bahnen seitlich verliessen.

2.4.2 16. bis 20. Januar 2018

Der viele Neuschnee, starker bis stürmischer Wind und eine teils ungünstige Altschneeoberfläche liessen die Lawinengefahr vielerorts markant ansteigen (Abb. 45). Neu- und Triebschnee waren anfangs leicht auslösbar, und bereits am 16. Januar gingen im Wallis erste Lawinen spontan ab.

Am 17. Januar wurde für das westlichste und nördliche Unterwallis die Gefahrenstufe 4 (gross) vorhergesagt, am 18. Januar für das gesamte Wallis und grosse Teile des Alpennordhangs (Abb. 45). An beiden Tagen wurden vor allem aus dem Wallis Lawinenabgänge gemeldet (Abb. 46). Darunter waren am Nachmittag des 17. Januars auch zwei mächtige Staublawinen am Grand Chavalard (Fully, VS) und im Mattertal (VS). Die Beobachtungen dürften aber sehr unvollständig sein, da die Sichtverhältnisse sehr eingeschränkt und viele Skigebiete wegen des Sturms geschlossen waren. Während dieser Phase wurden auch grössere spontane Lawinen von Radaranlagen detektiert, zum Beispiel in Lawinenzügen, welche die Strasse nach Zermatt (VS) gefährden können, und im SLF-Versuchsgelände im Vallée de la Sionne (VdlS, VS). Die Lawine im VdlS erreichte eine Geschwindigkeit von über 200 km/h und war damit eine der grössten Staublawinen der letzten Jahre in diesem Gebiet.

2.5 Lawinenbulletin vom 21. bis 23. Januar 2018

Von Sonntagabend, 21. Januar, bis Dienstagmorgen, 23. Januar wurde praktisch für das gesamte Wallis, Teile des nördlichen Alpenkammes sowie vom Prättigau bis ins Samnaun die Gefahrenstufe 5 (sehr gross) ausgegeben (Abb. 47).

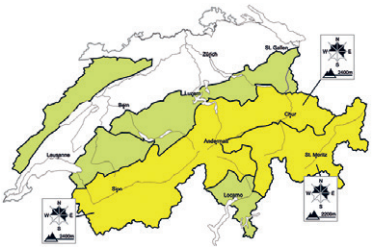
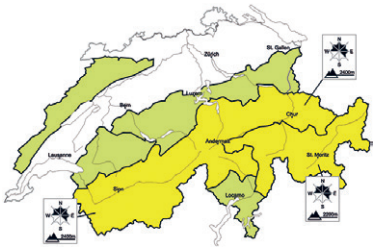
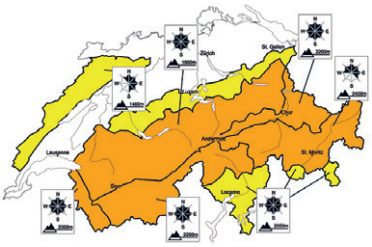
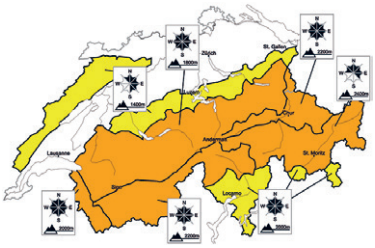
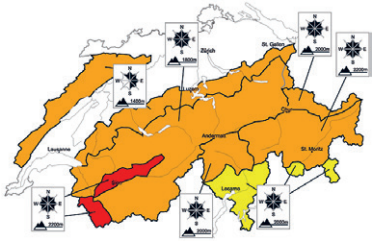
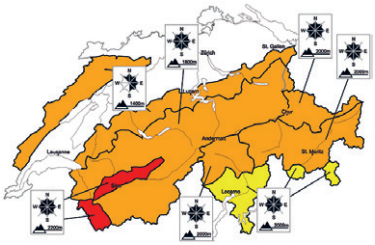
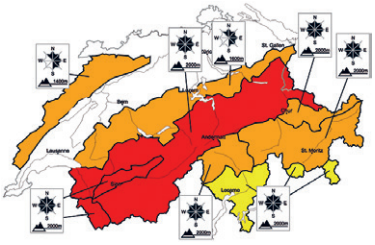
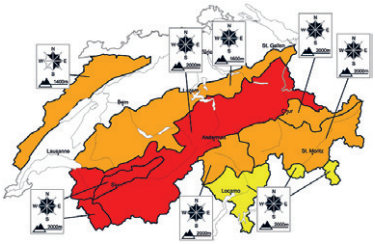
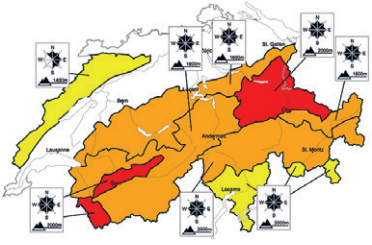
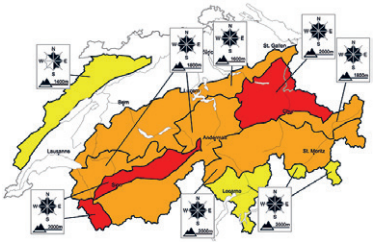
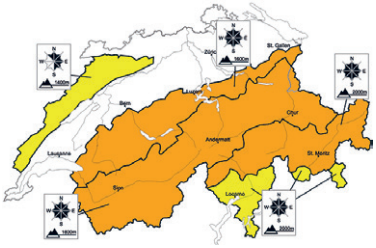
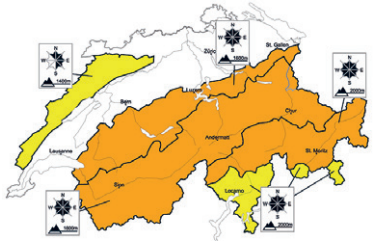
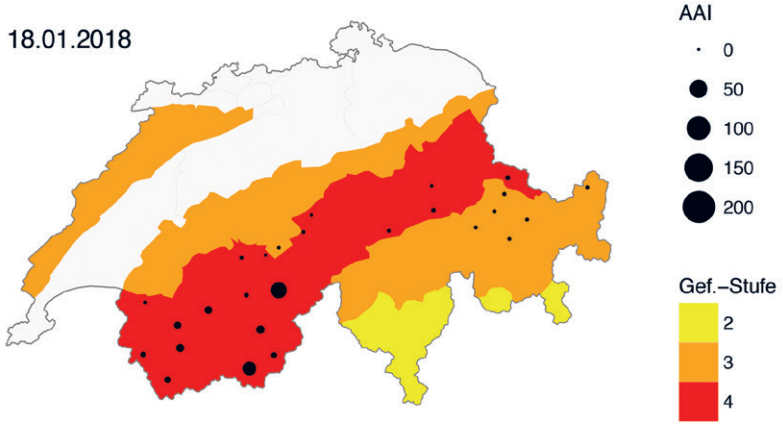
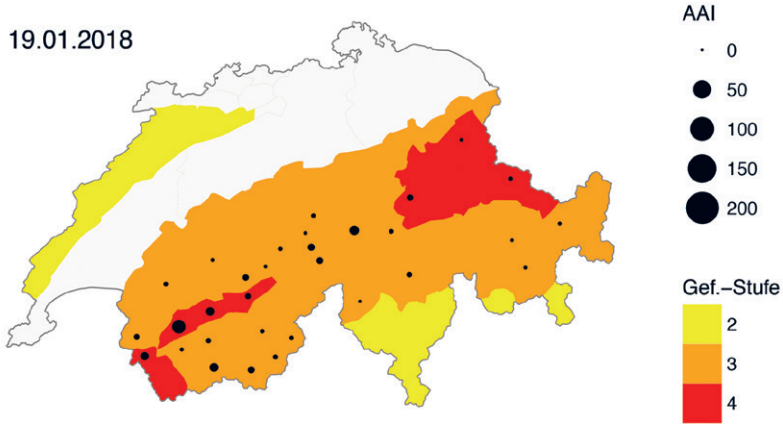
Bulletin vom Vorabend, 17:00 Uhr	Bulletin vom Morgen, 08:00 Uhr	Beschreibung
		15. Januar: Die Schneedecke war recht stabil, die Lawinensituation mehrheitlich günstig. Allerdings war die Oberfläche teils kantig aufgebaut und verbreitet lag Oberflächenreif.
		16. Januar: Neu- und Triebschnee wurden auf die teils ungünstige Schneeoberfläche abgelagert. Die Lawinengefahr stieg rasch an.
		17. Januar: Weitere Schneefälle. Anstieg der Lawinengefahr, im Wallis gebietsweise auf Stufe 4 (gross). Die Gefährdung betraf v. a. Wintersportler.
		18. Januar: Weitere Schneefälle. Verbreitet Stufe 4 für Wintersportler, im Wallis inzwischen auch exponierte Verkehrswege gefährdet.
		19. Januar: In den aktuellen Hauptniederschlagsgebieten Stufe 4, vor allem für Wintersportler.
		20. Januar: Mit kurzer Niederschlagspause leichter Rückgang der Lawinengefahr auf Stufe 3 (erheblich).
Gefahrenstufen 1 gering	2 mässig	3 erheblich	4 gross	5 sehr gross		

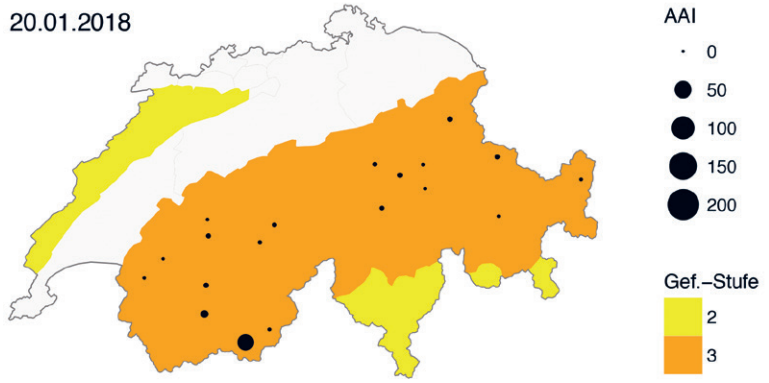
Abb. 45: Prognostizierte Lawinengefahr für den 15. bis 20. Januar 2018.



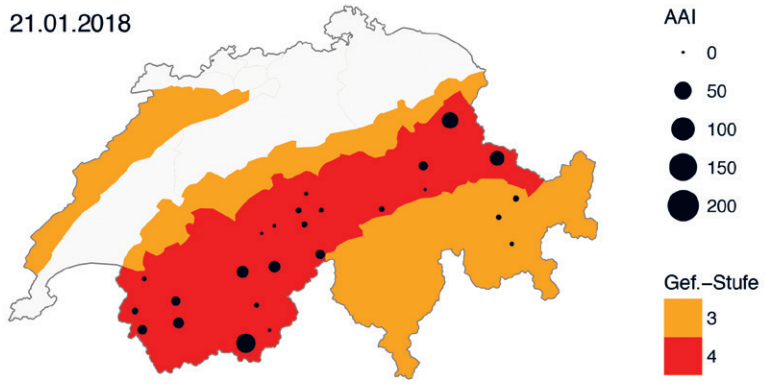
Vor allem aus dem Wallis und dem nördlichen Unterengadin wurden trockene Lawinen gemeldet. Im Wallis bereits einige grosse (Grösse 4).



Aus dem Wallis wurden einige grosse, spontane, trockene Lawinen (Grösse 4) gemeldet. Diese hatten teils einen hohen Staubanteil.



Lawinenmeldungen aus praktisch allen Regionen, teils spontan, teils gesprengt.



Mit der Niederschlagspause nahm auch die Lawinenaktivität ab.
Grosse Abgänge (Grösse 4) aus dem Mattertal gemeldet.

Abb. 46: Gefahrenstufe (Bulletin vom Vorabend) und von den SLF-Beobachtern gemeldete Lawinen. Dargestellt ist der Lawinenaktivitätsindex AAI in den einzelnen Warnregionen. Bei schlechter Sicht und in abgelegenen Gebieten werden längst nicht alle Lawinen erfasst. Die Abbildungen geben damit nur einen groben Überblick der Lawinenaktivität.

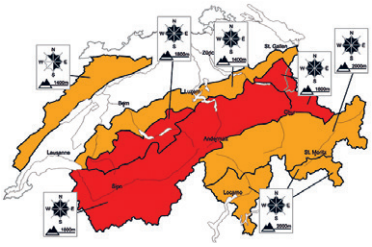
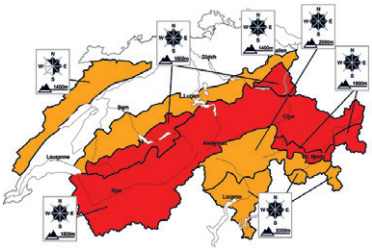
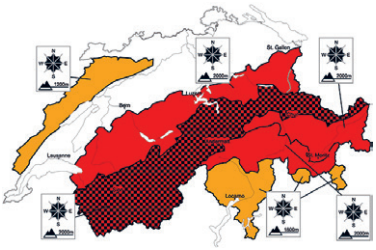
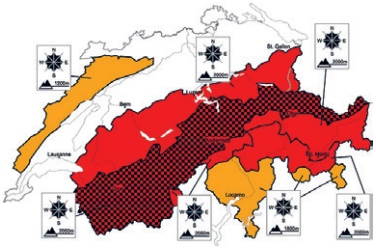
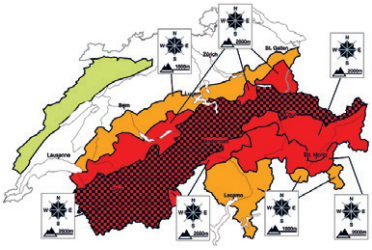
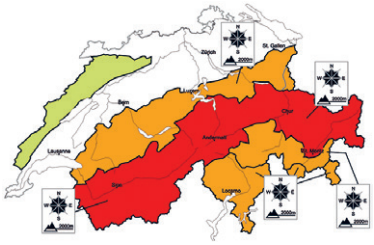
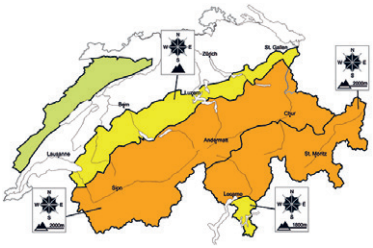
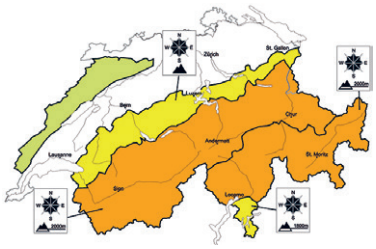
Bulletin vom Vorabend, 17:00 Uhr	Bulletin vom Morgen, 08:00 Uhr	Beschreibung
		21. Januar: Beginn der Lawinenperiode: mit intensiven Schneefällen verbreitet Stufe 4. Überraschend viel Niederschlag in Graubünden, dort Ausdehnung der Stufe 4 im Morgenbulletin.
		22. Januar: Anhaltende Schneefälle und Anstieg der Schneefallgrenze. Grossflächig Stufe 5 (sehr gross), übrige Gebiete meist Stufe 4.
		23. Januar: In der Nacht noch Niederschlag und Stufe 5. Tagsüber trocken und schneller Rückgang der Lawinengefahr.
		24. Januar: Ohne markante Schwachschicht stabilisierte sich die Schneedecke schnell.
Gefahrenstufen 1 gering 2 mässig 3 erheblich 4 gross 5 sehr gross		

Abb. 47: Prognostizierte Lawinengefahr für den 21. bis 24. Januar 2018.

2.6 Lawinenaktivität vom 21. bis 23. Januar 2018

2.6.1 Grösste Lawinenperiode seit 1999

Die Lawinenaktivität wurde anhand des Lawinenaktivitätsindexes AAI bestimmt. Zur Berechnung dieses dimensionslosen Indexes werden die von den SLF-Beobachtern gemeldeten Lawinen nach Anzahl, Grösse und Auslöseart gewichtet und dann addiert.

2017/18 war der lawinenreichste Winter seit Beginn der Berechnungen des Lawinenaktivitätsindexes im Winter 2001/02 und damit wohl seit dem Lawinenwinter 1998/99 (Abb. 48). Vom 21. bis 23. Januar war die grösste 3-tägige Lawinenperiode seit der Lawinenaktivitätsindex berechnet wird, und damit wohl ebenfalls seit Februar 1999.

2.6.2 Zeitlicher Verlauf

Der zeitliche Verlauf der Lawinenaktivität wird mit den Beobachtermeldungen und dem daraus berechneten Lawinenaktivitätsindex abgeschätzt (Abb. 49 bis 51). Im Unterschied zu den Satellitenbildern liegen für diese Lawinen (bekannte oder geschätzte) Abgangsdaten und meist auch Angaben zu Lawinentyp und Feuchtigkeit des Schnees vor. Allerdings sind diese Daten besonders bei schlechtem Wetter und in abgelegenen Gebieten sehr unvollständig.

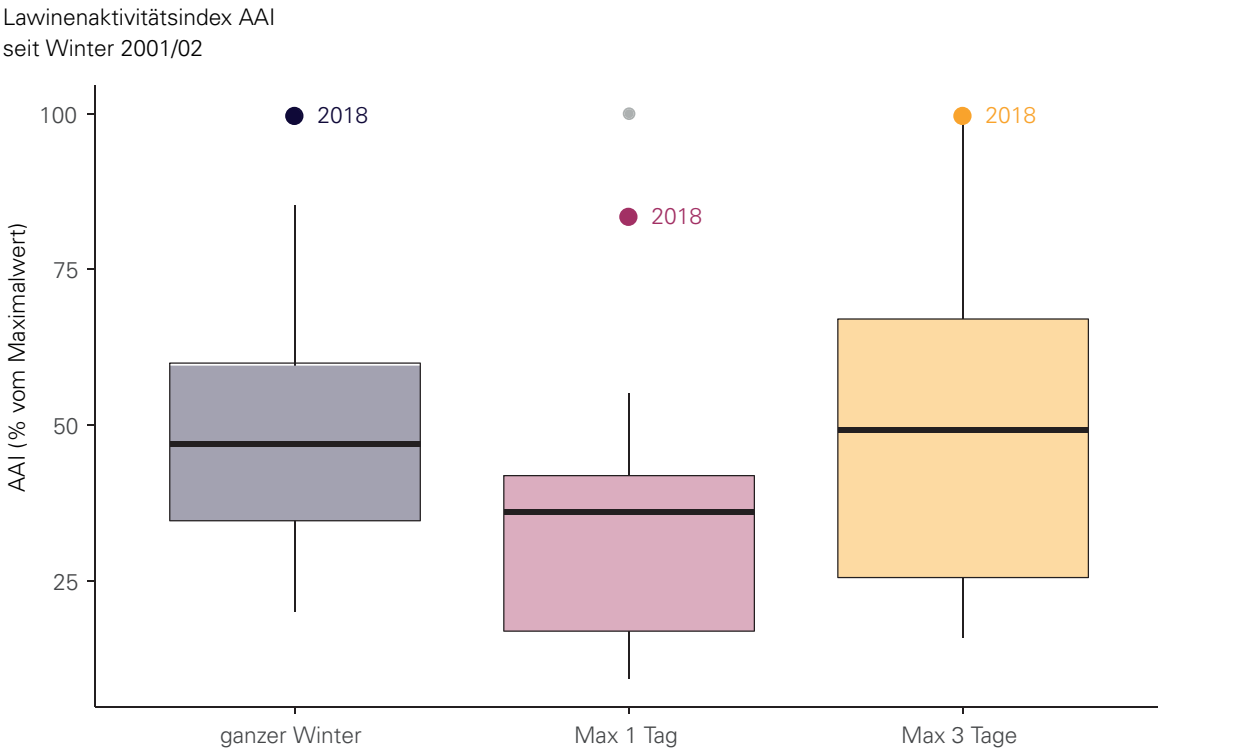


Abb. 48: Lawinenaktivitätsindex AAI im Winter 2017/18 (farbige Punkte) und Vergleich mit allen Wintern seit 2001/02 (Boxplot), jeweils von Dezember bis April. Die vertikale Achse zeigt die Grösse des AAI, normiert auf den maximalen, je gemessenen Wert. Dargestellt sind der über den ganzen Winter aufsummierte AAI (links), der höchste Tageswert jedes Winters (Mitte) sowie die grösste 3 tägige Lawinenperiode jedes Winters (rechts). Die dicken schwarzen Linien zeigen den Median über alle Winter, d. h. in der Hälfte der Winter lag der Wert darunter, in der anderen Hälfte der Winter darüber. Die farbigen Rechtecke zeigen den Bereich, in dem 50 % der Winter liegen (Interquartilabstand). Die Antennen (vertikale dünne Linien) reichen bis zum höchsten bzw. tiefsten beobachteten Wert, der sich innerhalb des eineinhalbfachen Interquartilabstandes vom oberen Quartil (obere Grenze des Rechteckes) bzw. vom unteren Quartil (untere Grenze des Rechteckes) befindet. Werte ausserhalb der beiden Antennen gelten als «Ausreisser» und werden als Punkte dargestellt.

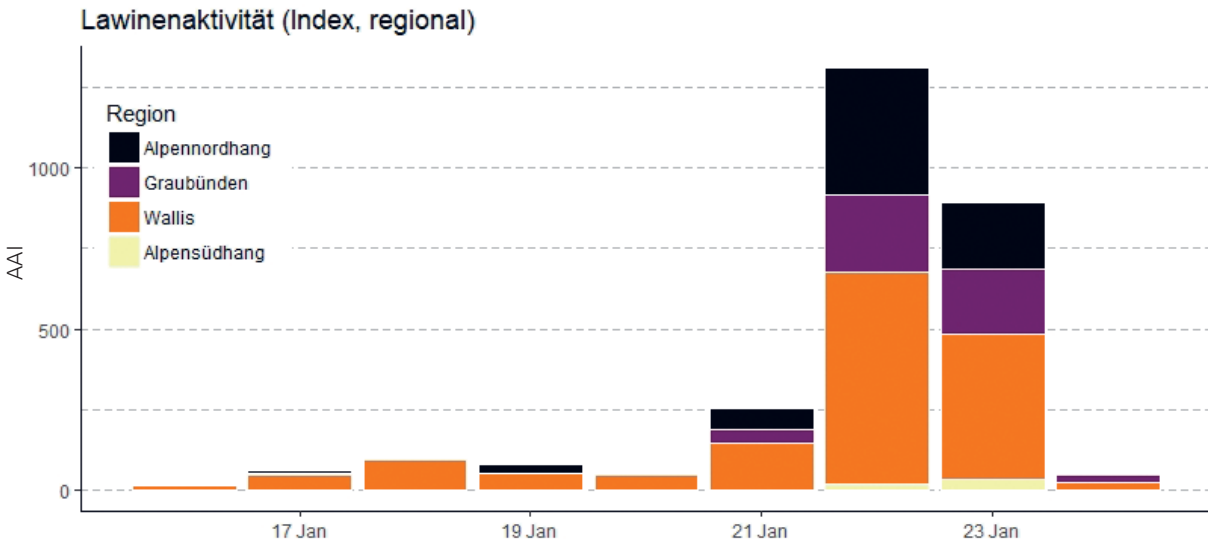


Abb. 49: Verlauf des Lawinenaktivitätsindexes in den verschiedenen Klimaregionen.

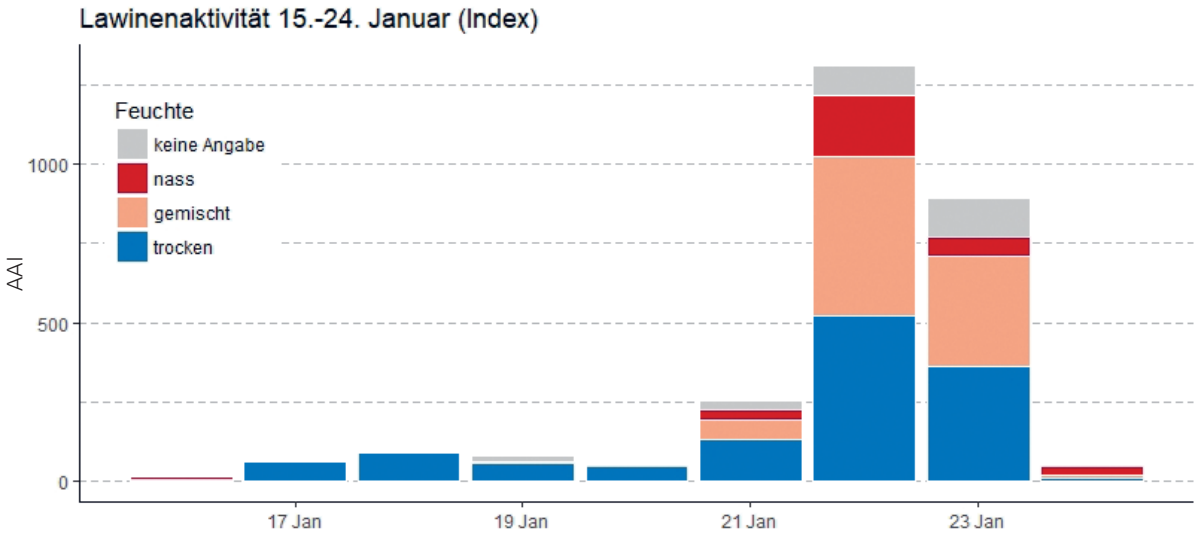


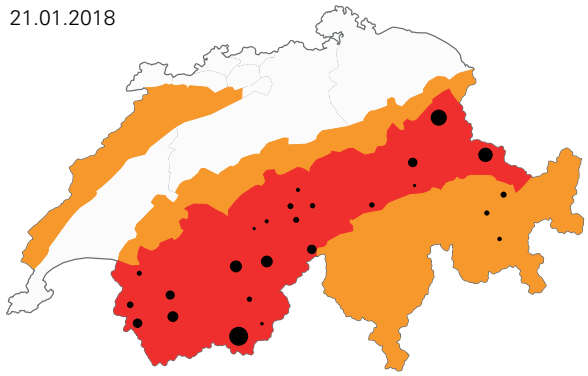
Abb. 50: Verlauf des Lawinenaktivitätsindexes nach Feuchtigkeit der Lawinen.

Besonders am 22. und 23. Januar 2018 gingen sehr viele Lawinen ab, darunter auch viele grosse und mehrfach sehr grosse (Grössen 4 und 5). Dies führte an beiden Tagen zu einem hohen Lawinenaktivitätsindex. Während der ganzen Periode war die Lawinenaktivität im Wallis am grössten, gefolgt vom Alpennordhang und von Graubünden (Abb. 49).

Am 23. Januar war die Lawinenaktivität im Wallis und in Graubünden etwas weniger hoch als am 22. Januar. In Graubünden traf die Erwärmung etwas später ein als in den übrigen Gebieten, so dass hier an beiden Tagen eine ähnlich hohe Lawinenaktivität verzeichnet wurde. Am zentralen Alpensüdhang beschränkten sich die ergiebigen Niederschläge und damit auch die grösseren Lawinenabgänge im Wesentlichen auf das nordwestliche Tessin. Damit war die Lawinenaktivität im Süden gesamthaft gesehen nur klein.

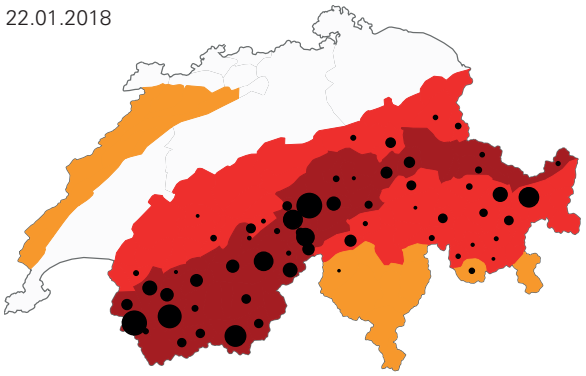
Mit dem Anstieg der Schneefallgrenze wurden ab dem 21. Januar in den meisten Gebieten nicht mehr nur trockene, sondern unterhalb von rund 2200 m ü. M. vermehrt auch nasse Lawinen gemeldet (Abb. 50). Oft trafen weiter oben in der trockenen Schneedecke angerissene Lawinen in mittleren Lagen auf feuchten Schnee (gemischte Lawinen). Dadurch wurden insbesondere Staublawinen gebremst, so dass diese kaum bis in tiefe Lagen vorstiessen.

21.01.2018



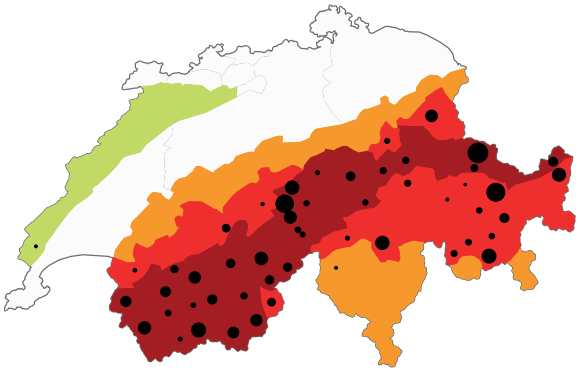
Aus dem Wallis wurden vermehrt grosse, trockene Lawinen gemeldet. Im Nordosten grosse, feuchte Lawinen (Grösse 4).

22.01.2018



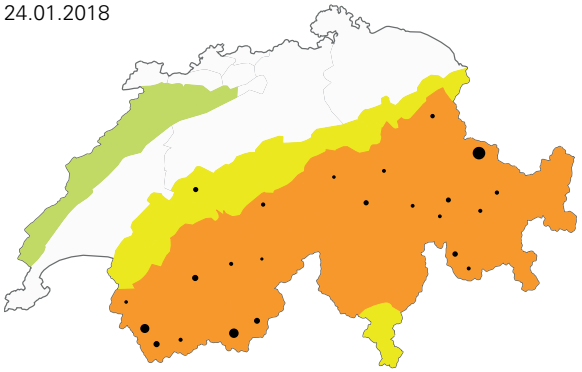
Viele grosse und mehrfach sehr grosse Lawinen (Grösse 4 und 5). Am stärksten betroffen waren das Wallis, die Haslitäler, Davos und das nördl. Unterengadin.
Im Wallis v. a. trockene und gemischte Lawinen, am Alpennordhang meist nasse oder gemischte, in Graubünden südlich des Vorderrheins v. a. trockene.

23.01.2018



Viele grosse und mehrfach sehr grosse Lawinen (Grösse 4 und 5). Am stärksten betroffen waren das Wallis und die Region Prättigau-Davos.
Die meisten Lawinen waren trocken oder gemischt.
Vor allem in der Nacht oft spontan, tagsüber meist gesprengt.

24.01.2018



Deutlich geringere Lawinenaktivität als an den Vortagen.

Abb. 51: Gefahrenstufe (Bulletin vom Vorabend) und von den SLF-Beobachtern gemeldete Lawinen. Dargestellt ist der Lawinenaktivitätsindex AAI in den einzelnen Warnregionen (die Aktivität ist pro Warnregion zu einem Punkt zusammengefasst). Bei schlechter Sicht und in abgelegenen Gebieten werden längst nicht alle Lawinen erfasst. Die Abbildungen geben damit nur einen groben Überblick der Lawinenaktivität.

2.6.3 Lawinenaktivität anhand der SPOT-6-Satellitenbilder

2.6.3.1 Satellitenaufnahmen und Lawinenkartierung

Zur Dokumentation der Lawinenaktivität wurden am 23. Januar 2018 bei Swisstopo, dem National Point of Contact (NPOC) für Satellitenbilder, für alle Gebiete mit Gefahrenstufe 5 (sehr gross) plus Randgebiete mit Gefahrenstufe 4 (gross) Satellitenbilder (SPOT 6) bestellt. SPOT 6 hat vier Spektralbänder (Rot, Grün, Blau und Nahinfrarot) und verfügt im Pan Kanal über eine räumliche Auflösung von 1,5 m. Das Untersuchungsgebiet hat eine Fläche von rund 12 500 km^2 und umfasst somit rund 50 Prozent der Schweizer Alpen und etwas mehr als zwei Drittel der Fläche von Liechtenstein.

Die Aufnahme der Bilder am 24. Januar 2018 erfolgte rund 12 Stunden nach dem Auftrag. Die Tauglichkeit von solchen Aufnahmen für eine grossflächige und zusammenhängende Lawinenkartierung wurde vom SLF schon in der Lawinenperiode vom 4. bis 10. Januar 2018 getestet. Bei diesem Test waren die Daten bereits 12 Stunden nach der Bestellung am SLF verfügbar, allerdings war die Georeferenzierung ungenügend. Deshalb wurde bei der zweiten Datenaufnahme die Georeferenzierung von Swisstopo durchgeführt, was mehrere Tage Zeit in Anspruch nahm. Im Gegensatz zu den Testdaten, die zwischen dem 6. und 12. Januar 2018 aufgenommen wurden, wurden die Aufnahmen von 24. Januar bei komplett wolkenlosem Himmel gemacht und erlauben eine flächige Kartierung ohne Datenlücken. Für die Kartierung wurde wegen des besseren Kontrasts mit einer Falschfarbendarstellung unter Verwendung des nahen Infrarots gearbeitet (CIR).

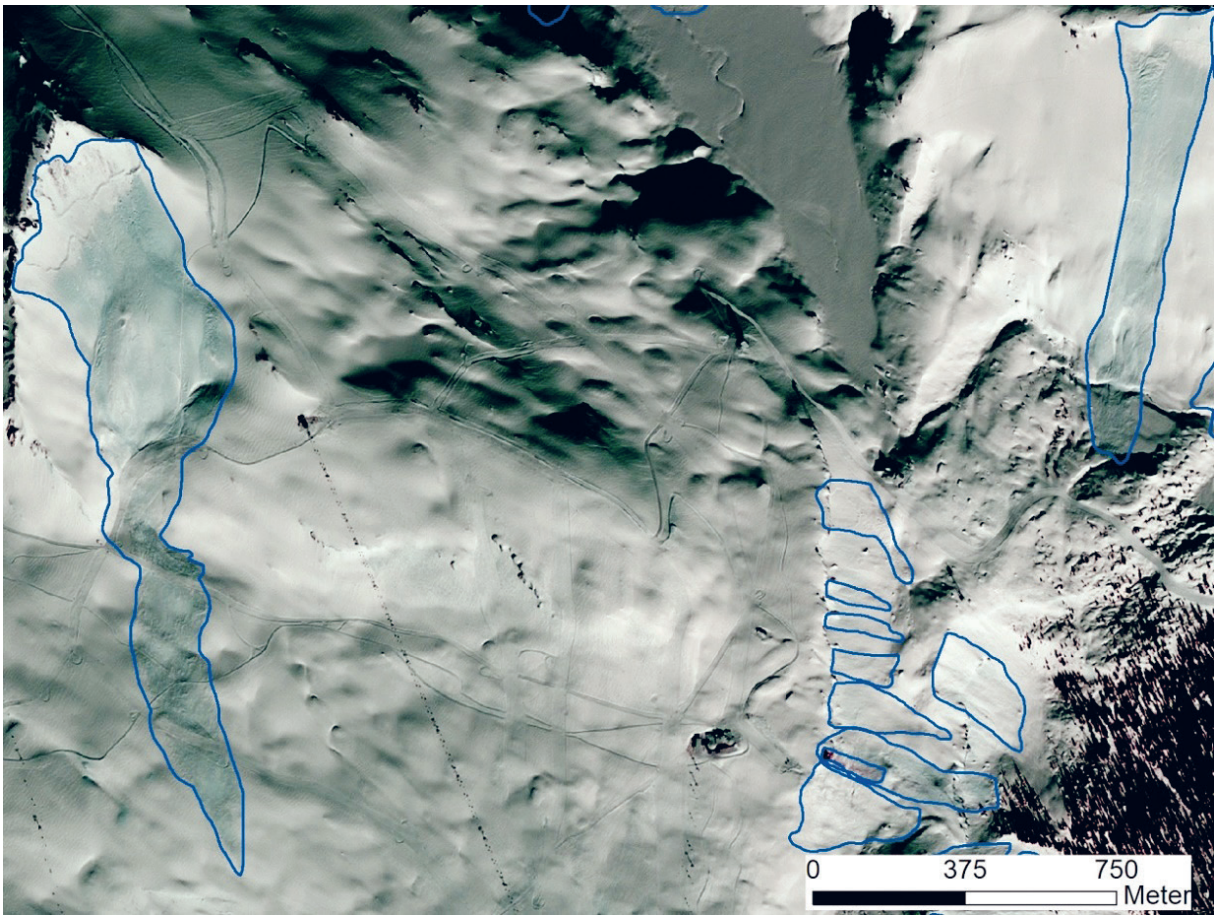


Abb. 52: Beispiel für die Kartierung im Skigebiet Flims (SPOT6-Daten © Airbus DS 2018).

Tab. 4: Lawinenattribute.

Attribut	Ausprägungen Attribute	Beschrieb
Qualitäts-faktor Umriss	genau	Der gesamte Umriss der Lawine vom Anriss über die Sturzbahn bis zur Ablagerung ist eindeutig und überall sichtbar.
	geschätzt	Anriss, Sturzbahn und Ablagerung sind grossteils sichtbar; teilweise ist es aber nicht ganz klar, wo genau der Umriss verläuft. Der Umriss wird, wo er nicht sichtbar ist, mithilfe des Geländes und Interpretation eingezeichnet.
	erzeugt	Nur Ablagerung oder Anriss sind sichtbar oder beide nur in sehr kleinen Teilen. Mithilfe des Reliefs und Interpretation wird ein Umriss «erzeugt», der aufgrund des Geländes wahrscheinlich ist. Das gilt auch, wenn die Lawine am Rand des Satellitenbildes liegt und zum Teil abgeschnitten ist (sofern genug sichtbar ist). Wenn nur die Ablagerung sichtbar ist, dann ist der Lawinentyp unbekannt, wenn nur der Anriss sichtbar ist, kann der Lawinentyp hingegen angegeben werden.
Lawinentyp	Schneebrett-lawine	Die Schneebrettlawine ist durch einen linienförmigen, meist quer zum Hang verlaufenden Anriss charakterisiert.
	Lockerschnee-lawine	Die Lockerschneelawine löst sich punktförmig im extrem steilen Gelände und breitet sich meist birnenförmig aus. Für die Kartierung muss sie mindestens 100 m lang sein.
	Gleitschnee-lawine	Ein Gleitschneeriss ist ein Zugriss in der Schneedecke, der durch deren unterschiedliche Gleitbewegung auf steilen, glatten Hängen entsteht. Wenn das Schneegleiten in die deutlich schnellere Lawinenbewegung übergeht, spricht man von einer Gleitschneelawine.
	unbekannt	Es ist nur die Lawinenablagerung sichtbar (d. h. Qualitätsfaktor Umriss: «erzeugt»), oder die Lawine ist insgesamt so stark überschneit, dass der Lawinentyp nicht mehr feststellbar ist.
Lawinen-grösse	Für die Klassifikation der Lawinen nach Grösse gibt es von den European Avalanche Warning Services (EAWS) eine Einteilung nach Schadenspotenzial, Auslauflänge und Dimensionen (WSL 2017). Diese drei Parameter sind jedoch für Lawinen, die aus Satellitenbildern kartiert werden, nicht automatisiert berechenbar. Deswegen wurde für die Einteilung der Lawinen auf die Grenzwerte zurückgegriffen, die bereits im Protools (Protools 2016), einem Tool für die Lawinenkartierung für Sicherheitsdienste, in Verwendung sind.	

Lawinen-grösse	Bezeichnung	EAWS typ. Länge	EAWS typ. Volumen	Grösse in m^2(*)
1	Rutsch	10–30 m	100 m^3	10 bis 500
2	kleine Lawine	50–100 m	1000 m^3	501 bis 10000
3	mittlere Lawine	mehrere 100 m	10000 m^3	10001 bis 80000
4	grosse Lawine	1–2 km	100000 m^3	80001 bis 500000
5	sehr grosse Lawine	etwa 3 km	> 100000 m^3	> 500000

(*)Diese Angaben in m^2 sind eine Hilfsgrösse für die Grösseneinteilung von aus Satellitenbildern kartierten Lawinen, für alle sonstigen Einschätzungen gilt ausschliesslich die Klassifikation der EAWS.

Exposition	Die Exposition wird in den acht Hauptexpositionen (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) angegeben und gibt die mittlere Exposition im Anrissgebiet an. Da die Anrissgebiete nicht separat kartiert wurden, wurden sie mithilfe von Schwellwerten aus dem Verhältnis von überwundener Höhendifferenz und Lawinenbreite berechnet. Aus den berechneten, mindestens 27° steilen Anrissgebieten wurde die Exposition bestimmt. Die Exposition ist dabei diejenige, die die Mehrzahl der Rasterzellen des 10 m x 10 m Höhenmodells im Anrissgebiet aufweist. Für Lawinen, bei denen die Gesamtfläche 230 m^2 oder kleiner ist, wurde die Exposition mit der gleichen Methodik aus der ganzen Lawinenfläche berechnet. Auch für erzeugte Lawinen gibt es eine Angabe zur Exposition, die jedoch nur unter Berücksichtigung der Genauigkeit interpretiert werden darf.
Meereshöhe Anriss	Die Meereshöhe des Anrisses entspricht der Höhenlage des höchsten Punktes einer kartierten Lawine, berechnet anhand des 10 m x 10 m Höhenmodells. Für erzeugte Lawinen können keine Angaben über die Höhenlage des Anrisses gemacht werden.

Vorgehen bei der Auswertung

Die Umrisse aller Lawinen, die im Massstab 1:5000 sichtbar sind, wurden visuell identifiziert und als Polygone kartiert (Abb. 52). Für die im Januar recht grossen Schattenflächen wurde die Darstellung optimiert und getrennt kartiert. Um keine Lawine zu übersehen, wurde ein Raster über die Bilder gelegt, was eine systematische Kartierung ermöglichte.

Zu jedem Lawinenumriss wurden Zusatzangaben erfasst oder berechnet (Tab. 4), und zwar zum einen zur Qualität der Kartierung (Qualitätsfaktor Umriss), zum anderen zu den Eigenschaften der Lawine (Lawinentyp, Lawinengrösse, Exposition, Meereshöhe des Anrissgebiets). Der Qualitätsfaktor Umriss ist essenziell für die Beurteilung der Genauigkeit der berechneten Eigenschaften. Bei den Eigenschaften der Lawine wurde nur der Lawinentyp schon während der Kartierung erfasst, die restlichen Eigenschaften wurden später berechnet.

Die Kartierung wurde dreimal überarbeitet. Einmal mit der topographischen Karte und der Hangneigung und je einmal mit den Spot-6-Aufnahmen optimiert für Sonne und für Schatten. Kontrolliert und überprüft wurden dabei die logische Fliessrichtung, die Hangneigung im Anrissgebiet, die Ausdehnung der Lawinen und die Vollständigkeit der Kartierung im Gebiet. Besonders genau wurden die Lawinen kontrolliert, die in die Nähe von Infrastruktur beziehungsweise Lawinenschutzbauten kamen. Mithilfe der hier beschriebenen Vorgehensweise wurden im gesamten Untersuchungsgebiet 18 737 Lawinen kartiert.

Qualität der Kartierung

Da kein grossflächiger Datensatz mit entsprechender Genauigkeit zur Validierung zur Verfügung stand, wurde die Genauigkeit der Kartierung nur in einer sehr kleinen Stichprobe getestet. Die Referenzdaten stammen dabei aus Fotos von Helikopterüberflügen, die mithilfe des Monoplotting-Tools (Bozzini *et al.* 2012) verarbeitet wurden. Das Monoplotting-Tool ermöglicht, Landschafts-Schrägbilder (sowohl terrestrisch als auch aus der Luft) zu georeferenzieren und sie als auswertbare Quellen für quantitative Auswertungen oder Messungen aufzubereiten.

Um Lawinenfotos mit dem Monoplotting-Tool zu referenzieren, werden Passpunkte benötigt. Aufgrund des Geländes, in dem Lawinen auftreten, muss dabei oft auf Bäume und Felsen zurückgegriffen werden. Bei diesen ist es jedoch viel schwieriger, den gleichen Punkt in beiden Datensätzen zu treffen, als zum Beispiel bei Strassenkreuzungen. Die Genauigkeit der Referenzierung ist aber wichtig, damit es bei den Aussagen über die Genauigkeit der Lawinenkartierung zu einer möglichst kleinen Verzerrung der Fehlerabschätzung durch die Referenzpunkte kommt. Es wurden acht Lawinenfotos mit dem Monoplotting-Tool so georeferenziert, dass der maximale Fehler geringer als 5 m und der durchschnittliche Fehler geringer als 3 m ist. Auf den verwendeten Fotos wurden 13 Lawinen (ganze oder Teile von Lawinen, je nach Foto) mit einer Gesamtfläche von 434 574 m^2 kartiert. Diese Fläche wurde dann mit den gleichen Lawinen aus der Lawinenkartierung verglichen (Abb. 53).

Die Überlagerung zeigte, dass 73 Prozent der Lawinenfläche korrekt identifiziert wurde (Tab. 5). In der Sonne ist die Genauigkeit mit 80 Prozent besser, im Schatten mit 64 Prozent deutlich schlechter. Der Omission Error, also die Bereiche, die zur Lawine gehören, aber nicht als solche identifiziert wurden, liegt im Schatten mit 25 Prozent deutlich höher als in der Sonne mit nur 9 Prozent. Beim Commission Error, also den Bereichen, die fälschlicherweise der Lawine zugeordnet wurden, liegen Sonne und Schatten mit 12 Prozent beziehungweise 10 Prozent recht nahe

Tab. 5: Genauigkeit der Lawinenkartierung.

Genauigkeit	gesamt	Sonne	Schatten
correct	73,4 %	79,6 %	64,1 %
omission error	15,5 %	8,9 %	25,4 %
commission error	11,1%	11,5 %	10,5 %

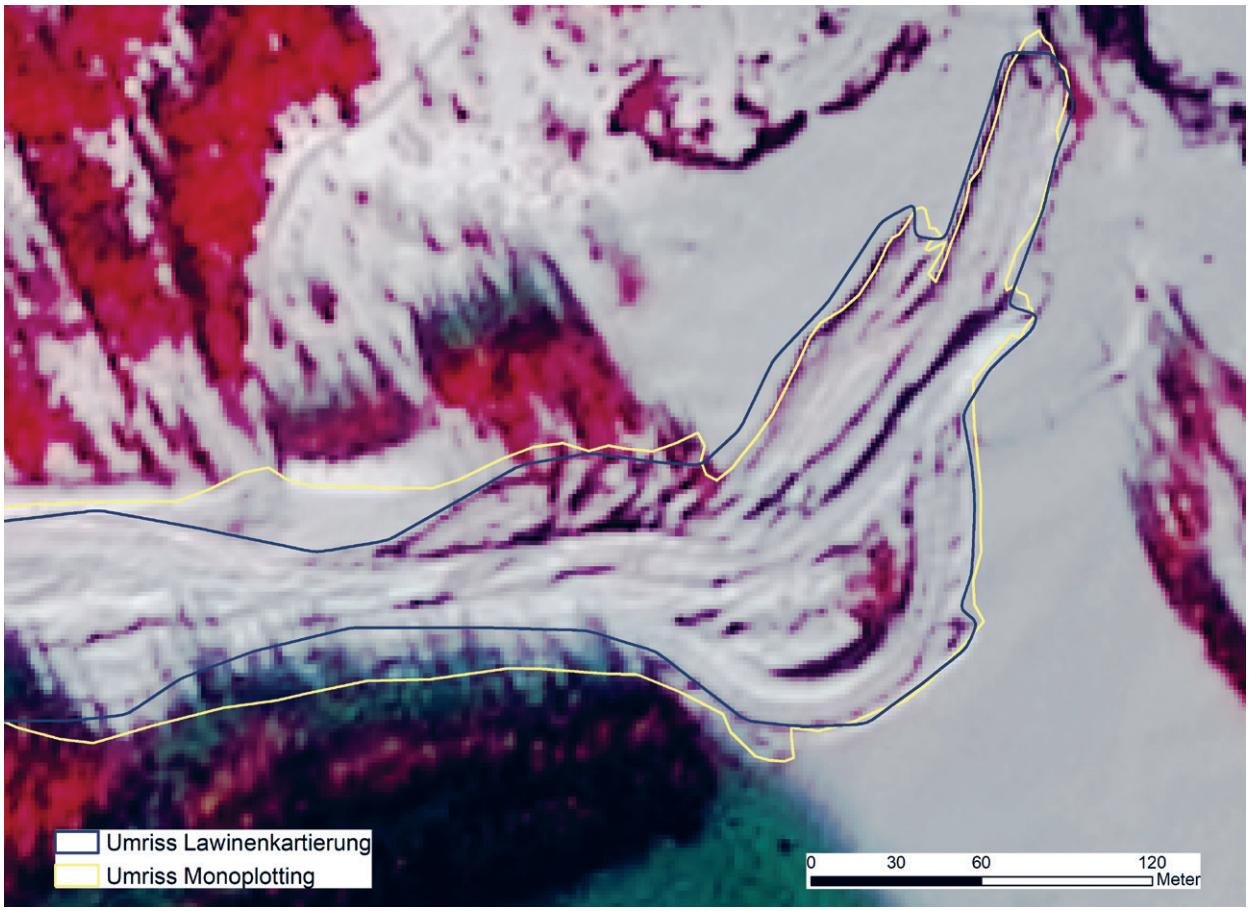


Abb. 53: Vergleich der Umrisse, die aus dem Satellitenbild (blau) kartiert wurden, mit den aus dem Foto mithilfe des Monoplotting-Tools kartierten Umrisses (gelb) an einer Lawine in Trient, VS. Vor allem im Schatten und bei geringmächtigen Ablagerungen werden die Unterschiede deutlich. Als Hintergrund dient das Satellitenbild (SPOT6-Daten © Airbus DS 2018) in Falschfarbendarstellung.

beieinander. Die Resultate bestätigen den Eindruck während des Kartierens, dass im Schatten die genauen Lawinenausmasse schwieriger auszumachen sind als in der Sonne und die Fläche somit tendenziell unterschätzt wird.

Diese Statistik schätzt nur die Genauigkeit der kartierten Lawinenumrisse, weitere potenzielle Fehlerquellen beziehungsweise Herausforderungen der Kartierung, zu denen es keine Statistik gibt, sind folgende:

- Bei mehreren Lawinen in der gleichen Lawinenbahn kann die Ablagerung nicht den verschiedenen Zeitpunkten zugeordnet werden; es kommt unter Umständen zu einer Zusammenfassung zu einer Lawine.
- Überlappende Ablagerungen können nicht der «richtigen» Lawine zugeordnet werden.
- Lawinen, die durch (lichten) Wald oder über Felswände gehen, sind schlecht bis gar nicht sicht- und kartierbar.
- Überschneite oder überwehte Lawinen mit geringer Anriss- und Ablagerungshöhe sind nicht oder nur schwer erkenn- und kartierbar.
- Ablagerungen von Lawinen, die in schmale (schattige) Gräben vorstossen, sind schlecht sichtbar und die genaue Auslauflänge lässt sich somit oft nur schätzen.
- Bei hoher Oberflächenrauigkeit kann es zu Fehlklassifikationen kommen, da die Strukturen im Schnee visuell einer Lawine sehr ähnlich sein können. Dazu gehören durch den Wind geformte Schneestrukturen, aber auch Wechten mit Schneeknollen im Hang darunter. Das kann auf dem Satellitenbild wie der Anriss einer Schneebrettlawine mit dazugehörender Sturzbahn und Ablagerung aussehen.

Alter der Lawinen

Um abschätzen zu können, wie hoch der Prozentsatz älterer Lawinen ist, wurden die Satellitenbilder herangezogen, die zur Methodenevaluation und Erfassung der ersten Lawinenperiode Anfang Januar aufgenommen wurden. In zwei Testgebieten, im Mattertal und im Unterengadin, wurde bei allen Lawinen visuell durch Vergleich der Satellitenbilder kontrolliert, ob sie am 6. und 12. Januar 2018 (Mattertal) beziehungsweise am 8. Januar 2018 (Unterengadin) schon abgegangen waren oder nicht. Die beiden Testgebiete machen 5 Prozent des gesamten Untersuchungsgebiets aus. Die Zahl der überprüften Lawinen in den beiden Gebieten liegt bei knapp 550. Die Referenzdaten sind nicht wolkenfrei und haben zum Teil Verzerrungen, die die Sichtbarkeit beeinflussen, weshalb nicht alle kartierten Lawinen berücksichtigt werden konnten.

Die Überprüfung zeigte, dass in rund 20 Prozent (Unterengadin) bis 22 Prozent (Mattertal) der Lawinenzüge schon vor der Lawinenperiode vom 21. bis 23. Januar eine Lawine abgegangen war, da sie aufgrund der charakteristischen Anriss- und Ablagerungsmuster als identisch identifiziert wurden. Zusätzlich gingen noch in rund 16 Prozent (Unterengadin) bis 25 Prozent (Mattertal) der Lawinenzüge Lawinen ab, mit einem anderen Ausmass als in den Satellitenbildern vom 24. Januar 2018 kartiert (Lawinenabgang im gleichen Lawinenzug, aber nicht gleiche Ausdehnung, Abb. 54). Diese Zahlen sind nicht direkt auf das gesamte Gebiet übertragbar, weil beide Testgebiete schon Anfang Januar eine Periode mit vielen Lawinenabgängen zu verzeichnen hatten, die Lawinenaktivität im restlichen Untersuchungsgebiet aber nicht so stark ausgeprägt war.

Im Mattertal wiesen 92 Prozent der Lawinen, die vor dem 6. Januar komplett abgingen und am 24. Januar noch sichtbar waren, eine Grösse von mehr als 10 000 m^2 auf. Bei den Lawinen, die zwischen der ersten Aufnahme und der vom 12. Januar abgingen, hatten noch 81 Prozent und bei allen am 24. Januar kartierten Lawinen 78 Prozent eine Fläche grösser als 10 000 m^2. Das bedeutet, dass selbst nach einem grossen Schneefall alte Lawinen noch sichtbar sein können, und dass grössere Lawinen tendenziell länger sichtbar bleiben als kleine. Diese Abschätzung bedeutet auch, dass nicht alle der 18 737 kartierten Lawinen aus der Lawinenperiode vom 21. bis 23. Januar stammen, sondern in etwa ein Fünftel der Lawinen (im Vergleich zu 36–47 Prozent in den Testgebieten) früher abgegangen sein dürfte.

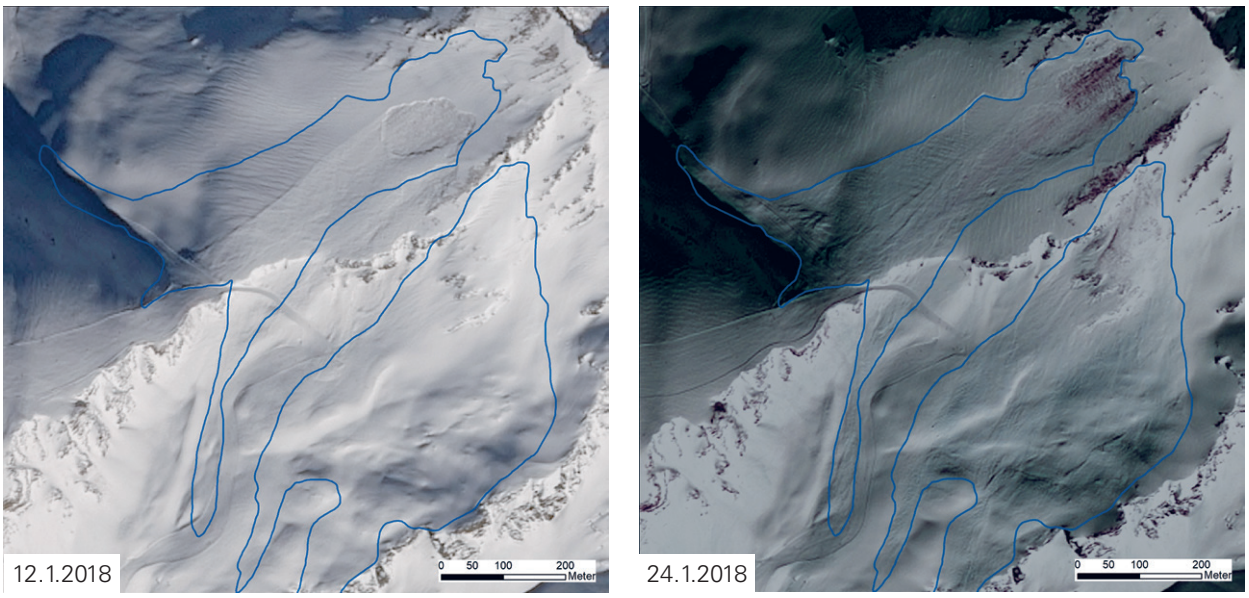


Abb. 54: SPOT-6-Aufnahmen (SPOT6-Daten © Airbus DS 2018) zu zwei Zeitpunkten in der Nähe des Oberrothorns, VS. Im nördlichen Lawinenzug ist bereits eine Lawine Anfang Januar 2018 abgegangen (im linken Bild erkennbar). Auf dem rechten Bild vom 24. Januar 2018 ist eine grössere Lawine im gleichen Lawinenzug zu erkennen, wobei auch die Ablagerung und der Stauchwall der Lawine von Anfang Januar 2018 immer noch zu erkennen sind. Die Lawine im südlichen Lawinenzug ist auf dem Bild vom 12. Januar 2018 nicht zu erkennen, ist also danach, höchstwahrscheinlich in der Lawinenperiode vom 21. bis 23. Januar, abgegangen.

2.6.3.2 Analyse der Lawinenaktivität

Ausprägung der Attribute

Sichtbarkeit der Umrisse
Bei den insgesamt 18737 kartierten Lawinen ist der Qualitätsfaktor für den Umriss eines der wichtigsten Attribute (Tab. 4). Ein Drittel der Lawinen war so gut sichtbar, dass sie genau kartiert werden konnten. Bei 58 Prozent der Lawinen konnte der Umriss geschätzt werden und nur 9 Prozent waren so schlecht sichtbar, dass ein Teil des Lawinenumrisses erzeugt werden musste (Abb. 55).

Wie Tabelle 6 und Abbildung 56 zeigen, hängt die Möglichkeit, eine Lawine genau zu kartieren, mit ihrer Grösse und Exposition zusammen. Tendenziell konnten Rutsche und kleine Lawinen (Grösse 1 und 2) öfter genau erfasst werden als grössere Lawinen. Zum Zeitpunkt der Satellitenaufnahme beleuchtete die Sonne die Expositionen Ost bis Süd. In diesen Expositionen war der prozentuale Anteil der genau kartieren Lawinen am höchsten, während anteilsmässig die meisten erzeugten Umrisse genau gegenüber in den Schattenbereichen liegen. Die geschätzten Umrisse sind im Gegensatz dazu gleichmässig über alle Expositionen verteilt.

Lawinentyp
Aus den Satellitenbildern lässt sich bei guter Sichtbarkeit feststellen, um welchen Typ es sich bei einer Lawine handelt (Tab. 4). Knapp drei Viertel der Lawinen waren Schneebrettlawinen (Abb. 57), 11 Prozent Gleitschneelawinen und ein mit 3 Prozent sehr kleiner Teil Lockerschneela-

Tab. 6: Anteile Lawinengrössen an den verschiedenen Ausprägungen des Qualitätsfaktors des Umrisses.

	genau	**geschätzt**	**erzeugt**
Grösse 1 und 2 (<10000 m^2)	59,0 %	37,8 %	3,2 %
Grösse 3 (10000–80000 m^2)	22,7 %	65,2 %	12,1 %
Grösse 4 und 5 (> 80000 m^2)	15,7 %	72,6 %	11,7 %

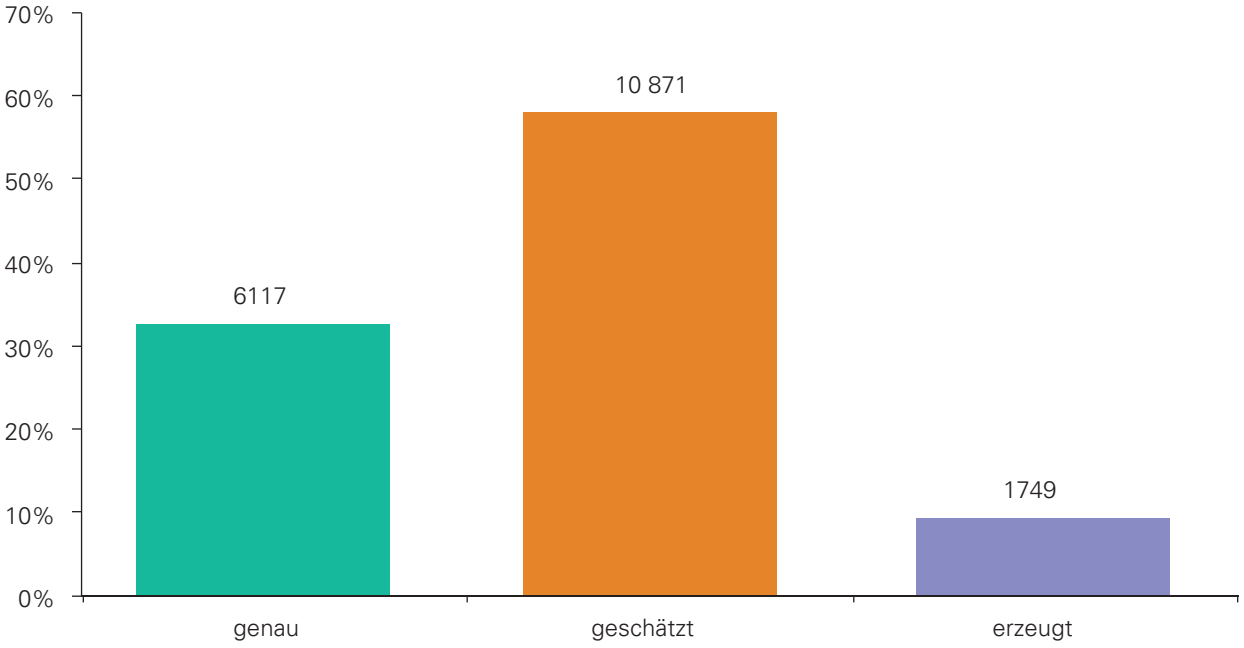


Abb. 55: Genauigkeit der kartierten Lawinen nach Qualitätsfaktor Umriss.

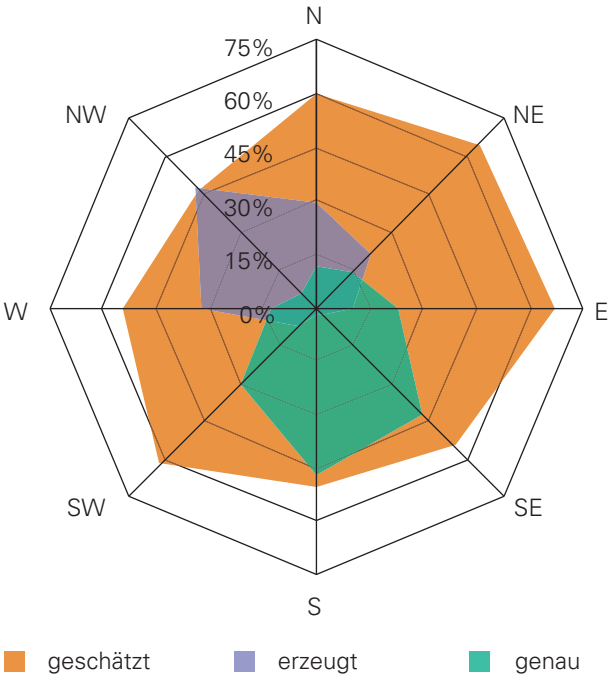


Abb. 56: Verteilung der Sichtbarkeit des Umrisses nach Exposition: es ist für jede Exposition der Anteil der einzelnen Ausprägungen des Qualitätsfaktors Umriss dargestellt. Die Summe jeder Exposition beträgt somit 100 %. Die Exposition in dieser Abbildung bezieht sich auf den ganzen Lawinenumriss und nicht nur auf die Exposition im berechneten Anrissgebiet.

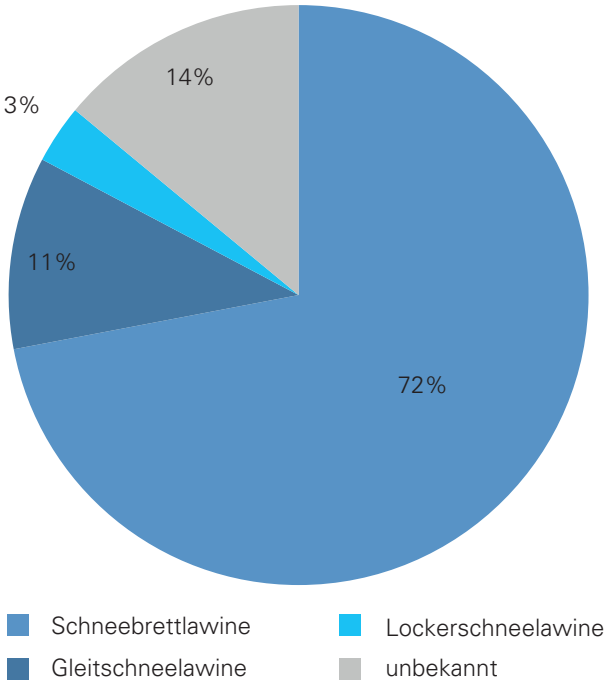


Abb. 57: Anteile der einzelnen kartierten Lawinentypen.

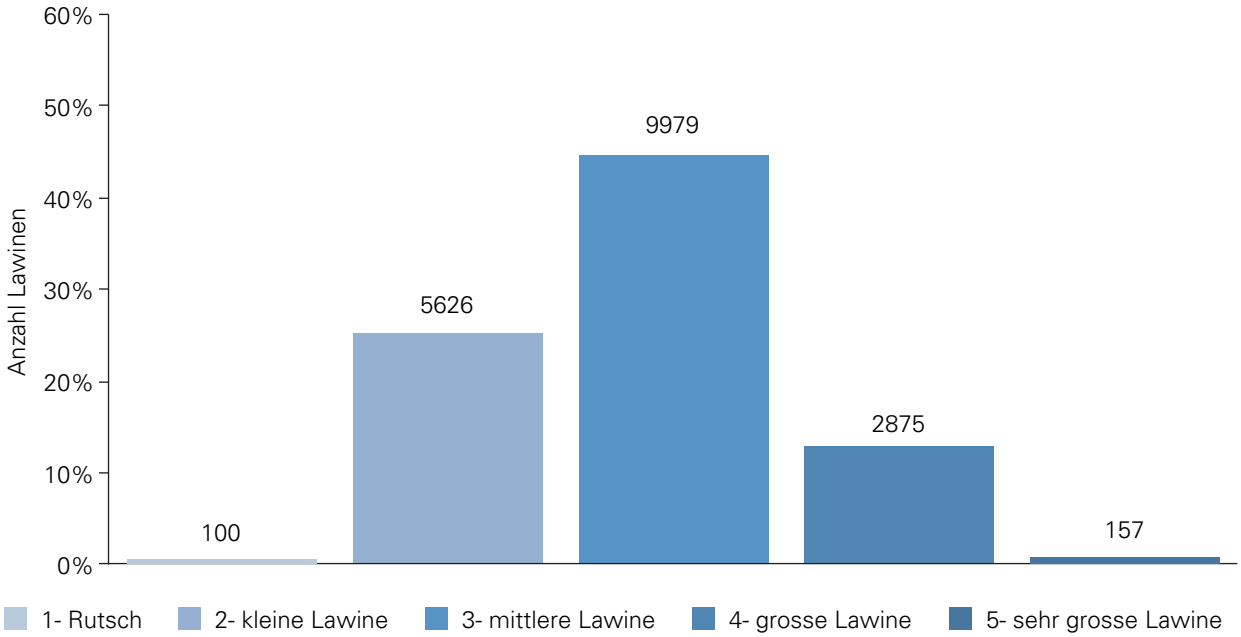


Abb. 58: Anteile der einzelnen Lawinengrössen an den kartierten Lawinen.

winen. Bei den restlichen 14 Prozent der Lawinen konnte nicht festgestellt werden, um welchen Lawinentyp es sich handelte. In diese Kategorie fallen alle erzeugten Lawinen, bei denen nur die Lawinenablagerung sichtbar war, und Lawinen, bei denen aufgrund von Windeinfluss oder Schneefall zwischen dem Lawinenabgang und der Satellitenaufnahme der Typ nicht mehr feststellbar war.

Lawinengrössen

Laut Definition (Tab. 4) waren mit 9979 mehr als die Hälfte der kartierten Lawinen mittel (Grösse 3), 16,1 Prozent waren grosse (Grösse 4) oder sehr grosse (Grösse 5) Lawinen; die restlichen 30,5 Prozent machten kleine Lawinen (Grösse 2) und Rutsche (Grösse 1) aus (Abb. 58).

Exposition

Wie Abbildung 59 zeigt, sind die kartierten Lawinen auf alle Expositionen verteilt, prozentual die meisten Lawinen findet man jedoch in den Expositionen Ost bis Süd. Wie am Anfang des Kapitels erwähnt, blies der Wind stark bis stürmisch aus West bis Nord, wodurch in den Expositionen Ost bis Süd viel Triebschnee abgelagert worden sein dürfte. Zum Zeitpunkt der Satellitenaufnahme beleuchtete die Sonne allerdings auch genau diese Expositionen am besten. Sehr grosse und grosse Lawinen (Grösse 4 und 5) traten ebenfalls in allen Expositionen auf; ihre Verteilung entspricht in etwa jener aller Lawinen.

Betrachtet man die Exposition für jeden Lawinentyp einzeln, so zeigen sich deutliche Unterschiede (Abb. 60). Gleitschneelawinen traten fast ausschliesslich in den Expositionen Südost bis Südwest auf. Dies erscheint logisch, denn damit eine Gleitschneelawine entstehen kann, muss der Schnee am Übergang zum Boden feucht sein. Dies wird durch einen warmen Boden begünstigt. In den Expositionen Südost bis Südwest dürfte der Boden wärmer gewesen sein als zum Beispiel nordseitig.

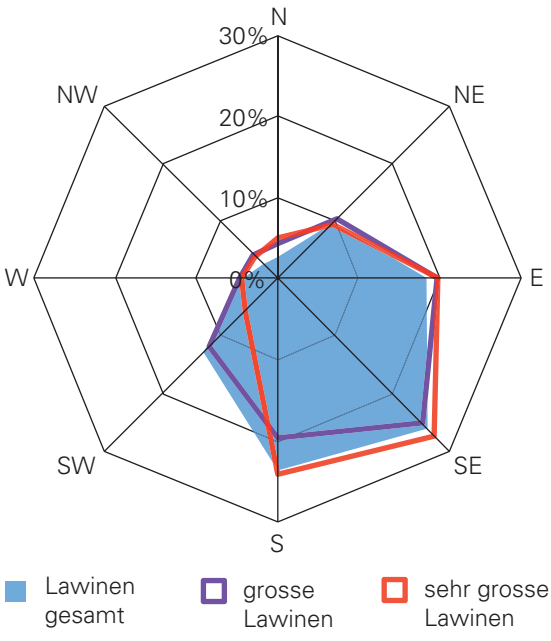


Abb. 59: Anteile der kartierten Lawinen an den verschiedenen Expositionen: die Verteilung der Lawinen über alle Expositionen ergibt jeweils insgesamt 100 %. Die Abbildung zeigt, dass in den Expositionen Ost bis Süd deutlich mehr Lawinen auftraten als in den anderen Expositionen, der Anteil sehr grosser und grosser Lawinen an jeder Exposition jedoch jeweils sehr ähnlich ist.

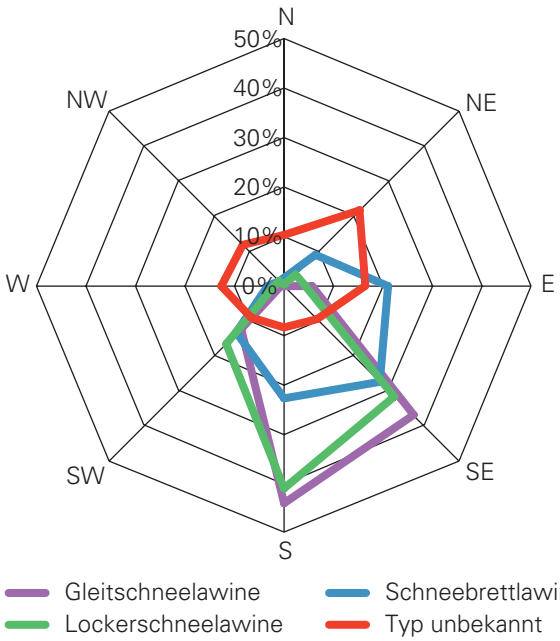


Abb. 60: Anteile an den einzelnen Expositionen nach Lawinentyp: die Verteilung der einzelnen Lawinentypen über alle Expositionen ergibt jeweils insgesamt 100 %.

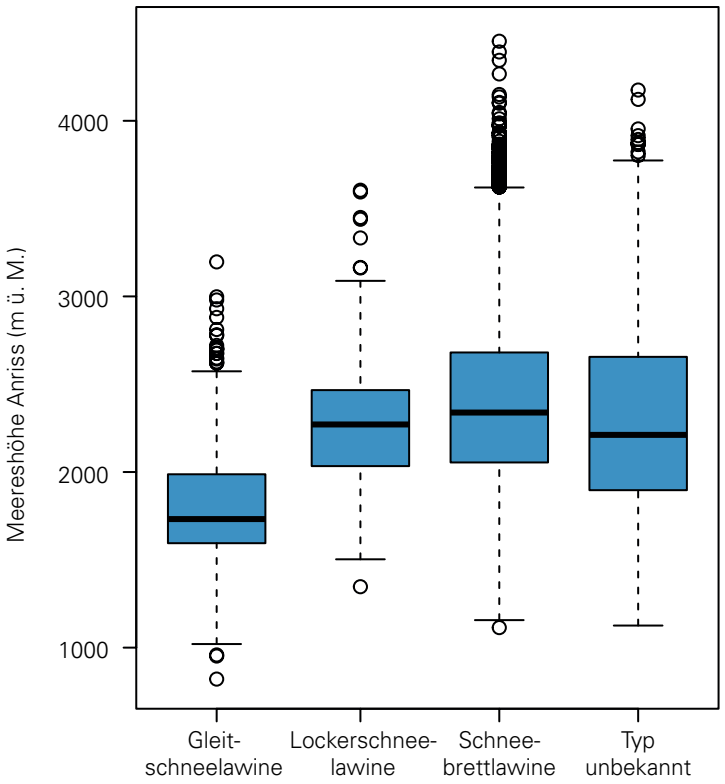


Abb. 61: Verteilung der Meereshöhe des Anrissgebietes nach Lawinentyp (jeweils höchster Punkt einer Lawine, ohne Lawinen mit Qualitätsfaktor «erzeugt»).

Die kartierten Lockerschneelawinen zeigen eine ähnliche Verteilung wie die Gleitschneelawinen; sie gehen grundsätzlich vermehrt bei starker Erwärmung ab, und das war definitiv in den Expositionen Südost bis Südwest durch die einstrahlende Sonne der Fall. Schneebrettlawinen zeigen eine ähnliche Verteilung wie die gesamten Lawinen, mit den meisten Lawinen in den besonnten Expositionen mit Triebschnee. Die Verteilung der Lawinen, bei denen der Typ unbekannt ist, unterscheidet sich stark vom Rest. Die meisten Lawinen befanden sich im Sektor Nordost bis Ost, aber auch die Anteile an den Expositionen West bis Nord waren deutlich höher als bei allen anderen Lawinentypen.

Meereshöhe der Anrissgebiete
Abbildung 61 zeigt, dass Schneebrettlawinen in allen Höhenlagen auftraten, in denen Schnee lag, und eine mittlere Meereshöhe des Anrisses von 2388 m ü. M. aufwiesen. Gleitschneelawinen wiesen hingegen mit 1791 m ü. M. eine deutlich tiefere mittlere Meereshöhe des Anrissgebiets auf als Schneebrettlawinen. Insgesamt rissen 90 Prozent der Gleitschneelawinen unter 2200 m ü. M. an. Lockerschneelawinen und Lawinen unbekannten Typs wiesen ähnliche mittlere Höhenlagen des Anrissgebietes auf wie Schneebrettlawinen.

Räumliche Verteilung der Lawinen

Lawinendichte pro Quadratkilometer
Die 18737 kartierten Lawinen bedecken 7 Prozent des Untersuchungsgebietes. Betrachtet man den von Lawinen überstrichenen Anteil von 1 km^2 grossen Rasterzellen, zeigt sich eine hohe Dichte in den Urner Alpen, im Goms, im östlichen Berner Oberland, im Gredetsch-, Baltschieder- und Bietschtal, im nördlichen Unterwallis, vom Val d'Hérens bis in die Vispertäler, sowie im Unterengadin (Abb. 62). Einige Rasterzellen haben über 61 Prozent Lawinenbedeckung, maximal wurden 88 Prozent eines Quadratkilometers von Lawinen überstrichen. Die Bereiche grosser Dichte sind mit dem Auftreten grosser und sehr grosser Lawinen (Grösse 4 und 5) fast identisch.

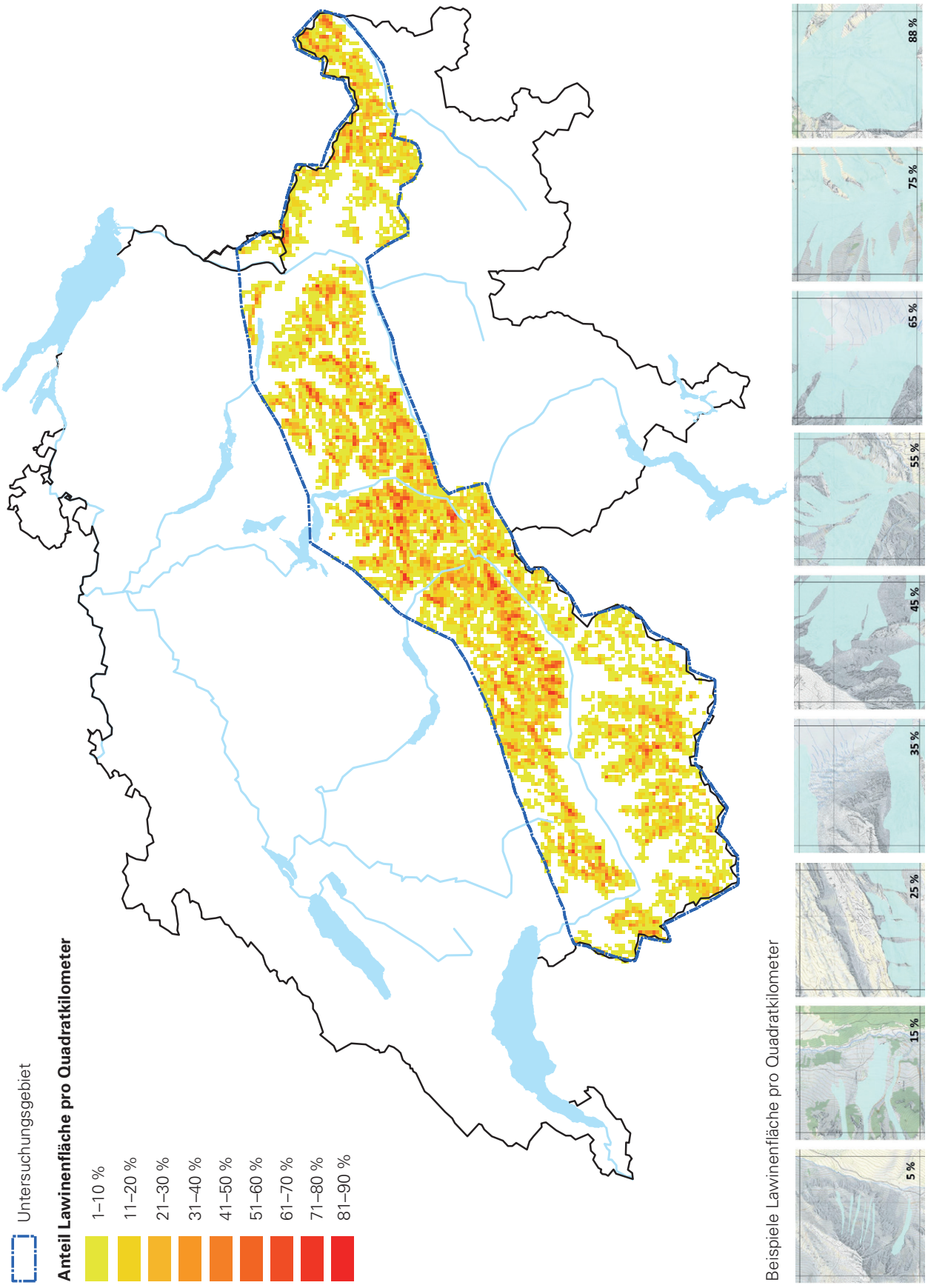


Abb. 62: Lawinendichte pro Quadratkilometer bei Berücksichtigung aller Lawinen.

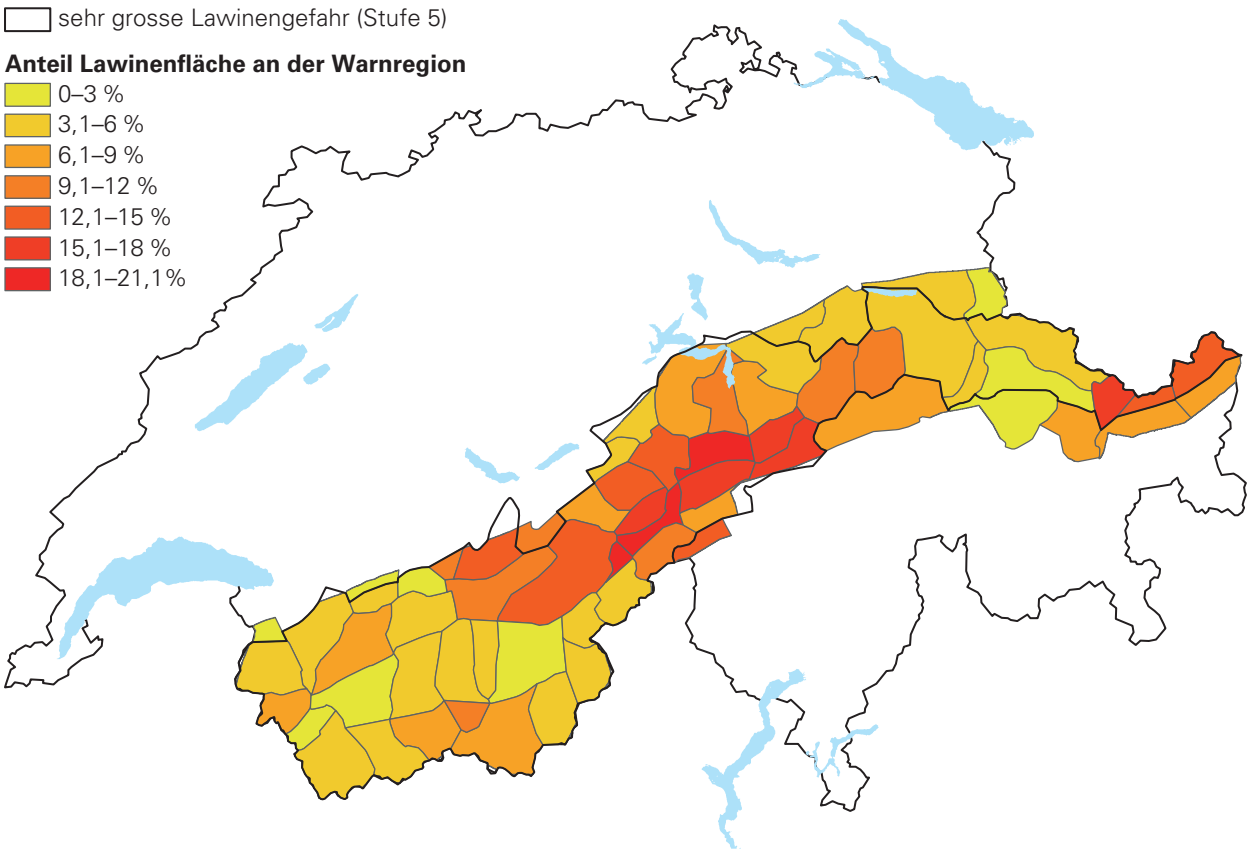


Abb. 63: Lawinendichte pro Warnregion bei Berücksichtigung aller Lawinen. Für die Berechnung wurden nur die (Teile von) Warnregionen herangezogen, die im Untersuchungsgebiet liegen.

Lawinendichte in den Warnregionen

Betrachtet man die Lawinenfläche in Relation zu einer grösseren Fläche – den Warnregionen – so liegt der maximale Anteil, der von Lawinen überstrichen wurde, bei 21 Prozent (Abb. 63). Die höchsten Dichten findet man vom Aletschgebiet bis ins Tujetsch und in Teilen des Unterengadins.

Das Vorkommen grosser und sehr grosser Lawinen (Grösse 4 und 5) in den einzelnen Warnregionen kann mithilfe der vorliegenden Kartierung beurteilt werden. Abbildung 64 zeigt, dass grosse Lawinen (Grösse 4) in allen Warnregionen im Untersuchungsgebiet vorkamen. Besonders viele grosse Lawinen in Relation zur Warnregionsfläche gab es vom Aletschgebiet bis ins Urseren, auch im Osten an der Grenze zu Österreich war die Dichte hoch. Sehr grosse Lawinen (Grösse 5) hingegen gab es nicht in allen Warnregionen (Abb. 65). Keine einzige sehr grosse Lawine gab es zum Beispiel im Prättigau und in Teilen des Wallis.

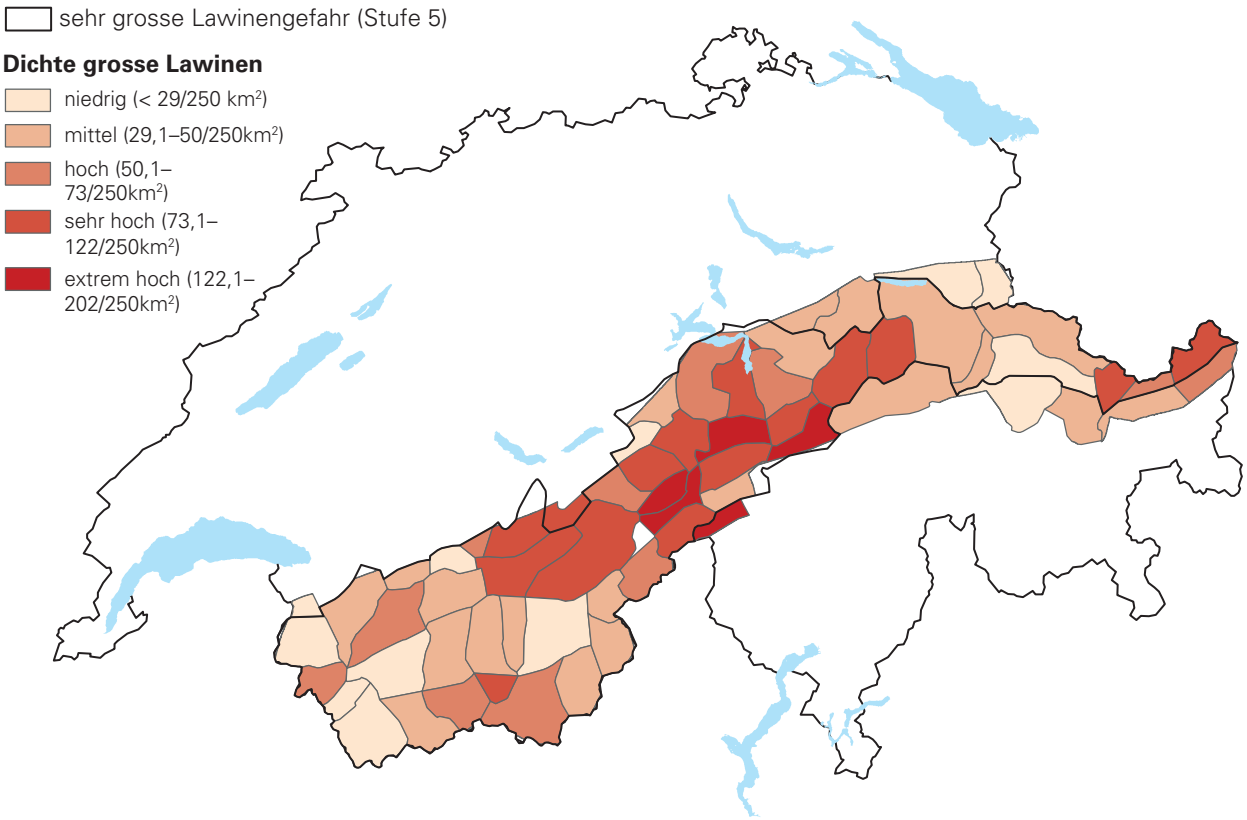


Abb. 64: Lawinendichte (Anzahl/Fläche) nach Warnregion für grosse Lawinen (Grösse 4).

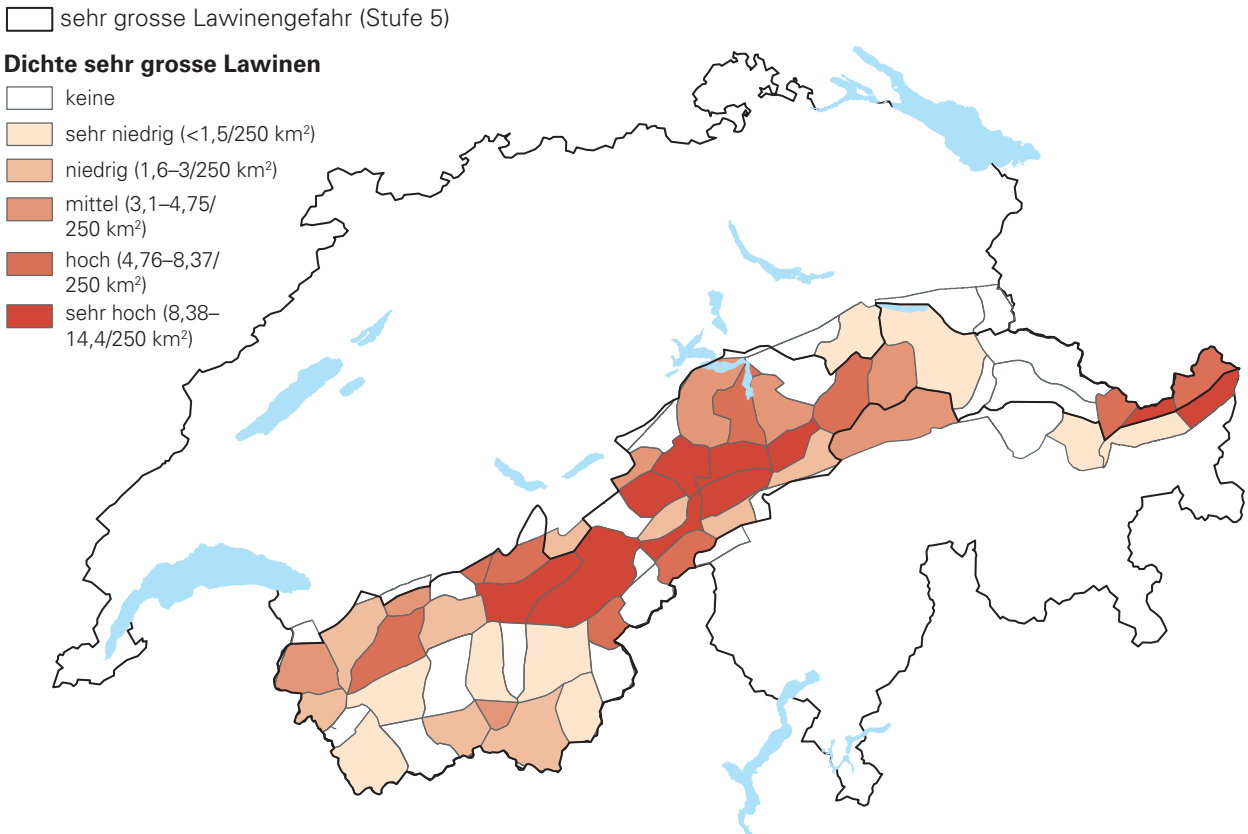


Abb. 65: Lawinendichte (Anzahl/Fläche) nach Warnregion für sehr grosse Lawinen (Grösse 5).

2.6.3.3 Erkenntnisse und Schlussfolgerungen

Wenn nach einer Periode hoher Lawinenaktivität das Wetter eine wolkenfreie Aufnahme erlaubt, so ermöglicht die Kartierung von Lawinen aus den Satellitenbildern die Erfassung der Lawinenaktivität mit grösstmöglicher Vollständigkeit. Da Lawinen unter Umständen auch noch Tage oder Wochen nach dem Abgang sichtbar sein können, wären regelmässige Aufnahmen von Vorteil, um nach einer Periode hoher Lawinenaktivität verifizieren zu können, ob alle erkennbaren Lawinen auch wirklich von der Lawinenperiode stammen oder sich allenfalls schon früher ereigneten. Die Sichtbarkeit der Lawinen ist nicht nur vom Wetter (wolkenfrei), sondern auch von den Beleuchtungsverhältnissen abhängig. In besonnten Bereichen ist es deutlich einfacher, einen genauen Umriss zu kartieren. Die Kartierung der Lawinen erlaubt eine Reihe von Analysen, die ein besseres Verständnis liefern, die helfen, zukünftige Prognosen zu verbessern, und die auch in der Gefahrenzonenkartierung verwendet werden können. Die Kartierung von Lawinen aus Satellitenbildern zeigt also grosses Potenzial für die nachträgliche Überprüfung von Extremsituationen unter den bereits erwähnten Restriktionen.

Am 16. Januar 2019 wurden mit SPOT 6 abermals Satellitenbilder aufgenommen, um die grossflächige sehr grosse Lawinengefahr (Stufe 5) vom 14. Januar 2019 analysieren zu können. Bei dieser Situation lag die Schneefallgrenze deutlich tiefer, und es wurden dem Lawinenwarndienst im Gegensatz zum Januar 2018 viele trockene Lawinen mit hohem Staubanteil gemeldet. Nach der Kartierung und Analyse der Situation vom Januar 2019 erhofft sich das SLF, eine genaue Beschreibung der Eignung von Satellitendaten für unterschiedliche Lawinenperioden geben und somit Empfehlungen für die Verwendung der Methode in Zukunft machen zu können.

2.7 Überprüfung der prognostizierten Gefahrenstufen

Die Tage vom 21. bis 23. Januar 2018 waren die intensivste dreitägige Lawinenperiode seit der Lawinenaktivitätsindex berechnet wird, und damit wohl seit Februar 1999. Sowohl die 3-Tages- und die 7-Tages- als auch die 25-Tages-Neuschneesumme bis zum 23. Januar 2018 wiesen Jährlichkeiten von etwa 10 bis 40 Jahren auf, wobei die höchsten Werte im Wallis und teils im nördlichen Graubünden erreicht wurden. In den oberen Vispertälern war die Jährlichkeit lokal noch höher. Dabei erreichten die Niederschläge ähnlich hohe Werte wie in früheren, durch Nordweststaulagen verursachten Lawinenperioden. Damit scheint die Verwendung der Gefahrenstufe 5 (sehr gross) auch im Nachhinein gerechtfertigt, selbst wenn das Ereignis in Bezug auf die Niederschlagsmenge und besonders in Bezug auf die Schäden klar hinter dem Februar 1999 zurückblieb.

Ein Vergleich der kartierten Lawinen mit dem Lawinenaktivitätsindex AAI zeigt, dass der Anteil der vom SLF-Beobachternetz erfassten Lawinen in der Grössenordnung von 10 Prozent lag. Dies zumindest was die mittleren bis sehr grossen Lawinen (Grösse 3 bis 5) betraf. Dieser Wert mag auf den ersten Blick klein erscheinen, doch gilt es zu berücksichtigen, dass viele Lawinen in abgelegenen Gegenden abgingen oder bei der schlechten Sicht aus dem Tal nicht erkennbar waren. Auch wenn von den Beobachtern längst nicht überall alle Lawinen erfasst werden können, zeigen die Beobachtermeldungen doch eindeutig, dass die höchste Lawinenaktivität vom Abend des 21. bis am Morgen des 23. Januar auftrat. Sie wurde damit richtig vorhergesagt, genauso wie der schnelle Rückgang danach.

In welchen Gebieten, Expositionen und Höhenlagen wurde die Gefahr richtig prognostiziert? Die erfasste Lawinenaktivität erlaubt eine diesbezügliche Verifikation. Gemäss Definition der EAWS (2017) sind bei Stufe 5 «Spontan viele grosse (Grösse 4), mehrfach auch sehr grosse (Grösse 5) Lawinen zu erwarten». Dabei bleibt allerdings offen, was unter «viele» und «mehrfach» zu verstehen ist, und auf welchen Zeitbereich und welche Gebietsgrösse Bezug genommen wird. In Ermangelung einer klaren Definition, verwenden wir für die einzelnen Warnregionen die folgenden Kriterien: mindestens «mittlere» Aktivität von grossen Lawinen (mehr als 29 grosse Lawinen, Grösse 4, pro 250 km^2, Abb. 50) oder mindestens «mittlere» Aktivität von sehr

grossen Lawinen (mehr als 0,7 sehr grosse Lawinen, Grösse 5, pro 250 km^2, Abb. 51). Ob sich diese Kriterien allgemein bewähren, lässt sich derzeit noch nicht abschätzen, weil bisher keine weiteren, vollständigen Lawinenkartierungen zur Verfügung stehen. Über die gesamte Dauer des Ereignisses ergibt sich Folgendes (Abb. 66):

– Mit obigen Kriterien zur Lawinenaktivität war die Gefahrenstufe 5 (sehr gross) in 47 der 54 Warnregionen, in denen sie prognostiziert wurde, gerechtfertigt. Anhand der Lawinenaktivität nicht erreicht wurde sie in folgenden sieben Warnregionen: Génépi, Val d'Entremont–Val Ferret, Martigny–Verbier, Untere Vispertäler, südliches Simplongebiet, Iffigen sowie südliches Prättigau. Auffallend ist, dass zwei dieser sieben Warnregionen sehr klein sind (Génépi und Iffigen), so dass dort evtl. auch der Zufall eine grössere Rolle gespielt haben könnte. Zwei weitere Warnregionen (Martigny–Verbier und Untere Vispertäler) haben zudem grössere, tief gelegene Bereiche, welche die Lawinendichte reduzieren. Im südlichen Simplongebiet war die Gefahr im Abendbulletin vom 21. Januar mit Stufe 5 prognostiziert und bereits am Morgen des 22. Januars wegen nicht ganz so intensiver Schneefälle wieder auf Stufe 4 heruntergestuft worden.
– In den folgenden vier Warnregionen wurde die Gefahr mit der Stufe 4 prognostiziert, doch wäre im Nachhinein betrachtet in diesen Gebieten gemäss den obigen Kriterien die Gefahrenstufe 5 gerechtfertigt gewesen: Glarus Nord und Mitte, Flims, Davos, nördlicher Teil des Val Suot. Ob die Gefahrenstufe 5 im Nachhinein betrachtet auch noch in weiteren Warnregionen gerechtfertigt gewesen wäre, lässt sich nicht abschliessend beurteilen, weil die Satellitenbilder nur wenig über die Gebiete mit prognostizierter Stufe 5 hinaus aufgenommen wurden. Anhand der Schadensbilanz und der Beobachtermeldungen muss aber nicht davon ausgegangen werden.
– Im Bulletin wurde prognostiziert, dass trockene Lawinen vor allem in Höhenlagen über 2000 m ü. M. anreissen. Diese Höhenlage wurde im Nachhinein bestätigt, rissen doch drei Viertel

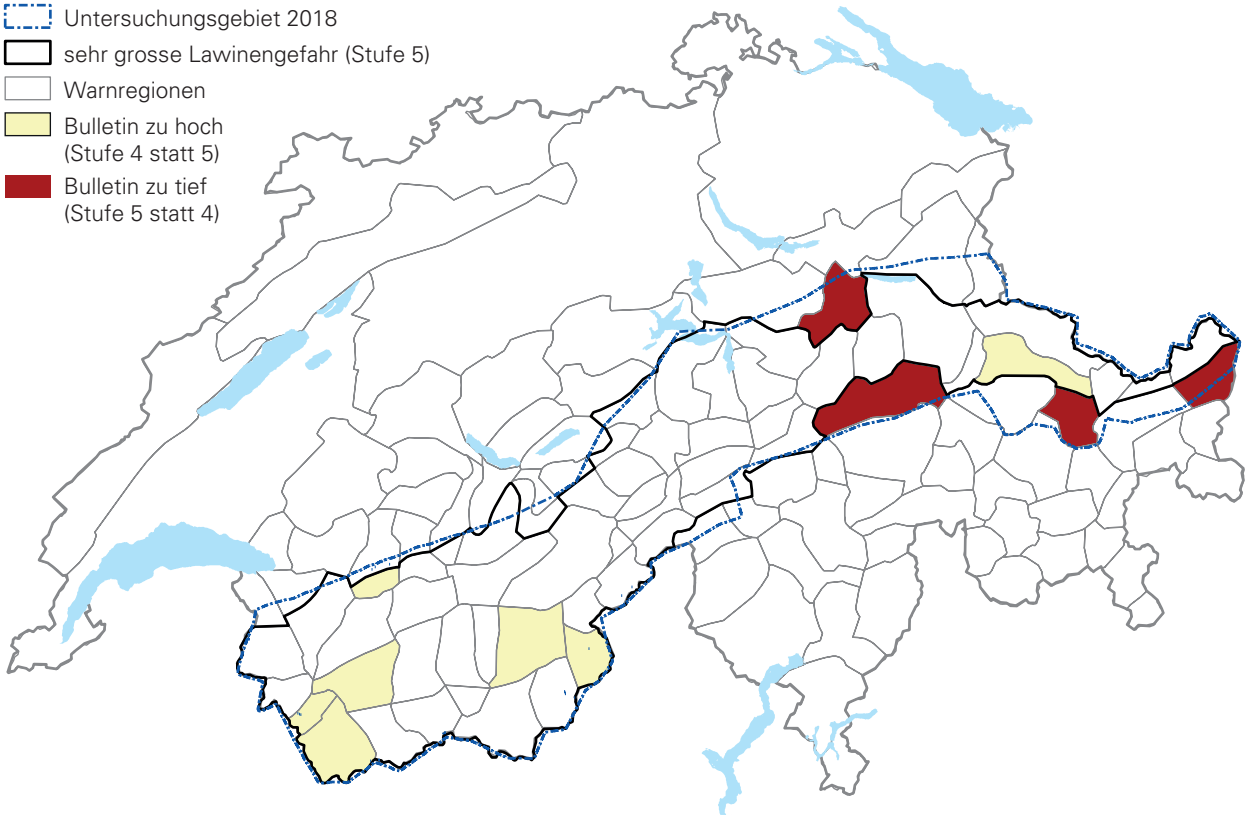


Abb. 66: Kontrolle der prognostizierten Lawinengefahr anhand der Lawinenkartierung pro Warnregion. Weiss mit schwarzem Rahmen in der blau umrandeten Fläche: Stufe 5 prognostiziert und bestätigt. Gelb: Stufe 5 prognostiziert, aber von der Lawinenaktivität her nicht bestätigt. Rot: Stufe 4 prognostiziert, anhand der Lawinenaktivität wäre im Nachhinein aber Stufe 5 gerechtfertigt gewesen.

der Lawinen oberhalb dieser Höhenlage an (Abb. 61). Es wird davon ausgegangen, dass ein Grossteil der in tieferen Lagen angerissenen Lawinen nass oder zumindest feucht war. Verifizieren lässt sich dies aber nicht, weil die Beobachter meistens nur die Feuchte der Ablagerung und nicht des Anrisses sahen, und die Kartierung zwar den Lawinentyp, nicht aber die Feuchte liefert.
– Gleitschneelawinen wurden vor allem für Höhenlagen unter 2200 m ü. M. prognostiziert. Die Lawinenkartierung zeigt, dass dieser Wert eher etwas hoch war, rissen doch drei Viertel der Gleitschneelawinen unterhalb von rund 2000 m ü. M. an (Abb. 61).
– Gewarnt wurde vor Lawinen an allen Expositionen. Gemäss Kartierung war die Lawinenaktivität an Süd- und Osthängen deutlich grösser als in Nord- und Westhängen, doch war der Anteil an grossen und sehr grossen Lawinen (Grösse 4 und 5) in allen Expositionen ähnlich. Damit kann nicht schlüssig beurteilt werden, ob es richtig war, vor Lawinen aus allen Expositionen zu warnen. Offensichtlich wurde der Einfluss des an Nordhängen schwächeren Schneedeckenaufbaus in der letzten, aktivsten Phase etwas überschätzt.

Insgesamt dürfen die während dieser Zeit herausgegebenen Lawinenwarnungen im Nachhinein betrachtet als gesamthaft sehr zutreffend eingestuft werden. Wesentlich dazu beigetragen haben sicherlich die guten Prognosen der numerischen Wettermodelle Cosmo 1 und Cosmo E von MeteoSchweiz.

3 Schäden und unterbrochene Verkehrsverbindungen

Im Winter 2017/18 ereigneten sich überdurchschnittlich viele Unfälle mit Personen, allerdings mehrheitlich ausserhalb der Periode hoher Lawinenaktivität vom Januar 2018. Im Folgenden beschreiben wir ausschliesslich Schadenereignisse vom 4. bis 23. Januar 2018. Bei vielen Schadenlawinen war das genaue Abgangsdatum nicht genau bestimmbar, deshalb musste bei einigen Auswertungen der gesamte Zeitraum vom 4. bis 23. Januar berücksichtigt werden. Damit sind sicherlich alle erfassten Ereignisse der Periode vom 21. bis 23. Januar berücksichtigt, aber zusätzlich auch Ereignisse von Anfang Januar, welche vor allem in den Vispertälern zahlreich waren. Alle anderen Schadenlawinen des Winters 2017/18 werden im Winterbericht des SLF analysiert und beschrieben.

3.1 Personenlawinen

In der Periode vom 4. bis 23. Januar kamen keine Personen in gesicherten Gebieten zu Schaden. Weder auf Verkehrswegen noch in Gebäuden wurden Personen von Lawinen erfasst. Allerdings drang eine Lawine in ein bewohntes Haus ein (Kap. 3.3.10).

Bei zwei Unfällen im freien Gelände gab es drei Todesopfer. So starb ein Variantenfahrer am 18. Januar in Ovronnaz, VS, und zwei Skitourenfahrer kamen am 19. Januar am Gumenihubel, BE ums Leben.

3.2 Lawinen mit Sachschäden oder Suchaktionen

Insgesamt wurden in der Schadenlawinendatenbank des SLF vom 4. bis 23. Januar 141 Lawinenereignisse registriert. Dabei verursachten 25 Lawinen Schäden an Gebäuden, 55 Lawinen Schäden an Verkehrswegen, Fahrzeugen, Stromleitungen oder Transportanlagen und 83 Lawinen Schäden an Wald oder Flur. Bei 53 Lawinen kam es zu einer Räum- oder Suchaktion.

3.2.1 Räumliche und zeitliche Verteilung

Schadenlawinen wurden aus dem Wallis, vom Alpennordhang und aus Graubünden gemeldet. Am Alpensüdhang gab es in dieser Periode keine Lawinen mit Schäden. Die auffälligste Häufung von Schadenlawinen lag in den Vispertälern und im Turtmanntal. Häufungen gab es aber auch in der Surselva, im Raum Davos und im Unterengadin (Abb. 67).

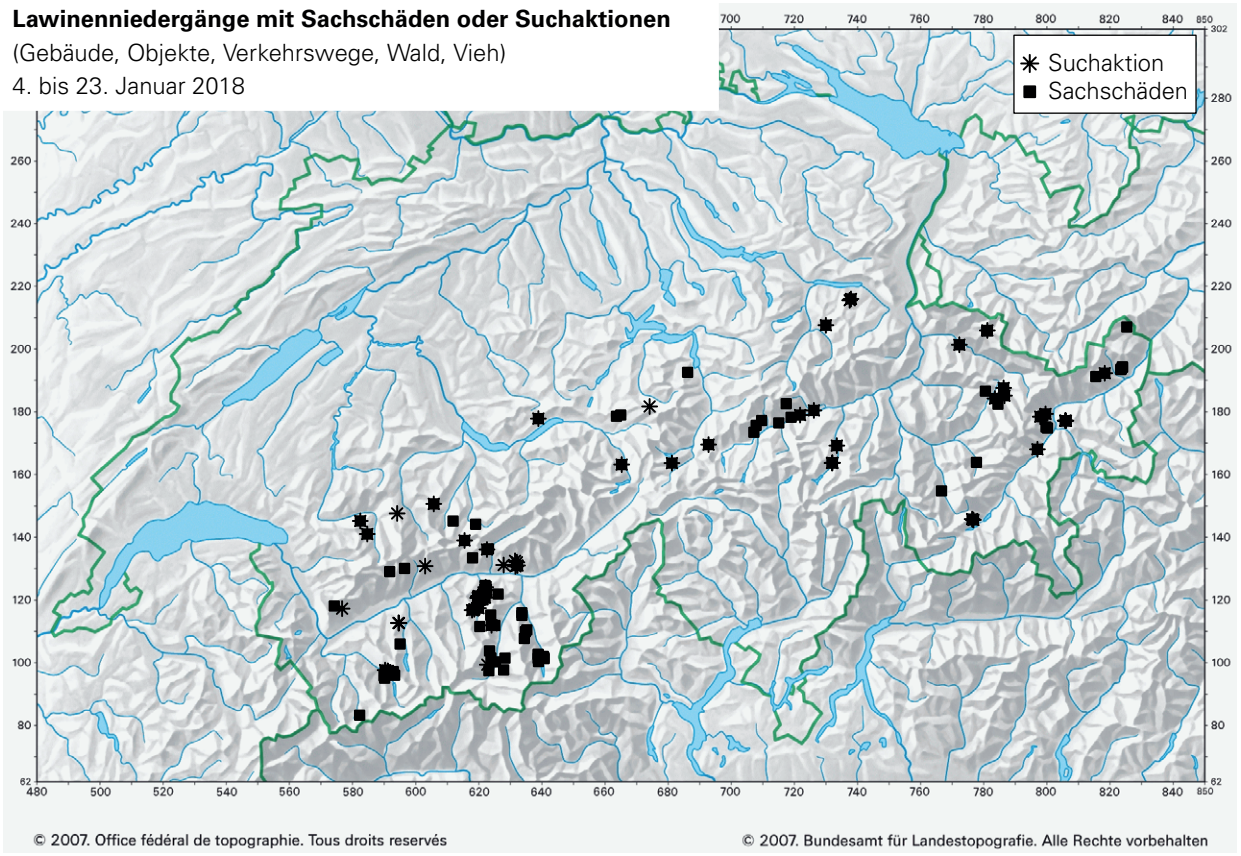
3.2.2 Vergleich mit dem Lawinenwinter 1999

Der Lawinenwinter 1999 umfasste drei Lawinenperioden während im vorliegenden Bericht nur eine Lawinenperiode untersucht wurde. Dies macht einen direkten Vergleich schwierig. Trotzdem zeigt die folgende Zusammenstellung klar, dass die Ereignisse von 1999 eine deutlich andere Dimension hatten:

Gebäude

Lawinenwinter 1999:	734 Gebäudeschäden erfasst
21. bis 23. Jan. 2018:	34 Gebäudeschäden erfasst
Mittelwert Winter 2000–2017:	7 Gebäudeschäden pro Winter erfasst

Lawinenniedergänge mit Sachschäden oder Suchaktionen
(Gebäude, Objekte, Verkehrswege, Wald, Vieh)
4. bis 23. Januar 2018



Ab. 67: Lawinen mit Sachschäden oder Suchaktionen vom 4. bis 23. Januar 2018. Am 21. Januar wurden fünf Lawinen gemeldet, am 22. Januar deren 78 und am 23. Januar 15. Die 78 Lawinen vom 22. Januar konnten zeitlich nicht genauer eingegrenzt werden, da nur in wenigen Fällen ein genauer Abgangszeitpunkt bekannt war.

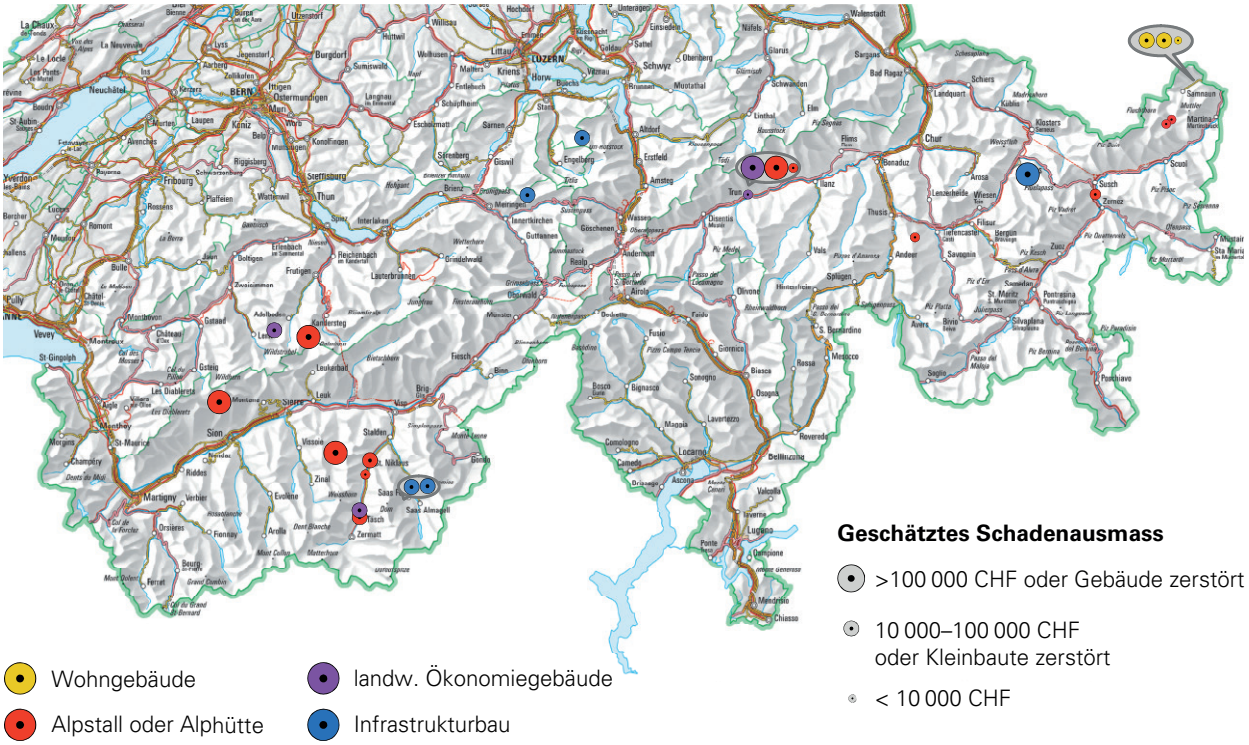


Abb. 68: Gebäudeschäden durch Lawinen zwischen dem 21. und 23. Januar 2018. Insgesamt wurden 7 Einzelgebäude zerstört oder stark beschädigt.

Während mindestens 3 Tagen nicht erreichbare Dörfer

Lawinenwinter 1999:	12 grössere Dörfer/Talschaften waren für 3 bis 12 Tage weder auf der Strasse noch mit ÖV erreichbar (total 80 Tage für diese 12 Dörfer/Talschaften).
21. bis 23. Jan. 2018:	3 grössere Dörfer/Talschaften (Zermatt, Obergoms, Leukerbad) für 3 bis 5 Tage (total 11 Tage) abgeschnitten (mindestens von 7 Uhr morgens bis 20 Uhr abends).
«Normaler» Winter	keine Dörfer/Talschaften für mehr als 2 Tage nicht erreichbar.

3.2.3 Schäden an Gebäuden durch Lawinen und Schneedruck

Zwei kleine Lawinen erreichten dauernd bewohnte Gebäude im Siedlungsgebiet (Kap. 3.3.10). Ansonsten betrafen die Gebäudeschäden infolge von Lawinen ausschliesslich nicht dauernd bewohnte Gebäude (Alphütten, Maiensässe), Alpställe, landwirtschaftliche Ökonomiegebäude und ortsgebundene Infrastrukturbauten (z. B. Wasserreservoirs, Lifthäuschen; Abb. 68).

Gemäss Angaben der Gebäudeversicherungen wurden im Winter 948 Gebäudeschäden durch Schneedruck erfasst beziehungsweise zumindest teilweise ausbezahlt. Der Grossteil der Schäden wurde in Graubünden (563) registriert (Abb. 69). Insgesamt beliefen sich die Schäden auf CHF 5,7 Mio. 129 Schäden betrugen CHF 10 000 oder mehr. Das Schadendatum lag in 38 Prozent der Fälle mit bekanntem Schadenmonat (81 % hatten Angaben zum Schadenmonat) im Januar, 26 Prozent im Februar und 21 Prozent im März.

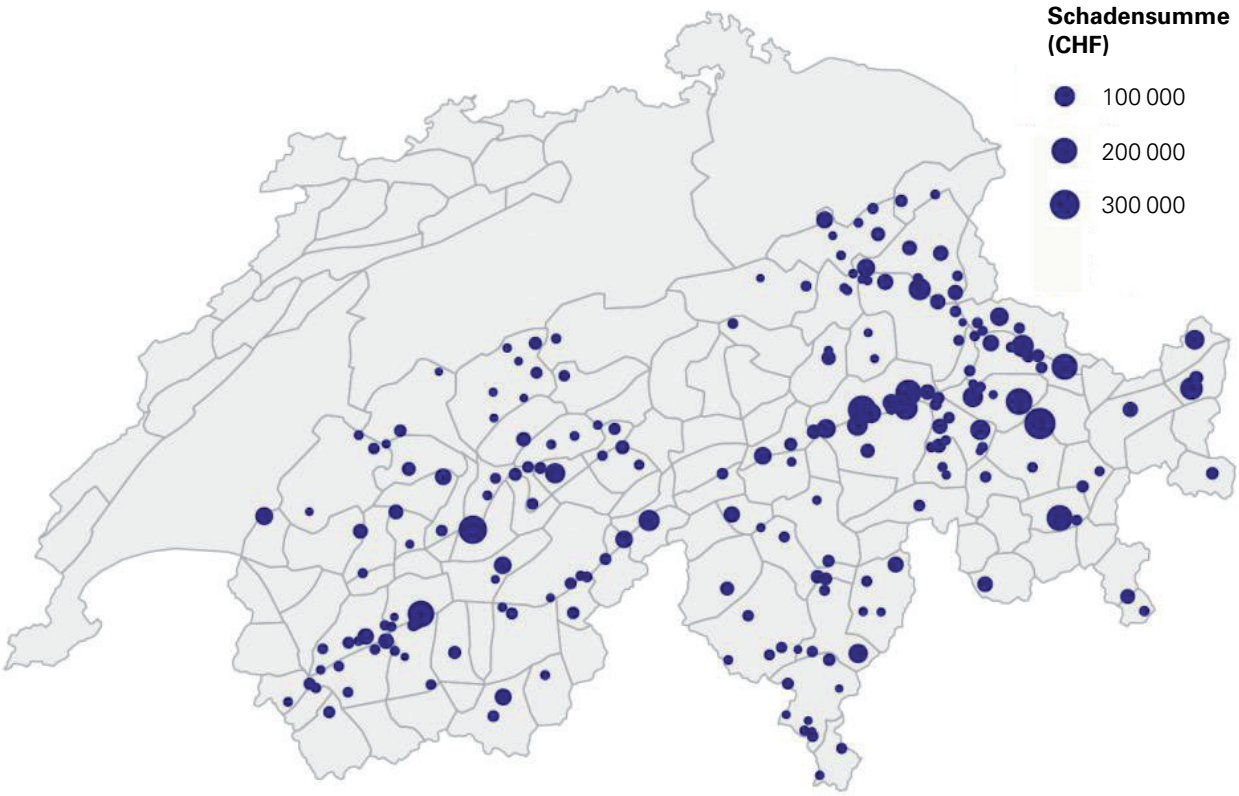


Abb. 69: Verteilung der durch Schneedruck verursachten und erfassten Schäden. Dargestellt ist die Zentralkoordinate der Gemeinde, in welcher der Schaden registriert wurde. Die Symbolgrösse repräsentiert die Schadensumme pro Gemeinde (Datenquelle: Gebäudeversicherungen).

3.2.4 Schäden an Verkehrswegen

3.2.4.1 Strassen

Sachschäden
Der einzige grössere bekannte Sachschaden ist die von der Lawine weggerissene Holzbrücke über den Hirscherengraben bei Oberried. Diese Brücke ist jedoch eigens so konstruiert, dass die Lawine die Brücke wegreissen kann. Die Strasse war zum Zeitpunkt des Niedergangs bereits vorsorglich gesperrt (Kap. 3.3.9). Ansonsten wurden viele, aber in aller Regel geringfügige Schäden an Leitplanken, Signalisationen usw. gemeldet.

Gesperrte Strassen
Die Abbildung 70 gibt einen Überblick über Strassensperrungen infolge Lawinengefahr.

3.2.4.2 Schäden an Eisenbahnlinien

Insgesamt wurden neun Bahnstrecken gesperrt.

Normalspurstrecken
Es sind keine Lawinen bekannt, welche die Trasse von Normalspurbahnen erreicht haben. Sicherheitshalber wurde die Gotthardbergstrecke für 38 Stunden gesperrt.

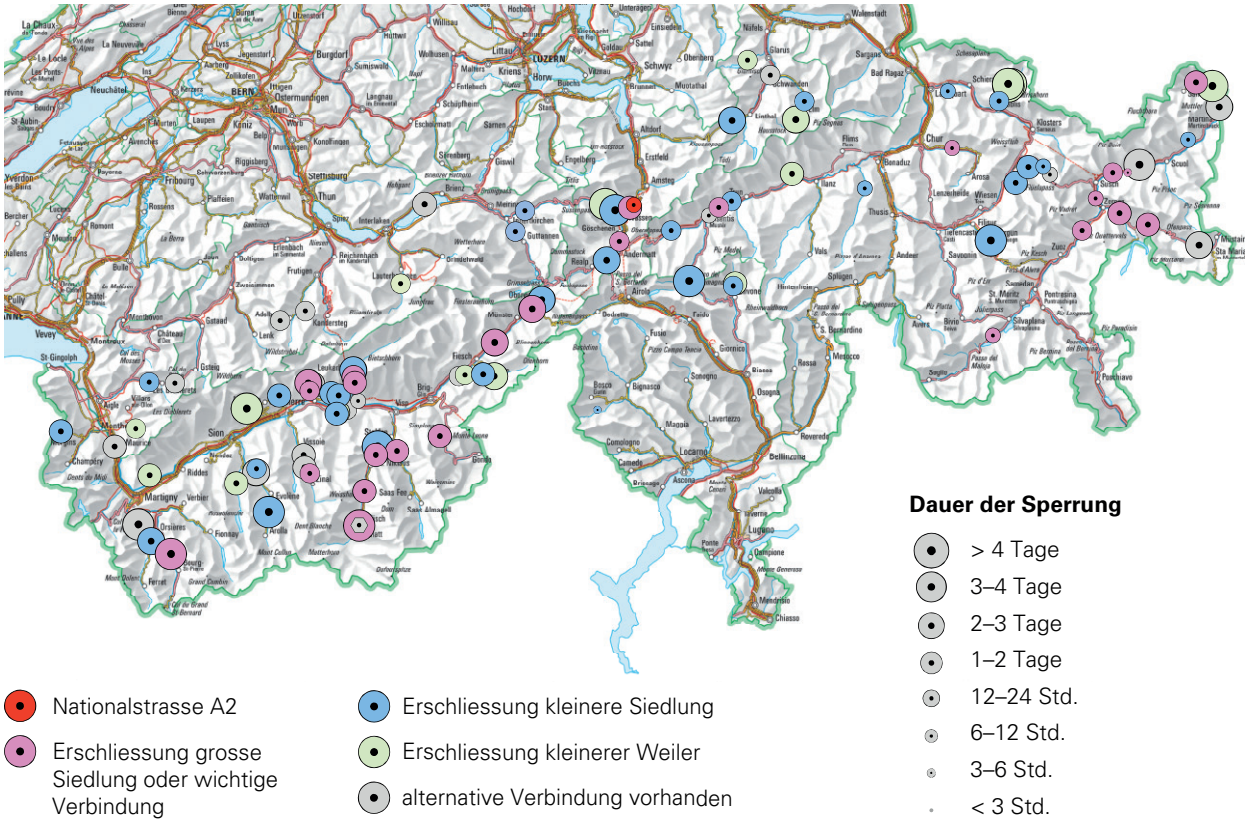


Abb. 70: Nach Relevanz aufgeschlüsselte Übersicht der Strassensperrungen vom 21. bis 25. Januar 2018. Nach dem Niedergang eines Murgangs wurde die Autobahn A2 gesperrt und aufgrund der Lawinensituation für 22 Stunden geschlossen gehalten.

Tab. 7: Unterbrochene Bahnstrecken-Normalspur.

SBB	Bergstrecke Erstfeld–Biasca	21. Januar 2018, 22:00 bis 23. Januar 2018, 12:00

Tab. 8: Unterbrochene Bahnstrecken-Schmalspur (ohne rein touristische Bahnen).

MGB	Visp–Täsch–Zermatt	19. Januar 2018, 22:00, bis 24. Januar 2018, 17:00
MGB	Nätschen–Tschamutt	16. Januar 2018 bis 25. Januar 2018
MGB	Göschenen–Andermatt	20. Januar 2018 bis 22. Januar 2018
MGB	Andermatt–Realp	20. Januar 2018 bis 23. Januar 2018
MGB	Niederwald–Oberwald	20. Januar, 20:00, bis 24. Januar 2018, am Morgen
RHB	Ilanz–Disentis	21. Januar 2018 bis 22. Januar 2018
RHB	Scuol–Samedan	21. Januar 2018 bis 23. Januar 2018
RHB	Davos–Filisur	21. Januar 2018 bis 22. Januar 2018

Schmalspurstrecken
Der einzige Sachschaden an der Infrastruktur wurde am Oberalppass gemeldet: Eine Lawine riss Leitungsmasten am Oberalppass um (Kap. 3.3.1).

Auf den Strecken Andermatt–Sedrun, Stalden–Täsch und Täsch–Zermatt wurde die Bahntrasse verschüttet, ohne dass nennenswerte Sachschäden entstanden.

3.2.5 Schäden an Leitungen

Zwei Schadenmeldungen betrafen Hochspannungs-Übertragungsleitungen:
– Engadinerkraftwerke: Durch eine Lawine aus dem Val Barcli (Ofenpass) wurde ein Leitungsmast zerstört (Kap. 3.3.3).
– Kleinere Schäden an zwei Masten im Val de Bagnes

3.2.6 Schäden an Seilbahnen

Folgende Schäden an Seilbahnen wurden gemeldet:
– 1 Skiliftmast weggerissen am Skilift Hienergrätji, Unterbäch
– Überwachungsstation und Zeitmesshäuschen beim Dorflift von Saas Fee (Kap. 3.3.6)
– Mast des Balmeregg-Schlepplifts durch gesprengte Lawine beschädigt; der Mast war mit einem Lawinenkeil versehen.
– Geringer Sachschaden an der Talstation der Sesselbahn Engstlensee-Jochpass
– Eine gesprengte Lawine beschädigte den Skilift Tsantonnaire (Skigebiet Ovronnaz) stark.

Drei spätere Schäden infolge Gleitschnees oder Gleitschneelawinen können als Spätfolge der grossen gefallenen Schneemengen betrachtet werden:
– Eine grosse Gleitschneelawine (Grösse 4) verschob am 4. April 2018 einen Masten des Skilifts Petit Van (Gemeinde Ormont Dessous)
– Durch Gleitschneeeinwirkung wurden zwei Masten der Sesselbahn Pleus (Elm) verschoben.
– Durch Gleitschneeeinwirkung wurde ein Mast der Sesselbahn Lengenbrand-Parwenge in St. Stephan (BE) beschädigt.

3.2.7 Schäden an Wald und Flur

Lawinenschäden im Wald wurden auf der Basis von verschiedenen, sich gegenseitig ergänzenden Quellen abgeschätzt. Erfasste Waldschäden aus der Schadenlawinendatenbank des SLF (SLDB) wurden extrahiert und aufgrund der verfügbaren Angaben aufsummiert. Zudem wurden die mithilfe der Satellitenbilder kartierten Lawinen vom Januar 2018 im GIS mit räumlichen Informationen über die Waldfläche überlagert, um daraus potenziell von Lawinen betroffene Flächen abzuschätzen.

Lawinenkartierungen in bewaldetem Gebiet lassen auf eine grosse Anzahl von Waldflächen schliessen, welche von Lawinen getroffen wurden (Abb. 71 und Tab. 9). Lawinen mit «genauer» Umrisskartierung konnten mit Waldflächen von insgesamt rund 224 ha überlagert werden. Dazu kamen im Untersuchungsgebiet der Lawinenkartierung fast 2000 ha an Waldflächen, die von Lawinen überlagert wurden, deren Umrisse als «geschätzt» klassiert wurden. Die meisten dieser rund 5000 Lawinen, welche potenziell bewaldetes Gebiet betrafen, verliefen aber in bereits etablierten Lawinenzügen, die bereits in der Vergangenheit immer wieder oder zumindest während grösseren Ereignissen von Lawinen betroffen waren. Sie verursachten dadurch keine grösseren Waldschäden.

Das von den in der Schadenlawinendatenbank mit Vermerk «Waldschaden» registrierten Lawinen geworfene Holz des Winters 2017/18 beträgt rund 9000 m^3. Diese Angaben sind deshalb mit Unsicherheiten verbunden, weil eine erhebliche Dunkelziffer von nicht registrierten, kleineren Waldschäden bestehen dürfte, und weil sich nicht direkt erfasste Holzschäden vielfach nur aus zusätzlichen Angaben (Fläche, Alter) oder in Kombination mit Luftbildinformationen ungefähr abschätzen lassen. Aufgrund dieser zusätzlichen Angaben und Satellitenkartierungen in Gebieten ohne registrierte Waldschäden können die Waldschäden insgesamt auf rund 18 000 (± 3000) m^3 beziehungsweise rund 400 (± 100) ha abgeschätzt werden. Trotz dieser Unsicherheiten bestätigen die Angaben aus der Schadenlawinendatenbank, dass das Ausmass der Waldschäden während

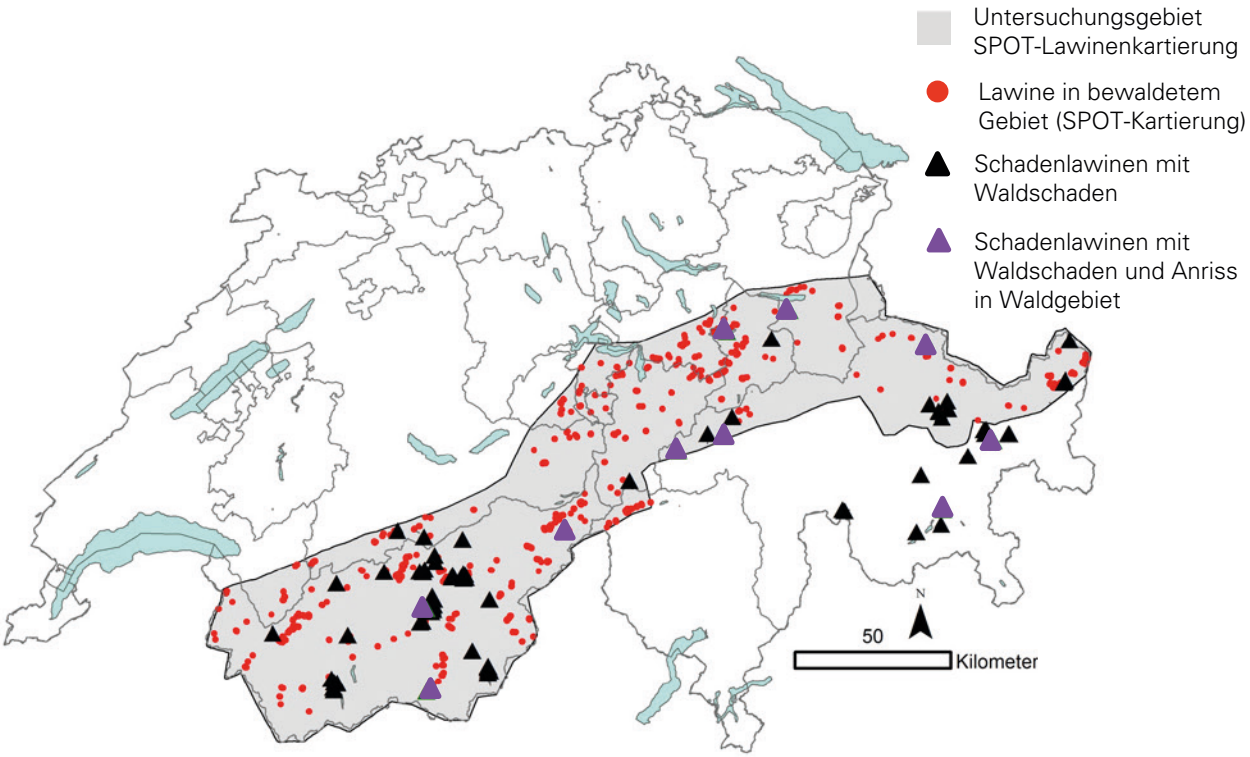


Abb. 71: Übersicht von betroffenen Waldgebieten durch Lawinen während des Winters 2017/18, aufgrund der Lawinenkartierung mithilfe der Satellitenbilder (rote Punkte) im schraffierten Untersuchungsgebiet und aufgrund von gemeldeten Waldschäden aus der Schadenlawinendatenbank des SLF (schwarze und violette Dreiecke).

Tab. 9: Erfasste Waldschäden während des Winters 2017/18 und Vergleich mit früheren Lawinenwintern und Sturmereignissen.

Ereignis	Quelle	Abschätzung des Waldschadens	
		Holz Volumen (m^3)	Fläche (ha)
Winter 2017/18	Schätzung SLDB und andere Quellen	18000	400
Winter 1998/99	SLF 2000	160000	1440
Winter 1950/51	SLF 2001	177000	2100
Winter 1887/88	Coaz 1889	82000	1340
Windwurf Lothar 1999	WSL und BUWAL 2001	12660000	46000
Windwurf Vivian 1990	WSL und BUWAL 2001, WOHLGEMUTH *et al.* 2017	4900000	4928

des Winters 2017/18 deutlich geringer war als während früheren Lawinenwintern (Tab. 9). Der Vergleich mit früheren Lawinenwintern zeigt insbesondere, dass im Winter 2017/18 der durchschnittliche Holzschaden mit rund 60 m^3 pro Hektare im Vergleich mit anderen Jahren relativ klein war. Dies weist wiederum darauf hin, dass die meisten Lawinen nicht wesentlich von ihren gewohnten Bahnen abwichen. Zudem dürften in tieferen bewaldeten Höhenlagen vergleichsweise wenig Staublawinen aufgetreten sein, da in diesen Höhenlagen die Schneeoberfläche häufig feucht war und sich die Staublawinen zurückbildeten.

Trotz der im allgemeinen relativ geringen Holzschäden im Wald waren im Winter 2017/18 einige Waldschäden zu verzeichnen, welche ein beträchtliches Ausmass annahmen, da die Lawinen die gewohnten Lawinenbahnen verlassen hatten (Abb. 72 und Kap. 3.3). Einen ungewöhnlichen Verlauf nahm zum Beispiel eine Lawine, die unterhalb der Alp da Schlans bei Trun (GR) allein



Abb. 72: Beispiele von grösseren Waldschäden: Alp da Schlans/Trun GR (links, Foto: R. Levy, 29.05.2018; Kap. 3.3.4); Turtmanntal VS (rechts oben, Foto: SLF/E. Hafner, 13.09.2018); c) Gasteretal BE (rechts unten, Foto: J.-L. Dubouloz, 20.05.2018).

etwa 4000 m^3 Lawinenholz auf einer Fläche von rund 20 ha verursachte (Abb. 72, links), wobei im oberen Teil sogar ein rund 200-jähriger Waldbestand betroffen war. Die Lawine, welche zu 20 ha Waldschaden führte, kam im unteren Teil (Abb. 72, links) in der «gewohnten» Sturzbahn herunter. Neu war in erster Linie, dass die Lawine am Cavistrau Pign in einem sehr steilen Gebiet anriss und den Fichtenwald oberhalb der Alphütten (nicht im Bild) vollkommen zerstörte (Kap. 3.3.4). Weitere grössere Lawinenschäden wurden beispielsweise auch aus dem Turtmanntal VS oder dem Gasteretal bei Kandersteg BE gemeldet.

3.3 Ausgewählte Schadenlawinen

Nachfolgend werden ausgewählte, gut dokumentierte Schadenlawinen beschrieben.

Die Kartenausschnitte sind reproduziert mit Bewilligung von swisstopo. Es handelt sich dabei um digitale Pixelkarten ohne Reliefschummerung. Stattdessen sind Hangneigungsinformationen in vier Klassen (<30 Grad, 30–35 Grad, 35–40 Grad, 40–45 Grad und > 45 Grad) hinterlegt. Diese wurden aus einem kombinierten digitalen Höhenmodell bestehend aus swissALTI-3D mit einer Auflösung von 10 m abgeleitet. Folgende Legende gilt für alle Kartenausschnitte:

- 30–35 Grad
- 35–40 Grad
- 40–45 Grad
- über 45 Grad

Die Zusammenstellung beruht auf Unterlagen des Lawinenwarndiensts des SLF, auf Winterberichten lokaler Lawinendienste und auf Einträgen in der Ereignisdatenbank StorMe (BAFU 2019a). Einzelne Beschreibungen wurden aus diesen Unterlagen wörtlich übernommen.

3.3.1 Andermatt, Bahnhof Oberalppass

Lawine beschädigt die Fahrleitung

Eine spontane Lawine verschüttete die Gleise der MGB und beschädigte die Fahrleitung. Es wurden zwei Fahrleitungsmasten und ein Quertragwerk zerstört (Abb. 73). Die Strecke Gütsch–Tschamutt war in der Folge bis am 25. Januar gesperrt.



Abb. 73: Die beschädigte Oberleitung am 22. Januar 2018 abends. Blick von der Station Oberalppass in Richtung der Galerie auf der Urner Seite (Foto: Andermatt-Sedrun Sport AG, 22.01.2018).

Der Bahnbetrieb auf der Strecke Nätschen-Dieni wurde am 20. Januar 2018 eingestellt. Der Lawinenabgang ereignete sich am 22. Januar 2018 noch während des Schneefalls. Am 23. Januar morgens waren die Lawinenspuren bereits teilweise überschneit und das Anrissgebiet der Schadenlawine konnte nicht mehr zweifelsfrei eruiert werden. Abbildung 74 zeigt sowohl bei «Vorder Satz» als auch bei «Verborgen Plangge» und «Mittler Sätz» Lawinenspuren. Ein weiterer Lawinenanriss ist am Fuss der Felsen des Schneehüenderstocks erkennbar.

Diese Lawine überfloss das Gebiet Platte, welches nur gut 20° steil ist, und stürzte über «Vorder Satz» ins Fellital. Es ist nicht bekannt, ob dadurch bei «Vorder Satz» grosse Sekundärlawinen ausgelöst wurden.

Die ersten Fotos des Schadens konnten am Abend des 22. Januars gemacht werden (Abb. 73). Der Schneefall war dort offenbar zeitweise in Regen übergegangen, denn sowohl die noch stehenden, wie auch die zerstörten Masten waren vollkommen schneefrei. Bei der Befliegung des Gebiets am nächsten Morgen waren die Lawinenablagerungen beim Pass leicht überschneit.

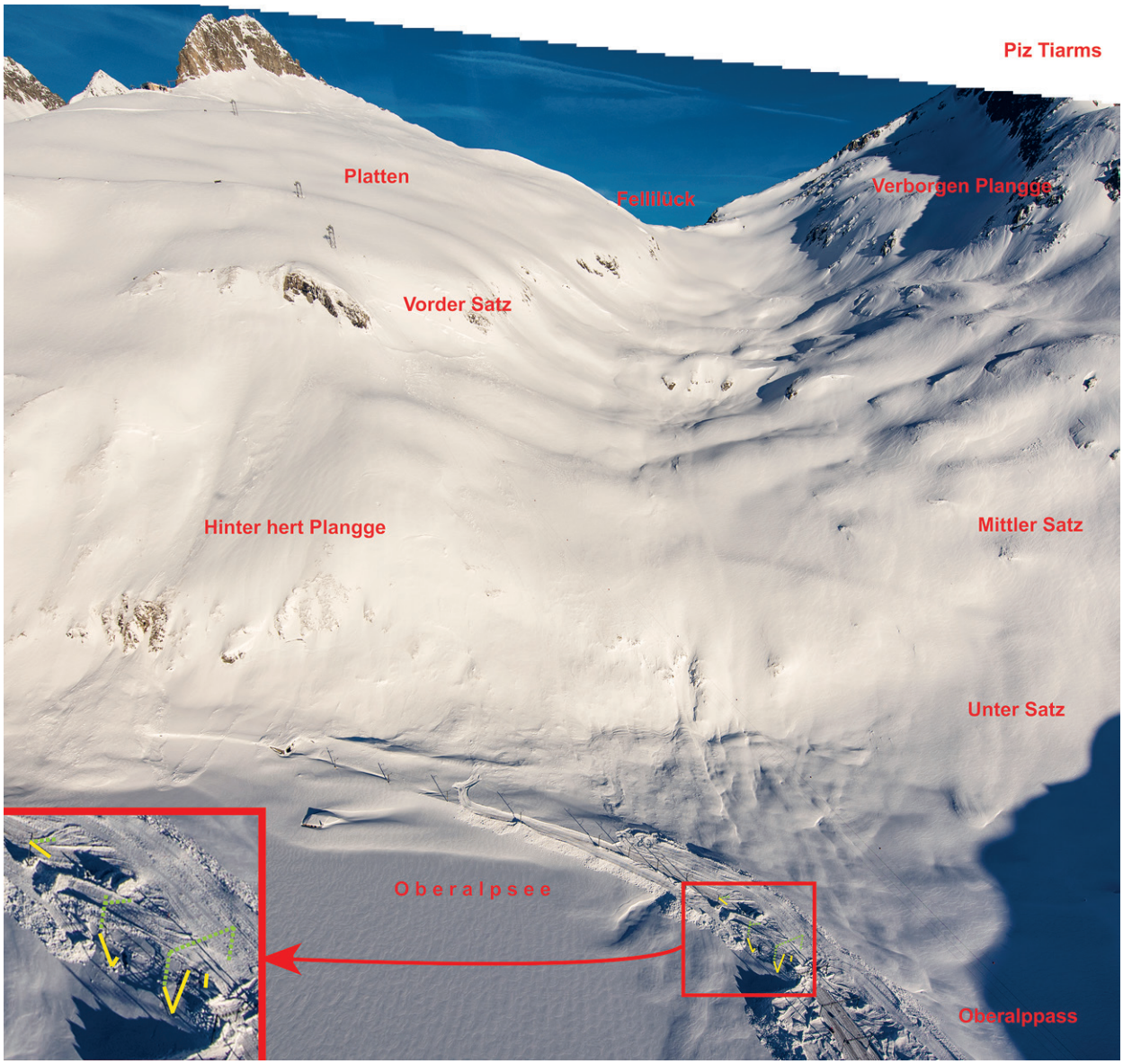


Abb. 74: Die Lawinenablagerungen um den Bahnhof Oberalppass deuten auf Lawinen von beiden Talflanken des Fellitals hin. Die Lage der zerstörten Bauteile vor resp. nach der Lawine wurde grün resp. gelb hervorgehoben (Foto: SLF, 24.01.2018).

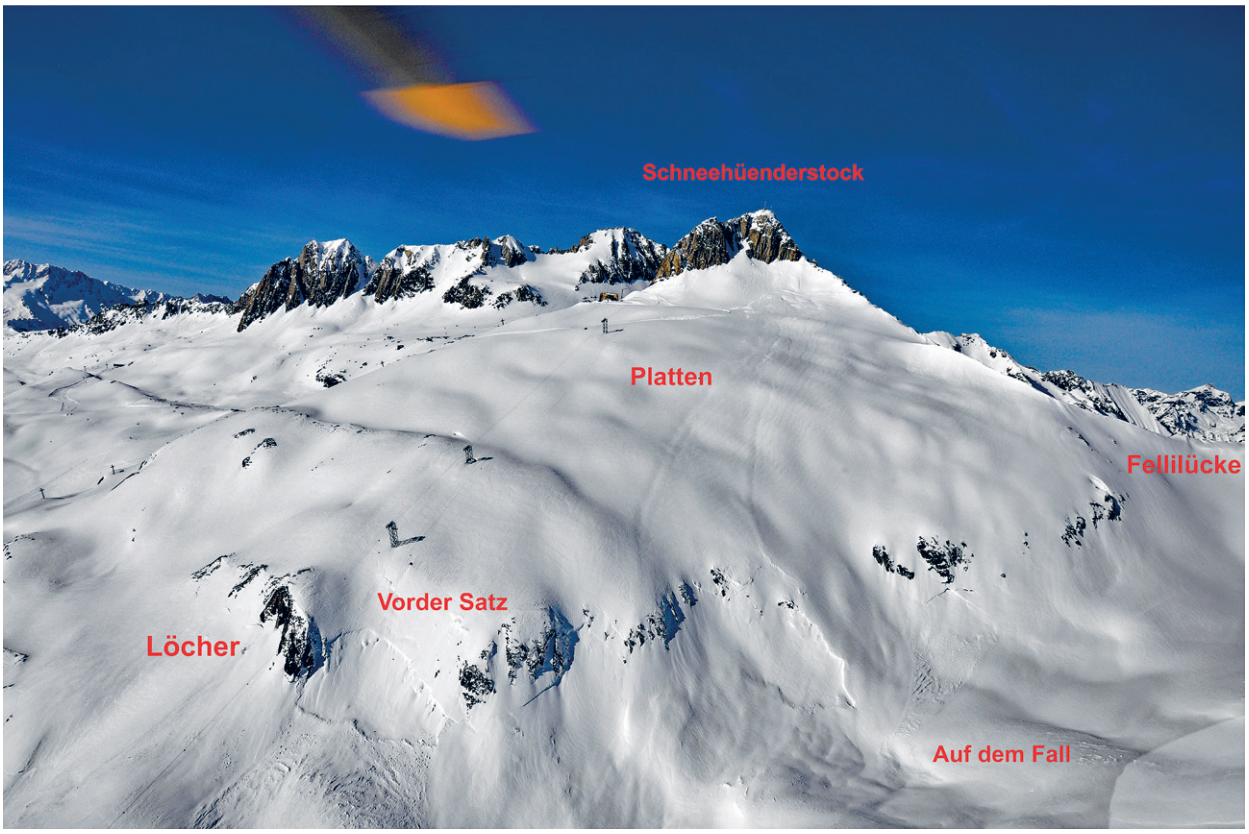


Abb. 75: Das Foto vom 23. Januar 2018 zeigt schwach überschneite Spuren einer Lawine vom Schneehüenderstock, welche möglicherweise bei der Steilstufe zwischen «Vorder Satz» und der Fellilücke sekundäre Lawinen auslöste. Der nicht überschneite Lawinenanriss zwischen «Löcher» und «Vorder Satz» stammt von einer späteren Lawine (Foto: Andermatt-Sedrun Sport AG, Januar 2018).

Es war aber erkennbar, dass feinkörnige Ablagerungen, die für stark fluidisierte Lawinen typisch sind, vom Hangfuss her bis 200 m weit vorgestossen waren. Gröbere Lawinenablagerungen endeten rund 100 m vom Hangfuss entfernt. Spuren von Staublawinen waren nicht mehr erkennbar. Da die Masten bis auf 5 m Höhe wenig Angriffsfläche bieten, ist es unwahrscheinlich, dass eine fluidisierte Fliesslawine die Masten umwarf. Wir gehen davon aus, dass eine Staublawine den oberen Teil der Mastkonstruktion und die Leiter erfasste und für den Schaden verantwortlich war.

Bereits am 20. Februar 2000 stiess eine Staublawine bis in den Randbereich der Station Oberalppass vor und warf einen Arbeiter um (SL 20272). Die Auslauflänge dieser Lawine wurde damals als überraschend lang eingeschätzt.

3.3.2 Andermatt, Oberalptal

Lawine mit Anriss unterhalb einer Lawinenverbauung verschüttet die MGB-Geleise

Die gesperrte Linie der «Matterhorn Gotthard Bahn» wurde von einer Lawine verschüttet, die unterhalb der Stützverbauung «Stafler Bort» anbrach.

Ein Stützverbau sichert den rund 150 m hohen Südhang direkt oberhalb der Bahnlinie. Die 60 bis 80 untersten Höhenmeter des Anrissgebiets wurden jedoch nicht verbaut. Die Abbildung 76 vom 23. Januar 2018 zeigt einen relativ mächtigen Lawinenanriss in diesem Gebiet. Der Bahnbetrieb war zum Zeitpunkt des Lawinenabgangs eingestellt und die Bahntrasse nicht geräumt.

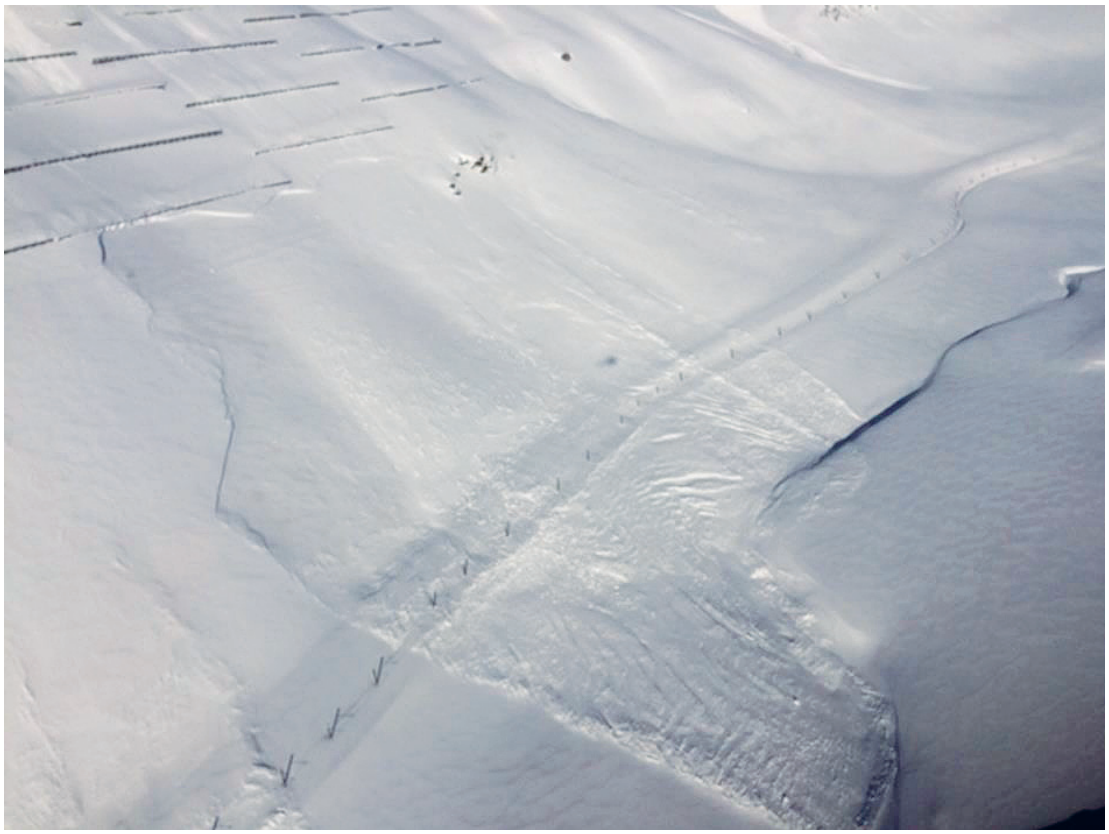


Abb. 76: Die Lawine floss bis zur Oberalp-Reuss, verursachte aber trotz grosser Anrisshöhe keinen Sachschaden. Im Vordergrund ist eine weitere, teilweise überschneite Lawine erkennbar (Foto: Matterhorn Gotthard Bahn, Januar 2018).

Das «Stafler Bort» ist für die «Matterhorn Gotthard Bahn» eine bekannte Problemstelle. Lawinen aus diesem Bereich erreichen regelmässig die Bahnlinie, oft auch als Nassschneelawinen. Solche Nassschneelawinen verursachten im April 2018 fünf Störungen oder Sperrungen des Abschnitts Nätschen-Oberalp. Die «Matterhorn Gotthard Bahn» plant, die Lawinenverbauung «Stafler Bort» durch weitere Werkreihen zu ergänzen (Kap. 4.1.1).

3.3.3 Zernez, Val da Barcli

Grosse Lawine (Grösse 4) zerstört Hochspannungsmast und Holzschneerechen

Eine spontane Schneebrettlawine verschüttete nachts die geschlossene Ofenpassstrasse auf einer Länge von 220 m, zerstörte rund 460 m Holzschneerechen und riss einen Hochspannungsmasten vom Sockel. Wegen des zerstörten Mastes musste das Kraftwerk Ova Spin seinen Betrieb bis zur Errichtung eines Notmastes Ende Februar einstellen.

Die Schadenlawine brach am Dienstag, den 23. Januar 2018, um 00:40 Uhr auf rund 2800 m ü. M. spontan an (Abb. 77). Rund 150 Höhenmeter oberhalb der Ofenpassstrasse, nach einer Fallhöhe von gut 1000 Höhenmetern, trennten sich die Staublawine und der schnelle, fluidisierte Teil der Lawine in einer Biegung der Lawinenrinne vom langsamer fliessenden Schnee. Dieser folgte dem Grund der Lawinenrinne in Richtung der Lawinengalerie und stürzte auf einer Breite von 300 m direkt in Richtung der Ofenpassstrasse und des Spöl ab (blaue Pfeile in Abb. 77).

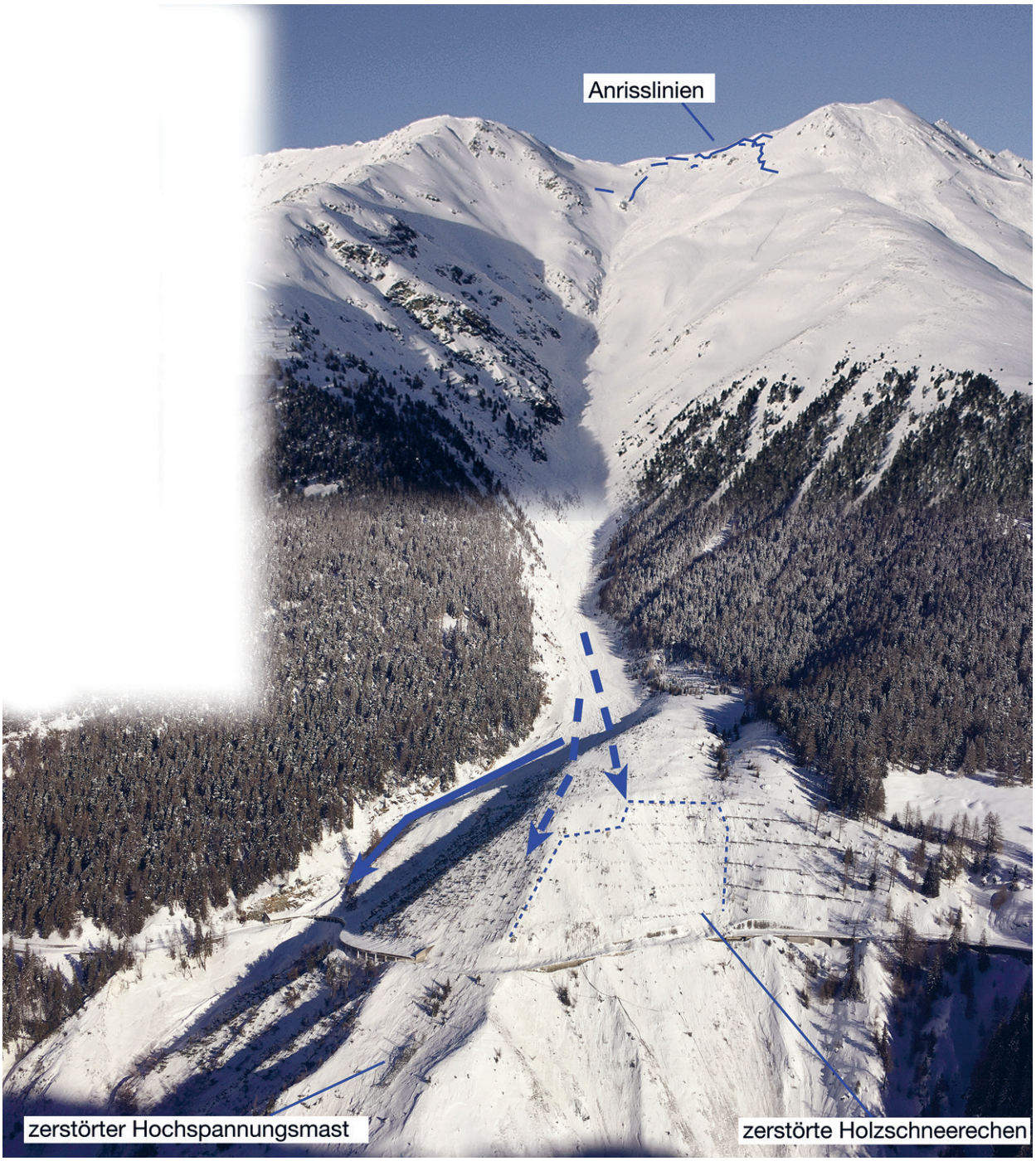


Abb. 77: Ansicht des Lawinenzugs Val da Barcli am 24. Januar 2018. Rund 150 m oberhalb der Ofenpasstrasse trennten sich der langsamer fliessende Lawinenschnee (durchgezogener blauer Pfeil) und die Staublawine sowie der schnelle, fluidisierte Teil der Lawine (gestrichelte blaue Pfeile). (Fotos: Amt für Wald und Naturgefahren GR, zusammengesetzte Ansicht aus Fotos von zwei etwas verschobenen Standorten).

Bei der Lawine vom 23. Januar 2018 dürfte es sich an diesem Ort um die zweitgrösste Lawine seit 70 Jahren gehandelt haben. Nur am 23. Februar 1999 wurde ein bedeutend grösserer Lawinenabgang verzeichnet. Auch damals wurde die Hochspannungsleitung zerstört und oberhalb der Ofenpassstrasse wurden rund 2 ha Wald zerstört. Die am 23. Januar 2018 zerstörten Holzschneerechen wurden nach 1999 zur Unterstützung der Wiederaufforstung dieser Waldflächen erstellt.

3.3.4 Trun, Alp Cavistrau

Sehr grosse Schneebrettlawine (Grösse 5) beschädigt drei Gebäude und verursacht rund 20 ha Waldschaden

Eine sehr grosse, spontane Schneebrettlawine zerstörte zwei Alphütten und beschädigte einen Stall. Sie verursachte 20 ha Waldschaden und 10 ha Flurschaden.

Der Anbruch der Lawine erfolgte unmittelbar unterhalb des Gipfels des Cavistrau-Pign in einem extrem steilen Südost-Hang (Abb. 79). Die Lawine floss über Plaun-Sura hinaus Richtung Alp da Schlans. Ein Vorstossen der Lawine über Plaun-Sura ist bis heute nicht dokumentiert. Der Wald oberhalb der Alp da Schlans-Sut wurde grösstenteils zerstört. Er war vermutlich über 200 Jahre alt. Die zwei Alphütten wurden komplett zerstört (Abb. 78 und 80).

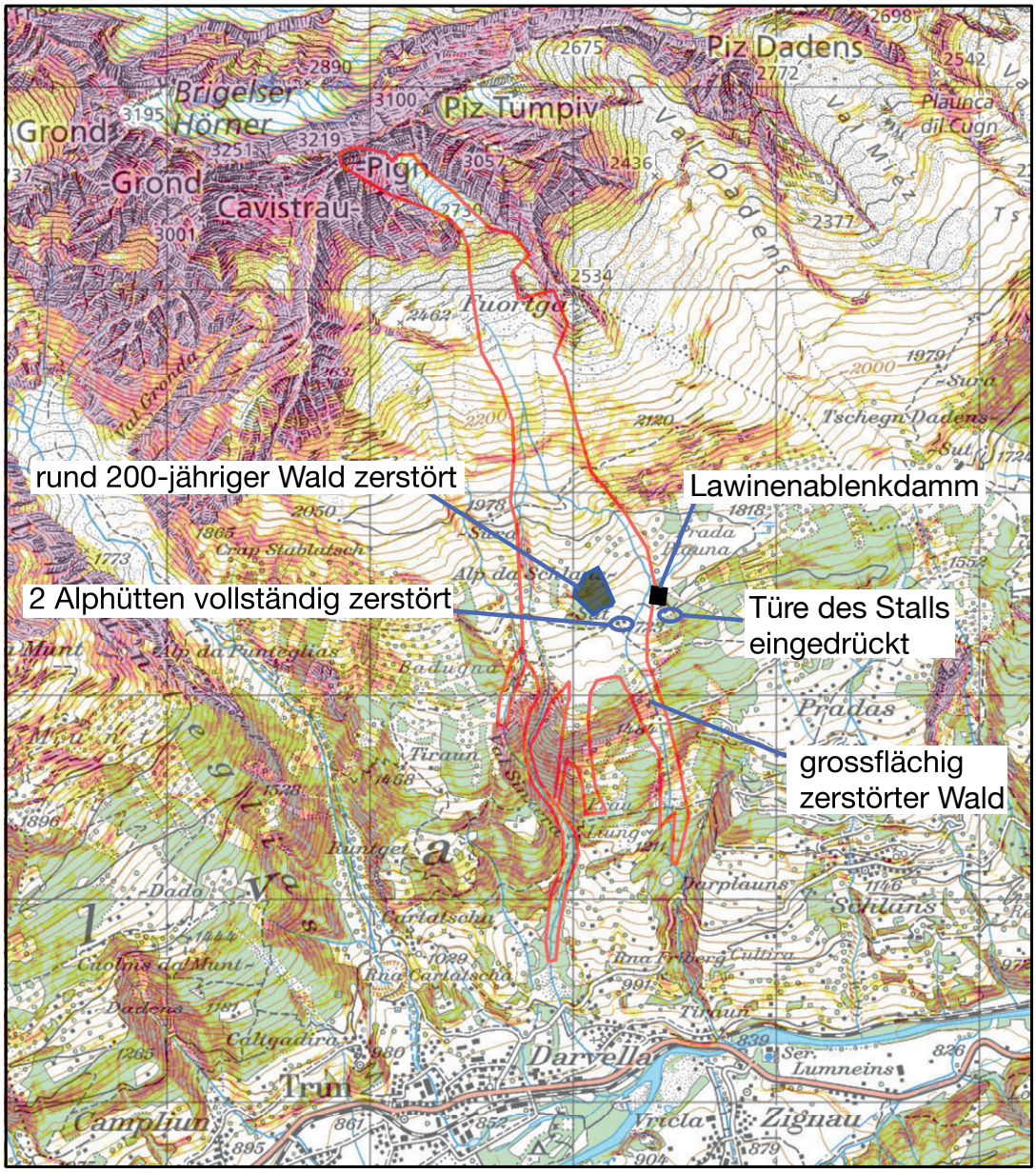


Abb. 78: Die Lawine brach im südöstlichen Gipfelhang des Cavistrau Pign an. Nur relativ kleine Teilflächen des Einzugsgebiets sind steiler als 30°.

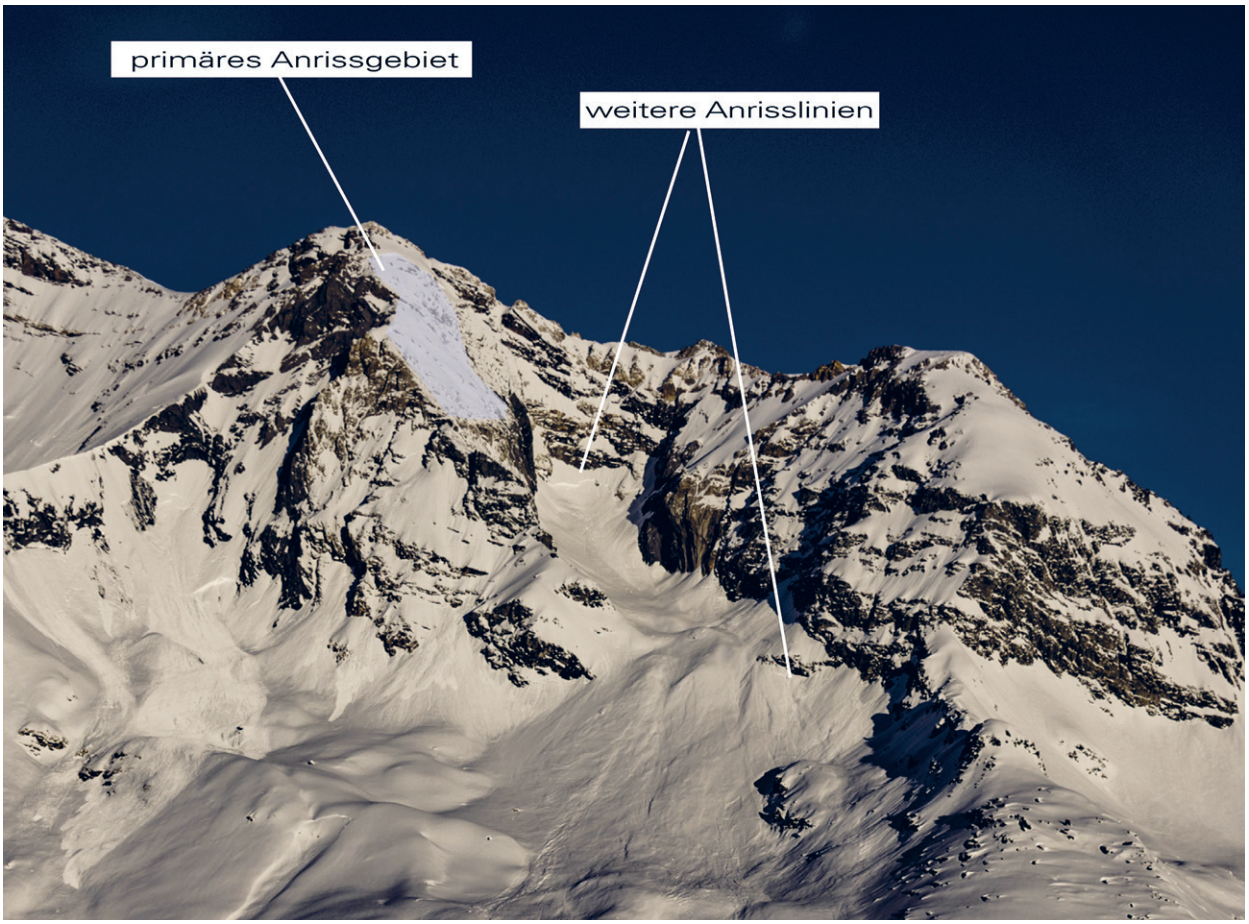


Abb. 79: Das primäre Anrissgebiet unter dem Gipfel war rund 3,5 ha gross und 46° steil. Weitere Anrisslinien sind auf dem Gletscher und auf 2600 m ü. M. erkennbar (Foto: SLF, 24.01.2018).



Abb. 80: Die zwei Alphütten der Alp da Schlans Sut wurden vollständig zerstört (Foto: Radiotelevisiun Svizra Rumantscha, Sommer 2018).

Unterhalb der Alp teilte sich die Lawine in drei Teile. Der linke Arm folgte dem Val Farbertg und drang bis auf etwa 1100 m ü. M. vor. Der rund 35-jährige Jungwald wurde wie letztmals 1984 zerstört. In der Mitte floss die Lawine durch den Schutzwald zwischen Val Farbertg und Val Sinzera. Nebst einigen alten Bäumen wurde vor allem der Jungwald grösstenteils zerstört. Kleinere Schneeablagerungen wurden bis knapp oberhalb Prau Liung auf der Höhe des Wanderwegs «Senda Sursilvana» festgestellt. Der rechte Arm folgte dem Gelände ins Val Sinzera, wo Nassschneelawinen im Extremfall (1999) wiederholt bis zum Auffangdamm Sinzera vorgedrungen waren. Diesmal kam die Lawine rund 200 m oberhalb des Damms auf 970 m ü. M. zum Stillstand.

Als ausserordentlich an dieser Lawine erachten wir, dass aus dem relativ kleinflächigen primären Lawinenanrissgebiet (Fläche rund 3,5 ha) sich eine so grosse Lawine entwickeln konnte. Offensichtlich kam es zu sekundären Anrissen, und in der Sturzbahn dürften grössere Schneemassen mitgerissen worden sein. Mit dem heute üblicherweise für lawinendynamische Berechnungen eingesetzten Programm RAMMS lässt sich das Mitreissen von Schnee in der Sturzbahn nicht berücksichtigen. Deshalb ist es schwierig, die beobachtete Lawine nachzurechnen.

Im Sommer 2018 wurde die Gefahrenkarte überarbeitet, um den bisher nicht beobachteten Anriss der Lawine am Cavistrau Pign zu berücksichtigen.

3.3.5 Turtmanntal

Rund 25 ha Wald und zwei Chalets zerstört

Ausserordentliche Lawinenaktivität im Turtmanntal: Rund 15 grosse (Grösse 4) und viele kleine und mittlere Lawinen (Grösse 2 und 3) zerstörten rund 25 ha Wald sowie zwei alleinstehende Chalets.

Zwei Lawinen im vorderen Turtmanntal (bei der Eggimatte beim Locheralpji), die beide bis nahe an Einzelgebäude vorstiessen, waren in der Gefahrenkarte nicht berücksichtigt worden. Die Waldschäden betrafen zwei grössere Flächen bei Locheralpji und Alpetjini. Ansonsten waren vor allem die Ränder der bestehenden Lawinenschneisen betroffen. Die Schutzwirkung des Waldes gegen Lawinen dürfte insgesamt aber nicht wesentlich beeinträchtigt worden sein. Die Weiler, welche teilweise in stark gefährdetem Gebiet liegen, wurden von den Lawinen nicht erreicht. Unterhalb Blüomatt wurde allerdings ein Chalet, das im Auslaufbereich nahe am Ende der roten Gefahrenzone stand, vollständig zerstört. Ein weiteres Chalet wurde ebenfalls durch eine Lawine zerstört.

Die Lawinen deponierten viel Holz in Wasserläufen. Das Räumen dieses Holzes, das notwendig war, um Verklausungen vorzubeugen, verursachte Kosten von CHF 360 000.

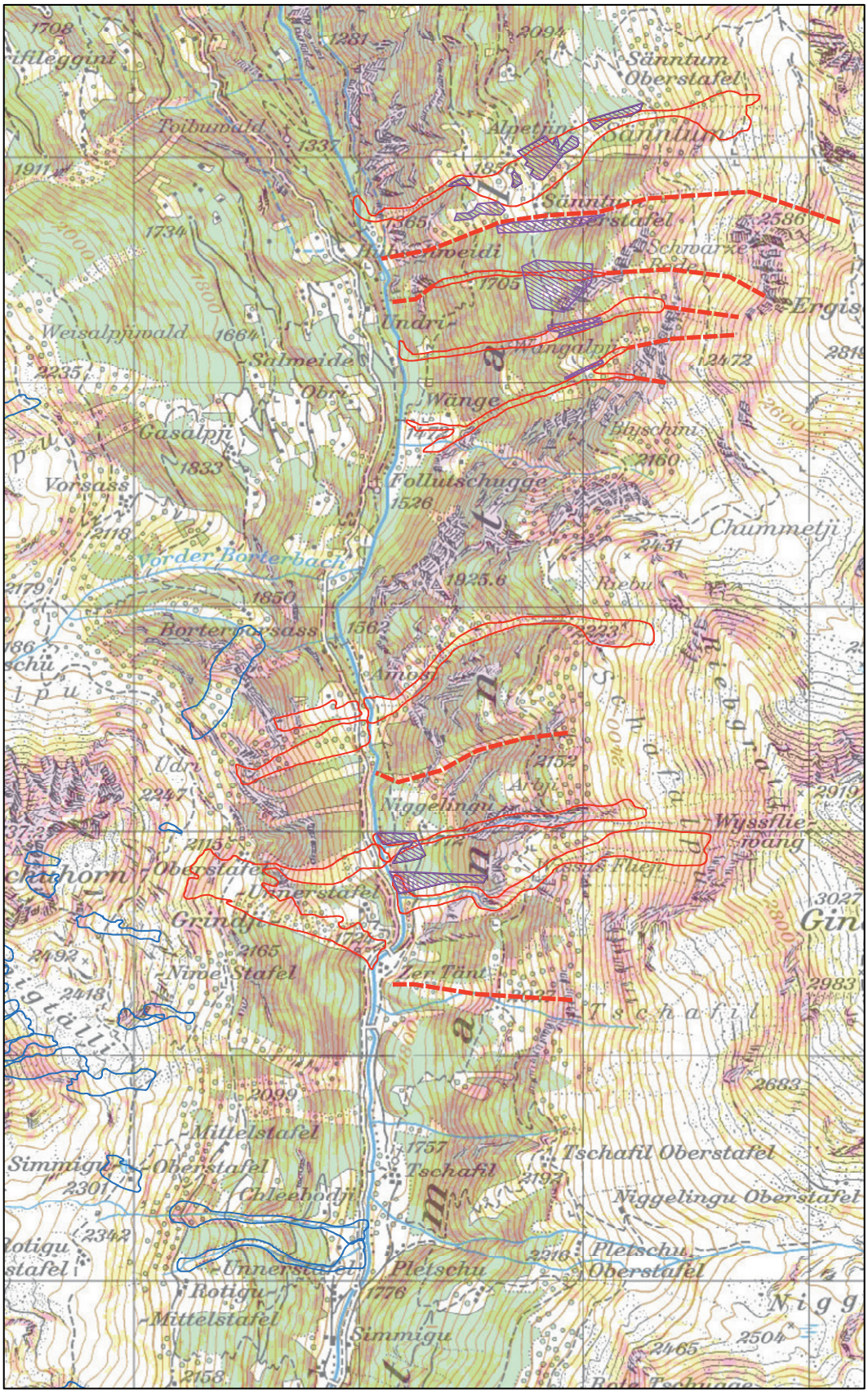


Abb. 81: Lawinen im nördlichen Teil des Turtmanntals. Rot sind Lawinen, die gemäss unseren Unterlagen Waldschaden verursacht haben. Vom Forstamt kartierte Schadenflächen wurden weinrot hervorgehoben. Blau sind übrige, anhand der Satellitenbilder kartierte Lawinen. Bei Schadenlawinen mit nicht kartiertem Umriss wurde die ungefähre Lawinenachse eingezeichnet.

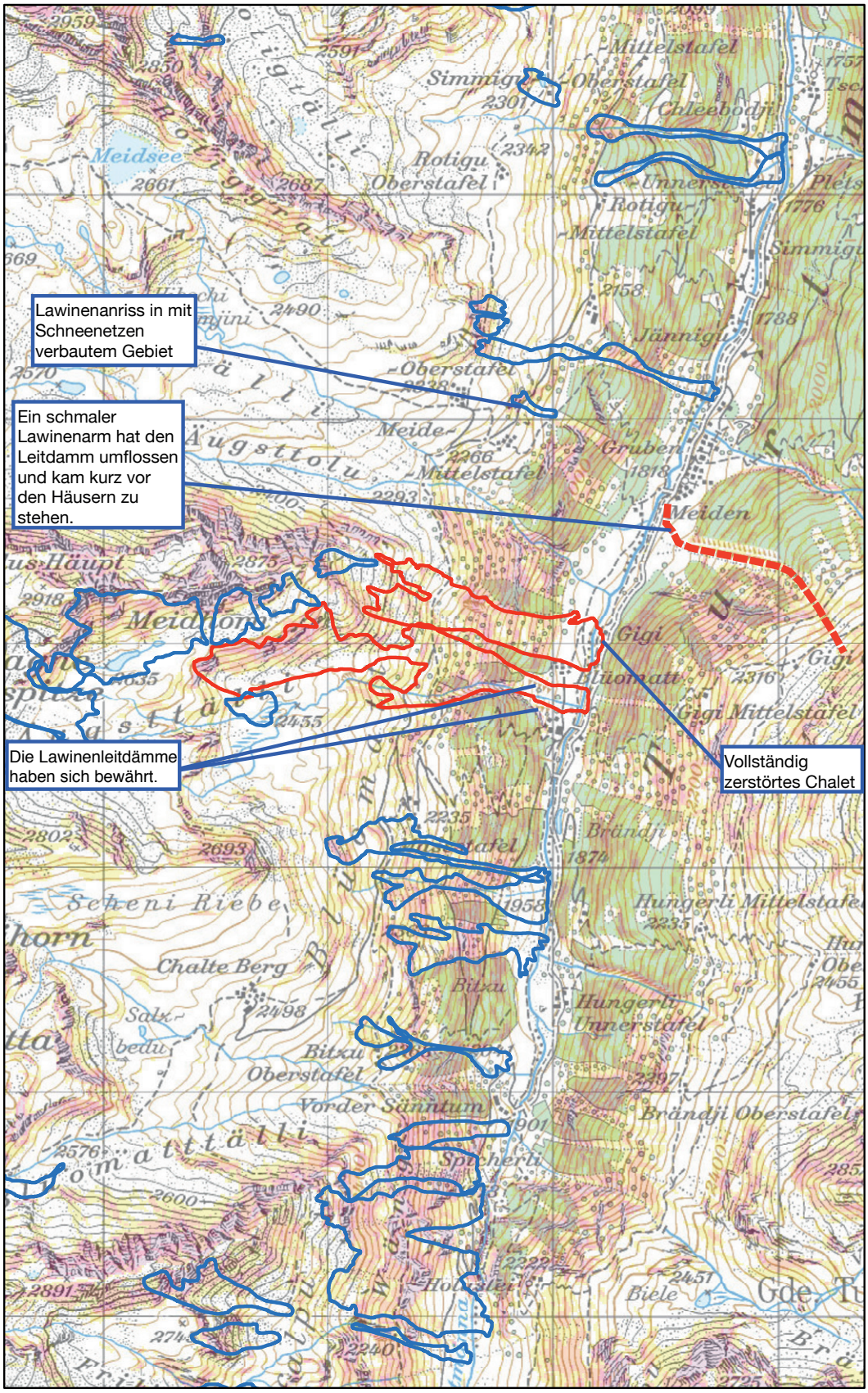


Abb. 82: Lawinen im südlichen Teil des Turtmanntals. Rot sind Lawinen, welche gemäss unseren Unterlagen Waldschaden verursacht haben. Blau sind übrige, anhand von Spot-Satellitenbildern kartierte Lawinen. Bei nicht kartierten Schadenlawinen wurde die ungefähre Lawinenachse eingezeichnet.

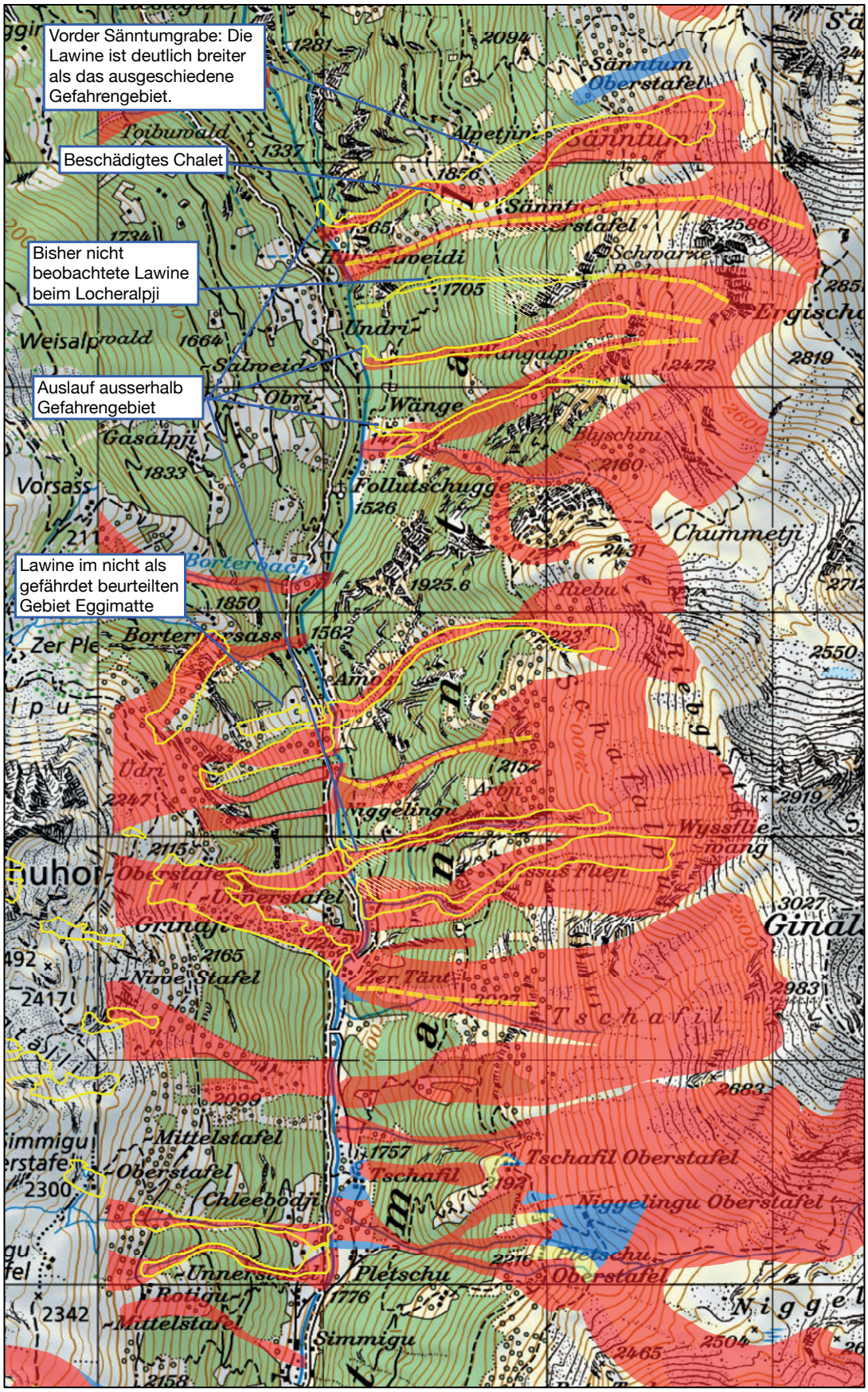


Abb. 83: Vergleich der Lawinen mit den bestehenden Lawinengefahrenzonen im nördlichen Teil des Turtmanntals.

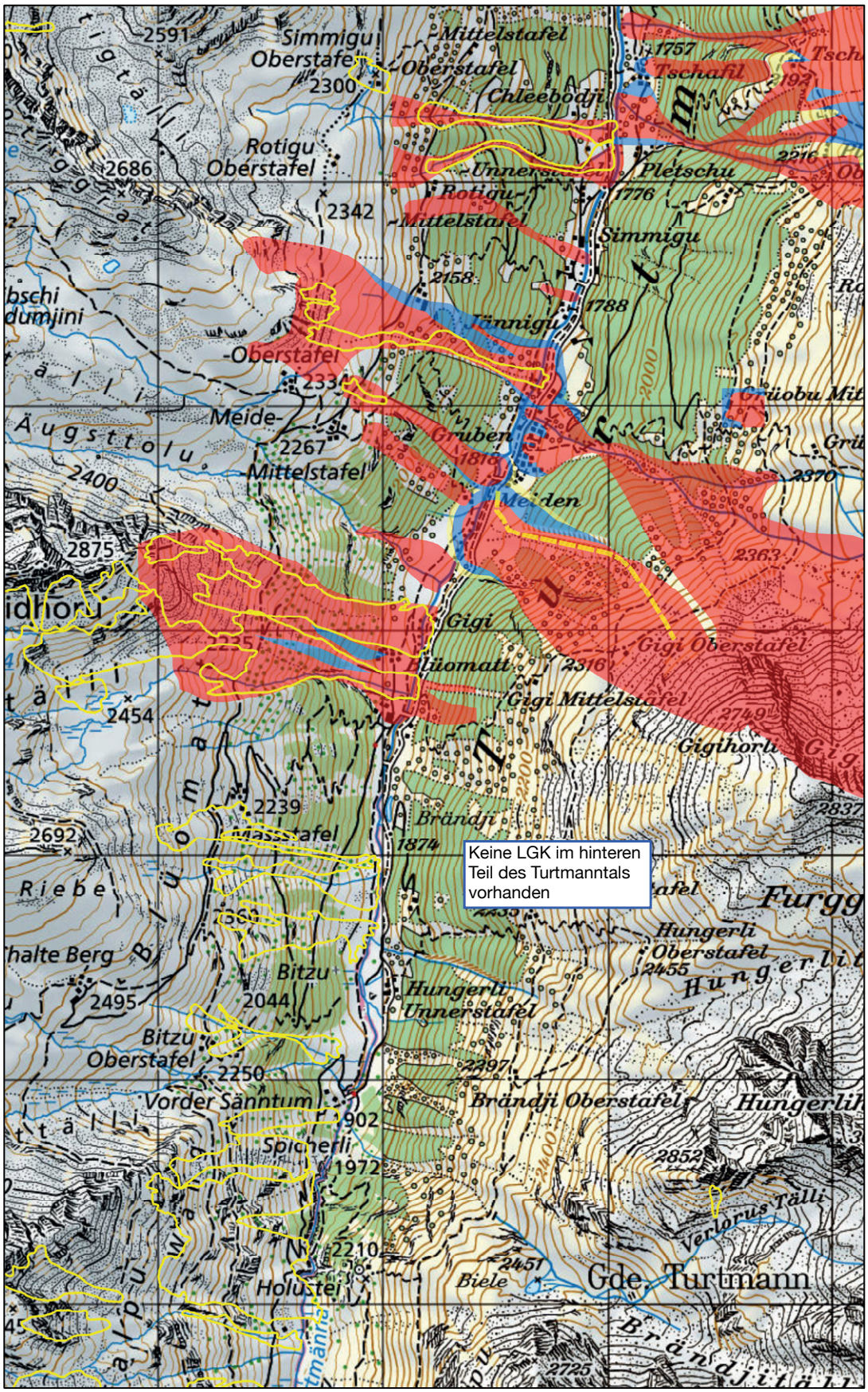


Abb. 84: Vergleich der Lawinen mit den bestehenden Lawinengefahrenzonen im südlichen Teil des Turtmanntals. Im hintersten Teil des Tals sind keine Gefahrengebiete ausgeschieden.



Abb. 85: Das unterhalb des Weilers Blüomatt zerstörte Chalet befand sich am Gegenhang im Randbereich des Lawinenauslaufs sowie am Rand des roten Gefahrengebiets (Foto: SLF/K. Winkler, 31.05.2018).



Abb. 86: Der Weiler Blüomatt am 23. Januar 2018. Das zerstörte Chalet befindet sich wenig ausserhalb des Bildes (Foto: Rinaldo Hugo, 29.01.2018).



Abb. 87: Oberhalb von Locheralpji wurden 5,1 ha Wald zerstört (Foto: Forst Visp, 05.06.2018).



Abb. 88: Bei Meiden umfloss ein Lawinenarm das untere Ende des Ablenkdamms und kam erst 20 m vor dem Weiler zum Stillstand (Foto: Rinaldo Hugo, 29.01.2018).



Abb. 89: Eine Lawine brach in den Schneenetzen oberhalb Meiden unterhalb der obersten Werkreihe an und durchfloss die gesamte Verbauung. Die Lawine lief im Jungwald unterhalb der Verbauung aus, ohne Schaden anzurichten (Foto: Rinaldo Hugo, 29.01.2018).

3.3.6 Saas Fee

Eine Lawine vom Gemshorn zerstört zwei Kleinbauten beim Dorflift von Saas Fee

Eine spontane, grosse Schneebrettlawine (Grösse 4) riss ein Lifthaus (Überwachungsstation) und das Starthaus des Parallel-Slaloms mit. Sie verschüttete die geschlossene Piste und verursachte Waldschaden.

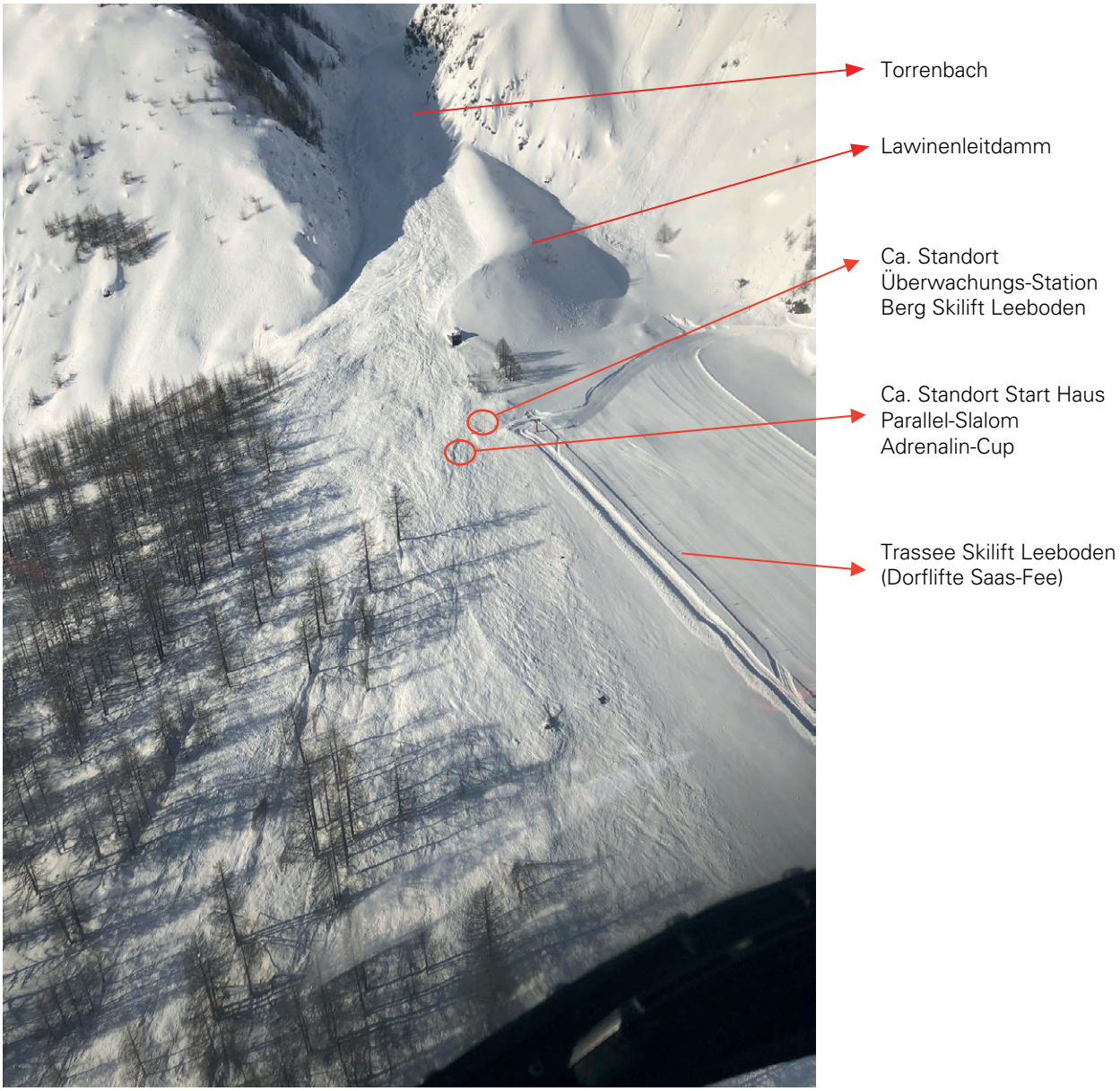


Abb. 90: Die Überwachungsstation und ein Starthäuschen des Skilifts Leeboden wurden zerstört. Dank des Ablenkdamms wurde der Skilift selbst nicht beschädigt (Bild: Saastal Bergbahnen AG, Januar 2018).

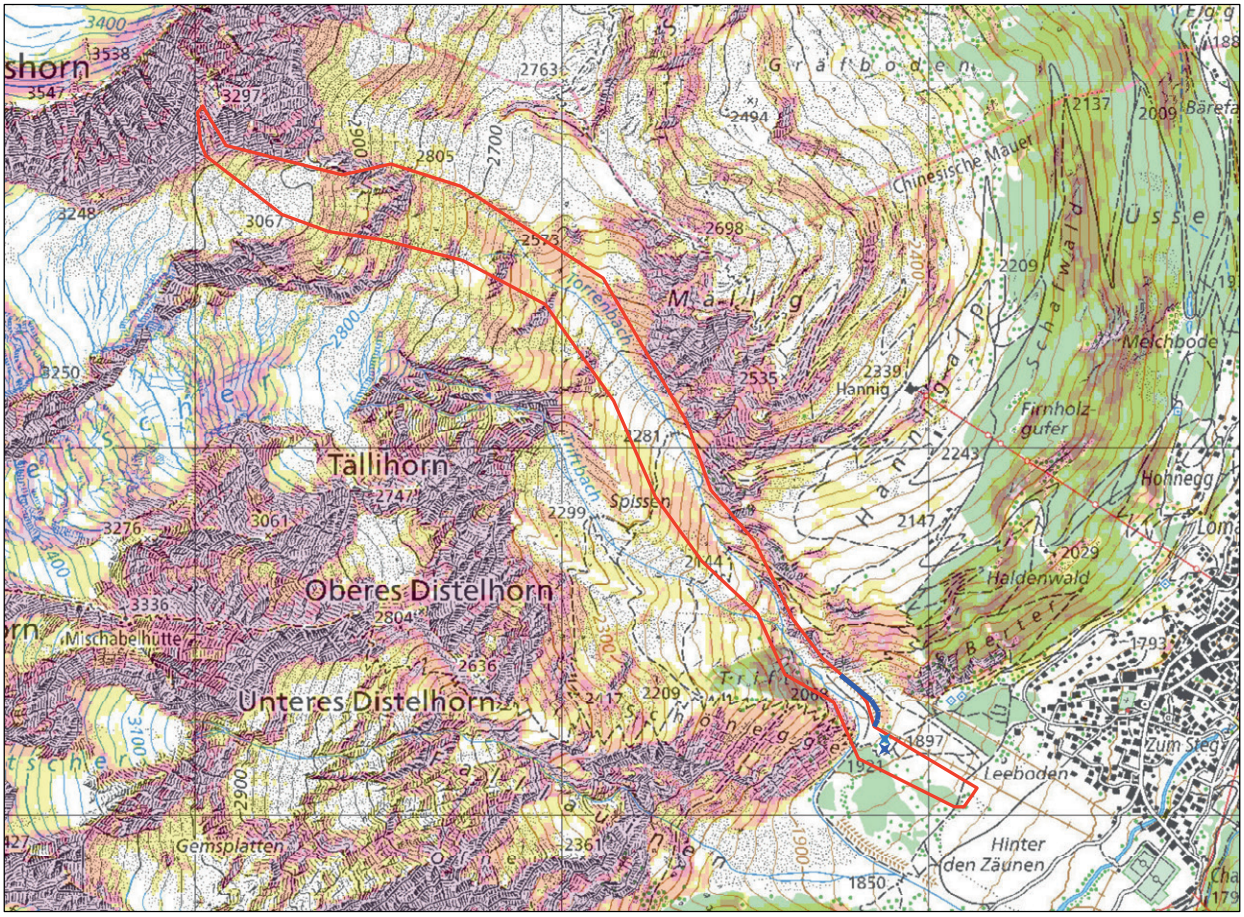


Abb. 91: Die Lawine riss unter dem Gipfel des Gemshorns an. Der Lawinenablenkdamm und die Standorte des zerstörten Lifthauses und des Starthauses sind blau markiert.

3.3.7 Strasse Sils-Maloja

Lawinenabgang auf die offene Kantonsstrasse

Durch eine spontane Schneebrettlawine wurde am 22. Januar die geöffnete Kantonsstrasse an zwei Stellen von einer Lawine verschüttet. Eine Automobilistin wurde von da Plaun da Lej kommend vom westlichen, kleinen Lawinenkegel gestoppt. Beim Versuch, über die Ablagerung zu fahren, wurde das Auto blockiert. Die Lenkerin konnte dieses unverletzt verlassen. Weiter östlich wurde die Kantonsstrasse auf etwa 100 m Länge verschüttet. Zudem entstand ein kleiner Waldschaden.

Mitarbeiter des Tiefbauamtes schickten sofort sämtliche Personen von den Gefahrenstellen weg. Auf beiden Lawinenkegeln wurde eine Sicherheitssuche durchgeführt, in welche die Rega, 4 Lawinenhundeteams, SAC-Mitglieder, Feuerwehr, Kantonspolizei und das Tiefbauamt involviert waren. Die Suche verlief negativ.



Abb. 92: Das Fahrzeug wurde beim Versuch, durch die Ablagerung der ersten Lawine zu fahren, blockiert (Foto: J. A. Bisaz, 22.01.2018).



Abb. 93: Anrissgebiet der Lawine. Ein Teil der Lawine floss teilweise durch die Stützverbauung hindurch. Die obersten Stützwerke waren vollständig hinterfüllt (Foto: SLF/J. Schweizer, 24. Januar 2018).

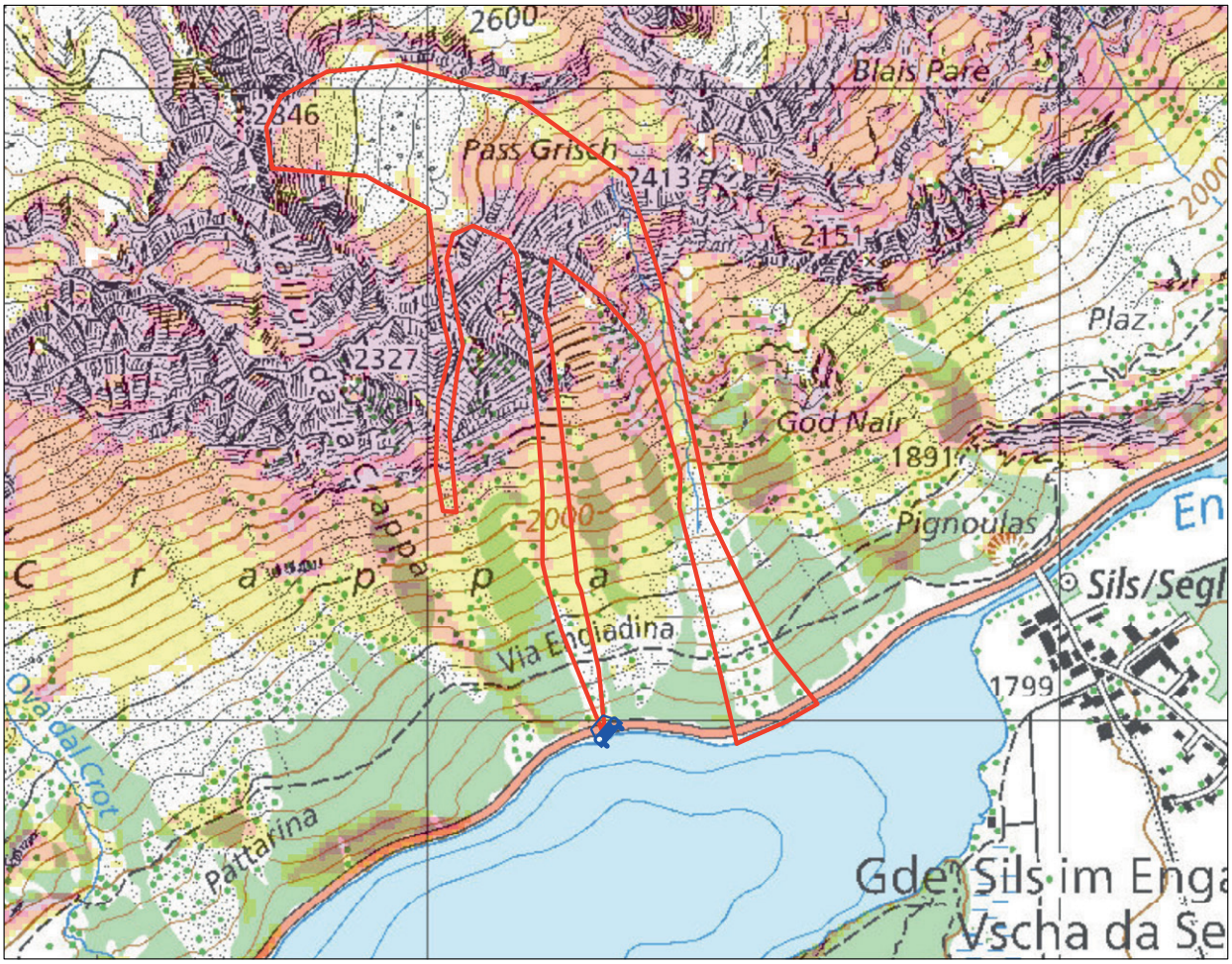


Abb. 94: Das Richtung Sils fahrende Fahrzeug wurde beim Versuch, die 5 m breite Ablagerung des westlichen Lawinenarms zu durchfahren, blockiert.

3.3.8 Davos, Dischma

Eine Lawine vom Büelenhorn verschüttet die gesperrte Strasse und die Langlaufloipe

Eine spontane Schneebrettlawine vom Büelenhorn verschüttete im Dischma, einem der Davoser Seitentäler, die Strasse auf 280 m und die Langlaufloipe auf 250 m Länge. Beide Verkehrswege blieben während 60 Stunden geschlossen. Die Ablagerungskubatur betrug 120 000 m³. Zudem entstanden 2,5 ha Wald- und 6 ha Flurschaden.

Vermutlich infolge der Südwest-Exposition der Anrissgebiete treten grössere Lawinen am Büelenhorn nicht regelmässig, sondern nur rund alle 10 Jahre auf. Der Lawinenzug kann zwischen solchen Ereignissen teilweise einwachsen und die Lawine führt in der Folge oft viel Holz mit und verursacht grossen Räumungsaufwand auf der Strasse und für die Landwirtschaft.

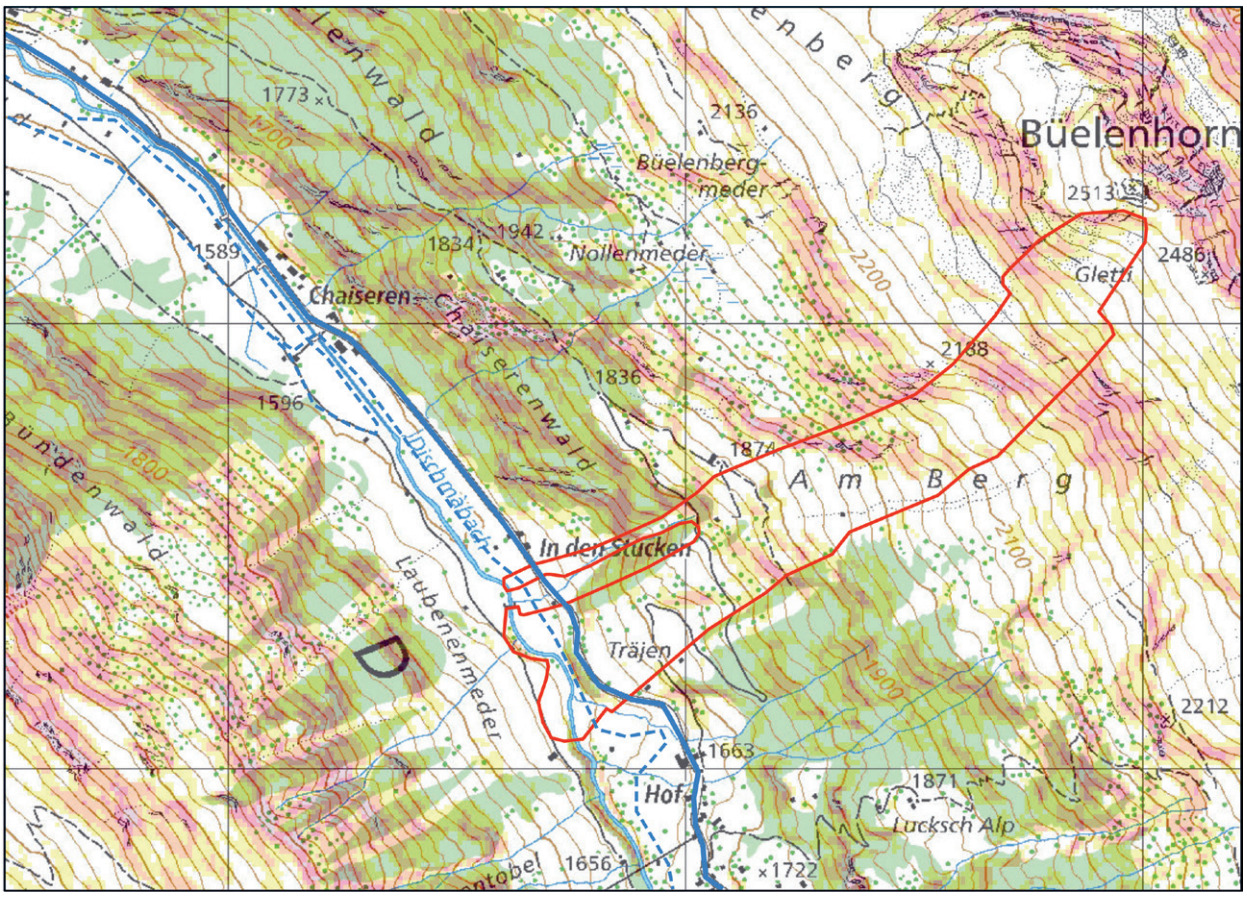


Abb. 95: Die Lawine brach direkt unter dem Gipfel des Büelenhorns an und teilte sich in die Lawinenarme «Trajen» und «in den Stücken». Die Strasse und die Langlaufloipe, welche verschüttet wurden, sind blau hervorgehoben.



Abb. 96: Lawine vom Büelenhorn (Foto: SLF/J. Schweizer, 24. Januar 2018).



Abb. 97: Die Dischmastrasse während der Räumung (Foto: SLF/J. Schweizer, 24. Januar 2018).

3.3.9 Oberried am Brienzersee

Mobile Brücke der Hauptstrasse mitgerissen

Eine spontane, grosse Schneebrettlawine (Grösse 4) riss am 22. Januar um etwa 05.30 Uhr die mobile Brücke der Hauptstrasse mit und beschädigte die Umzäunung auf dem Kulturland am Seeuferweg.

Da die Brücke über den Hirscherengraben öfters von einer Lawine oder im Sommer vom wilden Bach weggerissen wird, ist sie als leichte Holzkonstruktion mit soliden Widerlagern aus Beton konzipiert. Eine in der Nähe gelagerte Reservebrücke kann – sobald es die Lawinensituation zulässt – in wenigen Stunden eingebaut werden. Die Kosten hierfür bewegen sich nach Angaben des Strasseninspektorats Oberland Ost auf jeweils etwa 10 000 bis 15 000 Franken (Zitat www.beo-news.ch).



Abb. 98: Die weggerissene Brücke bei Brienz (Foto: «#SRFAugenzeuge Susanne», Januar 2018).



Abb. 99: Verschüttete Hauptstrasse bei Brienz (Foto: Thuner Tagblatt, Januar 2018).

3.3.10 Samnaun Laret und Compatsch

Zwei kleine Lawinen beschädigen drei Wohngebäude

Frühmorgens am 21. Januar 2018 rissen direkt unterhalb von mit Stützwerken resp. mit Dreibeinböcken verbauten Gebieten zwei kleine Lawinen an und erreichten mehrere, nicht evakuierte Wohngebäude.

In Samnaun Laret riss eine Lawine unterhalb einer Lawinenverbauung aus Stahlschneebrücken auf einer Breite von 53 m an (Abb. 100 bis 103). Sie erreichte nach einer Fliesstrecke von 180 m vier Wohnhäuser und verschüttete eine Quartierstrasse. An einem der Gebäude entstanden grössere Schäden im Aussenbereich. An einem zweiten Gebäude wurden kleinere Schäden registriert. In Samnaun Compatsch riss eine Lawine direkt unter Dreibeinböcken auf einer Breite von 32 m an. Sie drückte nach einer Fliessstrecke von 40 m drei verglaste Balkontüren eines zum Zeitpunkt des Ereignisses bewohnten Hauses ein und drang ins Haus ein (Abb. 104 bis 106). Beide Lawinenzüge wurden im Sommer 2018 durch weitere Schutzbauten gesichert.



Abb. 100: In Samnaun Laret riss unterhalb des mit Stützwerken verbauten Gebiets eine Lawine an, welche Wohngebäude erreichte.



Abb. 101: Ansicht des Anrissgebiets der Lawine bei Samnaun Laret am 23.01.2018 (Foto: AWN GR).

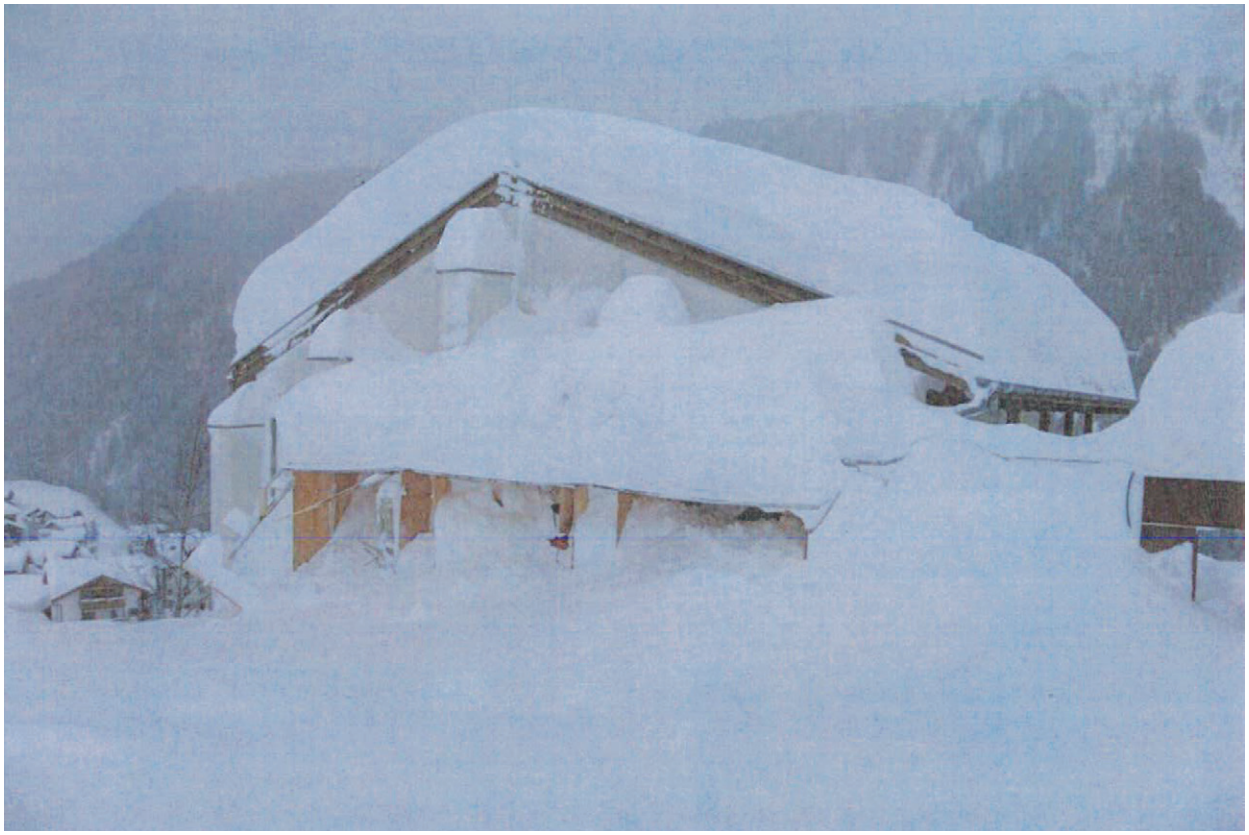


Abb. 102: Ansicht des obersten der von der Lawine erfassten Gebäude (Foto: Fam. Moser-Jenal).



Abb. 103: Hohe Lawinenablagerungen vor dem östlichsten der in Samnaun Laret erfassten Häuser (Foto: Fam. Moser-Jenal).

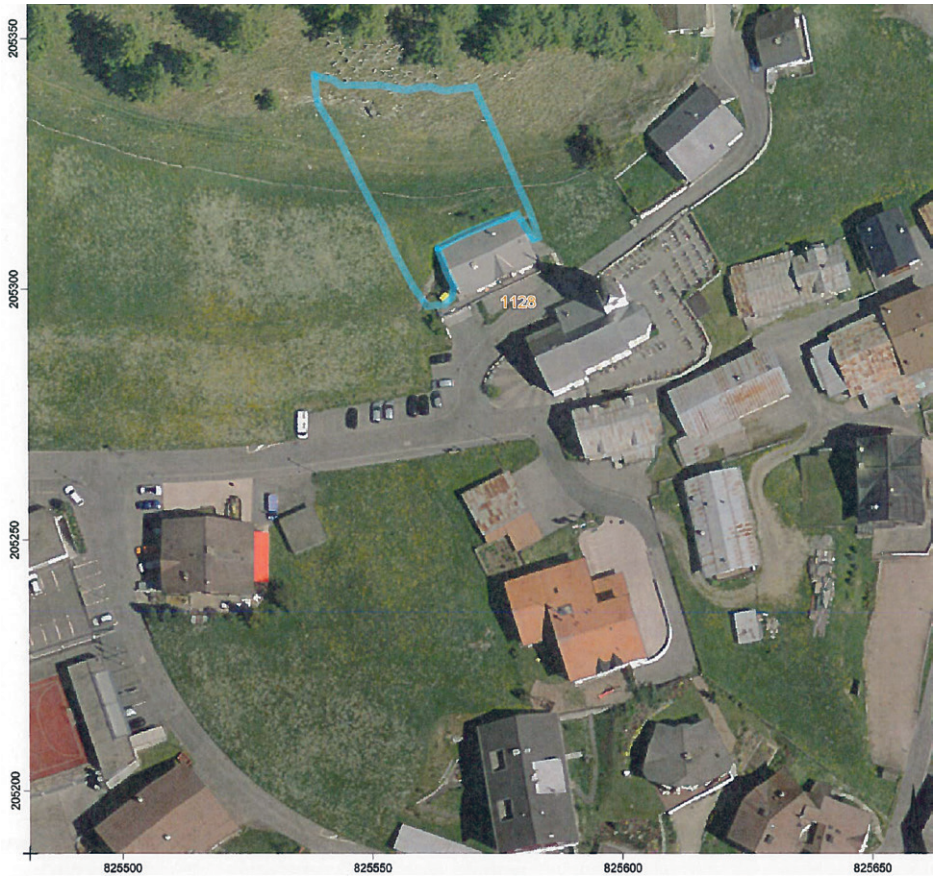


Abb. 104: In Samnaun Compatsch riss unterhalb des mit Dreibeinböcken verbauten Gebiets eine Lawine an, welche in ein bewohntes Haus eindrang.



Abb. 105: Ansicht des Anrissgebiets der Lawine bei Samnaun Compatsch am 23.01.2018 (Foto: AWN GR).



Abb. 106: Schnee im Innern des Hauses in Samnaun Compatsch (Foto: Hausbewohner).

4 Einsatz und Bewährung des integralen Lawinenschutzes

4.1 Bauliche Massnahmen

Stützverbauungen bilden in der Schweiz die wichtigste permanente bauliche Schutzmassnahme. Heute bestehen mehr als 500 km permanente Stützwerke mit einem geschätzten Wiederbeschaffungswert von 1,5 Mia. Franken. Stützverbauungen haben das Ziel, den Anbruch von Lawinen zu verhindern. Im Winter 2017/18 verursachten die relativ grossen Schneehöhen bei Stützverbauungen die grössten Probleme. Im folgenden Kapitel werden die Schneehöhen sowohl im Januar 2018, wie im gesamten Winter hinsichtlich der Wirkung der Stützverbauungen analysiert und die aufgetretenen Schäden beurteilt. Ebenfalls wird die Bewährung im Winter 2017/18 von weiteren Schutzmassnahmen wie Lawinendämmen, Galerien oder Verwehungsverbauungen untersucht. Die vorliegende Analyse beruht auf den uns von den Kantonen zur Verfügung gestellten Informationen und Dokumenten.

4.1.1 Stützverbau

4.1.1.1 Schneesituation in Stützverbauungen

Die Schneehöhe ist das entscheidende Kriterium für die Wirkung und Bemessung von Stützwerken. Gemäss der Richtlinie für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet (MARGRETH 2007) soll die Höhe eines Stützwerkes mindestens der extremen Schneehöhe mit einer Wiederkehrdauer von 100 Jahren entsprechen. Eine Analyse der Daten von manuellen Messfeldern und automatischen Stationen des Winters 2017/18 zeigt, dass die Jährlichkeiten der maximalen Schneehöhen mehrheitlich unter 30 Jahren lag. Die maximalen Schneehöhen des gesamten Winters wurden nur vereinzelt bereits im Januar 2018 gemessen. Lokal zum Beispiel im Unterengadin, Chablais und südlichen Wallis wurde eine Wiederkehrdauer der Schneehöhen von mehr als 30 Jahren verzeichnet. Die Schneehöhenmaxima traten mehrheitlich erst im März oder April auf. Die Höhe von Stützwerken basiert auf dem in der Technischen Richtlinie für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet (MARGRETH 2007) angegebenen Flächenmittel der extremen Schneehöhe. Die extreme Schneehöhe wird auf Grund der Meereshöhe eines Standortes berechnet, die regional korrigiert wird (Abb. 107). Der Vergleich der im Winter 2017/18 gemessenen maximalen Schneehöhen mit dem Flächenmittel der extremen 100-jährlichen Schneehöhe zeigt, dass die gemessenen Schneehöhen mehrheitlich 1 bis 2 m unter der extremen 100-jährlichen Schneehöhe lagen, die in der Technischen Richtlinie definiert ist. Nur bei drei Stationen wurden diese Werte übertroffen: Schilthorn (SCH2), Simplon (SPN3) und Gandegg (GAN2). Diese Stationen sind dafür bekannt, dass die gemessenen Schneehöhen stark wind- respektive geländebeeinflusst und nicht repräsentativ sind.

Im Winter 1998/99 wurden rund 19 Verbauungen überschneit, so dass die Werke grossflächig nicht mehr sichtbar waren. Dagegen wurden im Winter 2017/18 praktisch keine Stützverbauungen grossflächig überschneit, zahlreiche Stützverbauungen jedoch lokal überschneit (Abb. 108 und 109). Charakteristisch für den Januar 2018 war, dass die Schneeverteilung infolge Windeinwirkung innerhalb der Verbauungsgebiete teilweise recht unregelmässig war. Weiter zeichnete sich der Winter 2017/18 dadurch aus, dass bereits Ende Januar in etlichen Verbauungen sehr viel Schnee lag. Dies wurde für den weiteren Verlauf des Winters von den Sicherheitsverantwortlichen als problematisch erachtet, da erfahrungsgemäss an hoch gelegenen Standorten die Schneehöhe noch um rund 1 m bis zu ihrem Maximum ansteigen kann, das typischerweise erst im März oder April auftritt. Bei der Messstation Hasliberg stieg zum Beispiel die Schneehöhe zwischen dem 23. Januar 2018 und dem 1. April 2018 von 212 cm auf 300 cm an. Bei einigen Messstationen wurde am 23. Januar 2018 das Wintermaximum der Schneehöhe gemessen.

Um auf einen weiteren Anstieg der Schneehöhen, verbunden mit einer Abnahme der Wirkung der Stützverbauungen, vorbereitet zu sein, wurden Ende Januar im Kanton Graubünden für die

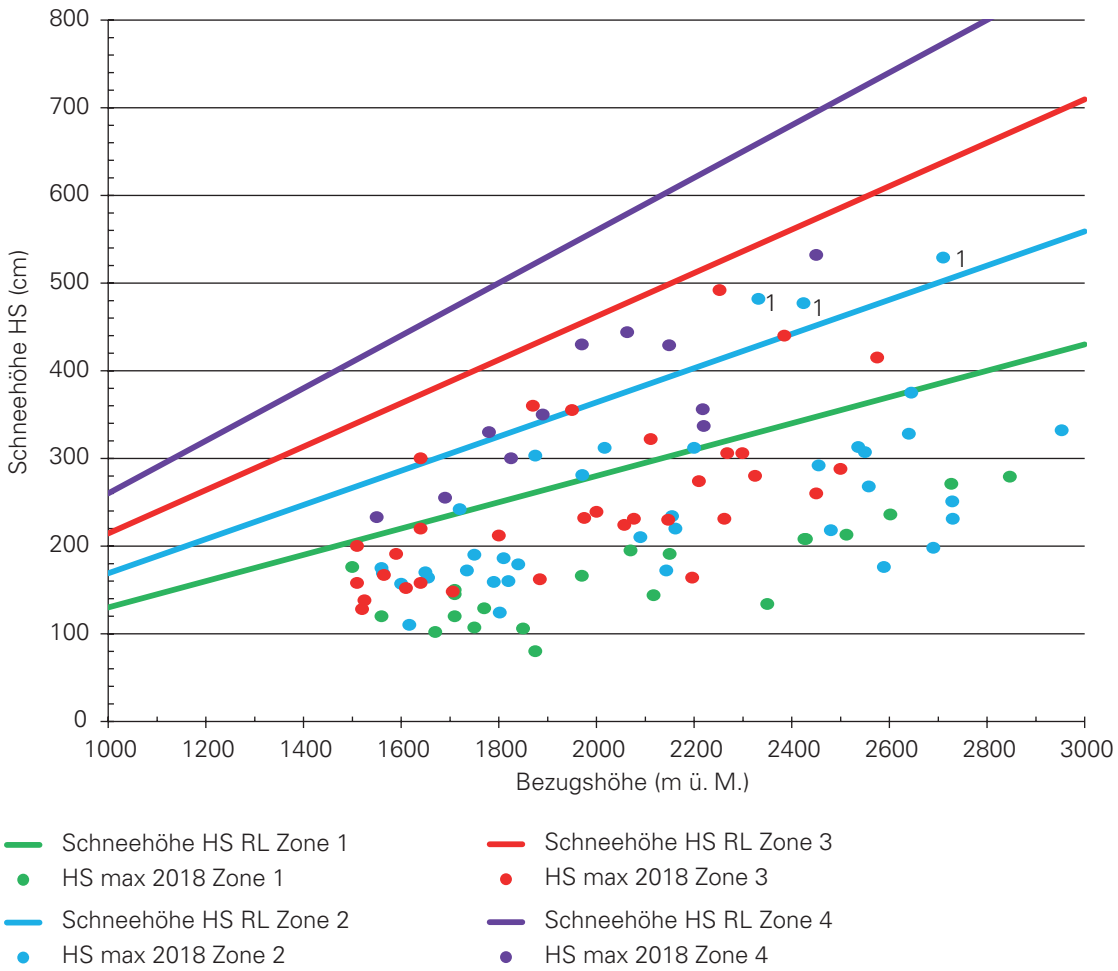


Abb. 107: Vergleich der im Winter 2017/18 gemessenen maximalen Schneehöhen an manuellen und automatischen Stationen mit dem Flächenmittel der extremen 100-jährlichen Schneehöhe gemäss der Technischen Richtlinie (Margreth 2007). Die Messungen wurden den vier Klimazonen der Richtlinie zugeordnet. Die drei IMIS-Stationen mit einer maximalen Schneehöhe grösser als die extreme 100-jährliche Schneehöhe gemäss der Technischen Richtlinie sind (mit 1) markiert.



Abb. 108: Stützverbauung La Rebarme im Unterwallis. Im zentralen Bildteil weisen die Stützwerke eine Werkhöhe von 6,0 m auf. Die Schneehöhe dürfte am 24. Januar 2018 lokal mehr als 8 m betragen haben (Foto: J.J. Lugon).



Abb. 109: Stützverbauung Cavistrau, Trun (GR), die am 24. Januar 2018 teilweise überschneit war. Im oberen Bereich der Verbauung weisen die Stützwerke eine Werkhöhe von 4 m auf und weiter unten 3,5 m (Foto: SLF/S. Margreth).

kritischen Verbauungen Szenarien entwickelt. Diese beschreiben die Beurteilung der erhöhten Gefährdung, zum Beispiel durch den Abbruch von grossen Oberlawinen über den Stützwerken, und die zu treffenden Massnahmen. Problematisch kann sein, wenn in einer Gefahrenkarte die Wirkung der Stützverbauung voll berücksichtigt wurde und nur noch eine kleine Restgefährdung ausgeschieden wurde. Bei einem solchen Szenario, das im Winter 2017/18 glücklicherweise nicht eintrat, müssten allenfalls auch temporäre Massnahmen ausserhalb von Gefahrenzonen in Erwägung gezogen werden. Sehr wichtig ist, dass im Zusammenhang mit Gefahrenkarten und Schutzmassnahmen die berücksichtigten Szenarien bekannt sind und die Schneesituation in kritischen Stützverbauungen regelmässig erfasst und dokumentiert wird.

In der Vergangenheit wurde in Verbauprojekten die erforderliche Werkhöhe oft unterschätzt respektive die lokale Variation der Schneeverteilung zu wenig berücksichtigt. Werden heute neue Stützverbauungen geplant, empfiehlt es sich, Schneehöhenkarten zu erstellen (Abb. 122), welche die exakte Schneeverteilung zeigen. Mit dem Einsatz von Drohnen in Kombination mit fotogrammetrischer Auswertung der Bilder können Schneehöhenkarten mit einer räumlichen Auflösung und Genauigkeit im Dezimeterbereich lückenlos auch in schwer zugänglichen Anrissgebieten kostengünstig erstellt werden. Die Erfahrung zeigt, dass die erforderliche Werkhöhe sorgfältig gewählt werden muss, um die Problematik von überschneiten Verbauungen und möglichen Oberlawinen minimieren zu können.

4.1.1.2 Wirkung der Stützverbauungen

In rund 10 Stützverbauungen wurden in der Lawinenperiode vom 22./23. Januar 2018 erstaunlicherweise relativ grossflächige Lawinenanbrüche beobachtet. Im Winter 1998/99 wurden praktisch keine Lawinenanbrüche in Verbauungen festgestellt. Die Anrissmächtigkeiten dieser Lawinen vom Januar 2018 waren eher klein, mehrheitlich im Bereich von etwa 0,5 m. Da die Stützwerke meist nicht vollständig mit Schnee gefüllt waren, wurde der abfliessende Lawinenschnee durch die Werkreihen abgebremst und teilweise gestoppt. Je steiler das Gelände war und je mehr Schnee in den Verbauungen lag, desto weniger Schnee konnte durch die Stützwerke zurückgehalten werden. Hinsichtlich der Bruchausbreitung zeigten die Werkreihen teilweise praktisch keine Wirkung. In der Verbauung Urseren oberhalb von Brienz durchquerte die Anrisslinie vier Werkreihen (Abb. 110). Die Wirkung der Werke beschränkte sich auf das Abbremsen und Zurückhalten des angebrochenen Schnees. Die Bruchbildung und -ausbreitung konnte durch die Werkreihen nicht verhindert werden. Wir nehmen an, dass innerhalb der verschiedenen Neu- und Triebschneeschichten eine ausgeprägte Schwachschicht bestand. Die Gleitfläche lag mehrheitlich oberhalb der Schneeoberfläche vom 15. Januar 2018. Die Bildung von «Abflusstrichtern» auf dem Rost der Stützwerke deutet darauf hin, dass es sich um Schnee mit einer geringen Kohäsion handelte. Die aus den Verbauungen ausfliessenden Schneemassen waren mehrheitlich klein und verursachten keine oder nur unbedeutende Schäden. Wenn sich unterhalb der Verbauungen sekundäre Anrissgebiete oder steiles Gelände befanden, konnten die Lawinen auch ein grösseres Ausmass annehmen. Auf dem Oberalppass verschütteten solche Lawinen die Geleise der Matterhorn Gotthard Bahn.

Diese Lawinenanbrüche vom Januar 2018 zeigen die Grenzen eines Stützverbaus und die verbleibende Restgefährdung auf. Eine Stützverbauung bietet keinen totalen Schutz vor Lawinen. Gemäss der Technischen Richtlinie (Margreth 2007) hat eine Stützverbauung die Aufgabe, den Anbruch von Lawinen zu verhindern oder mindestens entstehende Schneebewegungen, die nicht vollständig unterbunden werden können, auf ein unschädliches Ausmass zu beschränken. Wenn unterhalb der Stützverbauung bis zum Schadenpotenzial keine Auslaufstrecke oder sogar noch weitere Anrissgebiete bestehen, können solche Schneebewegungen auch Schäden verursachen. Gemäss der Anleitung PROTECT «Wirkung von Schutzmassnahmen» (Romang [Ed.], 2008) bildet der Fall 2: «Lawinenanbruch in der Stützverbauung» einen von drei Fällen, die bei der Wirkungsbeurteilung von Stützverbauungen zu betrachten sind, um die massnahmenbeeinflussten Szenarien festzulegen. Wenn für einen Stützverbau ein sehr hohes Schutzziel besteht



Abb. 110: Stützverbauung Urseren, Brienz (BE), in der Lawinenperiode vom 21./22. Januar 2018 brach in der Verbauung grossflächig eine Schneebrettlawine an. Die Anrisshöhe dürfte rund 50 cm betragen haben. Die Lawine verursachte keine Schäden (Foto: U. Ryter, 24.01.2018).



Abb. 111: Stützverbauung Schiahorn, Davos (GR), ausserhalb der Verbauung brachen einige grosse Lawinen (Grösse 4) an, die im Schiatobel ausliefen. In der Verbauung konnten keine Lawinenanbrüche festgestellt werden (Foto: M. Phillips, 24.01.2018).

und auch kleine Schneebewegungen zu verhindern sind, bestehen die folgenden Möglichkeiten:
- Anordnung der Werkreihen insbesondere im steilen Gelände mit kürzeren Werkabständen als in den Richtlinien vorgeschlagen wird.
- Kombination der Stützverbauung mit einer Aufforstung.
- Die Verbauung so weit nach unten ausdehnen, bis das Gelände definitiv flacher ist als 30°.
- Um in Verbauungen anbrechende Kleinlawinen effektiver zu stoppen, kann der Stützrost bei einzelnen Werkreihen mit einem engmaschigen Drahtgeflecht abgedeckt werden.

Im Januar 2018 wurden auch einigen Lawinenanbrüche unmittelbar neben oder unterhalb von Stützverbauungen beobachtet. Eine Quantifizierung der durch Stützverbauungen verhinderten Lawinenanbrüche ist jedoch nicht möglich (Abb. 111).

4.1.1.3 Schäden in Stützverbauungen

Infolge der grossen Schneehöhen und starken Schneegleitens war die Beanspruchung der Stützwerke im Winter 2017/18 gross. In etlichen Verbauungen wurden bei den jährlichen Werkkontrollen Schäden festgestellt. In den meisten Fällen handelt es sich um lokale Schäden, die die Funktion der Verbauung nicht oder noch nicht entscheidend beeinträchtigen. Schwerpunkte der Schäden an Stützverbauungen waren in den Kantonen Graubünden, Waadt, Wallis und Uri. Im Winter 2017/18 dürfte die gesamte Summe der Schäden in Stützverbauungen rund 2,3 Mio. Franken betragen haben. Im Vergleich zum Gesamtaufwand für Stützverbauungen liegt diese Zahl im Promillebereich. Die Schadensumme im Winter 2017/18 ist bedeutend kleiner als im Lawinenwinter 1999. Damals wurden die Schäden in Stützverbauungen auf 8 Mio. Franken geschätzt. Bei den beobachteten Schäden handelt es sich durchwegs um bekannte Phänomene, die in früheren Wintern auch schon aufgetreten waren.

Schäden infolge Schneedrucks

Verbogene und geknickte Stützen

Im Winter 2017/18 knickten rund 440 Stützen von Stützwerken in Talrichtung aus. Betroffen waren insbesondere «Züllig SA»-, «Voest-Alpine BT»- und «Dickru»-Werke, sowie verschiedene Werktypen älteren Baujahrs. Allein in den Verbauungen Ondadusa, Val Murtès und Stelli (alle GR), Pic Chaussy-La Tornette (VD) sowie La Loutze (VS) knickten rund 365 Stützen in Talrichtung aus



Abb. 112: Ausgeknickte Randstützen von Dickru-Stützwerken, Verbauung La Loutze, Leytron (VS). Im Randbereich herrschen erhöhte Schneedruckkräfte. Deshalb wurde ein Randwerk mit doppelten Trägern und Stützen eingebaut (Foto: Nivalp SA, 12.11.2018).



Abb. 113: Ausgeknickte Stützen von Züllig-SA-Stützwerken, Verbauung Stelli, Untervaz (GR). In dieser Verbauung gab es bereits in den Wintern 1994/95 und 1998/99 Stützenschäden (Foto: M. Kalberer, 30.05.2018).

(Abb. 112 und 113). Das Verbiegen respektive Ausknicken ist auf eine hohe Normallast, verbunden mit einer Querbelastung der Stütze durch ein talseitiges Anhängen der Schneedecke, zurückzuführen. Solche Schäden traten bereits in früheren schneereichen Wintern auf. So knickten zum Beispiel in den Verbauungen Stelli und La Loutze bereits in den Wintern 1994/95 und 1998/99 zahlreiche Stützen aus. Interessant ist, dass die im Winter 2017/18 ausgeknickten Stützen in den früheren Wintern nicht beschädigt wurden. Bis 2007 wurden Stützen gemäss der Richtlinie (BUWAL/WSL 1990) nur auf eine Normalkraft bemessen. Die Schäden traten praktisch ausschliesslich an Stützwerken auf, die vor 2007 erstellt wurden. Die Bemessung der Stützen nach der aktuellen Technischen Richtlinie (MARGRETH 2007) mit Normal- und Querkraft scheint sich zu bewähren. An extremen Standorten ist Kapitel 4.6.1 der Technischen Richtlinie zu beachten und es kann angezeigt sein, eine erhöhte Querbelastung zu verwenden (d. h. den Einflussfaktor > 1 zu wählen).

Beschädigte Anschlussteile

Bei einem «Voest-Alpine BT»-Werk in der Verbauung Grotzenegg (UR) knickten die Anschlusslaschen von Stütze und Riegel an die Verankerung seitlich weg (Abb. 114). Die Druckkraft in der Stütze muss mindestens 360 kN betragen, damit die Anschlusslaschen knicken. Eine solche Belastung kann auftreten, wenn das Stützwerk um mindestens 1.0 m überschneit ist. In der vorliegenden Situation könnte der Schaden durch die dynamische Einwirkung einer Gleitschneelawine verursacht worden sein. Weist die Stütze keine Überlänge auf und wirkt keine Querbelastung, ist die Knicklast der Stütze höher als jene der Anschlusslaschen. Ein identischer Schaden trat in der Verbauung Stelli (GR) auf.

In der Verbauung Rinistock (UR) wurde ein Stützenschuh eines «Züllig SA»-Werkes seitlich aufgerissen (Abb. 115). Das Werk war überschneit und die Stütze war verstärkt (doppeltes quadratisches RRW-Hohlprofil). Wir nehmen an, dass eine zu grosse Querbelastung auf den Stützenschuh infolge Anhängens der Schneedecke an die Stütze auftrat. Bei verstärkten Stützen ist es vorteilhaft, den Stützenschuh anzuschweissen.

Gekippte und gebrochene Träger

In einigen überschneiten Werkreihen kippte oder brach der Kragarm von Stahlträgern. Kritisch ist das Biegemoment des Kragarmes beim Stützenanschluss. Eine zu grosse Schneehöhe führt zu einem Anstieg des Biegemomentes. Beim «BEDO»-Werk (Dk = 3,5 m, N = 2,5) kann der Träger versagen, wenn das Werk um 0,6 m überschneit ist (Abb. 116).



Abb. 114: Verbogene Stützen-Anschlusslaschen bei «Voest-Alpine BT»-Werken, Verbauung Grotzenegg, Unterschächen (UR) (Foto: R. Planzer, 22.08.2018).



Abb. 115: Abgeknickter Stützenschuh bei einem «Züllig SA»-Werk mit verstärkter Doppelstütze, Verbauung Rinistock, Meien-Wassen (UR) (Foto: R. Planzer, 29.08.2018).



Abb. 116: Infolge Überschneiens gebrochener IPE-Träger bei einem «BEDO»-Werk in der Verbauung Rinistock, Meien-Wassen (UR). Ist ein Werk überschneit, entsteht im Träger das grösste Biegemoment im Bereich des Stützenauflagers (Foto: R. Planzer, 29.08.2018).



Abb. 117: Deformierte Rostbalken eines «Züllig SA»-Werkes in der Verbauung Ob der Mettenenalp, Unterschächen (UR) (Foto: R. Planzer, 08.08.2018).

Verbogene und fehlende Rostbalken

In einigen Verbauungen wurden Rostbalken verbogen (Abb. 117). Solche Schäden müssen bei überschneiten Werken erwartet werden. Der spezifische Schneedruck, der für die Bemessung der Rostbalken massgebend ist, kann überschritten werden. Durch Deformationen der Hauptwerke und Lawinenaufprall wurden Zwischenbalken gelöst respektive mitgerissen. Bei der Montage der Zwischenbalken ist wichtig, dass die Überlappungen mit den Rostbalken des Hauptwerkes genügend gross sind (> etwa 10 cm). Bei starkem Schneegleiten wird der unterste Rostbalken am stärksten beansprucht. Am Rinistock und am Geissberg (UR) wurde bei einigen Werken der unterste Rostbalken verbogen. Gemäss der Technischen Richtlinie muss im untersten Viertel des Rostes ein um 25 Prozent erhöhter Schneedruck berücksichtigt werden. Wenn der Abstand vom untersten Rostbalken zum Boden mehr als 0,5 m misst, kann die Tragfähigkeit des untersten Rostbalkens überschritten werden.

Schäden an Fundationen

Fundationsschäden an Stützwerken waren im Winter 2017/18 nicht sehr zahlreich. Ausgerissene Anker wurden praktisch keine festgestellt. In der Verbauung Petit Chavalard (VS) rissen bei Schneenetzen bergseitige Seilanker. Die grösste Beanspruchung eines Seilankers entsteht im Bereich der Krümmung des Seiles. Diese Ankerbrüche zeigen, dass die Anker einwandfrei versetzt wurden. Dies ist unter anderem auf die durchgeführten Ausziehversuche und Mörtelprüfungen zurückzuführen. Beim talseitigen Fundament knickten Mikropfähle seitlich und in Talrichtung aus. In der Verbauung Pic Chaussy-La Tornette (VD) knickten beispielsweise 47 freistehende Mikropfähle ohne Zusatzanker in Talrichtung aus. Weiter traten ein paar wenige Ankerbrüche auf. Bei der bergseitigen Verankerung von Riegelwerken wurden bergseitige Anker verbogen oder abgeschert (Abb. 118). Die bergseitigen Anker werden nur auf eine Zugkraft bemessen. Bei der Bemessung eines Stützwerkes nimmt man weiter an, dass der Schneedruck nur auf den Stützrost und nicht auf die Anker wirkt. Die Schäden an den bergseitigen Zugankern sind auf starken Schneedruck infolge von Schneegleiten zurückzuführen. Oft wird der obere Teil des Bodens weggedrückt. Der Zuganker, der nur auf eine Zugkraft bemessen wurde, wird somit zusätzlich durch Querkräfte beansprucht. Die Querbelastung des Ankerstabes wird zusätzlich erhöht, wenn der Abstand zwischen dem untersten Rostbalken und dem Boden gross ist (Abb. 119).



Abb. 118: Infolge Schneedrucks (u. a. wegen starken Schneegleitens) und zu grosser Distanz zwischen dem untersten Rostbalken und dem Boden wurde der bergseitige Zuganker von «Züllig SA»-Werken in der Verbauung Rinistock, Meien-Wassen (UR), deformiert (Foto: R. Planzer, 29.08.2018).

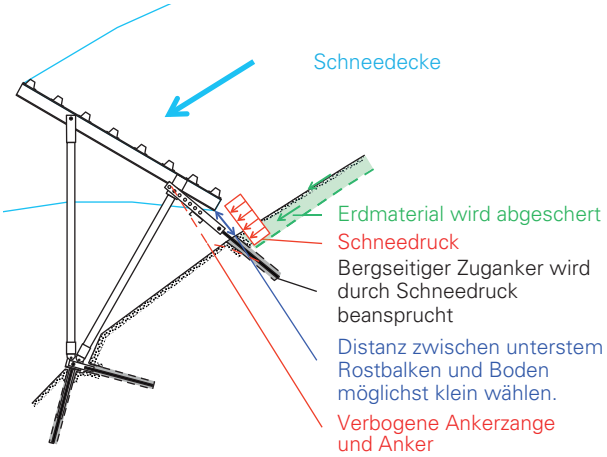


Abb. 119: Bei der Bemessung eines Stützwerkes wird angenommen, dass Schneedruck nur auf den Stützrost, nicht aber auf die Ankerzange wirkt. Wenn die Distanz zwischen Boden und unterstem Rostbalken mehr als etwa 20 cm beträgt, kann die Ankerzange ebenfalls durch Schneedruck beansprucht werden.

Schäden infolge dynamischer Lawineneinwirkungen
Stützwerke werden auf statischen Schneedruck bemessen. Die Werkabstände werden so gewählt, dass die dynamischen Lawinendrücke kleiner sind als der statische Schneedruck. Wird eine Stützverbauung von weiter oben anbrechenden Lawinen getroffen, werden Stützwerke normalerweise stark beschädigt oder zerstört. Im Lawinenwinter 1999 traten in fünf Verbauungen grössere Zerstörungen infolge weiter oben angebrochener Lawinen auf. Im Januar 2018 wurde gemäss unseren Informationen nur eine temporäre Stützverbauung von einer Lawine getroffen. Rund 460 m Holzschneerechen wurden durch die «Val da Barcli»-Lawine am 23. Januar 2018 zerstört (Abb. 120 und 121, Kap. 3.3.3). Der Schaden betrug rund CHF 450 000. Die Schadenlawine im Val da Barcli vom 23. Februar 1999 hatte grossen Waldschaden verursacht. Dadurch war die Ofenpassstrasse nicht mehr vor Lawinen geschützt, die unmittelbar oberhalb der Strasse anbrechen. Dieses Anrissgebiet wurde in der Folge mit Holzschneerechen verbaut. Das SLF untersuchte im Rahmen eines Gutachtens den Lawinenniedergang vom 23. Januar 2018 und schätzte die Wiederkehrdauer, dass die «Val da Barcli»-Lawine die Verbauung erreicht, auf mehr als 30 Jahre. Die zerstörten Holzschneerechen wurden im Sommer 2018 ersetzt.

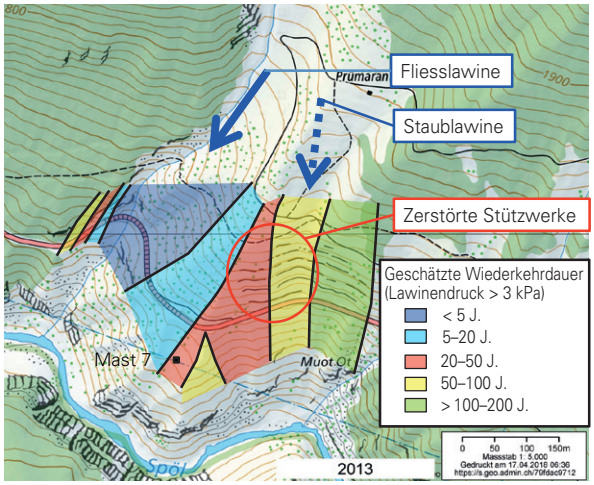


Abb. 120: Sturzbahn der «Val da Barcli»-Lawine im Bereich der Ofenpassstrasse mit der geschätzten Wiederkehrdauer für Strassenverschüttungen. Im Bereich der Temporärverbauung muss etwa alle 30 bis 200 Jahre mit grösseren Lawineneinwirkungen gerechnet werden. Die Hauptlawinenbahn folgt dem Bachlauf, in dessen Bereich die Strasse mit einer Galerie geschützt ist.



Abb. 121: Die «Val da Barcli»-Lawine vom 23. Januar 2018 zerstörte rund 460 m Holzschneerechen des Typs «SLF» mit Schwellenschuh. Die Verbindung der Stütze mit der Fussplatte stellte sich beim Lawinenaufprall als Schwachpunkt heraus. Da die Stütze nicht kraftschlüssig mit der Fussplatte verbunden ist, genügten relativ kleine Kräfte, um die Stütze wegzudrücken. Bei praktisch allen zerstörten Werken wurden die Stütze und die Pfette weggerissen (Foto: SLF/S. Margreth, 27.03.2018).

4.1.2 Verwehungsverbau

Im Januar 2018 war die Schneeverteilung stark windgeprägt. In etlichen Verbauungen zeigten Triebschneezäune und Kolktafeln eine gute Wirkung. Vom Triebschneezaun oberhalb der Verbauung Tanngrindel, Brienz (BE), liegen detaillierte Beobachtungen vor, die von der Abteilung Naturgefahren des Amtes für Wald des Kantons Bern in Auftrag gegeben wurden. Der 4 m hohe und rund 90 m lange Zaun reduziert die Triebschneeablagerung im angrenzenden Anrissgebiet. Der Zaun befindet sich auf einem rund 26° geneigten Geländerücken in einem Abstand von 30 m von der Geländekante. Am 27. Januar 2018 wurde im Gebiet der Verbauung mit einem Laserscan eine Schneehöhenkarte erstellt (Abb. 122). Der Zaun zeigte eine gute Wirkung. Hinter dem Zaun wurde rund 40 m^3 Schnee pro m abgelagert (Abb. 123). Die maximale Ablagerungshöhe betrug

etwas mehr als 4 m. Gesamthaft dürften rund 5000 m³ Schnee durch den Zaun zurückgehalten worden sein. Im Januar 2018 hatte der Triebschneezaun seine maximale Kapazität noch nicht erreicht. Interessanterweise wurde im Winter 1967 an diesem Triebschneezaun eine ähnliche Untersuchung durchgeführt (SCHWARZ 1968). Die Feldmessungen vom 14. April 1967 ergaben, dass damals rund 10 000 m³ Triebschnee durch den Zaun zurückgehalten wurden.

Der grösste Schaden im Winter 2017/18 an einem Verwehungsverbau trat in der Verbauung Valtschamela, Churwalden (GR), auf. Um die in einer Geländemulde gelegene Stützverbauung vor Triebschneeansammlungen zu schützen, wurde südlich der Verbauung zwischen 2015 und 2017 ein 275 m langer Triebschneezaun gebaut. Der Triebschneezaun besteht aus 4 m breiten Einzelelementen, die zwei vertikale Träger aufweisen, die seitlich abgestützt sind. An die Träger sind jeweils 16 Holzbretter geschraubt. Der Füllungsgrad beträgt 50 Prozent und der Bodenspalt variiert zwischen 40 und 50 cm. Der Verwehungszaun wurde mit Mikropfählen verankert. Die Hangneigung entlang des Zaunes variiert zwischen 25° und 30°. Im Frühling 2018 wurde festgestellt, dass ein grosser Teil des Zaunes in Talrichtung um bis zu 30° schief gedrückt wurde. Die Stahlträger und Verankerungen wurden verbogen, etliche Holzbretter brachen. Die Schadensumme beträgt rund CHF 300 000. Der Schaden ist auf Schneedruckeinwirkungen zurückzuführen (Abb. 124 und 125). Der Triebschneezaun wurde nur auf Wind bemessen. Weiter führte der zu kleine Bodenspalt dazu, dass der Zaun frühzeitig eingeschneit wurde. Wird ein Triebschneezaun in Hanglage geplant, ist die Konstruktion auch auf Schneedruck zu bemessen. Bewährt haben sich Konstruktionen ohne seitliche Abstützung, damit die Angriffsfläche für Schneedruck minimiert wird.

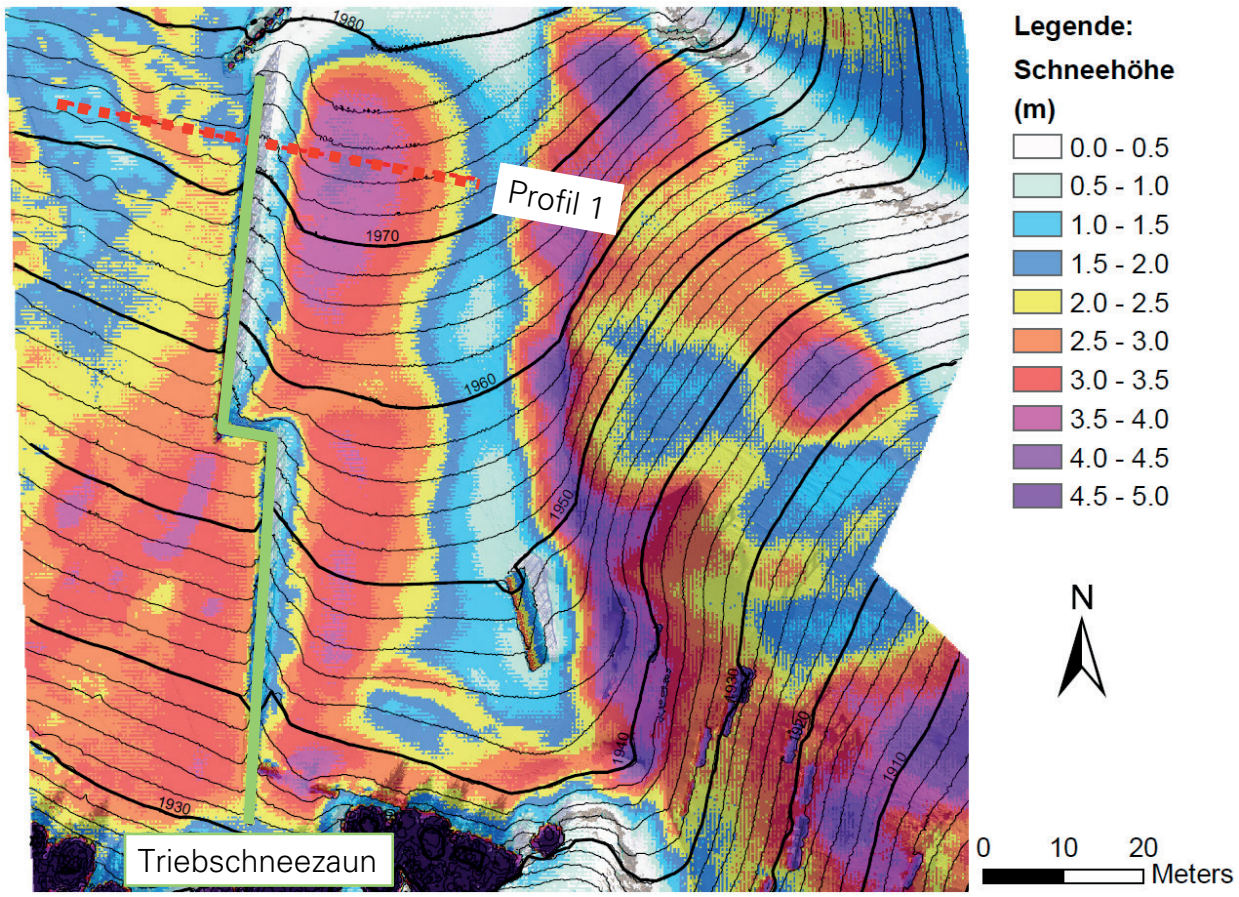


Abb. 122: Schneehöhen am 27. Januar 2018 beim Triebschneezaun Tanngrindel, Brienz (BE). Die Höhe des Zaunes beträgt 4 m, der Füllungsgrad 66 Prozent und der Bodenspalt 0,6 m. Die Hauptwindrichtung ist WNW (Datengrundlage Amt für Wald des Kantons Bern, Abteilung Naturgefahren).

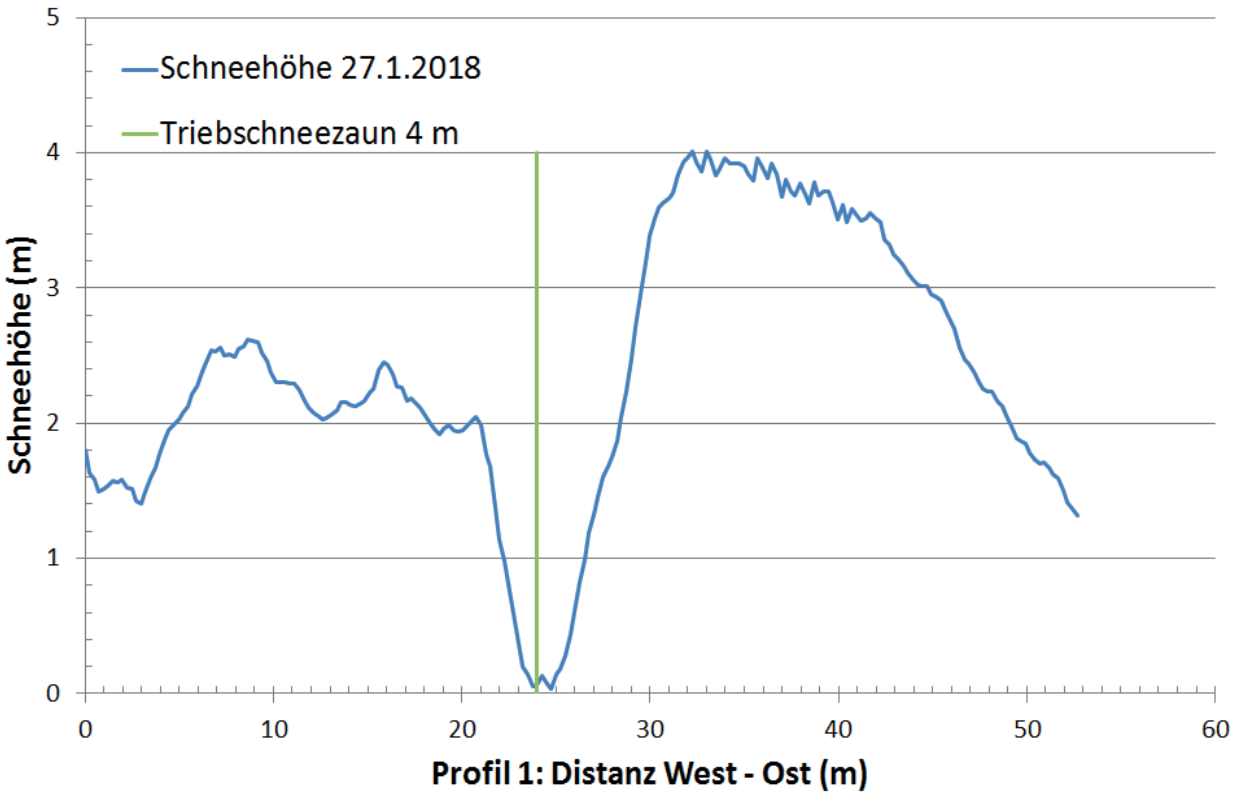


Abb. 123: Schneehöhe entlang des Profils 1 (Abb. 122), Triebschneezaun Tanngrindel, Brienz (BE). Pro Laufmeter wurde rund 40 m^3 Schnee durch den Zaun zurückgehalten (Datengrundlage Amt für Wald des Kantons Bern, Abteilung Naturgefahren).



Abb. 124: Beschädigter Triebschneezaun Valtschamela, Churwalden (GR). Der Triebschneezaun besteht aus 4 m breiten Einzelelementen, die mit vier Mikropfählen verankert sind. Durch den seitlichen Schneedruck wurde der Zaun in Talrichtung deformiert (Foto: SLF/S. Margreth, 17.08.2018).

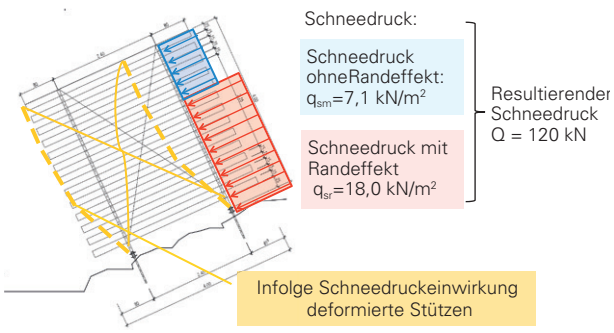


Abb. 125: Auf die einzelnen 4 m langen Elemente des Triebschneezauns wirkte ein resultierender Schneedruck von rund 120 kN. Primär wurden die Stahlträger und die Verankerung deformiert.

4.1.3 Lawinendämme

Im Januar 2018 gingen in einigen Lawinenzügen, die mit Dämmen verbaut waren, Lawinen nieder. Einige wenige Lawinendämme wurden von Lawinen getroffen. Da sich die Mehrzahl der grösseren Lawinendämme eher in tiefen Höhenlagen befindet, wurden diese gar nicht oder nicht mit maximalen Intensitäten getroffen. Bei Zinal im Val d'Anniviers (VS) stoppten in drei Lawinenzügen die Schneemassen gerade beim Dammfuss (Abb. 126 und 127).

Im Lötschental wurde am 20. Februar 1999 oberhalb von Wyssenried (VS) eine Stützverbauung durch die «Bachtela»-Lawine, die unterhalb des Tennbachhorns anbrach, zum grossen Teil zerstört. Um das Dorf und die Stützverbauung vor Lawinen zu schützen, wurde auf einer Geländeterrasse ein 380 m langer und 10 m hoher, keilförmig ausgebildeter Ablenkdamm erstellt. Im Januar 2018 brach die «Bachtela»-Lawine ähnlich gross an wie 1999. Die abfliessenden Schneemassen wurden vollständig vom Damm abgelenkt (Abb. 128 und 129). Am oberen Ende des Dammes stiegen die Schneemassen praktisch bis zur Dammkrone an. Bei weiteren Lawinenniedergängen wäre die Dammhöhe wahrscheinlich nicht mehr ausreichend gewesen. Ohne Ablenkdamm wäre die Stützverbauung erneut in Mitleidenschaft gezogen worden.



Abb. 126: In Zinal wurden in drei Lawinenzügen mit Auffangdämmen Lawinenniedergänge verzeichnet. Die Lawinen erreichten nur knapp den Dammfuss (Foto: P. Stoebener, 10.01.2018).



Abb. 127: Beim Lawinendamm des Torrent du Perrec in Zinal, Wallis, erreichte die Lawine knapp den Dammfuss. Hinsichtlich Wirkung oder Bemessung des Dammes lässt sich keine Aussage machen (Foto: P. Stoebener, 10.01.2018).

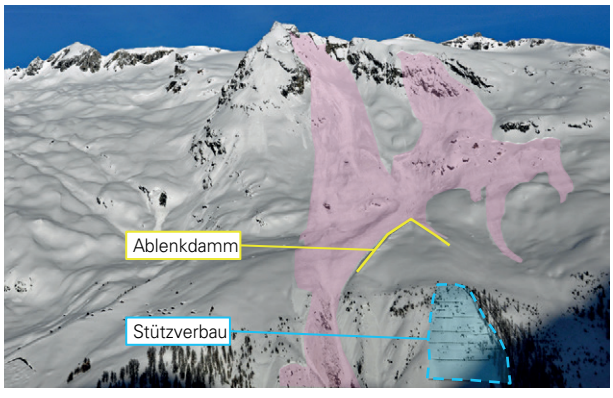


Abb. 128: Anrissgebiet der künstlich ausgelösten «Bachtela»-Lawine am Tennbachhorn im Lötschental (VS). Die Lawine wurde durch den keilförmig angeordneten Ablenkdamm Ritzmad in westliche Richtung abgelenkt. Die zum Schutze von Weissenried bestehende Stützverbauung wurde nicht getroffen (Foto: SLF/S. Margreth, 24.01.2018).



Abb. 129: Die Lawinenablagerung erreichte fast die 10 m hohe Dammkrone des Ablenkdammes Ritzmad. Der Damm wurde nicht überflossen. Infolge von Triebschneeansammlungen war die Ostseite des Dammes stark angefüllt (Foto: SLF/S. Margreth, 24.01.2018).



Abb. 130: Im Januar 2018 wurden etliche Lawinenabgänge entlang des Blattbaches südlich von St. Niklaus (VS) verzeichnet. Die MGB-Bahnlinie ist durch einen 130 m langen Tunnel geschützt. Der Tunnel erwies sich als zu kurz. Um die Gefährdung der Bahnlinie vor Folgelawinen zu reduzieren, wurde ein rund 5 m hoher Leitdamm aus Schnee geschüttet (Foto: W. Gitz, 14.02.2018).



Abb. 131: Im Bielzug bei St. Niklaus (VS) wurde die 2016 erhöhte Ablenkmauer auf einem Schwemmkegel durch Lawinenablagerungen randvoll gefüllt. Die Höhe der Ablenkmauer variiert zwischen 5 und 10 m. Ein weiterer Niedergang hätte einen Gittermasten einer Hochspannungsleitung und Wohnhäuser gefährden können. In der Folge wurden die Lawinenablagerungen maschinell entfernt (Foto: Geoformer, 05.01.2018).

Im Gebiet von St. Niklaus im Mattertal (VS) verschütteten die Blattbachlawine sowie weitere Lawinen die Matterhorn Gotthard Bahn (MGB). Weiter wurde in den Lawinenzügen Biel und Spiess die Schutzwirkung von Dämmen durch Lawinenniedergänge stark eingeschränkt. Um im weiteren Verlauf des Winters eine erneute Verschüttung der Bahnlinie durch Folgelawinen, die in den ausgestrichenen Lawinenbahnen erneut hätten weit vorstossen können, möglichst zu verhindern, wurden als Sofortmassnahmen Lawinenablagerungen teilweise abgetragen und mehrere 3 bis 7 m hohe Auffang- und Ablenkdämme aus Schnee erstellt (Abb. 130 und 131). Die Dämme wurden mit schweren Löffelbaggern erstellt. Da die Bauarbeiten in Lawinenzügen stattfanden, wurde ein Sicherheitskonzept erarbeitet und die Lawinengefahr laufend beurteilt. Die Kosten für das Erstellen der Schneedämme betrugen rund CHF 150 000. Im weiteren Verlauf des Winters traten jedoch keine grösseren Lawinen mehr auf.

4.1.4 Lawinengalerien

Lawinengalerien stellen einen effizienten Schutz für Verkehrsachsen dar. Im Januar 2018 wurden in der Schweiz mindestens 50 Galerien von Lawinen überflossen. Beispielsweise gingen im Raum Goppenstein Lawinen praktisch über alle für Bahn und Strasse bestehende Galerien nieder. Die abgelagerten Schneemengen waren bedeutend kleiner als im Winter 1999 (Abb. 132). Ein Problempunkt bei Galerien stellt nach wie vor die Länge dar. Aus Kostengründen wird die Länge einer Galerie so kurz wie möglich geplant. In extremen Lawinensituationen wie im Januar 2018 ist diese Länge dann oft ungenügend. Es wurden mindestens zehn Galerieportale überflossen (Abb. 133).

Ein interessanter Schaden trat an der 180 m langen Galerie Naye Aval auf, die die Bahnstrecke auf den Rochers-de-Naye (VD) vor Schneerutschen und Steinschlag schützt. Die im Jahre 2008 erstellte Galerie besteht aus einem Rahmentragwerk aus Stahlträgern, das mit Betonplatten und Holzbrettern abgedeckt wurde. Im Winter 2017/18 bildete sich eine grosse Schneeverwehung entlang der Galerie (Abb. 134). Auf dem Galeriedach lag bis 8,5 m Schnee mit einer Dichte von rund 540 kg/m^3. Die kriechende und gleitende Schneedecke oberhalb der Galerie erzeugte eine



Abb. 132: Im Raum Goppenstein wurden praktisch alle Galerien von Lawinen überflossen. Im Vergleich zum Lawinenwinter 1999 waren jedoch die Lawinenablagerungen viel kleiner (Foto: SLF/S. Margreth, 24.01.2018).



Abb. 133: Bei Eisten, Saastal (VS), überfloss die Putzloiwna im Januar 2018 beide Galerieportale (Foto: P. Stoebener, 10.01.2018).

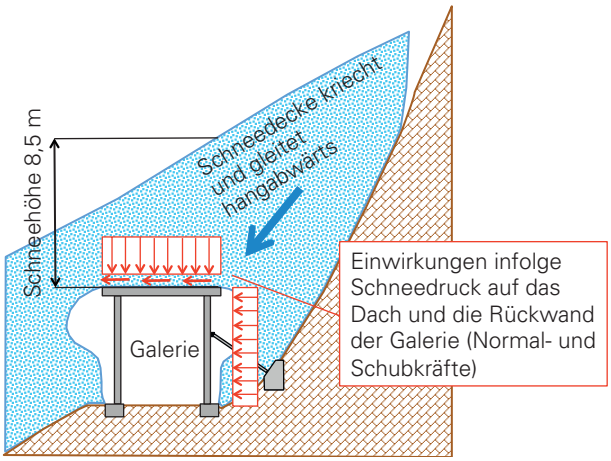


Abb. 134: Die zum Schutze der Bahnstrecke auf den Rochers-de-Naye (VD) erstellt Galerie Naye Aval wurde im Winter 2017/18 infolge der ungewöhnlich grossen Schneehöhen durch Schneedruckeinwirkungen beschädigt.



Abb. 135: Die bergseitigen Rückhaltestreben der Galerie Naye Aval wurden durch Schneedruckeinwirkungen verbogen resp. brachen. Weiter wurden einige Stahlträger deformiert (Foto: Geobrugg, 22.08.2018).

grosse seitliche Belastung auf die Galerie. Dadurch wurden einige Stahlträger deformiert und Verbindungen brachen (Abb. 135). Um die Galerie zu entlasten und um die Schäden beheben zu können, wurde im Mai 2018 mit einer Pistenraupe und einem Schreitbagger die Schneedecke im Bereich der Galerie abgetragen.

4.1.5 Steinschlagbarrieren

Eine Gefährdung durch Steinschlag ist oft kombiniert mit einer Lawinengefährdung. Die beiden Einwirkungen sind jedoch grundsätzlich sehr unterschiedlich. Wenn ein Block ein Steinschlagnetz trifft, tritt eine punktförmige Belastung auf. Durch das Verformungsvermögen des Netzes wird ein Teil der Aufprallenergie abgebaut, so dass die Tragstruktur nicht überbeansprucht wird. Trifft hingegen eine Lawine eine Steinschlagbarriere, tritt eine Flächenbelastung auf, die eine viel grössere Beanspruchung der Tragstruktur verursachen kann. Die Wahl der «richtigen» Schutzmassnahme ist in solchen Fällen meist schwierig. Im Januar 2018 wurden einige Steinschlagbarrieren



Abb. 136: Die Schafgrabenlawine eingangs Zermatt (VS) ging im Januar 2018 mehrmals nieder und beschädigte Steinschlagbarrieren, die zum Schutze der Bahnlinie der MGB errichtet worden waren. Die Steinschlagnetze sollen nun durch Dämme ersetzt werden (Foto: P. Stoebener, 10.01.2018).



Abb. 137: Im Lawinenzug Wandschluichen im Lötschental (VS) wurden Stahlschneebrücken und Steinschlagbarrieren eingebaut. Im Januar 2018 wurden einige Steinschlagbarrieren durch Lawinen und Schneedruckeinwirkungen beschädigt. Ähnliche Schäden waren bereits in früheren Wintern aufgetreten (Foto: SLF/S. Margreth, 24.01.2018).

beschädigt, die in Lawinenbahnen erstellt wurden. Eingangs Zermatt wurden beispielsweise Steinschlagbarrieren durch die Schafgrabenlawine beschädigt (Abb. 136), und eingangs Lötschental wurden Steinschlagnetze im Gebiet Wandschluichen infolge von Schneerutschen und Schneedruck zerstört (Abb. 137). An lawinen- oder schneedruckgefährdeten Standorten kann der Bau eines Dammes eine nachhaltigere Lösung darstellen, falls das Gelände nicht zu steil ist und genügend Platz besteht.

4.2 Raumplanerische Massnahmen

Im Jahre 2018 waren schweizweit rund 98 Prozent der Gemeinden mit lawinengefährdeten Gebieten mit Gefahrenkarten abgedeckt, die in kommunalen Nutzungsplanungen umgesetzt sind. 1999 lag der Anteil erst bei rund 90 Prozent. Da auf Höhenlagen zwischen 1000 und 1600 m ü. M., in denen sich viele Siedlungen befinden, die Schneedecke im Januar 2018 zumindest oberflächlich feucht war, hatten viele Lawinen nur relativ kurze Auslaufstrecken. In den schneereichen Gebieten mit einer hohen Lawinenaktivität wie dem Matter- oder Saastal, stoppten etliche Lawinen im roten Gefahrengebiet (Abb. 138). Nur vereinzelt erreichten Lawinen auch blaues Gefahrengebiet. Gemäss den uns vorliegenden Informationen überflossen im Siedlungsbereich in der Lawinenhauptfliessrichtung keine Lawinen die in den Lawinengefahrenkarten ausgeschiedenen Grenzen. Genaue GIS-Auswertungen zeigten, dass in einzelnen Lawinenzügen kleine Überschreitungen der seitlichen Abgrenzungen von Gefahrenkarten auftraten, die jedoch nicht ein wirkliches Defizit darstellen. In einer extremen Lawinensituation mit einer hohen Lawinenaktivität kann nie ausgeschlossen werden, dass eine Lawine zum Beispiel eine etwas andere Bahn als angenommen einnimmt und folglich die Abgrenzungen von Gefahrenkarten überschreiten kann. Deshalb ist nach einem Lawinenwinter eine Überprüfung der Gefahrenkarten angezeigt. Im Lawinenwinter 1999 hatten einige Lawinenarme wie in Evolène die in den Gefahrenkarten vorausgesagten Auslaufgebiete übertroffen. Die betroffen Gefahrenkarten wurden anschliessend angepasst.

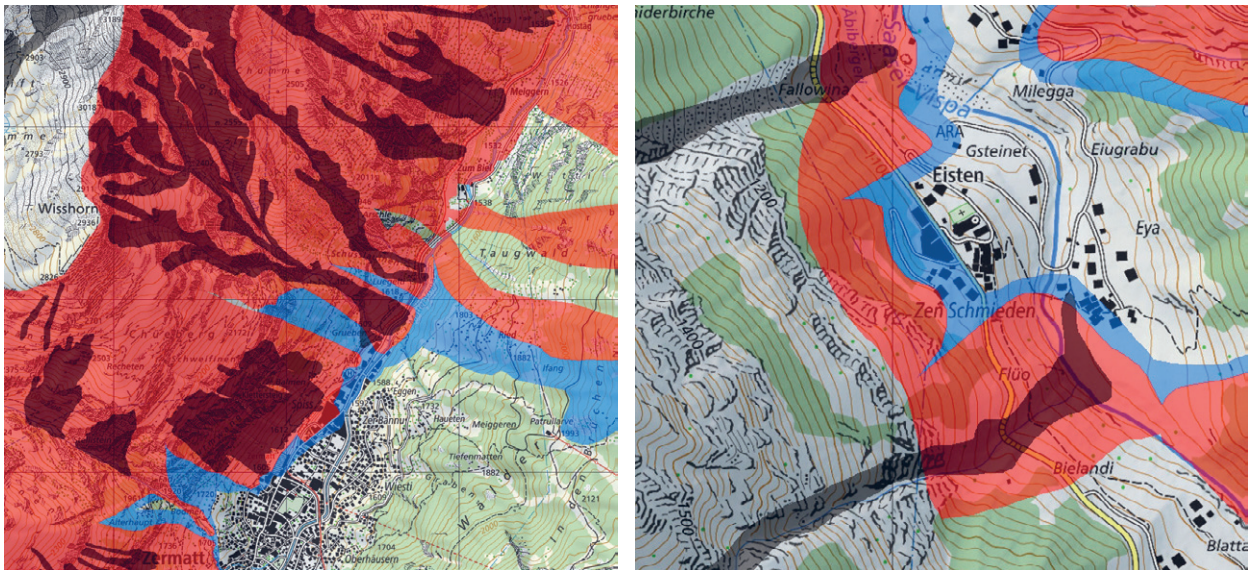


Abb. 138: Lawinengefahrenkarte von Zermatt und Eisten, Wallis, mit den im Januar 2018 aufgetretenen Lawinenabgängen (als schwarze Flächen dargestellt).

4.3 Organisatorische Massnahmen

Organisatorische Massnahmen umfassen temporäre Sperrungen von Verkehrswegen, Hausaufenthalte (Personen dürfen sich nicht im Freien aufhalten), Evakuierungen und die künstliche Lawinenauslösung. Organisatorische Massnahmen sind während Zeiten erhöhter Lawinengefahr äusserst wichtig, um Personenschäden infolge Lawinen möglichst zu vermeiden. Entscheidend sind jeweils der Zeitpunkt und die Dauer einer Sperrung oder Evakuierung. Organisatorische Massnahmen werden lokal von Lawinendiensten veranlasst. Die künstliche Lawinenauslösung wird in vielen Schneesportgebieten (wird nachfolgend nur am Rande behandelt) und zum Teil entlang von Verkehrswegen und oberhalb von besiedeltem Gebiet eingesetzt. Erkenntnisse zu den temporären Massnahmen wurden anhand von Interviews mit neun Lawinendiensten erhoben. Die neun Dienste verteilten sich auf den ganzen Alpenraum auf Regionen, wo die Lawinenaktivität hoch war (Abb. 139 und Tab. 10). Insgesamt wurden 36 Personen befragt.

Im Folgenden werden nicht nur die Massnahmen und Erfahrungen während der Lawinenperiode vom 21. bis 23. Januar 2018 beschrieben, sondern es wird auch auf die Lawinenereignisse Anfang Januar eingegangen. Schon am 4. und 5. Januar 2018 wurde die Lawinengefahr in den

Tab. 10: Regionen, in denen Interviews durchgeführt wurden.

Nr.	Kanton	Region	Lawinendienste
1	VS	Sion-Evolène	Lawinendienste Commune d'Evolène, Commune d'Hérémence Val de Dix, Commune de Conthey
2	VS	Vispertäler/ Lötschental	Lawinendienste Mattertal, Saastal und Lötschental
3	BE	Berner Oberland	Lawinendienste Adelboden, Kandersteg, Lauterbrunnen, Hasliberg
4	UR	Uri	Lawinendienst Tiefbauamt Uri und Lawinenzentrale Andermatt
5	TI	Obere Leventina	Lawinendienst Piotta und kantonale Kommission
6	GR	Obere Surselva	Lawinendienste Tujetsch und Disentis
7	GL	Glarus	Lawinendienste Tiefbauamt Kanton Glarus sowie Glarus Süd
8	GR	Davos	Lawinendienste Gemeinden Bergün, Davos, Klosters, St. Antönien
9	GR	Unterengadin/ Samnaun	Lawinendienste Tiefbauamt Graubünden Bezirk 4 und Samnaun

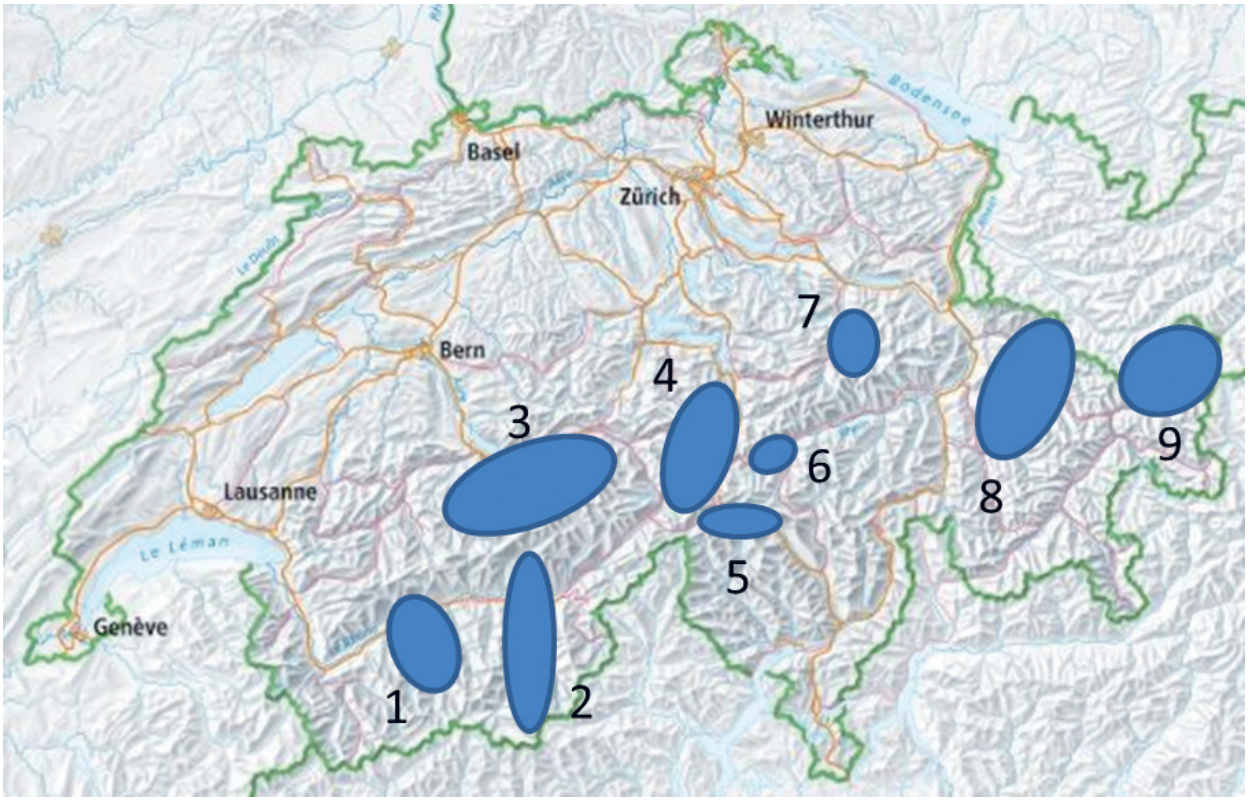


Abb. 139: Übersicht zu den Regionen, in denen Interviews geführt wurden. Die Zahlen 1–9 bezeichnen die Regionen gemäss Tabelle 11.

allermeisten der neun Regionen als «gross», am 9. Januar 2018 für die Region Vispertäler und Simplon sogar als «sehr gross» prognostiziert. Einige der Lawinendienste waren daher bereits Anfang Januar stark gefordert.

Die nachfolgenden Abschnitte beinhalten vorerst die Resultate der Interviews für sieben der neun Dienste. Separat beschrieben werden anschliessend die Erkenntnisse für die beiden Regionen Vispertäler und Lötschental sowie Unterengadin und Samnaun.

4.3.1 Lawinenaktivität und Massnahmen

4.3.1.1 Alle Regionen ausser Vispertäler und Lötschental sowie Unterengadin und Samnaun

Schneefallperiode vom 3. bis 5. Januar 2018

Während dieser Schneefallperiode mussten die Lawinendienste nur wenige Massnahmen wie Strassensperrungen oder Evakuierungen treffen (Tab. 12). Es traten einzelne grosse Lawinen (Grösse 4) auf (Tab. 12). Glücklicherweise stoppten bei Pralong im Val d'Hérémence südlich von Sion (VS) und im Val Russein nördlich von Disentis (GR) zwei Lawinen noch unmittelbar vor bewohnten Maiensässen.

Künstliche Lawinenauslösung

Wie in der folgenden Tabelle 13 ersichtlich, wurden in den verschiedenen Regionen diverse Einsätze der künstlichen Lawinenauslösung durchgeführt. Mit frühzeitigen Einsätzen konnten mittlere bis z.T. grosse Lawinen (Grösse 3 bis 4) ausgelöst werden.

Tab. 12: Lawinenaktivität und Massnahmen in den sieben Regionen während der Schneefallperiode vom 3. bis 5. Januar 2018.

Region	Sperrungen Strassen/Bahn	Evakuierungen	Spontane Lawinen	Besonderes
1 Sion-Evolène	Keine (Strasse nach Arolla: Sperrungen während Sprengeinsätzen)	3. bis 5. Jan.: Maiensäss oberhalb Daillon, Evakuierung der Gebäude in der roten und blauen Zone	30. Dez. 2017: Vallée de la Sionne, spontane Lawine bis Bunker	
		4. Jan.: 6 Personen bei Pralong evakuiert (rote Zone)	4. Jan. etwa 17 h: grosse Lawine (Grösse 4) bei Pralong bis unmittelbar an Gebäude (7 Bewohner)	7 Personen hielten sich in einem unverstärkten Gebäude auf.
3 Berner Oberland	keine	keine	Haslital: viele Lawinen, die oberhalb etwa 2000 m ü. M. ausgelaufen sind.	3. Jan.: starker Föhn; hohe Schneefallgrenze, Regen > 2000 m ü. M.; z. T. sulzstrom-artige Ereignisse
4 Uri	4. Jan. 05:30 h bis 5. Jan. 10:30 h Hospental-Realp gesperrt	keine	4. Jan.: Lawinen bei Bristen, in Schöllenen, Gurtnellerberg; 5. Jan.: Meiental, Göscheneralp (nass)	4./5. Jan.: starker Regen bis etwa 2000 m ü. M.; im Tal z. T. Hangrutschungen
5 Obere Leventina	keine	keine	Lawinenaktivität klein	
6 Obere Surselva	keine	keine	«Val Sogn Placi»-Lawine bei Disentis	Nur ein Teil des Anrissgebietes abgegangen.
			4./5. Jan.: grosse Lawine (Grösse 4) im Val Russein, bis unmittelbar an Maiensässe	Personen waren in den Maiensässen.
7 Glarus	keine (Kantonsstrasse)	keine (Hausaufenthalte in Braunwald)	Mettlenlawine und Guppenrus mittlere Grösse	z. T. Wasser-/Schneegemisch auf Strasse
8 Davos	keine (Kantonsstrasse)	keine	4./5. Jan.: Staublawine Chanaletta, Bergün	Einzelne Nebenstrassen z. T. wegen Sturm Burglind gesperrt.

Tab. 13: Einsätze der künstlichen Lawinenauslösung in den sieben Regionen während der Schneefallperiode vom 3. bis 5. Januar 2018.

Region	Einsätze	Sprengmethoden	Bemerkungen
1 Sion-Evolène	6 Einsätze zur Sicherung der Strasse Les Haudères-Arolla: 30./31. Dez./1./5./9./10. Jan.	Sprengungen vom Helikopter aus in den Gebieten Evolène und Pralong	Keine sehr grossen Lawinen (Grösse 5) ausgelöst; bei Arolla wurde das Portal einer Galerie verschüttet.
3 Berner Oberland	Einsätze in Skigebieten	Gazex, Sprengungen vom Helikopter aus, Handwurfladungen, Sprengseilbahn, Sprenggalgen	Hasliberg: Ende Dezember («Altjahrswoche») viele Lawinen gesprengt, so dass Anrissgebiete «entladen» waren. Adelboden: bis 10. Jan. etliche Lawinen ausgelöst.
4 Uri	Einsätze zur Sicherung der Strasse Hospental-Realp, Böschenlawine	Sprengungen vom Helikopter aus	
5 Obere Leventina	Fiesso: mehrere Einsätze in den Lawinenzügen Vallone del Solco und Tre Capelle	3 Wyssen-Sprengmasten	Infolge schlechter Sicht war Sprengresultat mehrmals nicht bekannt.
6 Obere Surselva	Sprengungen Val Vadretg und Tgom (Sedrun) am 30. Dez./3./4. Jan. (DERAGISCH *et al.* 2018)	3 Wyssen-Sprengmasten	Nur kleine Lawinen ausgelöst.
7 Glarus	Nur Einsätze in Skigebieten		
8 Davos	Davos Frauentobel	4 Wyssen-Sprengmasten, Sprengungen aus dem Helikopter	Auslösung, aber keine Bedeutung für später.
	Klosters Tallawine und westlich Monbiel	6 Wyssen-Sprengmasten, Sprengungen aus dem Helikopter	Zu Winterbeginn diverse Probleme mit Versagern wegen älteren Sicherheitsanzündschnüren.

Schneefallperiode vom 18. bis 23. Januar 2018

Zwischen Sonntag 21. Januar und Dienstag 23. Januar wurden in den sieben Regionen gemäss Tabelle 14 viele Strassen gesperrt. Rund 230 Personen wurden evakuiert. Die Lawinen waren vielerorts kleiner, als es aufgrund der Schneefälle zu erwarten gewesen war, insbesondere stiessen Lawinen nicht bis zu bewohnten Gebäuden im Siedlungsgebiet vor.

In den meisten Regionen stellte sich für die Lawinendienste früh am Sonntagmorgen 21. Januar aufgrund der intensiven nächtlichen Schneefälle die Frage, ob und wann Strassen gesperrt werden sollten. Diese Entscheidung hängt grundsätzlich massgeblich davon ab, wie exponiert die entsprechenden Strassenabschnitte sind. Zum Teil wurde bereits frühmorgens um 6 Uhr gesperrt, vereinzelt während des Tages und oft dann abends ab 20 oder 22 Uhr.

Die Strasse Hospental-Realp (UR) wurde am 21. Januar um 15:30 Uhr gesperrt. Nur wenige Minuten später verschüttete die Spitzegglaui die Strasse grossflächig. Eine Person befand sich noch auf der bereits offiziell gesperrten Strasse und entkam der Lawine nur knapp.

Am 22. Januar gegen 17 Uhr entkam im Dischmatal bei Davos (GR) ein Bauer ebenfalls nur knapp der Brämabüellawine. Der Bauer war auf dem Weg zur Fütterung seines Viehs.

Tab. 14: Sperrungen und Massnahmen in den sieben Regionen während der Schneefallperiode vom 18. bis 23. Januar 2018.

Region	Sperrungen (Strassen/Bahn)		Evakuierungen	Spontane Lawinen
1 Sion-Evolène	Arolla	keine Angaben	22. Jan.: 30 Personen evakuiert, v. a. aus der roten Zone; in Satarma 8 Personen	(v. a. künstlich ausgelöste Lawinen)
	Pralong		21.–23. Jan.: 6 oder 7 Personen evakuiert	Bei Mache wurde die gesperrte Strasse verschüttet.
	Conthey		Ab 21. Jan., 21 Uhr, rund 100 Personen oberhalb Daillon aus Maiensässen evakuiert.	24. Jan.: Lawine La Mapas, kein Schaden; eine weitere Lawine bis Nähe Chalet
3 Berner Oberland	Adelboden	Sperrungen Kantonsstrassen: 21. Jan., 20 Uhr, Innertkirchen-Guttannen, Fuhren-Gadmen; 21. Jan. nachts, Gsteig-Les Diablerets; 22. Jan. frühmorgens Brienz-Interlaken (Bereich Oberried)	Evakuierung für versch. Gebiete angeordnet; Bewohner hatten z. T. Gebäude bereits verlassen.	22. Jan., 4 Uhr: grosser Abgang (Grösse 4) Gsür (ganzer Kessel), nicht bis auf Strasse
	Kandersteg		21. Jan., abends: 30 Personen eines Klosters am Siedlungsrand von Kandersteg evakuiert (bis 24. Jan.)	grosse, gesprengte Lawine (Grösse 4) durchbricht Eisdecke des Öschinensees
	Lauterbrunnen		22. Jan.: Schulhaus geschlossen; Hausaufenthalt für mehrere Gebäude angeordnet	
	Hasliberg		21. Jan.: 64 Personen aus Alphütten evakuiert (bis 23. Jan.)	
4 Uri	Diverse Kantonsstrassen gesperrt: Wassen–Meien (20. Jan., 19 Uhr bis 25. Jan. 10 Uhr: 111 Std.) Linthal–Urnerboden 21. Jan., ab 6 Uhr Hospental–Realp (21. Jan., 15:30 Uhr bis 24. Jan., 18 Uhr; MGB bereits ab 15.00 Uhr) Gurtnellen–Wassen 21. Jan., ab 18 Uhr Göschenen–Hospental 21. Jan., 22 Uhr (Andermatt komplett abgeschnitten) MGB über Oberalppass 16. bis 24. Januar gesperrt (ganzer Winter 25 Tage)		Bristen: Hausaufenthalte für Häuser ausserhalb des Dorfkerns	u. a. 21. Jan., 15:30 Uhr: Spitzegglaui vor Realp als grosse Lawine auf die kurz zuvor gesperrte Strasse 21. Jan., 17 Uhr: Arnitallaui im Meiental als grosse Lawine auf die gesperrte Strasse 21./22. Jan., nachts: Geissberglaui Gurtnellerberg bis nahe an Gebäude 22. Jan., 6 Uhr: Fellilawine am Oberalp (6 Fahrleitungsmasten der MGB betroffen) 22. Jan, 16:40 Uhr: Wilerplanggen auf gesperrte Kantonsstrasse Besonderes: am 22. Jan. in tieferen Lagen Hangrutschungen und Murgänge

Region	Sperrungen (Strassen/Bahn)		Evakuierungen	Spontane Lawinen
5 Obere Leventina	Quinto	Keine	keine	23. Jan.: mittlere Lawine Pizzo Pettine
	Bedretto	Sperrung Talstrasse im Bedretto		23. Jan.: Vallone di Ronco auf Strasse
	Blenio	Sperrung Strasse Olivone–Campo Blenio		Grosse Lawine (Grösse 4) nördl. von Campo Blenio
6 Obere Surselva	Kantonsstrasse Sumvitg–Disentis 21. Jan, abends gesperrt, RhB gesperrt 21. Jan., 22 Uhr; Strassen bei Sedrun gesperrt		Disentis Caprau: ein Haus in roter Zone: 3 Personen widersetzten sich der Evakuierung	21. Jan., 10 Uhr: Staublawine Rodunda bis nahe an Haus oberhalb Sedrun 22. Jan.: Sedrun Pulanera und Alp Culmatsch (kleiner als erwartet) 22. Jan., 19:30 Uhr: Disentis Val Sogn Placi (nicht bis Strasse), auch Lumpegna, Val Clavaniev
7 Glarus	21. Jan., 22 Uhr div. Abschnitte der Kantonsstrassen gesperrt		Hausaufenthalte bei Elm	20./21. Jan., nachts: Mettlen- und Guppenlaui; dann erneut und grösser am 22. Jan. 22. Jan.: Elm Vordere und hintere Schosslawine keine Strassenverschüttungen
8 Davos	Bergün	21. Jan., 6 Uhr Sperrung lokaler Strassen	keine	keine Schadenlawinen
	Davos	21. Jan., 6 Uhr: Sperrung der Strasse und Loipen in die Seitentäler Flüela, Dischma und Sertig.	21. Jan., 20 Uhr: Hausaufenthalte für oberste Gebäude Alberti	22. Jan.: grosse Lawinen (Grösse 4) Brämabüel, im Dischma, Bedratobel, Guggerbach
	Klosters	21. Jan., 13 Uhr: Sperrung der Strasse nach Monbiel	Einige Bewohner exponierter Gebäude selbst ausgezogen.	22./23. Jan. mehrere grosse Lawinen (Grösse 4) östl. von Klosters
	St. Antönien	21. Jan., 7:30 Uhr: Sperrung lokaler Strassen	Hausaufenthalt	Mehrere Lawinen bis in die Nähe von bewohnten Häusern

Im Bedrettotal wurde auf der vom Tiefbauamt gesperrten Talstrasse ein Fahrzeug von einer relativ kleinen Lawine erfasst und blockiert. Die Insassen kamen nicht zu Schaden. Es handelte sich um evakuierte Personen, die noch stark verspätet das Tal verliessen. Die Personen und das Fahrzeug mussten vom Tiefbauamt aus der Gefahrenzone evakuiert werden.

Künstliche Lawinenauslösung

Wie in der folgenden Tabelle 15 ersichtlich, wurden in den verschiedenen Regionen diverse Einsätze der künstlichen Lawinenauslösung durchgeführt. Die ausgelösten Lawinen führten zu kleineren Schäden.

Am 23. Januar durchgeführte Sprengungen vom Helikopter aus verliefen zum Teil negativ (keine Auslösungen). Im Gebiet der Fründenhütte oberhalb des Öschinensees, Kandersteg (BE), verlief eine Sprengaktion am 23. Januar negativ; am 25. Januar brach dort dann spontan eine grosse Lawine (Grösse 4) an.

Im Vallone del Solco bei Fiesso (TI) wurden die Sprengeinsätze als sehr wertvoll beurteilt. Ohne die durchgeführten Sprengungen hätte es unter Umständen im Frühling 2018 ein ähnliches Problem geben können wie 2014, als die Gefahr für sehr grosse Nassschneelawinen (Grösse 5) bestand, welche die SBB-Linie gefährdeten.

Tab. 15: Einsätze der künstlichen Lawinenauslösung in den sieben Regionen während der Schneefallperiode vom 18. bis 23. Januar 2018.

Region	Einsätze	Sprengmethoden	Bemerkungen
1 Sion-Evolène	4 Einsätze zur Sicherung der Strasse Les Haudères-Arolla: 17./19./23./24. Jan.	Sprengungen vom Helikopter aus in den Gebieten Evolène und Pralong	Arolla: Lawinen nicht grösser als Anfang Januar; kleine Waldschäden
3 Berner Oberland	Einsätze in Skigebieten	Gazex, Sprengungen vom Helikopter aus, Handwurfladungen, Sprengseilbahn, Sprenggalgen, Wyssen-Sprengmasten	Hasliberg, Mägisalp: Lawinen bis nahe an Alphütten; Adelboden: Materialverlust wie Wegweiser, Pistenmarkierungen
4 Uri	Einsätze nur für Sicherung der Strasse Hospental-Realp, Böschenlawine	Sprengungen vom Helikopter aus	23. Jan.: Böschen: negativ (keine Auslösung)
5 Obere Leventina	Fiesso: 11 Einsätze im Vallone del Solco und Tre Capelle (bis 23. Jan.)	3 Wyssen-Sprengmasten	Grosse Lawinen (Grösse 4) ausgelöst, Lawinenablagerung bis 10 m hoch; positives Fazit
6 Obere Surselva	Sedrun: Lawine Val Vadretg und Tgom 17./21. Jan.	3 Wyssen-Sprengmasten	21. Jan. Law. im Val Vallatscha evtl. bis in den Rhein (keine Sicht)
7 Glarus	Nur Einsätze in Skigebieten		
8 Davos	Davos Frauentobel, diverse weitere Lawinenzüge	4 Wyssen-Sprengmasten und Einsätze vom Helikopter aus	Frauentobel und Salezertobel: Lawinen ausgelöst, Hüreli-Drusatscha: keine Auslösung
	Klosters Tallawine und westlich Monbiel	6 Wyssen-Sprengmasten und Einsätze vom Helikopter aus	

4.3.1.2 Vispertäler und Lötschental

Schneefallperiode vom 3. bis 10. Januar 2018

Mattertal

Im Mattertal gingen während der ersten Schneefallperiode zum Teil grössere Lawinen nieder als später um den 22. Januar. Am 3./4. Januar wurden im Schafgraben eingangs Zermatt Steinschlagnetze, die zum Schutze der «Matterhorn Gotthard Bahn» (MGB) errichtet worden waren, beschädigt (Abb. 136) – gegen Ende der Niederschlagsperiode hatte es weit hinauf geregnet. Am 4. Januar kurz nach 14 Uhr floss die Luegeltilawine nördlich Zermatt spontan als gemischte Lawine über die gesperrte Strasse Täsch–Zermatt (Staubanteil sowie feuchte Lawine). Eine Person entkam dieser Lawine auf der eingeschneiten, gesperrten Strasse nur knapp, wie von einer Überwachungskamera festgehalten (https://www.youtube.com/watch?v=2PT51Aqos6w). Am 8. Januar wurde die 37-jährige Talstation des Skilifts Chumme von einer grossen Lawine (Grösse 4) zerstört. Ebenfalls um den 8. Januar wurden auf der Täschalp zwei Ställe zerstört. In tieferen Lagen kam es zu Steinschlag und Murgängen (Abb. 142).

Zermatt war von Täsch aus vom 8. Januar, 17 Uhr, bis am 10. Januar, 17:15 Uhr, weder über die Strasse noch mit der «Matterhorn Gotthard Bahn» erreichbar. In Zermatt wurden am 8. Januar 70 Personen aus Gebäuden in der roten Zone evakuiert; in Täsch Personen aus 2 Wohnhäusern wie auch in St. Niklaus. Die Luegeltilawine eingangs Zermatt ging grossflächig nieder (Abb. 140).

Die grossen bis sehr grossen Lawinen (Grösse 4 bis 5) im Mattertal mit hohen Ablagerungen hatten einen grossen Einfluss auf den Auslauf späterer Lawinen. Die Blattbachlawine südlich von St. Niklaus stoppte beim ersten Abgang kurz oberhalb der Galerie. Bereits am 8. Januar verschüttete eine zweite Lawine die Geleise meterhoch und beschädigte die Fahrleitung (Abb. 141).

Als Folge der grossen Lawinenablagerungen wurde am 15. Januar mit Arbeiten an vier Ablenkdämmen aus Schnee begonnen. Bei St. Niklaus betraf dies den Sparruzug, Spisszug und die Blattbachlawine (Abb. 130).



Abb. 140: Mächtige Lawinenablagerungen auf der Strasse Täsch–Zermatt (VS) im Lawinenzug Luegelbach. Räumung mit Bagger und Pneulader, auch nachts (Foto: P. Steffen, 10.01.2018).



Abb. 141: Blattbachlawine bei St. Niklaus (VS) (Foto: B. Jelk, 10.01.2018).



Abb. 142: Steinschlag am 9. Januar 2018 bei Kalpetran, zusätzlich zu Lawinen in den Vispertälern (VS; Foto: W. Gitz, 10.01.2018).

Saastal
Eine sehr grosse Lawine (Grösse 5) ereignete sich bei Eisten entlang des Baches gegen Eia. Bei Saas-Almagell gab es Waldschäden an 100- bis 300-jährigen Bäumen. Im Saastal wurden keine Evakuierungen durchgeführt. Die automatische Station Mälliga verzeichnete am 9. Januar morgens 95 cm Neuschnee; am 8. Januar 48 cm.

Lötschental
Im Lötschental war die Situation etwas weniger gravierend. Spontane Lawinen traten an den südlich gelegenen Nordhängen auf. Im Weiler Weissenried oberhalb Blatten, der nicht dauernd bewohnt ist, war eine Evakuierung angedacht; die Betroffenen weigerten sich aber, ihre Häuser zu verlassen, so dass schliesslich nur Hausaufenthalte verfügt wurden.

Schneefallperiode vom 16. bis 23. Januar 2018
Mattertal
Die Luegelti- und Schusslaui unmittelbar nördlich von Zermatt verschütteten die Strasse meterhoch und erneut grossflächig. Für die Öffnung der Strasse wurde mit zwei Pistenfahrzeugen Schnee weggeschoben. Die Luegelbachlawine zerstörte im Bereich des Heliports Zermatt etwa 60-jährige Bäume und verschüttete das Südportal der Galerie der MGB; diese Lawine war künstlich ausgelöst worden. Die Luegelbachlawine verschüttete auch das Rohr, durch das die Mattervispa bei einem Rückstau abfliessen sollte. Ein Bagger wurde eingesetzt, damit das Wasser wieder durch das Rohr abfliessen konnte.



Abb. 143: Am 22. Januar abends fiel ein 10 Tonnen Felsblock bei Mattsand (VS) auf die Geleise der MGB (Foto: W. Gitz, 23.01.2018).

Um den 22. Januar ging die Blattbachlawine bei St. Niklaus drei Mal gross bis ins Tal nieder.

Zudem verschüttete am 22. Januar um etwa 22 Uhr ein grosser Felsblock bei Mattsand die Geleise und verhinderte die geplante Öffnung der MGB-Linie Täsch–Visp am 23. Januar (Abb. 143).

Zermatt war während fast fünf Tagen, vom 19. Januar 22 Uhr bis am 24. Januar 17 Uhr, weder mit der MGB noch über die Strasse erreichbar.

In Zermatt wurden während der Periode mit «sehr grosser» Lawinengefahr ab dem 21. Januar 70 Personen aus Gebäuden in der roten Gefahrenzone evakuiert. In Täsch wie auch in St. Niklaus wurden Personen aus zwei Wohnhäusern evakuiert.

Im Mattertal wurde vor allem am 15. und 16. Januar sowie nach dem 24. Januar mit dem Errichten von Dämmen aus den Lawinenablagerungen begonnen, dies zum Schutz der MGB-Linie. Vier grosse Dämme waren bei St. Niklaus im Sparruzug, Spisszug, bei Blattbach und vor Zermatt beim Luegeltibach nach dem 6. Februar vorhanden (Abb. 130). Die vorsorglich erstellten Dämme mussten im weiteren Verlauf des Winters ihre Funktionstüchtigkeit dann nicht unter Beweis stellen.

Saastal

Im Saastal ereigneten sich um den 22. Januar keine aussergewöhnlich grossen spontanen Lawinen.

Die Strasse wurde am Sonntag 21. Januar gesperrt. Bei Eisten wurden die Bewohner eines Gebäudes in blauer Gefahrenzone vom 21. bis 23. Januar evakuiert.

Am 24. Januar frühmorgens wurde die Falllawine bei Saas-Fee mittels Sprengung aus dem Helikopter künstlich ausgelöst. Die Lawine entwickelte sich zu einer grossen Staublawine (Grösse 4), deren Staubanteil bis ins Zentrum von Saas-Fee vorstiess (Abb. 144).

Lötschental

In Goppenstein stürzte bereits am Sonntag, 21. Januar gegen 4 Uhr eine grosse Lawine (Grösse 4) ins Tal (es hatte rund 400 m höher hinaufgeregnet als prognostiziert). Die Talstrasse wurde daraufhin um 5 Uhr gesperrt. Auch der Werkhof der Bahn bei Goppenstein wurde als gefährdet beurteilt und gesperrt.

Bei Ried wurden 8 Personen aus einem Wohnhaus in der blauen Gefahrenzone evakuiert.



Abb. 144: Saas-Fee (VS), Falllawine: künstlich ausgelöste Staublawine am 24. Januar 2018 um 8:30 Uhr (Fotos aus Youtube-Video von Diego Imboden).

Die Dornbachlawine bei Ferden ist innerhalb einer Stunde drei Mal in den Stausee geflossen. Die Feuerwehr sperrte gefährdetes Gebiet im Siedlungsgebiet von Ferden ab. Dabei konnte ein Feuerwehrmann gerade noch einen Bauer anhalten, der auf der anderen Seite der Sturzbahn seine Schafe füttern wollte, bevor sich ein Abgang ereignete.

Am 23. Januar löste sich am Tennbachhorn mit der 5. Sprengladung eine sehr grosse Lawine (Grösse 5), die bei Ried den Talboden erreichte (Kap. 4.3.6). Die Auslösung erfolgte relativ weit unten im Anrissgebiet, worauf sich der Anriss schliesslich bis weit nach oben fortpflanzte. Der nach dem Lawinenwinter 1999 auf 2200 m ü. M. erstellte Ablenkdamm zum Schutz der darunterliegenden Lawinenverbauung Ried wirkte sehr gut (Kap. 4.1.3).

4.3.1.3 Unterengadin und Samnaun

Schneefallperiode vom 3. bis 5. Januar 2018

In der Region Samnaun war am 4./5. Januar die spontane Lawinenaktivität gross, dies zum Teil mit Abgängen aus 30–35° geneigten Anrissgebieten. Die «Val da Mot»-Lawine verschüttete am 4. Januar etwa um 17 Uhr die rund zwei Stunden vorher gesperrte Zufahrt nach Samnaun bis 9 m hoch (Erwärmung nach Grossschneefall, Regen im Tal). Die Ablagerungen waren sonst im Allgemeinen eher klein, so dass für spätere Schneefallperioden keine bedeutenden Ablenkungen von Lawinen zu erwarten waren. Etliche Lawinen, insbesondere viele der künstlich ausgelösten, waren als Staublawinen abgegangen. Samnaun war vom 4. Januar 15 Uhr für 29 Stunden komplett abgeschnitten und nicht erreichbar. Evakuierungen im Siedlungsbereich wurden keine durchgeführt. Im Unterengadin gingen zudem etliche weitere Lawinen nieder (z.T. künstlich ausgelöst).

Diese Abgänge wurden von den Verantwortlichen der Lawinendienste für den weiteren Verlauf des Winters als äusserst wichtig beurteilt, da der aufgebaute Altschnee zum Teil mitgerissen wurde. Die Erwärmung mit Regen gegen das Ende der Schneefälle dürfte zur hohen Lawinenaktivität beigetragen haben. Durch den orkanartigen Sturm kam es zu untypisch weiten Schneeverfrachtungen, so dass kammnah oft nur wenig Schnee lag.

Künstliche Lawinenauslösung
Die in der Region durchgeführten Einsätze der künstlichen Lawinenauslösung wurden als sehr wichtig angesehen. In Samnaun ist eine grosse Zahl an Wyssen-Sprengmasten installiert. Die Lawine Munschuns Süd wurde mittels Sprengmasten am 4./5. Januar ausgelöst, wobei der Fliessanteil bis in den Schergenbach vorstiess und der Staubanteil die gesperrte Kantonsstrasse am Gegenhang erreichte. Ein derart grosses Lawinenausmass war seit 1999 nicht mehr aufgetreten (wobei die Lawine seit dem Jahr 2000 häufig ausgelöst wurde).

In der Region Samnaun waren die am 4./5. Januar künstlich ausgelösten Lawinen grösser als jene um den 22. Januar. Ein Grund für das grössere Ausmass dürfte der mitgerissene, aufgebaute Altschnee gewesen sein.

Schneefallperiode vom 16. bis 23. Januar 2018
Am Sonntag 21. Januar wurden zwischen Mitternacht und 3 Uhr morgens im Anrissgebiet der Gondalawine bei Lavin fünf spontane Entladungen detektiert.

Am 21. Januar etwa um 5 Uhr morgens erreichte eine Lawine aus einem rund 30 m hohen Hang ein im Hang stehendes Wohnhaus bei Samnaun-Compatsch, und im Quartier Champlad (Samnaun Laret) stiess eine Lawine aus einem 120 m hohen Hang bis zu einem Wohnhaus vor (kleinere Gebäudeschäden, Kap. 3.3.10).

Am Montag 22. Januar war die spontane Lawinenaktivität in der Region gross, unter anderem ging etwa um 11 Uhr bei Brail, Tantervals, eine Lawine nieder und erreichte knapp die gesperrte Kantonsstrasse Brail-Zernez. Am Nachmittag einsetzender Regen verschärfte die Lawinensituation. In der Region Zernez rissen mehrere Lawinen gross an. In der Nacht auf den 23. Januar löste sich die «Val da Barcli»-Lawine, ging als Staublawine nieder und zerstörte einen Hochspannungsmast (Kap. 3.3.3).

Etliche Kantonsstrassen wurden am Sonntag 21. Januar um 2 Uhr morgens gesperrt (Zufahrt nach Samnaun, inkl. Martina–Landesgrenze), Zernez–Brail und Zernez–Tschierv (Ofenpass). Samnaun war vom 21. Januar um 2 Uhr bis am 23. Januar 17 Uhr von der Umwelt abgeschnitten.

Personen aus den westlichsten Gebäuden von Brail (rote Zone) wurden am Sonntag um 15 Uhr für zwei Tage evakuiert. In Vnà wurden am 22. Januar um 19 Uhr Personen der westlichsten Gebäude evakuiert (blaue Zone, mehrheitlich nicht verstärkt gebaut). Hausaufenthalte wurden wie folgt verfügt: Sent, Hotel Val Sinestra; Martina, Gebäude bei Ovella und Vinadi; Samnaun-Laret, Gebäude bei Champlad.

Künstliche Lawinenauslösung
Mehrere grössere Lawinen wurden ausgelöst, unter anderem mittels Sprengung aus dem Helikopter, so am Dienstag 23. Januar die Lawinen Tantervals bei Brail und Laschadura am Ofenpass (welche eine ähnliche Grösse erreichte wie am 4. Januar) sowie Val Chastè bei Vinadi. Mit einem Einsatz der Wyssen-Sprengmasten wurde am 22. Januar abends die Motnaidalawine zwischen Ravaisch und Samnaun Dorf gross ausgelöst und die gesperrte Kantonsstrasse verschüttet (Kap. 4.3.5.4).

4.3.1.4 Bemerkungen zur Aufhebung der Massnahmen

Das Aufheben der Massnahmen gestaltete sich Anfang Januar und am 23. Januar eher einfach, da die starke Erwärmung zur raschen Stabilisierung der Schneedecke beitrug. Zudem ergaben Einsätze der künstlichen Auslösung oft keine Abgänge.

Vielfach war die Schneeräumung aufwendig, insbesondere dort, wo Verkehrswege von Lawinenablagerungen befreit werden mussten. Bei der Samnaunerstrasse mussten grössere Lawinenablagerungen gar aus den alten Tunnels gebaggert werden (die Tunnels weisen z. T. kleinere talseitige Öffnungen auf).

Die vorhandenen, zum Teil sehr grossen Lawinenablagerungen ergaben vor allem im Mattertal grössere Probleme, da erwartet werden musste, dass mögliche später auftretende Lawinen unerwünschte Fliessrichtungen einschlagen konnten.

4.3.1.5 Übersicht über weitere aufgetretene Lawinen

Nachfolgend werden einige weitere interessante Lawinenabgänge beschrieben, die während der Interviews genannt wurden:

Uri:
- 28. Januar 2018, Meiental: Um 6 Uhr morgens fuhr ein Pikettmann des Tiefbauamtes zuhinterst ins Meiental zur Kontrolle. Auf der Rückfahrt stellte er fest, dass in der Zwischenzeit eine grosse Gleitschneelawine (Grösse 4) die Strasse bei Färnigen verschüttet hatte. Daraufhin musste eine grossangelegte Suche durchgeführt werden. Zum Glück kam niemand zu Schaden.
- 21. April 2018, 16 Uhr, Urserental: Eine künstlich ausgelöste, sehr grosse Lawine (Grösse 5) verschüttet die Strasse Hospental–Realp «In den Böschen» auf mehr als 500 m Länge.
- 20. Mai 2018, Klausenpass: eine Lawine reisst ein Fahrzeug mit und erfasst ein Fahrzeug (glücklicherweise keine Personenschäden); zudem ereigneten sich noch zwei Ereignisse mit Steinen, die fahrende Fahrzeuge trafen.

Zermatt (VS):
- 15. Februar 2018: Eine Lawine fliesst über eine vorhandene Lawinenablagerung in eine Galerie der MGB; die Strecke Täsch–Zermatt bleibt für fünf Stunden gesperrt.
- Zwischen 31. März und 19. April 2018: viele Sperrungen der Strasse Täsch–Zermatt; einmal 39 Std., 15 Mal Sperrung nachmittags, oft 13–20 Uhr).

Graubünden:
- 18. Februar 2018, St. Antönien: Nassschneelawine bis zu einem allein stehenden Bauernhof; die Lawine stand meterhoch unmittelbar seitlich des Wohnhauses.
- 31. März 2018, obere Surselva: Während einer Südstaulage sehr grosse, künstlich ausgelöste Lawinen (Grösse 5) bei Sedrun im Val Vadretg (Anrissbreite rund 1 km, Auslauf im Rhein) und auf der Nordseite des Lukmanierpasses. Grössere Lawinen als im Januar 2018.

4.3.2 Grundlagen für die Arbeit der Lawinendienste

4.3.2.1 Lawinenbulletin

Das Bulletin wird als gutes Produkt betrachtet; insbesondere die detaillierten Informationen im Teil «Schneedecke und Wetter» werden geschätzt.

Die Lawinendienste haben bemerkt, dass das SLF die Gefahrenstufe 4 (gross) häufiger als bisher prognostizierte, wie dies das SLF im Zuge einer einheitlicheren Verwendung der Gefahrenstufen durch die europäischen Lawinendienste Anfang Winter 2017/18 angekündigt hatte. Für Gemeindelawinendienste kann das problematisch sein, da die Bevölkerung bei «grosser» Lawinengefahr teilweise erste Massnahmen erwartet.

Wenn im Lawinenbulletin die Gefahrenstufe 5 (sehr gross) prognostiziert wird, sind in der Regel umfangreiche Sperrmassnahmen angezeigt. In verschiedenen der neun Regionen wurde die Gefahr bei prognostizierter Gefahrenstufe 5 (sehr gross) lokal als Stufe 4 (gross) eingeschätzt.

Für die Begründung von Massnahmen ist jeweils die lokale Einschätzung entscheidend. Die Gefahrenstufe 5 (sehr gross) wird im Sinne der Abschreckung als gut beurteilt, da dann Bewohner und Gäste eher in den Dorfzentren bleiben würden. Allerdings sei zu beachten, dass es keine zusätzliche (extreme) Gefahrenstufe gäbe und deshalb auf jeden Fall Zurückhaltung bei der Verwendung der Gefahrenstufe 5 (sehr gross) angebracht sei.

Aufgrund der Rückmeldungen drängt sich beim Lawinenbulletin kein Handlungsbedarf auf.

4.3.2.2 Daten automatischer Stationen und eigene Beobachtungen

Die automatischen Stationen funktionierten gut. Die Daten der automatischen Stationen werden als äusserst hilfreich angesehen.

Besonderes zu einzelnen Stationen:

- Mattertal, Station Stelligletscher: Schneestation am 22. Januar um 12:30 Uhr durch eine grosse Lawine (Grösse 4) zerstört
- Zermatt, Station Triftchumme: plötzlicher Schneehöhenzuwachs um 60 cm infolge einer Lawine am 4. Januar
- Zermatt, Station Schwarzsee: grosse Änderungen der Schneehöhe infolge Windeinfluss
- Saastal, Station Seetal: im Januar wiederholte Ausfälle der Schneehöhenmessung; während diesen Ausfällen keine Neuschneedaten, wobei das Modell SNOWPACK die Daten dann im Nachhinein gerechnet hat.
- Berner Oberland, Station Albrist: z.T. keine Winddaten
- Uri, Station Rienzenstock: von Mitte Dezember bis Mitte Februar nicht in Betrieb
- Obere Leventina (TI), Windstationen Lucendro und Tremorgio: um den 14. Januar Ausfälle wegen Vereisung; das Eis musste vor Ort entfernt werden.
- Surselva (GR), Station Lumpegna: mehrmals Ausfälle, z. T. vereist
- Glarus, Windstationen Ruchi und Schwandergrat: mehrmals Ausfälle wegen Vereisung

Die Beurteilung anhand von Beobachtungen im Gelände wird als sehr wichtig angesehen. Auch Rekoflüge werden als wertvoll und notwendig angesehen.

Als wichtig wurde erwähnt, dass die Daten der automatischen Stationen und zum Beispiel auch das Niederschlagsradar auf einfache Weise auf dem Smartphone betrachtet werden können. Die Dichte des Messnetzes wurde nicht thematisiert.

Bezüglich der Betrachtung der Daten auf Smartphones besteht Handlungsbedarf (Kap. 4.3.2.4), wobei die Daten jetzt schon zum Beispiel über die App White Risk betrachtet werden können.

4.3.2.3 Vorinformation / Vorwarnung und Wettervorhersagen

Die Vorinformation Starkschneefälle und die Vorwarnung Schnee und Lawinengefahr werden allgemein als hilfreich angesehen («Weckruf») und sollten weitergeführt werden. Die Information über ein SMS wird geschätzt.

Die Prognose der Neuschneemenge wird nach wie vor als bedingt zuverlässig beurteilt. Der Alpenwetterbericht wird als zusätzliche Information geschätzt.

Aufgrund der Rückmeldungen besteht kein direkter Handlungsbedarf.

4.3.2.4 GIN, IFKIS-EVAL und IFKIS-MIS

Die Nutzung von GIN wird von vielen Mitarbeitenden von Lawinendiensten nach wie vor als kompliziert beurteilt. Mit den eingerichteten Dossiers kann zwar zielorientierter gearbeitet werden, aber viele Dienste vermissen die einfache und sehr übersichtlichen IFKIS-Darstellung, unter anderem der Daten der automatischen Stationen. Die Neuschneeprognosen (MeteoSchweiz: Tabelle, Schweizer Karte) werden geschätzt. Eine mobile Version von GIN wird vermisst. Als Nachteil wurde erwähnt, dass keine Lawinenmeldungen mehr vorhanden seien.

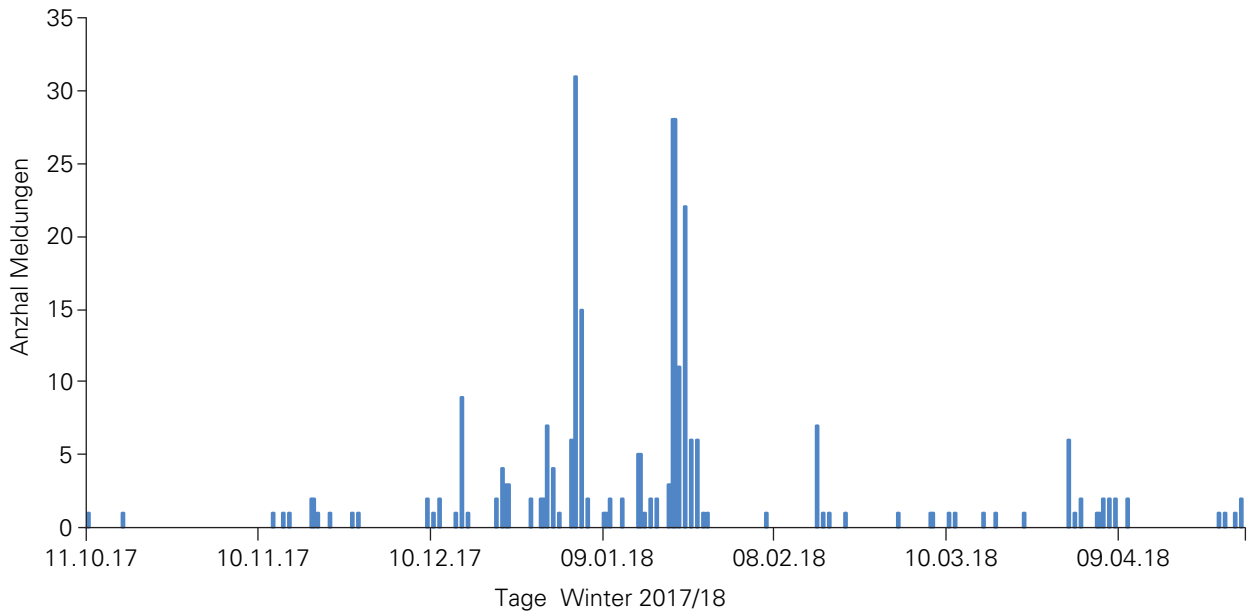


Abb. 145: Anzahl IFKIS-MIS-Meldungen pro Tag im Winter 2017/18.

Die allermeisten Lawinendienste benutzen die App White Risk oder die Webseite des SLF, um die Messwerte der automatischen Stationen oder der Beobachterstationen abzufragen.

Das Dokumentationstool IKFIS-EVAL wird weiterhin verwendet, wobei die Tabelle der eingelesenen Daten (Schneehöhen, Wind, Temperatur) als hilfreich angesehen wird. Wichtig seien insbesondere auch die Differenzen zum Vortag, was in der EVAL-Tabelle auf einen Blick ersichtlich ist.

In der Oberen Surselva und im Kanton Glarus wird das Massnahmeninformationssystem IFKIS-MIS stark genutzt; insgesamt ist IFKIS-MIS in 7 Regionen eingerichtet. Im Winter 2017/18 wurde mit 240 Meldungen die höchste Zahl der letzten 12 Jahre verzeichnet (vor Winter 2012/13 mit 196 Meldungen). Schaut man die Verteilung der IFKIS-MIS Meldungen im Winter 2017/18 an, so heben sich vor allem die Tage um den 4. und 22. Januar hervor (Abb. 145).

Die Rückmeldungen zeigen, dass es ein Bedürfnis ist, die wichtigsten Daten auf dem Smartphone anzuschauen. GIN bietet diese Möglichkeit im Moment nicht, für eine vereinfachte GIN-Mobile-Lösung besteht also durchaus Nachfrage. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass hinsichtlich der Verfügbarkeit von Daten und Tools zur Beurteilung und Dokumentation auf mobilen Endgeräten Handlungsbedarf besteht.

4.3.3 Organisation der Lawinendienste

4.3.3.1 Änderungen in der Organisation im Vergleich zu 1999

Wichtige Grundlagen sind seit 2007 in der «Praxishilfe Arbeit im Lawinendienst» (STOFFEL und SCHWEIZER 2007) enthalten.

In der Regel sind heutzutage 2 bis 3 Personen für die Beurteilung der lokalen Lawinensituation zuständig. Grössere regionale Lawinendienste (wie z. B. LWD Mattertal) haben noch zusätzliche Beobachter (in den Dörfern) zur Unterstützung des Kernteams. Im Falle des Saas- und Lötschentals existiert ein regionaler Führungsstab. Als wichtig wird angesehen, dass Stellvertreter bezeichnet sind. Journale werden von vielen geführt und als sehr wichtig angesehen.

Viele Gemeinden waren auf das Umsetzen von Massnahmen vorbereitet, nicht zuletzt, weil der Gemeindeführungsstab auch im Sommer immer wieder aktiv ist. Falls ein Gemeindeführungsstab selten aktiv ist, fehlt allerdings meist die Erfahrung für die Bewältigung von Ereignis-

sen. Es gab Gemeinden, die zwar ein Kernteam für die Beurteilung der lokalen Situation hatten, die dann aber nicht auf die Umsetzung von Massnahmen vorbereitet waren, da die Abläufe nicht definiert waren und keine Notfallplanungen, Interventionskarten oder Sicherheitskonzepte existierten.

Der Kanton Uri hat die spezielle Situation mit den Lawinenzentralen Andermatt und Urnerboden. Die Zentrale Andermatt basiert stark auf Leistungen der Armee.

Im Kanton Tessin wurde der kantonale Lawinendienst per 1. Januar 2018 neu organisiert. Beteiligt sind die kantonale Fachstelle, Gemeinden, das Tiefbauamt und MeteoSvizzera. Es ist geplant, dass die kantonale Fachstelle, basierend auf dem neuen kantonalen Naturgefahrengesetz, weitere Grundlagen für Lawinendienste erarbeitet, mit dem Ziel, dass alle Gemeinden ähnlich organisiert sind.

Der kantonale Lawinendienst Glarus wurde in den letzten Jahren neu organisiert.

Im LWD Glarus Süd gibt es einen permanenten Pikettdienst. Sobald im Lawinenbulletin die Gefahrenstufe 3 (erheblich) prognostiziert wird, wird die Lawinensituation verfolgt.

Der Austausch zwischen benachbarten Lawinendiensten erfolgt nach wie vor mittels Telefon. Dies wird als wichtig und als beste Lösung erachtet.

Als Herausforderung in der Zukunft wird die Rekrutierung von Mitgliedern für Neubesetzungen angesehen. Es dürfte in Zukunft eher schwieriger werden, neue Mitglieder zu gewinnen. Wichtig ist, dass der Lawinendienst als Team funktioniert.

Im Vergleich zu 1999 kann in Bezug auf die Organisation der Lawinendienste festgehalten werden:

– Für die Beurteilung der lokalen Lawinensituation ist heute meist ein Team von 2 bis 3 Personen zuständig, früher war es zum Teil nur eine Person. Auch die Absprachen zwischen Gemeinden, Tiefbauämtern und Bahnbetreibern ist heute weitgehend geregelt; dies war im 1999 zum Teil noch nicht der Fall.
– Es ist Erfahrung mit der Interpretation der Daten automatischer Stationen vorhanden. Neuschneeprognosen sind zeitlich höher aufgelöst, wobei es auch in der Zukunft Abweichungen zur Prognose geben wird.
– Absperr- und Evakuierungspläne sind meist vorhanden. Als wichtige Grundlage wird auch ein Plan mit allen Strassennamen und Hausnummern angesehen.
– Die interne Kommunikation wird zum Teil über WhatsApp-Gruppen organisiert. Vereinzelt werden auch Entscheide zu Massnahmen kommuniziert, die dann von den anderen Mitgliedern zu bestätigen sind. Einzelne Dienste versenden aber bewusst keine vertraulichen Informationen.

Aufgrund der Rückmeldungen ergibt sich folgender Handlungsbedarf:

– Notfallplanungen, Interventionskarten und Sicherheitskonzepte sollten in den Gemeinden, in denen diese wichtigen Grundlagen noch nicht existieren, erarbeitet werden. Hilfreich wären auch Beispiele von Notfallplanungen und Unterlagen zur Organisation von Lawinendiensten.
– Der Personalplanung ist in den Lawinendiensten Beachtung zu schenken. Neubesetzungen sollten frühzeitig angegangen werden. Stellvertretungen sind wichtig, haben aber gelegentlich wenig Erfahrung oder sind gar nur auf dem Papier vorhanden.

4.3.3.2 Bemerkungen zur Ausbildung

Die Ausbildung der Mitglieder von Lawinendiensten an den Kursen des SLF wird als sehr wertvoll beurteilt. Auch die Kurse für Patrouilleure von Seilbahnen Schweiz sind sehr wichtig. Personen, die den Sprengausweis Lawinen erlangen wollen, müssen vorgängig den Zentralkurs B absolvieren.

Als sehr wichtig an Weiterbildungen werden Fallbeispiele und der Erfahrungsaustausch angesehen. Auch die Beobachtertreffen des SLF werden als wertvoll bezeichnet.

Bei den Aus- und Weiterbildungskursen sollten die Gleitschneeproblematik und weitere neue, schwierige zu beurteilende Prozesse wie Sulzströme (oder «slushflows») behandelt werden.

4.3.4 Durchführung von Sperrungen und Evakuierungen

4.3.4.1 Sperrungen sowie der Spezialfall abgelegener Wohngebäude an Strassen

Sehr positiv ist, dass dank den (umfangreichen) Sperrungen keine Lawinenopfer auf Verkehrswegen oder in Siedlungen zu beklagen waren.

Eine der längsten Strassensperrungen zu dauerbewohnten Siedlungen dürfte die Sperrung Meien–Färnigen zwischen dem 17. und 25. Januar 2018 sein; knapp 200 Stunden war die Strasse gesperrt.

Zermatt war vom 19. Januar 2018 für 5 Tage auf Strasse und Schiene nicht erreichbar. Zum Teil konnten Personen mit dem Helikopter nach Täsch transportiert werden. An einem Tag wurde ein Helikopter-Shuttledienst in Aussicht gestellt, worauf rund 500 Personen mit Koffern eine Warteschlange bildeten; schliesslich konnte nur rund die Hälfte der Wartenden ausgeflogen werden. In Lebensmittelgeschäften gab es Probleme mit dem Nachschub. Ein Helikopter wurde daher nur für den Transport von Lebensmitteln, Post und gewaschener Bettwäsche für Hotels eingesetzt.

In Samnaun gab es Fragen von Einheimischen, warum die Strasse gesperrt sei, obwohl in den Lawinenzügen Sprengmasten vorhanden seien.

Informationen zu Sperrungen werden in vielen Regionen über einen SMS-Service an betroffene Personen geschickt. Dies ist ein grosser Unterschied zu 1999, als diese Möglichkeit noch kaum genutzt wurde. Nachteilig sind die Kosten von rund 0,10 CHF/SMS. Vielerorts erscheinen Sperrungen auch auf Webseiten. Eine Information zwei Stunden vor den Sperrungen wird als anstrebenswert erachtet. Zu beachten sind auch die Zeiten, während derer Schulkinder unterwegs sind.

In Zermatt wurde die Erfahrung gemacht, über eine geplante Öffnung der Strasse nicht zu früh zu informieren, da sonst vor der Barriere eine längere Kolonne entstehen kann.

Leider wurden vereinzelt gesperrte Strassen von Personen begangen (z. B. Täsch–Zermatt). Auf offiziell gesperrten Strassen sind im Januar 2018 mehrere Personen nur knapp einer Verschüttung entkommen. Peder Caviezel (TBA GR, Scuol) meint, bei Einheimischen habe die Akzeptanz von Sperrungen seit 1999 zugenommen; es hätte 2018 nur wenige Reklamationen gegeben. Seiner Meinung nach missachteten Auswärtige oder Gäste örtliche Sperrungen eher. Im Januar 2018 wurden von einem Automobilisten bei Martina zwei hintereinander gelegene Barrieren geöffnet. Der Fahrer musste dann an der massiven Barriere an der Landesgrenze doch umkehren und erneut mehrere Kilometer der lawinengefährdeten Strasse befahren.

In Samnaun musste in der Nacht vom 20./21. Januar (Samstag auf Sonntag) die Strasse zwischen den Fraktionen Samnaun Dorf und Ravaisch aufgrund der intensiven Schneefälle und der damit angestiegenen Lawinengefahr kurzfristig gesperrt werden. Personen, die in Samnaun Dorf noch spätabends unterwegs waren, gingen scharenweise über die gesperrte Strasse nach Ravaisch. Angehörige der Feuerwehr wurden die ganze Nacht an den Barrieren postiert. Nachts um 1 Uhr wurden die Leute nach durchgeführten Sprengeinsätzen im Feuerwehrbus durch die Gefahrenzone gefahren.

Gute Erfahrungen wurden bei Winterwanderwegen mit Absperrungen mit Ketten inklusive Sperrtafel gemacht, mit dem Material in einem Kasten vor Ort (Schlüssel zum Kasten beim Lawinendienst). Verschiedentlich wurde erwähnt, dass Sperrungen von Winterwanderwegen in Siedlungsnähe vor allem kurzfristig wirksam seien. Sobald aber erste Fussspuren vorhanden seien, folgten oft weitere Personen.

Als Handlungsbedarf wird formuliert, dass geregelt sein muss, wer für die Information von Personen, die abseits von Siedlungen an einer Kantonsstrasse leben, und für die Anordnung bzw. Empfehlung von Hausaufenthalten von Personen bei einer Strassensperrung verantwortlich ist.

4.3.4.2 Evakuierungen, Hausaufenthalte, Maiensässe

Im ganzen schweizerischen Alpenraum dürften rund 500 Personen evakuiert worden sein (370 aufgrund der Befragungen), davon 100 Personen aus Maiensässen.

Grosse Bereiche von Siedlungen zu evakuieren, wird als sehr aufwendig angesehen. Die Lawinenverbauungen oberhalb des Bahnhofs Zermatt waren zum Beispiel bereits randvoll. Falls sie überschneit worden wären, hätte ein Bereich mit rund 800 Personen evakuiert werden müssen. Auch in Disentis leben hinter dem Ablenkdamm Sogn Placi gegen 200 Personen in Gefahrenzonen, die während einer Extremsituation zu evakuieren wären. In der Streusiedlung St. Antönien wären Evakuierungen ebenfalls ein Thema geworden, falls es noch weitergeschneit hätte; Evakuierungen wären dann nur mittels Helikopter möglich gewesen.

Etliche Personen verliessen von sich aus gefährdete Zonen und suchten sich eine sicherere Unterkunft.

Hausaufenthalte werden durchaus als erste mögliche Massnahme angesehen. Was ist jedoch, wenn sich die Lawinensituation deutlich verschärft, so dass Evakuierungen notwendig werden? Ist es dann nicht allenfalls schon zu spät, insbesondere weil noch zusätzlich Personen (z. B. Angehörige der Feuerwehr) gefährdet sind, die mit der Durchführung der Evakuierung beauftragt werden? Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt ist, ob es sich um verstärkte Gebäude handelt, und ob die Gebäude sich in roter oder blauer Gefahrenzone befinden.

Es wurde auch diskutiert, dass es schwierig sei zu wissen, wer in einem Gebäude wohnt. Wichtig ist die Schnittstelle zur Einwohnerkontrolle, das heisst der Lawinendienst sollte über aktuelle Daten verfügen.

Maiensässe
Vielen Lawinendiensten ist die rechtliche Situation bezüglich Bewohnern von Maiensässen oder nicht dauernd bewohnten Häusern ausserhalb der Bauzone unklar (z. B. Maiensässe neben Skipisten). Zudem wurde erwähnt, dass die Winternutzung von Maiensässen zugenommen habe. Es wurde betont, dass der Überblick insbesondere fehlt, wenn Maiensässe an Dritte vermietet werden.

Die rechtliche Situation bezüglich Bewohnern von Maiensässen sollte geklärt werden; gewisse Vorarbeiten wurden bereits im Rahmen einer Studie für das AWN Graubünden gemacht.

Dachlawinen
Dachlawinen waren zum Teil ein Thema, unter anderem in Zermatt. Dort musste der Platz rund um die Kirche wegen möglicher Dachlawinen grossräumig abgesperrt werden.

Schulunterricht
Vereinzelt stellte sich die Frage, wer bei kurzfristig angeordneten Sicherheitsmassnahmen und damit verbundenem Unterrichtsausfall die Betreuung der Schulkinder übernimmt.

Zusammenfassend lässt sich als Handlungsbedarf ableiten, dass vorhandene Konzepte in verschiedenen Gemeinden zum Aufenthalt von Personen in entlegenen Gebäuden und zur Betreuung von Schulkindern überprüft, und falls nicht vorhanden, erarbeitet werden müssen. Dazu gehören auch rechtliche Abklärungen, ob mündliche Ablehnungen von Evakuierungen durch die Bewohner im Rechtsfall vor Gericht Bestand haben würden.

4.3.4.3 Lawinen auf offene Verkehrswege und in bewohntes Siedlungsgebiet

Trotz sorgfältiger Beurteilung der Lawinensituation können Lawinen auftreten, welche noch nicht gesperrte Verkehrswege überfliessen oder gegen nicht evakuierte Gebäude vorstossen. Gemäss der SLF-Schadenlawinendatenbank sind im Januar 2018 12 Lawinen auf offenen Verkehrswegen gemeldet worden. 6 Lawinen sind auf Bahnlinien niedergegangen, 5 auf Strassen und

eine auf einen geräumten Fussweg. In Kapitel 3.3.7 ist exemplarisch ein solcher Lawinenabgang auf eine Kantonsstrasse beschrieben. Aus kleineren Lawinenzügen erreichten frühmorgens am 21. Januar zwei Abgänge zwei Wohngebäude in Samnaun (Kap. 3.3.10 und 4.3.1.3). In weiteren Fällen stoppten Lawinen erst unmittelbar vor bewohnten Gebäuden respektive Maiensässen (Kap. 4.3.1.1, Tab. 12 und 14).

4.3.5 Künstliche Lawinenauslösung

Nachfolgend wird vor allem auf durchgeführte Sicherungsaktionen eingegangen. Seit 1999 sind diverse Unterlagen respektive Praxishilfen wie «Künstliche Lawinenauslösung – Rechts- und Versicherungsfragen (STOFFEL 2004)», «Beurteilung von Sekundärlawinen bei künstlicher Lawinenauslösung (STOFFEL und MARGRETH 2012)» und «Vergleich der Sprengmethoden (STOFFEL 2013)» erarbeitet worden.

4.3.5.1 Ortsfeste Anlagen für die künstliche Auslösung

Total sind in der Schweiz 170 Gazex-Zündrohre, 140 Lawinenwächter oder Lawinenmasten Inauen-Schätti und 230 Wyssen-Lawinensprengmasten installiert (Stand März 2018). Diese rund 550 ortsfesten Anlagen befinden sich in Schneesportgebieten, aber auch entlang von Verkehrswegen und zum Teil oberhalb von Siedlungsbereichen. Im Vergleich zu 1999 hat die Zahl der ortsfesten Anlagen markant zugenommen. Im Januar 2018 waren geschätzt rund 200 bis 250 ortsfeste Anlagen zur Sicherung von Verkehrswegen und bewohnten Gebieten installiert, gegenüber rund 25 im Jahre 1999.

Anlässlich der Befragungen wurden nur wenige Probleme mit den ortsfesten Anlagen im Winter 2017/18 erwähnt. Verbindungsprobleme zu den Anlagen sind selten, können aber vereinzelt nicht ausgeschlossen werden. In einem Einsatzgebiet kam es wegen nicht sachgemäss verwendeten Sicherheitsanzündschnüren zu Versagern.

Der 12 cm Minenwerfer wird für die Lawinenauslösung mehrmals noch als wichtig für den Bevölkerungsschutz bezeichnet.

4.3.5.2 Sprengungen aus dem Helikopter

Sprengungen aus dem Helikopter wurden vielerorts durchgeführt und als äusserst wichtig angesehen. Nachteilig ist die Abhängigkeit vom Flugwetter und allenfalls die Verfügbarkeit der Helikopter. Vorteilhaft sind die Kosten und der Umstand, dass aus dem Helikopter auch ein Einblick ins gefährdete Gebiet möglich ist und unter Umständen gefährdete Personen erkannt werden können.

Nördlich von Arolla (VS) wurden beispielsweise vor Sprengungen aus dem Helikopter Personen bei einer Galerie gesichtet; sie hielten sich im abgesperrten Sektor auf.

In Zermatt und Saas-Fee waren Helikoptereinsätze vier Tage nicht möglich (6. bis 9. Januar) und am 10. Januar 2018 erfolgten die Einsätze bereits zu spät, das heisst, es resultierten negative Sprengungen. Auch bei anderen Interviews wurde erwähnt, dass Sprengeinsätze vom Helikopter aus häufig einen Tag zu spät erfolgten.

4.3.5.3 Information der Bevölkerung über geplante Sicherungsaktionen

Einsätze der künstlichen Lawinenauslösung im Siedlungsrandbereich können aufwendig sein (Absperrungen respektive Information von Personen über bevorstehende Sicherungsaktionen).

Es wurde auch die Frage gestellt, wie Bewohner von Maiensässen oder Hütten über geplante Sprengeinsätze zu informieren seien. Eine Lösung könnte sein, dass die Hüttenbesitzer ihre Mieter informieren, dass sie ihre Handynummer dem Lawinendienst anzugeben haben, inklusive Dauer des Aufenthalts.



Abb. 146: Zwei Personen auf abgesperrter Strasse bei Täsch (VS), erfasst mittels «Supralux»-Scheinwerfer und Kamera (Unterlagen B. Jelk, 21.01.2018).

Strassen und Siedlungsbereiche werden mittels Absperrposten gesichert. Es braucht Zeit, bis die Absperrpersonen vor Ort sind. Wichtig sind entsprechende Checklisten und Karten. In Samnaun wurden für Sprengeinsätze nie die extremen Absperrszenarien, die stellenweise Evakuierungen vorsehen, verwendet. Dieses Vorgehen wurde möglich, da mit den Sprengmasten fortlaufend situationsbezogen gesprengt werden konnte.

Es wird als Problem betrachtet, dass immer mehr Leute zu den verschiedensten Zeiten im Gelände unterwegs sind. Eine Information (respektive Abmahnung) geschieht heute vielerorts über Warntafeln im Gelände.

Bei Täsch haben sich «Supralux»-Scheinwerfer bewährt, mithilfe derer vor Sprengeinsätzen versucht wird, allfällige Personen im gefährdeten Talboden zu sichten. Einmal konnten zwei Personen entdeckt werden (Abb. 146).

Im Lötschental kam es am 23. Januar bei den Absperrungen zu einem Missverständnis: Die künstlich ausgelöste, sehr grosse Lawine (Grösse 5) vom Tennbachhorn floss von rund 3000 m ü. M. auf 1450 m ü. M. bis nahe an Gebäude von Ried, in denen sich noch ein Bauer aufhielt, der nicht hätte dort sein sollen.

4.3.5.4 Durchgeführte Sicherungsaktionen und ausgelöste Lawinen

Im Winter 2017/18 wurden gesamtschweizerisch rund 160 Tonnen Lawinensprengstoff verwendet, was ungefähr der eineinhalbfachen Menge eines durchschnittlichen Winters entspricht. Es sind nur kleinere Schäden durch künstlich ausgelöste Lawinen bekannt. Sehr weitreichende, grossflächige Auslösungen traten im Januar nur selten auf. Vereinzelt kam es zu sehr grossen Anrisshöhen (Abb. 147 und 148).

Die künstliche Lawinenauslösung wird als äusserst wichtige temporäre Massnahme erachtet. Frühzeitiges Auslösen führt in der Regel zu kleineren bis mittleren, vereinzelt auch grossen Lawinen (Grösse 4). Falls es zu wiederholten Auslösungen kommt, ist in den Anrissgebieten (und Sturzbahnen) weniger Schnee vorhanden, was die Problematik während Frühlingssituationen deutlich zu verkleinern mag. Auch Sperrzeiten konnten verkürzt werden. Bei Helikoptereinsätzen wird zudem geschätzt, dass unter Umständen die Bruchausbreitung beobachtet werden kann und ob es Anrisse im Altschnee gibt. Zusätzlich sind die unerwünschten Effekte zu erwähnen, wie «die Lawine ist grösser als erwartet» (mögliche Schäden), eine Sekundärauslösung und dass die Rauigkeit in der Sturzbahn durch Lawinenablagerungen vermindert wird und für spätere Lawinen bessere Fliessbedingungen vorhanden sind. Grosse Lawinenablagerungen können dazu führen, dass spätere Lawinen abgelenkt werden.

Allgemein wurde erwähnt, dass im Siedlungsrandbereich Sprengeinsätze im Hochwinter morgens vor 8:30 Uhr erfolgen sollten, damit möglichst noch keine Personen in potenziell gefährdetem Gebiet sind.

Das Nachladen der Magazine von Sprengmasten muss gut geplant werden. In Samnaun bestand zum Beispiel nur am 15. Januar gutes Flugwetter für das Nachladen der Magazine. Wenn es dieses Flugfenster nicht gegeben hätte, wären in der nachfolgenden Schneefallperiode wiederholte, der Situation angepasste Sprengeinsätze nicht möglich gewesen.

Nachfolgend wird exemplarisch auf Sprengeinsätze in einzelnen Regionen eingegangen.

Im Mattertal wurden die Wyssen-Sprengmasten bis Ende Winter für die Sicherung der Verkehrswege an 12 Tagen eingesetzt; zudem erfolgten noch an 14 Tagen Einsätze aus dem Helikopter (total 26 Tage mit Sprengeinsätzen). Gesprengt wurde meist einmal pro Tag; am 4. Januar waren es hingegen drei Einsätze zum Schutz der MGB-Linie (um 10, 18 und 20 Uhr).

Im Saastal und Lötschental wurden Einsätze der künstlichen Auslösung zugunsten der Verkehrswege einmal pro Tag ausgeführt. Am 24. Januar stiess die künstlich ausgelöste Falllawine als Staublawine bis ins Zentrum von Saas-Fee vor (Abb. 144).

Im Schneesportgebiet Hasliberg wurden während der intensiven Schneefälle Gazexeinsätze bis drei Mal am Tag durchgeführt.

In Samnaun erfolgten die frühsten Einsätze im Siedlungsgebiet um 6 Uhr, die spätesten nachts um 1 Uhr. Am 22. Januar wurden bis zu drei Sprengeinsätze pro Lawinenzug durchgeführt, und zwar um 6, 11 und 20 Uhr. Bei der Motnaidalawine östlich von Samnaun Dorf funktionierte die Teilentladung an diesem Tag nicht wunschgemäss: Trotz Einsätzen frühmorgens und mittags wurde am Abend eine grosse Lawine (Grösse 4) ausgelöst, die die gesperrte Kantonsstrasse rund 1 m hoch verschüttete. Es dürfte sich um eine etwa 10-jährliche Lawine gehandelt haben; die Lawine riss stellenweise den aufgebauten Altschnee mit. Aufgrund dieses Ereignisses wurde die Anzahl Wyssen-Sprengmasten im Anrissgebiet Motnaida auf den Winter 2018/19 von drei auf fünf erhöht.

Im Unterengadin wurde entlang der Verkehrswege im Maximum einmal pro Tag gesprengt; dies meist frühmorgens. Die Verantwortlichen erwähnten, dass dank der fortlaufend durchgeführten Sprengeinsätze die Lawinen um den 22. Januar ähnlich gross waren wie Anfang Januar. Dabei wurden in beiden Perioden auch grosse Lawinen (Grösse 4) ausgelöst wie zum Beispiel die Laschaduralawine am Ofenpass, die Leitplanken zerstörte. Bedeutendere Schäden konnten aber vermieden werden. Bei Lavin wurden im Anrissgebiet der Gondalawine 15 Einsätze mit den acht Wyssen-Sprengmasten zur Sicherung der Verkehrswege durchgeführt.

Die Positionierung von Sprengmasten auf einer Krete hat sich im Falle des Vallone del Solco im Tessin bewährt, konnte doch dadurch wie gewollt auch die Lawine Tre Capelle ausgelöst werden. Beide Anrissgebiete sind mindestens 35°, zum Teil auch über 40° steil und über eine Geländerippe verbunden. 11 Einsätze wurden mit den Wyssen-Sprengmasten durchgeführt.

Es lassen sich die folgenden Erkenntnisse zusammenfassen:

- Es sind keine bedeutenden Schäden durch künstlich ausgelöste Lawinen aufgetreten. Vereinzelt waren die Lawinen aber grösser als erwartet und stiessen zum Beispiel bis nahe an besiedeltes Gebiet vor.
- Durch wiederholte, der Situation angepasste Einsätze wurden möglicherweise Schadenlawinen verhindert, was der gewünschte Effekt der künstlichen Auslösung ist. Erfahrungen zeigen jedoch, dass künstlich ausgelöste Lawinen trotz aller Sorgfalt zum Teil grösser werden als erwartet und Schäden verursachen. Vereinzelt sollten daher die Konzepte zur künstlichen Auslösung überprüft werden.
- Bei vielen der künstlich ausgelösten Lawinen dürfte es sich, soweit wir das beurteilen können, um maximal 10- bis 15-jährliche Lawinen gehandelt haben (Fliessanteil).
- Das Nachladen der Magazine der Sprengmasten muss gut geplant werden.
- Der Unterhalt der verschiedenen Systeme ist äusserst wichtig.



Abb. 147: Skigebiet Samnaun (GR), eindrücklicher Anriss aufgrund einer Sprengung (Foto: G. Darms, 23.01.2018).



Abb. 148: Skigebiet Crans Montana (VS), bis 4 m hoher Anriss einer künstlich ausgelösten Lawine an den Südhängen des Petit Mont Bonvin auf 2400 m ü. M.; Sprengung vom Helikopter aus (Foto: V. Bettler, 24.01.2018).

4.3.6 Alarm- und Detektionssysteme

Nachfolgend wird auf Erfahrungen mit vorhandenen Alarm- und Detektionssystemen eingegangen. Die nachfolgenden Erläuterungen basieren auf den durchgeführten Interviews und auf Informationen der Verantwortlichen von SensAlpin, Geopraevent und Wyssen.

4.3.6.1 Alarmsysteme in Lawinenzügen

Bei den Lawinen-Alarmsystemen von SensAlpin und AlpuG werden Lawinen mittels redundanter Sensorik direkt in der Sturzbahn detektiert. Im Ereignisfall wird ein Alarmsignal per Funk an eine Ampelanlage übermittelt, welche automatisch eine Bahnlinie oder Strasse sperrt und allenfalls weitere Alarmierungen auslöst. Die Detektion mit mehreren, unterschiedlichen Sensortypen (in der Regel Geschwindigkeitsmessung mittels kurzreichweitigem Dopplerradar, Erschütterungsmessung mit Geophonen sowie Zugmessung mit Detektionsseilen) erlaubt eine gute Charakterisierung der Lawinenereignisse. Dadurch werden die Detektionsqualität erhöht und die Zahl der Fehlalarme reduziert. Ausserdem führt die vorhandene Redundanz dazu, dass auch bei Ausfällen einzelner Sensoren die Anlagen trotzdem einsatzfähig bleiben.

Von den heute 29 Alarmanlagen dieses Typs waren vier bereits im Lawinenwinter 1999 in Betrieb. Die Anlagen haben sich im Winter 2018 bewährt und es gab keine Ausfälle.

Als Beispiel einige Zahlen einer Lawinen-Alarmanlage der «Matterhorn Gotthard Bahn» (MGB) bei St. Niklaus: Die Detektionsanlage im Chalchuzug auf einer Höhe von 1950 m ü. M. erfasste im Januar 2018 insgesamt 27 Lawinenabgänge. Acht dieser Ereignisse führten zu einem Alarm, das heisst zur Sperrung der Geleise mittels roter Ampeln. Mindestens drei dieser Lawinenabgänge gelangten effektiv auch bis in den Bereich der Bahngeleise im Talgrund (Abb. 149).

Auf der Gotthardnordrampe der SBB-Bergstrecke ist bei Häggrigen bei einem engen Brückendurchlass ein System mit Reissleine von Geopraevent installiert. Wird der Durchlass von einer Lawine erreicht, werden die Verantwortlichen der SBB über ein SMS informiert.

Zwischen Sumvitg und Disentis führte die Val-Lumpegna-Lawine zur Aktivierung des Lichtsignals an der Kantonsstrasse und der RhB-Linie. Die Lawine erreichte die Verkehrswege knapp nicht. Die Verkehrswege waren sicherheitshalber bereits gesperrt worden.

Im Kanton Uri (Isenthal) bewährte sich eine im April 2017 installierte Lichtsignalanlage, deren Aktivierung mittels Neigungssensoren geschieht. Die Neigungssensoren sind in Plastikstangen in der Sturzbahn positioniert.

4.3.6.2 Alarmsysteme am Gegenhang

Mit langreichweitigen Doppler-Radaranlagen von Geopraevent konnten viele Ereignisse detektiert werden: zum Beispiel Luegelti- und Schusslaui bei Zermatt, Bisgletscherlawine bei Randa, Gondalawine bei Lavin (Kap. 4.3.6.3).

Die Anlage Luegelbach/Schusslaui ist mit einer Lichtsignalanlage gekoppelt (Abb. 150). Falls eine Lawine im oberen, gelben Bereich detektiert wird, schalten die Lichtsignale auf Rot. Falls der untere, orange Bereich keine Lawine detektiert, können die Ampeln nach wenigen Minuten wieder auf grün gestellt werden (dies geschah im Jan. 2018 manuell). Im Luegelbach und bei der Schusslaui wurden am 4. Januar total 28 Abgänge detektiert und am 21./22. Januar ebenfalls 27 respektive 22 (Quelle Geopraevent). Dazu ist zu bemerken, dass das Anrissgebiet Luegelbach bis auf das 3400 m ü. M. hohe Mettelhorn hinaufreicht und diverse übereinanderliegende Teilanrissgebiete und auch die direkt anschliessende Schusslaui umfasst. Die Strasse und MGB-Linie liegen auf rund 1600 m ü. M. Mit dem Radar werden Lawinen erfasst, die in 800 bis 1900 m Entfernung vom Radar starten. Die erste Lawine wurde am 10. Dezember 2017 erfasst, die letzte am 8. Mai 2018; 18 Prozent der Lawinen traten im Winter 2017/18 bei guter Sicht auf, 50 Prozent bei schlechter Sicht wie Schneefall und 32 Prozent nachts (Quelle Geopraevent).

4.3.6.3 Lawinen-Detektionssysteme

Lawinen-Detektionssysteme waren im Einsatz, um Resultate von Sicherungsaktionen zu erfassen, aber auch die spontane Lawinenaktivität zu erheben. Lawinen können wie nachfolgend erwähnt über verschiedene Systeme detektiert werden. Im Gegensatz zu 1999 waren im Winter 2018 einige Anlagen im Einsatz.

Vier Infraschallsysteme waren bei Reckingen und Blitzingen, Quinto und Frutigen im operationellen Einsatz. Mittels Infraschall kann die lokale Lawinenaktivität unter Umständen gut erfasst werden. Grosse Lawinen (Grösse 4) werden bis in 3 bis 4 km Entfernung detektiert (MAYER *et al.* 2018).



Abb. 149: Detektierte Lawine im Chalchuzug bei St. Niklaus (Foto W. Gitz/z. V. SensAlpin).

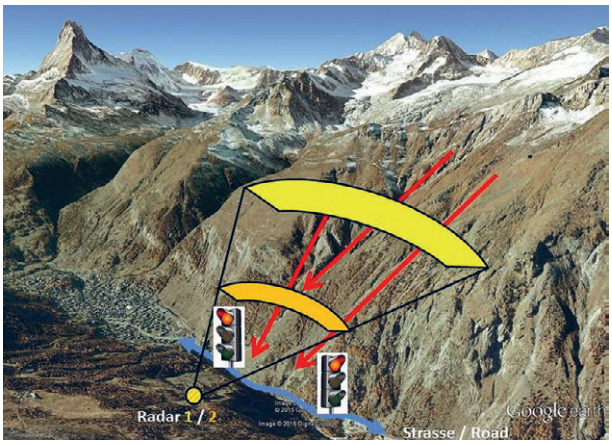


Abb. 150: Übersicht Radaranlage Luegelbach/Schusslaui bei Zermatt (Unterlagen B. Jelk/Geopraevent).

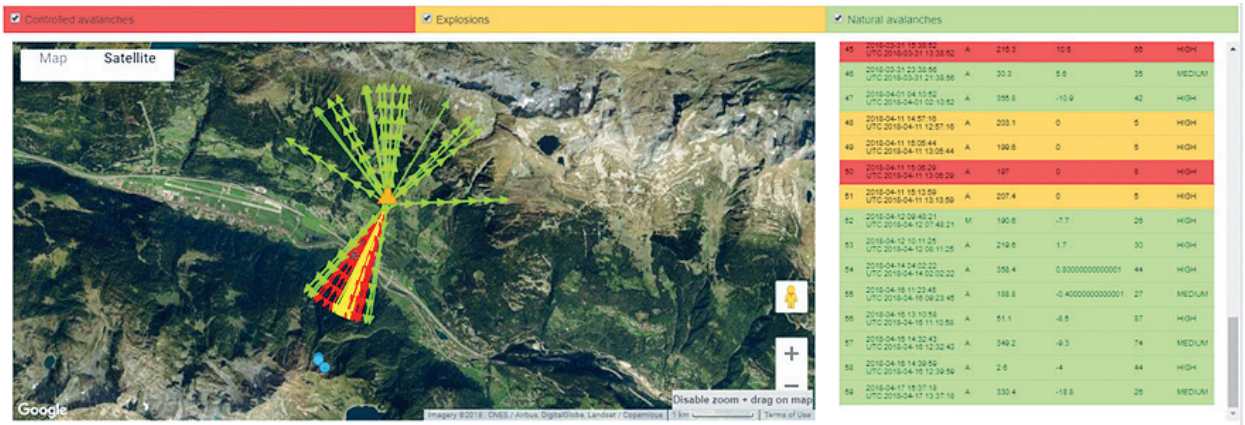


Abb. 151: Lawinen-Infraschalldetektion bei Quinto: rot = künstlich ausgelöste Lawinen Vallone del Solco und Tre Cappelle; grün = spontane Lawinen (Unterlagen Wyssen).

Die Resultate des Infraschallsystems bei Quinto lassen darauf schliessen, dass im 35 bis 50° steilen Anrissgebiet des Vallone del Solco im Winter 2017/18 rund 30 Lawinen auftraten, plus die 11 künstlich ausgelösten Lawinen (total etwa 40 Lawinen, Abb. 151). Neben den Lawinen im Vallone del Solco, dessen Anrissgebiet sich am Gegenhang befindet, wurden auch mehrere spontane Abgänge in den grossen und weitreichenden Anrissgebieten oberhalb des Standorts des Infraschallsystems registriert (grüne Pfeile in Abb. 151). Das Infraschallsystem im Goms mit zwei Anlagen (in etwa 4 km Entfernung) detektierte kombiniert 160 Ereignisse sowie Lawinensprengungen.

4.3.7 Gleitschnee

Die Befragungen zeigten, dass Gleitschnee die Lawinendienste zum Teil vor grössere Probleme gestellt hat. Im Kanton Uri traten im gleichen Hang nach jeweils neuen Niederschlagsperioden drei Gleitschneeabgänge auf. Gleitschnee führte zum Teil auch zu einer Abschürfung der Bodenoberfläche. Auch bei Zermatt stellte der Gleitschnee den Lawinendienst vor grosse Probleme. Ab dem 2. Februar gab es an den Südosthängen oberhalb des Dorfes bedeutende Fischmäuler. Bei Alterhaupt wurden in einem Fischmaul am 9. März Stangen gestellt, um Verschiebungen erfassen zu können. Bis am 23. März ergaben sich Verschiebungen von 3 bis 8 m, ein Teil der bis 3 m mächtigen Schneetafel rutschte dann in der Nacht vom 2. auf den 3. April ab und erreichte die bergseitige Wand eines Hotels ohne Schadenwirkung. Die bergseitigen Räume des Hotels wurden vom 23. März bis am 3. April wegen der Gefahr einer Gleitschneelawine nicht genutzt.

Am 24. März nachmittags verschüttete eine Gleitschneelawine den offenen Winterwanderweg Zermatt–Zmutt. Die durchgeführte Suchaktion führte zu keinem Ergebnis. Rund 10 Tage später erfolgte jedoch eine Vermisstmeldung, worauf erneut gesucht und schliesslich eine Person tot geborgen wurde (1 Todesfall auf offenem Verkehrsweg).

Im Saastal, im Lötschental und in der Region Hérémence traten etliche Fischmäuler auf, Abgänge waren äusserst selten.

Gute Erfahrungen wurden mit Dreibeinböcken gemacht, allenfalls genügt auch eine Erhöhung der Bodenrauhigkeit mittels horizontalen Baumstämmen.

Sprengungen bewirkten in mehreren Fällen keinen Abgang einer Gleitschneelawine. Vereinzelt begann die Schneetafel zu rutschen, stoppte aber nach wenigen Metern.

Winterwanderwege und Loipen wurden zum Teil über längere Zeit wegen der Gefährdung durch Gleitschneelawinen gesperrt.

4.4 Schutzwald

Verglichen mit der Anzahl der Lawinenniedergänge im Laufe des Winters 2017/18 waren nur sehr wenige Lawinenanrisse im Wald zu verzeichnen. Bei der Lawinenkartierung wurden zwar etliche kleine Lawinen und Schneerutsche im offenen Wald und im Waldgrenzenbereich erfasst (Abb. 152). Es konnten dabei aber keine Waldlawinen in dichterem Wald festgestellt werden, was mindestens zum Teil auch auf methodische Schwierigkeiten der satellitengestützten Kartierung unter dichter Vegetation zurückzuführen ist. Auch von 75 erfassten Schadenlawinen, welche Schäden im Wald verursacht hatten, waren laut Erfassungsprotokoll und angegebenen Koordinaten nur zehn Anrisse potenziell innerhalb des Waldes. Eine Überprüfung der Daten zeigte, dass mindestens fünf dieser Lawinen knapp ausserhalb des Waldes beziehungsweise nur im Waldgrenzenbereich und drei Lawinen in bekannten Waldschneisen angerissen waren.

Um trotz der sehr geringen Anzahl von registrierten Waldlawinen während des Winters 2017/18 eine grobe Abschätzung über die Wirkung des Schutzwaldes zu ermöglichen, wurden in Abbildung 153 verschiedene Lawinentypen in Abhängigkeit von der potenziellen Waldgrenze aufgetragen. Darin ist ersichtlich, welcher Anteil von verschiedenen Lawinentypen unterhalb der potenziellen Waldgrenze (also im Wirkungsbereich des Schutzwaldes) anriss. Die potenzielle

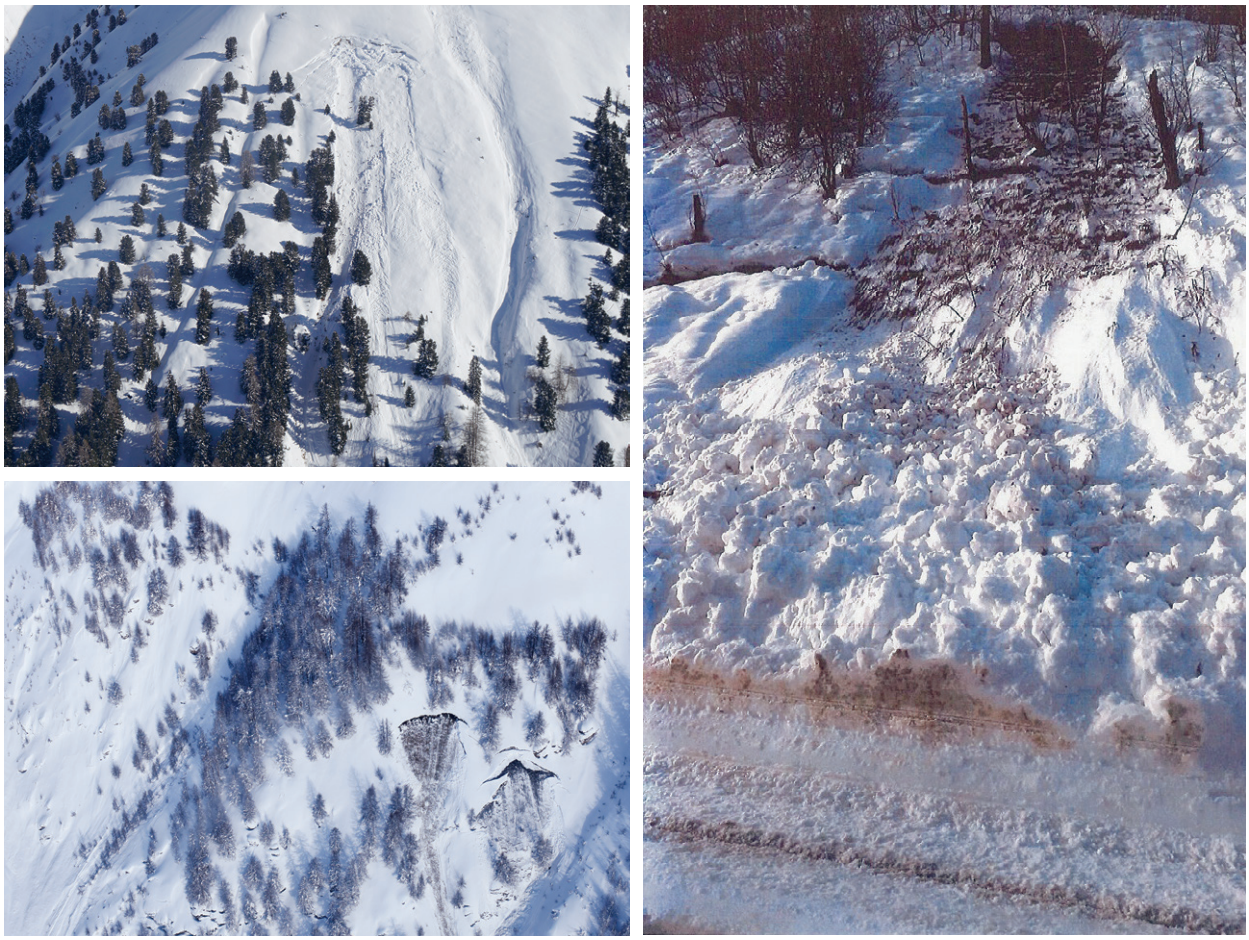


Abb. 152: Beispiele von Lawinen mit Anrissgebieten im Waldgrenzenbereich (links oben, Foto: SLF, 24.01.2018), von Gleitschneeanrissen in teilweise bewaldetem Gebiet (links unten, Foto: B. Jelk, 10.01.2018) und von einer Gleitschneelawine aus dem Wald mit Schneeablagerung auf dem Gleis der Rhätischen Bahn zwischen Rabius und Sumvitg (rechts, Foto: W. Cadosch, 4.1.2018).

Waldgrenze wurde dabei für jeden 10 km x 10 km-Quadranten aufgrund der höchst gelegenen Bäume gemäss schweizerischer Arealstatistik abgeschätzt. Von den rund 16 900 Lawinenumrissen, welche mit Hilfe der SPOT-Satellitenbilder kartiert wurden (Periode bis 23. Januar 2018, ohne erzeugte Lawinen), waren rund 35 Prozent unterhalb der potenziellen regionalen Waldgrenze angerissen. Zusammen mit der geringen Anzahl an Lawinenanrissen im Wald weist dies auf eine erhebliche Bedeutung des Schutzwaldes zur Schadenreduzierung hin. Die meisten Lawinen, welche unterhalb der potenziellen Waldgrenze anrissen, waren kleine bis mittelgrosse (< 1000 m^3) Gleitschneelawinen. Grosse bis sehr grosse Lockerschnee- und Schneebrettlawinen (Grösse 4 bis 5) rissen hingegen fast durchwegs oberhalb der potenziellen Waldgrenze an (Abb. 153). Die Differenzierung nach Lawinenart und -grösse verdeutlicht somit, dass der Schutzwald im Winter 2017/18 vor allem für die Verhinderung von Gleitschneelawinen und anderen kleineren Lawinen unterhalb der potenziellen Waldgrenze relevant war. Wie in den folgenden Abschnitten erläutert wird, ist dies in erster Linie eine Folge der Schnee- und Witterungsbedingungen im Bereich des Schutzwaldes, welche im Winter 2017/18 relativ günstig waren.

In anderen Lawinenwintern war die Anzahl der Schadenlawinen aus dem Waldbereich deutlich höher. So lag beispielsweise der Höhenbereich der Anrissgebiete von Schadenlawinen im Kanton Graubünden der Jahre 1950 bis 2013 deutlich tiefer als der Höhenbereich der Anrissgebiete während des Winter 2017/18 (Abb. 154).

Am ehesten zu vergleichen ist der Winter 2018 noch mit dem Winter 1999, als auch die meisten Lawinen oberhalb des Waldes anrissen und in bestehenden Bahnen verliefen, aber immerhin

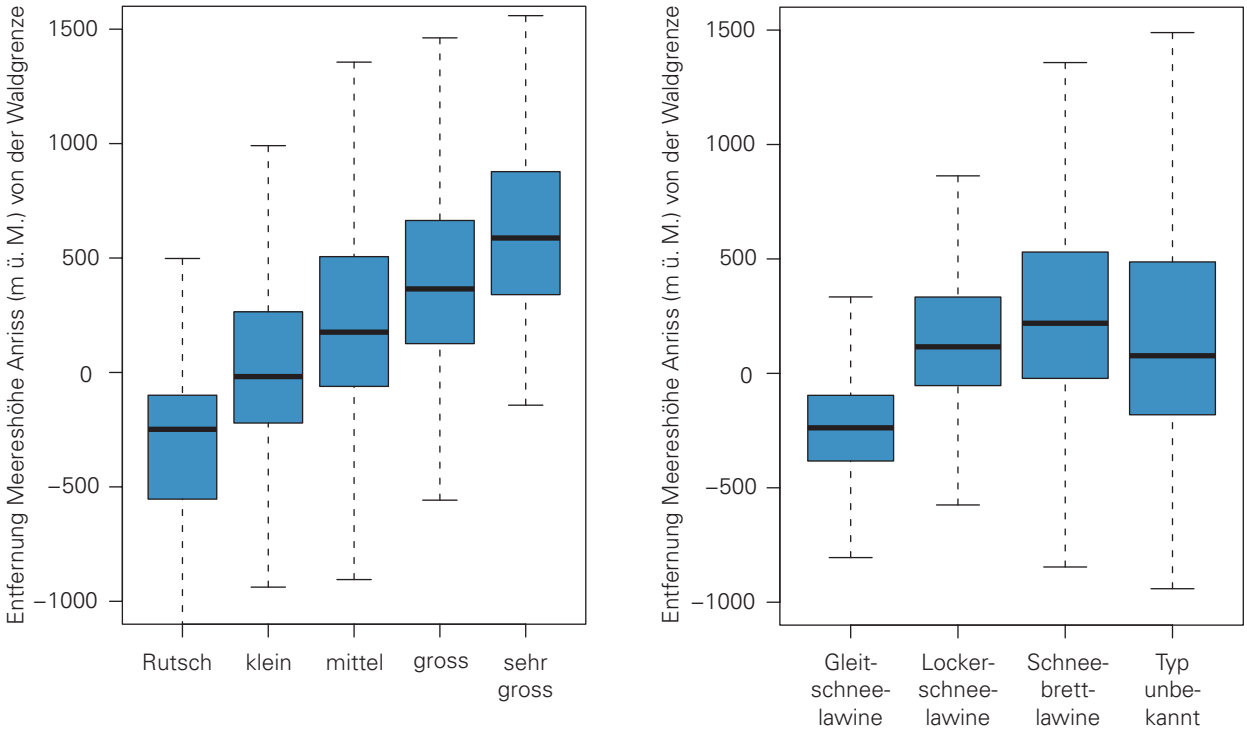


Abb. 153: Verteilung der Höhenlage der Anrissgebiete von kartierten Lawinen relativ zur regionalen Waldgrenze. Links aufgeteilt nach Lawinengrösse, rechts aufgeteilt nach Lawinenart.

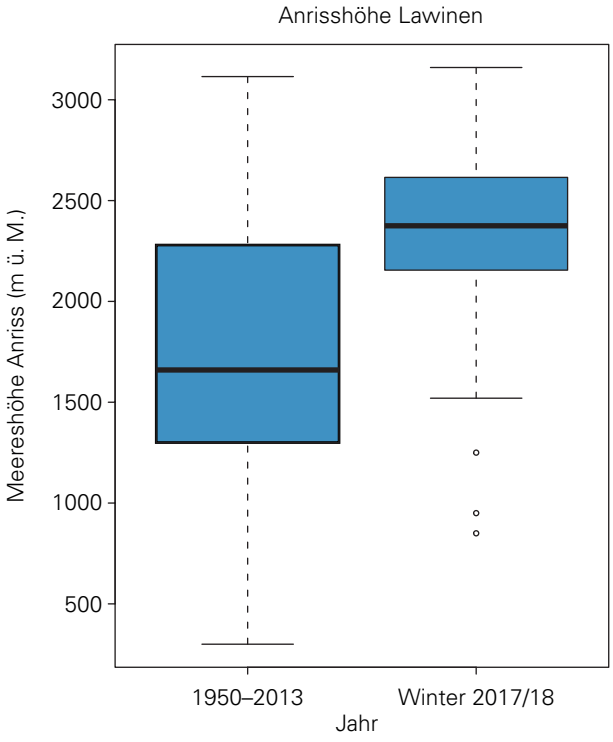


Abb. 154: Vergleich der Meereshöhen des Anrisses (m ü. M.) von Schadenlawinen während den Jahren 1950 bis 2013 (links) mit den Meereshöhen des Anrisses (m ü. M.) während des Winters 2017/18 (Datenquelle: StorMe).

noch 43 Anrisse von Schadenlawinen im Wald zu verzeichnen waren (SLF 2000). In früheren Lawinenwintern wie beispielsweise 1950/51 dürfte der Anteil von Lawinenanrissen im Wald noch deutlich höher gewesen sein (SLF 1952, LATERNSER und AMMANN 2001). Und auch in der Lawinenstatistik von COAZ (1910) hatten noch 2843 von 9368 registrierten Lawinenanrissen ihren Ursprung «innert der Waldvegetationsgrenze».

Für diese im Vergleich zu früheren Lawinenwintern geringe Anzahl an Waldlawinen gibt es verschiedene Gründe. Im Vergleich zu früheren Lawinenwintern spielten sicher die Vergrösserung der wirksamen Schutzwaldfläche und die aktive Schutzwaldsanierung und Schutzwaldpflege von exponierten Lawinenanrissgebieten eine gewisse Rolle. Allerdings zeigt gerade der Lawinenwinter 2018/19 mit wieder deutlich mehr Lawinenanrissen im Wald (auch im Bereich von Laubwäldern mit wünschbarem höheren Tannenanteil), dass die geringe Anzahl der Waldlawinen im Winter 2017/18 nicht in erster Linie dadurch erklärt werden kann, und dass die nachhaltige Verbesserung der Lawinenschutzfunktion eine wichtige Daueraufgabe bleibt. Die meteorologischen Bedingungen waren also sowohl im Jahr 2018 wie auch bereits 1999 trotz grossen Schneemassen oberhalb von etwa 1500 m ü. M. relativ günstig für eine effektive Schutzwaldwirkung (Kap. 2). Weil die Schneefallgrenze meist im oberen Bereich der Waldgrenze lag, gab es 2018 kaum Dispositionen für grosse und sehr grosse Lawinen aus dem Waldbereich. Zudem trugen das wiederholte Ansteigen und Absinken der Schneefallgrenze unterhalb von 2000 m ü. M. und die zwischenzeitliche Wetterverbesserung am 20. Januar dazu bei, dass im Waldbereich nur selten grossflächig kohäsionsarme Schneedecken auftraten (wie beispielsweise im Januar 1951), was der Wirkung des Schutzwaldes entgegenkam. Relativ kritisch für Waldlawinenanrisse war zwar im oberen Waldgrenzenbereich nochmals die Schneesituation vom 22. Januar 2018, als es nach nochmals erheblichen Schneefällen verbreitet regnete. Im Waldbereich gab es aber auch in dieser Periode kaum Lawinenanrisse grösseren Ausmasses.

Insgesamt kann somit die Bilanz gezogen werden, dass der Schutzwald sich im Januar 2018 bewährt hat und dass die Schutzfunktion sich in den letzten Jahrzehnten auch vielerorts verbessert hat. Es muss aber auch darauf hingewiesen werden, dass die Wetter- und Schneebedingungen innerhalb des Waldes während der Niederschlagsperioden und an den meisten Standorten nicht überaus kritisch waren.

5 Erfolgskontrolle

Die Ereignisanalyse des SLF «Der Lawinenwinter 1999» (SLF 2000) und die BUWAL-Broschüre «Leben mit dem Lawinenrisiko – Die Lehren aus dem Lawinenwinter» (BUWAL 1999) zeigten den wichtigsten Handlungsbedarf in 26 Punkten auf, um im Lawinenwinter 1999 festgestellte Schwachstellen zu eliminieren und den Lawinenschutz für die zukünftigen Herausforderungen weiter zu optimieren. Im Folgenden wird untersucht, inwiefern der Lawinenschutz in den letzten 20 Jahren weiterentwickelt wurde. Die Erfolgskontrolle (Tab. 16 bis 20) basiert einerseits auf den Erkenntnissen dieser Ereignisanalyse und andererseits auf Expertenmeinungen, da bei mehreren Punkten keine exakten Daten verfügbar waren. Da die Lawinenperiode im Januar 2018 sehr kurz war, die Lawinen nur vereinzelt in tief gelegene Tallagen vorstiessen und folglich die seit 1999 getroffenen Massnahmen nicht in allen Belangen getestet wurden, sind die diesbezüglich gewonnenen Erkenntnisse beschränkt. Zu etlichen der aufgezeigten Punkte bestanden bereits vor 1999 erste Projektideen. Der Lawinenwinter 1999 war dann der Anlass, diese Projekte weiter voranzutreiben.

Tab. 16: Erfolgskontrolle der seit 1999 getroffenen Massnahmen und erarbeiteten Produkte auf dem Gebiet des integralen Lawinenschutzes und Risikomanagements bezugnehmend auf die Ziele, die in der Broschüre «Leben mit dem Lawinenrisiko» (BUWAL 1999) formuliert wurden.

Nr.	Ziele gemäss Broschüre «Leben mit dem Lawinenrisiko» (BUWAL 1999; gelbe Kästchen)	Massnahmen und Produkte	Stand
1	Gesamtschweizerisch vergleichbares Sicherheitsniveau anstreben.	In der PLANAT Strategie «Sicherheit vor Naturgefahren» (PLANAT, 2004, 2018) und der Empfehlung «Sicherheitsniveau für Naturgefahren» (PLANAT, 2013, 2015) wurden die Grundlagen dazu geschaffen.	Grundlagen erarbeitet, Umsetzung in die Praxis weitgehend erfolgt
2	Erforderliche personelle und finanzielle Mittel für den Schutz vor Naturgefahren auf allen Stufen kontinuierlich zur Verfügung stellen.	Seit 1999 betragen die jährlichen Bundesbeiträge für den Schutz vor Naturgefahren nach WaG rund CHF 40 Mio.	Daueraufgabe
3	Integraler Lawinenschutz mit kostengünstigen Lösungen weiter verbessern.	Die organisatorischen Massnahmen auf Basis guter Entscheidungsgrundlagen (u. a. Messstellen, Prognosen, Notfallplanungen) und gut organisierte Lawinendienste haben seit 1999 grosse Fortschritte gemacht. Die konsequente Umsetzung der Gefahrenkarten in die Raumplanung und das strikte Freihalten von Gebieten mit erheblicher Lawinengefährdung wurden seit 1999 ausgebaut. Weiter wurden ortsfeste Sprenganlagen und Alarmanlagen seit 1999 vermehrt eingesetzt. Im Januar 2018 waren rund 200 bis 250 ortsfeste Sprenganlagen und 30 Alarmanlagen zum Schutz von Verkehrswegen und Siedlungen installiert. 1999 waren es erst rund 25 Sprenganlagen und 4 Alarmanlagen.	Erfüllt Daueraufgabe

Tab. 17: Erfolgskontrolle der seit 1999 getroffenen Massnahmen und erarbeiteten Produkte auf dem Gebiet des Schutzwaldes und waldbaulicher Massnahmen.

Nr.	Ziele gemäss Broschüre «Leben mit dem Lawinenrisiko» (BUWAL, 1999; gelbe Kästchen)	Massnahmen und Produkte	Stand
4	Erforderliche personelle und finanzielle Ressourcen für waldbaulichen Lawinenschutz langfristig gewährleisten.	Einheitliche Ausscheidung des Schutzwaldes in der Schweiz (SilvaProtect-CH). Im Rahmen der NFA wird die Schutzwaldpflege durch Bund und Kantone mitfinanziert (Bundespauschale CHF 5000/ha; jährlicher Bundesbeitrag etwa CHF 70 Mio.).	Daueraufgabe
5	Schutzwälder mit instabilem Bestand sind dringend zu pflegen und zu verjüngen.	Jährlich werden etwa 9000 ha Schutzwald gepflegt. Publikation und Inkrafttreten der Wegleitung «Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald» im Jahr 2005 (Nais, FREHNER *et al.* 2005). Nais dient als nachhaltige Qualitätssicherung der Schutzwaldpflege. Laufende Aktualisierung seit Inkrafttreten der Wegleitung. Privatwald und die Wald-/Wild-Problematik erschweren die Schutzwaldpflege.	Daueraufgabe
6	Falls zerstörter Wald ein erhöhtes Risiko darstellt, erforderliche Schutzmassnahmen erstellen.	Nach dem Winter 1999 wurden etliche zerstörte Waldflächen mit technischen Massnahmen ersetzt und aufgeforstet.	Daueraufgabe

Tab. 18: Erfolgskontrolle der seit 1999 getroffenen Massnahmen und erarbeiteten Produkte auf dem Gebiet der planerische Massnahmen und Gefahrenkarten.

Nr.	Ziele gemäss Broschüre «Leben mit dem Lawinenrisiko» (BUWAL, 1999; gelbe Kästchen)	Massnahmen und Produkte	Stand
7	Fehlende Gefahrenkarten erstellen, bestehende Gefahrenkarten überprüfen und in die Raumplanung umsetzen.	Nach dem Winter 1999 wurden viele Gefahrenkarten überprüft und falls erforderlich angepasst. 2018 sind gemäss BAFU 98 % der erforderlichen Gefahrenkarten erstellt. Wie der schweizweite Stand der raumplanerischen Umsetzung der Gefahrenkarte ist, konnte nicht erhoben werden.	Erfüllt Daueraufgabe
8	Gesuche für Wiederaufbau von beschädigten Gebäuden im roten Gefahrengebiet generell ablehnen.	Gemäss der Empfehlung Raumplanung und Naturgefahren (2006) soll der Wiederaufbau zerstörter Bauten nur in Ausnahmefällen und nur mit Auflagen erfolgen.	Eine Überprüfung dieser Forderung wurde nicht durchgeführt.
9	Richtlinie zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten von 1984 modernisieren und Gefahrenkarten als Entscheidungshilfe bei Sperrungen und Evakuierungen fördern.	Die Richtlinie von 1984 wurde nicht modernisiert. Mit dem WSL-Bericht Nr. 47 wurde die Richtlinie betreffend Schneegleiten und Kleinlawinen ergänzt (MARGRETH 2016). In diversen Kantonen werden basierend auf den Gefahrenkarten Interventionskarten erstellt.	Teilweise erfüllt; die Aktualisierung der Richtlinie von 1984 ist nicht realisiert.
10	Empfehlung zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei touristischen Transportanlagen erarbeiten.	2015 wurde der WSL-Bericht «Berücksichtigung der Lawinen- und Schneedruckgefährdung bei Seilbahnen» publiziert (MARGRETH *et al.* 2015).	Erfüllt

Tab. 19: Erfolgskontrolle der seit 1999 getroffenen Massnahmen und erarbeiteten Produkte auf dem Gebiet des baulichen Lawinenschutzes.

Nr.	Ziele gemäss Broschüre «Leben mit dem Lawinenrisiko» (BUWAL, 1999; gelbe Kästchen)	Massnahmen und Produkte	Stand
11	Finanzielle Mittel für die Substanzerhaltung der baulichen Lawinenschutzmassnahmen sicherstellen.	Die Kantone erstellen als Basis für eine Abschätzung der erforderlichen finanziellen Aufwendungen ein Schutzbautenmanagement sowie ein Schutzbauteninventar. Das BAFU hat das Datenmodell «Schutzbauten Naturgefahren» 2017 publiziert.	Daueraufgabe: Grundlagen erarbeitet, Umsetzung nicht in allen Kantonen abgeschlossen
12	Wegleitung erarbeiten, um die Wirtschaftlichkeit von baulichen Lawinenschutzmassnahmen landesweit nach einheitlichen Kriterien beurteilen zu können.	Das Online-Tool EconoMe (aktuell Version 4.0) zur Beurteilung der Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen wurde auf Basis des Leitfadens Risikokonzept für Naturgefahren entwickelt (BAFU 2019b; BRÜNDL ed. 2009).	Teilweise erfüllt; eine definitive Herausgabe des Leitfadens Risikokonzept sollte angegangen werden.
13	Grundlagen zur Bemessung von Lawinendämmen verbessern.	Das SLF publizierte 2007 die Anleitung zur Dimensionierung von Lawinenauffangdämmen (BAILLIFARD *et al.* 2007).	Erfüllt
14	Entscheidungshilfe für Rückzonungen im Einflussbereich von Schutzmassnahmen erarbeiten.	Die PLANAT erarbeitet 2009 im Rahmen des Aktionsplans einen Entwurf der Arbeitshilfe PROTECT, in der die Wirkung von Schutzmassnahmen untersucht wurde (ROMANG ed. 2008).	Teilweise erfüllt, raumplanerische Aspekte noch nicht in der Praxis umgesetzt und uneinheitliche Umsetzung: eine Überarbeitung und definitive Herausgabe der Arbeitshilfe sollte angegangen werden.
15	Lawinenschutz der wichtigen Verkehrsverbindungen mit wirtschaftlichen Massnahmen verbessern.	Das ASTRA hat eine Gefahrenanalyse und mit dem Instrument «RoadRisk» eine Risikoanalyse der Nationalstrassen erstellt. Die Projektierung und Realisierung der Schutzmassnahmen läuft. 2015 wurde die Praxishilfe für den Einsatz von Frühwarnsystemen für gravitative Naturgefahren publiziert (SÄTTELE und BRÜNDL 2015; siehe auch Punkt 3).	Daueraufgabe: Grundlagen erarbeitet, Umsetzung nicht abgeschlossen und je nach Infrastrukturbetreiber verschieden. Defizite gibt es bei den Bahnen, Kantons- und Gemeindestrassen.

Tab. 20: Erfolgskontrolle der seit 1999 getroffenen Massnahmen und erarbeiteten Produkte auf dem Gebiet der organisatorischen Massnahmen und der Lawinenwarnung.

Nr.	Ziele gemäss Broschüre «Leben mit dem Lawinenrisiko» (BUWAL, 1999; gelbe Kästchen)	Massnahmen und Produkte	Stand
16	Sicherung der Finanzierung der nationalen und regionalen Lawinenwarnung und Verbesserung der Ausbildung der Sicherheitsverantwortlichen.	Das BAFU beteiligt sich seit 1999 massgeblich an der Finanzierung der Lawinenwarnung (inkl. der Ausbildung) und unterstützt im Rahmen der Programmvereinbarungen mit den Kantonen die lokalen Lawinenwarndienste finanziell. Seit 2000 bietet das SLF Ausbildungskurse für Sicherheitsverantwortliche in zwei Stufen und drei Sprachen an.	Daueraufgabe: Um die Finanzierung durch das BAFU langfristig zu sichern, ist der Auftrag mit einer Anpassung des Naturgefahrenrechts gesetzlich besser zu verankern.

Nr.	Ziele gemäss Broschüre «Leben mit dem Lawinenrisiko» (BUWAL, 1999; gelbe Kästchen)	Massnahmen und Produkte	Stand
17	Erforderliche Informationen und Entscheidungshilfen für Warndienste verbessern.	Im Januar 2018 waren 180 IMIS-Stationen in Betrieb, 1999 waren es 103. Nach 1999 wurde das Interkantonale Frühwarn- und Kriseninformationssystem (IFKIS) eingeführt, das 2017 durch die gemeinsame Informationsplattform GIN teilweise abgelöst wurde. Die Praxishilfe «Arbeit im Lawinendienst» wurde 2007 publiziert.	Weitgehend erfüllt. GIN wird von den Lawinendiensten als bedingt praxistauglich beurteilt (insbesondere Zugang zu Messdaten). Aktualisierung der Praxishilfe «Arbeit im Lawinendienst» prüfen.
18	Finanzielle Mittel für Grundlagenforschung und Modellierung sicherstellen.	Das SLF führte mit eigenen finanziellen Mitteln die Forschung weiter.	Daueraufgabe
19	Information der Öffentlichkeit über die Lawinensituation verbessern.	Seit 2012 wird das Lawinenbulletin zweimal täglich in vier Sprachen publiziert. In zahlreichen Gemeinden können Informationen zur Lawinenlage über verschiedene Kanäle (z. B. SMS) abgerufen werden. Das Naturgefahrenportal www.naturgefahren.ch wurde als zusätzliche Informationsquelle geschaffen. Zusätzlich werden die Warnungen über die App des SLF (WhiteRisk) und von MeteoSchweiz verbreitet.	Daueraufgabe
20	Netz von kompetenten Lawinenspezialisten in betroffenen Regionen aufbauen.	Der Personalbestand der Lawinendienste wurde generell gegenüber 1999 erhöht und die Abstimmung zwischen den verschiedenen Organisationen besser geregelt.	Daueraufgabe; Nachfolgeregelungen stellen eine grosse Herausforderung dar und müssen frühzeitig angegangen werden.
21	Kommunikation und Versorgung der Bevölkerung in abgeschnittenen Ortschaften sicherstellen.	Stromversorgung ist seit 1999 in vielen lawinengefährdeten Tälern verbessert worden. Versorgung war im Januar 2018 nicht kritisch, wurde nicht untersucht.	Nicht untersucht
22	Zusammenarbeit zwischen Krisenstäben, Polizei, Feuerwehr, Zivilschutz und Militär optimieren.	2018 allg. bessere Strukturen für Bewältigung von kritischen Ereignissen (Sommer u. Winter); z. T. waren Gemeindeführungsstäbe im Einsatz.	Nicht untersucht
23	Subventionen von eidgenössischen und kantonalen Fachstellen harmonisieren, um Geschädigte unbürokratisch unterstützen zu können.	Wurde nicht untersucht.	Nicht untersucht
24	Früherkennung und Koordination von sämtlichen Naturgefahren ist zu verbessern.	«Lenkungsausschuss Intervention Naturgefahren (LAINAT)» wurde gebildet. Bei kombinierten Ereignissen kommt der Fachstab zum Einsatz. Der Fachstab musste im Januar 2018 nicht aktiviert werden.	Daueraufgabe
25	Gefahrenkarten rasch in Nutzungsplänen umsetzen.	Nach 1999 wurden etliche Gefahrenkarten überarbeitet und in die Raumplanung umgesetzt. Dadurch konnten 2018 mit grosser Wahrscheinlichkeit Gebäudeschäden verhindert werden. Eine Quantifizierung ist jedoch nicht möglich; siehe auch Punkt 7.	Erfüllt (siehe auch Punkt 7)
26	Restrisiko mit Hilfe eines ganzheitlichen Risikomanagements zu verhältnismässigen Kosten minimieren.	Das integrale Risikomanagement ist inzwischen etabliert und wird von den Akteuren umgesetzt. Die Eliminierung von unzulässigen Risiken durch Lawinen im institutionellen Verantwortungsbereich ist in den Kantonen weit fortgeschritten. Das verbleibende Restrisiko wird durch die Versicherungen und letztlich durch die Eigenverantwortung getragen.	Mehrheitlich erfüllt Daueraufgabe

6 Erkenntnisse und Handlungsbedarf

6.1 Erkenntnisse

Im Januar 2018 fiel ausserordentlich viel Schnee (2–3 m vom 17.–23. Januar 2018; Jährlichkeit: 15–30 Jahre) und es kam zu einer ausserordentlichen Lawinensituation. Erstmals seit 1999 wurde die Lawinengefahr für weite Teile des Alpenraums als «sehr gross», also mit der höchsten Gefahrenstufe prognostiziert. In der Folge gingen sehr viele grosse und sehr grosse Lawinen nieder, die vielerorts in den Bereich von Strassen und Siedlungen vorstiessen. Da es in tieferen Lagen regnete und die Schneedecke feucht war, waren die Auslauflängen der sehr grossen Lawinen meist nicht aussergewöhnlich. Dies führte dazu – in Kombination mit sehr guten präventiven Massnahmen der lokalen Sicherheitsverantwortlichen –, dass die Schäden relativ gering waren. Insgesamt haben wir Ende Januar 2019 lediglich von 141 Schadenlawinen Kenntnis, welche zwischen dem 3. und 23. Januar 2018 Schäden an Gebäuden, Verkehrswegen, Fahrzeugen, Stromleitungen oder Transportanlagen, Wald oder Flur verursachten. Bei 53 Lawinen kam es zu einer Räum- oder Suchaktion. Menschen kamen in gesicherten Gebieten keine zu Schaden.

Die vom BAFU nach den Lawinenereignissen in Auftrag gegebene Ereignisanalyse zeigt, dass die nach dem Lawinenwinter 1998/99 geforderten Massnahmen grösstenteils realisiert wurden. Sie haben sich weitestgehend bewährt. Dabei gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass die Lawinenperioden im Januar 2018 bei weitem nicht das Ausmass erreichten wie im Lawinenwinter 1999. Ein direkter Vergleich ist damit nur beschränkt möglich.

Insbesondere waren die Niederschlagssummen 2018 geringer als 1999. Der Januar 2018 war zudem deutlich wärmer als der Februar 1999. Deshalb fiel der Niederschlag 2018 in tiefen und mittleren Lagen oft als Regen. Damit lag vor allem unterhalb von rund 1300 m ü. M. deutlich weniger Schnee als im Februar 1999, und unterhalb von rund 2000 bis 2200 m ü. M. wurde dieser gegen Ende der Niederschläge oberflächlich feucht.

Die hohe Nullgradgrenze und der Regen bis in hohe Lagen im Januar 2018 könnten zur Schlussfolgerung verleiten, dass diese Phänomene im Zusammenhang mit der Klimaerwärmung stehen. Dazu ist zu bemerken, dass von einem Einzelereignis wie der Lawinensituation im Januar 2018 kein Bezug zum Klimawandel hergestellt werden kann. Auch im Februar 1999 stieg die Schneefallgrenze zwischenzeitlich am 19./20. Februar bis über 2000 m ü. M. an. an. Bei der jüngsten Grossschneefallsituation im Januar 2019 waren die Temperaturen hingegen durchwegs tief. Der Einfluss der Klimaerwärmung auf die Lawinenaktivität ist bisher generell unklar.

Die Lawinenperioden im Januar 2018 wurden von den Lawinendiensten im Allgemeinen gut bewältigt, auch wenn vor allem die teilweise hohe und variable Schneefallgrenze eine zusätzliche Herausforderung darstellte, da der Regen in den tiefen Lagen auch Prozesse wie Rutschungen, Murgänge und Steinschlag auslöste.

Die Lawinenwarnung des SLF hat gut funktioniert. Die Verifikation der Prognose anhand der Satellitendaten hat gezeigt, dass in den weitaus meisten Gebieten, in denen die Gefahr als «sehr gross» prognostiziert wurde, die höchste Gefahrenstufe angemessen war. In vereinzelten Warnregionen wurde die Gefahr leicht unter- oder überschätzt.

Schutzbauten und die raumplanerischen Massnahmen (Ausscheidung der Gefahrenzonen) haben sich allgemein gut bewährt, auch wenn punktuell Verbesserungen notwendig sind. So wurden zum Beispiel einige grössere Lawinenanrisse in Verbauungen beobachtet.

Der Schutzwald hat seine Funktion gut erfüllt, allerdings war die Lawinensituation 2018 kein typisches Ereignis, anhand dessen man die Schutzwirkung des Waldes fundiert untersuchen konnte. Sehr viele Lawinen rissen oberhalb der Waldgrenze an.

Die Auswertung von Satellitenbildern zur Ereignisdokumentation und -analyse hat sich bewährt und hat einen einmaligen Datensatz erzeugt.

Die wesentlichen Verbesserungen seit 1999 lassen sich wie folgt zusammenfassen:
- Die Lawinenwarnung wurde national und regional gestärkt. Heute werden zweimal pro Tag Lawinenbulletins in vier Sprachen publiziert. Das trägt auch zu einer besseren Information der Öffentlichkeit bei. Diese Verbesserungen funktionierten in der Lawinenperiode vom Januar 2018 einwandfrei.
- Die den Lawinendiensten zur Verfügung stehenden Mess- und Modelldaten wurden verbessert. Die Anzahl der IMIS-Stationen wurde gegenüber 1999 nahezu verdoppelt und die Lücken im Messnetz konnten reduziert werden. Weiter wurde das Interkantonale Frühwarn- und Kriseninformationssystem (IFKIS) eingeführt, das 2017 teilweise durch die Gemeinsame Informationsplattform für Naturgefahren GIN abgelöst wurde.
- Ein Ausbildungskonzept für Sicherheitsverantwortliche wurde geschaffen. Seit 2000 bietet das SLF Ausbildungskurse für Sicherheitsverantwortliche in zwei Stufen und drei Sprachen an.
- Für Lawinendienste wurde 2007 der Praxisleitfaden «Arbeit im Lawinendienst» eingeführt. Der Praxisleitfaden zeigt die grundsätzlichen Anforderungen an die Arbeit eines Lawinendienstes auf.
- Der Schutz von zahlreichen Strassen und Siedlungsteilen konnte mit einer starken Erhöhung der Anzahl ortsfester Sprenganlagen und Alarmanlagen kostengünstig verbessert werden. Wesentlich zu einem besseren Schutz haben auch seit 1999 verbesserte Entscheidungsgrundlagen und gut organisierte Lawinendienste beigetragen.
- Nach dem Lawinenwinter 1999 wurden die Gefahrenkarten überprüft und wo nötig überarbeitet. Im Januar 2018 wurden in der Lawinenhauptfliessrichtung keine Grenzen von Lawinengefahrenkarten überflossen.
- 2015 wurde der Leitfaden für die Praxis zur «Berücksichtigung der Lawinen- und Schneedruckgefährdung bei Seilbahnen» publiziert. Im Januar 2018 wurden nur vier Anlagen durch Lawinen oder Schneedruck beschädigt.
- Die Einführung des Online-Tools EconoMe im Jahre 2008 auf Basis des Leitfadens Risikokonzept Naturgefahren der PLANAT erlaubt, die Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen nach einheitlichen Massstäben zu bestimmen.
- Die 2008 als vorläufige Version publizierte Arbeitshilfe PROTECT (ROMANG 2008) erlaubt, die Wirkung von Schutzmassnahmen nach einheitlichen Massstäben zu quantifizieren.
- Die Erkenntnisse aus dem Lawinenwinter 1999 wurden bei der Überarbeitung der Technischen Richtlinie für den «Lawinenverbau im Anbruchgebiet» im Jahre 2007 berücksichtigt. Die im Winter 2018 beschädigten Stützwerke wurden mehrheitlich vor 2007 erstellt. Weiter wurde 2007 die Anleitung zur Dimensionierung von Lawinenauffangdämmen publiziert.
- Die Simulation von Lawinen konnte mit der Einführung von numerischen Berechnungsmodellen verbessert werden. 1999 wurde AVAL-1D in die Praxis eingeführt und 2010 das 2-dimensionale Simulationsmodell RAMMS. Die numerischen Simulationsmodelle erlauben eine umfassendere Beurteilung der Lawinengefährdung. Die Erkenntnisse aus dem Lawinenwinter 1999 konnten bei der Kalibrierung von numerischen Lawinensimulationsmodellen berücksichtigt werden.
- Die Schutzfunktion des Waldes konnte durch die Schutzwaldpflege in den letzten Jahrzehnten vielerorts verbessert werden. Nach dem Winter 1999 wurden etliche zerstörte Waldflächen mit technischen Massnahmen ersetzt und aufgeforstet. Im Sinn der NFA wird im Teilprogramm Schutzwald die Pflege des Schutzwaldes (inkl. Verhütung und Bekämpfung von Waldschäden und der Wildschadenverhütung innerhalb des Schutzwaldperimeters) im Rahmen von 4-jährigen Programmvereinbarungen von Bund und Kantonen mitfinanziert. Der Bund erteilt den Kantonen die Mittel auf der Grundlage des Schutzwaldindexes. Dieser Schutzwaldindex ist ein Resultat des im Jahr 2004 gestarteten Projektes SilvaProtect-CH. Dabei wurden zum ersten Mal die Schutzwälder der Schweiz nach gesamtschweizerischen, einheitlichen Methoden ausgeschieden. Diese Objektivität fördert eine Schutzwaldpflege am «richtigen Ort». Die im Jahr 2005 publizierte Wegleitung «Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald» (Nais, FREHNER *et al.* 2005) dient als Grundlage für die nachhaltige Qualitätssicherung der Schutz-

waldpflege. Bei der Erforschung der Interaktionen zwischen Lawinen und Wald wurden seit 1999 Fortschritte erzielt, welche es unter anderem ermöglichen, die Waldstruktur besser in Simulationsmodellen zu berücksichtigen.
– Die Zusammenarbeit der Fachstellen des Bundes im Naturgefahrenbereich wurde mit der Bildung des «Lenkungsausschusses Intervention Naturgefahren» (LAINAT) verbessert.

6.2 Gesetzliche Grundlagen und Finanzierung

Die oben genannten Verbesserungen und Projekte förderte das BAFU zusammen mit den Kantonen mit Abgeltungen und Finanzhilfen. Die Sicherung von Siedlungen und Verkehrsachsen vor Lawinen ist schon seit Jahrhunderten eine Verbundaufgabe des Bundes, der Kantone und Gemeinden. Der Bund leistet für den Schutz vor Lawinen Abgeltungen und Finanzhilfen an bauliche, organisatorische und planerische Massnahmen von jährlich etwa 10 Mio. Franken. Zusammen mit den Beiträgen der Kantone und Gemeinden werden schweizweit jährlich rund 25 Mio. Franken in den Lawinenschutz investiert. Hinzu kommen noch jährlich rund 70 Mio. Franken Bundesbeiträge und Kantonsbeiträge in gleicher Höhe an die Schutzwaldpflege. Rund 20 Prozent davon sind für den Lawinenschutz nötig.

Das SLF ist mit der Lawinenwarnung für die Schweiz beauftragt. Die Finanzierung erfolgt einerseits aus dem Budget der WSL (Mittel des ETH-Bereiches), und andererseits durch Beiträge des BAFU. Seit rund 20 Jahren bestehen dazu zwischen dem SLF und dem BAFU Leistungsvereinbarungen. Bisher reichte diese Finanzierung insgesamt aus, um die geforderten Leistungen erbringen zu können. Würde jedoch der Beitrag des BAFU fehlen, müsste die Lawinenwarnung einschneidend eingeschränkt werden, und der heutige Standard mit täglich zwei Bulletins und weiteren Services wäre nicht mehr gewährleistet.

Mit den gesetzlichen Grundlagen (Bundesgesetz über den Wald vom 4. Oktober 1991 und der Verordnung über den Wald vom 30. November 1992) kann die öffentliche Hand den Lawinenschutz im Sinne des integralen Risikomanagements sicherstellen. Für die Finanzhilfe an das SLF für den Betrieb der Lawinenwarnung ist die gesetzliche Grundlage zu verbessern.

6.3 Handlungsbedarf

Neben den obigen positiven Entwicklungen im Lawinenschutz zeigte die ausserordentliche Lawinensituation im Januar 2018 auch deutlich, dass in verschiedenen Bereichen noch Verbesserungen möglich sind. Im Folgenden fassen wir den wichtigsten Handlungsbedarf zusammen. Dieser ist teilweise eine direkte Folge der Analyse zur Lawinensituation im Januar 2018. Andererseits werden auch Punkte erwähnt, die sich aufgrund der allgemeinen Erfahrung und der Entwicklung seit 1999 aufdrängen.

Integraler Lawinenschutz

Raumplanerische Massnahmen und Gefahrenkarten

– Die Richtlinie zur «Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten» aus dem Jahre 1984 ist zu überarbeiten. Es gilt im Vergleich mit der Vollzugshilfe «Massenbewegungen 2016» auch bei den Lawinen den neuen Standard der Gefahrenbeurteilung darzulegen (Modellierungen usw.).

Bauliche Massnahmen

– Verschiedene Lawinenabgänge aus verbauten Anrissgebieten haben in Erinnerung gerufen, dass es trotz Lawinenverbauungen zu einzelnen Lawinen kommen kann; einen absoluten Schutz gibt es nicht. Einzelne Schäden an Lawinenverbauungen machen deutlich, dass dem Unterhalt der Verbauungen eine grosse, stetig wichtiger werdende Bedeutung zukommt.

Schutzwald
- Schutzwaldpflegeeingriffe sollten nach nachvollziehbaren Prioritäten geplant werden. Die Erkenntnisse aus der Wirkungsanalyse auf Weiserflächen sollten umgesetzt werden. In diesem Zusammenhang ist auch der Wald-/Wild-Problematik entsprechende Beachtung zu schenken.

Lawinenwarnung und organisatorische Massnahmen
- Die Organisation und Zusammenarbeit von Gemeindeführungsstäben, Lawinendiensten, Einsatzkräften usw. über verschiedene Akteure hinweg (Gemeinde, Strassen, Bahnen, Bergbahnen) sollte weiter verbessert werden. Dazu zählt insbesondere auch eine klare Kompetenzabgrenzung, wer zum Beispiel für entlegene Gebäude verantwortlich ist.
- Die gestiegenen Anforderungen an die Sicherheit erfordern insgesamt eine weitere Professionalisierung der Lawinendienste, insbesondere was die zeitlichen und personellen Ressourcen anbetrifft. Diese müssen nachhaltig gesichert werden. Die Sicherung der Kontinuität und der Erhalt der langjährigen Erfahrung in den Lawinendiensten ist in vielen Gemeinden eine grosse Herausforderung und muss rechtzeitig angegangen werden.
- Es besteht nach wie vor Bedarf für die Erstellung von Notfallplanungen, Interventionskarten und Sicherheitskonzepten in den Gemeinden. Dabei ist zum Beispiel in vielen Fällen der Umgang mit Bewohnern in freistehenden Wohnhäusern oder in Maiensässen nicht klar. Regelungen für Sperrungen und Evakuationen sind zu erarbeiten.
- Die Informationssysteme und Entscheidungsgrundlagen für die Lawinendienste sind weiter zu verbessern. Diese Systeme müssen auch auf mobilen Endgeräten zur Verfügung stehen.
- Die Gemeinsame Informationsplattform Naturgefahren GIN soll auf die Praxistauglichkeit weiter kritisch überprüft und weiterentwickelt werden. Eine Version für mobile Endgeräte ist zu entwickeln.
- Die Integration der Daten neuer Systeme wie zum Beispiel von Detektionsanlagen in die Informationssysteme für Lawinendienste ist voranzutreiben.
- Für die künstliche Lawinenauslösung in Grossschneefallsituationen sind Leitlinien nötig. Ebenfalls sollte geklärt werden, wann und wo Detektionssysteme in Kombination mit fixen Systemen der künstlichen Lawinenauslösung zwingend sind.
- Der Umgang mit Schneefallereignissen mit einer hohen Schneefallgrenze sollte in die Ausbildungskurse der Lawinendienste Eingang finden. Regen in tieferen Lagen kann zudem Ursache für Rutschungen, Murgänge oder Steinschlag sein.

Integrales Risikomanagement
- Die fachlichen Grundlagen und Arbeitshilfen zur Umsetzung des integralen Risikomanagements müssen periodisch überprüft und dem Stand des aktuellen Wissens angepasst werden. Dazu zählen zum Beispiel die beiden Leitfäden «Risikokonzept für Naturgefahren» (Bründl 2009) und «Wirkung von Schutzmassnahmen» (Romang 2008), die gegenwärtig nur als vorläufige Versionen aus den Jahren 2008 beziehungsweise 2009 vorliegen. Die definitive Herausgabe der Arbeitshilfen sollte daher zeitnah angegangen werden.
- Die Erwartung der absoluten Sicherheit ist eine Illusion. Die Bevölkerung ist im Umgang mit Restrisiken und der Rolle der gelebten Eigenverantwortung zu sensibilisieren.
- Die erhöhte Bedeutung der organisatorischen Massnahmen im Rahmen des integralen Risikomanagements bedingt zudem, dass die getroffenen Massnahmen in der Bevölkerung auch breite Akzeptanz finden, das heisst, dass zum Beispiel Sperrungen vorbehaltlos beachtet werden.

Forschung
- Die Lawinenkartierung mittels Satellitendaten im Rahmen dieser Ereignisanalyse hat das grosse Potenzial der Fernerkundung aufgezeigt. Die Eignung verschiedener Fernerkundungsmethoden zur Erfassung der Lawinenaktivität soll weiter analysiert werden. Daraus sind Empfehlungen zur Beschaffung von Daten in künftigen Lawinenperioden abzuleiten.

– Der Umgang mit Gleitschneelawinen (und vereinzelt neuen Phänomenen wie «Slushflows») stellt die Lawinendienste vor grosse Herausforderungen. Die Erforschung der Ursachen und der zeitlichen Entwicklung des Gleitschnees sollten intensiviert werden. Das SLF sollte dazu ein oder mehrere Forschungsprojekte initiieren und in Zusammenarbeit mit der Praxis (SILS) durchführen.
– Der Einfluss des Klimawandels auf die zukünftige Lawinenaktivität sollte detaillierter untersucht werden. Es ist zurzeit nicht klar, wie sich die prognostizierte Erwärmung und das leicht veränderte Niederschlagsregime auf die Lawinenaktivität, insbesondere in Grossschneefallsituationen, auswirken könnten.

Rechtliche Grundlagen
– Für die Sicherung der langfristigen Finanzierung der Lawinenwarnung durch das SLF ist die rechtliche Grundlage zu verbessern.
– Der Begriff des integralen Risikomanagements ist in der Naturgefahrengesetzgebung zu verankern.

7 Literatur

BAFU, 2019a: Naturereigniskataster StorMe. Bundesamt für Umwelt, Bern.

BAFU, 2019b: EconoMe 4. Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren, www.econome.admin.ch. Letzter Zugriff: 3.5.2019.

Baillifard, M.; Kern, M.; Margreth, S., 2007: Anleitung zur Dimensionierung von Lawinenauffangdämmen. WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos.

Bozzini, C.; Conedera, M.; Krebs, P., 2012: A new monoplotting tool to extract georeferenced vector data and orthorectified raster data from oblique non-metric photographs. International Journal of Heritage in the Digital Era, 1, 3: 500-518. doi: 10.1260/2047-4970.1.3.499.

Bründl, M. (Ed.) 2009: Risikokonzept für Naturgefahren – Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 420 S.

BUWAL/WSL, 1990: Richtlinien für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet. BUWAL, Eidg. Forstdirektion, Bern, WSL, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos.

BUWAL, 1999: Leben mit dem Lawinenrisiko. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 27 S.

Coaz, J.W.F., 1889: Der Lauinenschaden im schweizerischen Hochgebirge im Winter und Frühjahr 1887–88. Stämpflische Buchdruckerei Bern, 67 S.

Coaz, J.W.F.: 1910: Statistik und Verbau der Lawinen in den Schweizeralpen. Stämpfli, Bern.

EAWS, 2017: Avalanche Danger Scale. EAWS - European Avalanche Warning Services, www.avalanches.org/eaws/en/main_layer.php?laye r=basics&id=2 (last accessed: 11 August 2018).

Deragisch, A.; Cathomas, F.; Flepp, M.; Cathomen, S.; Giger, B.; Cadosch, W.; Cavegn, P.; Flepp, O, 2018: Regionaler Lawinendienst Tujetsch Zusammenfassung der Jahresberichte 2017/18 Gemeinde Tujetsch, Gemeinde Sumvitg, Gemeinde Medel, Gemeinde Disentis/Mustér, Andermatt-Sedrun Sport AG, Rhätische Bahn, Matterhorn Gotthard Bahn, Tiefbauamt Graubünden Bezirk 6, Pro Lucmagn.

Frehner, M.; Wasser, B.; Schwitter, R., 2005: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 564 S.

Gerstengarbe, F.-W.; Werner, P.-C.; Rüge, U., 1999: Katalog der Grosswetterlagen Europas (1881–1998). Nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky. 5. Auflage. Potsdam/Offenbach a. M.

Laternser, M.; Ammann, W., 2001. Der Lawinenwinter 1951. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 152: 25–35.

Margreth, S., 2007: Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Technische Richtlinie als Vollzugshilfe. Umwelt-Vollzug Nr. 0704. Bundesamt für Umwelt, Bern, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos. 101 S.

Margreth, S., 2016: Ausscheiden von Schneegleiten und Schneedruck in Gefahrenkarten. WSL Ber. 47:

Margreth, S.; Stoffel, L.; Schaer, M., 2015: Berücksichtigung der Lawinen- und Schneedruckgefährdung bei Seilbahnen. Ein Leitfaden für die Praxis. WSL Ber. 28: 43 S.

Mayer, S.; van Herwijnen, A.; Ulivieri, G.; Schweizer, J., 2018: Evaluating the performance of operational infrasound avalanche detection systems at three locations in the Swiss Alps during two winter seasons, Proceedings ISSW 2018. International Snow Science Workshop, Innsbruck, Austria, 7–12 October 2018, pp. 611–615.

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT), 2013: Sicherheitsniveau für Naturgefahren.

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT), 2004: Sicherheit vor Naturgefahren – Vision und Strategie.

Protools, 2016: https://www.slf.ch/de/services-und-produkte/protools.html

Romang, H. (Ed.) 2008: Wirkung von Schutzmassnahmen (PROTECT). Nationale Plattform für Naturgefahren. PLANAT, Bern. 289 S.

Sättele, M.; Bründl, M., 2015: Praxishilfe für den Einsatz von Frühwarnsystemen für gravitative Naturgefahren. Davos: WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF; Bern, Bundesamt für Bevölkerungsschutz / BABS.

Schwarz, W., 1968: Grenzen des modernen Lawinenverbaus im Anrissgebiet. Schweizerische Bauzeitung, 86: 31.

SLF 1952: Schnee und Lawinen in den Schweizeralpen Winter1950/51. Winterberichr des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung Weissfluhjoch/Davos, Nr. 15. Davos.

SLF (Hrsg.) 2000: Der Lawinenwinter 1999. Ereignisanalyse. Davos, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung. 588 S. ISBN 3-905620-80-4.

SIA, 2014: Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizer Norm 505 261. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

STOFFEL, L.; SCHWEIZER, J., 2007: Praxishilfe. Arbeit im Lawinendienst: Organisation, Beurteilung lokale Lawinengefährdung und Dokumentation. Münster, Schweizerische Interessengemeinschaft Lawinenwarnsysteme (SILS); Davos, WSL, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF; Bern, Bundesamt für Umwelt BAFU. 8 S.

STOFFEL, L.; MARGRETH, S., 2012: Beurteilung von Sekundärlawinen bei künstlicher Lawinenauslösung. Anleitung für die Praxis. Umwelt-Wissen: Vol. 1222. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

STOFFEL, L., 2013: Vergleich der Sprengmethoden: Gazex, Lawinenwächter/-mast Inauen-Schätti, Wyssen Sprengmast, Avalancheur. Davos: WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF.

STOFFEL, L., 2004: Künstliche Lawinenauslösung – Rechts- und Versicherungsfragen – Praxishilfe. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 31 S.

WOHLGEMUTH, T.; SCHWITTER, R.; BEBI, P.; SUTTER, F.; BRANG, P., 2017: Post-windthrow management in protection forests of the Swiss Alps. Eur. J. Forest. Res. 136: 1029–1040

WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (Hrsg.), 2017: Interpretationshilfe zum Lawinenbulletin. Ausgabe Dezember 2017. WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF. 52 S.

WSL, BUWAL, 2001: Lothar. Der Orkan 1999. Ereignisanalyse. Birmensdorf: Eidgenöss. Forschungsanstalt WSL. 365 p.