

# Die Schneeballschlacht der Windturbinen

## Eisfall- und Eiswurfgutachten – ein Einblick

Franziska Gerber (Meteotest AG)

UVP-Workshop vom 26. März 2024 in Solothurn

## Inhalte

1. Eisfall- und Eiswurf – Weshalb?
2. Modellierung von Eiswurf
3. Der Einfluss der Topographie
4. Ein Risiko besteht – akzeptabel, tolerierbar oder nicht akzeptabel?
5. Risikominderung

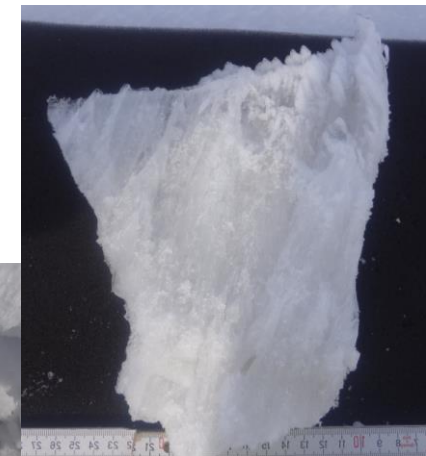
## 1. Eisfall- und Eiswurf – Weshalb?

- Atmosphärische Bedingungen führen zu Vereisung an Strukturen  
...und Windturbinen / Rotorblätter



# 1. Eisfall- und Eiswurf – Weshalb?

- Atmosphärische Bedingungen führen zu Vereisung an Strukturen  
...und Windturbinen / Rotorblätter
- Eisstücke brechen ab und fallen runter / werden abgeworfen



Quelle: [1]

# 1. Eisfall- und Eiswurf – Weshalb?

- Atmosphärische Bedingungen führen zu Vereisung an Strukturen  
...und Windturbinen / Rotorblätter
- Eisstücke brechen ab und fallen runter / werden abgeworfen
- Abfallende Eisstücke können lebensbedrohlich sein



Quelle: [1]



Quelle: [1]

Quelle: [1]

Quelle: [2]

## 2. Modellierung von Eiswurf

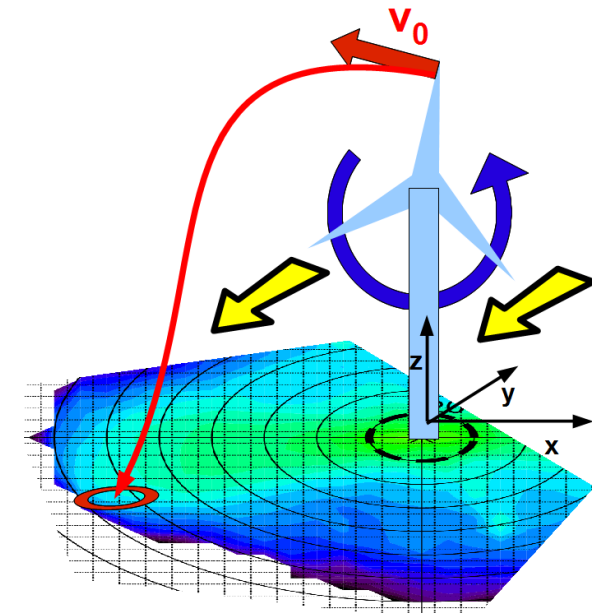
- Einfache Abschätzung (Seifert-Distanz):

$$d = (D + H) * 1.5$$

d: Maximale Eiswurfdistanz (m)  
D: Rotordurchmesser (m)  
H: Nabenhöhe (m)

- Modellierung von Eisfall-/Eiswurf unter Berücksichtigung der lokalen Bedingungen:

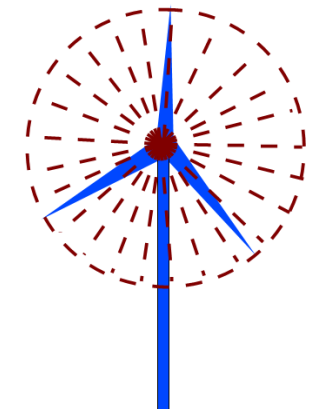
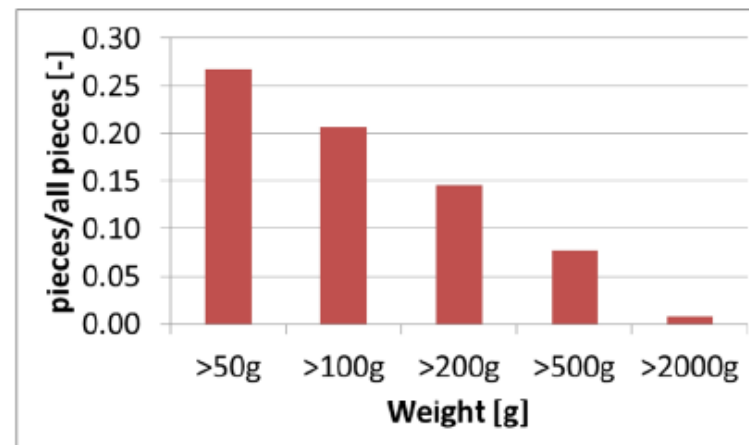
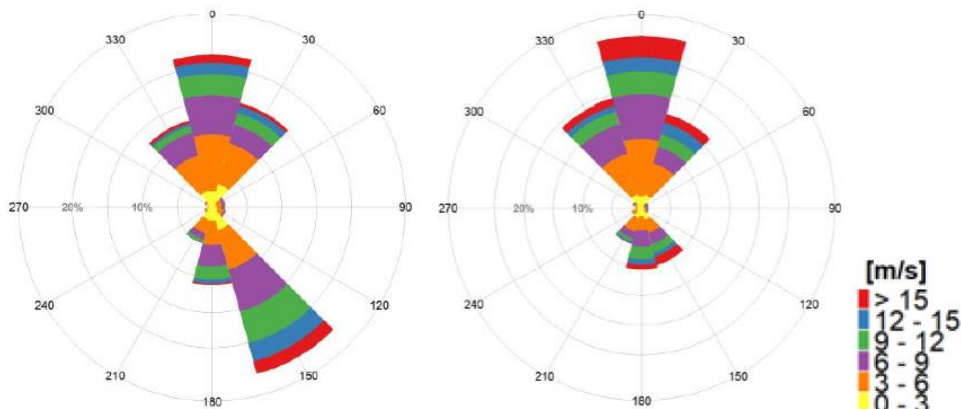
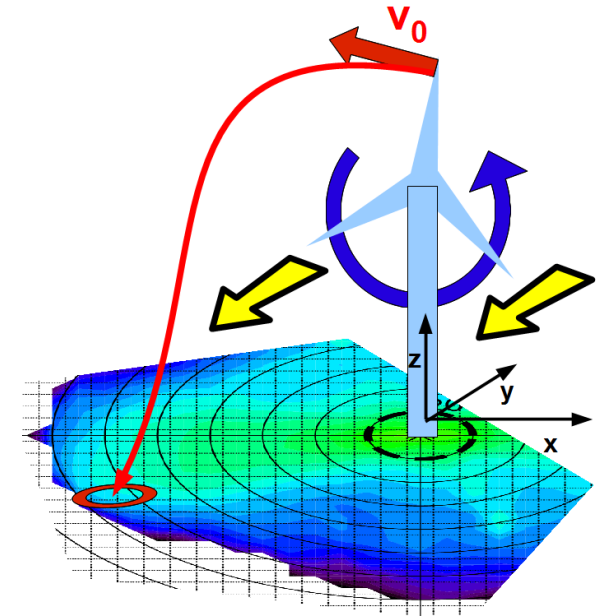
Simple Windturbine Ice Throw Model (SWIM)  
by Meteotest





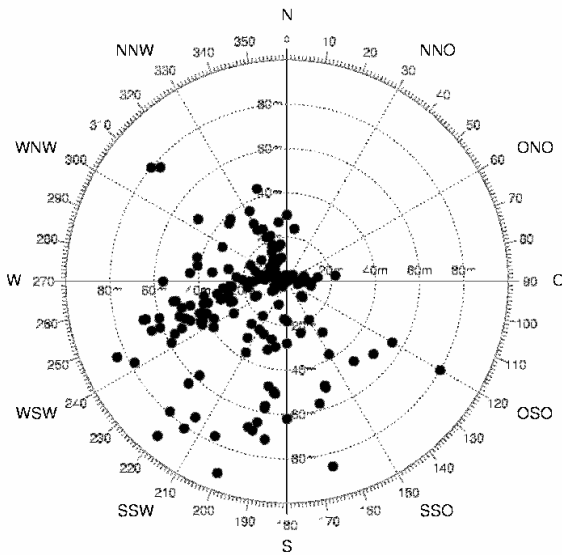
## 2. Modellierung von Eiswurf – Das Modell SWIM

- Simple Windturbine Ice Throw Model SWIM, berücksichtigt:
  - Windstatistik während Vereisung
  - Eisstückgrößenverteilung
  - Berücksichtigung Rotorpositionen



## 2. Modellierung von Eiswurf – Validierung SWIM

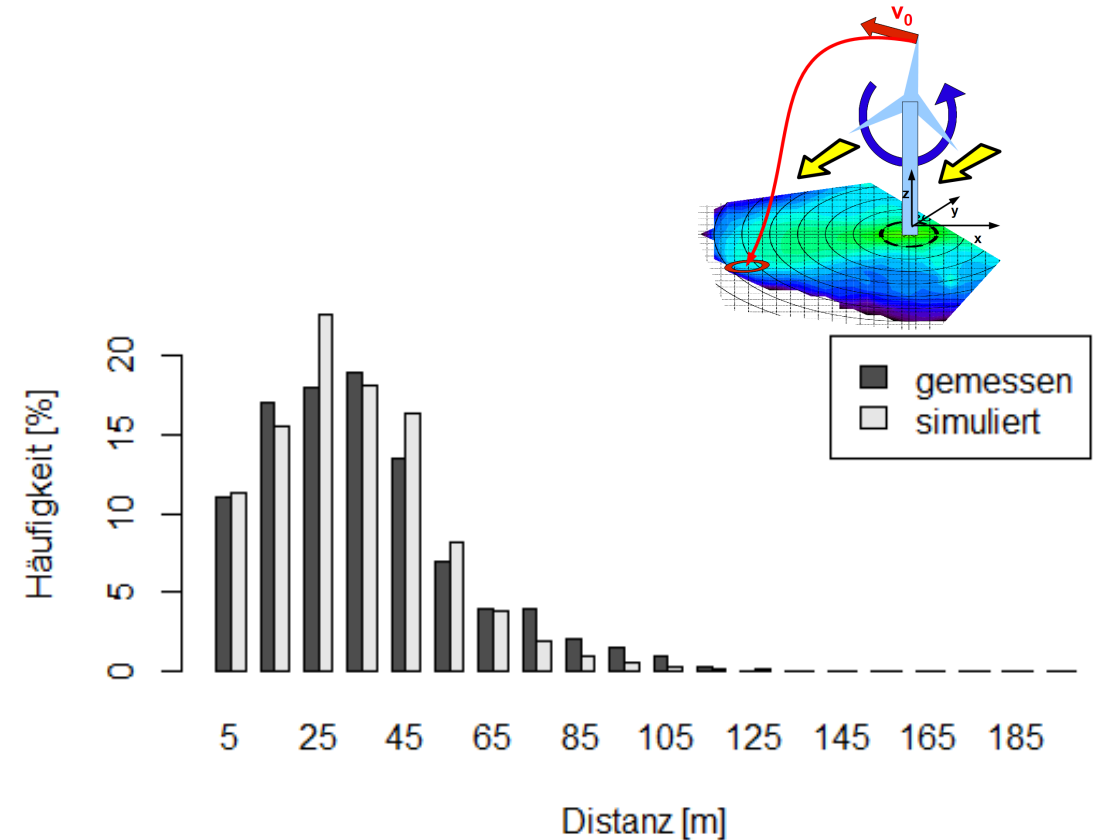
### Messungen



Krater



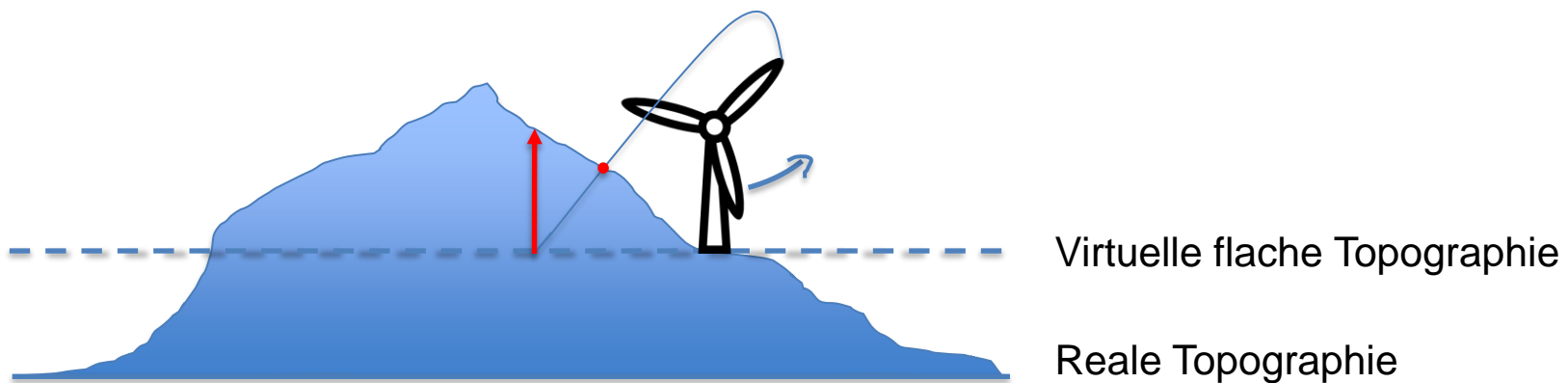
### Vergleich SWIM & Messungen





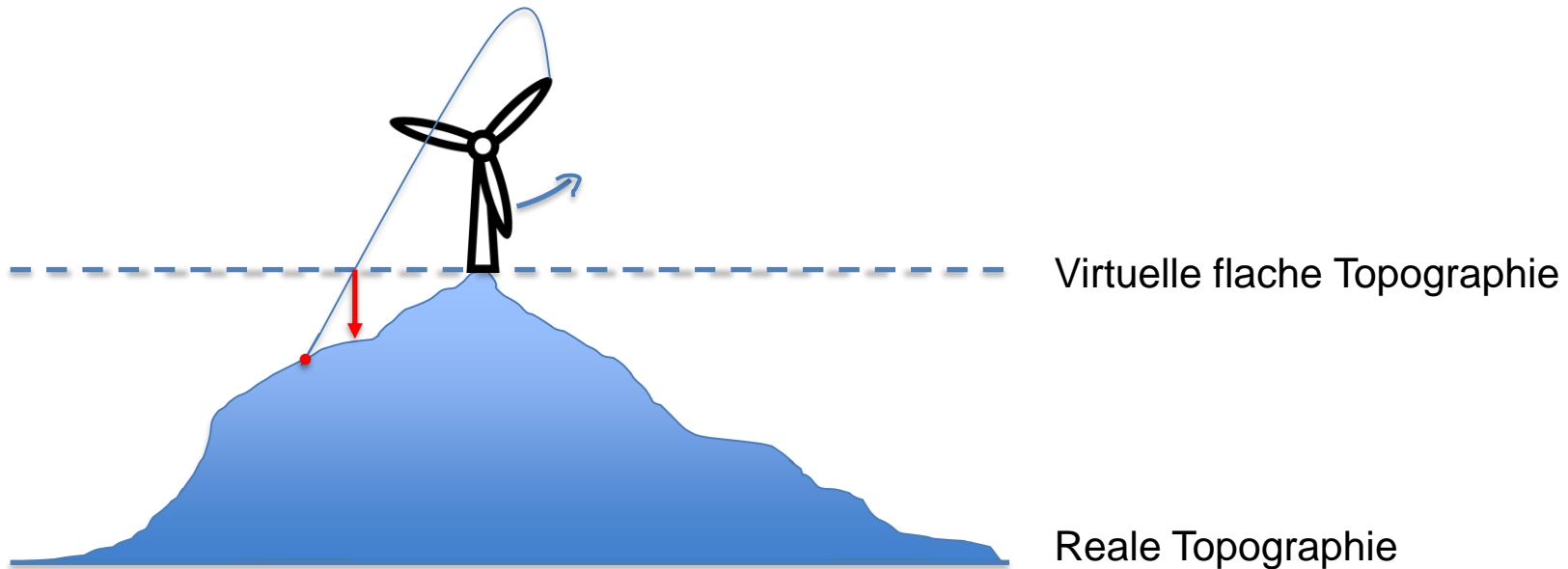
### 3. Der Einfluss der Topographie

- Starke Abhängigkeit der Topographie in komplexem Gelände



### 3. Der Einfluss der Topographie

- Starke Abhängigkeit der Topographie in komplexem Gelände

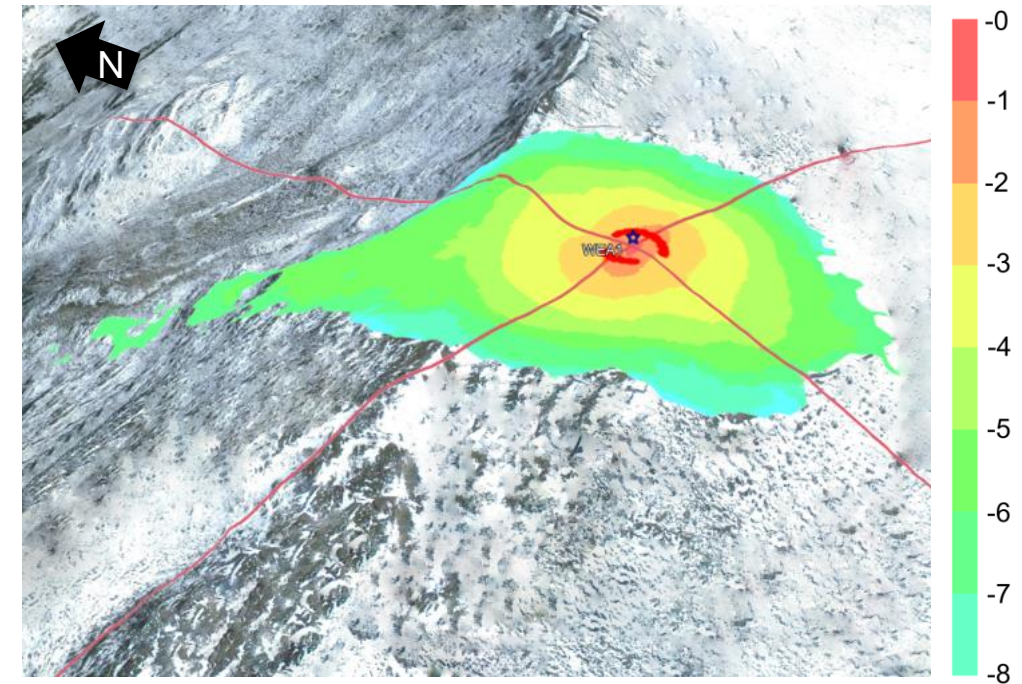
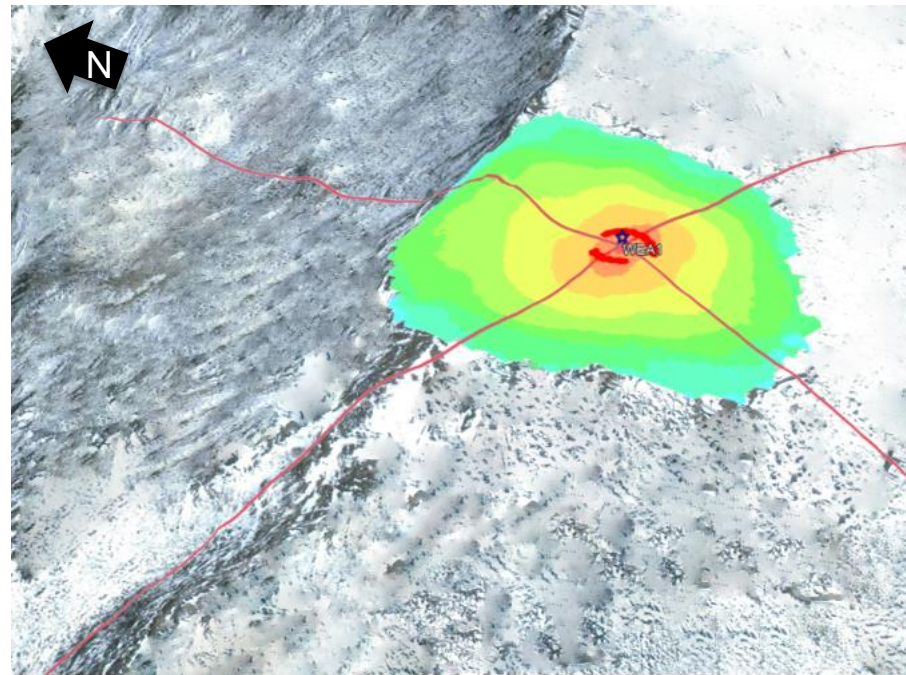


### 3. Beispiel Verteilungshäufigkeit - Eiswurf

Seifert Distanz

SWIM (ohne Topographie)

SWIM (mit Topographie)

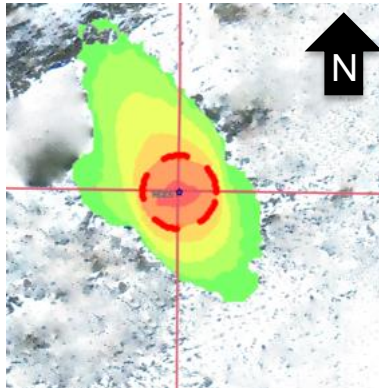


[Treffer/(m<sup>2</sup> Jahr)]

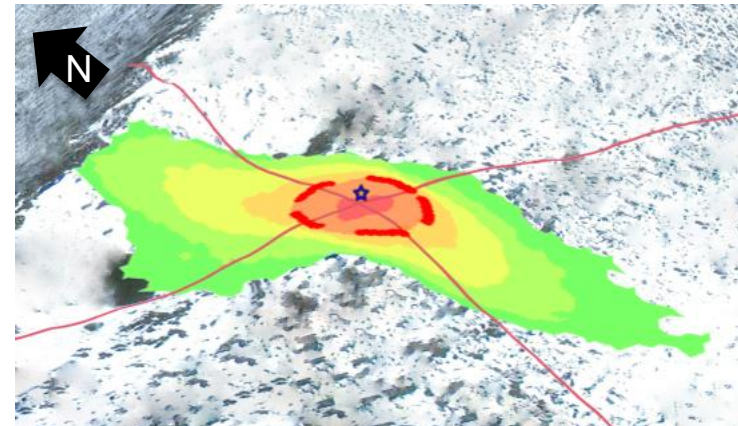
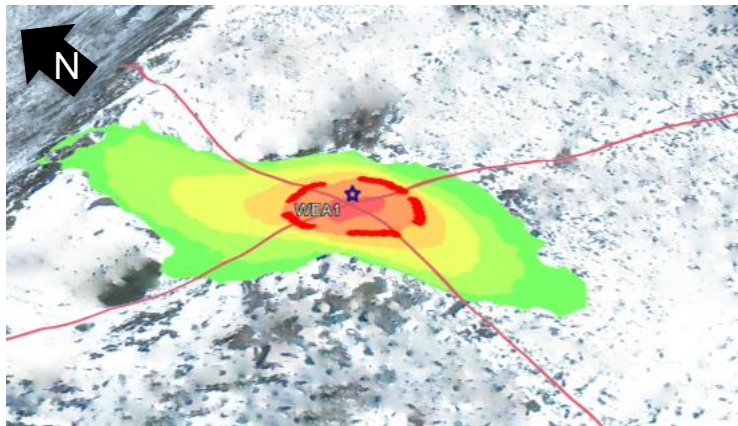
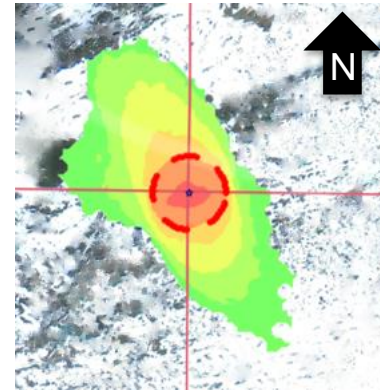


### 3. Beispiel Verteilungshäufigkeit - Eisfall

SWIM (ohne Topographie)



SWIM (mit Topographie)



[Treffer/(m<sup>2</sup> Jahr)]

## 4. Ein Risiko besteht – akzeptabel, tolerierbar oder nicht akzeptabel?

- Risikoberechnung:

$$Risiko = Gefahr * Exposition$$

Gefahr: Trefferhäufigkeit  
Exposition: Zeit in Gefahrenbereich

- Risikobeurteilung:

Risiko individuell [Todesfälle / (Person Jahr)]	Bewertung
$10^{-5} < X$	Risiko ist inakzeptabel
$10^{-6} < X < 10^{-5}$	Risiko ist hoch / Risikomindernde Massnahmen notwendig
$10^{-7} < X < 10^{-6}$	Risiko ist tolerierbar / Massnahmen nach Kosten-Nutzen abwägen
$X < 10^{-7}$	Risiko ist akzeptierbar

## 4. Beispiel Risikoberechnung

- Risikoberechnung:

- Beispiel A: Trefferhäufigkeit pro m<sup>2</sup>:

$$10^{-5} \text{ [Treffer/(m}^2 \text{ Jahr)]}$$

Risiko individuell [Todesfälle / (Person Jahr)]	Bewertung
$10^{-5} < X$	Risiko ist inakzeptabel
$10^{-6} < X < 10^{-5}$	Risiko ist hoch / Risikomindernde Massnahmen notwendig
$10^{-7} < X < 10^{-6}$	Risiko ist tolerierbar / Massnahmen nach Kosten-Nutzen abwägen
$X < 10^{-7}$	Risiko ist akzeptierbar

$$Gefahr = 10^{-5} \left[ \frac{\text{Treffer}}{\text{m}^2 \text{ Jahr}} \right]$$

$$Exposition \text{ pro Meter Wegabschnitt} = 1 \left[ \frac{1}{\text{Tag}} \right] * 365 \left[ \frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}} \right] * \frac{1}{365 * 24 * 60 * 60} \left[ \frac{\text{Jahr}}{\text{s}} \right]$$

$$Risiko = \sum_1^{200} Gefahr * Exposition = 1.88 \cdot 10^{-9} \left[ \frac{\text{Treffer}}{\text{Jahr}} \right]$$

### Risikobeurteilung:

- Bsp. A: Risiko ( $1.88 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Treffer}}{\text{Jahr}}$ ) ist **akzeptierbar**



Risiko individuell [Todesfälle / (Person Jahr)]	Bewertung
$10^{-5} < X$	Risiko ist inakzeptabel
$10^{-6} < X < 10^{-5}$	Risiko ist hoch / Risikomindernde Massnahmen notwendig
$10^{-7} < X < 10^{-6}$	Risiko ist tolerierbar / Massnahmen nach Kosten-Nutzen abwägen
$X < 10^{-7}$	Risiko ist akzeptierbar

## 4. Beispiel Risikoberechnung

- Risikoberechnung:

- Beispiel A:
  - Trefferhäufigkeit pro m<sup>2</sup>: **10<sup>-2</sup>** [Treffer/(m<sup>2</sup> Jahr)]
  - Fussgänger begeht Weg täglich **2x**: 365 [Tage/Jahr]
  - Kopffläche: 0.09 m<sup>2</sup>
  - Marschgeschwindigkeit: 4 km/h = 4/3.6 m/s => 1.11 m/s
  - Wegabschnitt: **600 m**

$$Gefahr = 10^{-2} \left[ \frac{\text{Treffer}}{\text{m}^2 \text{Jahr}} \right]$$

$$Exposition \text{ pro Meter Wegabschnitt} = 2 \left[ \frac{1}{\text{Tag}} \right] * 365 \left[ \frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}} \right] * \frac{1 \text{ m}}{1.11 \text{ m/s}} \left[ \text{s} \right] * \frac{1}{365 * 24 * 60 * 60} \left[ \frac{\text{Jahr}}{\text{s}} \right] * 0.09 \left[ \text{m}^2 \right]$$

$$Risiko = \sum_1^{600} Gefahr * Exposition = 1.13 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{Treffer}}{\text{Jahr}} \right]$$

### Risikobeurteilung:

- Bsp. A: Risiko ( $1.88 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Treffer}}{\text{Jahr}}$ ) ist **akzeptierbar**
- Bsp. B: Risiko ( $1.13 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Treffer}}{\text{Jahr}}$ ) ist nicht **inakzeptabel**

## 5. Risikominderung (unvollständige Liste)

### Massnahme

### Risikominderung

Warnlichter und Beschilderung

1-2 Grössenordnungen

Schulung von Personengruppen

1-2 Grössenordnungen

Sperrung / Umleitung

Vollständige Reduktion

Schutzhelm

Abhängig von Zertifizierung

Zertifiziertes Eisdetektionssystem

Vollständige Reduktion für Eiswurf



Quelle: [3]



Quelle: [1]



Quelle: [2]

Bildquellen:

[1] IEA Wind Task 19, State-of-the-Art of Wind Energy in Cold Climates, [https://www.tuulivoimayhdistys.fi/media/task19\\_sota\\_weincc\\_2012\\_approved.pdf](https://www.tuulivoimayhdistys.fi/media/task19_sota_weincc_2012_approved.pdf)

[2] <https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpk/presse/pressemitteilungen-aktuelle-meldungen/artikel/l-76b-fahrbahndeckenerneuerung-zwischen-reichental-und-kaltenbronn-1/>

[3] [https://sury.ch/3m-peltor-g22-sbb-schutzhelm-reflektierstreifen-leder-schweissband-pinlock-verschluss-p-15968.html?sury\\_ref=google\\_shopping&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjw2PSvBhDjARIsAKc2cgPkiPu2QxeR6nZdlXwMTGFmdW8bdu7LUJyTyIHiYrxAU4fnzFJwalaApxPEALw\\_wcB](https://sury.ch/3m-peltor-g22-sbb-schutzhelm-reflektierstreifen-leder-schweissband-pinlock-verschluss-p-15968.html?sury_ref=google_shopping&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw2PSvBhDjARIsAKc2cgPkiPu2QxeR6nZdlXwMTGFmdW8bdu7LUJyTyIHiYrxAU4fnzFJwalaApxPEALw_wcB)

# Fragen / Diskussion





# Vielen Dank!

## **svu|asep**

Geschäftsstelle: Brunngasse 60, Postfach 3000 Bern 8 (Di-Do, 9-11 Uhr)  
Tel. +41 31 331 03 02, Email: [info@svu-asep.ch](mailto:info@svu-asep.ch), Webpage: [www.svu-asep.ch](http://www.svu-asep.ch)

## **Nicole Schiltknecht**

IC Infraconsult AG, Email: [nicole.schiltknecht@infraconsult.ch](mailto:nicole.schiltknecht@infraconsult.ch), Tel.: +41 31 359 24 22

## **Thomas Schirmer**

SC+P Sieber Cassina + Partner AG, Email: [thomas.schirmer@scpag.ch](mailto:thomas.schirmer@scpag.ch), Tel.: +41 44 297 70 90

## **Ralf Sigrist**

Basler & Hofmann AG, Email: [ralf.sigrist@baslerhofmann.ch](mailto:ralf.sigrist@baslerhofmann.ch), Tel.: +41 44 387 16 66