



# Bestimmung der Lawinengefahrenstufe bei der regionalen Lawinenvorhersage

## EAWS-AG Matrix und Gefahrenstufenskala

Die Arbeitsgruppe Matrix & Gefahrenstufenskala empfiehlt die Verwendung der im vorliegenden Dokument genannten Definitionen, Begriffe und Klassen zur Beschreibung der Lawinengefahr. In den folgenden Abschnitten werden die Lawinengefahrenstufe und die dazugehörigen Faktoren definiert: Schneedeckenstabilität, Häufigkeitsverteilung der Stabilitätsklassen und Lawinengröße. Eine Lawinengefahrenstufe kann nur für ein Gebiet mit einer bestimmten Größe herausgegeben werden. Im Kapitel zur Bestimmung des räumlichen und zeitlichen Rahmens finden sich die Begriffe und Leitlinien für diesen Prozess. Abschließend werden der Workflow und die EAWS-Matrix erläutert, die zur Bestimmung der Gefahrenstufe eingesetzt werden sollten. Im Anhang finden sich weitere Details und Beispiele zu unseren Überlegungen und den Arbeitsprozess.

Mitglieder unserer Arbeitsgruppe: Müller, Karsten (NO, AG-Leiter); (in alphabetischer Reihenfolge): Bellido, Guillem (AD); Bertranda, Lorenzo (IT); Feistl, Thomas (DE); Mitterer, Christoph (AT); Palmgren, Petter (SE); Sofia, Stefano (IT); Techel, Frank (CH); Nicolas Roux und Anne Dufour (FR) seit September 2021.

## Lawinengefahrenstufe

Definition:

Die Lawinengefahrenstufe ist eine Funktion der Schneedeckenstabilität, der Häufigkeitsverteilung der Stabilitätsklassen und der Lawinengröße innerhalb einer festgelegten Einheit (Raum und Zeit). Es gibt fünf Lawinengefahrenstufen: 5-sehr groß, 4-groß, 3-erheblich, 2-mäßig, 1-gering.

## Festlegung des räumlichen und zeitlichen Rahmens

Folgende räumliche Referenzgrößen müssen bei der Bestimmung der Lawinengefahrenstufe für eine Region berücksichtigt werden.

### Vorhersagegebiet

Ein Vorhersagegebiet ist der Verantwortungsbereich eines Lawinenwarndienstes bei der Ausgabe öffentlicher Lawinenvorhersagen. Das Vorhersagegebiet eines Warndienstes ändert sich normalerweise nicht.

### Mikroregion

Mikroregionen sind die kleinsten, geografisch klar begrenzten Gebiete zur Beurteilung der Lawinengefahr. Sie sind festgelegt und ändern sich nicht. Sie erlauben es dem Nutzer der Vorhersage außerdem, genau zu wissen, welche Region beschrieben wird. Sie können durch Verwaltungsgrenzen definiert sein (z.B. Landesgrenzen, Staatsgrenzen, Regionen oder Provinzen); sie beschreiben klimatisch, hydrologisch oder meteorologisch homogene Regionen; sie können auch auf orografischen Abgrenzungen oder einer Kombination dieser Faktoren basieren (Techel et al., 2018).

### Referenzeinheit

Eine Referenzeinheit ist die kleinste räumlich-zeitliche Einheit, für die eine Lawinengefahrenstufe vergeben werden kann. Eine Referenzeinheit kann durch unterschiedliche Höhen und/oder Expositionen innerhalb einer Mikroregion umrissen werden (Abb. 1). Sie muss groß genug sein, um unterschiedliches Lawinengelände zu umfassen, so dass die Ausgabe einer Lawinengefahrenstufe sinnvoll ist. Die Referenzeinheit muss definiert werden und innerhalb eines Lawinenwarndienstes (und idealerweise über Lawinenwarndienste hinweg) konsistent verwendet werden.

### Warnregion

Bei einer Warnregion handelt es sich um die Aggregation von Mikroregionen, in denen die Lawinenverhältnisse für ähnlich gehalten und deren Gefahrenstufe, kritische Expositionen und Höhenbereiche mit derselben vorherrschenden Lawinengefahr und Lawinenproblemen beurteilt werden und die Gefahrenbeschreibung gleich ist. Die Aggregation kann sich täglich ändern. Eine Warnregion ist kleiner oder genauso groß wie ein Vorhersagegebiet und größer oder ebenso groß wie eine Referenzeinheit.

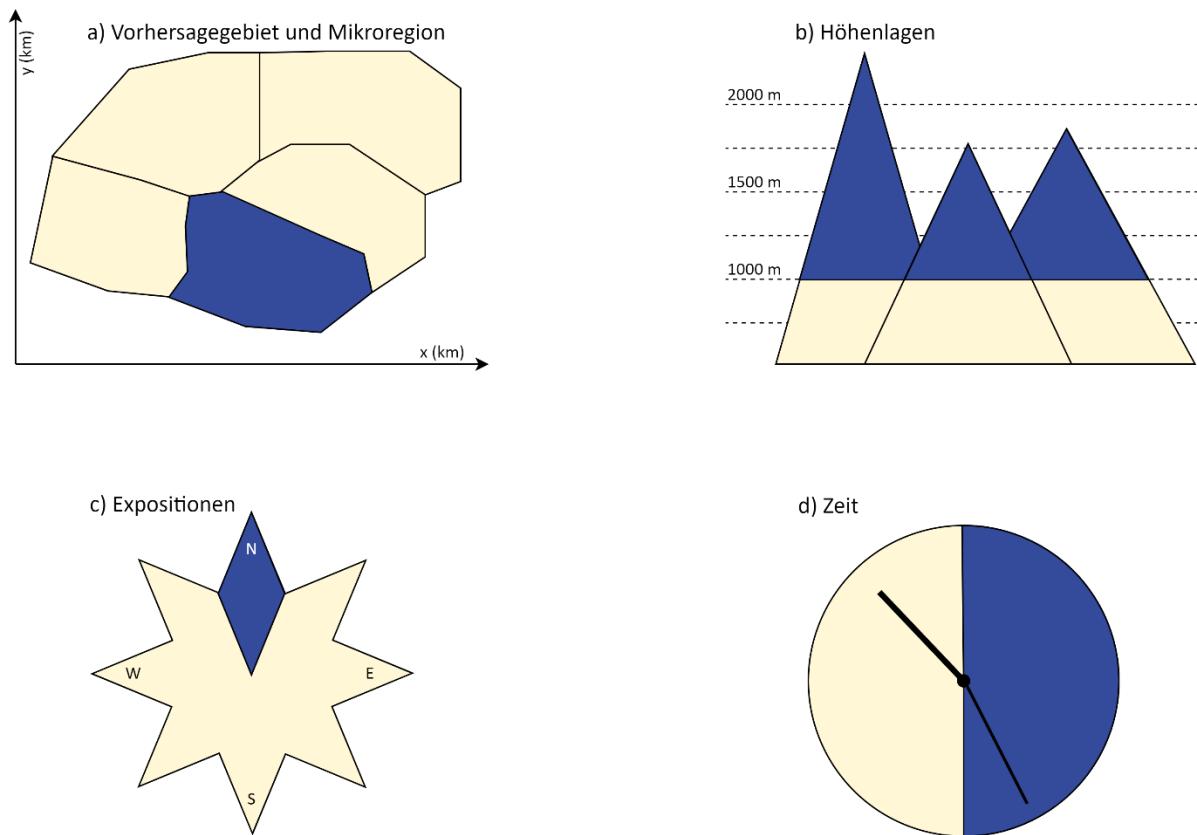
### Auflösung

Die verwendete räumlich-zeitliche Auflösung zur Beurteilung der Lawinengefahr hängt hauptsächlich von der Verfügbarkeit relevanter und zuverlässiger Daten in ausreichender räumlicher Dichte und zeitlicher Häufigkeit ab. Daher wird die Auflösung der Beurteilung der Lawinengefahr bei den einzelnen Warndiensten unterschiedlich sein. Üblicherweise kennzeichnen folgende Elemente die räumlich-zeitliche Auflösung bei der Bestimmung der Lawinengefahrenstufe:

- Die Größe der Mikroregionen innerhalb eines Vorhersagegebiets (Abb. 1a),

- Die Auflösung von Höhe und/oder Exposition (Abb. 1b und c), sowie
- Die zeitliche Unterteilung innerhalb der Gültigkeitsdauer einer Vorhersage (z. B. vormittags/nachmittags, Abb. 1d).

Die Auflösung dieser Elemente definiert die kleinsten räumlich-zeitlichen Einheiten, anhand derer ein Warner, eine Warnerin eine Lawinengefahrenstufe herausgeben kann und auf die wir uns als Referenzeinheit beziehen.



*Abb. 1: Üblicherweise ist eine Referenzeinheit durch die Kombination der kleinsten Unterteilungen der Elemente gekennzeichnet: (a) die kleinste geografische Einheit (Mikroregion) in einem Vorhersagegebiet, (b) die Auflösung von Höhe und (c) Exposition sowie (d) die zeitliche Unterteilung. In der Abbildung sind solche Untereinheiten farblich hervorgehoben. Hier definiert die Größe der einzelnen Mikroregion die räumliche Ausdehnung, die Höhe ist in 200 Meter-Schritten aufgelöst, wird aber oberhalb (oder unterhalb) eines Schwellenwertes beurteilt. Die Exposition ist in acht Bereiche unterteilt und die zeitliche Unterteilung erlaubt eine Trennung zwischen Vormittag und Nachmittag. Die Kombination der blau markierten Elemente stellt die Referenzeinheit dar, als kleinste räumlich-zeitliche Einheit, für die die Lawinengefahrenstufe festgelegt werden kann.*

## Schneedeckenstabilität

Definition:

Die Schneedeckenstabilität ist eine lokale Eigenschaft der Schneedecke, welche die Bereitschaft eines schneebedeckten Hangs, sich als Lawine zu lösen, beschreibt. (Reuter and Schweizer, 2018). Die Schneedeckenstabilität wird in vier Klassen unterteilt: *sehr schlecht, schlecht, mittel und gut*.

Anmerkungen

1. In Abhängigkeit vom Lawinentyp wird die Schneedeckenstabilität beschrieben durch:
  - a. Bruchinitiierung, Bruchausbreitung und Zugfestigkeit (Schneebrettlawine) (Reuter und Schweizer, 2018)
  - b. Festigkeits-/Bindungsverlust (Lockerschneelawine) (z.B., McClung und Schaerer, 2006)
  - c. Verlust der Bodenreibung, Zugfestigkeit und/oder Abstützung durch den Stauchwall (Gleitschneelawine) (z.B., Bartelt et al., 2012).
2. Die Schneedeckenstabilität steht im umgekehrten Verhältnis zur Auslösewahrscheinlichkeit. Schneedeckenstabilität beschreibt das Versagen der Schneedecke bei einem bestimmten Auslöser (Trigger) (Statham et al., 2018a), wie etwa einer Person, die mit Skiern einen Hang hinabfährt. Tabelle A 1 im Anhang A gibt einen Überblick über synonome Begriffe aus der Literatur.
3. Der Begriff *lokal* bezieht sich auf eine Stelle, die in der Größenordnung zwischen einem potenziellen Auslösepunkt oder Stabilitätstest und einem Anrissgebiet liegt.
4. Alle Beurteilungen der Schneedeckenstabilität beziehen sich entweder auf die Zukunft (Vorhersage) oder die Gegenwart (Momentaufnahme) und basieren auf Beobachtungen oder Modellen. D.h., wenn die Schneedeckenstabilität in einem Auslösegebiet heute mit *mittel* beurteilt wird und bis morgen Neuschnee erwartet wird, muss für die Einschätzung der morgigen Schneedeckenstabilität die zusätzliche Neuschneeschicht berücksichtigt werden. Wahrscheinlich hat sich die Schneedeckenstabilität bis dahin zu *schlecht* oder sogar *sehr schlecht* verändert.

*Tabelle 1: Stabilitätsklassen und die Art der normalerweise mit den Klassen verbundenen Auslösebereitschaft. Weitere Beispiele für diese Klassen finden sich in den Abb. A1 – A3 in Anlage A.*

Stabilitätsklasse	Wie leicht kann eine Lawine ausgelöst werden?
<b>Sehr schlecht</b>	Spontan / sehr leichte Auslösung
<b>Schlecht</b>	Leicht (z.B. einzelner Skifahrer)
<b>Mittel</b>	Schwer (z.B. künstliche Auslösung)
<b>Gut</b>	Stabile Verhältnisse

## Häufigkeitsverteilung der Schneedeckenstabilität

Definition:

Die Häufigkeitsverteilung der Schneedeckenstabilität beschreibt den Anteil an Punkten jeder Stabilitätsklasse im Verhältnis zu allen Punkten im Lawinengelände. Daher beträgt die Häufigkeit  $f$  für alle Punkte mit der Stabilitätsklasse  $i$  ( $n_i$ ) verglichen mit allen Punkten ( $n$ )  $f(i) = n_i/n$ . Die

Häufigkeitsverteilung der Schneedeckenstabilität wird in vier Klassen eingeteilt: *viele*, *einige*, *wenige* und *keine oder fast keine* (Tabelle 2).

#### Anmerkungen

1. Die Häufigkeitsverteilung der Schneedeckenstabilität bezieht sich auf (viele) Punkte (z.B. Stabilitätstests, Schneedeckenmodelle oder potenzielle Auslösepunkte) oder Lawinenanrissgebiete.
2. Die Häufigkeit muss für eine Warnregion beurteilt werden, die größer oder gleich groß wie die Referenzeinheit ist.
3. In der Theorie ist für die Definition eine Prozentangabe erforderlich. Allerdings ist es oft unmöglich, diese festzusetzen, da die Häufigkeitsverteilung in einer realen Situation oft aus wenigen Daten abgeleitet werden muss. Die Prozentangaben oder Schwellenwerte für *viele*, *einige*, *wenige* und *keine oder fast keine* unterscheiden sich je nach angewandter oder verfügbarer Messmethode/Evidenz (siehe Anhang B). Beispielsweise könnten die Prozentangaben für Hänge, aus denen spontane Lawinen abgehen niedriger sein als der Anteil an Stabilitätstests, die eine sehr schlechte Stabilität anzeigen.
4. In Anhang B findet sich ein kurzer Überblick über die Forschungsarbeiten zur Häufigkeitsverteilung der Schneedeckenstabilität.

*Tabelle 2: Häufigkeitsverteilung von Schneedeckenstabilitätsklassen*

Häufigkeitsklasse	Beschreibung	Evidenz (z.B. Beobachtungen)
Viele	Es gibt eine Vielzahl von Stellen mit dieser Stabilitätsklasse.	Anzeichen für die Instabilität sind oft einfach zu finden.
Einige	Stellen mit dieser Stabilitätsklasse sind weder viele noch wenige. Sie sind typischerweise im Gelände mit gemeinsamen Merkmalen zu finden (z.B. in Kamennähe, in Rinnen und Mulden)	
Wenige	Stellen mit dieser Stabilitätsklasse gibt es selten. Deshalb ist ihre Anzahl relevant für die Stabilitätsbeurteilung.	Beweise für die Instabilität sind schwer zu finden.
Keine oder fast keine	Stellen mit dieser Stabilitätsklasse gibt es nicht oder sie sind so selten, dass sie für die Stabilitätsbeurteilung nicht relevant sind.	

Abb. B-1 illustriert das Konzept der Häufigkeitsverteilung für einen idealisierten Fall.

## Lawinengrößen

Definition:

Die Lawinengröße beschreibt das Schadenspotential von Lawinen.

Die Frage „Welche Größe können Lawinen wahrscheinlich erreichen?“ muss auf der Grundlage von Tabelle 3 beantwortet werden.

*Tabelle 3: Beschreibung der Lawinengrößenklassen. Eine detailliertere Beschreibung findet sich bei den EAWS (2022).*

Größe	Bezeichnung	Schadenspotenzial
1	Klein	Eine Verschüttung ist unwahrscheinlich, außer es existieren ungünstige Geländeformen (z.B. Geländefallen) im Auslaufbereich.
2	Mittel	Kann eine Person verschütten, verletzen oder töten.
3	Groß	Kann PKWs verschütten und zerstören, schwere Lastwagen beschädigen, kleine Gebäude zerstören und einzelne Bäume brechen.
4	Sehr groß	Kann schwere LKWs und Züge verschütten und zerstören. Kann größere Gebäude und kleine Waldflächen zerstören.
5	Extrem groß	Kann die Landschaft verwüsten, katastrophales Zerstörungspotenzial möglich.

## Workflow zur Bestimmung der Lawinengefahrenstufe

Der Workflow beschreibt den Ablauf von der Beurteilung der Lawinenprobleme bis zur Feststellung der Lawinengefahrenstufe für eine Warnregion. Alle relevanten Lawinenprobleme sind zu berücksichtigen, sowie die Beurteilung von Schneedeckenstabilität, Häufigkeit und Lawinengröße. Die sich daraus ergebende höchste Gefahrenstufe wird für die jeweilige Warnregion ausgegeben.

*Tabelle 4: Workflow zur Bestimmung der Lawinengefahrenstufe.*

<b>Aufgabe</b>		<b>Aufgabe</b>
1	<b>Feststellung der vorliegenden Lawinenprobleme</b>	Auswahl aus den von den EAWS (EAWS 2022) definierten Lawinenproblemen.
Sollten keine Lawinenprobleme vorliegen, ist die Lawinengefahrenstufe 1-gering.		
2	<b>Für jedes dieser Probleme sind die Gefahrenstellen zu beurteilen (Höhe, Exposition) an denen und um welche Tageszeit das Problem vorhanden ist.</b>	
3	<b>Beurteilung der Schneedeckenstabilitätsklasse an diesen Gefahrenstellen/für diese Zeiten.</b>	Die Schneedeckenstabilität bezieht sich auf die Frage: „Was ist nötig, um eine Lawine auszulösen?“ Oft sind die Orte mit der niedrigsten Schneedeckenstabilität entscheidend.
4	<b>Beurteilung der Häufigkeit für diese Stabilitätsklassen.</b>	Die Häufigkeit bezieht sich auf die Frage: „Wie häufig sind Stellen, an denen Lawinen durch den in Schritt 3 angegebenen Auslöser ausgelöst werden können?“
5	<b>Beurteilung der Lawinengrößen.</b>	Die Lawinengröße bezieht sich auf die Frage: „Wie groß können Lawinen werden?“ Oft ist die größte für wahrscheinlich gehaltene Lawinengröße entscheidend.
	Falls Schneedeckenstabilität, Häufigkeit und/oder Lawinengröße sich je nach Exposition und/oder Höhenlage und/oder während des Vorhersagezeitraums beträchtlich unterscheiden, sind die Schritte 3 bis 5 zu wiederholen, um die Stellen/Zeiten mit der kritischsten Kombination der drei Faktoren zu identifizieren.	
6	<b>EAWS-Matrix anwenden und die Gefahrenstufe für die Kombination der in den Schritten 3 bis 5 ausgewählten Schneedeckenstabilität, Häufigkeit und Lawinengröße bestimmen.</b>	
	Schritte 2 bis 6 für die anderen ggf. vorhandenen Lawinenprobleme wiederholen.	
7	Die höchste in Schritt 6 ermittelte Gefahrenstufe wählen.	

## EAWS Matrix

Die Matrix wird eingesetzt, um die Lawinengefahrenstufe basierend auf der Schneedeckenstabilität, der Häufigkeit und der Lawinengröße zu bestimmen.

Der Benutzer beurteilt die drei Faktoren Schneedeckenstabilität, Häufigkeitsverteilung der Schneedeckenstabilität und Lawinengröße anhand des oben beschriebenen Workflows und wählt dann das passende Feld in der Matrix.

Wenn also beispielsweise festgestellt wurde, dass das vorherrschende Lawinenproblem am besten mit den Faktoren schlechte Stabilität an vielen Hängen und Lawinen bis Größe 3 wahrscheinlich beschrieben wird, dann wäre das Ergebnis Gefahrenstufe 4 – groß.

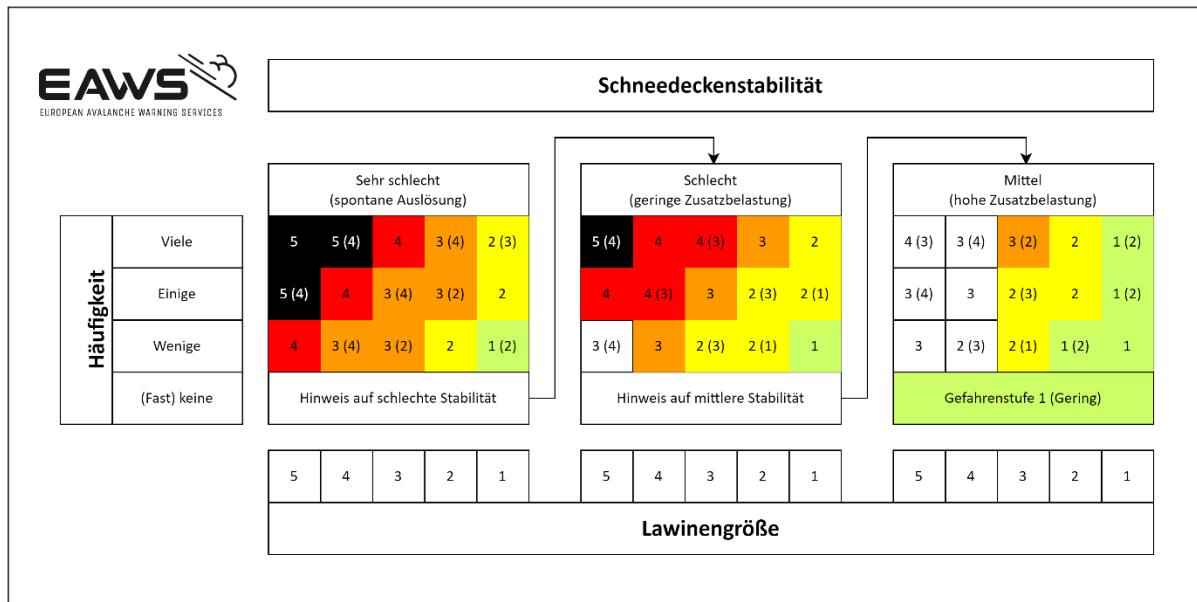


Abb. 2: Die aktualisierte EAWS-Matrix basiert auf dem in Anlage XX beschriebenen Ansatz. Das Layout ist noch vorläufig und wurde gewählt, um alle möglichen Kombinationen aus Schneedeckenstabilität, Häufigkeit und Lawinengröße unterzubringen.

## Appendix A: Snowpack stability

Figures A-1 to A-3 provide an overview of the relation between the snowpack stability classes and typical phenomena or observations.

		Snowpack stability class			
		Very poor	Poor	Fair	Good
Typical sign of instability*	Natural release				
	Long-running whumpf		Short-running whumpf		
	Shooting cracks				
Trigger		Low load+		High load++	
			Cornice fall		
			Explosives		
Extended column test**	ECTPV   ECTP <14		ECTP > 13 & ECTP <23	ECTP > 22   ECTN <10	ECTN > 10   ECTX
Rutschblock**	RB1 (wB, pR)   RB2 (wB)	RB2 (pR)   RB3 (wB)	RB3 (pR)   RB4-5 (wB)	RB4-5 (pR)   RB6-7	

Figure A-1: Common evidence or indications for snowpack stability classes focusing on dry-snow slab avalanches. Arrows indicate that existence towards lower stability classes is imperative. Natural avalanches are a clear indication for the class very poor, while a low and a high additional load are considered approximately equivalent to poor and fair stability. Observations and stability test results should be regarded as indicative only. Abbreviations: Extended Column Test (ECT), Rutschblock (RB), whole block (wB), partial release (pR). \*Schweizer et al. (2021), \*\*Techel et al. (2020)a, +single skier not falling, ski-cut, ++single skier falling, group of skiers, person on foot.

For wet snow stability and glide-snow stability, the separation between fair and poor is often difficult. Wet snow avalanches most often release naturally and are therefore connected to the class very poor. Observations will often only provide a tendency towards either good or very poor stability (Figures A-2 and A-3). Stability tests generally work poorly in wet snow. If they indicate very poor stability, they should still be considered but not otherwise.

		Snowpack stability class		
		Very poor	Poor / Fair	Good
Typical sign of instability*	Natural wet-snow avalanches			
	Artificially triggered wet-snow avalanches			
Snowpack conditions in potential release areas	If question answered with yes, arrows indicate stability tendency.			
	Advance of wetting front?	Flow channels in snowpack established?		
	First wetting of snowpack?	Refreezing of snowpack?		
	First time snowpack becomes isothermal?	Liquid water content decreasing?		
	Wet persistent weak layers present?			
	RB1-2, failure in wet snow layer?			
	ECTP, failure in w3et snow layer?			

Figure A-2: Common evidence or indications related to wet-snow stability. If no liquid water is present in the snowpack, wet-snow avalanches are not possible.

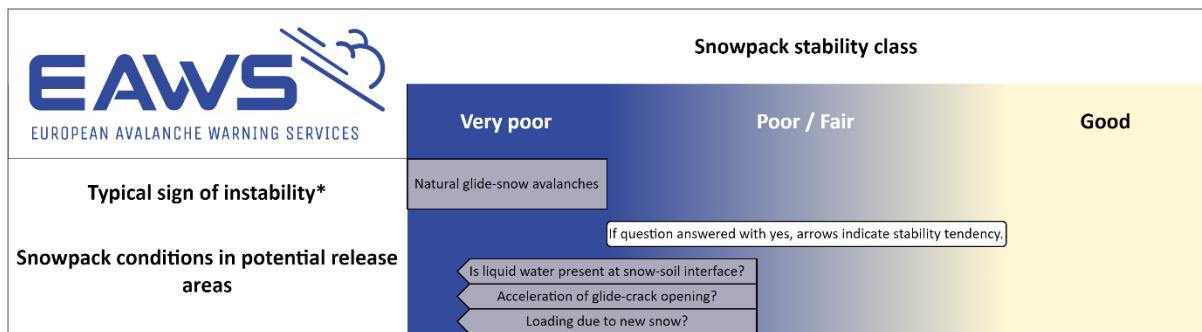


Figure A-3: Common evidence or indications related to glide-snow stability. Glide-snow avalanches are not possible if there is no liquid water present at the snow-spoil interface.

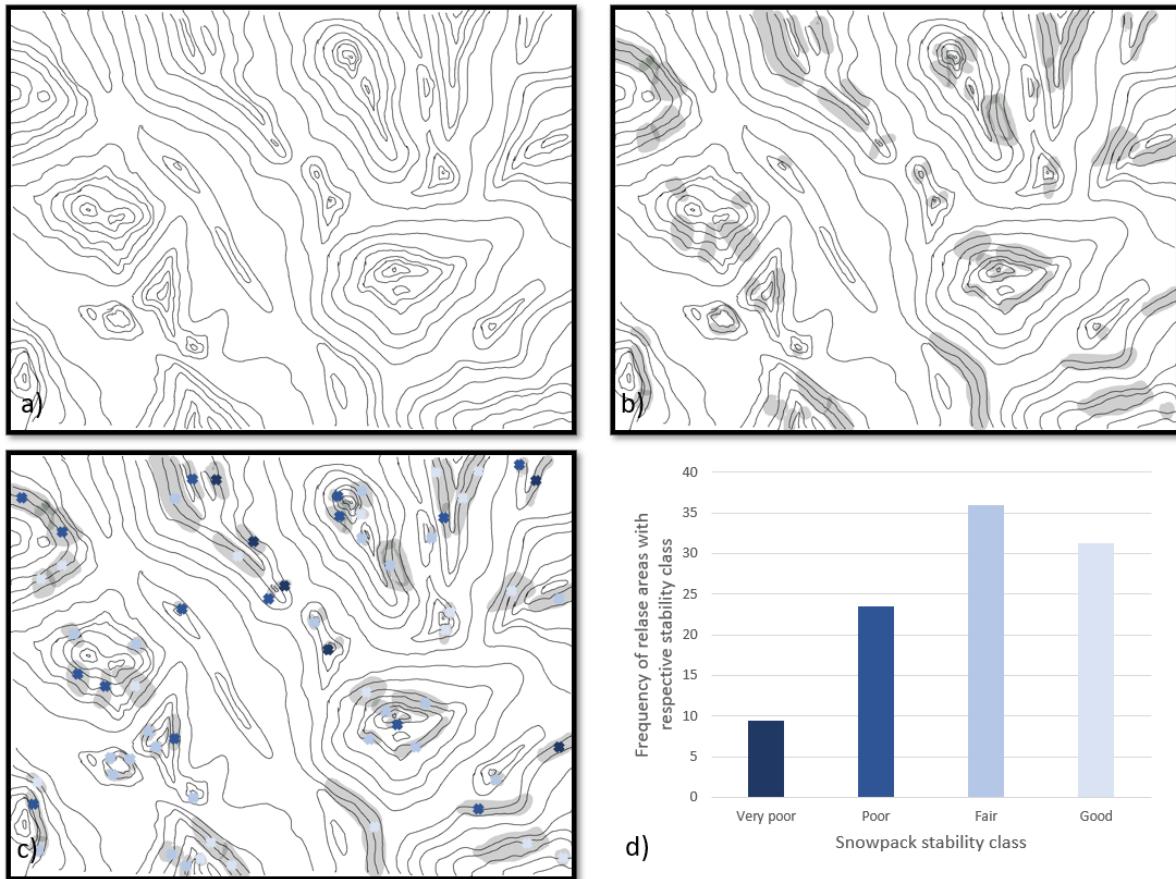
We compare the classes for [snowpack stability as defined in this document](#) to other stability classifications in the literature. See Table A-1.

Table A-1: Overview of class labels describing snowpack stability and a comparison to terms describing sensitivity to trigger from the Conceptual Model of Avalanche Hazard (CMAH). We neglected columns from the CMAH that included a spatial component, because we think stability and its corresponding frequency should be decoupled.

Snowpack stability (EAWS)	Snow stability (CAA, 2014; Greene et al., 2014)	Sensitivity to triggers (Statham et al., 2018, Table 5)			
		Sensitivity	Human triggers	Explosive triggers	Cornice triggers
<b>Very poor</b>	Very poor	Touchy	Triggering almost certain	Any size	Any size
<b>Poor</b>	Poor	Reactive	Easy to trigger with ski cuts	Single hand charge	Medium
<b>Fair</b>	Fair	Stubborn	Difficult to trigger	Large explosives	Large
<b>Good</b>	Good – very good	Unreactive	No avalanches	and air blasts	No slab from very large cornice fall

## Appendix B: Considerations when assigning classes of frequency distributions of snowpack stability

Figure B-1 illustrates the concept of frequency distribution. It shows an idealized case.



*Figure B-1: Illustration of frequency distribution. We consider a hypothetical and idealized scenario where a stability assessment for points within starting zones is available. Here, our micro-region is defined by the contour map in panel a). For sake of simplicity, we choose the reference unit to be equal to the micro-region. Thus, considering all points in the starting zones within the region independent of elevation, aspect or other possible subdivisions (Panel b). Panel c) shows the stability class assessed in each point. Panel d) shows the resulting frequency distribution of these stability classes. Generally, the frequency of the weakest stability class, in this case very poor, needs to be considered to determine the danger level.*

The challenge of assigning percentages, or deciding on thresholds between classes, has been debated a lot and we have no clear answer, yet.

Few forecasters or avalanche workers have enough data available that is conclusive and evenly distributed over relevant release areas in the region they are assessing. Therefore, assigning a frequency distribution class remains an expert opinion and experience for the time to come. We believe that much more data in combination with verification campaigns need to be assessed before we can provide good answers. In the following paragraphs, we list some studies that tried to quantify the frequency distribution of snowpack stability in one way or another. The presented numbers are currently the best estimates we have describing the frequency distribution of snowpack stability. They have different bases and cannot be compared directly or combined to describe classes uniformly. More studies of this type need to be conducted in the future to provide reliable percentages for the frequency of snowpack stability.

### Stability tests (Rutschblock):

Frequency classes derived by Techel et al. (2020)b for the frequency of the Rutschblock stability class *very poor*:

- ***None or nearly none: 0%***
- ***a few: >0% - <4%***
- ***some or several: 4% - 20%***
- ***many: >20%***

### Avalanche activity (1):

Avalanche activity, as observed from satellite images over Switzerland in two extreme avalanche situations in January 2018 and January 2019 (Hafner, 2019): The proportion of potential release areas which was active (which avalanched) varied for a subset of 13 micro-regions between 4% and 23% with a mean of 13%. These micro-regions cover a surface area between 56 and 506 km<sup>2</sup>, while the potential release area within these micro-regions covers between 21 and 159 km<sup>2</sup> of the surface area of these regions. When only considering the two most active neighboring 45°-aspects within these regions (e.g., from NW – N – NE), the observed maximum was 41% of the total release area being active. These values can be considered representing high values for the term *many*.

### Avalanche activity (2):

Based on a 15-year data set of manually mapped natural avalanches in the region of Davos, Switzerland (Völk, 2020), the following frequency classes were obtained using the approach described by Techel et al. (2020)b for the proportion of potential release areas which were active (which avalanched):

- ***a few: <0.02%***
- ***some: 0.02-2.2%***
- ***many: >2.2%***

Note, this mapping approach has a comparably low detection rate (Hafner et al. 2021). As an estimate, these class thresholds may be too low by a factor of ~2.

### Appendix C: Avalanche size

The avalanche size used in the matrix to determine the avalanche danger level should be the largest size class that is likely to occur in case that an avalanche releases under the given or expected conditions. For example, for a situation that could be described as: “If avalanches are released, up to *size 3* avalanches are likely”. In this case, we would expect *none or nearly none* of size 4 and 5 avalanches. However, in this scenario, we consider it likely that avalanches of size classes 1, 2 and 3 can occur. Thus, we choose the largest of these – in this case *size 3* (see following table).

Avalanche size	If avalanches release or are released, this size class is...	
	Likely	Unlikely
5		x
4		x
3	x	
2	x	
1	x	

## Appendix D: Methodology to revise the EAWS Matrix

The EAWS assigned the working group (WG) Matrix & Scale with the task to revise the definitions for the contributing factors of avalanche hazard, as described in the previous sections of this document. Consequently, a revision of the existing EAWS matrix (version 2017) was required to be in line with these definitions.

Previous versions of the look-up tables assisting avalanche forecasters to assign a danger level, the so-called “Bavarian matrix” (EAWS, 2005) and its successor, the “EAWS-Matrix” (EAWS, 2017), were developed relying on the joint knowledge of EAWS avalanche forecasters. However, the process of how individual opinions about the danger levels in the cells, was not documented.

In the following, we describe the methodology used to obtain the revised EAWS Matrix.

### Methodology

Due to the general lack of data allowing a quantitative description of the danger levels, the WG followed an approach combining many expert opinions. Expert elicitation is particularly suitable in cases when appropriate data is lacking (e.g., Rowe and Wright, 2001). In other words, for this task, we relied on the wisdom of the avalanche forecasters as for previous matrix versions. However, instead of having the members of a small work group decide in group discussions on danger levels, we relied on a heterogeneous, larger group of experts. We considered experienced EAWS forecasters as having the appropriate domain knowledge, and, thus, to be equally competent for this task. This approach was motivated by the fact that the combined judgment of a group of experts is generally more accurate than that of an individual, if non-interacting individuals make judgments (e.g., Stewart, 2001). Finally, by offering the chance to participate, we expected a greater acceptance of the proposed matrix.

Therefore, we invited EAWS forecasters to provide their version of the matrix considering the new terminology and definitions.

### Survey

The matrix was distributed as a survey with the following instructions:

Forecasters should assign a danger level to the combination of the terms describing [snowpack stability](#), the [frequency distribution of snowpack stability](#), and [avalanche size](#). As an example, a danger level should be assigned to a scenario that could be described like “*Many locations with poor* stability exist. In case that avalanches release, avalanches up to *size 3* are likely.” Starting with the most unfavorable combinations, forecasters had to first assign a danger level to all frequency – avalanche size – combinations relating to *very poor* stability, which is typically associated with natural avalanches. In a second step, forecasters had to consider *poor* snow stability as the decisive stability class. This meant that forecasters had to assume the frequency of locations with stability class *very poor* to be *none or nearly none* (or at most *a few*). Last, forecasters did the same for *fair* stability. If forecasters considered a class as not plausible, or if they did not know what danger level to assign, they were advised to leave this cell empty. If forecasters were uncertain between two danger levels, they could indicate a first and a second danger level.

Following best practice for expert elicitation, we instructed forecasters to do this task independent from other forecasters. Most importantly, danger levels assigned to specific combinations of stability, frequency, and avalanche size, should not be discussed between forecasters prior to forecasters submitting their response to the specified member of the working group.

The deadline for submitting responses was set to May 5th to allow the preparation of the documents for the EAWS General Assembly in Davos 2022. We will continue to collect answers for future considerations after the GA.

### Matrix responses

1. The WG members filled in a matrix at a meeting in 2019, and again in 2022 (N = 5 and 9, respectively). Both these versions were considered following the methodology of test-retest (e.g., Ashton, 2000) to obtain more reliable estimates when judging. The second round was also used to test the sheet distributed to other forecasters.
2. Avalanche forecasters were invited by contacting forecasters on the EAWS mailing list and/or the heads of the warning services to provide their matrix version (N = 60).
3. Quantitative studies were included where available (N = 2; Swiss data: Techel et al., 2020b, Hutter et al., 2021).

*Table D-1: Distribution of matrix responses received.*

Country	N
Andorra	3
Austria	4
Czech Republic	0
Finland	0
France	7
Germany	5
Great Britain	7
Iceland	0
Italy	18
Norway	15
Poland	0
Romania	1
Slovenia	1
Slovakia	0
Spain	5
Switzerland	8
Sweden	2
<b>Total</b>	<b>76</b>

### Analysis

The working group decided on the approach to combine the different matrix versions before EAWS forecasters had sent their responses. Not favoring any one opinion, the WG opted to calculate the median danger level for each combination of stability, frequency, and avalanche size. In addition, we checked that this was also the majority opinion. This is in line with best practice approaches when combining judgments from experts (e.g., Dietrich and Spiekerman, 2022).

We weighted responses as follows:

- If forecasters indicated one danger level, this danger level was weighted with 100.
- If forecasters indicated two danger levels, the first danger level was weighted with 67 and the second with 33.

## Revised EAWS Matrix as of 2022 – content and reliability of content

Figure D-1 shows the matrix based on the 76 responses. The same matrix, although in a different layout, is shown in Figure 2 in the [main document](#). For each combination of snowpack stability, frequency, and avalanche size, the following values are shown:

- The median danger level is indicated showing the integer value for each danger level (e.g., 1 for 1 (*low*)). If the distribution of responses was heterogeneous, a second danger level is shown in brackets, representing the interquartile range, if this danger level was different from the median danger level.
- The color coding of a cell corresponds to the median danger level.
- Combinations, which had a danger level assigned in  $\leq 70\%$  of the cases (Fig. D-1), have a white background, although the median danger level is shown. These cells represent combinations many forecasters did not feel comfortable with assigning a danger level. These cells have rather low support (Fig. D-1).

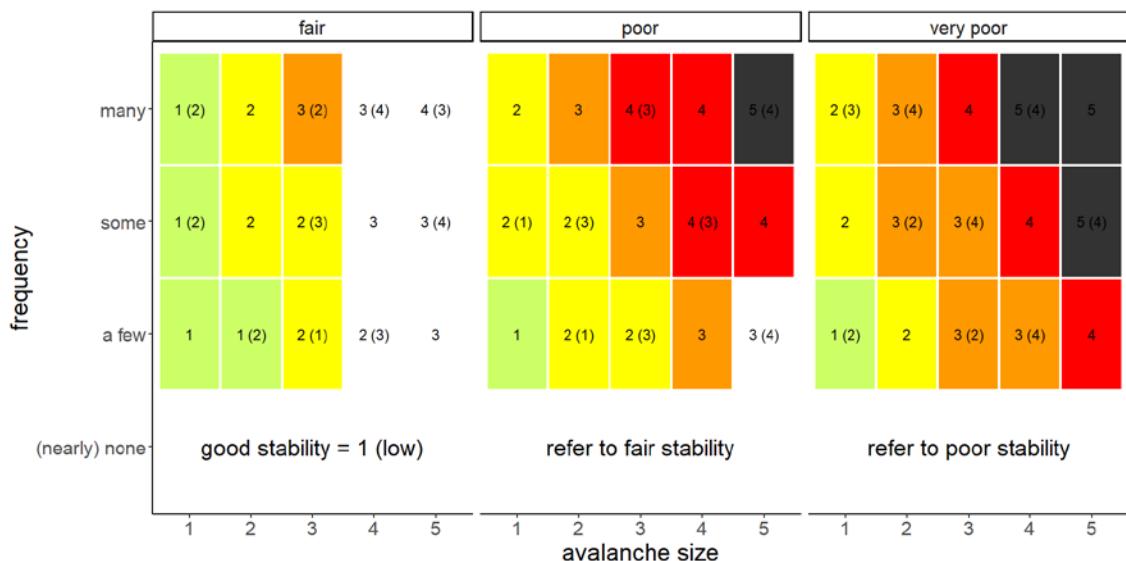


Figure D-1: EAWS matrix (v2022). Table and caption to be updated. For details refer to the text.

It is in the nature of expert judgments, that there will be variations between them. Such variations may be caused by different perceptions regarding the meaning of the terms or mental images of danger levels. Therefore, in the following, we briefly show some findings that highlight uncertainties regarding the danger levels assigned by respondents, and in the aggregated final matrix.

Forecasters were advised to fill in all cells for which they felt comfortable assigning a danger level. Moreover, fair stability was optional with the goal to increase the participation rate. On average, respondents provided a danger level value for 85% of the possible 45 combinations. Figure D-2 shows the proportion of the 76 responses, for which a danger level was provided. A danger level was indicated by 72 of the 76 respondents ( $\geq 95\%$ ) for 17 of the 30 combinations with *very poor* and *poor* stability. *Fair* stability, in combination with avalanche size 5 ( $\leq 50\%$ ) or size 4 ( $\leq 66\%$ ) had the lowest response rate, and consequently, a higher uncertainty related to the median danger level.

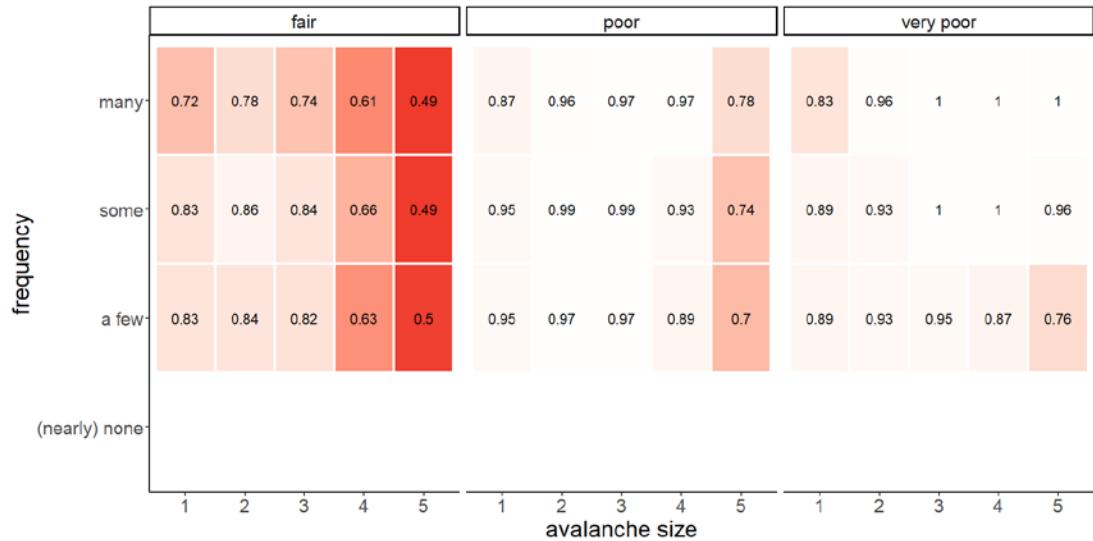


Figure D-2: Proportion of responses indicating a danger level for each of the combinations of stability – frequency – avalanche size. The respective proportion is shown (number). Light colors correspond to combinations with a high proportion (i.e., a danger level was always indicated for very poor – many – size 5), dark colors to comparably low proportions (i.e., about 50% of the responses indicated no danger level for fair stability and avalanche size 5).

Respondents had the option to indicate one danger level or two consecutive danger levels if uncertain. 64% of the time one danger level and 36% of the time two consecutive danger levels were indicated. This highlights that it is sometimes difficult to assign a specific danger level to a combination of stability, frequency, and avalanche size.

Figure D-3 shows the proportion of the weights assigned to the median danger level (see matrix in Figure D-1). In 12 of the 45 (27%) combinations, the most frequent danger level received  $\geq 75\%$  of the weights, indicating a low number of cases with two danger levels and/or a high agreement between forecasters. Only two cells had values of  $>95\%$ . In contrast, there were also six cells (13%) with rather low support for the most frequent danger level (proportion  $<55\%$ ).

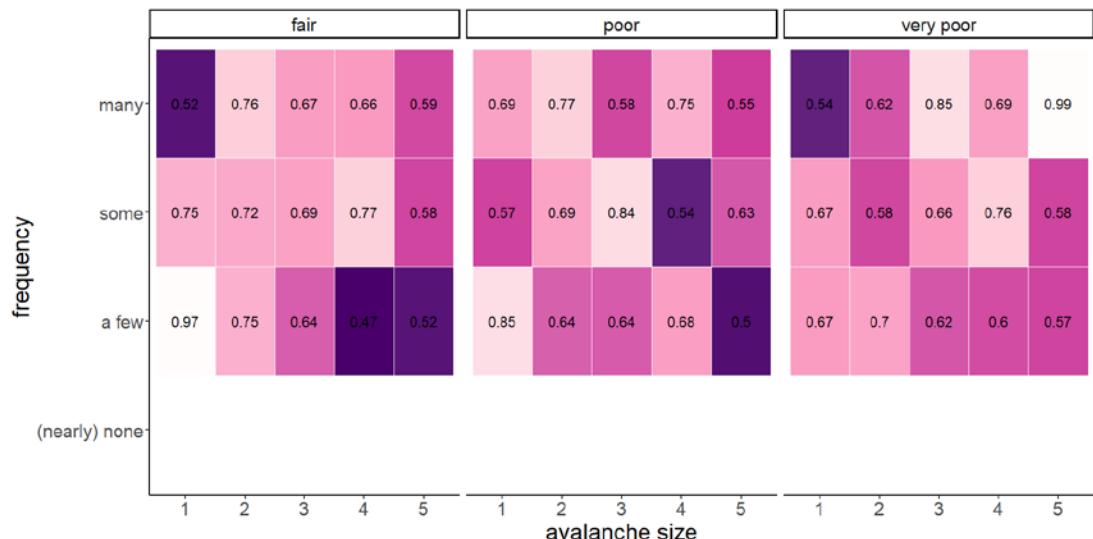


Figure D-3: Proportion of responses indicating the most frequent danger level (equal to the median in Figure D-1) for each of the combinations of stability – frequency – avalanche size. The respective proportion is shown (number), light colors correspond to a high proportion (i.e., close to full agreement for very poor – many – size 5), dark colors to a comparably low agreement (i.e., 54% of the responses indicated 2 (moderate) for very poor – many – size 1).

## Appendix E: Workflow chart

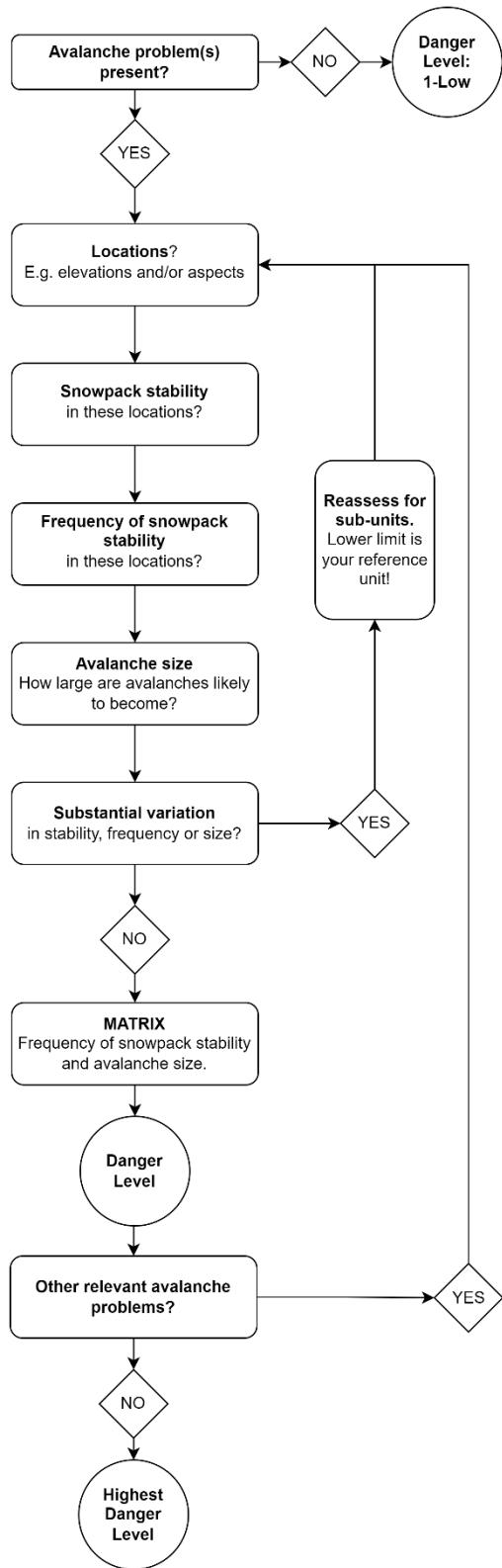


Figure E-1: Workflow to determine the avalanche danger level.

## References

- Ashton, R.H., 2000. A review and analysis of research on the test–retest reliability of professional judgment. *Journal of Behavioral Decision Making* 13, 277–294. doi:10.1002/1099-0771(200007/09)13:3<277::AID-BDM350>3.0.CO;2-B.
- Bartelt, P., Feistl, T., Bühler, Y., Buser, O., 2012. Overcoming the stauchwall: Viscoelastic stress redistribution and the start of full-depth gliding snow avalanches. *Geophysical Research Letters* 39. doi:<https://doi.org/10.1029/2012GL052479>.
- Bühler, Y., Hafner, E.D., Zweifel, B., Zesiger, M., Heisig, H., 2019. Where are the avalanches? Rapid SPOT6 satellite data acquisition to map an extreme avalanche period over the Swiss Alps. *The Cryosphere* 13, 3225–3238. URL: doi:10.5194/tc-13-3225-2019.
- Bühler, Y., von Rickenbach, D., Stoffel, A., Margreth, S., Stoffel, L., Christen, M., 2018. Automated snow avalanche release area delineation – validation of existing algorithms and proposition of a new object-based approach for large-scale hazard indication mapping. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 18, 3235–3251. doi:10.5194/nhess-18-3235-2018.
- CAA, 2014. Observation guidelines and recording standards for weather, snowpack and avalanches. Canadian Avalanche Association. NRCC Technical Memorandum No. 132.
- Dietrich, F., Spiekermann, K., 2022. Jury Theorems, in: Zalta, E.N. (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Summer 2022 ed. Metaphysics Research Lab, Stanford University. Last access: 3 May 2022.
- EAWS, 2005. Bavarian matrix.
- EAWS, 2017. EAWS Matrix. Technical Report. URL: <https://www.avalanches.org/standards/eaws-matrix/>. last access: 13 May 2022.
- EAWS, 2019. Standards: avalanche size. URL: <https://www.avalanches.org/standards/avalanche-size/>. last access: 13 May 2022.
- EAWS, 2021. Standards: Avalanche problems. URL: <https://www.avalanches.org/standards/avalanche-problems/>. last access: 13 May 2022.
- Hafner, E.D., Techel, F., Leinss, S., Bühler, Y., 2021. Mapping avalanches with satellites – evaluation of performance and completeness. *The Cryosphere* 15, 983–1004. URL: <https://tc.copernicus.org/articles/15/983/2021/>, doi:10.5194/tc-15-983-2021.
- Hutter, V., Techel, F., Purves, R.S., 2021. How is avalanche danger described in textual descriptions in avalanche forecasts in Switzerland? Consistency between forecasters and avalanche danger. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 21, 3879–3897. doi:10.5194/nhess-2021-160.
- Reuter, B., Schweizer, J., 2018. Describing snow instability by failure initiation, crack propagation, and slab tensile support. *Geophysical Research Letters* 45, 7019 – 7029. doi:10.1029/2018GL078069.
- Rowe, G., Wright, G., 2001. Expert opinions in forecasting: The role of the Delphi technique. Springer US, Boston, MA. pp. 125–144. doi:10.1007/978-0-306-47630-3\_7.
- Schweizer, J., Camponovo, C., 2001. The skier's zone of influence in triggering slab avalanches. *Annals of Glaciology* 32, 314–320. doi:10.3189/172756401781819300.
- Schweizer, J., Mitterer, C., Reuter, B., Techel, F., 2021. Avalanche danger level characteristics from field observations of snow instability. *The Cryosphere* 15, 3293–3315. doi:10.5194/tc-15-3293-2021.
- Statham, G., Haegeli, P., Greene, E., Birkeland, K., Israelson, C., Tremper, B., Stethem, C., McMahon, B., White, B., Kelly, J., 2018. A conceptual model of avalanche hazard. *Natural Hazards* 90, 663 – 691. doi:10.1007/s11069-017-3070-5.
- Stewart, T.R., 2001. Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners. Springer Science + Business Media, LLC. chapter Improving reliability in judgemental forecasting. pp. 81–106.
- Techel, F., Mitterer, C., Ceaglio, E., Coléou, C., Morin, S., Rastelli, F., Purves, R.S., 2018. Spatial consistency and bias in avalanche forecasts – a case study in the European Alps. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 18, 2697–2716. doi:10.5194/nhess-18-2697-2018.

Techel, F., Müller, K., Schweizer, J., 2020a. On the importance of snowpack stability, the frequency distribution of snowpack stability and avalanche size in assessing the avalanche danger level. *The Cryosphere* 14, 3503 – 3521. doi:10.5194/tc-2020-42.

Techel, F., Winkler, K., Walcher, M., van Herwijnen, A., Schweizer, J., 2020b. On snow stability interpretation of extended column test results. *Natural Hazards Earth System Sciences* 20, 1941–1953. doi:10.5194/nhess-2020-50.

### Data sets referred to in Appendix

Schweizer, J., Mitterer, C., Techel, F., Stoffel, A., Reuter, B., 2020b. Snow avalanche data Davos, Switzerland, 1999-2019. doi:10.16904/envidat.134.

Hafner, E., 2019. Avalanche activity data of warning regions with forecast danger level 5-very high (data set).

Völk, M.S., 2020. Analyse der Beziehung zwischen Lawinenauslösung und prognostizierter Lawinengefahr - Quantitative Darstellung einer regionalen Lawinenaktivität am Beispiel Davos (Schweiz). Master's thesis. Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Austria. Fakultät für Geo- und Atmosphärenwissenschaften, Institut für Geographie. 110 p. Supervisor: R. Sailer, F. Techel.