



Determinazione del grado di pericolo valanghe nella previsione delle valanghe a scala regionale

Gruppo di lavoro EAWS su matrice e scala di pericolo

Per descrivere il pericolo valanghe il gruppo di lavoro “Matrice e scala di pericolo” raccomanda di utilizzare le definizioni e relativi termini e classi presentati in questo documento. Nelle seguenti sezioni si definiscono il grado di pericolo valanghe e i fattori che vi contribuiscono: la stabilità del manto nevoso, la distribuzione della frequenza rispetto alle classi di stabilità e la dimensione delle valanghe. Un grado di pericolo valanghe può essere emesso solo per un'area di una certa estensione. La sezione che definisce la struttura spazio-temporale fornisce i termini e le linee guida da usare nel corso del processo. Il documento termina con il flusso di lavoro e la matrice EAWS da applicare per arrivare alla determinazione del grado di pericolo. L'appendice fornisce ulteriori dettagli ed esempi sulle nostre considerazioni e sul processo di lavoro proposto.

I membri di questo gruppo di lavoro sono: Müller, Karsten (NO, responsabile del Gruppo); (in ordine alfabetico): Bellido, Guillem (AD); Bertranda, Lorenzo (IT); Feistl, Thomas (DE); Mitterer, Christoph (AT); Palmgren, Petter (SE); Sofia, Stefano (IT); Techel, Frank (CH); since September 2021: Anne Dufour and Nicolas Roux (FR).

Grado di pericolo valanghe

Definizione:

Il grado di pericolo valanghe varia in funzione (oppure dipende) dalla stabilità del manto nevoso, dalla distribuzione della frequenza della stabilità del manto nevoso e dalla dimensione della valanga per una data unità (areale e temporale). Ci sono cinque livelli di pericolo di valanghe: 5-molto forte, 4-forte, 3-marcato, 2-moderato, 1-debole.

Impostazione della struttura spazio-temporale

Per arrivare a determinare il grado di pericolo a scala regionale si devono prendere in considerazione le seguenti scale spaziali.

Dominio della previsione

Il dominio della previsione è l'intera area su cui un servizio valanghe emette previsioni valanghe di carattere pubblico. Per ciascun servizio o operatore tale dominio rimane generalmente statico (fisso).

Micro-aree

Le micro-aree sono le aree più piccole, geograficamente ben definite, utilizzate per la valutazione del pericolo valanghe. Anch'esse sono statiche. Inoltre permettono all'utilizzatore della previsione di individuare con precisione quale regione viene descritta. Possono essere delimitate da confini amministrativi (ad esempio tra paesi, stati federali, regioni o province); descrivere regioni omogenee dal punto di vista climatico, idrologico o meteorologico; o essere basate su divisioni orografiche, o una combinazione di tutti questi fattori (Techel et al., 2018).

Unità di riferimento

Un'unità di riferimento è la più piccola entità spazio-temporale alla quale si può valutare un livello di pericolo valanghe. Un'unità di riferimento può essere definita in base a diverse quote e/o esposizioni all'interno di una micro-area (Figura 1). Affinchè l'emissione di un grado di pericolo valanghe abbia senso, l'unità di riferimento deve comunque essere sufficientemente estesa da includere una varietà di terreni valanghivi. L'unità di riferimento deve essere definita e rimanere coerente all'interno di ciascun servizio valanghe (e idealmente anche tra servizi valanghe adiacenti).

Meteo-nivo zona

Una meteo-nivo zona è un'aggregazione di micro-aree, dove le condizioni valanghive sono considerate simili e sono valutate con lo stesso grado di pericolo, stesse esposizioni critiche e quote dove il pericolo e i problemi valanghivi prevalgono, e stessa descrizione. Il modo in cui queste meteo-nivo zone vengono aggregate può variare di giorno in giorno. Una meteo-nivo zona è più piccola o uguale all'intero dominio della previsione e più grande o uguale di una micro-area.

Risoluzione

La risoluzione spazio-temporale utilizzata per valutare il pericolo valanghe dipende prevalentemente dalla disponibilità di dati rilevanti e affidabili con una densità spaziale e una frequenza temporale sufficienti. Pertanto tra vari servizi valanghe la risoluzione della valutazione del pericolo valanghe potrà subire delle variazioni. In genere, i seguenti elementi possono caratterizzare la risoluzione spazio-temporale utilizzata per determinare il grado di pericolo valanghe:

- la dimensione delle micro-aree all'interno di un dominio di previsione (Figura 1a),
- la risoluzione della quota e/o dell'esposizione (Figura 1b e c), e

- la suddivisione temporale dell'intero periodo di validità di una previsione (per esempio, al mattino/sera, Figura 1d).

La risoluzione di questi elementi definisce le unità spaziali e temporali minime alle quali un previsore può emettere un livello di pericolo valanghe, che noi chiamiamo unità di riferimento.

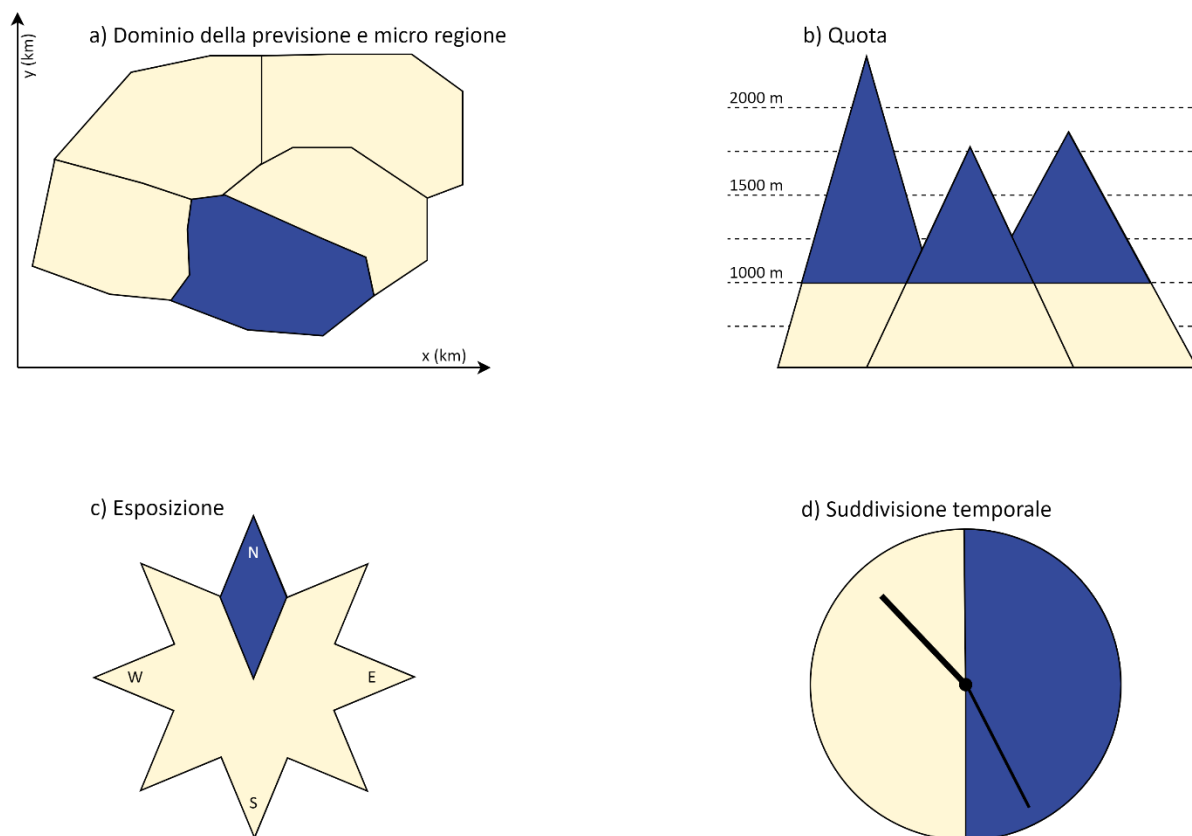


Figura 1: generalmente, un'unità di riferimento può essere caratterizzata dalla combinazione delle più piccole sotto-divisioni per ciascun elemento: (a) la più piccola entità geografica (la micro-area) all'interno di un dominio di previsione, (b) la risoluzione di quota e (c) di esposizione, e (d) una suddivisione temporale. Nella figura si riportano e si evidenziano alcuni esempi di sotto-divisioni. In questo caso, la dimensione di una singola micro-area definisce l'estensione spaziale, la risoluzione della quota è definita da incrementi di 200 m ma è valutata al di sopra(e al di sotto) di una quota, l'esposizione è divisa in otto settori, mentre la suddivisione temporale permette una distinzione tra mattina e pomeriggio. La combinazione degli elementi evidenziati in blu andrebbe a formare l'unità di riferimento, la più piccola entità spazio-temporale alla quale il livello di pericolo valanghe può essere valutato.

Stabilità del manto

Definizione:

La stabilità del manto nevoso è una proprietà locale del manto nevoso che descrive la propensione a generare valanghe di un pendio innevato (Reuter e Schweizer, 2018). La stabilità del manto nevoso è descritta utilizzando quattro classi: molto scarsa, scarsa, discreta e buona.

Note

1. A seconda del tipo di valanga, la stabilità del manto nevoso è descritta da:
 - a. Innesco della frattura, propagazione della frattura e modulo elastico del lastrone (valanga a lastroni) (Reuter and Schweizer, 2018)
 - b. Perdita di resistenza (al carico di trazione)/dei legami (valanga di neve a debole coesione) (e.g., McClung and Schaerer, 2006)
 - c. Perdita dell'attrito basale e del modulo elastico del lastrone, eventualmente anche della resistenza alla compressione (valanga di slittamento) (e.g., Bartelt et al., 2012).
2. La stabilità del manto nevoso è inversamente correlata alla probabilità di distacco della valanga. La stabilità del manto nevoso descrive il cedimento del manto nevoso in presenza di un determinato fattore scatenante (Statham et al., 2018a), come per esempio una persona che scia lungo un pendio. Tabella A-1 in Appendix A fornisce una panoramica dei sinonimi presenti in letteratura.
3. Il termine *locale* si può riferire ad un punto che va da un potenziale luogo di innesco di una valanga, ad un punto in cui viene effettuato un test di stabilità o ad un'area di distacco.
4. Tutte le valutazioni sulla stabilità del manto nevoso, basate su osservazioni o modelli, possono riferirsi sia al futuro (previsione) sia al presente (nowcast). Ad esempio, se la stabilità al momento attuale è considerata discreta e il giorno successivo è previsto un apporto di neve fresca, sarà necessario valutare l'evoluzione della stabilità del manto nevoso tenendo in considerazione i nuovi apporti. È probabile che per quell'ora la stabilità sia cambiata diventata scarsa o addirittura molto scarsa.

Tabella 1: classi di stabilità e tipo di innesco tipicamente associato a queste classi. Per ulteriori esempi relativi, si faccia riferimento alle Figure A1 – A3 nell'Appendix A.

Classi di Stabilità	Quanto è facile innescare una valanga?
Molto scarsa	Spontanee o innescate con estrema facilità
Scarsa	Facili da innescare (e.g., un singolo sciatore)
Discreta	Difficili da innescare (e.g., tramite esplosivo)
Buona	Condizioni di stabilità

Distribuzione della frequenza della stabilità del manto nevoso

Definizione:

La distribuzione della frequenza della stabilità del manto nevoso descrive le percentuali dei punti caratterizzati da ciascuna classe di stabilità rispetto a tutti i punti del terreno valanghivo. Così, la frequenza f per tutti i punti con classe di stabilità i (n_i) rispetto a tutti i punti (n) è $f(i) = n_i/n$. La distribuzione della frequenza della stabilità del manto nevoso è descritta utilizzando quattro classi: molti, alcuni, pochi e pochissimi (Tabella 2).

Note

1. La distribuzione della frequenza della stabilità del manto nevoso si riferisce a (molti) punti (es. test di stabilità, modelli di simulazione del manto nevoso o potenziali punti di innesco) o area di distacco.
2. La frequenza deve essere valutata per una meteo-nivo zona che deve essere uguale o più grande dell'unità di riferimento.
3. La definizione si basa, in teoria, su una percentuale. Tuttavia, questa è spesso impossibile da valutare poiché la distribuzione della frequenza deve spesso essere dedotta, in una situazione reale, da dati scarsi. Le percentuali o le soglie per molti, alcuni, pochi, o pochissimi differiscono a seconda delle misurazioni o delle evidenze usate o disponibili (si veda Appendice B). Ad esempio, le percentuali per i pendii in grado di generare valanghe spontanee potrebbero essere inferiori alla percentuale di punti dove i test di stabilità indicano una stabilità molto scarsa.
4. Si veda l'Appendice B per una breve panoramica delle ricerche riguardo le distribuzioni della frequenza della stabilità del manto nevoso.

Tabella 2: classi di distribuzione della frequenza della stabilità del manto nevoso

Classe di frequenza	Descrizione	Evidenze (e.g., osservazioni)
<i>molti</i>	I punti con questa classe di stabilità sono abbondanti.	Le evidenze di instabilità sono spesso facili da trovare.
<i>alcuni</i>	I punti con questa classe di stabilità non sono né <i>molti</i> né <i>pochi</i> , ma questi punti si trovano tipicamente in aree morfologicamente affini (per esempio in prossimità delle creste, nei canali).	
<i>pochi</i>	I punti con questa classe di stabilità sono rari. Sebbene siano rari, il loro numero è considerato rilevante per la valutazione della stabilità.	Le evidenze di instabilità sono difficili da trovare.
<i>pochissimi</i>	I punti con questa classe di stabilità non esistono, o sono così rari da non essere considerati rilevanti per la valutazione della stabilità.	

La figura B-1 illustra il concetto di distribuzione della frequenza in un caso idealizzato.

Dimensione delle valanghe

Definizione:

La dimensione delle valanghe descrive il potenziale distruttivo delle valanghe.

La domanda "Quanto possono diventare grandi le valanghe?" deve essere risolta sulla base della Tabella 3

Tabella 3: descrizione delle classi di dimensione delle valanghe. Per una descrizione più dettagliata si veda EAWS (2022).

Dim	Nome	Potenziale distruttivo
-----	------	------------------------

1	Piccola	Improbabile che seppellisca una persona, ad eccezione di zone di scorrimento ed arresto con caratteristiche del terreno sfavorevoli (ad esempio in presenza di trappole morfologiche).
2	Media	Potrebbe seppellire, ferire o uccidere una persona.
3	Grande	Potrebbe seppellire e distruggere auto, danneggiare camion, distruggere piccoli edifici e rompere (abbattere) alcuni alberi.
4	Molto grande	Potrebbe seppellire e distruggere camion e treni. Può distruggere edifici di dimensione abbastanza grande e piccole porzioni di foresta.
5	Estrema	Potrebbe devastare il paesaggio e ha un potenziale distruttivo catastrofico.

Flusso di lavoro per arrivare a determinare il grado di pericolo

Il flusso di lavoro descrive il percorso dalla valutazione dei problemi valanghivi alla definizione del grado di pericolo valanghe per una meteo-nivo zona. Tutti i problemi di valanghivi rilevanti devono essere presi in considerazione e per ciascuno di essi si devono valutare la stabilità del manto nevoso, la frequenza e le dimensioni delle valanghe associate. Ciò che dovrà essere comunicato, per l'intera meteo-nivo zona, sarà il grado di pericolo più alto che ne risulta.

Tabella 4: flusso di lavoro per determinare il grado di pericolo.

Compito		Spiegazioni e note
1	Valutare quali sono i problemi valanghivi presenti.	Scegliere tra i problemi valanghivi definiti da EAWS (EAWS 2022)
Se non ci sono problemi valanghivi, il grado di pericolo di valanghe è 1-debole.		
2	Per ciascuno dei problemi valanghivi selezionati, valutare la localizzazione (quota, esposizione) e il periodo della giornata in cui il problema valanghivo è presente.	
3	Per queste localizzazioni spazio-temporali valutare le classi di stabilità del manto nevoso.	La stabilità del manto nevoso è legata alla domanda: "Cosa serve per innescare una valanga?". Spesso, le localizzazioni con la stabilità più bassa sono quelle decisive.
4	Per ciascuna classe di stabilità individuata, valutare la frequenza.	La frequenza è legata alla domanda "Quanto frequenti sono i punti in cui si può provocare una valanga a seguito dell'innescio specificato nel passo 3?".
5	Valutare le dimensioni della valanga.	La dimensione delle valanghe è legata alla domanda: "Quanto grandi possono diventare le valanghe?". Spesso, la dimensione della valanga più grande che si considera probabile è decisiva.
Nel caso in cui la stabilità del manto nevoso, la frequenza e/o le dimensioni delle valanghe varino considerevolmente tra quote e/o esposizioni e/o durante il periodo di validità della previsione, ripetere i passi da 3 a 5 per identificare le spazializzazioni e le temporizzazioni caratterizzate dalla combinazione peggiore di questi tre fattori.		
6	Per ottenere il grado di pericolo associato alla combinazione prescelta di stabilità del manto nevoso, frequenza e dimensione della valanga selezionati nei passi 3-5, si faccia riferimento alla Matrice EAWS.	
Si ripetano i passi da 2 a 6 per ciascuno dei problemi valanghivi presenti.		
7	Si scelga il livello di pericolo più alto ottenuto al passo 6.	

La matrice EAWS

La matrice viene utilizzata per determinare il grado di pericolo valanghe in base alla stabilità del manto nevoso, alla frequenza della stabilità del manto nevoso e alle dimensioni delle valanghe.

Il previsore valuta i tre fattori stabilità del manto nevoso, frequenza della stabilità del manto nevoso e dimensione delle valanghe seguendo il flusso di lavoro sopra descritto e poi seleziona la cella corrispondente all'interno della Matrice.

Alcune celle contengono due livelli di pericolo. Il livello di pericolo mediano è indicato con il valore intero per ogni livello di pericolo (ad esempio, 1 per 1 (debole)). Se la distribuzione dei dati risulta piuttosto eterogenea si indica tra parentesi un secondo valore, l'intervallo interquartile, nel caso questo valore differisca dal valore mediano già rappresentato.

Quando si applica la matrice della Figura 2, si deve utilizzare il primo livello di pericolo indicato nella cella. Il livello di pericolo opzionale tra parentesi indica che i previsori potrebbero non avere una visione unitaria sul valore mediano indicato. Queste celle dovrebbero essere considerate con attenzione e raccogliere feedback per una valutazione futura.

Per esempio, se si valuta che il problema valanghe dominante è descritto al meglio dai fattori “scarsa stabilità” su “molti pendii” con probabili valanghe anche di magnitudo “3”, il grado di pericolo diventerebbe 4-alto.

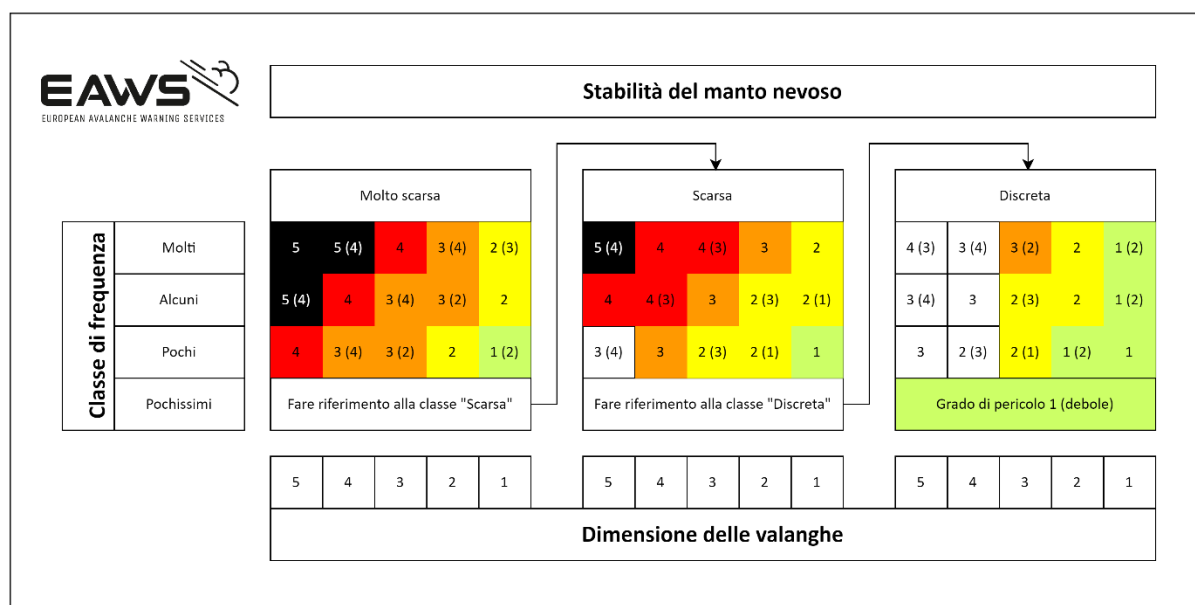


Figura 2: aggiornamento della matrice EAWS basato sull'approccio descritto nell'Appendice XX. Il layout è preliminare ed è stato scelto per accogliere tutte le possibili combinazioni di stabilità del manto nevoso, frequenza e dimensione delle valanghe.

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
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?	
Stability tests (work poorly in wet snow)	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.

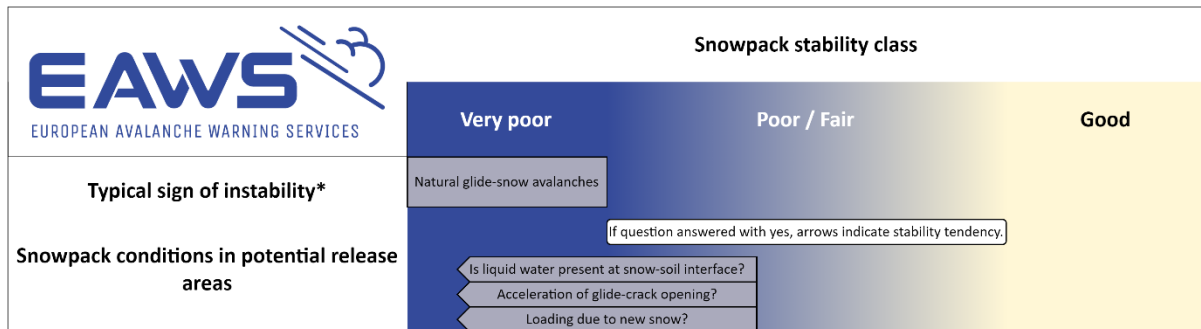


Figure A-3: Common evidence or indications related to glide-snow stability. Glide-snow avalanches are not possible if there is no liquid water present at the snow-spoil interface.

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
Very poor	Very poor	Touchy	Triggering almost certain	Any size	Any size
Poor	Poor	Reactive	Easy to trigger with ski cuts	Single hand charge	Medium
Fair	Fair	Stubborn	Difficult to trigger	Large explosives and air blasts	Large
Good	Good – very good	Unreactive	No avalanches		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.

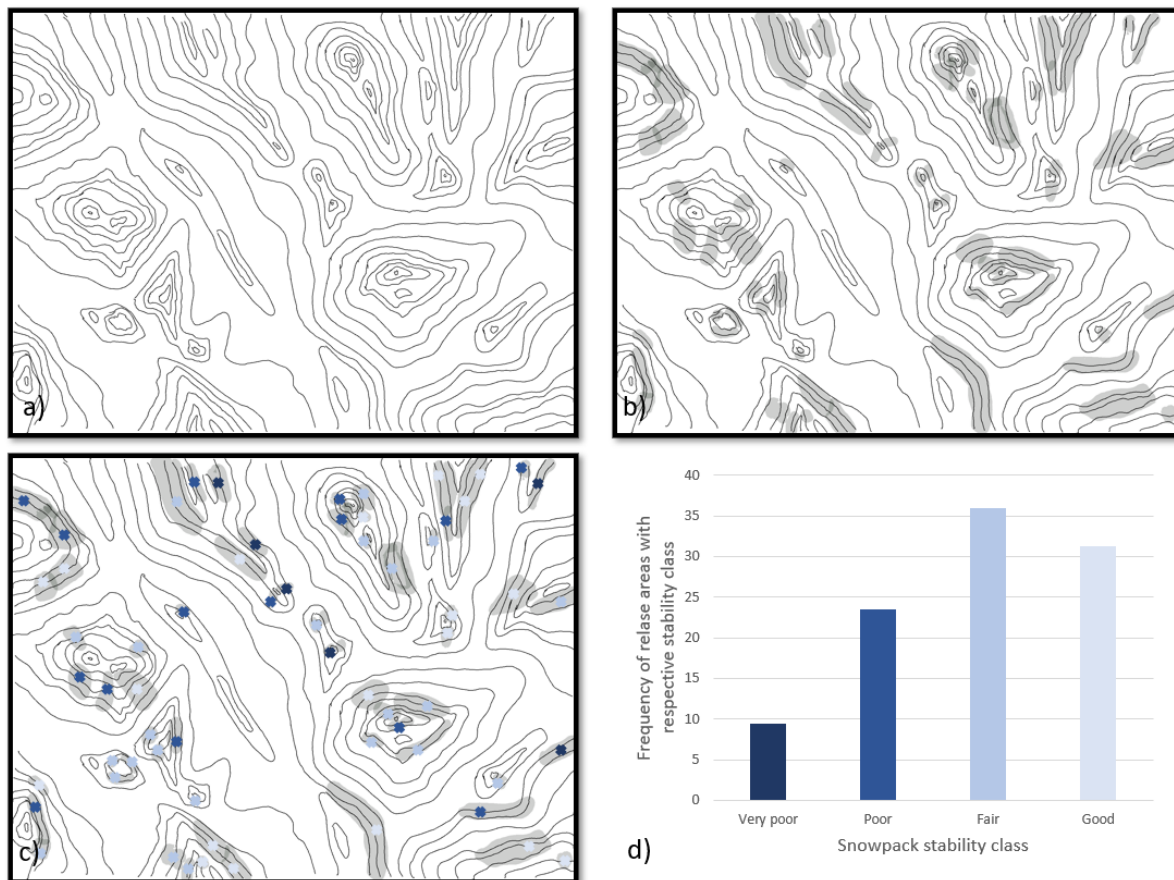


Figure B-1: Illustration of frequency distribution. We consider a hypothetical and idealized scenario where a stability assessment for points within starting zones is available. Here, our micro-region is defined by the contour map in panel a). For sake of simplicity, we choose the reference unit to be 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 km², while the potential release area within these micro-regions covers between 21 and 159 km² 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
Total	76

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).

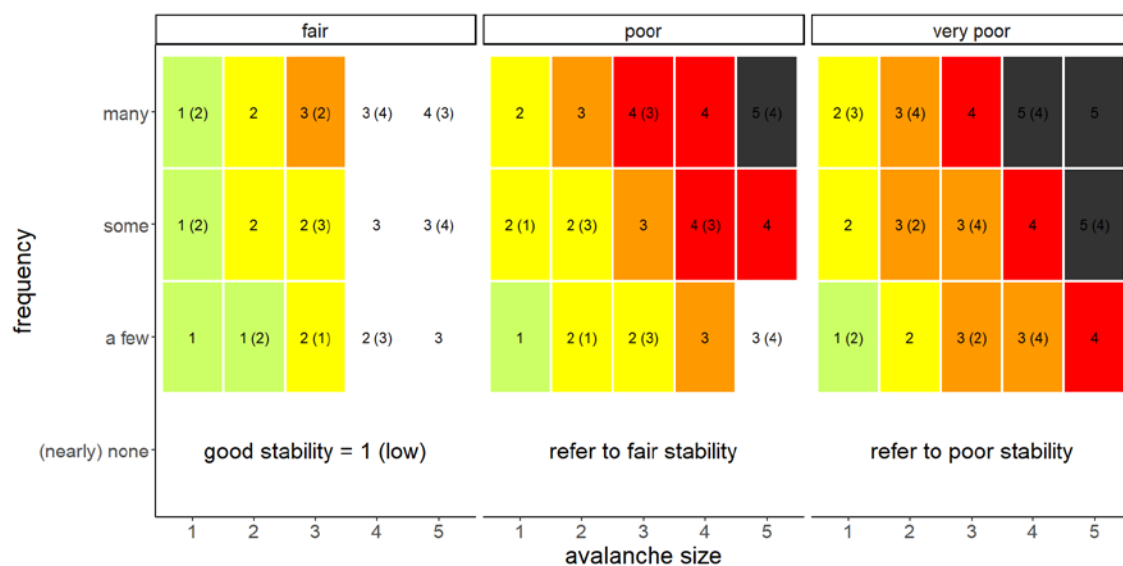


Figure D-1: EAWS matrix (v2022). Table and caption to be updated. For details refer to the text.

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.

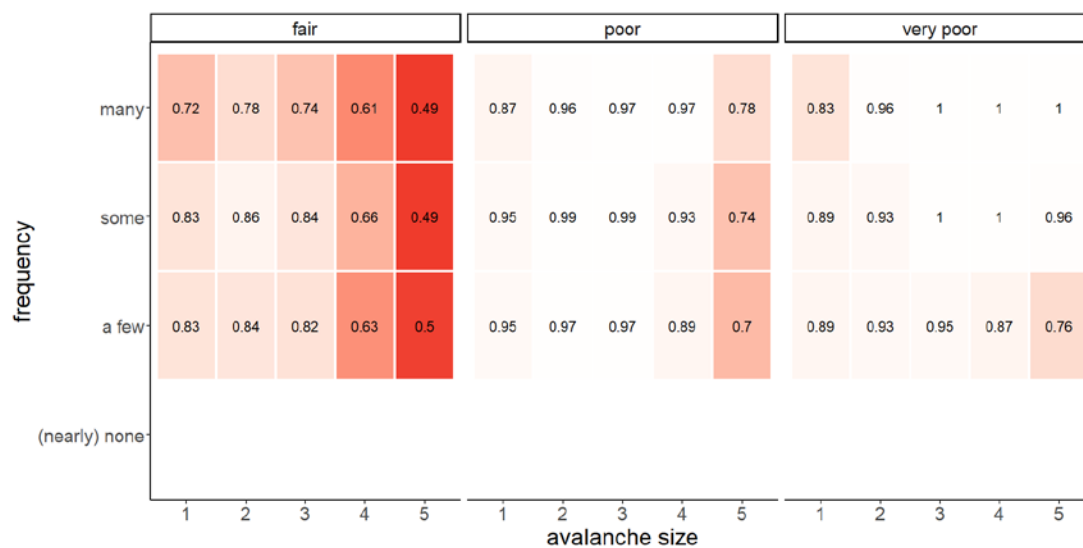


Figure D-2: Proportion of responses indicating a danger level for each of the combinations of stability – frequency – avalanche size. The respective proportion is shown (number). Light colors correspond to combinations with a high proportion (i.e., a danger level was always indicated for very poor – 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 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 $<55\%$).

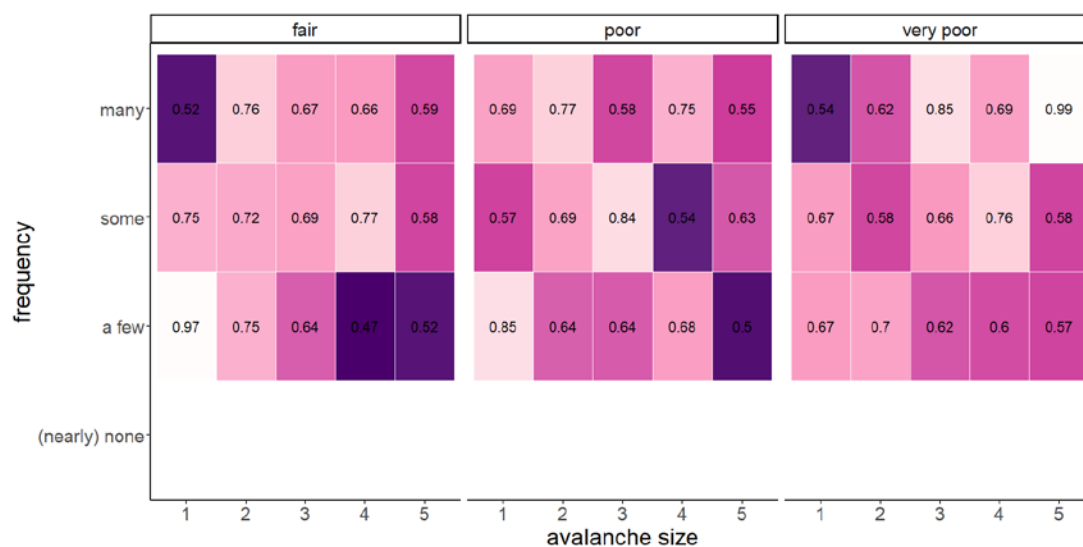


Figure D-3: Proportion of responses indicating the most frequent danger level (equal to the median in Figure D-1) for each of the combinations of stability – frequency – avalanche size. The respective proportion is shown (number), light colors correspond to a high proportion (i.e., close to full agreement 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

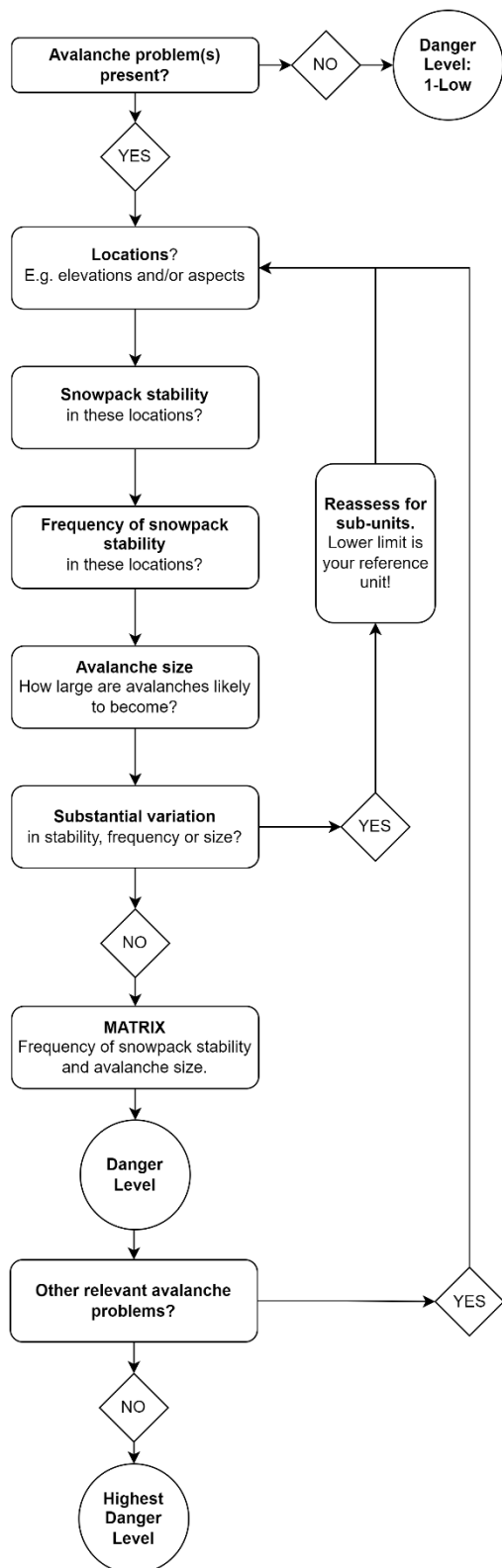


Figure E-1: Workflow to determine the avalanche danger level.

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.