



COMMUNE DE COURT
CANTON DE BERNE



Parc éolien de Montoz – Pré Richard

Etude projections de glace (Meteo-test)

Pièce B1-10

Indice	Description de l'évolution du document	Date
<i>a</i>	<i>Version pour Information et participation</i>	12.04.2016
<i>b</i>	<i>Dépôt public</i>	11.04.2018
<i>c</i>		



Windenergieprojekt Montoz-Pré Richard

Eisfallgutachten, Risikoanalyse und Empfehlung von
Massnahmen zur Risikominderung

Impressum

Auftraggeber Kontaktperson Adresse	Energie Service Biel/Bienne Davide Crotta Gottstattstrasse 4 Postfach 4263 2500 Biel 4
Datum Aktuelle Version Ältere Versionen Projektnummer Datei	26.03.2018 Schlussbericht - 17_082 Eisfallgutachten_WP_MontozPreRichard_2018.V3_3.docx
Erstellt durch Kontrolliert durch Genehmigt durch	Dr. Stefan Müller 26.03.2018 Saskia Bourgeois 26.03.2018 René Cattin
Gewährleistung	Meteotest gewährleistet ihren Kunden eine sorgfältige und fachgerechte Auftragsbearbeitung. Jegliche Haftung, insbesondere auch für Folgeschäden, wird im Rahmen des gesetzlich Zulässigen wegbedungen.

Zusammenfassung

In diesem Bericht wird der geplante **Windpark Montoz-Pré Richard** hinsichtlich **Eisfall** untersucht. Der geplante Windpark umfasst **sieben Turbinen** mit Rotor-durchmessern von 126 m und Nabhöhhen von 117 m.

Für die Eisfallmodellierung wurde die neuste Version des von Meteotest entwickelten **Modells SWIM V2.1** (Simple Windturbine Icethrow Model) verwendet. Das Modell wird in Kapitel 3 beschrieben.

In Kapitel 4 wird die **Methodik** vorgestellt, mit welcher die Risikoanalyse durchgeführt wird.

Kapitel 5 beschreibt die **Datengrundlagen** für die Eisfallmodellierung. Dazu gehören das Windparklayout und die Verkehrswege sowie die Windturbinenparameter, die lokale Meteorologie und die Anzahl erwarteter Eisstücke.

In Kapitel 6 werden die **Resultate der Eisfallmodellierung** grafisch dargestellt. Im Umkreis jeder Turbine ergeben sich Trefferhäufigkeiten, welche im Bereich der vom Rotor überstrichenen Fläche am grössten sind und mit wachsender Distanz zum Turmfuss logarithmisch abnehmen. Die Gefahrenzone ist stark abhängig von den vorherrschenden Winden. Sie liegt im Bereich von 80 m (Nordwestlich der WEA) bis 270 m (Nordöstlich der WEA).

Basierend auf der Eisfallmodellierung werden die **betroffenen Wegabschnitte in und um den Windpark** anhand einer Risikoanalyse näher betrachtet (Kapitel 7). Bei der Risikoanalyse wird einerseits berücksichtigt, wie stark die Wegabschnitte von Personen frequentiert werden. Zudem werden **drei Personengruppen** unterschieden: Gruppe 1 wandert **einmal pro Jahr** durch den Windpark, Gruppe 2 hält sich **wöchentlich** im Windparkgebiet auf und Gruppe 3 wohnt oder arbeitet in der Umgebung des Windparks und hält sich **täglich** dort auf.

Für die **meisten untersuchten Wegabschnitte** liegt das Risiko in einem **akzeptablen Bereich** und nur in **wenigen Fällen in einem hohen Bereich**. Erhöhtes Risiko betrifft vorwiegend Personengruppe 3, welche sich sehr oft in der Region des Windparks aufhält. Massnahmen zur Risikominderung werden in Kapitel 8 aufgeführt.

Die Schlussfolgerung (Kapitel 9) enthält die **wichtigsten Ergebnisse der Eisfallmodellierung**. Basierend auf einem Betriebskonzept mit geeigneten Massnahmen, ist ein **sicherer Betrieb des Windparks möglich**.

Inhalt

1	Einleitung	5
2	Nomenklatur	6
2.1	Eisschlag, Eisfall und Eiswurf.....	6
2.2	Kollektives und individuelles Risiko	6
2.3	Minimale endogene Sterblichkeit (MEM)	6
3	Eisschlagmodell SWIM	7
3.1	Modellbeschreibung	7
3.2	Spezialbetriebsmodi.....	9
3.4	Resultate der SWIM-Modellierung	10
3.5	Anzahl und Grössenverteilung der Eisstücke	11
3.6	Validierung der SWIM-Modellresultate	12
4	Methodik der Risikoanalyse	14
4.1	Risikoberechnung	14
4.2	Risikoakzeptanz.....	15
4.3	Fatale kinetische Energie und Grösse von Eisstücken.....	16
5	Datengrundlage für Eisfallmodellierung	17
5.1	Standorteigenschaften	17
5.2	WEA-Parameter.....	19
5.3	Meteorologie und Vereisungsperioden.....	19
5.4	Geschätzte Anzahl Eisstücke am Standort Montoz-Pré Richard	22
6	Resultate der Eisfallmodellierung	23
7	Risikoanalyse für einzelne Wegabschnitte im Windparkgebiet Montoz-Pré Richard	24
7.1	A) Häufig begangene Wege.....	25
7.1.1	(A1) Zugangsweg zur Bergerie de Court von Süden.....	25
7.1.2	(A2) Zugangsweg zur Bergerie de Court von Nord-Osten.....	26
7.1.3	(A3) Verbindungsweg von der Bergerie de Court nach Pré Richard.....	27
7.1.4	(A4) Wegabschnitt nördlich von T07 zum Hof Pré Richard	28
7.1.5	(A5) Weg von Pré Richard nach La Bluée	29
7.2	(B) Selten begangene Weg.....	30
7.2.1	(B1) Weg von Pré Richard nördlich von T06 vorbei	30
7.2.2	(B2) Weg von der Strasse bei La Bluée südöstlich von T04 und T07	31
8	Mögliche Massnahmen zur Risikominderung	32
9	Schlussfolgerung	33
A	Grafiken vom Eisfallrisiko für alle WEA-Standorte	35
B	Bibliographie	39

1 Einleitung

Energie Service Biel (ESB) plant in der Region Montoz-Pré Richard im Kanton Bern die Realisation eines Windparks. Der Standort liegt auf dem rund 1'300 m hohen Bergrücken Montoz-Pré Richard (Abbildung 1). Am Hangfuss nördlich befindet sich die Ortschaft Court und im Süden bzw. Südosten befinden sich die Ortschaften Lengnau und Grenchen. Der geplante Windpark umfasst sieben Windenergieanlagen (WEA).

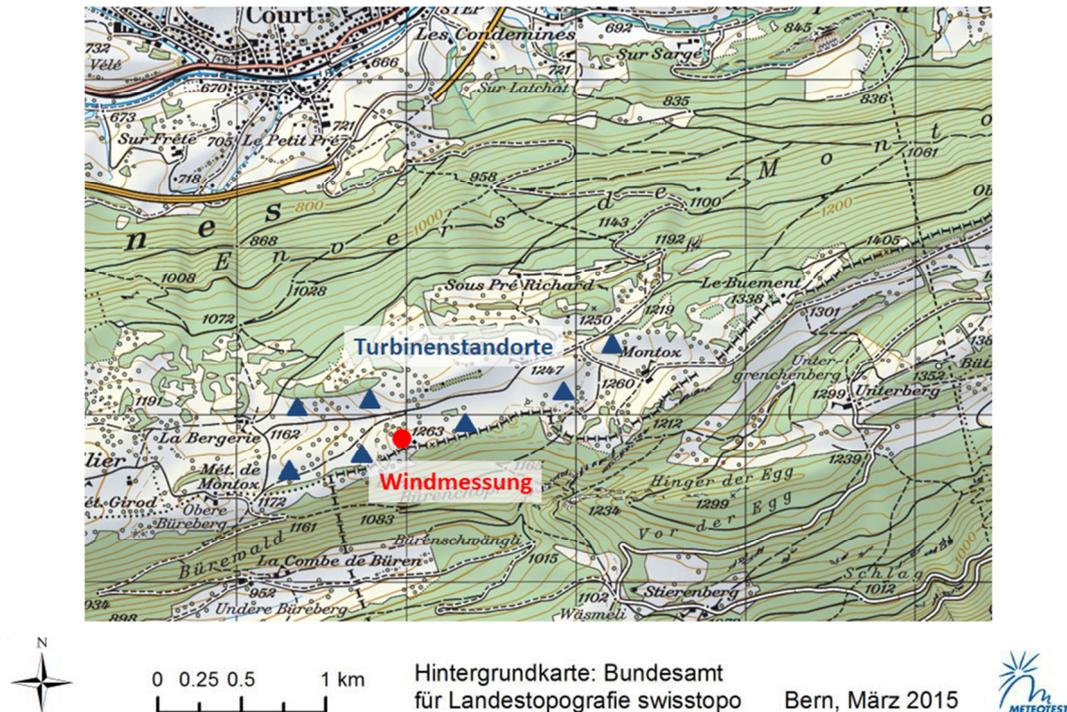


Abbildung 1: Standort des Windparks auf dem Jurarücken Montoz-Pré Richard. Der rote Punkt bezeichnet den Standort der Windmessungen (Messmast und LIDAR). Die blauen Dreiecke markieren die Turbinenstandorte.

Der Standort Montoz-Pré Richard ist im Winter von vereisenden Bedingungen betroffen. Dadurch kann sich an den WEA Vereisung bilden. Wenn die Turbine still steht und sich das Eis wieder von der Turbine löst, spricht man von Eisfall. Eisfall von WEA kann ein Sicherheitsrisiko für Personen darstellen, die sich in der Nähe der Turbinen aufhalten.

2 Nomenklatur

2.1 Eisschlag, Eisfall und Eiswurf

Für eine abgeschaltete oder stillstehende WEA wird der Begriff **Eisfall**, für eine WEA im Betrieb der Begriff **Eiswurf** verwendet. Im Eisfall löst sich ein Eisstück und fällt von der stillstehenden Anlage ab. Beim Eiswurf wird das Eisstück mit einer Anfangsgeschwindigkeit abgeworfen, welche der Geschwindigkeit des Rotorblattes entspricht. Der Oberbegriff für beide Typen ist **Eisschlag**.

2.2 Kollektives und individuelles Risiko

Das kollektive Risiko ist das Gesamtrisiko für die Summe aller betroffenen Personen bei einer Risikoanalyse. Das Risiko für einen Einzelnen ist dabei jedoch unbekannt. Das individuelle Risiko ist das Risiko, dem eine einzelne Person ausgesetzt ist.

2.3 Minimale endogene Sterblichkeit (MEM)

Das Prinzip der minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM)¹ ist ein Mass für das akzeptierte (unvermeidliche) Risiko, durch ein potentielles Risiko zu Tode zu kommen. MEM wird hauptsächlich als absoluter Risikoschwellwert bei der Zulassung kompletter Systeme eingesetzt. MEM ist für Jugendliche am niedrigsten. Statistisch beträgt die Mortalität (R_m) eines europäischen Jugendlichen:
 $R_m = 2 \times 10^{-4}$ Todesfälle / (Person Jahr)

¹ https://de.wikipedia.org/wiki/Minimale_endogene_Mortalität

3 Eisschlagmodell SWIM

3.1 Modellbeschreibung

Meteotest hat auf dem Güttsch oberhalb Andermatt in den Schweizer Alpen eine WEA mit 46 m Nabenhöhe und einem Rotordurchmesser von 40 m während mehrerer Jahre bezüglich Eisansammlung an den Rotorblättern untersucht und abgeworfene Eisstücke vermessen und dokumentiert. Dabei hatten 2/3 der Eisstücke ein Gewicht kleiner 200 g. 50% der Eisstücke wurden innerhalb eines Umkreises von 20 m (Rotorradius) um den Fuss der Anlage gefunden. Die Extreme, welche für eine Risikoanalyse interessieren, lagen bei einem Gewicht von 1.8 kg und bei einer Distanz von 92 m zur Anlage hin [1]).

Daraufhin hat Meteotest eigens das Eisschlagmodell SWIM (**S**imple **W**indturbine **I**cethrow **M**odel) entwickelt, welches die Trajektorie eines Eisstücks bis zum Aufprall auf der Erde berechnet, basierend auf den meteorologischen Bedingungen am Standort sowie den spezifischen WEA-Parametern.

Mit Hilfe einer Zeitreihe von Windgeschwindigkeit und Windrichtung kann das Modell die Eisfallhäufigkeit im Umkreis der WEA berechnen. Dabei wird für jeden Zeitpunkt der Zeitreihe eigens eine Simulation durchgeführt. Wenn zusätzlich Daten zum Auftreten von Vereisung am Standort vorhanden sind, wird Eisfall nur für Perioden simuliert, während welcher Vereisungsbedingungen vorherrschen.

Ein Eisstück besitzt zum Zeitpunkt des Abwurfs die Geschwindigkeit des Rotorblattes. Die Geschwindigkeit lässt sich aus der Umdrehungszahl und dem Radius errechnen. Im Flug unterliegt ein Eisstück der Erdanziehung, dem Luftwiderstand, welcher das Teilchen abbremst, sowie der Kraft des Windes, welche es aus seiner Bahn ablenkt. Das Modellprinzip ist in Abbildung 2 skizziert (vergleiche auch [2]). Für eine stillstehende WEA wird die Umdrehungszahl des Rotors auf 0 Umdrehungen pro Minute gesetzt (Eisfall).

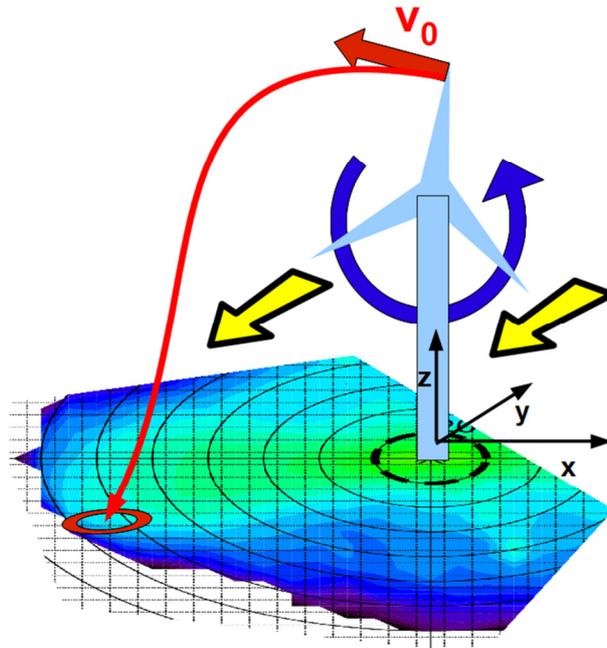


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Eisschlagmodells. Der blaue Pfeil stellt die Drehrichtung des Rotors dar. Die gelben Pfeilen bezeichnen die Windrichtung. Die rote Linie zeigt die Trajektorie eines Eisstücks vom Abwurf bis zum Aufprall unter Berücksichtigung der Verfrachtung mit dem Wind. v_0 ist die Abwurfgeschwindigkeit, welche von der Umdrehungszahl des Rotors abhängt. Die farbige Fläche am WEA-Fuss stellt die Auftreffhäufigkeit von Eisstücken dar: grün = hohe Auftreffhäufigkeit, blau/violett = tiefe Auftreffhäufigkeit.

Für die Modellierung werden folgende Annahmen getroffen:

1. Die Eisstücke sind quaderförmig.
2. Eisschlagberechnungen werden nur für Perioden durchgeführt, welche die Vereisungsbedingungen erfüllen.
3. Die Eisteilchen rotieren in der Luft, so dass jede Seite der Eisquader abwechselungsweise vom Wind erfasst, respektive vom Luftwiderstand abgebremst wird.
4. Eisstücke werden von jeder Position auf dem Rotorblatt (Blattwurzel bis Blattspitze) auf der gesamten 360°-Umdrehung des Rotorblatts abgeworfen (Abbildung 3).
5. Wenn die WEA still steht und das Eis abfällt, wird für die Simulation die Umdrehungszahl auf null gesetzt.
6. Die WEA wird im Modell immer in den Wind gedreht.

7. Die Topographie wird nicht berücksichtigt. Die Modellierung wird für eine horizontale Fläche durchgeführt.

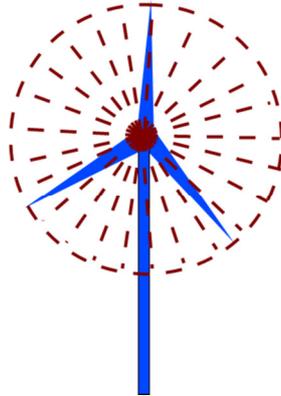


Abbildung 3: Für jede Umdrehungsposition, die ein Rotorblatt einnehmen kann, wird von der Blattwurzel bis zur Blattspitze ein Eisstück fallen gelassen, respektive abgeworfen. Die Schrittweite entlang des Rotorblattes beträgt 6 m, die Schrittweite des Umdrehungswinkels 12 Grad.

Die Modellierung wird für eine Anzahl von mehreren Millionen Eisstücken durchgeführt. Daraus lässt sich statistisch die Trefferhäufigkeit von Eisstücken im Umkreis einer WEA bestimmen.

3.2 Spezialbetriebsmodi

Parkposition: Das Modell kann so konfiguriert werden, dass die WEA bei Vereisung in einem fixen Azimuth Winkel parkiert wird, so dass die Rotorblätter einen maximalen Abstand zu einer Strasse einnehmen. Die Fixierung wird bei Windstärken über 15 m/s aufgehoben [3], damit die Turbine keine mechanischen Schäden nimmt.

3.3 Eingangsgrößen für die Modellierung

Tabelle 1 listet die Eingangsgrößen auf, welche für die Modellierung benötigt werden.

Tabelle 1: Meteorologische Grundlagen, WEA-Parameter und Standorteigenschaften, welche als Eingangsgrößen für SWIM benötigt werden.

Grösse	Einheit	Parametertyp
Windgeschwindigkeit	[m/s]	Meteorologische Parameter (Zeitreihen)
Windrichtung	[°]	
Temperatur	[°C]	
Rotorradius	[m]	WEA-Parameter
Nabenhöhe	[m]	

Dichte des Eises	[kg/m ³]	Eisparameter
x–y–z Abmessungen Eisstück	[m]	
Rauigkeitslänge	[m]	Standorteigenschaften

Die meteorologischen Parameter bestehen in der Regel aus gemessenen Daten. Die WEA-Parameter müssen vom Hersteller zur Verfügung gestellt werden. Die Eisparameter charakterisieren die Grösse und die Dichte der Eisstücke, für welche die Berechnungen durchgeführt werden. Die Standorteigenschaften (Rauigkeitslänge) sind durch die Bodenbedeckung und Topografie gegeben.

Es wird zwischen Klareis, Raureif und Nassschnee unterschieden. Je nach meteorologischen Einflüssen bildet sich Eis mit unterschiedlicher Dichte. Die Dichte variiert zwischen 600 und 900 kg/m³.

Sofern vereisende Bedingungen vorhanden sind, wird das Eisschlagrisiko für jeden Zeitschritt der meteorologischen Datenreihe berechnet.

3.4 Resultate der SWIM-Modellierung

Für Eisfallsimulationen werden in jeder Gitterbox von 5 m x 5 m die Einschläge gezählt. Dadurch ergibt sich die räumliche Trefferhäufigkeit der Einschläge um eine WEA. Die Trefferhäufigkeit eines Eisstücks mit bestimmter Grösse wird auf die Anzahl Treffer pro Quadratmeter und Jahr [Trefferhäufigkeit / m² Jahr] normiert.

Die Trefferhäufigkeit setzt sich zusammen aus:

- **$p_{\text{Eisschlag}}$** : Relative räumliche Häufigkeitsverteilung, dass im entsprechenden m² das Eisstück auftritt (Resultat aus SWIM2.1).
- **$p_{\text{Eisstückverteilung}}$** : Relative Häufigkeitsverteilung des Gewichts des Eisstücks. Die Häufigkeitsverteilung wurde aus Zählungen auf dem Gütsch ob Andermatt, in St. Brais und auf dem Mt. Crosin im Jura abgeleitet. Tabelle 2 zeigt die Häufigkeiten für verschiedene Gewichtsklassen.
- **N** : Anzahl der Eisstücke pro Jahr. Dies ist eine Schätzung auf Basis der Zählungen auf dem Gütsch ob Andermatt, in St. Brais und auf dem Mt. Crosin im Jura.

Die Trefferhäufigkeitsverteilung T berechnet sich aus der Multiplikation der einzelnen Häufigkeiten mit der Anzahl Eisstücke pro Jahr:

$$T = N * p_{\text{Eisstückverteilung}} * p_{\text{Eisschlag}}$$

Für die räumliche Darstellung der Trefferhäufigkeiten wird eine logarithmische Skala gewählt, um einfach zu lesende graphischen Visualisierung zu erhalten. Die Legende zeigt jeweils den Zehner-Logarithmus der Trefferhäufigkeiten pro

Quadratmeter und Jahr. Dies bedeutet, dass ein Ort mit dem Wert -4 ($P = 10^{-4}$) hundert Mal weniger wahrscheinlich von einem Eisstück getroffen wird, als ein Ort mit dem Wert -2 (10^{-2}). In einem Quadratmeter mit dem Wert -4 muss mit 10^{-4} Treffern pro Quadratmeter und Jahr gerechnet werden, oder anders ausgedrückt, alle 10'000 Jahre fällt ein Eisstück in diesen Quadratmeter.

3.5 Anzahl und Grössenverteilung der Eisstücke

Die Eisstückverteilung für die Berechnung der Trefferhäufigkeiten wurde basierend auf den Feldstudien an den Standorten Gütsch ob Andermatt, St. Brais und Mt. Crosin (Tabelle 2) bestimmt. Bei der WEA mit 40 m Rotordurchmesser auf dem Gütsch wurden im Rahmen von Eisstückzählungen 226 Eisstücke über vier Wintersaisons ausgemessen und dokumentiert. In St. Brais mit WEA von 82 m Rotordurchmesser wurden rund 2'800 Eisstücke über drei Winter bei zwei Turbinen gefunden. Auf dem Mt. Crosin mit WEA von 90 m Rotordurchmesser wurden 98 Eisstücke gefunden.

Feldstudien, wie jene von Gütsch, St. Brais und Mt. Crosin [1], [4], [5] aber auch vom Icethrower Projekt [6] liefern wichtige Informationen zu Art und Häufigkeit von Eisstücken, wie sie von Windturbinen herunterfallen.

Diese Feldstudien sind über längere Zeit systematisch durchgeführt wurden. Trotzdem weisen sie Unzulänglichkeiten auf. Zum Beispiel ist eine Feldbegehung kurz nach einem Eisschlagereignis manchmal aufgrund schlechter Wetterbedingungen nicht möglich. Solange kein Sichtkontakt zur Turbine besteht, ist eine Begehung zu gefährlich, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass weitere Stücke herunterfallen können.

Eisschlag kann zudem unterschätzt werden, wenn zwischen Eisabfällen und der Begehung wieder Schnee fällt und die Eisstücke zudeckt. Eisstücke können beim Aufprall am Boden zersplittern. Eisstücke können sich vergrössern, wenn sie in den Schnee fallen und etwas Schnee nachträglich anfriert.

Die verfügbaren Feldstudien können nicht zwischen Eisfall und Eiswurf unterscheiden, da es bis anhin nicht möglich war 'Live'-Daten zu sammeln.

In vielen Fällen werden die Eisstücke nicht genau so vorgefunden, wie sie gefallen sind. Deshalb wird bei der Abschätzung der Anzahl Eisstücke pro Jahr ein Unsicherheitsfaktor berücksichtigt. Bei kleinen Eisstücken ist die Unsicherheit grösser, da kleine Stücke im Feld eher übersehen werden. Die Anzahl grosser Stücke wurde vermutlich besser dokumentiert.

Als Unsicherheit für die Anzahl Eisstücke wurde für den Bereich bis 500 g ein Faktor 5 geschätzt, bis 2.2 kg ein Faktor 2 und für schwerere Stücke ein Faktor 1.2. Dies ergibt ein Total von rund 15'000 Eisstücken über elf Turbinenwinter und somit rund 1'375 Eisstücke pro Turbine und Jahr. Es wurden hier alle Gewichtsklassen berücksichtigt. Da über 90% der dokumentierten Eisstücke von einer Turbine mit 82 m Rotordurchmesser aus St. Brais stammen, referenzieren wir

diese Zahl auf eine Turbinengrösse vergleichbar mit jenen vom Standort St. Brais.

Tabelle 2 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Eisstücke aus den Feldstudien von Gütsch ob Andermatt, St. Brais und Mt. Crosin ([1] [5] [7] [8]).

Tabelle 2: Häufigkeitsverteilung der Eisstückzählungen von Gütsch ob Andermatt, St. Brais und Mt. Crosin. In der letzten Spalte ist die Schätzung der Anzahl Eisstücke unter Berücksichtigung der Unsicherheit normiert pro Winter auf eine Turbine mit Rotordurchmesser 82 m.

Gewicht [g]	Anzahl Stücke total	Anteil an Gesamtheit [%]	Normierte Anzahl [1/Winter/Jahr]
>0g	3100	100%	1'375
>50g	900	29%	400
>100g	650	20%	275
>500g	266	8.5%	120
>2'200g	25	0.8%	2

3.6 Validierung der SWIM-Modellresultate

Abbildung 4 zeigt die Häufigkeitsverteilung von gefundenen Eisstücken an einem Standort und die entsprechenden Modellresultate. Der gezeigte Datensatz umfasst Eiswurf und Eisfall.

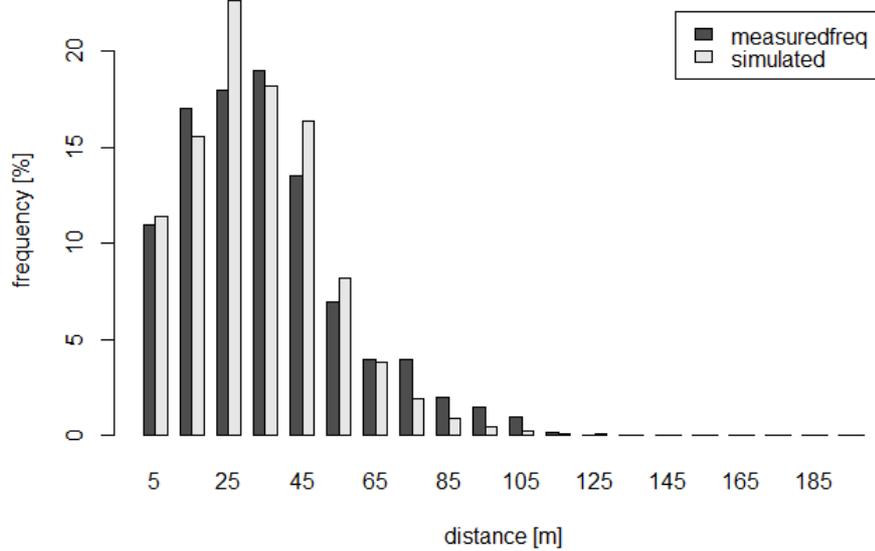


Abbildung 4: SWIM V2.1: Häufigkeitsverteilung von gefundenen Eisstücken (schwarz) und simulierten Eisstücke (grau).

Mit den Modellrechnungen mit SWIM V2.1 kann die Häufigkeitsverteilung der Feldstudie realistisch wiedergegeben werden. Das Häufigkeitsmaximum liegt im Bereich der Messungen um die 30 bis 35 m bei einem Rotordurchmesser von 82 m.

4 Methodik der Risikoanalyse

4.1 Risikoberechnung

Das Risiko setzt sich zusammen aus der Gefahr (Hazard) und der Aussetzungsdauer im gefährdeten Bereich (Exposure).

$$\text{Risiko} = \text{Hazard} \times \text{Exposure}$$

In unserem Fall wird "Hazard" durch die in Abschnitt 3.4 beschriebene Trefferhäufigkeitsverteilung [Treffer / m² Jahr] definiert.

"Exposure" setzt sich aus der Aufenthaltsdauer im gefährdeten Bereich ($P_{\text{exposuretime}}$) und der Möglichkeit, dass überhaupt Vereisung vorherrschen kann ($P_{\text{icingtime}}$) zusammen. Beides sind relative Größen in [Zeit/Jahr].

$$P_{\text{Exposure}} = P_{\text{icingtime}} * P_{\text{exposuretime}}$$

Um das Gesamtrisiko für einen Wegabschnitt zu berechnen, muss die räumliche Trefferhäufigkeitsverteilung (Hazard: $T[i,j]$) mit der Aufenthaltsdauer (Exposure: $P_{\text{Exposure}}[i,j]$) multipliziert werden (Abbildung 5). Danach werden die einzelne Werte aufsummiert. Die Formel dafür lautet:

$$\text{Risiko} = \sum T[i, j] * P_{\text{Exposure}}[i, j]$$

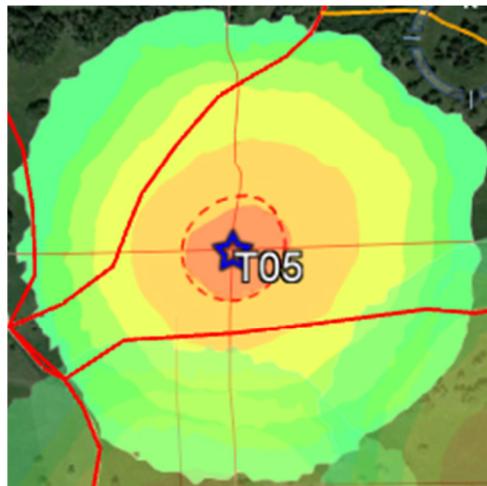


Abbildung 5: Beispiel für die Verschneidung einer Trefferhäufigkeitsverteilung (eingefärbte Fläche um WEA) mit den Wegabschnitten (rote Linien) im Umkreis einer WEA.

4.2 Risikoakzeptanz

Zur Bestimmung des akzeptierbaren Risikos gibt es mehrere international gängige Vorgehensweisen, die letztendlich zum vergleichbaren Ergebnis einer Akzeptanzgrenze von der Grössenordnung von 10^{-5} pro Jahr führen. Die Studie von Bredesen [9] geht für Wandergebiete von einer Akzeptanzschwelle von 10^{-4} Tref-fer pro Quadratmeter und Jahr für Personen, die über das ganze Jahr exponiert sind, aus. Ein Gerichtsentscheid in Deutschland [10] geht von einer Akzeptanzgrenze von $3 \cdot 10^{-5}$ aus. Die Wahrscheinlichkeit bei einem Autounfall ums Leben zu kommen liegt bei 10^{-5} ². Dem MEM-Kriterium folgend ergibt sich ebenfalls eine Akzeptanzschwelle von 10^{-5} . Darauf wird im Folgenden detaillierter eingegangen.

Für diese Eisfall-Risikoanalyse wird das **individuelle Risiko** für eine Person betrachtet (siehe Abschnitt 2.2). Das Prinzip der minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM, Abschnitt 2.3) ist ein Mass für das akzeptierte Risiko, durch eine potentielle Gefährdungsquelle getötet zu werden. Die MEM für einen durchschnittlichen europäischen Jugendlichen ($R_m = 2 \cdot 10^{-4}$) wird häufig als absoluter Risikoschwellwert bei der Zulassung neuer Systeme verwendet. Neue Systeme sollten keine nennenswerte Erhöhung von R_m verursachen.

Da jeder Mensch gleichzeitig mehreren Risiken ausgesetzt ist, wird pro System ein reduzierter Schwellwert von $0.05 \cdot R_m$ festgesetzt. Für das individuelle Risiko beträgt der **"Inakzeptanz"-Schwellwert** für eine neues System somit $R = 10^{-5}$ [Todesfälle/(Person Jahr)]. Das heisst, das **Risiko ist inakzeptabel**, wenn der Wert der Risikoanalyse grösser ausfällt (Tabelle 3).

Wenn der Werte für das Risiko zwischen 10^{-6} und 10^{-5} [Todesfälle / (Person Jahr)] liegt, ist das **Risiko hoch** und risikomindernde Massnahmen sind notwendig. Bei einem Risiko zwischen 10^{-7} und 10^{-6} [Todesfälle / (Person Jahr)] ist das **Risiko tolerierbar**, und Massnahmen sollten nach einem Kosten/Nutzen-Prinzip umgesetzt werden. Bei einem Risiko kleiner 10^{-7} [Todesfälle / (Person Jahr)] ist das **Risiko akzeptierbar** (Tabelle 3).

Tabelle 3: Risikoakzeptanzbereiche für das individuelle Risiko. Rot: Risiko ist inakzeptabel. Im orangen und gelben Bereich werden Risiko mindernde Massnahmen empfohlen. Im grünen Bereich ist das Risiko akzeptierbar niedrig.

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

² Bundesamt für Statistik, Schweiz

Um diese Zahlen besser einordnen zu können, werden in Tabelle 4 Beispielwerte von Todesfallwahrscheinlichkeiten für individuelle Risiken gezeigt, denen wir im Alltag und im Berufsleben ausgesetzt sind.

Tabelle 4: Todesfallwahrscheinlichkeiten für verschiedene Alltags- und Berufsrisiken für eine Einzelperson³ (individuelles Risiko).

Gefährdungsursache	Anzahl Tote pro 1 Mio. Einwohner	Wahrscheinlichkeit (Grössenordnung) Todesfälle / (Person Jahr)
Blitzschlag	1 bis 10 / Jahr	10^{-6}
PKW Fahrer im Strassenverkehr	30 bis 60 / Jahr	10^{-5}
Motorradfahrer	*	10^{-4}
Helikopterpilot	*	10^{-3}
Chemische Industrie	*	10^{-4}
Bauarbeiter	*	10^{-4}

* keine Werte verfügbar

4.3 Fatale kinetische Energie und Grösse von Eisstücken

Eisstücke mit einer kinetischen Energie grösser 40 Joule respektive 100 g Gewicht [3] werden für Personen die ungeschützt getroffen werden als fatal eingestuft. Dieser Wert wird für die vorliegende Risikoanalyse übernommen.

Die kinetische Energie ergibt sich aus der Masse und der Endgeschwindigkeit eines Eisstücks. Die Endgeschwindigkeit ergibt sich aus dem Trajektorien Modell als die Geschwindigkeit, zum Zeitpunkt des Auftreffens auf dem Boden. Diese liegen für Eisstücke von 100 g im Bereich von 20 - 28 m/s, abhängig von der Eisdichte und der vorherrschenden Windgeschwindigkeit. Mit 28 m/s Endgeschwindigkeit und 100 g Gewicht erreicht wird eine Energie von knapp unter 40 Joule erreicht.

³ Quellen: http://de.wikipedia.org/wiki/Verkehrstod#Vergleich_europäischer_Staaten
 Bundesamt für Statistik, Schweiz
<http://www.unwetter.de/pages/extremwahr.php>

5 Datengrundlage für Eisfallmodellierung

5.1 Standorteigenschaften

Abbildung 6 zeigt das Windpark-Layout der sieben geplanten WEA. Es befinden sich drei bewohnte Gebäude in der Region des Windparks mit Abständen von 270 bis 300 m zu den nächsten WEA. Tabelle 5 zeigt die Koordinaten der sieben WEA und die Koordinate der Windmessung.

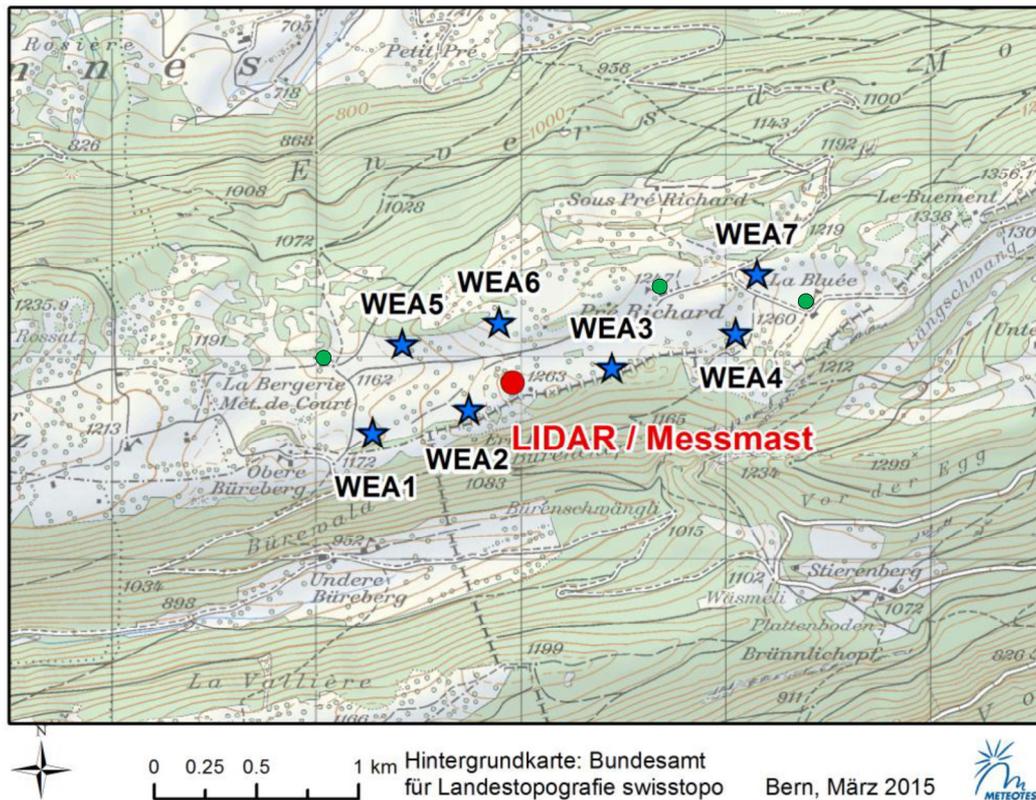


Abbildung 6: Windpark Montoz-Pré Richard: WEA (blaue Sterne), Windmessungen (roter Punkt), bewohnte Gebäude (grün Punkte).

Tabelle 5: Standort der Windmessung und der WEA im Windpark Montoz-Pré Richard (Landeskoordinaten CH1903 LV03).

WEA	X [m]	Y [m]	Höhe über Meer [m]
Mast / LIDAR-Messung	592'948	229'870	1'245
WEA T01	592'302	229'628	1'177
WEA T02	592'745	229'744	1'219
WEA T03	593'422	229'975	1'232
WEA T04	593'978	230'113	1'231
WEA T05	592'370	230'050	1'177
WEA T06	592'839	230'125	1'241
WEA T07	594'172	230'417	1'245

Abbildung 7 gibt einem Überblick über die Verkehrswege für Fussgänger und Fahrzeuge in der Region des Windparks.

Häufig begangene Wege sind orange eingezeichnet. Es wird angenommen, dass an einem Wintertag im **Durchschnitt 100 Personen** diese Wegabschnitte passieren. Bei den **selten begangenen Wegen** (grün) wird angenommen, dass an einem Wintertag im **Durchschnitt 10 Personen** diese Wege passieren.

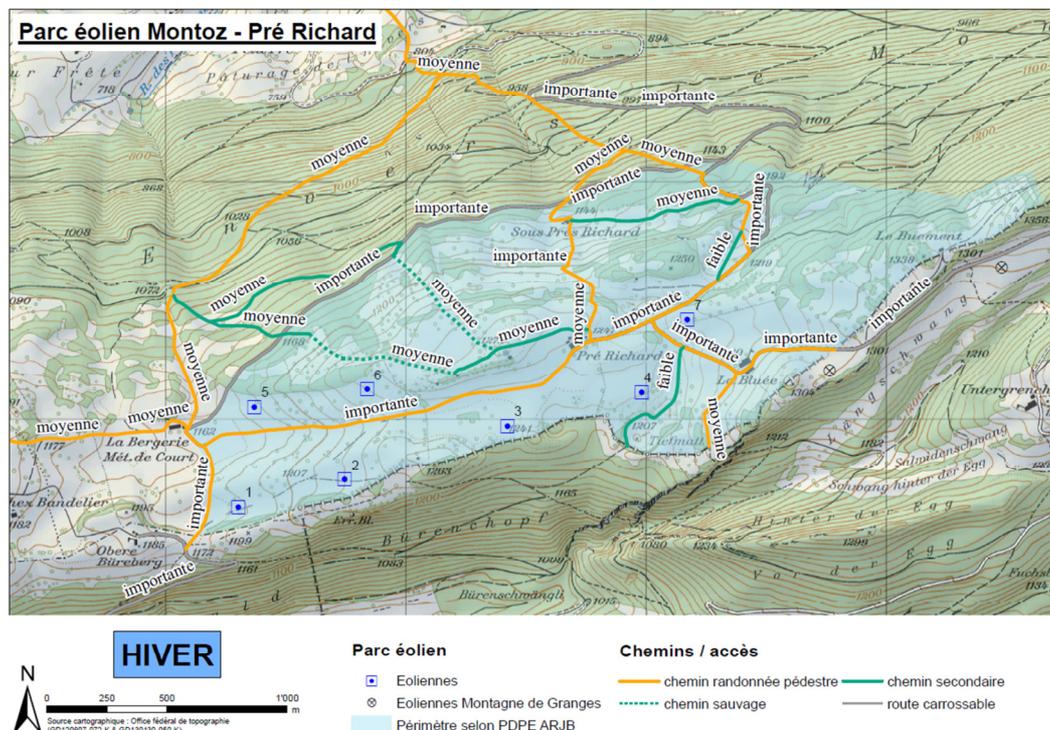


Abbildung 7: Verkehrswege im Windparkgebiet: häufig begangene (orange), selten begangene (grün) und fahrbare Strassen (grau) (Grafik vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt).

5.2 WEA-Parameter

Geplant sind WEA mit einem Rotordurchmesser von 126 m und einer Nabenhöhe von 117 m. Der Anlagenhersteller bietet für diesen Turbinentyp Eiserkennungssysteme und Rotorblattheizungen an [11].

5.3 Meteorologie und Vereisungsperioden

Die Mast- und LIDAR-Messung am Standort Montoz liefert Windgeschwindigkeits- und Windrichtungsdaten mit beheizten und unbeheizten Sensoren. Des Weiteren sind von der Mastmessung auch Daten für die Temperatur und die relative Feuchte verfügbar. Auf dieser Basis können die lokalen Vereisungsbedingungen in der Region bestimmt werden. Alle Wind- und Temperaturdaten liegen als 10-Minuten Mittelwerte vor. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die relevanten Messungen und erhobenen Messgrößen für das vorliegende Gutachten.

Tabelle 6: Meteorologische Datengrundlage.

Standort	Messhöhe [m]	Sensor	Heizung	Zeitperiode	Messgrößen
Mast-Messung	81.3	Thies First Class	nein	26.9.2013 – 4.5.2015	Wind Temperatur Feuchte
Mast-Messung	73.3	NRG IceFree3	ja	26.9.2013 – 4.5.2015	Wind
LIDAR-Messung	40 – 200		–	12.12.2014 – 3.6.2015	Wind

Die folgenden Kriterien wurden verwendet, um die Vereisungsperioden zu bestimmen:

1. Temperatur ist unter 2 °C.
2. Das Verhältnis zwischen der Windgeschwindigkeit des beheizten (NRG IceFree3 auf 73.3 m) und unbeheizten (Thies First Class auf 81.3 m) Sensors ist grösser als 1.5.
3. Die Windgeschwindigkeit des beheizten Sensors (NRG IceFree3) ist grösser als 2 m/s.

Die oben genannten Bedingungen waren während 12% der Zeit erfüllt. Die Zeitreihe der drei Parameter Temperatur, relative Feuchte und Windgeschwindigkeit ist in Abbildung 8 dargestellt.

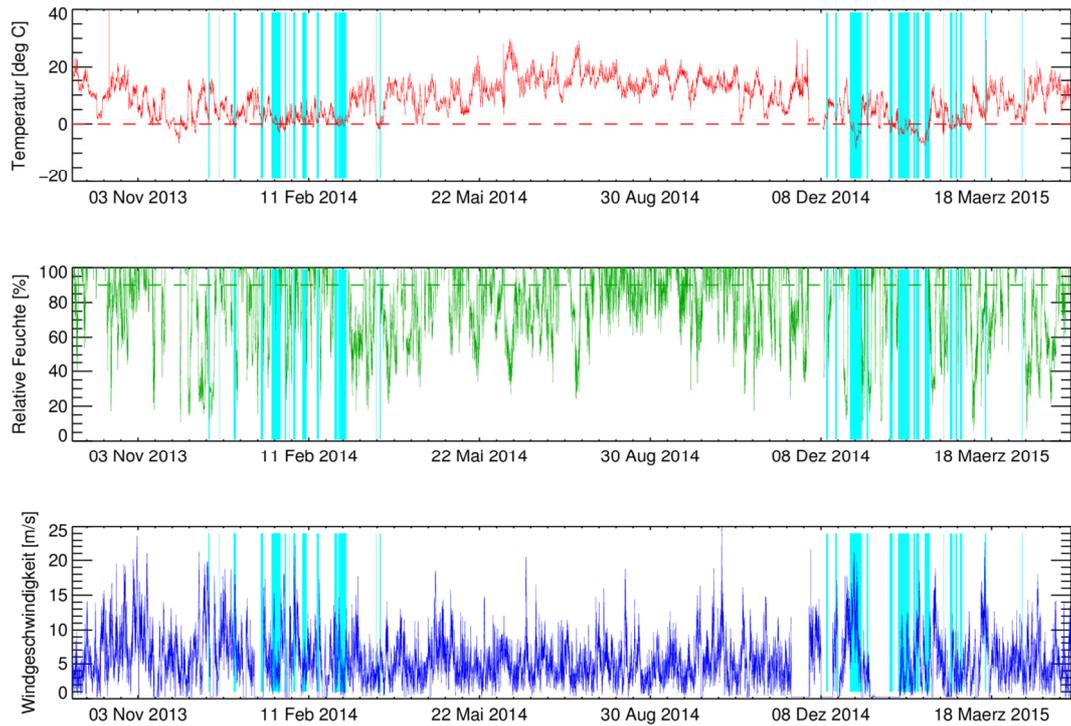


Abbildung 8: Zeitreihen von Temperatur, relativer Feuchte und Windgeschwindigkeit vom beheizten Sensor auf 73.3 m. Die Hintergrundflächen in hellblauer Farbe stellen die Perioden mit erfüllten Vereisungsbedingungen dar.

Das vertikale Windprofil am Standort wurde auf Basis der LIDAR-Messung bestimmt. Die Rauigkeit am Standort wurde mit Hilfe von Windgeschwindigkeiten auf verschiedenen Höhen zwischen 40 m und 200 m anhand eines logarithmischen Windprofils berechnet (Abbildung 9):

$$v(z) = v_r \frac{\ln \frac{z}{z_0}}{\ln \frac{z_r}{z_0}}$$

Dies führt zu einer Rauigkeitslänge von 1.3 m am Standort Montoz-Pré Richard.

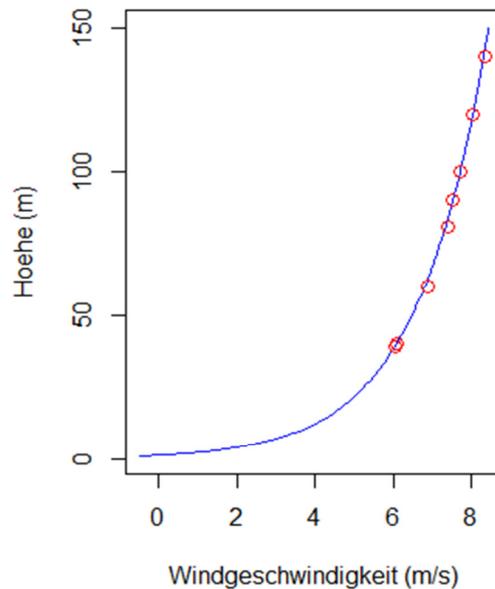


Abbildung 9: Vertikales Windprofil (blau), welches für die Eisfallsimulationen verwendet wurde, basierend auf der LIDAR-Messung (rote Punkte).

Abbildung 10 zeigt die Windrosen für die gesamte Messperiode von September 2013 bis Mai 2015 (links) und für die Perioden mit vereisenden Bedingungen (rechts). Die mittlere Windgeschwindigkeit liegt für die gesamte Messperiode bei 6.9 m/s auf 117 m über Grund. Die Hauptwindrichtung ist Südwest, woher auch die stärksten Winde kommen.

Unter erfüllten Vereisungsbedingungen wurden auch Winde von Nordwesten und Norden aufgezeichnet. Die Starkwinde treten jedoch hauptsächlich aus südwestlicher Richtung auf. Für die Eisfallmodellierung wird für alle WEA-Standorte die Windstatistik der Mastmessung verwendet.

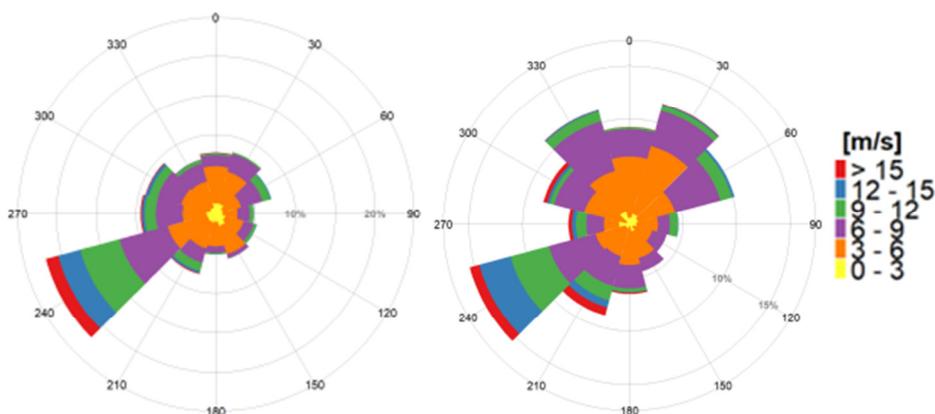


Abbildung 10: Links: Windrose am Standort Montoz-Pré Richard für die gesamte Messperiode. Rechts: Windrose für Perioden mit vereisenden Bedingungen. Die starken Winde >15m/s (rot) treten vor allem aus west-südwestlicher Richtung auf.

5.4 Geschätzte Anzahl Eisstücke am Standort Montoz-Pré Richard

In Abschnitt 3.5 wird die Anzahl und die Grössenverteilung der geschätzten Eisstücke für eine Referenzturbinen gezeigt. Diese Werte müssen den lokalen Vereisungsbedingungen und den WEA-Dimensionen angepasst werden.

Die Zeitdauer mit meteorologischen Bedingungen, in welcher mögliche Vereisung entsteht, liegt auf dem Gütsch bei 12% und in St. Brais bei 14%. Die Bedingungen am Standort Montoz sind mit Bedingungen in St. Brais vergleichbar, weshalb hier kein korrigierender Faktor verwendet wird (80% der Eisstücke stammen von der Feldstudie in St. Brais).

Der geplante Rotordurchmesser bei Montoz-Pré Richard ist jedoch mit 126 m um 50% grösser als jener der Referenzturbinen. Die Anzahl der Eisstücke wird entsprechend der grösseren Rotorblattlänge linear hochgerechnet. Die Annahme ist dabei 50% längere Rotorblätter, 50% mehr Eisstücke.

Am Standort Montoz-Pré Richard wird mit 600 Eisstücken pro Jahr schwerer 50 g und **415 Eisstücken** pro Jahr und WEA **schwerer 100 g** gerechnet.

6 Resultate der Eisfallmodellierung

Für die Eisfallberechnungen wurde eine Massenverteilung der Eisstücke gemäss Tabelle 2 (Abschnitt 3.5) gewählt. Für die Berechnungen wurden Eisstücke ab 100 g berücksichtigt, da die kleineren Eisstücke nicht als fatal eingestuft werden [9].

Zusätzlich wurde für WEA T07 eine Simulation im Betriebsmodus „Parkposition“ durchgeführt. Die Rotorblätter werden dabei parallel zum Strassenabschnitt nördlich der Anlage ausgerichtet.

Abbildung 11 zeigt die Trefferhäufigkeiten im Gebiet des Windparks für den Eisfall. Die Verkehrswege sind in roter und orange Farbe markiert.

Die Trefferhäufigkeiten sind mit 10^{-2} [Treffer/m² Jahr] im Bereich des Rotorradius am grössten. Die grössten Distanzen betragen für den Eisfall 270 m, wobei diese Extreme mit 10^{-7} [Treffer/m² Jahr] äusserst seltene Ereignisse sind und nur bei Sturm auftreten, wenn sich in der Regel keine Personen mehr im Freien aufhalten.

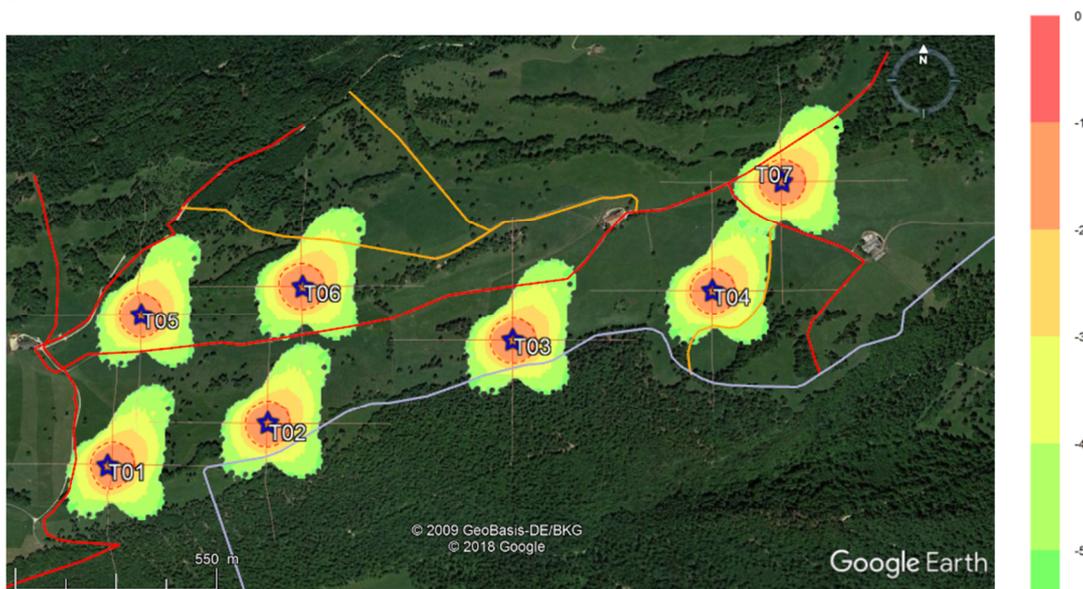


Abbildung 11: Logarithmisch dargestellte **Trefferhäufigkeiten von Eisfall** [Treffer/(m² Jahr)] im Parkgebiet von Montoz-Pré Richard. Die Winterwanderwege sind in rot (häufig begangen), orange (selte begangen) eingezeichnet. Die graue Linie bezeichnet die Kantongrenze.

Die Resultate für jede einzelne Anlage sind in Anhang A ersichtlich.

7 Risikoanalyse für einzelne Wegabschnitte im Windparkgebiet Montoz-Pré Richard

Für die Risikoanalyse werden folgende Annahmen getroffen:

- Fussgänger bewegen sich mit einer **Geschwindigkeit von 4 km/h** von A nach B.
- Der kritische Teil des Wanderers ist der **Kopf**, weshalb wir einen Kreis mit **0.5 m Durchmesser** als kritische Fläche betrachten.

Es werden drei Personengruppen unterschieden:

- Gruppe 1 wandert **einmal pro Jahr** durch den Windpark.
- Gruppe 2 hält sich **einmal pro Woche** im Windparkgebiet auf.
- Gruppe 3 wohnt oder arbeitet in der Umgebung des Windparks und hält sich **einmal pro Tag** dort auf.

Im Folgenden werden fünf **häufig begangene Wegabschnitte (A1-A5)** und zwei **selten begangene Wegabschnitte (B1 und B2)** auf ihr Risiko hin analysiert. Dabei wird das Risiko für die drei Personengruppen einzeln untersucht und gemäss Abschnitt 4.2, Tabelle 3 bewertet.

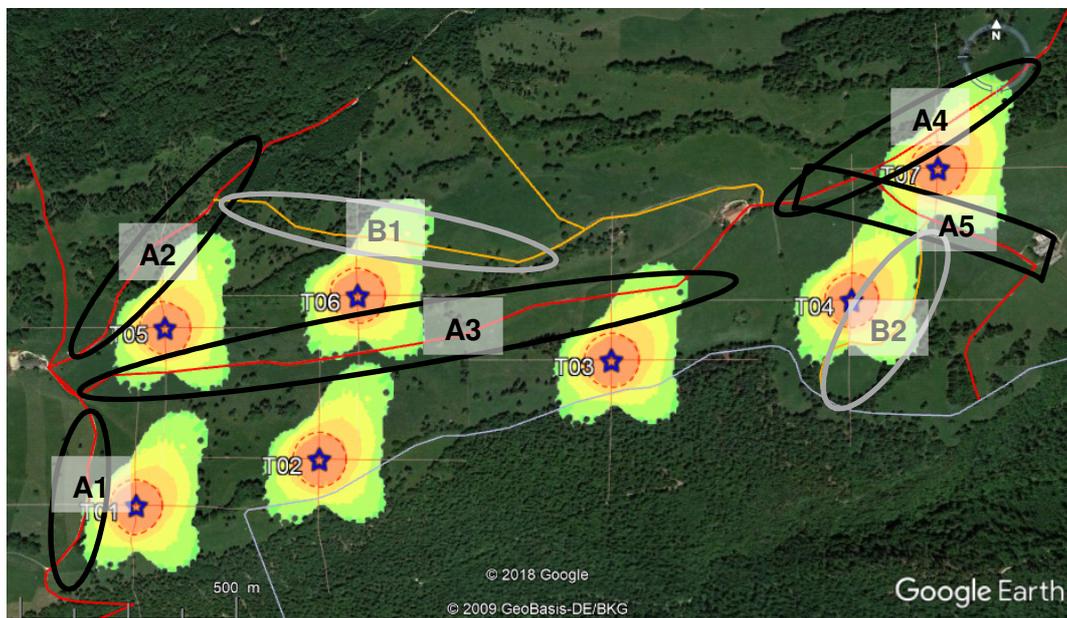


Abbildung 12: Grafik analog zu Abbildung 11. Gefährdete Wegabschnitte sind schwarz (A: häufig begangen) und grau (B: selten begangen) eingekreist und gemäss den folgenden Abschnitten nummeriert.

7.1 A) Häufig begangene Wege

7.1.1 (A1) Zugangsweg zur Bergerie de Court von Süden

Der Weg verläuft westlich von T01. Der kleinste Abstand zu T01 beträgt 115 m.

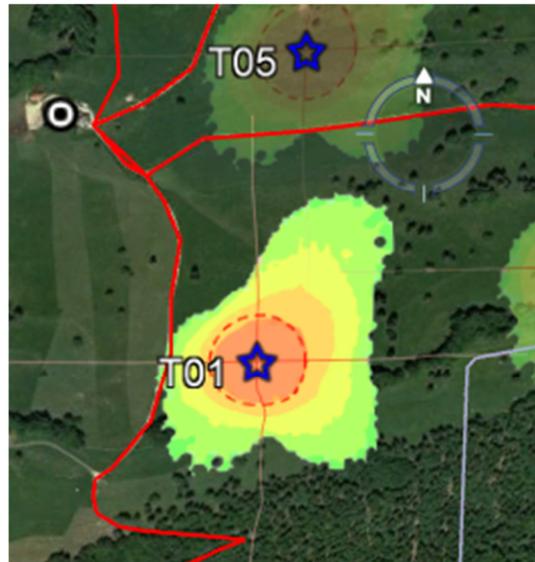


Abbildung 13: Wegabschnitt westlich von T01. Die Bergerie de Court (schwarzweisser Punkt) befindet sich nord-westlich von T01. Die Grafik stellt die Trefferhäufigkeit des Eisfalls dar.

Tabelle 7: Risikobewertung für einen Fussgänger auf dem Wegabschnitt westlich von T01.

Personengruppe	Eisfall [Treffer/Jahr]
1 Mal pro Jahr	$1.8 \cdot 10^{-10}$
1 Mal pro Woche	$9.4 \cdot 10^{-9}$
1 Mal pro Tag	$6.6 \cdot 10^{-8}$

7.1.2 (A2) Zugangsweg zur Bergerie de Court von Nord-Osten

Der Weg verläuft nördlich-westlich von T05. Der kleinste Abstand zu T05 beträgt 30 m.

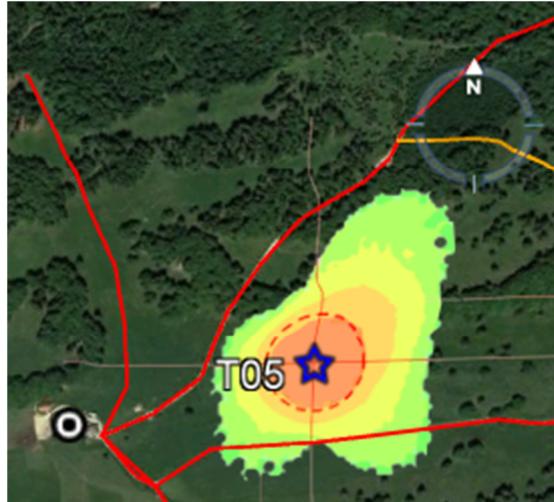


Abbildung 14: Wegabschnitt nord-westlich von T05. Die Bergerie de Court (schwarz-weißer Punkt) befindet westlich von T05. Die Grafik stellt die Trefferhäufigkeit des Eisfalls dar.

Tabelle 8: Risikobewertung für einen Fussgänger auf dem Wegabschnitt nördlich-östlich von T05.

Personengruppe	Eisfall [Treffer/Jahr]
1 Mal pro Jahr	0
1 Mal pro Woche	0
1 Mal täglich	0

7.1.3 (A3) Verbindungsweg von der Bergerie de Court nach Pré Richard

Der Weg verläuft mitten durch den Windpark, nördlich von T01, T02, T03 und T04 sowie südlich von T05, T06. Der kleinste Abstand zu einem Turbinenstandort befindet sich bei T05 und beträgt 108 m. Zur Risikobewertung werden die von allen Turbinen ausgehenden Risiken entlang des Wegabschnittes addiert.

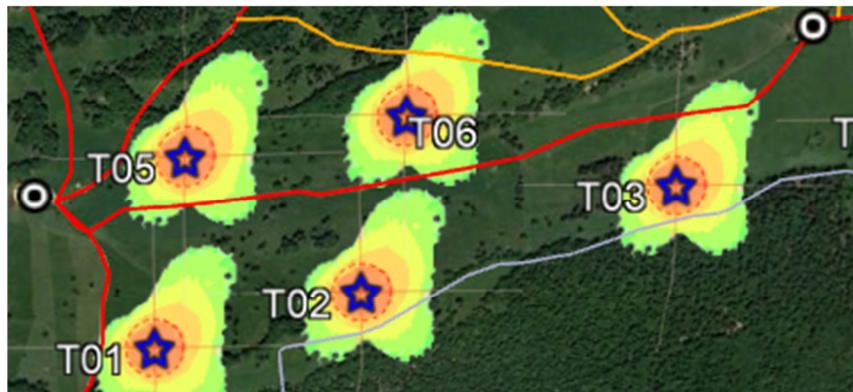


Abbildung 15: Wegabschnitt quer durch den Windpark von der Bergerie de Court nach Pré Richard. Die beiden Höfe sind mit schwarz-weißen Punkten markiert. Die Grafik stellt die Trefferhäufigkeit des Eisfalls dar. Die graue Linie bezeichnet die Kantonsgrenze.

Tabelle 9: Risikobewertung für einen Fussgänger auf dem Wegabschnitt quer durch den Windpark von der Bergerie der Court nach Pré Richard.

Personengruppe	Eisfall [Treffer/Jahr]
1 Mal pro Jahr	$7.53 \cdot 10^{-9}$
1 Mal pro Woche	$3.91 \cdot 10^{-7}$
1 Mal täglich	$2.75 \cdot 10^{-6}$

7.1.4 (A4) Wegabschnitt nördlich von T07 zum Hof Pré Richard

Der Weg verläuft nördlich von T04 und T07. Der kleinste Abstand befindet sich bei T07 und beträgt 64 m. Zur Risikobewertung werden die von allen Turbinen ausgehenden Risiken entlang des Wegabschnittes addiert.

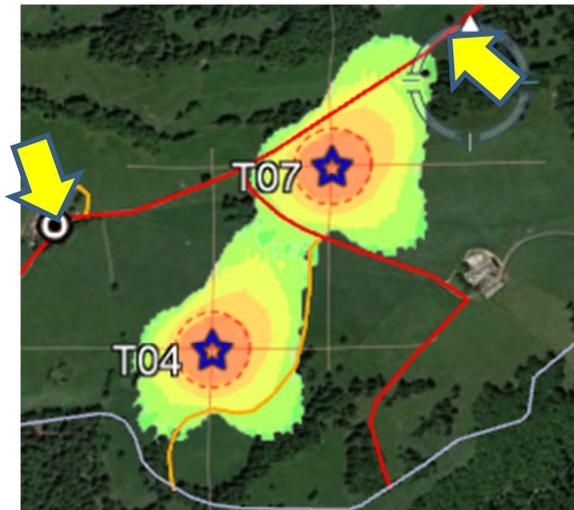


Abbildung 16: Wegabschnitt nördlich von T04 und T07. Die gelben Pfeile markieren Start- und Endpunkt. Die Pré Richard befindet sich links beim schwarz-weißen Punkt. Die Grafik stellt die Trefferhäufigkeit des Eisfalls dar. Die graue Linie bezeichnet die Kantonsgrenze.

Tabelle 10: Risikobewertung für einen Fussgänger auf dem Wegschnitt nördlich von T04 und T07.

Personengruppe	Eisfall [Treffer/Jahr]	Eisfall mit T07 in Parkposition [Treffer/Jahr]
1 Mal pro Jahr	$8.4 \cdot 10^{-8}$	$2.2 \cdot 10^{-8}$
1 Mal pro Woche	$4.3 \cdot 10^{-6}$	$1.2 \cdot 10^{-6}$
1 Mal täglich	$3.0 \cdot 10^{-5}$	$8.1 \cdot 10^{-6}$

7.1.5 (A5) Weg von Pré Richard nach La Bluée

Der Weg verläuft zwischen T04 und T07. Der kleinste Abstand zu T07 beträgt 110 m. Die Risiken von den einzelnen Anlagen entlang des Weges werden addiert.

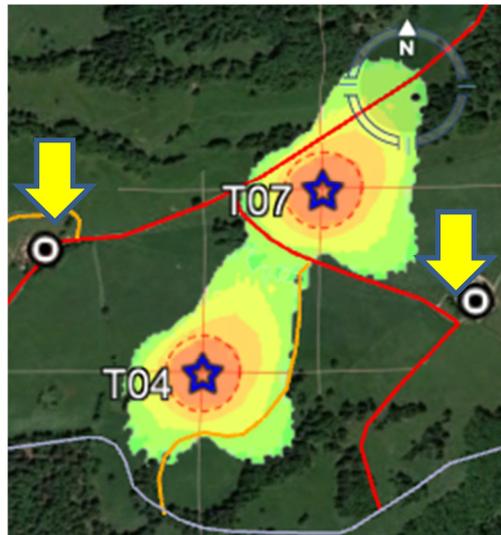


Abbildung 17: Wegabschnitt von Pré Richard nach La Bluée. Die gelben Pfeile markieren die beiden Höfe. Die Grafik stellt die Trefferhäufigkeit des Eisfalls dar. Die graue Linie bezeichnet die Kantonsgrenze.

Tabelle 11: Risikobewertung für einen Fussgänger auf dem Wegabschnitt von Pré Richard nach La Bluée

Personengruppe	Eisfall [Treffer/Jahr]	Eisfall mit T07 in Parkposition [Treffer/Jahr]
1 Mal pro Jahr	$1.78 \cdot 10^{-9}$	$4.6 \cdot 10^{-9}$
1 Mal pro Woche	$9.26 \cdot 10^{-8}$	$2.3 \cdot 10^{-7}$
1 Mal täglich	$6.50 \cdot 10^{-7}$	$1.7 \cdot 10^{-6}$

7.2 (B) Selten begangene Weg

7.2.1 (B1) Weg von Pré Richard nördlich von T06 vorbei

Der Wegabschnitt verläuft von der Nordseite von Pré Richard in kleinstem Abstand von 130 m nördlich an T03 und T06 vorbei. Es handelt sich hier um einen mittel-häufig frequentierten Weg handelt.

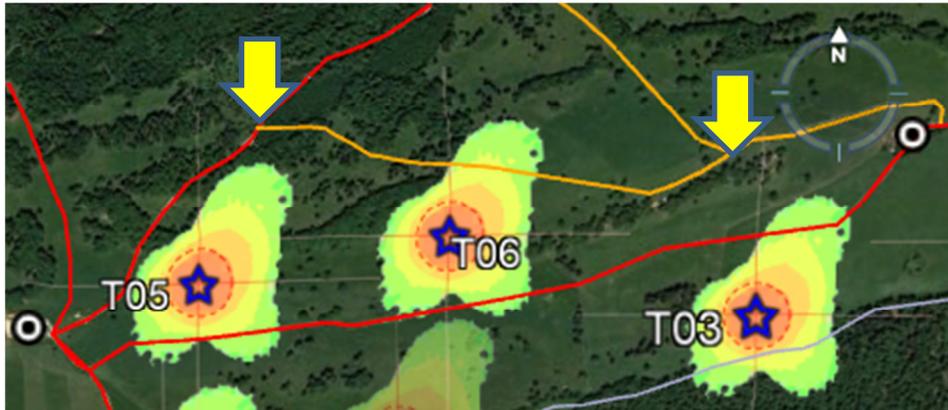


Abbildung 18: Wegabschnitt von Pré Richard nach La Bluée. Die gelben Pfeile markieren Start- und Endpunkt. Der schwarz-weiße Punkt im Osten markiert den Hof Pré Richard. Die Grafik stellt die Trefferhäufigkeit des Eisfalls dar. Die graue Linie bezeichnet die Kantonsgrenze.

Tabelle 12: Risikobewertung für einen Fussgänger auf dem Wegabschnitt nördlich-westlich von Pré Richard, T03 und T06.

Personengruppe	Eisfall [Treffer/Jahr]
1 Mal pro Jahr	$5.88 \cdot 10^{-9}$
1 Mal pro Woche	$3.06 \cdot 10^{-7}$
1 Mal täglich	$2.15 \cdot 10^{-6}$

7.2.2 (B2) Weg von der Strasse bei La Bluée südöstlich von T04 und T07

Dieser Weg ist selten frequentiert. Der kleinste Abstand beträgt 100 m zu T04. Es handelt sich hier um einen selten frequentierten Weg handelt.

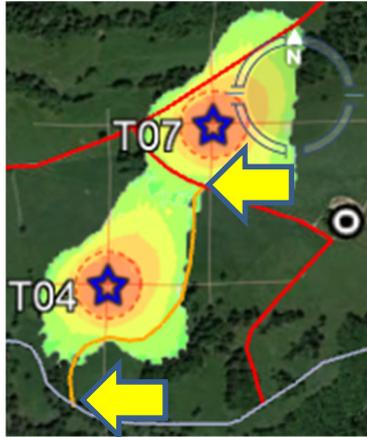


Abbildung 19: Wegabschnitt südöstlich von T04 und T07. Die gelben Pfeile markieren Start- und Endpunkt. Die Grafik stellt die Trefferhäufigkeit des Eisfalls dar. Die graue Linie bezeichnet die Kantonsgrenze.

Tabelle 13: Risikobewertung für einen Fussgänger auf dem Wegabschnitt südöstlich von T04 und T07.

Personengruppe	Eisfall [Treffer/Jahr]	Eisfall mit T07 in Parkposition [Treffer/Jahr]
1 Mal pro Jahr	$5.63 \cdot 10^{-9}$	$4.57 \cdot 10^{-9}$
1 Mal pro Woche	$2.93 \cdot 10^{-7}$	$2.37 \cdot 10^{-7}$
1 Mal täglich	$2.06 \cdot 10^{-6}$	$1.65 \cdot 10^{-6}$

8 Mögliche Massnahmen zur Risikominderung

Mit **Informationsmassnahmen** kann verhindert werden, dass sich Personen während potentiellen Eisschlagperioden in eine gefährliche Zone begeben. Folgende Massnahmen sind dafür geeignet:

- Informationstafeln an allen **Eingangspunkten** zum Windpark-Perimeter, welche über das empfohlene Verhalten bei Vereisung informieren.
- **Beschilderung und Warnlichter** bei allen Zugangswegen. Die Warnlichter werden nur dann aktiv eingeschaltet, wenn es Vereisung an den Turbinen gibt. Jede Person, die den Windpark-Perimeter über die offiziellen Zugangswege betritt, soll dadurch deutlich vor Eisschlag gewarnt werden.
- Als Ergänzung sind Informationstafeln **innerhalb des Windparkgebiets** zu den Beschilderungen sinnvoll. Warnlichter sind nicht mehr nötig, da bereits eines beim Eintreten in den Park gesichtet wurde.
- Grosse, **weit sichtbare Informationstafeln beim Turbinenfuss**, damit Personen die risikoreichsten Bereiche (unterhalb Rotorradius) nicht betreten.
- Schulung von Personengruppen, die sich täglich im Park aufhalten.
- Basierend auf lokalen meteorologischen Messungen und Eiserkennungssystem kann ein **Warnsignal** getriggert werden, welches über **drei Kanäle verbreitet** wird: SMS-Warnungen, Aktivierung der Warnlichter (siehe oben) und Internetplattformen bzw. Internetapplikationen für mobile Geräte.
- Sperrung von selten frequentierten Wald- und Forstwegen, sofern dies möglich ist.

Um das Risiko von Eiswurf auf Eisfall zu verringern und die Dauer der Eisschlagperioden zu verkürzen, können die folgenden **betrieblichen Massnahmen** ergriffen werden:

- Installation von Eisdetektoren: Diese erlauben ein Abschalten der WEA bei Eisansatz und dadurch eine Reduktion des Risikos auf Eisfall.
- Enteisungssystem: Eine Rotorblattheizung erlaubt ein kontrolliertes Abschmelzen und Abfallen lassen des Eises. Dadurch reduziert sich die Dauer einer Vereisungsperiode.
- Drehung einer WEA in eine definierte "Parkposition": Dadurch kann das Eisfallrisiko für einen Wegabschnitt, der parallel zur Rotorfläche verläuft reduziert werden.

9 Schlussfolgerung

Mit dem Eisschlagmodell SWIM wurden Eisfallmodellierungen für alle WEA-Standorte im Windpark Montoz-Pré Richard durchgeführt. Das Ergebnis der Modellierungen sind Trefferhäufigkeiten pro Einheitsfläche und Jahr in der Umgebung jeder Turbine

Basierend auf den Resultaten der Eisfallmodellierung wurde eine Risikoanalyse durchgeführt. Es wurde zwischen drei Personengruppen differenziert:

- Gruppe 1 wandert **einmal pro Jahr** durch den Windpark.
- Gruppe 2 hält sich **einmal pro Woche** im Windparkgebiet auf.
- Gruppe 3 wohnt oder arbeitet in der Umgebung des Windparks und hält sich **täglich** dort auf.

Das Risiko für eine **individuelle Person** wurde berechnet, indem die Aufenthaltsdauer in einer Gefährdungszone mit der Trefferhäufigkeit in dieser Zone (Resultat aus dem Eisfallmodell) multipliziert wurde. Um das Gesamtrisiko für eine Person zu erhalten, die sich auf einem Wegabschnitt innerhalb des Parkgebietes aufhält, wurden die einzelnen Risiken entlang des Weges aufsummiert. In Tabelle 14 und Tabelle 15 ist eine Zusammenfassung der berechneten Risiken für die einzelnen Wegabschnitte ersichtlich.

Tabelle 14: **Risikobewertung** (ohne risikovermindernde Massnahmen) für einen Fussgänger auf einem der gefährdeten Wegabschnitte, gemäss Abschnitt 4.2, Tabelle 3. Die schraffierten Felder sind nicht relevant, da es sich um selten begangene Wege handelt.

Personengruppe	1 Mal pro Jahr	1 Mal pro Woche	1 Mal pro Tag
Wegabschnitt	Eisfall	Eisfall	Eisfall
A1			
A2			
A3			
A4			
A5			
B1			
B2			

Tabelle 15: **Risikobewertung mit WEA T07 in definierter Parkposition** für einen Fussgänger auf einem der gefährdeten Wegabschnitte, gemäss Abschnitt 4.2, Tabelle 3. Die schraffierten Felder sind nicht relevant, da es sich um selten begangene Wege handelt.

Personengruppe	1 Mal pro Jahr	1 Mal pro Woche	1 Mal pro Tag
Wegabschnitt	Eisfall	Eisfall	Eisfall
A1			
A2			
A3			
A4			
A5			
B1			
B2			

Falls Wegabschnitte mit Informationsmassnahmen nicht in einen akzeptablen Risikobereich gebracht werden können, müssen betriebliche Massnahmen (Kapitel 8) vorgesehen werden.

A Grafiken vom Eisfallrisiko für alle WEA-Standorte

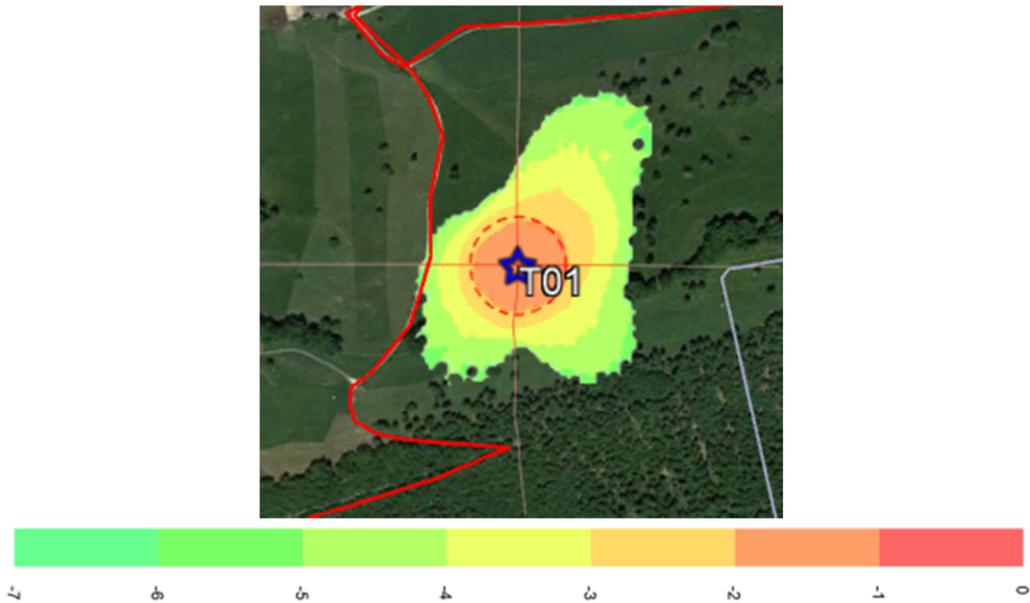


Abbildung 20: **WEA T01**: Trefferhäufigkeiten [Treffer/m² Jahr] für Eisfall für Eisstücke grösser 100 g. Der rot gestrichelte Kreis bezeichnet den Durchmesser des Rotors. (Bilddimension 680m x 680 m). Die graue Linie bezeichnet die Kantonsgrenze.

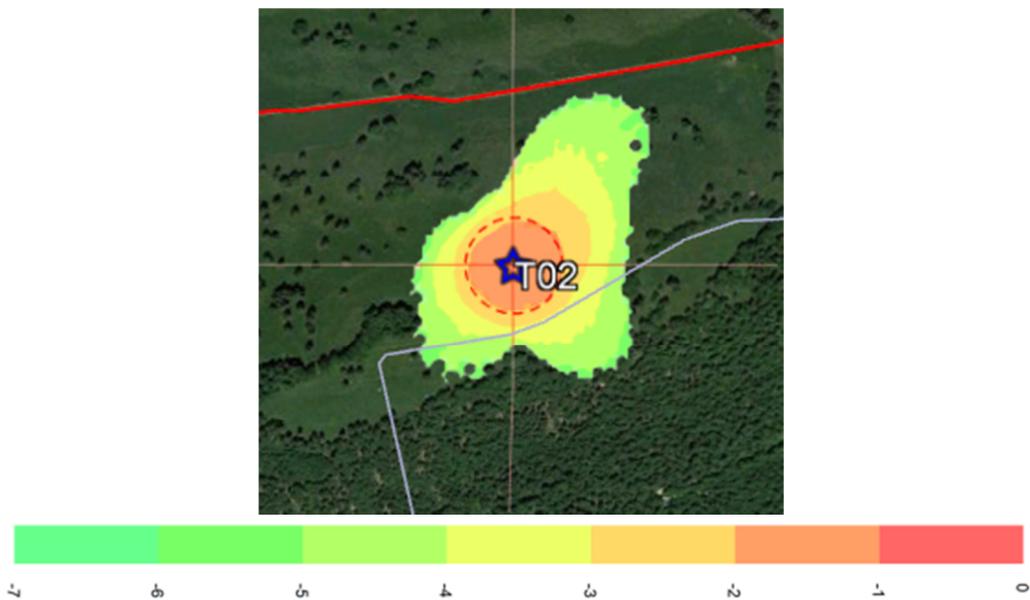


Abbildung 21: **WEA T02**: Trefferhäufigkeiten [Treffer/m² Jahr] für Eisfall für Eisstücke grösser 100 g. Der rot gestrichelte Kreis bezeichnet den Durchmesser des Rotors. (Bilddimension 680m x 680 m). Die graue Linie bezeichnet die Kantonsgrenze.

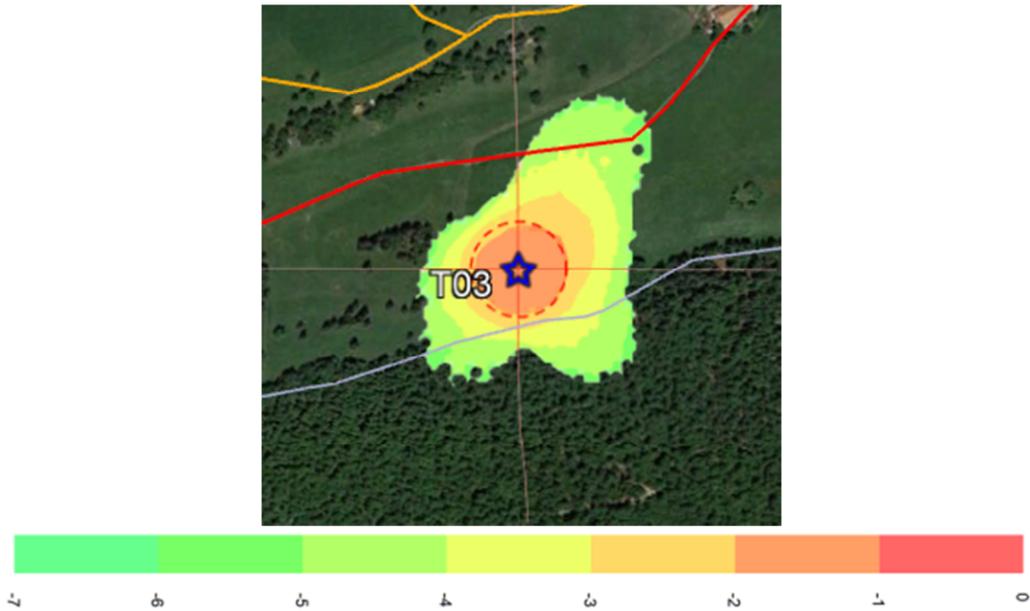


Abbildung 22: **WEA T03**: Trefferhäufigkeiten [Treffer/m² Jahr] für Eisfall für Eisstücke grösser 100 g. Der rot gestrichelte Kreis bezeichnet den Durchmesser des Rotors. (Bilddimension 680m x 680 m). Die graue Linie bezeichnet die Kantonsgrenze.

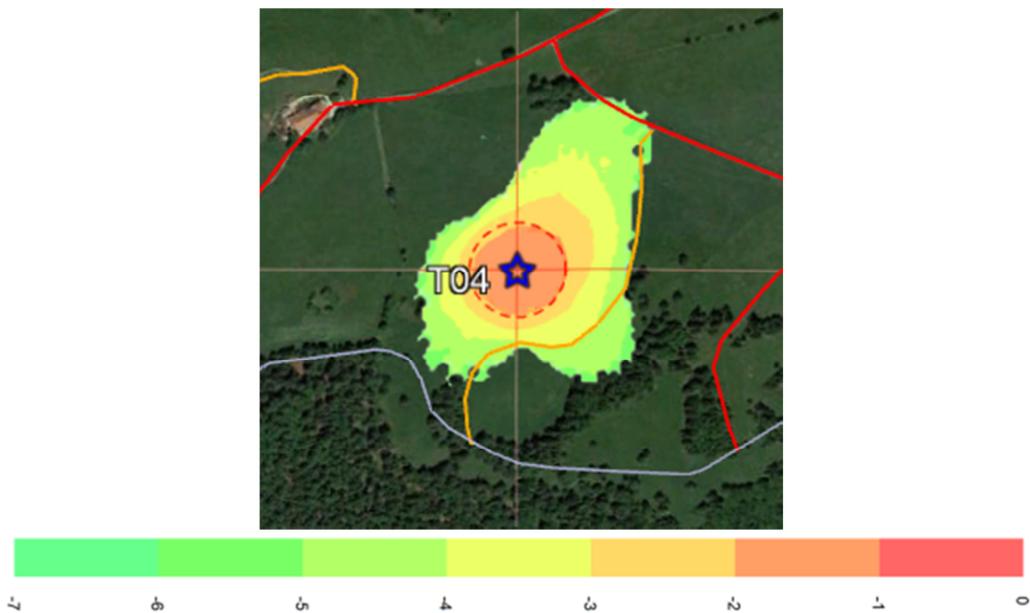


Abbildung 23: **WEA T04**: Trefferhäufigkeiten [Treffer/m² Jahr] für Eisfall für Eisstücke grösser 100 g. Der rot gestrichelte Kreis bezeichnet den Durchmesser des Rotors. (Bilddimension 680m x 680 m). Die graue Linie bezeichnet die Kantonsgrenze.

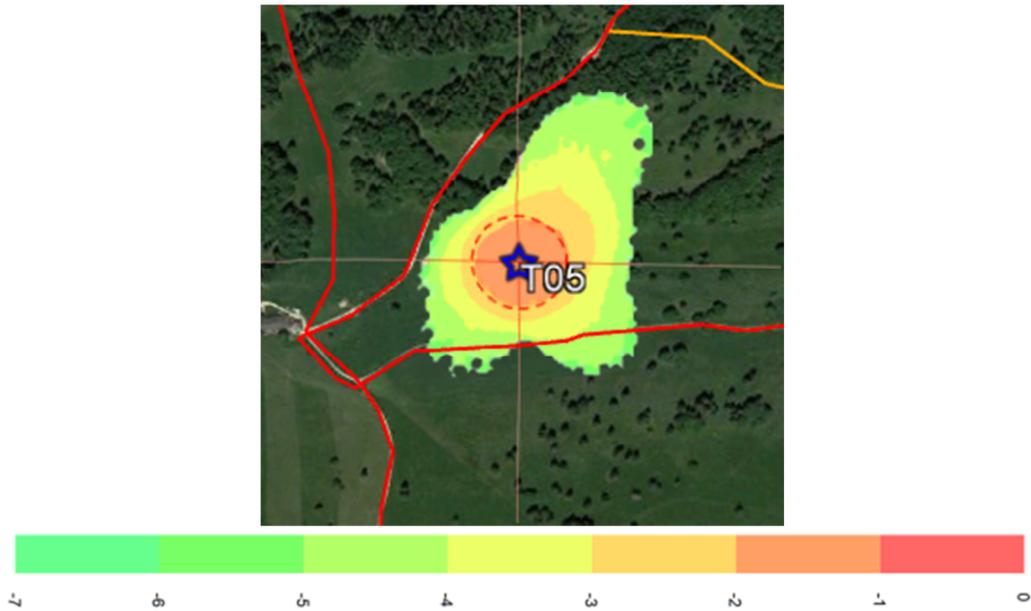


Abbildung 24: **WEA T05:** Trefferhäufigkeiten [Treffer/m² Jahr] für Eisfall für Eisstücke grösser 100 g. Der rot gestrichelte Kreis bezeichnet den Durchmesser des Rotors. (Bilddimension 680m x 680 m).

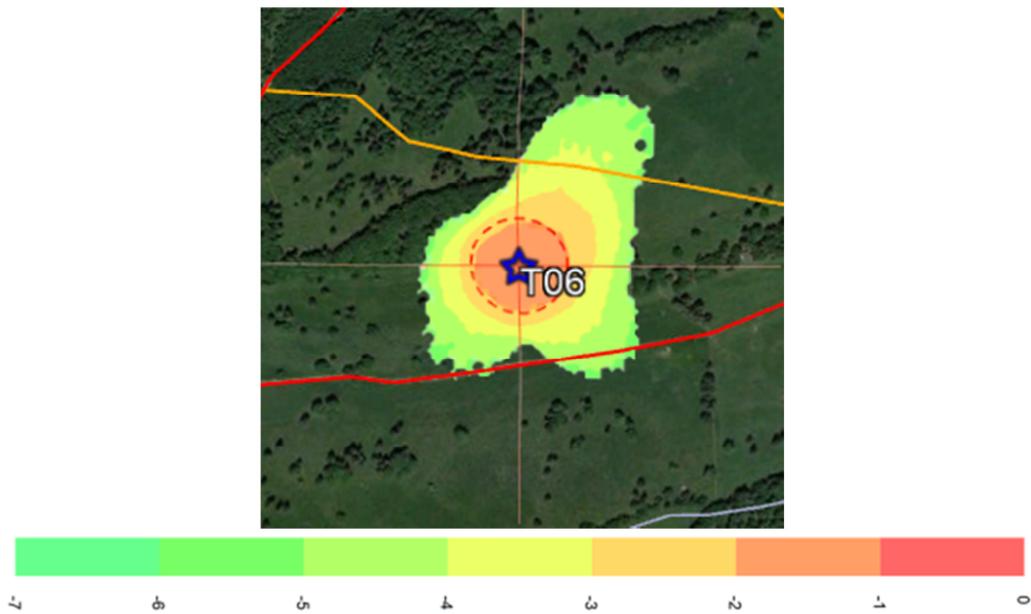


Abbildung 25: **WEA T06:** Trefferhäufigkeiten [Treffer/m² Jahr] für Eisfall für Eisstücke grösser 100 g. Der rot gestrichelte Kreis bezeichnet den Durchmesser des Rotors. (Bilddimension 680m x 680 m).

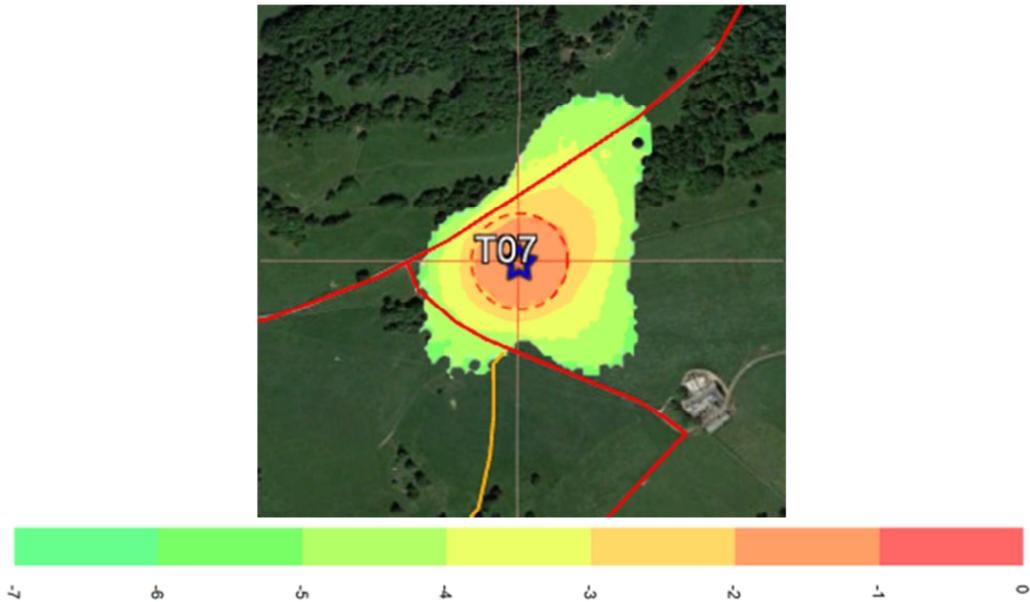


Abbildung 26: **WEA T07**: Trefferhäufigkeiten [Treffer/m² Jahr] für Eisfall für Eisstücke grösser 100 g. Der rot gestrichelte Kreis bezeichnet den Durchmesser des Rotors. (Bilddimension 680m x 680 m).

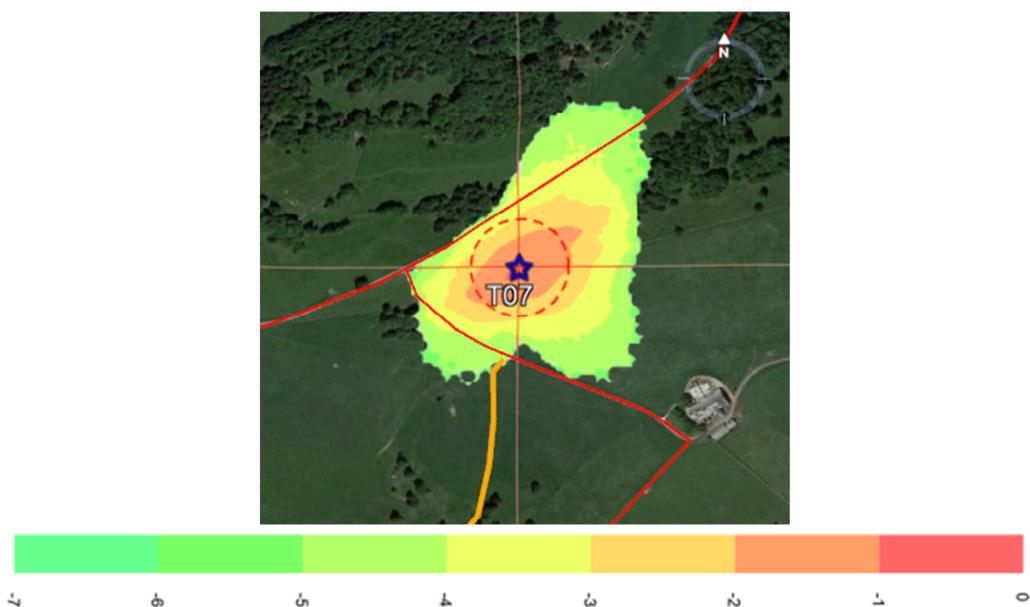


Abbildung 27: **WEA T07 (Parkposition)**: Trefferhäufigkeiten [Treffer/m² Jahr] für Eisfall für Eisstücke grösser 100 g. Der rot gestrichelte Kreis bezeichnet den Durchmesser des Rotors. (Bilddimension 680m x 680 m).

B Bibliographie

- [1] R. Cattin, M. Russi und G. Russi, «4 years of monitoring a wind turbine under icing conditions,» in *IWAIS XIII*, Andermatt, Schweiz, 2009.
- [2] S. Biswas, P. Taylor und J. Salmon, «A model of ice throw trajectories from wind turbines,» *Wind Energy*, p. 889–901, 2012.
- [3] Vestas Wind Systems A/S, «Spezifizierung von „Yaw into Fixed Position due to Ice“,» 2016.
- [4] R. Cattin, S. Koller und U. Heikkilä, «VEREISUNG ST. BRAIS UND MONT CROSIN,» Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2016.
- [5] S. C. Müller und S. Bourgeois, «Ice piece database thrown by wind turbines in Switzerland,» in *Windeurope 2017*, Amsterdam, 2017.
- [6] J. Lundén, K. Hultin, E. Aretorn und J. Sundström, «ICETHROWER – mapping and tool for risk analysis,» 2017.
- [7] R. Cattin, S. Kunz, A. Heimo, G. Russi, M. Russi und M. Tiefgraber, «WIND TURBINE ICE THROW STUDIES IN THE SWISS ALPS,» in *EWEC*, 2007.
- [8] R. Cattin, S. Kunz, A. Heimo, M. Russi und G. Russi, «Two Years of Monitoring of a Wind Turbine under Icing Conditions,» in *DEWEK*, 2008.
- [9] R. E. Bredesen und H. A. Refsum, «Methods for evaluating risk caused by ice throw and ice fall from wind turbines and other tall structures,» 2016.
- [10] M. Agatz, *Windenergie Handbuch*, 2015.
- [11] Vestas, «Allgemeine Beschreibung Eissturz- und Eisabwurfisiko - sowie Risikominderung - V105/V112/V117/V126/V136/V150,» 2017.
- [12] Meteotest, «Windenergieprojekt Montoz - Pré Richard: Eiswurfgutachten,» 2016.