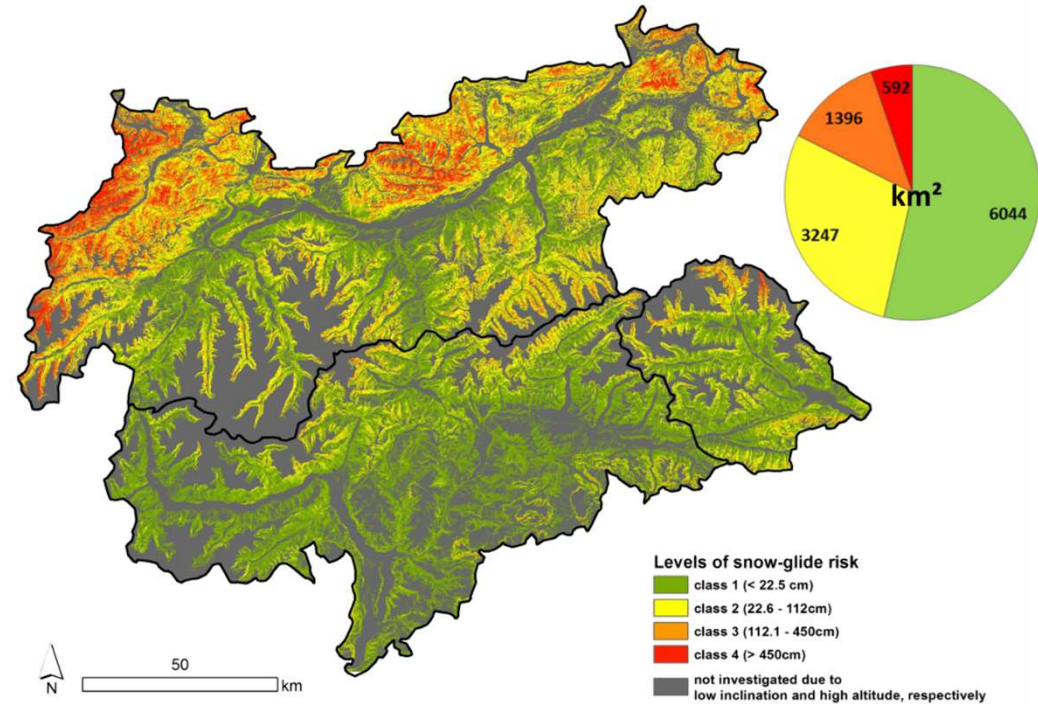


Modellierung von Gleitschneelawinen



Schneegleiten als Indikator

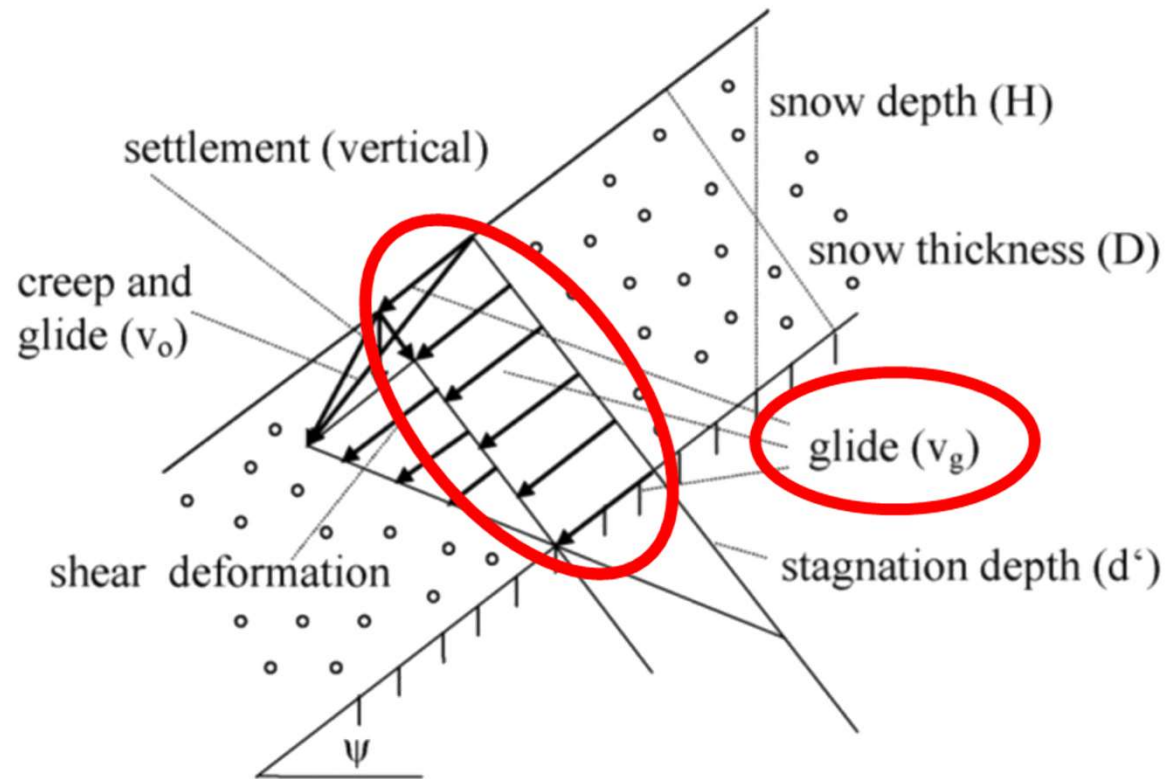


Fig. 1. Schematic diagram of snow creep and glide (In der Gand and Zupancic, 1966; Margreth, 2007a), v_o : movement due to creep and glide, v_g : movement due to glide, d' : stagnation depth and ψ : slope inclination.

Schneegleiten als Indikator

Snow creep is the result of settlement and internal shear deformation parallel to the slope – millimeter to centimeter day⁻¹



Snow gliding is a downhill motion of snow on the ground mainly influenced by the roughness of ground surface & the wetness of lowermost boundary layer of the snow cover – mm to m day⁻¹



Glide (full-depth) avalanche, snow slab: rapid fall of small sluff to an extensive avalanche according to snow conditions and shape of the terrain

Schadenswirkung von Schneegleiten



driving winter soil erosion

u.a. Stanchi et al. 2013 (*NHESS*), Meusburger et al. 2014 (*HESS*)



affecting afforestation measures

u.a. Höller et al. 2009 (*Forest Ecology and Management*)



increasing predisposition for landslides

u.a. Tasser et al. 2003 (*Basic Appl Ecol*), Wiegand & Geitner 2013 (*Erdkunde*)



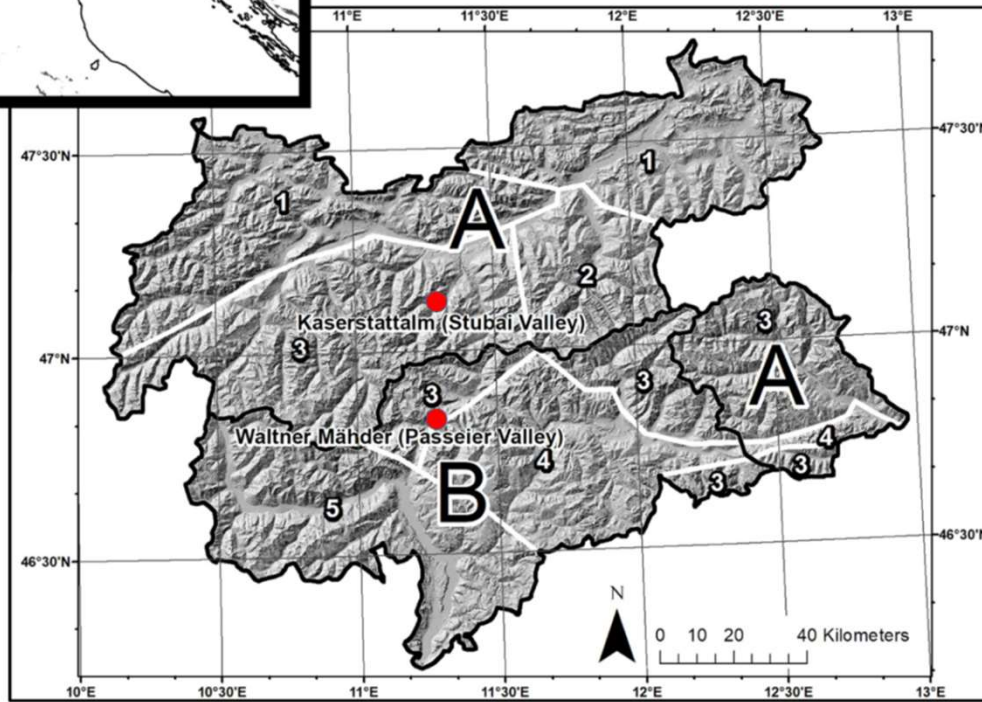
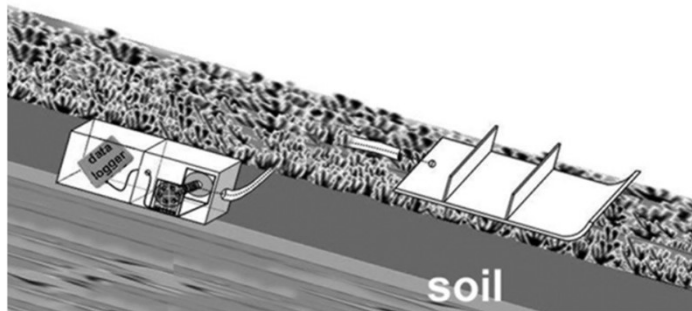
serving as indicator for glide avalanches

u.a. Clarke et al. 1999 (*J. of Glaciology*), Martin et al. 2001 (*Ann. of Glaciology*)



SSGM – Spatial Snow-Glide Model

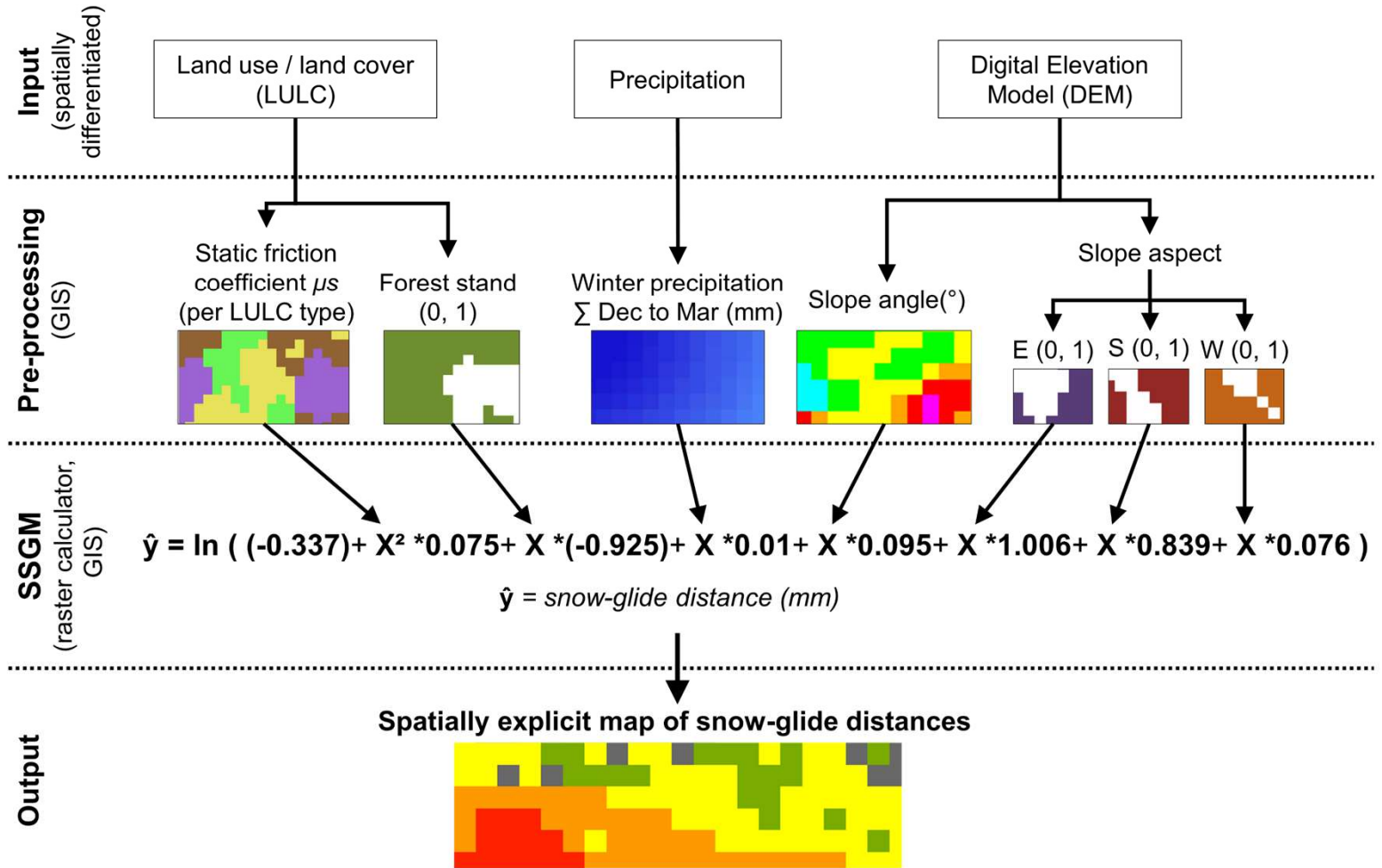
- Empirisches Modell (Regression)
- > 550 Einzelmessungen
- 3 Untersuchungsgebiete



Leitinger G, Höller P, Tasser E, Walde J, Tappeiner U (2008) Development and validation of a spatial snow-glide model. *Ecol Model* 211(3-4):363-374
 Meusburger K, Leitinger G, Mabit L, Mueller MH, Walter A, Alewell C (2014) Soil erosion by snow gliding – a first quantification attempt in a subalpine area in Switzerland. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 18(9):3763-3775
 Leitinger G, Meusburger K, Rudisser J, Tasser E, Walde J, Höller P (2018) Spatial evaluation of snow gliding in the Alps *Catena* 165:567-575.



SSGM – Spatial Snow-Glide Model



Leitinger G, Höller P, Tasser E, Walde J, Tappeiner U (2008) Development and validation of a spatial snow-glide model. *Ecol Model* 211(3-4):363-374
 Meusburger K, Leitinger G, Mabit L, Mueller MH, Walter A, Alewell C (2014) Soil erosion by snow gliding – a first quantification attempt in a subalpine area in Switzerland. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 18(9):3763-3775
 Leitinger G, Meusburger K, Rudisser J, Tasser E, Walde J, Höller P (2018) Spatial evaluation of snow gliding in the Alps *Catena* 165:567-575.

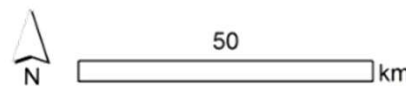
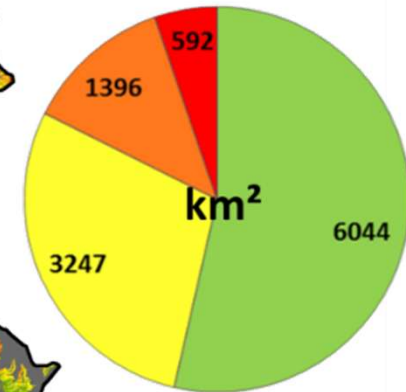
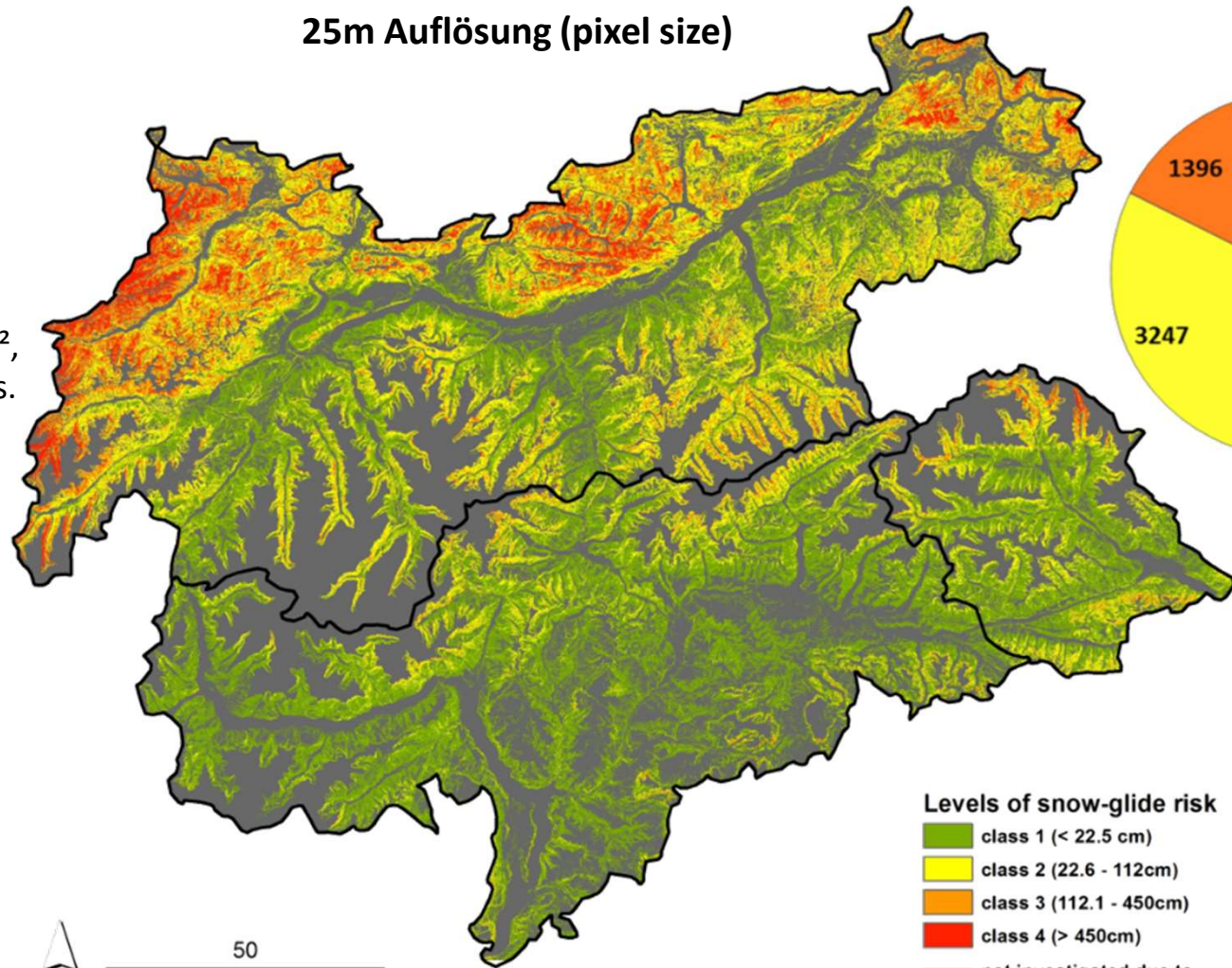
Schneegleitmodellierung Nord-, Ost-, Südtirol

25m Auflösung (pixel size)






**Modellierte Schneegleitwege für mittlere
 Winterniederschläge (1981-2010) unter
 Verwendung des SSGM (>15°, <2400m).**

Das untersuchte Gebiet umfasst 11279 km²,
entspricht 56 % des Untersuchungsgebietes.

- Klasse 1 (*geringe Schneegleitwege*)
6044 km²
- Klasse 2 (*mittlere Schneegleitwege*)
3247 km²
- Klasse 3 (*hohe Schneegleitwege*)
1396 km²
- Klasse 4 (*sehr hohe Schneegleitwege*)
592 km²



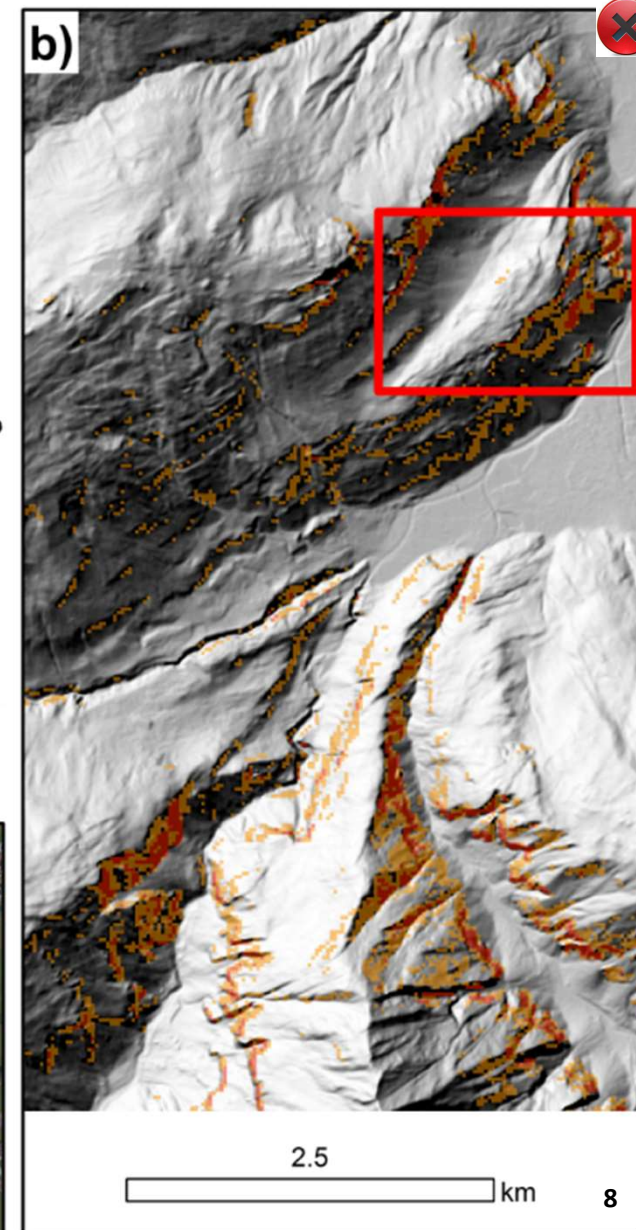
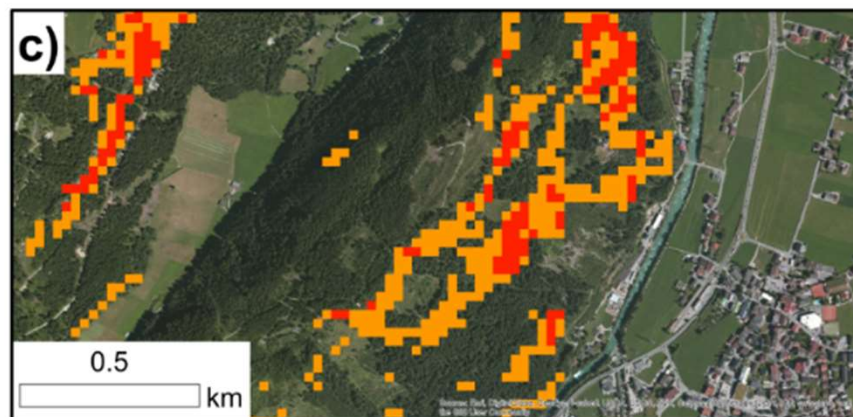
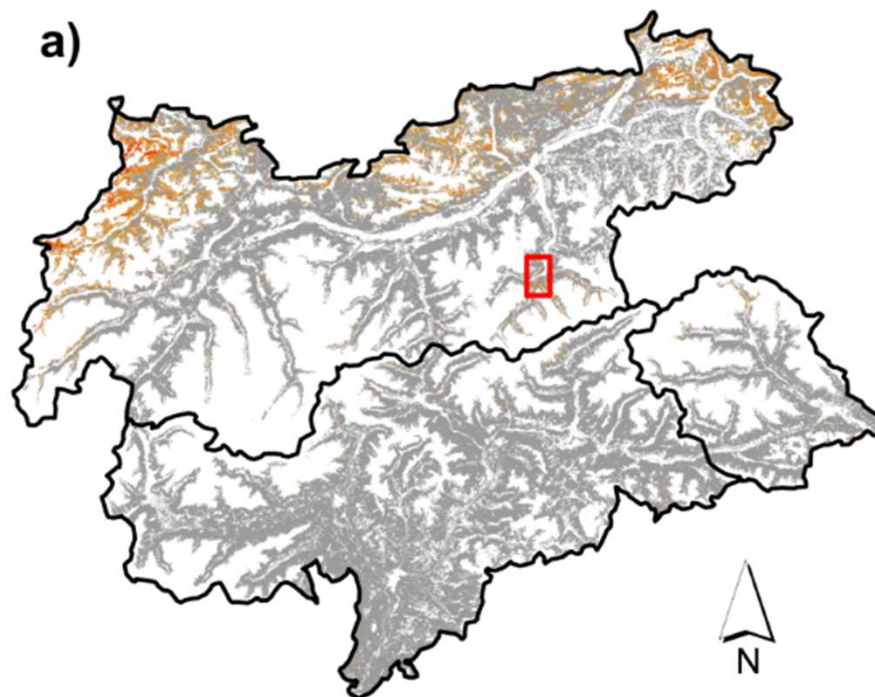
Levels of snow-glide risk

-  class 1 (< 22.5 cm)
-  class 2 (22.6 - 112cm)
-  class 3 (112.1 - 450cm)
-  class 4 (> 450cm)
-  not investigated due to low inclination and high altitude, respectively

Fokus Wald

→ 611 km² (7 %) der bewaldeten Flächen werden der Klasse 3 (514 km²) oder der Klasse 4 (97 km²) zugeordnet, was auf hohe oder sehr hohe Schneegleitraten hinweist.

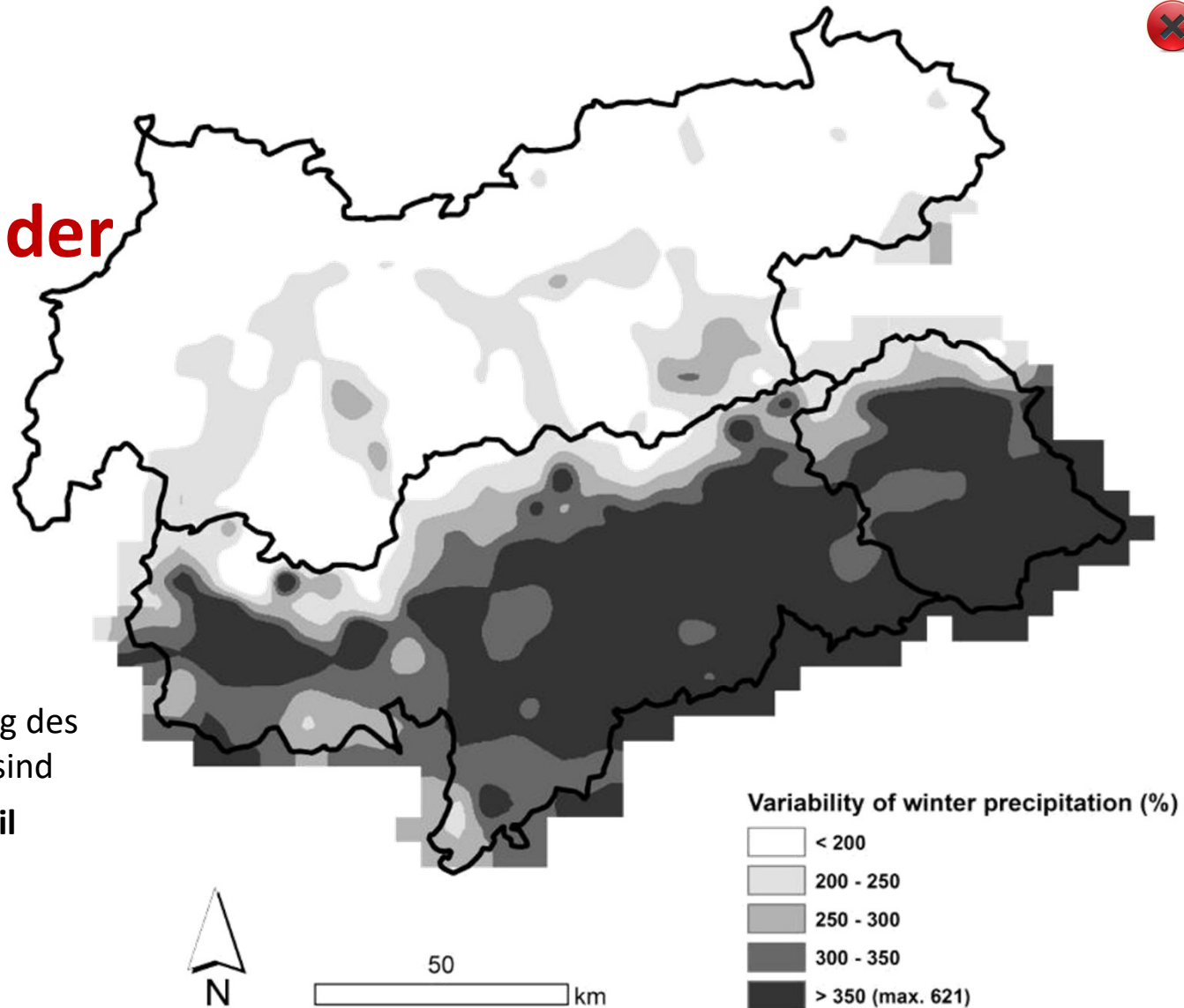
→ Bereiche von besonderer Bedeutung, da die Schneegleitminderung durch Bäume durch die Variablen Winterniederschlag, Hangneigung und Hanglage überlagert werden kann.



Einfluss der Variabilität der Winterniederschläge?

Im **südlichen Teil** wurde eine deutlich höhere Variabilität (bis zu +621%) als im **nördlichen Teil** (bis zu +250%) festgestellt

- **zusätzlich 3540 km², die höher als Klasse 1 eingestuft sind** → zumindest lokale Maßnahmen zur Verringerung des Gleitens auf exponierten Flächen erforderlich sind
- **76% (2682 km²) befinden sich im südlichen Teil** mit einer höheren Variabilität der Winterniederschläge



Maximum variability in winter precipitation by comparing the absolute maximum 1801-2003 and the mean 1981-2010

Bewertung des Schneegleitrisikos durch Modellierung und Bewertung vor Ort

→ 2-Stufen-Konzept

- (1) Spatial Snow-Glide Model (**SSGM**), **Leitinger et al. 2018** (*CATENA*)
- (2) Bestimmung schneegleitgefährdeter Standorte und Planung von Gleitschutzmaßnahmen bei Hochlagenaufforstungen, **Höller 2012** (*Allg Forst Jagdztg*)

Bewertung des Schneegleitrisikos durch Modellierung und Bewertung vor Ort

(2) Bestimmung schneegleitgefährdeter Standorte und Planung von Gleitschutzmaßnahmen bei Hochlagenaufforstungen, **Höller 2012** (*Allg Forst Jagdztg*)

Einteilung des Schneegleitens in 4 Intensitätsstufen mit Bezug zur subalpinen Stufe;

4...sehr großes Gleiten (im Mittel > 30 mm/Tag mit Maximalwerten bis zu mehreren Dezimetern pro Tag,

3...großes Gleiten (im Mittel zwischen 7,5 mm/Tag und 30 mm/Tag mit Maximalwerten bis zu zwei Dezimetern),

2...moderates Gleiten (im Mittel zwischen 1,5 mm/Tag und 7,5 mm/Tag), 1...geringes Gleiten (im Mittel < 1,5 mm/Tag).

		Zone A (randalpin); Seeh.: ~1700 – 1900m			Zone B (Übergangszone); Seeh.: ~1800 - 2000m			Zone C (inneralpin); Seeh.: ~1900 – 2100 m		
Bodenrauigkeit		h: Ø 0,1m	h: Ø 0,2m	h: Ø 0,3m	h: Ø 0,1m	h: Ø 0,2m	h: Ø 0,3m	h: Ø 0,1m	h: Ø 0,2m	h: Ø 0,3m
Neigung										
Exp. SE – SW	25 – 30°	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	30 – 35°	4	3	2	4	3	2	3	2	2
	> 35°	4	3	2	4	3	2	4	3	2
Exp. E (einschl.) - SE und Exp. SW-W (einschl.)	25 – 30°	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	30 – 35°	3	3	2	3	3	2	3	2	2
	> 35°	3	3	2	3	3	2	3	2	2
Exp. NW-NE	25 – 30°	2	2	1	2	2	1	2	1	1
	30 – 35°	2	2	1	2	2	1	2	1	1
	> 35°	2	2	2	2	2	1	2	2	1

Bewertung des Schneegleitrisikos durch Modellierung und Bewertung vor Ort

- (2) Bestimmung schneegleitgefährdeter Standorte und Planung von Gleitschutzmaßnahmen bei Hochlagenaufforstungen, **Höller 2012** (*Allg Forst*

Tab. 3

Zweckmäßigste Maßnahmen zum Schutz von Aufforstungen in Abhängigkeit von der Intensität des Schneegleitens.

Control measures to protect afforestations according to the intensity of snow gliding.

Intensität des Gleitens (nach Tab. 2)	Maßnahmen
1	i. d. R. kein Gleitschneeschutz erforderlich
2	lokaler Gleitschneeschutz an exponierten Stellen
3	Gleitschneeschutz (rauigkeitserhöhende Maßnahmen: Erdhöcker, Bermen...)
4	technischer Gleitschneeschutz (Maßnahmen die zur Verankerung der bodennahen Schicht: Gleitschutzböcke...)

Allg. Forst- u. J.-Ztg., 183. Jg., 5/6

Wie komme ich vom Potenzial zur Echtzeit-Vorhersage?



Vom Potenzial zur Echtzeit-Vorhersage?

R. Fromm et al.: Determining the drivers for snow gliding

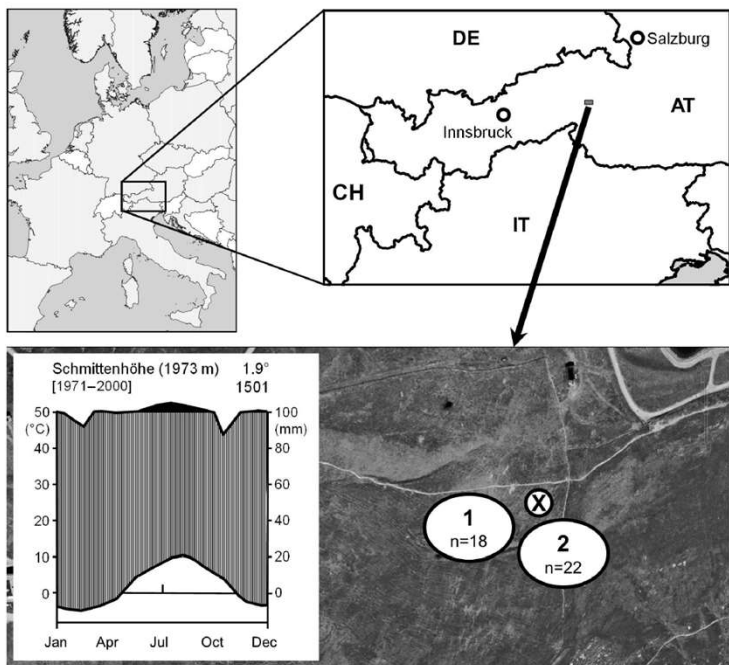
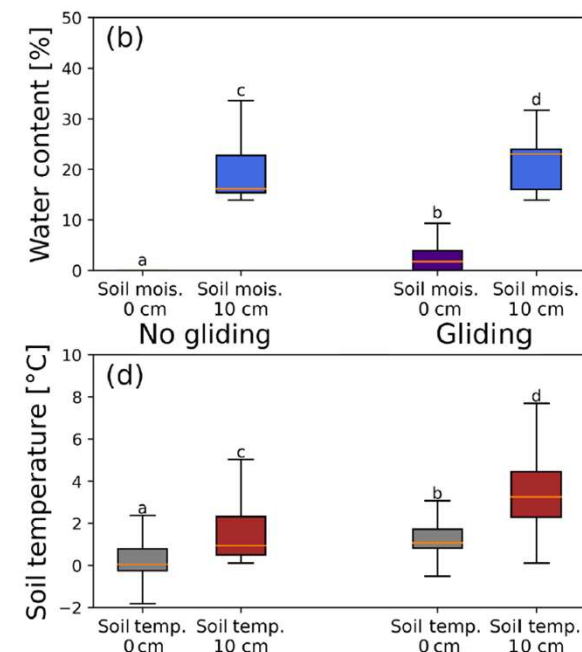
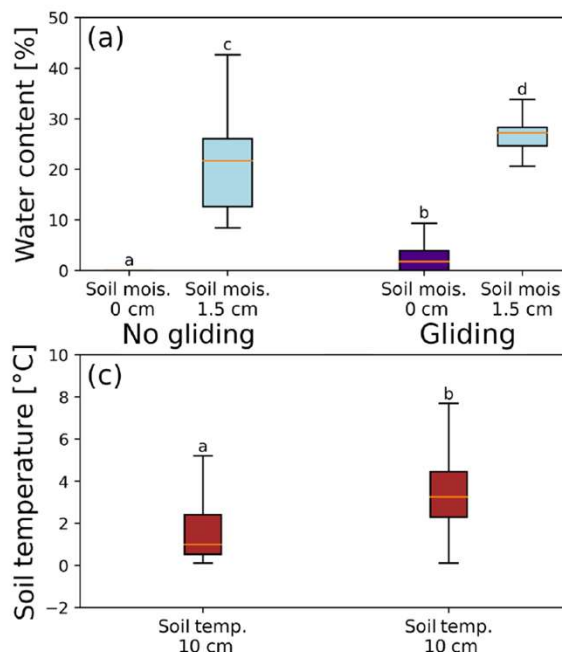


Figure 1. The study area, Wildkogel (Upper Pinzgau, Austria), is characterized by pastures (1) and abandoned areas (2). X indicates the automatic weather station. Original data for the climate diagram are available at <http://www.zamg.ac.at> (last access: 10 May 2018).

Period I [Okt-Jan]

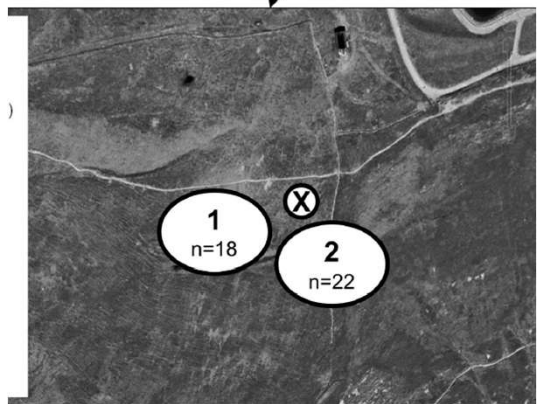
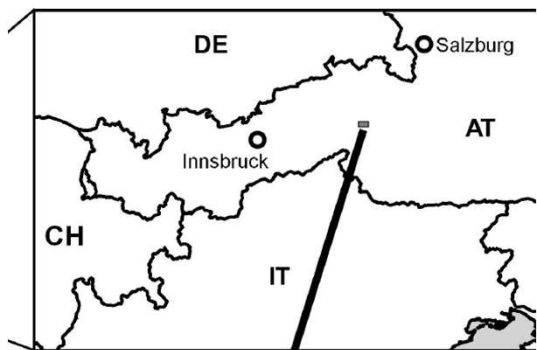
Period II [Feb-Mai]



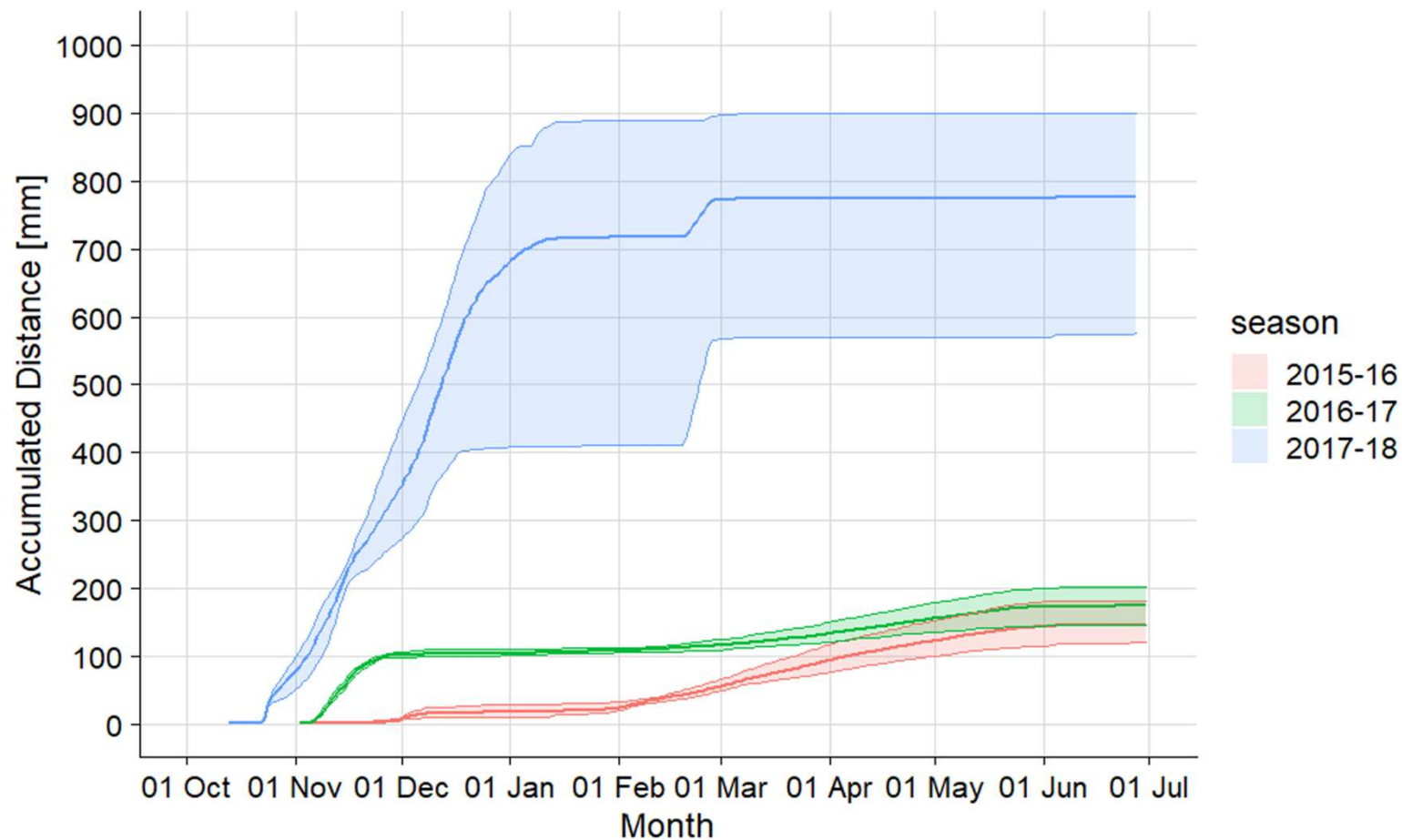
Für die **Periode I** wurde die **Bodentemperatur in 10 cm Tiefe** als jene Variable mit dem größten Einfluss auf das Schneegleiten ermittelt, ein mäßiger Einfluss wurde für die Bodenfeuchte bei 0 cm und die Bodenfeuchte bei 1,5 cm festgestellt.

In **Periode II** hatten die **Bodenfeuchte in 0 und 10 cm** und die **Bodentemperatur bei 0 und 10 cm** den größten Einfluss auf das Schneegleiten.

Vom Potenzial zur Echtzeit-Vorhersage?



Wildkogel (Upper Pinzgau, Austria),



Vom Potenzial zur Echtzeit-Vorhersage?

Table 3: Zusammenhang zwischen Bodentemperaturen im Herbst und Schneegleiten im Frühwinter

	Summe der Bodentemperaturen 3 Wochen vor einer dauerhaften Schneedecke (K)	Kumulierte Schneegleitdistanz 30 Tage nach einer dauerhaften Schneedeckenbildung [mm]
2015-16	137.63	17.32
2016-17	149.76	102.51
2017-18	187.07	267.68

Table 2: five significant independent variables define snow gliding in this model

	Unstandardized β	Coefficients Std. Error	Standardized β	t	Sig.	VIF
(Constant)	-9.416	0.464		-20.291	0.000	
Cumulative soil temperature (10cm depth, south-eastern steep slope) three weeks before a permanent snow cover formation	0.048	0.003	0.670	17.223	0.000	1.270
Soil temperature (10cm depth, south-eastern steep slope)	0.442	0.051	0.376	8.709	0.000	1.567
Soil water content (0 cm, south-eastern steep slope)	11.085	1.337	0.335	8.293	0.000	1.370
Cumulative air temperature one month before a permanent snow cover formation	0.006	0.001	0.246	6.495	0.000	1.209
Snow LWC (daily minimum)	0.158	0.031	0.205	5.114	0.000	1.345
Daily mean precipitation	0.378	0.195	0.067	1.938	0.054	1.012
Adjusted R ² = 0.672						

Masterarbeit Zorin Ivanov (UIBK, FUB)

- **Untersuchungsgebiet Wildkogel** (siehe Fromm et al.)
- Die Analyse zeigt, dass **die kumulierte Bodentemperatur (in 10 cm Tiefe) drei Wochen vor der Bildung einer permanenten Schneedecke**, die Bodentemperatur in 10 cm Tiefe, der Bodenwassergehalt in 0 cm Tiefe, die kumulierte Lufttemperatur einen Monat vor der Bildung einer permanenten Schneedecke und der tägliche minimale Flüssigwassergehalt des Schnees (LWC) **das Schneegleiten beeinflusst**.
- Diese Ergebnisse sind ein weiterer Indikator, dass die Bedingungen vor der Bildung einer permanenten Schneedecke das Schneegleiten beeinflussen.

Schlussfolgerung

Mehrstufiges Verfahren zur Verbesserung der Abschätzung von Gleitschneeaktivität:

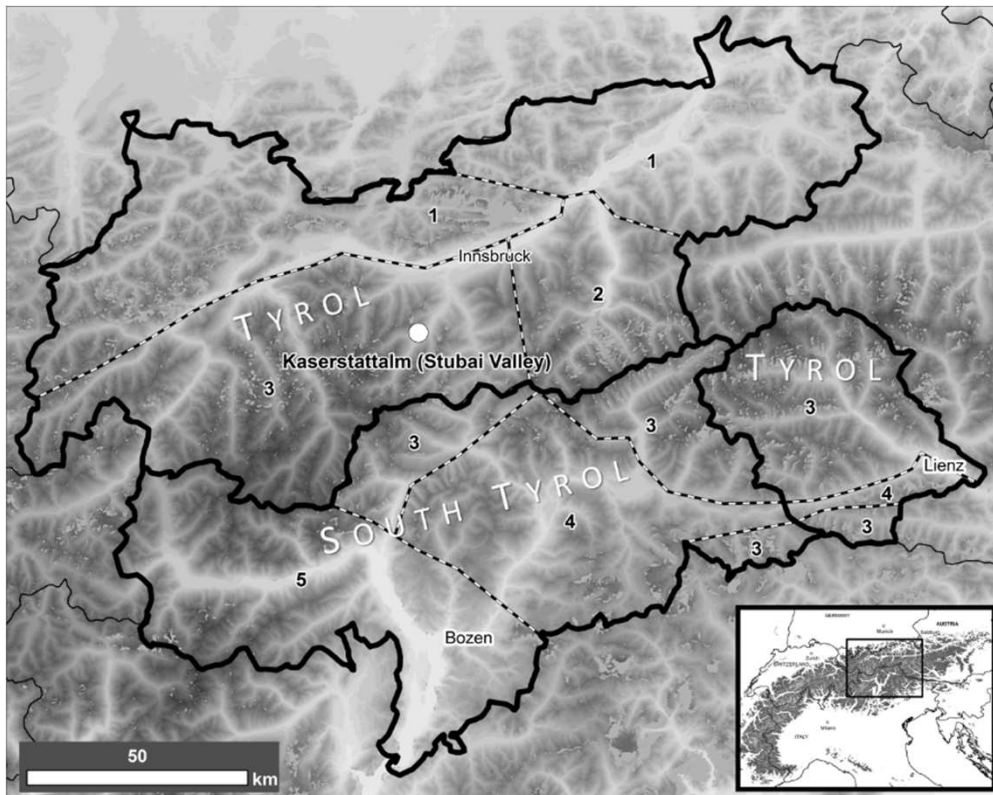
- **Räumliches Schneegleitmodell - Schneegleitpotenzials**
 - ↳ Basisdaten: DGM, Landnutzung/Landbedeckung, Winterniederschlag
 - ↳ Weiterentwicklungen, u.a. ISSW 2024 Beitrag von Plyer und Steinkogler
Wyssen Avalanche Control, Davos, Schweiz
- **Vor-Ort Risikoabschätzung** (u.a. Höller 2012, Margreth 2013)
- **Dynamik (Echtzeit) durch Berücksichtigung der Bodentemperaturen** (auch Herbstwetterlage), **Bodenfeuchte bzw. freies Wasser in Boden-Schnee Schnittstelle**
 - ↳ Sensorentwicklung, ISSW 2024 Beitrag von Glover, Wolfsperger, Ziegler
Institute for Construction in Alpine Regions (IBAR), University of Applied Sciences Grisons, WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, FPGA Company GmbH, Schweiz

Dynamik: Schneegleiten JA-NEIN, nicht quantifizierbar

→ fehlende Skalierung für Gleitschneelawine

Study area

Geographical location of the SSGM modelling region Tyrol and South Tyrol (black border) covering 20 034 km². Five climate regions were distinguished - with reference to **precipitation sum between December and March** in the period 1981 to 2010:



- (1) the northern part of the Alps where the moving mass of air runs up against the mountain range (orographic uplift) causing large amounts of precipitation ($391\pm 82\text{mm}$),
- (2) the intermountain region in the North with already less precipitation ($298\pm 31\text{mm}$),
- (3) the inner Alpine region with a more continental climate ($238\pm 56\text{mm}$)
- (4) the intermountain region in the South ($203\pm 17\text{mm}$)
- (5) driest region in the South ($154\pm 55\text{mm}$).