

Lawinenrisiko-Bewertung für Skitouren

Methodik und technische Dokumentation

topo[^]alpin

Version 1.4 — 30. Mai 2026

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Bestehende Ansätze	3
1.2	Unser Ansatz	3
2	Zugrundeliegende Modelle	3
3	Modellarchitektur	4
3.1	Datengrundlage	4
3.2	Bulletin-Integration	5
3.3	Berechnungsablauf	5
4	Risiko-Darstellung	6
4.1	Drei-Farben-Ampel	6
4.2	Konsequenz-Dimension (ATES)	6
4.3	Geländemoderation	7
4.4	Höhenabhängige Dämpfung	7
4.5	Schlüsselstellen (Cruxes)	7
5	Plausibilitätsprüfung	8
5.1	Abgleich mit Lawinenunfalldaten	8
6	Diskussion	10
6.1	Stärken	10
6.2	Limitationen	10
6.3	Ausblick	10
7	Abdeckung	10
	Literatur	11

1 Einleitung

Die Routenplanung im winterlichen Gebirge erfordert eine Abwägung zwischen Lawinengefahr und Geländeexposition. Erfahrene Tourenger nutzen dafür das Lawinenbulletin in Kombination mit der Geländebeurteilung — ein Prozess, der Fachwissen und Erfahrung voraussetzt.

Tour-Check ist ein Feature von topo^alpin — einer Applikation für Tourenplanung, Navigation und Bergwetter im Alpenraum (Web und iOS). Dieses Dokument beschreibt die Methodik der automatisierten Routenbewertung und die zugrundeliegenden publizierten Modelle.

1.1 Bestehende Ansätze

SkiTourenGuru (Schmudlach & Köhler¹) ist das etablierteste Tool für routenbasierte Lawinenrisiko-Bewertung im Alpenraum. Die Webplattform bewertet über 4.000 vordefinierte Routen in sechs Alpenländern und bietet seit 2024 auch die Bewertung frei gezeichneter Routen. Der Algorithmus basiert auf der Relevant Slope Area (RSA) mit gefahrenstufenabhängigem Suchradius und aggregiert das Risiko entlang der Route als Survival-Produkt $\prod(1 - p)$. Die Gewichtungsfaktoren sind nicht publiziert. Eine mobile App mit Offline-Navigation ist für Winter 2026/27 angekündigt.

White Risk (Harvey et al.², SLF/WSL) ist eine Lawinen-App (iOS und Android) mit integrierter Tourenplanung für die Schweiz. Nutzer zeichnen Routen entlang von Wegen oder frei im Gelände; die App erkennt automatisch Schlüsselstellen und bewertet diese anhand der CAT/ATH-Karten (860.000 RAMMS-Simulationen) und des aktuellen Bulletins. Das zugrundeliegende RiskCheck-Framework² trennt Trigger-Wahrscheinlichkeit und Konsequenzen explizit ($\text{Risk} = P(\text{Release}) \times P(\text{Consequences})$) und ermöglicht eine manuelle Verfeinerung anhand von Feldbeobachtungen. Das System ist auf die Schweiz beschränkt.

1.2 Unser Ansatz

Tour-Check automatisiert die Routenbewertung auf Basis publizierter wissenschaftlicher Modelle: das SLABS-GAM (Degraeuwe et al.³, vergleichend evaluiert in⁴) für die Trigger-Wahrscheinlichkeit und AutoATES v2 (Toft et al.⁵, kalibriert nach Huber et al.⁶) für die Konsequenz-Dimension. Wie White Risk trennen wir Trigger und Konsequenzen, sind aber nicht auf die Schweiz beschränkt. Alle Modellparameter, Schwellenwerte und Abweichungen sind in diesem Dokument dokumentiert.

Tour-Check ersetzt keine eigenständige Beurteilung, liefert aber eine datenbasierte Ersteinschätzung und macht kritische Routenabschnitte sichtbar.

2 Zugrundeliegende Modelle

Die Bewertung basiert auf zwei zentralen Publikationen:

SLABS (Degraeuwe et al.³) — ein Generalisiertes Additives Modell (GAM), das die Triggering-Wahrscheinlichkeit einer Lawine aus vier Variablen schätzt:

- **MSA** (Maximum Surrounding Angle): 85. Perzentil der Hangneigung im Umkreis des Routenpunkts
- **DL** (Danger Level): Aktuelle Gefahrenstufe aus dem Lawinenbulletin
- **DCE** (Delta Critical Elevation): Abstand zur kritischen Höhenzone
- **AOF** (Aspect Overlapping Fraction): Überlappung mit der kritischen Exposition

Der MSA-Suchradius beträgt fix **40 m** (MSA40) — das SLABS GAM wurde ausschließlich auf MSA40 kalibriert (Degraeuwe et al.³). Konsequenzen aus steilem Gelände jenseits dieses Radius werden durch die ATES-Klassifikation erfasst (FlowPy-Auslaufsimulation).

2.0.1 Publierte Risk Ratios

Faktor	Stufe	Step-RR	Kumulativ
MSA40	< 25°	1.0	1.0
	25–30°	2.9	2.9
	30–35°	3.3	9.6
	35–40°	4.9	47.0
	40–45°	3.2	150.4
	≥ 45°	1.4	210.6
DL (β_1)	log(4.3)		
AOE (β_2)	log(3.4)		
DCE	–500 m → 0 m	5.3	
	0 m → +500 m	2.7	

Tabelle 1: Risk Ratios nach Degraeuwe et al.³, Table 1.

Die DCE-Kurve wird über kubische Hermite-Interpolation zwischen drei Ankerpunkten approximiert: $RR(-500) = 1/5.3 \approx 0.189$, $RR(0) = 1.0$, $RR(+500) = 2.7$. Negative DCE (unterhalb der kritischen Höhe) reduziert das Risiko, positive DCE erhöht es.

2.0.2 ATES v2

ATES v2 (Statham & Campbell⁷, automatisiert nach Toft et al.⁵) — Avalanche Terrain Exposure Scale, klassifiziert Gelände nach Konsequenz-Schwere unabhängig von der aktuellen Gefahrenlage:

Klasse	Farbe	Bedeutung
Simple	 Grün	Geringes Exposure, einfaches Gelände
Challenging	 Blau	Mäßiges Exposure, Auslaufzonen
Complex	 Pink	Hohes Exposure, signifikante Anriss-/Auslaufzonen
Extreme	 Violett	Sehr hohes Exposure, Terrain Traps

Tabelle 2: ATES-Klassen. Farbschema nach Huber et al.⁶ / SLF.

3 Modellarchitektur

3.1 Datengrundlage

Die Berechnung erfolgt auf Basis hochaufgelöster Geländedaten (5 m Rasterauflösung), abgeleitet aus LIDAR-Höhenmodellen:

- **Digitales Höhenmodell (DEM):** Absolute Höhe in Metern
- **MSA40-Raster:** Vorberechnetes 85. Perzentil der Hangneigung im 40-m-Radius (kreisförmiges Fenster)
- **Aspekt-Raster:** Hangexposition in Grad (0° = Nord)
- **ATES-Raster:** Geländeklassifikation 1–4

DEM, MSA40 und Aspekt werden direkt aus den nationalen LiDAR-Quell-Rastern gelesen, ATES aus dem Endprodukt der in der ATES-Methodik dokumentierten Pipeline. Zur Behandlung von Landesgrenzen (insbesondere zur Vermeidung unzuverlässiger Klassifikation im DEM-Saum jenseits der eigenen Region) siehe Kapitel *Cross-Border-Konsolidierung* im ATES-Methodik-Paper.

3.2 Bulletin-Integration

Das aktuelle EAWS-Lawinenbulletin (CAAML v6) liefert:

- **Gefahrenstufe** (1–5) nach Höhenstufen differenziert
- **Kritische Höhe**: Untergrenze der Gefahrenzone — intern werden zwei Varianten berechnet: `baseCritEle` (expositionsunabhängig, für stabile Höhenlinien-Darstellung) und `criticalEle` (expositionsabhängig, für den DCE-Term im SLABS-Score)
- **Kritische Expositionen**: Himmelsrichtungen mit erhöhter Gefahr

Die Bestimmung der Gefahrenstufe durch die Warndienste folgt seit 2022 der EAWS-Matrix (Techel et al.^{8,9}), die Schneedeckenstabilität, deren Häufigkeit und Lawinengröße zu einer Gefahrenstufe kombiniert. Da unser Modell die publizierte Gefahrenstufe als Input verwendet, wirken sich Änderungen in der Matrix-Anwendung durch die Warndienste direkt auf die Tour-Check-Bewertung aus.

Für Schweizer Bulletins wird die SLF-Unterstufe (`customData.CH.subdivision`) ausgewertet: 3– → 2.75, 3= → 3.0, 3+ → 3.25. Der kontinuierliche Wert speist direkt den log-linearen DL-Faktor $\exp(\beta_1 \cdot (r_{dl} - 1))$ und macht das Modell sensitiv für diese feinere Unterscheidung (Techel et al.¹⁰).

3.3 Berechnungsablauf

Für jeden Punkt entlang der Route (10-m-Intervall):

1. Geländedaten abrufen: Höhe, Hangneigung, Exposition, ATES-Klasse
2. Bulletin auswerten: Gefahrenstufe unter Berücksichtigung von Höhe und Exposition (1-Level-Rule: außerhalb der Kernzone eine Stufe reduziert)
3. MSA40 auslesen: 85. Perzentil der Hangneigung im 40-m-Radius
4. ATES-Demote: ATES 0 (kein Lawinengelände) → Grün
5. Geländekontext: Straßen, Wälder und tiefe Lagen reduzieren die effektive Hangneigung
6. Risiko-Farbe: Aus Hangneigung × Gefahrenstufe (Schwellenwert-Tabelle)
7. Konsequenz-Floor: ATES-Klasse kann die Farbe von Grün auf Orange anheben
8. Score: Kontinuierlicher Wert 0–3 aus der vollständigen SLABS-Formel

Der Score berechnet sich als:

$$\text{raw} = \text{RR}_{\text{MSA40}} \times e^{\beta_1 (r_{dl} - 1)} \times \text{RR}_{\text{DCE}} \times e^{\beta_2 \cdot \text{aof}}$$

$$\text{score} = \min \left(3, \frac{\ln(\max(1, \text{raw}))}{K_{\text{norm}}} \times 3 \right)$$

$K_{\text{norm}} = 12$ ist aus der SLABS-Modellstruktur hergeleitet: $K_{\text{norm}} = \ln(\text{raw}_{\text{max}})$, wobei raw_{max} dem realistischen Extremszenario entspricht (MSA40 = 45°, DL = 4, DCE = +400 m, AOF = 1; $\text{raw} \approx 142.000$, $\ln(142.000) \approx 12$). Score 3.0 entspricht dem physikalischen Maximum des Modells.

4 Risiko-Darstellung

4.1 Drei-Farben-Ampel

Jeder Routenabschnitt erhält eine Farbe basierend auf der Kombination aus effektiver Hangneigung und aktueller Gefahrenstufe:

Farbe	Bedeutung
■ Grün	Geringes Risiko bei aktueller Lawinenlage
■ Orange	Erhöhtes Risiko — besondere Aufmerksamkeit erforderlich
■ Rot	Hohes Risiko — Routenwahl kritisch hinterfragen

Tabelle 3: Drei-Farben-Ampel für die Routendarstellung.

Die Schwellenwerte für MSA40 und effektive Gefahrenstufe (r_{dl}) sind **eigene Ableitungen** aus SLABS Figure 2 (Degraeuwe et al.³), nicht direkt im SLABS-Paper publiziert. Sie basieren auf den dort gezeigten Farbzonen im MSA40 $\times$ DCE-Raum pro Gefahrenstufe und den statistischen Wendepunkten der Risk-Ratio-Kurve (Tabelle 1: stärkster Anstieg bei 30°→35° mit Step-RR 4,9 $\times$).

4.1.1 Unterhalb der kritischen Höhe

MSA40	In kritischer Zone (AOF=1)	Außerhalb (AOF=0)
< 30°	Grün	Grün
30–35°	Orange ($r_{dl} \geq 2.5$)	Grün
$\geq 35^\circ$	Rot ($r_{dl} \geq 2.5$)	Orange ($r_{dl} \geq 1.5$)
$\geq 40^\circ$	Rot ($r_{dl} \geq 2.5$)	Orange ($r_{dl} \geq 1.5$)
beliebig	Rot ($r_{dl} \geq 4$)	Rot ($r_{dl} \geq 4$)

Tabelle 4: Schwellenwerte unterhalb der kritischen Höhe.

4.1.2 Oberhalb der kritischen Höhe

Bedingung	Farbe
MSA40 $\geq 45^\circ$ + DCE ≥ 400 m + $r_{dl} \geq 2.5$	Rot
MSA40 $\geq 30^\circ$ + $r_{dl} \geq 4$	Rot
In Zone + MSA40 $\geq 40^\circ$ + $r_{dl} \geq 2.5$	Rot
In Zone + MSA40 $\geq 35^\circ$ + $r_{dl} \geq 2.5$	Orange
Außerhalb + MSA40 $\geq 40^\circ$ + $r_{dl} \geq 2.5$	Orange

Tabelle 5: Zusätzliche Regeln oberhalb der kritischen Höhe.

4.2 Konsequenz-Dimension (ATES)

Das SLABS-Modell erfasst primär die **Trigger-Wahrscheinlichkeit** — also wie wahrscheinlich eine Lawinenauslösung ist. Die **Konsequenz** (wie schwerwiegend ein Abgang wäre) wird durch die ATES-Klassifikation ergänzt:

ATES-Demote (Klasse 0): Punkte mit ATES 0 (kein Lawinengelände) werden unabhängig von MSA40 als Grün eingestuft. Die FlowPy-Auslaufsimulation bestätigt, dass keine Lawine diese Punkte erreicht — die Konsequenzen sind null, also ist das Risiko null (Harvey et al.²: Risk = Trigger $\times$ Consequences). ATES 1 (Simple) wird **nicht** herabgestuft: Statham & Campbell⁷ definieren

Simple als *low exposure* (nicht null), und hohes MSA40 auf Simple-Gelände zeigt Trigger-Risiko durch den Hang selbst an.

ATES-Floor (Klasse 2–4): Umgekehrt werden Punkte mit hoher ATES-Klasse bei erheblicher Gefahrenstufe hochgestuft. Ein flacher Punkt im Auslauf einer steilen Rinne hat niedrige Trigger-Wahrscheinlichkeit, aber hohe Konsequenz. Die Regeln im Einzelnen:

- ATES Complex/Extreme (3–4) bei $r_{dl} \geq 4$ (groß): mindestens Rot
- ATES Complex/Extreme (3–4) bei $r_{dl} \geq 2.5$ (erheblich): mindestens Orange
- ATES Challenging (2) bei $r_{dl} \geq 2.5$ und $MSA40 \geq 25^\circ$: mindestens Orange

Der MSA40-Schwellenwert von 25° bei ATES Challenging verhindert Hochstufungen in flachem, offenem Gelände ($MSA40 < 25^\circ$), in dem selbst bei Challenging-Klassifikation keine relevante Lawinenexposition besteht. Challenging-Gelände mit $MSA40 \geq 25^\circ$ liegt dagegen typischerweise in Auslaufzonen oder an Hangfüßen, wo Konsequenzen plausibel sind. Für ATES Complex/Extreme (3–4) entfällt diese Schwelle, da FlowPy dort signifikante Anriss- oder Fernauslösungszonen modelliert hat.

4.3 Geländemoderation

Wichtig: Die Geländemoderation wirkt ausschließlich auf die **Anzeige-Hangneigung** (`visualMsa40`), die die Drei-Farben-Ampel steuert. Der kontinuierliche **SLABS-Score** (0–3) wird unverändert aus der rohen MSA40 berechnet.

Straßen und Wege werden moderiert — sie erhalten nie die Farbe Orange oder Rot, auch wenn die umgebende Hangneigung theoretisch dafür spricht. Auf einem geräumten Forstweg ist das Lawinen-Trigger-Risiko vernachlässigbar. Das SLABS-Modell schließt Straßenpunkte explizit aus den Trainingsdaten aus (Degraeuwe et al.³: „*points on roads were excluded*“).

Die Straßenmoderation ist höhenabhängig: je weiter unterhalb der kritischen Höhenzone, desto stärker die Dämpfung. Der MSA40-Cap interpoliert linear von 34.9° (an der kritischen Höhe) auf 25° (≥ 600 m darunter). Zusätzlich wird die Anzeige-Hangneigung um 5° reduziert.

Wald: Punkte in Waldpolygonen (OSM `landuse=forest`, `natural=wood`) erhalten eine Reduktion der Anzeige-Hangneigung um 3° . Dichter Wald bremst physikalisch den Lawinenfluss.

4.4 Höhenabhängige Dämpfung

Unterhalb von 1500 m ü. M. wird die effektive Hangneigung zusätzlich reduziert. Die Dämpfung steigt linear von 0° (bei 1500 m) auf maximal 10° (bei ≤ 1000 m).

Grundlage:

- Techel et al.¹¹: 95 % der tödlichen Lawinenabgänge in den Alpen haben Anrisszonen zwischen 1495 m und 3502 m ü. M.

4.5 Schlüsselstellen (Cruxes)

Die drei Punkte mit dem höchsten SLABS-Score werden als Schlüsselstellen markiert. Sie helfen bei der Routenplanung, kritische Passagen gezielt zu analysieren.

5 Plausibilitätsprüfung

5.1 Abgleich mit Lawinenunfalldaten

Das Modell wird gegen reale Lawinenunfälle aus zwei unabhängigen Quellen abgeglichen. Dieser Abgleich ist keine vollständige Validierung im wissenschaftlichen Sinne (dafür fehlt die Spezifitäts-Analyse, siehe Abschnitt 5), sondern prüft, ob das Modell bekannte Unfallpunkte als erhöhtes Risiko erkennt.

Region	Quelle	Lizenz	Unfälle	Zeitraum
CH	SLF EnviDat	CC BY 4.0	2.721 (1.623 mit DL)	1970–2026 (DL ab 2004)
AT	LAWIS Public API	Quellenangabe	2.480 (2.066 mit DL)	2000–2026

Tabelle 6: Datenquellen für die Validierung.

Datenerhebung. Die Schweizer Daten stammen aus der SLF-Unfalldatenbank (EnviDat), die alle bekannten Lawinenunfälle mit mindestens einer erfassten Person dokumentiert. Das SLF unterscheidet zuverlässig zwischen Aktivitätstypen (Skitour, Variantenfahren, Transport, Gebäude); für die Validierung werden nur Skitouren-Unfälle verwendet (`activity~tour`), definiert als eigenständiger Aufstieg ohne Aufstiegshilfe (Techel et al.¹¹, Fußnote 3).

Für Österreich wird die öffentliche LAWIS-API genutzt, die von den sieben österreichischen Lawinenwarndiensten und der Universität Wien betrieben wird. LAWIS erfasst kein Aktivitätsfeld — lediglich die Bewegungsphase (Aufstieg/Abfahrt/Stehen/Unbekannt), die vor 2018 überwiegend nicht ausgefüllt wurde. Da LAWIS keine Tour/Varianten-Unterscheidung führt, werden analog zu Techel et al.¹² alle Lawinenunfälle mit Personenbeteiligung (`caught~1`) in unkontrolliertem Gelände einbezogen. Die KURASI-Datenbank des Österreichischen Kuratoriums für Alpine Sicherheit (ÖKAS/BMI Alpinpolizei) zeigt, dass rund zwei Drittel der österreichischen Lawinenunfälle in Tourengelände und ein Drittel in Variantengelände stattfinden — für die Hangneigungsanalyse ist diese Unterscheidung jedoch irrelevant, da beide Populationen im selben unkontrollierten Lawinengelände unterwegs sind.

5.1.1 Stufe 1: ATES (statische Geländeklassifikation)

Stufe 1 prüft nur, ob der Unfallpunkt in Lawinengelände liegt ($ATES \geq 2$) — tagesunabhängig, rein geländebasiert:

	CH	AT
Erkannt ($ATES \geq 2$)	$2.377 / 2.721 = 87,4 \%$	$2.026 / 2.480 = 81,7 \%$

Tabelle 7: Stufe 1: ATES-Erkennungsrate.

5.1.2 Stufe 2: SLABS + ATES-Floor (Vollmodell)

Stufe 2 berechnet die vollständige Risiko-Farbe mit der tatsächlichen Gefahrenstufe am Unfalltag und ergänzt den ATES-Konsequenz-Floor.

Die Erkennungsrate hängt von der Gefahrenstufe ab. Für die Einordnung ist die Aktivitätsverteilung entscheidend: Techel et al.¹¹ zeigen, dass 82 % der Skitouren-Aktivität bei DL 2–3 stattfindet, während DL 1 zwar 18 % der Tourentage ausmacht, aber nur 5 % der Unfälle. Schäfer et al.¹³ bestätigen, dass die Tourenaktivität von DL 2 zu DL 3 nur um 4–7 % sinkt — die Exposition bleibt also bei erheblicher Gefahrenstufe nahezu unverändert. Bei DL 1 ist das Ausbleiben einer Warnung korrekt — das Modell soll bei geringer Gefahr Grün zeigen.

DL	Aktivität	n (CH)	Erkannt (CH)	n (AT)	Erkannt (AT)
1 — gering	18 %	70	0 % (korrekt)	99	0 % (korrekt)
2 — mäßig	56 %	691	88 %	649	73 %
3 — erheblich	26 %	852	97 %	1.169	90 %
≥ 4 — groß	< 1 %	10	100 %	149	88 %
DL ≥ 2	82 %	1.553	92,7 %	1.967	84,3 %

Tabelle 8: Erkennungsrate des Vollmodells nach Gefahrenstufe. Aktivitätsanteile nach Techel et al.¹¹, Table 1.

Die primäre Metrik ist die Erkennungsrate bei $DL \geq 2$: **CH 92,7 %**, **AT 84,3 %**. Dieser Bereich umfasst 82 % aller Tourentage und 95 % aller Unfälle. Die Rohrate über alle DL (CH 88,7 %, AT 80,3 %) ist niedriger, weil sie $DL=1$ -Unfälle einschließt, bei denen das Modell korrekt keine Warnung ausgibt. Die niedrigere AT-Rate erklärt sich durch die breitere Stichprobe: LAWIS enthält alle Unfälle in unkontrolliertem Gelände (inkl. Variantenfahrer), während die CH-Daten auf klassische Skitouren gefiltert sind.

Liberale Validierungsannahmen: Da die Unfalldaten keine Routengeometrie enthalten, simuliert die Validierung das für das Modell günstigste Szenario pro Unfallpunkt: alle Expositionen gelten als kritisch ($AOF = 1$), $\text{critEle} = \max(1400, \text{Unfallhöhe} - 200)$, und der Punkt liegt immer in der kritischen Zone. Diese Annahmen **maximieren** die Risikobewertung und damit die Erkennungsrate — die berichteten Raten sind daher **Obergrenzen**. Im realen Einsatz, wo nur bestimmte Expositionen kritisch sind und der AOF -Wert häufig 0 beträgt, dürfte die Erkennungsrate niedriger liegen.

5.1.3 Erkenntnisse

- **DL ≥ 2 :** CH 93 %, AT 84 % Erkennungsrate — der relevante Bereich für Tourengerher
- **DL ≥ 3 :** CH 97 %, AT 90 %
- **DL=1:** 0 % Erkennung — korrekt, da bei geringer Gefahr keine Warnung erfolgen soll. Nur 5 % der Unfälle passieren bei $DL=1$, obwohl 18 % der Tourentage auf diese Stufe fallen (Techel et al.¹¹)
- **ATES-Floor:** Der Konsequenz-Floor erkennt zusätzlich 9 (CH) bzw. 23 (AT) Unfälle — ein Delta von 0,6 bzw. 1,1 Prozentpunkten. Der geringe Effekt erklärt sich durch die liberalen Validierungsannahmen (alle Aspekte kritisch), die den SLABS-Score bereits maximieren. Im realen Einsatz mit eingeschränkten Expositionen dürfte der Floor häufiger greifen
- MSA40 (40-m-Radius) ist robust gegenüber der begrenzten Koordinatengenauigkeit; lokaler Slope (5-m-Pixel) ist ungeeignet

5.1.4 Einschränkungen

- **Nur Recall, keine Precision:** Gemessen wird die Sensitivität (Erkennung realer Unfälle), nicht die Spezifität (Fehlalarm-Rate). Ein Modell, das jeden Punkt als Orange/Rot einstuft, erreicht trivial 100 % Recall. Ohne eine Abschätzung der False-Positive-Rate (z.B. über zufällig gesampelte Punkte auf typischen Skirouten bei gleicher Gefahrenstufe) ist die Validierung unvollständig. Eine solche Analyse erfordert GPS-Trackdaten von Skitouren mit zugeordneter Gefahrenstufe — Schäfer et al.¹³ liefern einen vielversprechenden Datensatz für die Schweiz
- **AT Stichprobe:** LAWIS führt keine Aktivitätsklassifikation; die AT-Daten enthalten neben Skitouren auch Variantenfahrer und andere Aktivitäten in unkontrolliertem Gelände. Die AT-Erkennungsrate (84 % bei $DL \geq 2$) ist daher konservativer als die CH-Rate (93 %)
- **Liberale Simulation:** Die Validierung überschätzt die Erkennungsrate, da alle Aspekte als kritisch angenommen werden ($AOF = 1$). Die tatsächliche Erkennungsrate im Feld dürfte niedriger liegen

- **Aktivitätsdaten nur CH:** Die Aktivitätsverteilung nach Gefahrenstufe stammt aus Techel et al.¹¹ und Schäfer et al.¹³ und ist nur für die Schweiz belegt. Für AT dürften ähnliche Verhältnisse gelten

6 Diskussion

6.1 Stärken

- **Trennung Trigger / Konsequenzen:** Das Modell trennt Trigger-Wahrscheinlichkeit (SLABS) und Konsequenzen (ATES) explizit — derselbe Ansatz wie White Risk / RiskCheck (Harvey et al.²), aber nicht auf die Schweiz beschränkt
- **Transparente Schwellenwerte:** Alle Modellparameter, Schwellenwerte und eigene Ableitungen sind in diesem Dokument dokumentiert und gegen den Quellcode prüfbar
- **Publizierte Grundlagen:** Die Kernberechnung (SLABS-Score) verwendet ausschließlich publizierte Risk Ratios (Degraeuwe et al.³); eigene Heuristiken (Straßen-, Wald-, Höhendämpfung) wirken nur auf die Anzeige-Farbe, nicht auf den Score

6.2 Limitationen

- **Binäre AOF-Approximation:** Die Aspect Overlapping Fraction wird als binärer Wert (0 oder 1) approximiert — der Punkt liegt entweder vollständig innerhalb oder außerhalb der kritischen Zone. Im SLABS-Originalmodell ist AOF ein kontinuierlicher Wert $[0, 1]$, der die anteilige Überlappung der umgebenden Hangexpositionen mit den kritischen Expositionen misst (Degraeuwe et al.³). Dies ist die größte Vereinfachung des Modells und betrifft insbesondere Routenpunkte nahe der Grenze zwischen kritischen und unkritischen Expositionen. Der Effekt wird durch die Validierungsergebnisse verdeckt, da die Validierung $\text{AOF} = 1$ annimmt (siehe Abschnitt 4)
- **Keine Echtzeit-Daten:** Die Bewertung basiert auf dem aktuellen Bulletin, nicht auf lokalen Beobachtungen (Windverfrachtung, Sonneneinstrahlung)
- **Keine Routenrichtung:** Aufstieg und Abfahrt werden gleich bewertet
- **Statisches Gelände:** Temporäre Gefahren (Wächten, Nassschnee-Auslösung) sind nicht berücksichtigt
- **Keine Spezifitäts-Analyse:** Die Validierung misst ausschließlich den Recall (Sensitivität). Die Fehlalarm-Rate (Spezifität) — also wie häufig das Modell sichere Routenpunkte fälschlich als Orange/Rot einstuft — ist nicht quantifiziert. Eine Precision-Analyse erfordert GPS-Trackdaten von regulären Skitouren ohne Unfall als Negativstichprobe

6.3 Ausblick

- **Kontinuierliche AOF:** Die binäre AOF-Approximation (0 oder 1) könnte durch einen kontinuierlichen Wert ersetzt werden, sobald die RSA-Geometrie reproduzierbar publiziert ist.
- **Routenrichtung:** Differenzierte Bewertung von Aufstieg und Abfahrt — Aufstieg in steilem Gelände erhöht die Expositionszeit.
- **Weitere Regionen:** Slowenien (Bulletin-Anbindung) ist in Vorbereitung.

7 Abdeckung

Der Tour-Check erfordert zwei Datenquellen pro Region: ATES-Geländeklassifikation (vorberechnet) und ein EAWS-kompatibles Lawinenbulletin (tagesaktuell).

Region	Bulletin-Quelle	ATES	Tour-Check
Schweiz	SLF (CAAML v6, inkl. Unterstufen)	✓	✓
Österreich	ALBINA + lawinen-warnung.eu (CAAML v6)	✓	✓
Französische Alpen	Météo-France (BRA → CAAML v6)	✓	✓
Südtirol (IT-32-BZ)	ALBINA (CAAML v6)	✓	✓
Trentino (IT-32-TN)	ALBINA (CAAML v6)	✓	✓
Bayern (DE-BY)	lawinen-warnung.eu (CAAML v6)	✓	✓
Slowenien	—	✓	—
Aostatal (IT-23-AO)	—	✓	—

Tabelle 9: Regionale Abdeckung (Stand 5. Juni 2026). Slowenien und Aostatal: ATES verfügbar, Bulletin fehlt.

Die ATES-Datengrundlage ist im ATES-Methodik-Paper dokumentiert.

Literatur

- [1] G. Schmudlach und J. Köhler, „Method for an automatized avalanche terrain classification“, in *International Snow Science Workshop, Breckenridge*, 2016.
- [2] S. Harvey, B. Reuter, J. Rohrer, M. Ruggli, und J. Schweizer, „RiskCheck: A framework for avalanche risk assessment, integrating manual and semi-automated approaches“, in *International Snow Science Workshop, Tromsø*, 2024.
- [3] B. Degraeuwe, G. Schmudlach, und S. Harvey, „SLABS — Skiing and Avalanche Base Score“, *Cold Regions Science and Technology*, Bd. 221, 2024.
- [4] B. Degraeuwe, G. Schmudlach, K. Winkler, und J. Köhler, „Improving avalanche risk assessment for backcountry ski tours: A comparative study of the novel SLABS method with existing methods“, in *International Snow Science Workshop, Tromsø*, 2024.
- [5] H. B. Toft, J. Sykes, A. Schauer, J. Hendriks, und A. Hetland, „AutoATES v2.0: Automated Avalanche Terrain Exposure Scale mapping“, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Bd. 24, S. 1779–1793, 2024.
- [6] A. Huber u. a., „AutoATES Austria — testing and application of an automated model-chain for avalanche terrain classification in the Austrian Alps“, in *International Snow Science Workshop, Bend, Oregon*, 2023.
- [7] G. Statham und C. Campbell, „Avalanche Terrain Exposure Scale v2.0“, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Bd. 25, S. 1113–1137, 2025.
- [8] F. Techel u. a., „The EAWS matrix, a decision support tool to determine the regional avalanche danger level (Part A): conceptual development“, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Bd. 25, S. 4503–4531, 2025.
- [9] F. Techel u. a., „The EAWS matrix, a decision support tool to determine the regional avalanche danger level (Part B): operational testing and use“, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Bd. 26, S. 1161–1183, 2026.
- [10] F. Techel, K. Müller, und J. Schweizer, „On the importance of snowpack stability, the frequency distribution of snowpack stability, and avalanche size in assessing the avalanche danger level“, *The Cryosphere*, Bd. 14, S. 3503–3521, 2022.

- [11] F. Techel, B. Zweifel, und K. Winkler, „Analysis of avalanche risk factors in backcountry terrain based on usage frequency and accident data in Switzerland“, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Bd. 15, S. 1985–1997, 2015.
- [12] F. Techel u. a., „Avalanche fatalities in the European Alps: long-term trends and statistics“, *Geographica Helvetica*, Bd. 71, S. 147–159, 2016.
- [13] L. Schäfer, F. Techel, G. Schmudlach, und R. S. Purves, „Tracking the slopes: a spatio-temporal prediction model for backcountry skiing activity in the Swiss Alps using user-generated content“, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Bd. 26, S. 1537–1559, 2026.