

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?

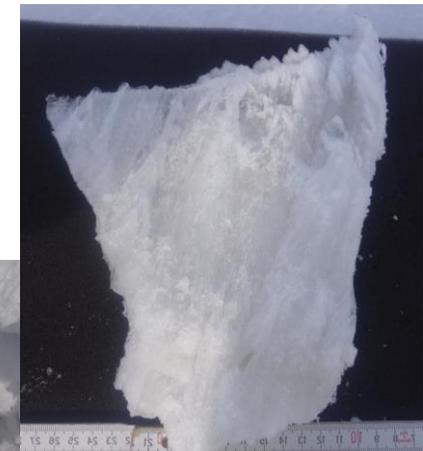
- Atmosphärische Bedingungen führen zu Vereisung an Strukturen

...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: [2]

Quelle: [1]

Quelle: [1]

2. Modellierung von Eiswurf

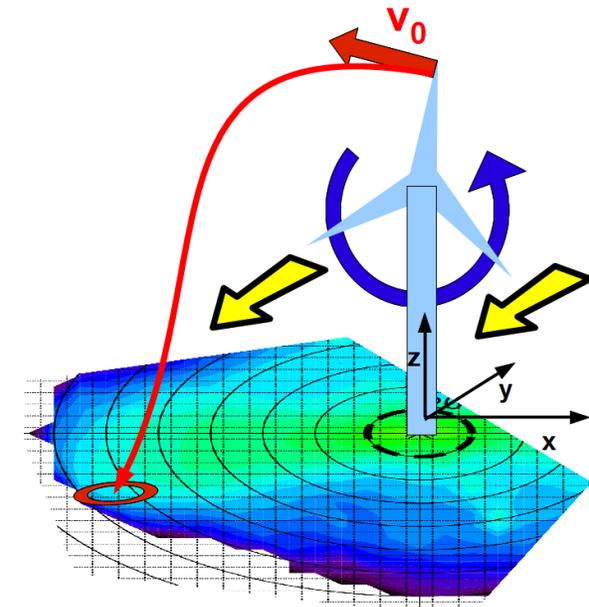
- Einfache Abschätzung (Seifert-Distanz):

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

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

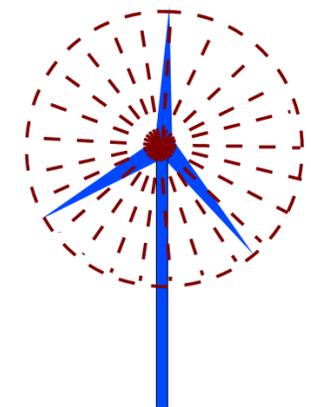
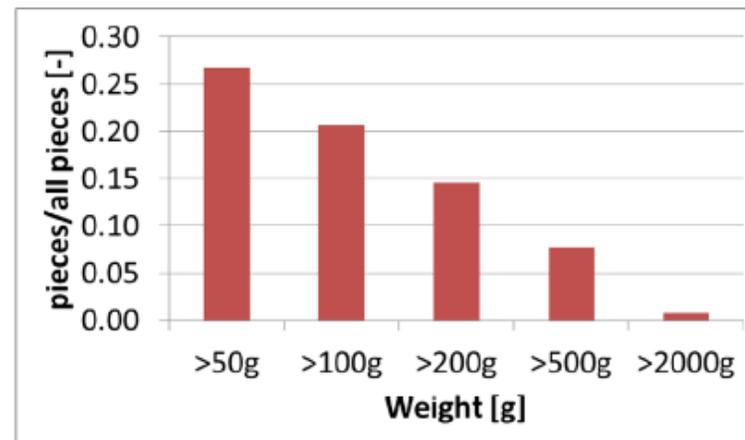
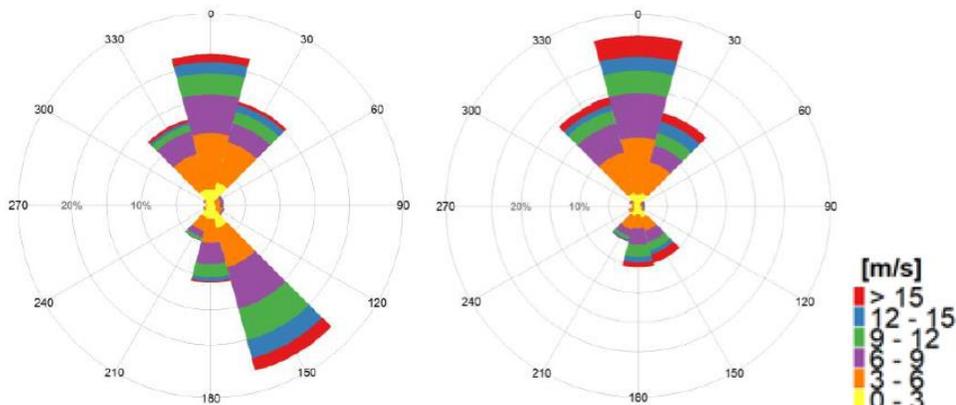
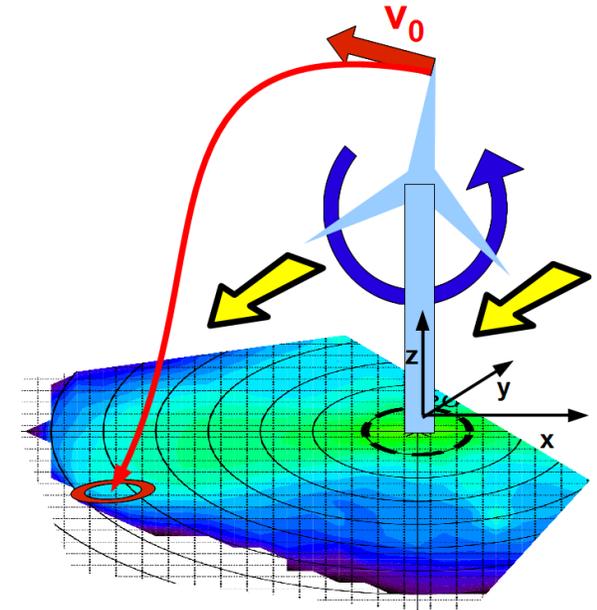
- Modellierung von Eisfall-/Eiswurf unter Berücksichtigung der lokalen Bedingungen:

Simple Windturbine Ice Throw Model (SWIM)
by Meteotest



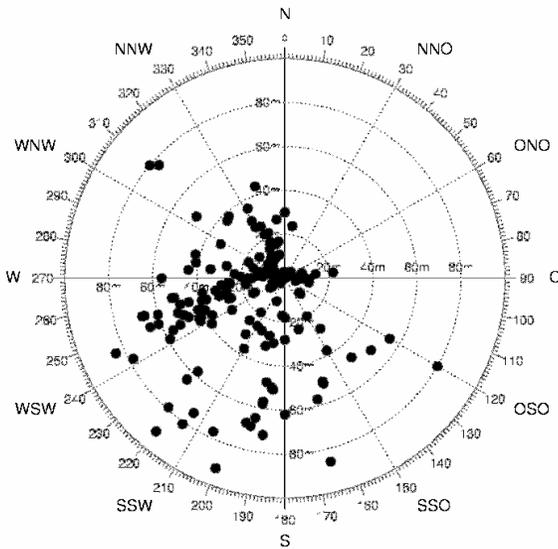
2. Modellierung von Eiswurf – Das Modell SWIM

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



2. Modellierung von Eiswurf – Validierung SWIM

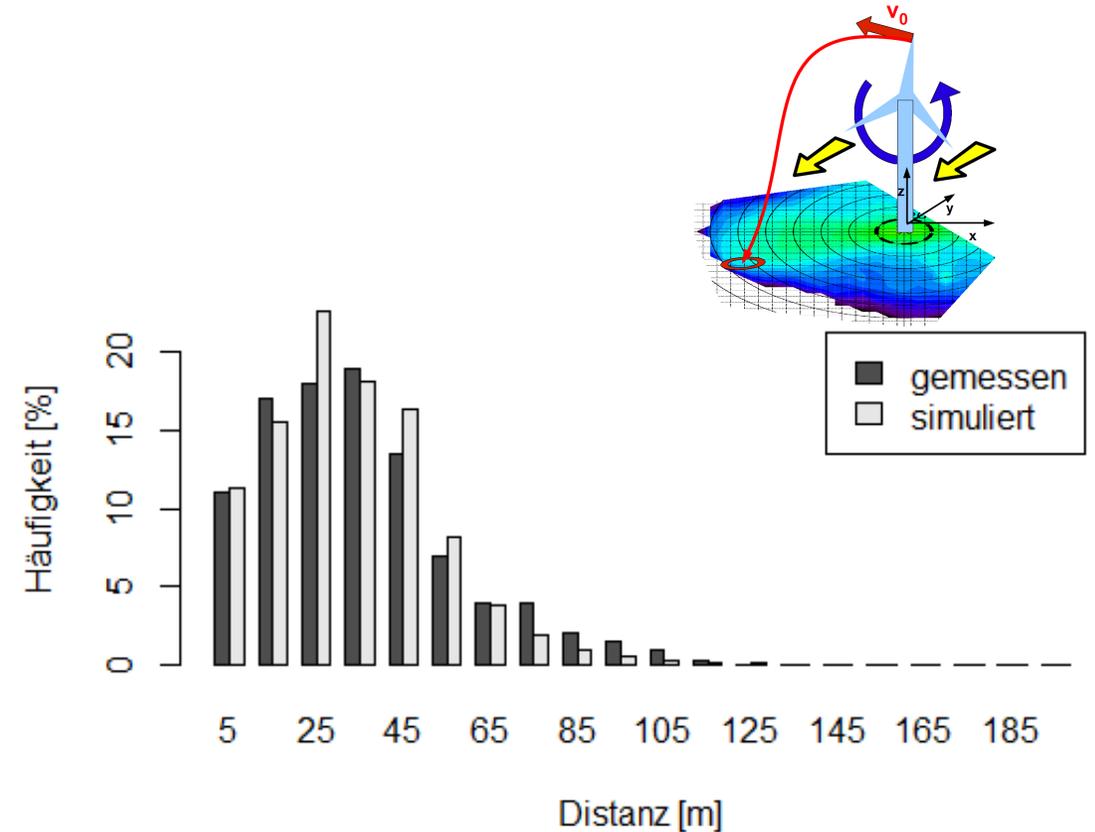
Messungen



Krater

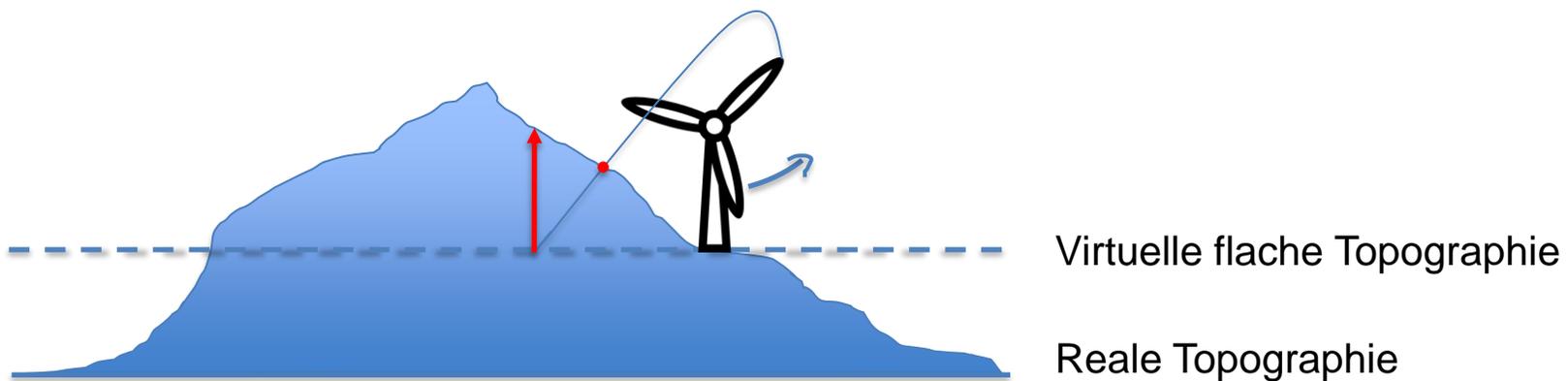


Vergleich SWIM & Messungen



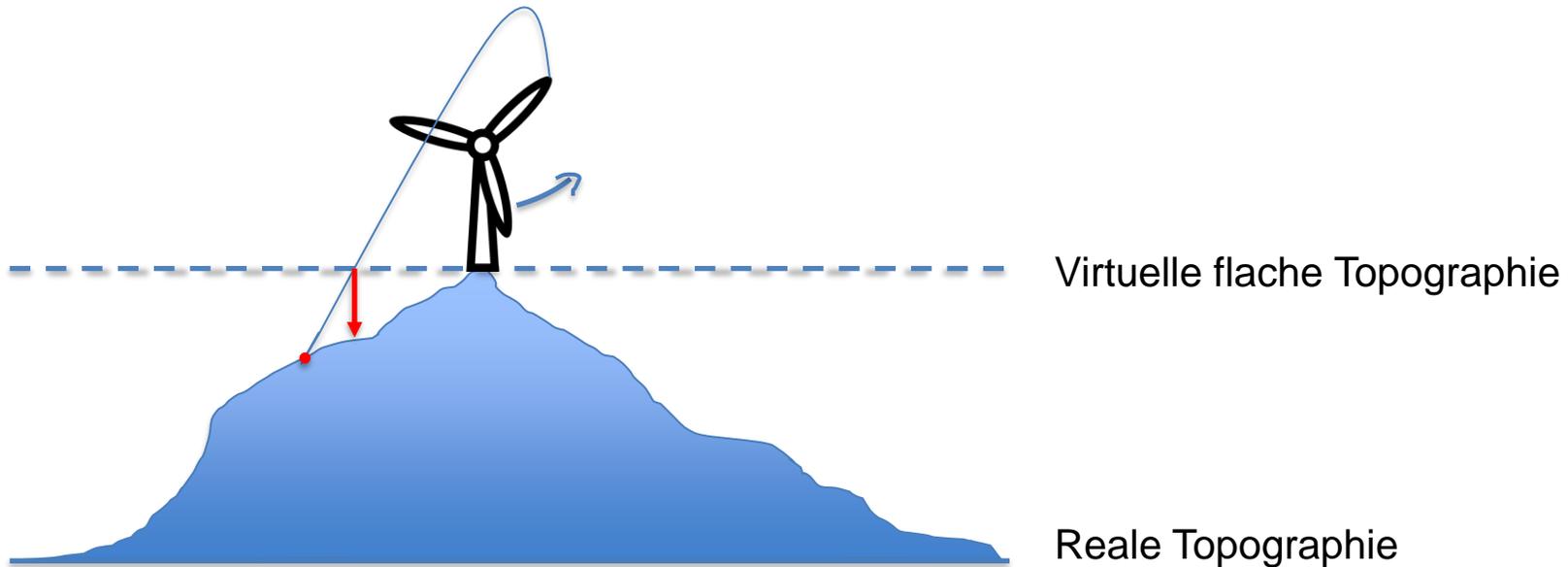
3. Der Einfluss der Topographie

- Starke Abhängigkeit der Topographie in komplexem Gelände



3. Der Einfluss der Topographie

- Starke Abhängigkeit der Topographie in komplexem Gelände

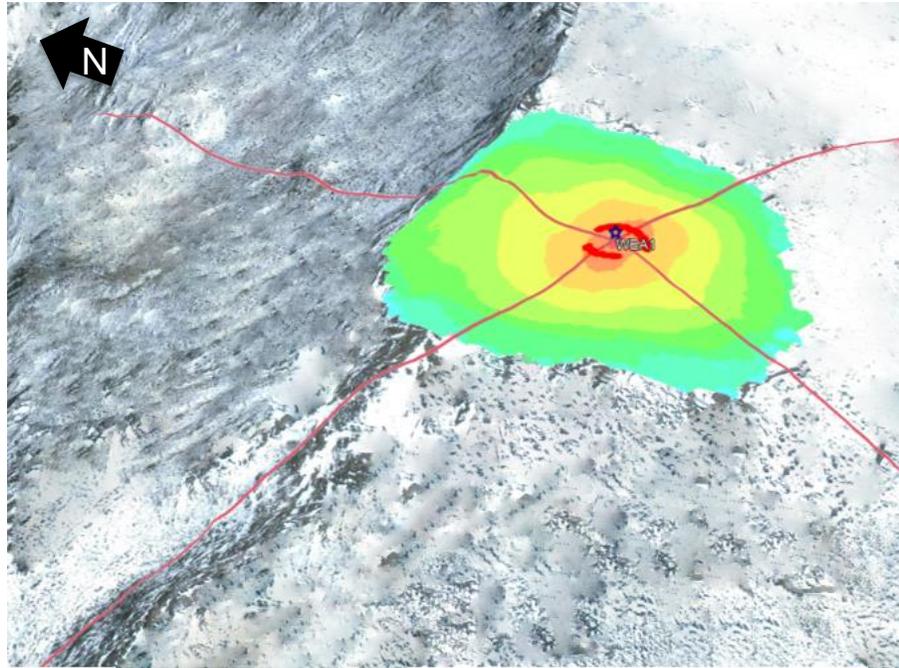


3. Beispiel Verteilungshäufigkeit - Eiswurf

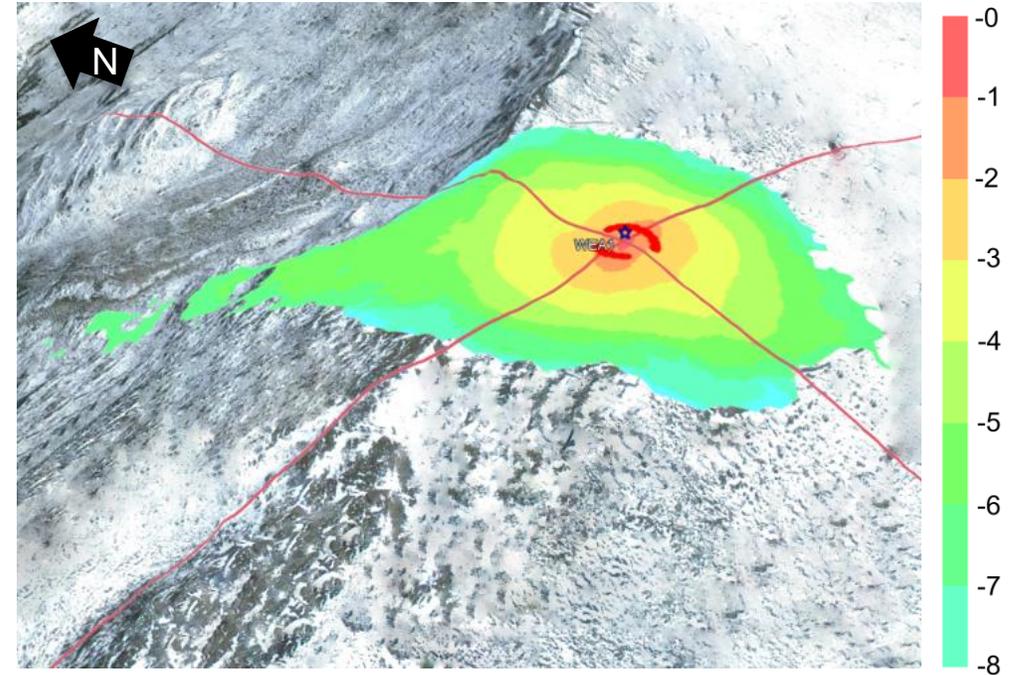
Seifert Distanz



SWIM (ohne Topographie)



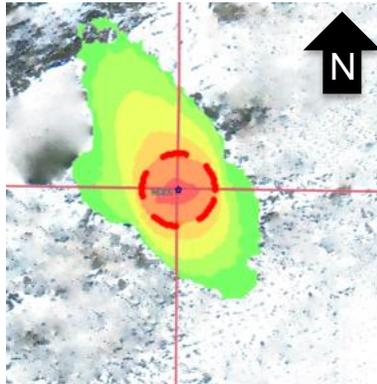
SWIM (mit Topographie)



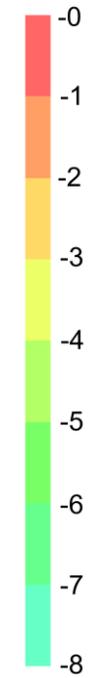
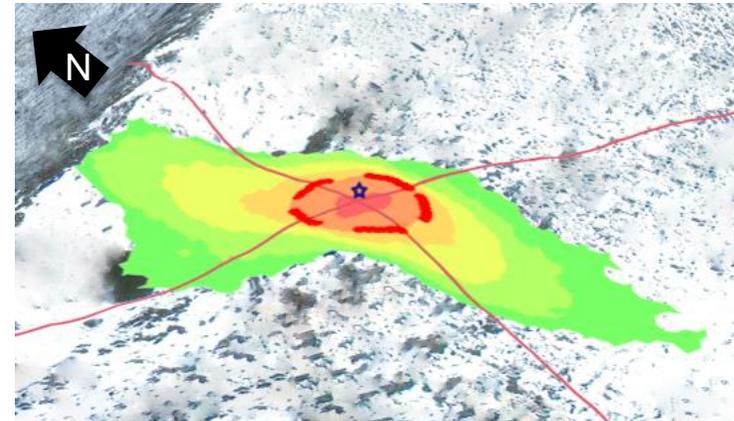
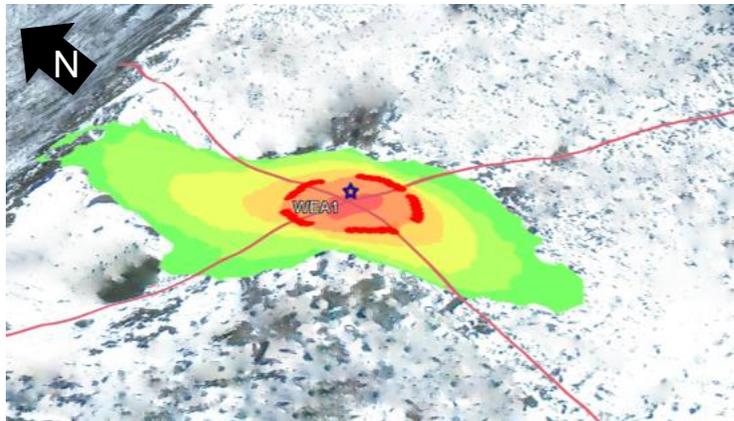
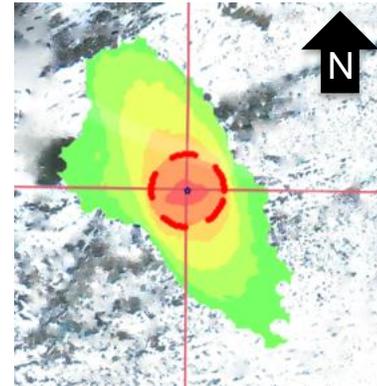
[Treffer/(m² Jahr)]

3. Beispiel Verteilungshäufigkeit - Eisfall

SWIM (ohne Topographie)



SWIM (mit Topographie)



[Treffer/(m² 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 m²:

10⁻⁵ [Treffer/(m² 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 · 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 m²: **10⁻²** [Treffer/(m² Jahr)]
 - Fussgänger begeht Weg täglich **2x**: 365 [Tage/Jahr]
 - Kopffläche: 0.09 m²
 - 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

[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=Cj0KCQjw2PSvBhDjARIsAKc2cgPkiPu2QxeR6nZdlXwMTGFmdW8bdu7LUJjyTyIHiYrxAU4fnzFJwalaApxPEALw_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, Webpage: www.svu-asep.ch

Nicole Schiltknecht

IC Infraconsult AG, Email: nicole.schiltknecht@infraconsult.ch, Tel.: +41 31 359 24 22

Thomas Schirmer

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

Ralf Sigrist

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