



EUROPEAN AVALANCHE WARNING SERVICES

Détermination du niveau de danger d'avalanche pour la prévision régionale avalanche

EAWS - Groupe de Travail Matrice et Échelle

Le groupe de travail Matrice et Échelle recommande l'utilisation des définitions, termes et classes associées, pour la description du danger d'avalanche tel que présenté dans ce document. Les paragraphes qui suivent définissent le [niveau de danger d'avalanche](#) et les facteurs qui y contribuent : [stabilité du manteau neigeux](#), [distribution de fréquence de stabilité du manteau neigeux](#) et [taille des avalanches](#). Un niveau de danger d'avalanche peut seulement être déterminé pour une zone d'une certaine extension géographique. Le paragraphe définissant le cadre spatio-temporel fournit les termes et conditions d'utilisation de ce concept. Nous concluons avec la [méthodologie](#) et la [Matrice EAWS](#) à utiliser pour déterminer le niveau de danger. Les [annexes](#) fournissent des détails et exemples supplémentaires sur les considérations et la méthode du groupe de travail.

Notre groupe de travail inclut les membres suivants : Müller, Karsten (NO, group leader) ; (dans l'ordre alphabétique) : Bellido, Guillem (AD) ; Bertranda, Lorenzo (IT) ; Feistl, Thomas (DE) ; Mitterer, Christoph (AT) ; Palmgren, Petter (SE) ; Sofia, Stefano (IT) ; Techel, Frank (CH); depuis septembre 2021 : Dufour, Anne and Roux, Nicolas (FR)

Niveau de danger d'avalanche

Définition:

Le niveau de danger d'avalanche est une fonction de la stabilité du manteau neigeux, de la distribution de fréquence de stabilité du manteau neigeux et de la taille des avalanches, le tout pour une unité de temps et d'espace donnée. Il existe 5 niveaux de danger : **5-très fort, 4-fort, 3-marqué, 2-limité, 1-faible.**

Définition du cadre spatio-temporel

Les échelles spatiales suivantes sont à considérer pour la détermination du danger d'avalanche.

Domaine de prévision

Le domaine de prévision est l'aire de responsabilité d'un service de prévision d'avalanche sur laquelle des prévisions de danger d'avalanche sont émises. Il est généralement fixe pour un service de prévision.

Micro-région

Une micro-région est la plus petite entité géographique utilisée pour évaluer le danger d'avalanche. Elles sont fixes, et permettent aux usagers de savoir exactement quelle zone géographique est décrite. Elles peuvent être délimitées par des frontières administratives (e.g., entre pays, départements, communes, etc) ; elles peuvent aussi décrire des zones homogènes d'un point de vue climatologique, hydrologique ou météorologique ; ou être basées sur des divisions orographiques ou une combinaison de ces différentes délimitations possibles (Techel et al., 2018).

Unité de référence

Une unité de référence est la plus petite entité spatio-temporelle sur laquelle un niveau de danger d'avalanche peut être émis. Elle peut être délimitée par différent(e)s altitudes et/ou orientations au sein d'une micro-région (Figure 1). Aussi, elle doit être suffisamment étendue pour inclure un éventail suffisant de terrains avalancheux. L'unité de référence doit être définie et être consistante au sein d'un même service de prévision (et idéalement entre services de prévision).

Région d'émission d'un bulletin

Une région d'émission est une agrégation de micro-régions, pour lesquelles les conditions sont estimées être similaires et sont évaluées avec le même niveau de danger pour les mêmes orientations et altitudes critiques, les mêmes situations avalancheuses typiques et la même description du danger. Les régions d'émissions peuvent varier d'un jour à l'autre du fait de l'agrégation de ces paramètres. Une région d'émission est plus petite ou égale au domaine de prévision et plus grande ou égale à une micro-région.

Résolution

La résolution spatio-temporelle utilisée pour définir le danger d'avalanche dépend en premier lieu de la disponibilité de données d'observation pertinentes et fiables, à une fréquence spatio-temporelle suffisante. Aussi, la résolution des évaluations du danger d'avalanche pourra varier d'un service de prévision à l'autre. Typiquement, les éléments suivants caractérisent la résolution spatio-temporelle utilisée pour établir le niveau de danger d'avalanche :

- la taille des micro-régions au sein d'un domaine de prévision (Figure 1a),
- la résolution pour les altitudes et/ou orientations (Figure 1b and c), et

- la division temporelle au sein de la période de validité d'une prévision (e.g., dans la matinée/soirée, Figure 1d).

La combinaison de ces éléments définit la plus petite l'unité de temps et d'espace sur laquelle un prévisionniste peut émettre un niveau de danger d'avalanche, appelée par la suite [unité de référence](#).

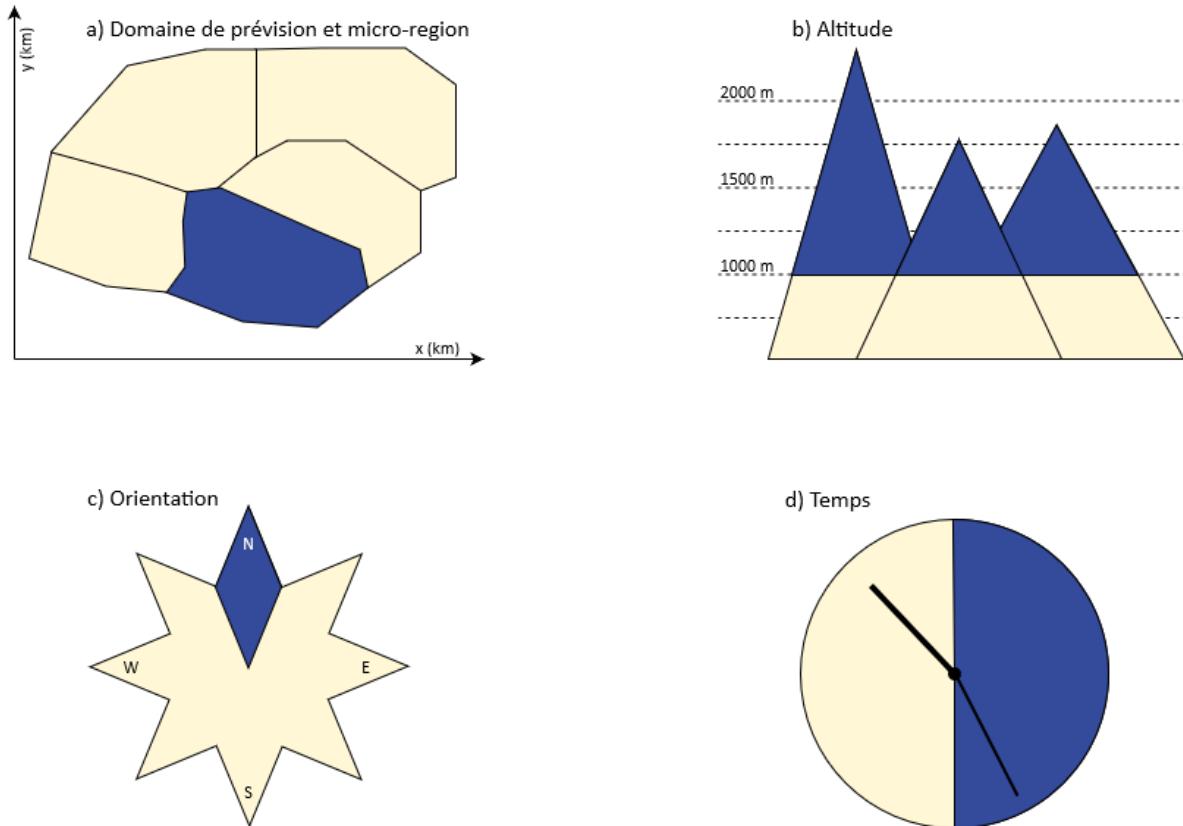


Figure 1 : Une unité de référence est caractérisée par la combinaison des plus petites subdivisions pour les éléments suivants : (a) la plus petite entité géographique sur l'horizontale (micro-région) au sein d'un domaine de prévision, (b) la résolution sur les altitudes et (c) les orientations, et (d) la subdivision temporelle. Dans la figure, les exemples de divisions sont soulignés en bleu. Ici, la taille d'une micro-région définit l'extension spatiale, l'altitude est résolue par pas de 200m et est rendue dans le bulletin comme deux indices au-dessus et au-dessous d'une certaine altitude, les orientations sont définies par huit secteurs tandis que temporellement ne seront distingués que le matin et l'après-midi. La combinaison de ces éléments, soulignés en bleu, est l'unité de référence, la plus petite entité spatio-temporelle sur laquelle un risque avalanche peut être émis.

Stabilité du manteau neigeux

Définition:

La stabilité du manteau neigeux est une propriété locale du manteau neigeux, décrivant la propension d'une pente enneigée à partir en avalanche (Reuter and Schweizer, 2018). Elle peut être décrite suivant 4 classes : *très不稳定,不稳定, moyennement stable, stable*.

Remarques

1. Selon le type d'avalanche, la stabilité du manteau neigeux est décrite par :
 - a. L'initiation, la propagation et la rupture (avalanches de plaque) (Reuter and Schweizer, 2018)
 - b. La perte de cohésion (avalanches de neige sans cohésion, départ ponctuel) (e.g., McClung and Schaerer, 2006)
 - c. La perte de friction basale et de support de la plaque en tension et/ou compression (avalanches de fond) (e.g., Bartelt et al., 2012).
2. La stabilité du manteau neigeux est inversement liée à la probabilité d'un départ d'avalanche. La stabilité du manteau neigeux décrit la capacité du manteau neigeux à supporter un élément déclencheur (Statham et al., 2018a), par exemple une personne skiant dans une pente. Le Tableau A-2 de l'annexe A donne une synthèse des termes utilisés pour cela dans la littérature.
3. Le terme *local* désigne un endroit dont la taille est comprise entre une zone potentielle de déclenchement ou zone de test de stabilité, et une zone de départ d'avalanche.
4. Les évaluations de la stabilité du manteau neigeux peuvent référer soit au futur (prévision) ou au présent (analyse ou prévision immédiate) et être basées sur des observations ou des modèles. E.g., si le manteau neigeux dans une zone départ est considéré comme moyennement stable aujourd'hui, et que d'ici le demain une nouvelle couche de neige est attendue, la stabilité du manteau neigeux du lendemain, incluant la nouvelle couche de neige, doit être déterminée. Il est probable qu'elle soit devenue instable, voire très instable à ce moment-là.

Table 1: Classes de stabilité, et type de déclenchements généralement associé à ces classes. Voir figure A1 à A3 de l'annexe A.

Classe de stabilité	Que faut-il pour déclencher une avalanche ?
Très instable	Naturel / très facile à déclencher
Instable	Facile à déclencher (e.g., un seul skieur)
Moyennement stable	Difficile à déclencher (e.g., explosifs)
Stable	Conditions stables

Distribution de fréquence de stabilité du manteau neigeux

Définition:

La distribution de fréquence de stabilité du manteau neigeux décrit le pourcentage de points, pour chaque classe de stabilité, par rapport à l'ensemble des points qui constituent un terrain avalancheux. Ainsi, la fréquence f pour tous les points de la classe i (n_i) rapportée à tous les points (n) est $f(i) = n_i/n$. La distribution de fréquence de stabilité du manteau neigeux est décrite selon quatre classes : *nombreuses, quelques, rares et aucune/très rares* (Table 2).

Remarques

1. La distribution de fréquence de stabilité se réfère à des points (nombreux)(i.e., tests de stabilité, modèles du manteau neigeux ou zones potentielles de déclenchements provoqués) ou bien à des zones de départ d'avalanche.
2. La fréquence doit être évaluée pour une entité géographique plus grande ou égale à l'unité de référence.

3. La définition demande en théorie un pourcentage. Cependant, cela est souvent impossible à faire dans la mesure où la distribution de fréquence doit être déduite de données très éparques dans la pratique. Les pourcentages ou seuils des classes *nombreuses*, *quelques*, *rares* ou *aucune/très rares* diffèrent en fonction des observations/évidences utilisées ou disponibles (voir Annexe B). Par exemple le pourcentage de pentes présentant un départ spontané peut être plus faible que le pourcentage de points avec des tests de stabilité indiquant un manteau neigeux *très instable*.
4. Voir l'Annexe B pour une brève revue des recherches en lien avec le thème de la distribution de fréquence de stabilité du manteau neigeux.

Tableau 2: Classes de distribution de fréquence de stabilité du manteau neigeux.

Classe de fréquence	Description	Évidence (e.g., observations)
<i>Nombreuses</i>	Les points avec cette classe de stabilité sont abondants.	Signes d'instabilité faciles à observer.
<i>Quelques</i>	Les points de cette classe d'instabilité ne sont ni nombreux ni rares, mais ils existent généralement dans des terrains avec des caractéristiques communes (i.e., près des crêtes, dans les couloirs, etc).	
<i>Rares</i>	Les points avec cette classe de stabilité sont rares.	Signe d'instabilité difficile à observer.
<i>Aucunes ou très rares</i>	Les points avec cette classe de stabilité n'existent pas ou sont tellement rares qu'ils ne sont pas considérés comme pertinents pour l'évaluation de la stabilité.	

La figure B-1 illustre le concept de distribution de fréquence dans un cas idéalisé.

Taille des avalanches

Définition:

La taille des avalanches décrit le potentiel destructeur des avalanches.

La question "Quelle taille peuvent atteindre les avalanches ?" doit être adressée sur la base du tableau 3.

Tableau 3 : Description des classes de taille des avalanches. Pour une description plus détaillée, voir EAWS (2022).

Taille	Nom	Potentiel destructeur
1	Petite	Il est peu probable qu'une personne soit enfouie, sauf dans les zones d'écoulement aux caractéristiques défavorables (e.g., des pièges de terrain).
2	Moyenne	Peut enfouir, blesser ou tuer une personne. Peut enfouir et détruire des voitures, endommager des camions, détruire de petits bâtiments et briser quelques arbres.
3	Grande	Peut enterrer et détruire des camions et des trains. Peut détruire des bâtiments assez grands et de petites zones de forêt.
4	Très grande	Peut dévaster le paysage et a un potentiel destructeur catastrophique.
5	D'ampleur exceptionnelle	

Méthodologie pour la détermination du danger d'avalanche

La méthodologie décrit le cheminement depuis l'évaluation des situations avalancheuses typiques jusqu'à la détermination du niveau de danger d'avalanche pour une région de prévision. Tous les problèmes avalancheux pertinents doivent être pris en compte, de même que la stabilité du manteau neigeux, la fréquence et la taille des avalanches doivent être évaluées. Le niveau de danger le plus élevé qui en résulte sera communiqué pour le domaine de prévision donné.

Table 4 : Méthodologie pour la détermination du danger d'avalanches. Voir également le schéma dans l'annexe E.

Tâche	Explications et remarques
1 Évaluer les situations avalancheuses typiques présentes.	Choisir parmi les situations avalancheuses typiques définies par l'EAWS (EAWS 2022)
	Si aucune situation avalancheuse typique n'existe, le niveau de danger est de 1-faible.
2 Pour chacune de ces situations, évaluez les zones (altitude, orientation) et le moment de la journée où le problème est présent.	
3 Pour ces zones/périodes, évaluez les classes de stabilité du manteau neigeux.	La stabilité du manteau neigeux est liée à la question suivante : "Que faut-il pour déclencher une avalanche ?". Souvent, les endroits où la stabilité du manteau neigeux est la plus faible sont décisifs.
4 Pour ces classes de stabilité, évaluez la fréquence.	La fréquence est liée à la question suivante : "Quelle est la fréquence des zones où des avalanches peuvent être déclenchées par l'élément déclencheur spécifié à l'étape 3 ?"
5 Évaluer la taille des avalanches.	La taille des avalanches est liée à la question suivante : "Quelle taille peuvent atteindre les avalanches ?" Souvent, la plus grande taille d'avalanche considérée comme probable est décisive.
	Si la stabilité du manteau neigeux, la fréquence et/ou la taille des avalanches varient considérablement d'une orientation et/ou d'une altitude à l'autre, et/ou au cours de la période de prévision, répétez les étapes 3 à 5 pour identifier les zones/périodes présentant la plus grave des combinaisons de ces trois facteurs.
6 Se référer à la matrice EAWS pour obtenir le niveau de danger pour la combinaison stabilité du manteau neigeux/fréquence/taille des avalanches sélectionnée lors des étapes 3 à 5.	
	Répéter les étapes 2 à 6 pour les autres situations avalancheuses typiques présentes.
7 Choisir le niveau de danger le plus élevé obtenu à l'état l'étape 6.	

Matrice EAWS

La matrice est utilisée pour déterminer le niveau de danger d'avalanche en se basant sur la stabilité du manteau neigeux, la distribution de fréquences de stabilité du manteau neigeux et la taille des avalanches.

L'utilisateur évalue les trois facteurs que sont la stabilité du manteau neigeux, la fréquence de la stabilité du manteau neigeux et la taille de l'avalanche en fonction de la [méthodologie](#) décrite au-dessus, et sélectionne ensuite la cellule adéquate dans la matrice.

La matrice a été obtenue à la suite d'une enquête auprès de nombreux prévisionnistes (approche décrite en annexe D). Certains champs contiennent deux niveaux de danger. Le niveau de danger médian est indiqué par la valeur entière pour chaque niveau de danger (par exemple, 1 pour 1 (faible)). Dans le cas où la distribution des réponses était plutôt hétérogène, une deuxième valeur est indiquée entre parenthèses, représentant l'écart interquartile, dans le cas où cette deuxième valeur était différente du niveau de danger médian.

En utilisant la matrice de la figure 2, il est préférable d'utiliser la médiane (premier chiffre donné dans la cellule). La présence d'un deuxième indice, entre parenthèses, indique que l'avis des prévisionnistes n'est pas tranché sur cette cellule et qu'il y a une tendance également à l'utilisation de l'indice entre parenthèses. Ces cellules doivent être considérées avec attention, et il est nécessaire de recueillir des retours d'utilisation pour une évaluation future.

Par exemple, si votre évaluation pour la situation avalancheuse typique dominante vous donne une évaluation optimale par un manteau neigeux *instable* sur de *nombreuses* pentes et des avalanches pouvant aller jusqu'à la *taille 3*, le niveau de danger sera 4-fort.

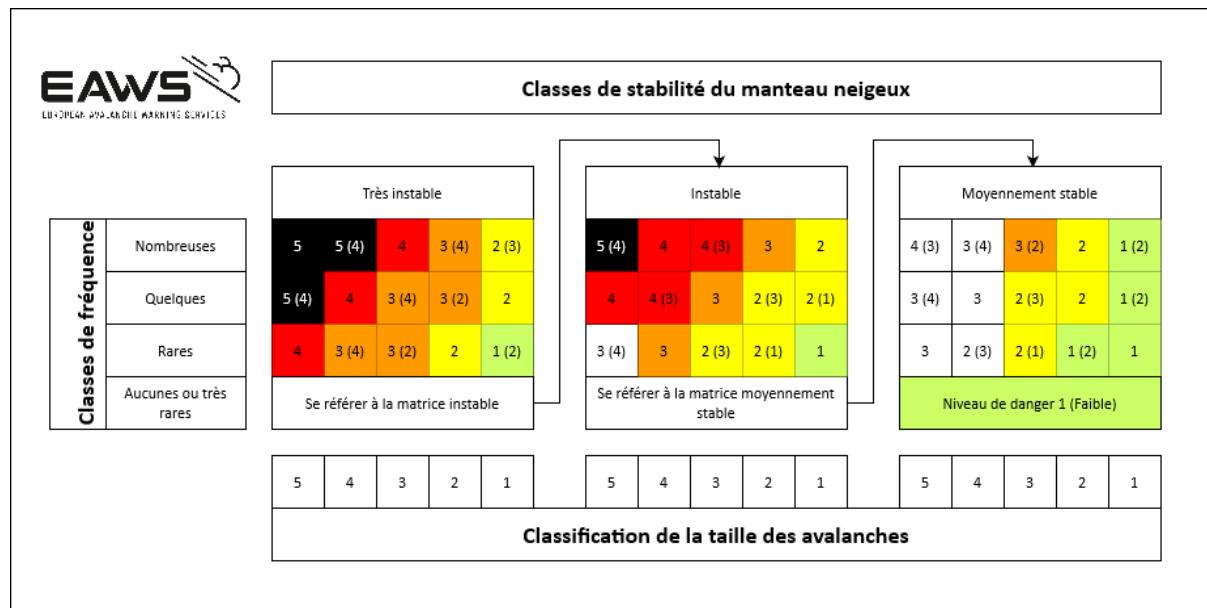


Figure 2 : Mise à jour de la matrice EAWS basée sur l'approche décrite à l'annexe D. Sa mise en page est préliminaire et a été choisie pour tenir compte de toutes les combinaisons possibles de stabilité du manteau neigeux, de fréquence et de taille des avalanches.

Annexe 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	
		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
Typical sign of instability*	Natural wet-snow avalanches Artificially triggered wet-snow avalanches	
		If question answered with yes, arrows indicate stability tendency.
Snowpack conditions in potential release areas	Advance of wetting front? First wetting of snowpack? First time snowpack becomes isothermal? Wet persistent weak layers present? RB1-2, failure in wet snow layer? ECTP, failure in wet snow layer?	Flow channels in snowpack established? Refreezing of snowpack? Liquid water content decreasing?
Stability tests (work poorly in wet snow)		

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

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.

Snowpack stability class		
	Very poor	Poor / Fair
Typical sign of instability*	Natural glide-snow avalanches	
		If question answered with yes, arrows indicate stability tendency.
Snowpack conditions in potential release areas	Is liquid water present at snow-soil interface? Acceleration of glide-crack opening? Loading due to new snow?	

Snowpack stability class		
	Very poor	Poor / Fair
Typical sign of instability*	Natural glide-snow avalanches	
		If question answered with yes, arrows indicate stability tendency.
Snowpack conditions in potential release areas	Is liquid water present at snow-soil interface? Acceleration of glide-crack opening? Loading due to new snow?	

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	Large
Good	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.

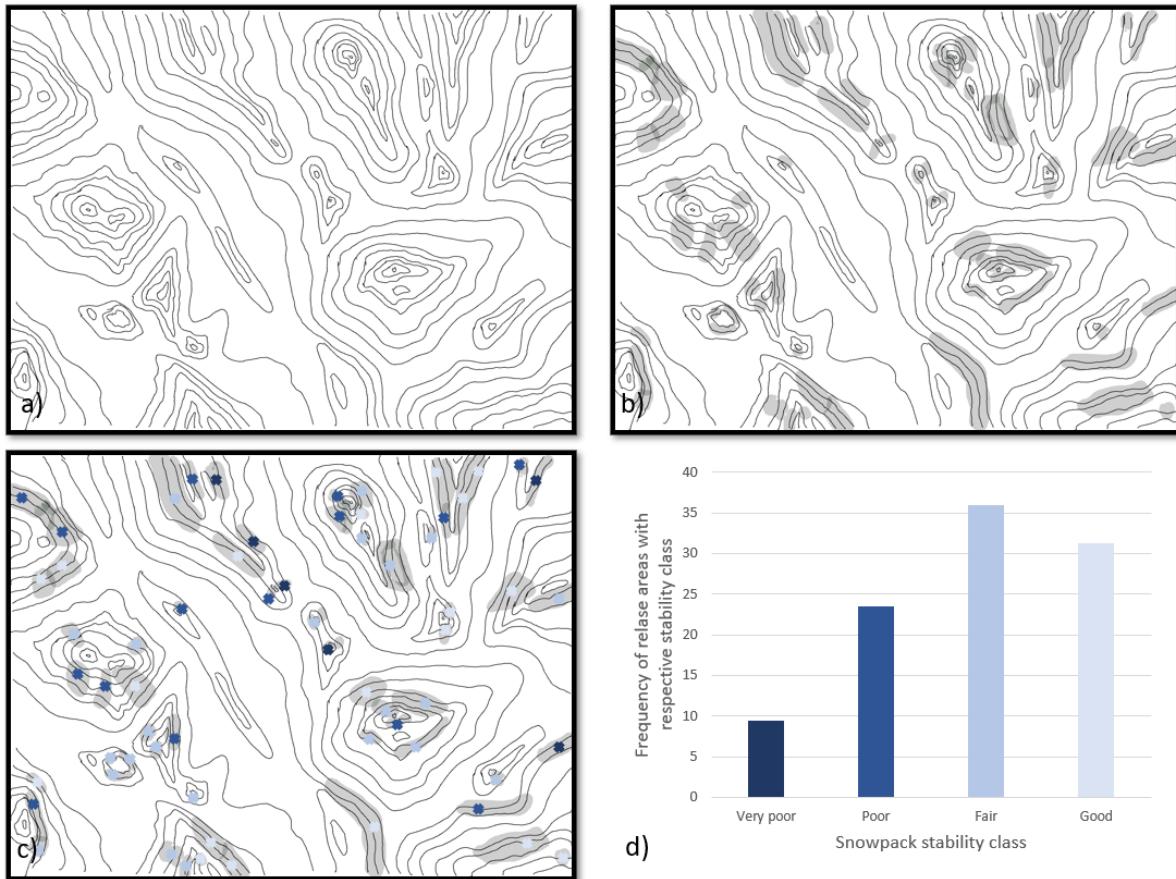


Figure B-1: Illustration of frequency distribution. We consider a hypothetical and idealized scenario where a stability assessment for points within starting zones is available. Here, our micro-region is defined by the contour map in panel a). For sake of simplicity, we choose the reference unit to be 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 2019¹ (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)², 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

¹ data set by Bühler et al. (2019), reliability of mapping method explored in Hafner et al. (2021), release area definition according to Bühler et al. (2018); these results are yet unpublished and may be used with permission by E. Hafner. For these warning regions, the danger level was considered as 5 – Very High in hindsight.

² dataAvalanche data set: Schweizer et al. (2020), SLF (2022) set by SLF;; initial Presented values are based on data prepared by analysis by Völk (2020) and proportions extracted by F. Techel. These results are yet unpublished and may be used with permission by F. Techel.

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 = 5xx and xx9, 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-12XY in the main part of this document shows the matrix based on the 76 responses. The same matrix, although in a different lay-out, is shown in Figure D-12 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).

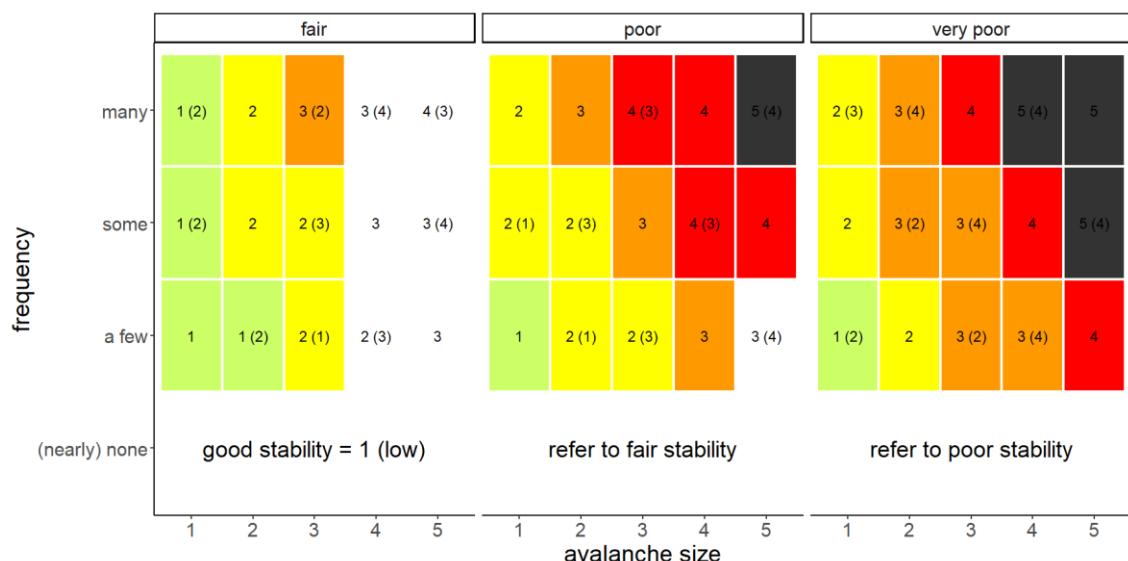


Figure D-1: EAWS matrix (v2022). Table and caption to be updated. For details refer to the text.

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.

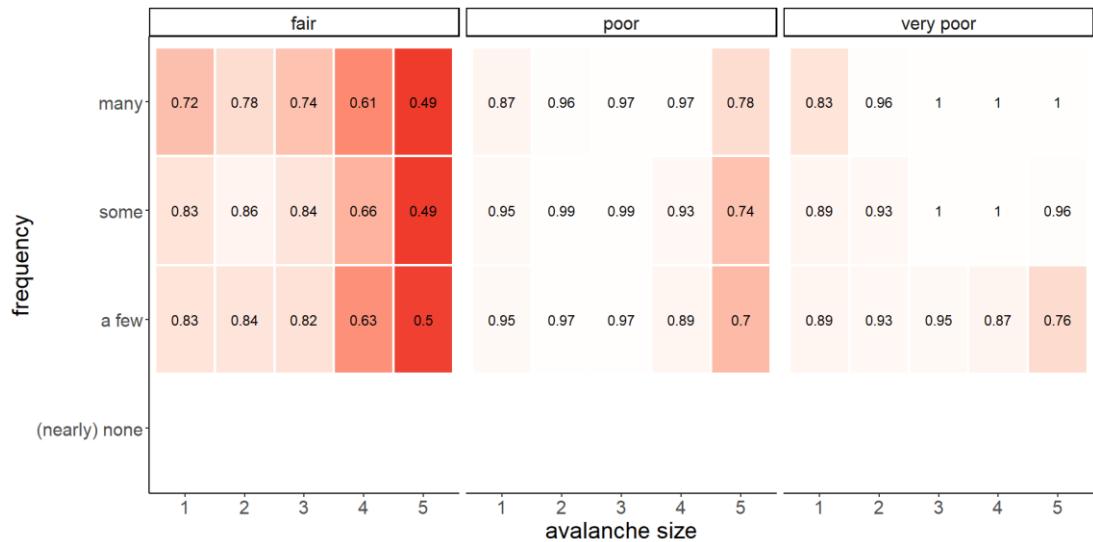


Figure D-2: Proportion of responses indicating a danger level for each of the combinations of stability – frequency – avalanche size. The respective proportion is shown (number). Light colors correspond to combinations with a high proportion (i.e., a danger level was always indicated for very poor –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

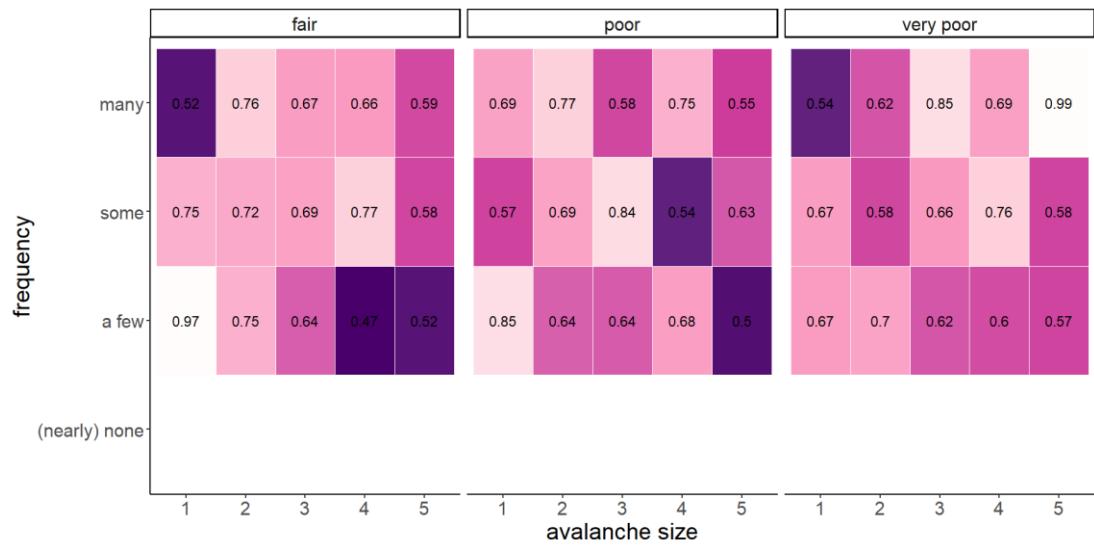


Figure D-3: Proportion of responses indicating the most frequent danger level (equal to the median in Figure D-1) for each of the combinations of stability – frequency – avalanche size. The respective proportion is shown (number), light colors correspond to a high proportion (i.e., close to full agreement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

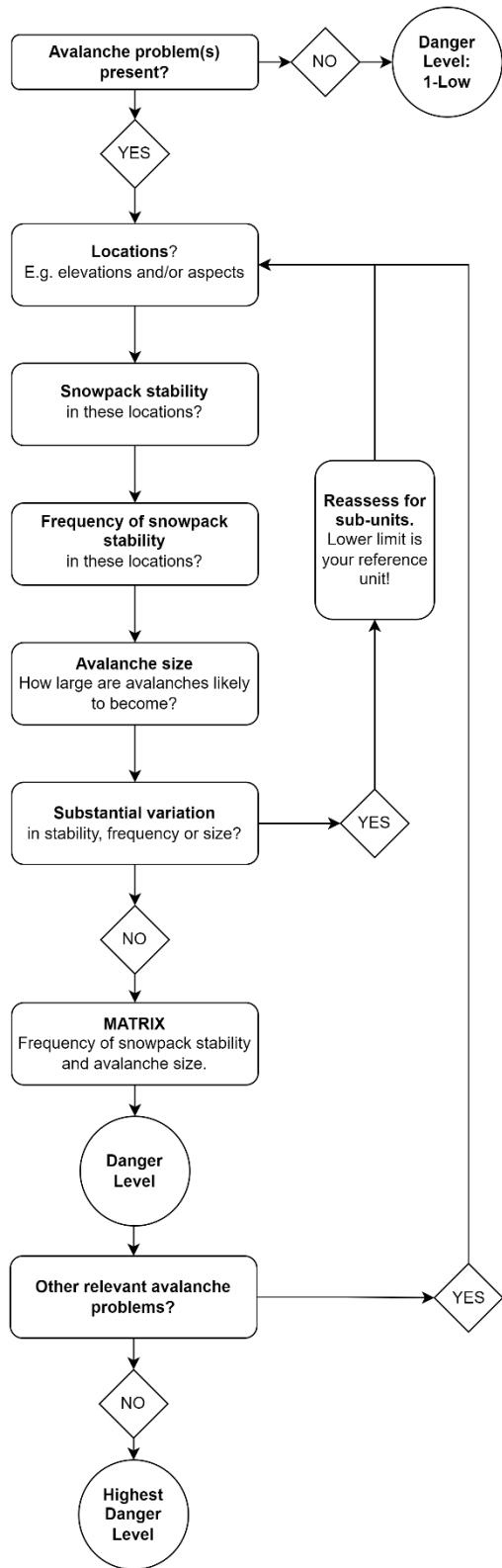


Figure E-1: Workflow to determine the avalanche danger level.

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.