

Eisfallgutachten

Windpark Japons-Repowering

Bewertung des Eisfallrisikos im Umkreis
der geplanten Windkraftanlagen



Auftraggeber: evn naturkraft Erzeugungsgesellschaft m.b.H.
EVN Platz
2344 Maria Enzersdorf
Österreich

Kontakt: David Kaderabek

Auftragnehmer: Energiewerkstatt
Technisches Büro und Verein zur Förderung erneuerbarer Energie
Heiligenstatt 24
5211 Friedburg
Österreich
Tel.: +43 7746 28212
office@energiewerkstatt.org

Bearbeitung: Dr. Alexander Stökl

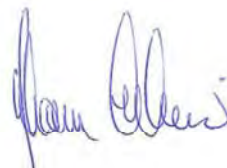
Prüfung: Mag. Johann Winkelmeier

Revision: V0

Friedburg, am 18. März 2020



Dr. Alexander Stökl



Mag. Johann Winkelmeier

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung	4
1.1	Abgrenzung	4
2.	Allgemeines zum Eisfallrisiko von Windkraftanlagen	6
2.1	Eisbildung an Windkraftanlagen	6
2.2	Theorie zum Eisfallrisiko	7
2.3	Modellierung des Eisabfalles	11
2.4	Anzahl der Eisstücke	13
3.	Datengrundlage	14
3.1	Kenndaten des Projekts	14
3.2	Windmessdaten	16
3.3	Vereisungsdaten	18
4.	Projektspezifische Risikoanalyse und Bewertung	19
4.1	Modellierung des Gefahrenbereichs	19
4.2	Bewertung des Risikos für Benutzer der Wirtschaftswege	20
4.3	Bewertung des individuellen Risikos für das Betriebspersonal	23
4.4	Empfohlene Maßnahmen und abschließende Risikobewertung	23
5.	Literaturverweise	24
6.	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	25

1. Zusammenfassung

Die Firma evn naturkraft Erzeugungsgesellschaft m.b.H. plant am Standort Japons ein Repowering-Projekt, in dem sieben bestehende Windkraftanlagen (WKA) des Typs DeWind D8 demontiert und durch drei neu zu errichtende Anlagen des Typs Vestas V150 ersetzt werden sollen. Dieses Vorhaben wurde zu einem früheren Planungstand mit vier Anlagen des Typs Vestas V126 3.45 MW bereits behördlich bewilligt und soll nun auf drei Anlagen des Typs Vestas V150 4.2 MW mit einer Nabenhöhe von 166 m zuzüglich einer Fundamentüberhöhung von 3,6 m abgeändert werden. Im potentiellen Gefahrenbereich der geplanten WKA befinden sich landwirtschaftliche Flächen sowie Feld- und Wirtschaftswege, die für die Erschließung dieser Flächen und als Zufahrt zu den WKA genutzt werden.

Inhalt des vorliegenden Gutachtens ist die Ermittlung und Bewertung des Risikos für Leib und Leben, welches von den geplanten Anlagen des beantragten Vorhabens infolge von Eisfall ausgeht. Für die Berechnung der Auftreffwahrscheinlichkeiten von Eisstücken im Umfeld der WKA wurde ein von der Energiewerkstatt entwickeltes Berechnungsmodell verwendet. Als Eingangsdaten für die Berechnung dienten die windrichtungsabhängige Häufigkeitsverteilung einer nahegelegenen Windmessung sowie die eingeschätzte Häufigkeit des Auftretens von Vereisungsereignissen. Die über das Modell ermittelte Auftreffwahrscheinlichkeit von Eisteilen wurde mit der zu erwartenden Frequentierung der Verkehrsverbindungen und der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von betriebsfremden Personen und von Betriebspersonal im Umfeld der WKA kombiniert. Anschließend wurde das so ermittelte Risiko den Grenzwerten für das sogenannte allgemein akzeptierte Risiko gegenübergestellt.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass unter Berücksichtigung der vorgesehenen risikomindernden Maßnahmen das Risiko für Personen im Umfeld der WKA durch herabfallende Eisstücke zu Schaden zu kommen, sowohl für einzelne individuelle Personen als auch gesamtgesellschaftlich, unter den entsprechenden Grenzwerten für das allgemein akzeptierte Risiko liegt.

1.1 Abgrenzung

Wie oben definiert, behandelt das vorliegende Gutachten das Risiko für Leib und Leben, das von herabfallenden Eisstücken ausgeht. Darüber hinausgehende Risiken und materielle Schäden, z.B. an Gebäuden, Fahrzeugen oder Infrastruktur, oder auch gegebenenfalls damit verbundene Folgeschäden, sind nicht Inhalt dieses Gutachtens.

Die numerische Modellierung von Eisfallereignissen bedingt notwendigerweise eine Vereinfachung und Idealisierung der realen Verhältnisse. Im Fall von Parametern, die einen direkten Einfluss auf das Gesamtrisiko haben (z.B. Aufenthaltswahrscheinlichkeiten, Vereisungshäufigkeiten), wurden konservative Annahmen getroffen. Parameter, die einen Einfluss auf die Verfrachtungsweite haben (z.B. Geometrie der Eisteilchen), wurden bestmöglich, nach vorliegenden Daten, Literatur oder Vergleichsrechnungen abgeschätzt.

Risikobewertungen sind grundsätzlich statistische Aussagen und als solche nicht unmittelbar auf jeden Einzelfall anwendbar. Insbesondere basiert die Bewertung auf plausiblen Annahmen und vorhandenen Daten und Erfahrungen. Außergewöhnliche Ereignisse und Verhältnisse sind daher nur begrenzt abgedeckt. So wird beispielsweise davon ausgegangen, dass sich auf der Zuwegung zur Windkraftanlage (Stichstraße) unterhalb des Rotors nur geschultes Betriebspersonal regelmäßig aufhält.

Entsprechend der Genehmigungspraxis müssen vereiste Windkraftanlagen in Österreich abgeschaltet und in den Trudelbetrieb übergeführt werden. Auf diese Art und Weise wird gewährleistet, dass Eiswurf, also

das Wegschleudern von Eis von der sich drehenden WKA, verhindert wird. Diese Vorgaben werden im vorliegenden Gutachten mitberücksichtigt, wobei davon ausgegangen wird, dass die verwendeten Eiserkennungssysteme die WKA rechtzeitig und zuverlässig abschalten.

Dieses Gutachten betrachtet ausschließlich das Risiko, das von den im gegenständlichen Vorhaben geplanten Anlagen ausgeht. Eine Kumulation des Risikos mit dem von bestehenden oder zusätzlich geplanten WKA wird nicht vorgenommen. Bezüglich des individuellen Risikos (siehe Kapitel 2.2.2) kann das damit begründet werden, dass an unterschiedlichen Standorten verschiedene meistgefährdete Personen (also jene mit der größten Aufenthaltsdauer) maßgeblich sind. In Hinsicht auf das kollektive Risiko wird durch die konservative Herangehensweise und durch den angewandten Grenzwert von 10^{-4} Todesfälle pro Jahr (der an den meisten Österreichischen WKA-Standorten weit unterschritten wird) auf jeden Fall sichergestellt, dass die gesamt-gesellschaftliche Auswirkung bei jeder geographisch plausiblen Gesamtanzahl von Windenergieprojekten vernachlässigbar klein bleibt.

Die Gültigkeit und Anwendbarkeit der Ergebnisse und Beurteilungen in diesem Gutachten hängt naturgemäß auch von der Richtigkeit und Qualität der Eingangsinformationen ab. Für dieses Gutachten wurden folgende vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Unterlagen und Daten verwendet:

- Installationsbericht für die Windmessung Irnfritz, Rev. 02, TÜV Süd, 24.06.2013
- Übersichtsplan – Eiswarnkonzept, Ruralplan, 17.3.2020 (2.2.5_Übersichtsplan - Eiswarnkonzept.pdf)
- Windpark Japons-Repowering: Koordinatenliste und Höhenangaben, Ruralplan, 21.01.2020 (4.2_Japons-Rep_Koordinaten und Höhenangaben.pdf)
- 4.4_Koordinaten und Höhenangaben - Gesamtliste 5 km.xlsx
- 4.10_CAD_Export_20200203+DKM201910.dwg
- JAP2 aus Irnfritz transformierte Zeitreihe in 100 und 160 m Oktober bis April 2020-01.xlsx
- Verordnung der BH Horn (HOS1-V-0653/001) vom 04.11.2016: Fahrverbot bei Aufleuchten des gelben Warnlichts

2. Allgemeines zum Eisfallrisiko von Windkraftanlagen

2.1 Eisbildung an Windkraftanlagen

Grundsätzlich vereist ein Rotorblatt entweder wenn seine Oberflächentemperatur unter dem Gefrierpunkt liegt (in manchen Fällen auch bereits knapp darüber) und unterkühlte Wassertropfen (d.h. Flüssigwasser bei Minustemperaturen) vorhanden sind oder wenn seine Oberflächentemperatur gleich oder tiefer als der Reifpunkt (Taupunkt bei negativen Temperaturen) liegt, sodass der Wasserdampf der Luft auf dem Gegenstand/Rotorblatt resublimiert und sich eine Reifschicht bildet. Die unterkühlten Wassertropfen können aus gefrierendem Regen oder Wolken bzw. Nebel (tiefliegende Wolken) stammen und, in Ermangelung von Kristallisationskeimen, auch bei Temperaturen weit unter 0° C über längere Zeit flüssig bleiben. Schlagen sich diese unterkühlten Wassertropfen durch den Wind oder die Bewegung des Rotorblattes am Rotorblatt nieder, so gefrieren sie und es entsteht eine Eisschicht. Besonders groß ist die Vereisungsgefahr bei anhaltenden Hochnebellagen und bei frontalen Systemen (Kalt- oder Warmfronten) mit dichter Bewölkung, Niederschlag und kräftigem Wind, der dabei für kontinuierlichen Feuchtenachschub sorgt. Im Allgemeinen unterscheidet man nach ihrer Entstehung und Erscheinung verschiedene Arten von Eis mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften und Dichtewerten (IEA Wind, Task 19, 2011).

Bei **Klareis** bildet sich eine durchsichtige Eisschicht mit glasiger Oberfläche, die durch das Anfrieren von unterkühlten Wassertropfen aus Nebel oder Regentropfen bei einer Temperatur zwischen etwa 0° C und -3° C entsteht. Diese Eisschicht passt sich der Form des umschlossenen Objektes an und lässt sich von diesem kaum lösen. Die sehr glatte Oberfläche kommt dadurch zustande, dass die Tropfen beim Aufprall auf ein Rotorblatt nicht sofort vollständig gefrieren, sondern dass die Wassermenge sich zuvor durch Fließen gleichmäßig über die Oberfläche verteilt.

Raureif tritt bei negativen Temperaturen, vor allem aber bei Temperaturen unter -8° C auf, wenn feine unterkühlte Wassertröpfchen, die durch leichten Nebel oder aus dem in der Luft enthaltenen Wasserdampf durch Kondensation entstehen, auf die Windkraftanlage auftreffen und sofort vollständig gefrieren. Da am Rotorblatt kein Zusammenfließen von einzelnen Tropfen mehr stattfindet, wächst der Raureif an den Rotorblattkanten fahnenartig dem Luftstrom entgegen. Durch eingeschlossene Schneekristalle und Luftbläschen weist er eine raue Oberfläche auf, hat eine geringe Dichte, ist brüchig und milchig weiß.

Sind die unterkühlten Wassertropfen größer, tritt eine härtere Form des Raureifs auf, das sogenannte **Raueis**. Es tritt vorwiegend bei Temperaturen von -2° C bis -10° C auf und zählt zu der häufigsten Form der Vereisung (IEA Wind, Task 19, 2011).

In der Natur tritt die Vereisung häufig in nicht-reinen Formen auf, da sich bei Änderung der Entstehungsbedingungen Mischformen ausbilden. Ein Teil des entstandenen Eises sublimiert bei einem Wechsel der Wetterbedingungen wieder, das heißt es geht vom festen Zustand direkt wieder in den gasförmigen über und fällt nicht von der Anlage ab.

2.2 Theorie zum Eisfallrisiko

2.2.1 Risikoanalyse

Um die Risiken durch Eisfall von Windkraftanlagen zu analysieren, müssen zunächst die beiden Grundelemente einer Risikoanalyse, die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß, ermittelt werden.

$$\text{Risiko} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} \times \text{Schadensausmaß}$$

Die Eintrittswahrscheinlichkeit bezeichnet dabei die zu erwartende Anzahl der Ereignisse innerhalb eines Zeitraums und ist eine statistische Größe. Das Ausmaß der Auswirkungen eines Ereignisses ist entsprechend dem Zweck einer Risikoanalyse unterschiedlich zu definieren. Sicherheitsorientierte Betrachtungen in der Technik bestimmen in erster Linie Ereignisse mit der möglichen Folge von Schäden für Leib und Leben.

Die relevanten Eintrittswahrscheinlichkeiten für das gegenständliche Gutachten sind:

- Auftreffwahrscheinlichkeiten eines Eisstückes
- Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von Personen

Das relevante Schadensausmaß umfasst:

- Tötung einer betriebsfremden Person
- Tötung von Betriebspersonal

Das schlimmste anzunehmende Schadensausmaß in der Risikoethik ist nach Bachmann (2006) der Tod. Das Todesfallrisiko stellt somit die wesentliche Größe in der Risikobewertung dar und wird daher auch in diesem Gutachten als solche verwendet. Die Grenzwerte für das akzeptable Todesfallrisiko sind am strengsten gesetzt und decken damit alle anderen Schäden (Verletzungen, Leidenszuständen etc.) mit ab. Obwohl also beispielsweise das Verletzungsrisiko durch Eisfall größer ist als das Todesfallrisiko, wird das durch den höheren gesellschaftlich akzeptierten Grenzwert für Verletzungen mehr als ausgeglichen.

Grundsätzlich gilt das ermittelte Schadensausmaß „Tötung“ für Personen, die von einem Eisstück am Kopf getroffen werden. Die relevante Trefferfläche am Kopf einer Person beträgt 0,04 m² (IEA Wind, 2018).

Als Trefferfläche für Fahrzeuge wird die Windschutzscheibe angenommen, deren Größe laut (IEA Wind, 2018) mit einer Fläche von 2 m² abzuschätzen ist. Der Umstand, dass das Auftreffen eines Eisstückes auf der Windschutzscheibe im Regelfall nicht mit Todesfolgen für die Fahrzeuginsassen gleichzusetzen ist, wird durch einen zusätzlichen Faktor 10 in der Risikobewertung berücksichtigt, d.h. es wird angenommen, dass nur einer von zehn Treffern Todesfolgen nach sich zieht.

Da die Auftreffwahrscheinlichkeiten aus der Eisfallsimulation pro Quadratmeter dargestellt sind, werden diese erst mit den relevanten Trefferflächen umgerechnet, um auf die Trefferwahrscheinlichkeit P_{Treffer} zu kommen. Für das Todesfallrisiko ergibt sich folgende Formel:

$$P_{\text{Todesfall}} = P_{\text{Treffer}} \times P_{\text{Aufenthalt}}$$

Um einen direkten Vergleich mit den Risikogrenzwerten zu ermöglichen (die als Wahrscheinlichkeit pro Jahr gegeben sind), ist der Bezugszeitraum in der Risikobewertung immer ein ganzes Jahr, auch wenn tatsächlich im Sommerhalbjahr keine Eisfallgefahr besteht. Man beachte, dass in der obigen Gleichung die

Aufenthaltswahrscheinlichkeit $P_{\text{Aufenthalt}}$ eine dimensionslose Größe ist und der Bezugszeitraum über P_{Treffer} mit der Einheit Treffer/Jahr eingeführt wird.

2.2.1.1 Aufenthaltswahrscheinlichkeiten

Um einschätzen zu können, ob herabfallende Eisstücke zu einem Schadensfall führen, muss festgestellt werden, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass sich jemand zu dem Zeitpunkt des Eisfallereignisses im Gefahrenbereich aufhält, bzw. wie lange die Person sich dort aufhält.

$$P_{\text{Aufenthalt}} = \frac{\text{Aufenthaltshäufigkeit (Anzahl)} \times \text{Aufenthaltsdauer}}{\text{Winterhalbjahr}}$$

Für die Aufenthaltswahrscheinlichkeit und die Aufenthaltshäufigkeit müssen jene Werte verwendet werden, die für das Winterhalbjahr maßgeblich sind, da nur in diesem Zeitraum mit Eisfall zu rechnen ist.

Unter der Aufenthaltsdauer wird jene Zeit verstanden, in der eine Person der Gefahr ausgesetzt ist. Das entspricht für Fußgänger entlang von Wegen dem Zeitpunkt des Betretens der Gefahrenzone bis zum Verlassen der Gefahrenzone. Als durchschnittliche Geschwindigkeit für einen Fußgänger werden 5 km/h (Amini, Katrakazas, & Antoniou, 2019) (Aspelin, 2005), für Radfahrer 15 km/h und für Fahrzeuge des Betriebspersonals 25 km/h angenommen.

2.2.2 Risikobewertung und Grenzwerte für das akzeptierte Todesfallrisiko

Um risikobasierte Entscheidungen treffen zu können, muss das Risiko durch die Gefährdung (hier: Eisfall von der Windkraftanlage) durch Vergleich mit „üblicherweise akzeptierten“ Schwellwerten für Risiken eingeordnet und bewertet werden. Der Übergangsbereich zwischen dem akzeptablen und inakzeptablen Bereich ist dabei nicht eindeutig fixiert. Im täglichen Leben wird beispielsweise im Straßenverkehr ein sehr viel höheres Risiko als „normal“ akzeptiert als an einem Büro-Arbeitsplatz. Eine explizite Quantifizierung dieses „Grenzrisikos“ existiert in Österreichischen Normen und Standards nicht.

Bei den Grenzwerten für akzeptierte Risiken wird nach (IEA Wind, 2018) zwischen individuellen und kollektiven Risiken unterschieden.

Das **individuelle** Risiko ist das Risiko einer einzelnen hypothetischen Person, durch die betrachtete Gefährdung zu Tode zu kommen. Dabei ist von jener Person auszugehen, die dem Gefährdungsszenario am meisten ausgesetzt ist. Als Referenz für das akzeptierte Niveau des individuellen Risikos dienen die Todesfallrisiken des alltäglichen Lebens und üblicher Aktivitäten (Haushalt, Verkehr, Freizeit, etc.). Ein Risiko gilt dann als „allgemein akzeptiertes Risiko“ wenn es zum Gesamt-Todesfallrisiko nur unwesentlich beiträgt.

Das gesellschaftliche oder **kollektive** Todesfall Risiko ist hingegen das Gesamtrisiko für alle Personen der Bevölkerung, die der Gefährdung ausgesetzt sind. Im Gegensatz zum individuellen Risiko, das (siehe oben) als Maximum der Einzelrisiken definiert ist, ergibt sich das kollektive Risiko aus der Gesamtsumme der Einzelrisiken für alle gefährdeten Personen.

2.2.2.1 Akzeptiertes individuelles Todesfallrisiko für betriebsfremde Personen

Zur Bestimmung des akzeptablen Risikos gibt es mehrere international übliche Konzepte, die im Wesentlichen sehr ähnliche Ergebnisse liefern:

Bei dem Prinzip der minimalen endogenen Mortalität (MEM) nach CENELEC-Norm EN 50126 wird davon ausgegangen, dass jede Person einer natürlichen Sterblichkeit – der endogenen Mortalität – ausgesetzt ist. Dieses statistische Sterberisiko variiert für verschiedene Länder und Bevölkerungsgruppen, weshalb der Minimalwert dieses Sterberisikos, eben die „minimale endogene Mortalität“, (gültig für einen europäischen Jugendlichen) herangezogen wird, welcher bei $2 \cdot 10^{-4}$ Todesfällen pro Person und Jahr liegt (CENELEC, Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung, 2000). Die so definierte MEM ist ein Maß für das allgemein akzeptierte Risiko, zu Tode zu kommen. Bei der Einführung einer neuen, zusätzlichen Technologie wird nun verlangt, dass sich dadurch das Sterberisiko einer Person nicht signifikant erhöht.

Nach der CENELEC-Norm EN 50126 muss davon ausgegangen werden, dass jeder Mensch einer Vielzahl von technischen Systemen gleichzeitig ausgesetzt ist. Die Norm setzt die Anzahl auf 20 technische Systeme, womit ein Grenzwert von $1/20$ MEM als untere Grenze für das allgemein akzeptierte Todesfallrisiko anzusetzen ist (CENELEC 2000). Dies entspricht 10^{-5} Todesfällen pro Person und Jahr für jedes System. Laut Zapf, Klein und Weidl (2004) stellt dieser Wert in Ländern mit einem hohen technischen Zivilisationsstand ein zumutbares Risiko dar und wird vor allem dann angewendet, wenn für die jeweilige Technologie keine konkreten Grenzwerte vorliegen, wie das beim Risiko von Eisfall von einer Windkraftanlage der Fall ist.

Im vorliegenden Gutachten wird dieser Grenzwert noch zusätzlich mit einem Sicherheitsfaktor von 10 beaufschlagt, um gesellschaftlichen Sensibilitäten und unterschiedlicher Akzeptanz entgegenzukommen.

Unterer Grenzwert: Konservatives, gesellschaftlich akzeptiertes individuelles Todesfallrisiko betriebsfremder Personen $\leq 10^{-6}$ [Todesfälle pro Person und Jahr]

Dieser Grenzwert von 10^{-6} bewegt sich an der unteren Grenze der in der Literatur zu findenden Werte (für eine Auflistung verschiedener Risikostudien siehe z.B. Hess (2011)). In den Empfehlungen der IEA Wind (IEA Wind, 2018) wird ebenfalls ein Grenzwert für das individuelle Risiko von 10^{-6} angegeben.

Zu dem gleichen Grenzwert gelangt man auch über eine Betrachtung nach dem ALARP Prinzip (as low as reasonable possible), das von der britischen Arbeitsschutzbehörde empfohlen wird. Insgesamt sieht die britische HSE bei einem jährlichen individuellen Todesfallrisiko von 10^{-6} die Schwelle erreicht, bei der zusätzliche Kosten zur Risikovorsorge nicht mehr im Verhältnis zum Sicherheitszugewinn stehen.

2.2.2.2 Akzeptiertes individuelles Todesfallrisiko für Betriebspersonal

Bei der Ausübung eines Berufes geht man bewusst ein Risiko ein. Daher wird allgemein angenommen, dass das Risiko am Arbeitsplatz zu sterben, höher sein darf, als das Risiko „unbeteiligt“ zu Tode zu kommen. Dies gilt insbesondere für Berufe mit Kontakt zu Gefahrenquellen, wie z.B. der Wartung von Maschinen.

Für akzeptierte Todesfallrisiken am Arbeitsplatz gilt verbreitet ein Wert von 10^{-4} , siehe dazu Wilhelm (1999), Bienz und Niederhäuser (2000), Paté-Cornell (2000) und Hess (2011). Dieser Wert entspricht 50% des MEM ($2 \cdot 10^{-4}$), und folgt so der Argumentation, dass das akzeptierte Todesfallrisiko am Arbeitsplatz nicht über dem natürlichen Todesfallrisiko liegen darf. Auch dieser Grenzwert wird im gegenständlichen Gutachten, wie schon beim Todesfallrisiko für betriebsfremde/unbeteiligte Personen, mit einem zusätzlichen Sicherheitsfaktor von 10 beaufschlagt, um einen möglichst konservativen Wert zu erhalten.

Unterer Grenzwert: Konservatives, akzeptiertes individuelles Todesfallrisiko für Betriebspersonal $\leq 10^{-5}$ [Todesfälle pro Person und Jahr]

2.2.2.3 Akzeptiertes kollektives Todesfallrisiko

Das Konzept des gesellschaftlichen bzw. kollektiven Todesfallrisikos basiert auf der Beobachtung, dass Gefährdungen, durch die viele Personen zu Tode kommen, in der Öffentlichkeit anders wahrgenommen und bewertet werden als eine gleich große Anzahl unzusammenhängende Todesfälle. Dementsprechend wird der Grenzwert für das akzeptierte kollektive Risiko kleiner festgelegt als die bloße Summe der individuellen Risiken. Für die Festlegung des kollektiven Risikos gibt es unterschiedliche nationale Konzepte (Trbojevic, 2015). Das gegenständliche Gutachten folgt IEA WIND (2018) und setzt den Grenzwert für das akzeptierte kollektive Todesfallrisiko als 10^{-4} Todesfälle pro Jahr an.

Unterer Grenzwert: Konservatives, akzeptiertes kollektives Todesfallrisiko $\leq 10^{-4}$ [Todesfälle pro Jahr]

2.2.2.4 Akzeptiertes Risiko im Straßenverkehr

Bei höherrangigen Straßen kann man mit der bekannten Anzahl von Verkehrsunfällen und der Größe des Straßennetzes eine spezifische Gefährdung im Straßenverkehr, d.h. jährliche Anzahl der Unfälle pro Kilometer Straßenlänge, berechnen.

Ein solcher Mittelwert hat nur dann im Einzelfall eine Aussagekraft, sofern nur relativ gleichartige Straßen (betreffend Ausbauzustand, Verkehrsfluss und Frequentierung) betrachtet werden. Das ist insbesondere bei Autobahnen und Schnellstraßen der Fall. Bei niederrangigen Straßen (z.B. Gemeindestraßen), die viel mehr Unterschiede aufweisen, ist eine solche Mittelung über das gesamte Straßennetz daher mit Vorbehalt zu sehen.

Im dem Moment, in dem man am Straßenverkehr teilnimmt, akzeptiert man auch das damit verbundene Risiko, in einen Verkehrsunfall verwickelt zu werden. Insofern entspricht diese mittlere Gefährdung im Straßenverkehr dem allgemein gesellschaftlich akzeptierten Risiko auf öffentlichen Straßen. Man beachte, dass diese Risikobewertung nicht eine Person oder eine Personengruppe, sondern ein bestimmtes Straßenstück betrachtet.

Ist dieses Straßenstück zusätzlich auch der Gefährdung durch Eisfall von einer naheliegenden WKA ausgesetzt, so darf nach der EN 50126 (CENELEC 2000) (siehe Abschnitt 2.2.2.1) die zusätzliche Gefährdung durch Eisfall die Gesamtgefährdung um maximal ein Zwanzigstel erhöhen. Somit kann man als gesellschaftlich akzeptierten Grenzwert für das Eisfallrisiko auf Straßen $1/20$ der durchschnittlichen Unfallhäufigkeit (für Straßen des entsprechenden Straßenranges) annehmen.

Bei der Bewertung des Eisfallrisikos wird davon ausgegangen, dass jedes Mal, wenn ein Eisstück mit relevanter Masse ($>80g$) auf die Windschutzscheibe des Fahrzeuges ($2 m^2$) trifft, ein Unfall verursacht wird. Im Gegensatz zu den anderen Abschnitten wird hier also nicht die Anzahl von Todesfällen, sondern die Anzahl von Unfällen betrachtet. Da es keinen Grund gibt anzunehmen, dass das Verhältnis von Todesfällen pro Verkehrsunfall bei durch Eisfall verursachten Unfällen anders ist als bei sonstigen Verkehrsunfällen, erübrigt sich eine getrennte Betrachtung der Todesfälle.

Dieses Kriterium für die Bewertung des Eisfallrisikos für Straßen beeinträchtigt nicht die Argumente in den obigen Abschnitten 2.2.2.1 bis 2.2.2.3 und ist daher gegebenenfalls zusätzlich zu der Betrachtung des individuellen und kollektiven Risikos für Personen anzuwenden.

2.2.3 In Österreich übliche risikomindernde Maßnahmen

Wie in Abschnitt 1.1 festgehalten entspricht es in Österreich der etablierten Genehmigungspraxis, vereiste WKA abzuschalten und in den Trudelbetrieb überzuführen. Eine der risikomindernden Maßnahmen ist somit die Verwendung von Eiserkennungssystemen, welche die WKA verlässlich bei einsetzender Vereisung abschalten.

Darüber hinaus werden als risikomindernde Maßnahme für Fußgeher und Radfahrer entlang der Wege im Umfeld der Windkraftanlagen Warntafeln mit Warnleuchten in ausreichendem Abstand zu den Windkraftanlagen angebracht, um während der Vereisungsereignisse proaktiv auf die Gefahr durch Eisfall hinzuweisen. Falls Personen einen dieser Wege begehen, werden sie mittels der Warnleuchten über die Vereisungsereignisse gewarnt. Somit wird gewährleistet, dass die Aufenthaltswahrscheinlichkeit während eines Eisfallereignisses an den Wegen deutlich niedriger ist als ohne diese Maßnahme. Für die Aufenthaltswahrscheinlichkeit und das damit resultierende Risiko kann eine Reduktion um eine bis zwei Zehnerpotenzen angenommen werden (IEA Wind, 2018).

Das mit Wartung und Service betraute Betriebspersonal wird ebenfalls über die Eiswarntafeln und -leuchten vor Eisfall gewarnt. Darüber hinaus ist das Personal über das Verhalten bei Gefahr von Eisabfall während der Wintermonate zu schulen. Eine entsprechende persönliche Schutzausrüstung (Helm) muss bei Vereisungsereignissen im Gefahrenbereich getragen werden. Durch diese Maßnahmen kann von einer Reduktion des Risikos für das Betriebspersonal um eine Zehnerpotenz ausgegangen werden.

2.3 Modellierung des Eisabfalles

Das Eisfallmodell der Energiewerkstatt berechnet, basierend auf den meteorologischen Bedingungen am Standort sowie den Kenndaten der Windkraftanlage (Nabenhöhe, Rotordurchmesser), die Trajektorie eines Eisstücks vom Abfall vom Rotorblatt bis zum Aufprall am Boden. Mit Hilfe einer Zeitreihe von Windgeschwindigkeit und Windrichtung kann somit die Auftreffhäufigkeit der Eisstücke um die Anlage bestimmt werden.

Bei der Berechnung wird angenommen, dass die Anlage zum Zeitpunkt des Ablösens des Eisstücks nicht in Betrieb ist und daher der Rotor stillsteht oder sich in einer langsamen Trudelbewegung befindet. Für die Position der abfallenden Eisteilchen werden eine Verteilung entlang des Rotorblatts und unterschiedliche Drehwinkel des Rotors angenommen. Vom Ablösezeitpunkt an unterliegt das Eisfragment der Erdanziehung und dem Luftwiderstand sowie dem Einfluss des Windes, welcher es aus seiner Bahn ablenkt. Die Berechnung der Flugbahnen erfolgt unter Verwendung von gekoppelten Bewegungsgleichungen mit Luftwiderstandsbeiwert, der angepassten Luftdichte und unter Einbeziehung eines im Projektgebiet vorliegenden Höhenprofils der Windgeschwindigkeiten.

Für die Bestimmung des Eisfallrisikos wird eine sehr große Anzahl von Eisfallsimulationen durchgeführt, um den Parameterraum aller möglichen Einflussfaktoren (Wind, Rotorstellung, Position am Blatt, Eigenschaften des Eisteilchens) gut abzudecken. Durch Aufsummierung der Einschläge aus den Eisfallsimulationen für jedes Flächenelement ergibt sich die Auftreffwahrscheinlichkeit der Eisteile. Aus dieser Trefferdichte kann dann die statistische Wahrscheinlichkeit berechnet werden, mit welcher ein bestimmter Ort im Umfeld der Windkraftanlage von einem Eisstück einer bestimmten Größe getroffen wird.

Das verwendete Eisfallmodell der Energiewerkstatt wurde im Rahmen der internationalen Kooperation Task 19 der IEA Wind evaluiert. Die Abweichungen zwischen Simulation und Beobachtungen lagen dabei im Bereich der Datenunsicherheit der Beobachtungsergebnisse.

Für die Berechnungen wurden folgende Annahmen getroffen:

1. Die Simulationen werden mit für den Standort relevanten Winddaten durchgeführt, die insbesondere den Zeitraum umfassen, in dem Vereisungsbedingungen auftreten können.
2. Die Eisteilchen rotieren in der Luft, so dass jede Seite der Eisfragmente abwechslungsweise vom Wind erfasst, respektive vom Luftwiderstand abgebremst wird.
3. Die aerodynamische Kraft auf das Eisteilchen wird aus dem dynamischen Druck und einem Widerstandsbeiwert von $c_w = 1.0$ berechnet.
4. Der Rotor der Windkraftanlage wird immer in den Wind gedreht (Nachführung ist aktiv).
5. Die Windkraftanlage ist zum Zeitpunkt des Ablösens des Eisstücks nicht in Betrieb (Eisabschaltung). Der Rotor steht daher still oder befindet sich in einer langsamen Trudelbewegung.
6. Störungen an der Anlage (z.B. Netzausfall, Ausfall der Nachführung, gebremster Rotor, etc.) gleichzeitig mit Vereisungsbedingungen werden nicht betrachtet, da einerseits davon keine wesentlich erhöhte Eisfallgefahr zu erwartet ist, andererseits solche seltenen Ereignisse in der statistischen Betrachtung nur sehr wenig Gewicht haben.
7. Die Simulationen werden für eine horizontale Fläche durchgeführt. Wenn die Windkraftanlage nicht in ebenem Gelände steht, sondern im Umfeld ausgeprägte Hangneigungen und Höhenunterschiede vorkommen (komplexes Gelände), wird die Topographie des Geländes über ein manuelles post-processing berücksichtigt.
8. Die Höhenzunahme der Windgeschwindigkeit am Projektstandort wird über ein logarithmisches oder exponentielles Windprofil berücksichtigt.

2.3.1 Modellierung der Eisstücke

Für die Ermittlung des Eisfallrisikos wird das oben beschriebene numerische Eisfallmodell auf eine Reihe von konkreten Eisteilchen angewendet.

Die Eigenschaften der Eisteilchen (d.h. deren Abmessungen, Masse und Eisdichte) werden dabei anhand von Ergebnissen aus Feldbeobachtungen (d.h. Aufsammeln von Eisfragmenten) festgelegt. Für das gegenständliche Gutachten wurden die Daten aus (IEA Wind, 2018) verwendet, in denen die Ergebnisse aus fünf unterschiedlichen Beobachtungskampagnen Eingang gefunden haben. Als relevante Größe wird dabei das Verhältnis von Frontalfläche zur Masse des Eisstücks (A/m) betrachtet. Im Rahmen des oben beschriebenen Eisfallmodells skalieren die Beschleunigungskräfte mit der Masse und die aerodynamischen Kräfte mit der Frontalfläche. Eisteilchen mit demselben A/m zeigen daher dasselbe Verhalten betreffend der Fallweite und Verteilung der Einschläge – unabhängig von der Größe und Eisdichte der Eisstücke. Zudem ist das Verhältnis A/m auch jene Größe, für welche sich die Größenverteilung der aufgesammelten Eisstücke für verschiedene Standorte am einheitlichsten darstellen lässt (IEA Wind, 2018).

Im Eisfallmodell der Energiewerkstatt wird ein Set von neun unterschiedlichen Eisteilchen mit konkreten Dimensionen (Länge, Breite, Höhe), Eisdichte und Masse verwendet, um die beobachtete Verteilung von A/m Werten (IEA Wind, 2018) nachzubilden.

2.4 Anzahl der Eisstücke

Die Anzahl der Eisstücke, die pro Jahr durchschnittlich von der WKA abfallen, hängt stark von den jeweiligen Gegebenheiten und äußeren Einflussfaktoren ab. Formal kann man das folgendermaßen ausdrücken:

$$N_{\text{site}} = sf_{\text{ice}} \cdot sf_{\text{rotor}} \cdot sf_{\text{op}} \cdot N_{\text{obs}}$$

Dabei ist N_{site} die Anzahl der zu erwartenden Eisstücke, sf_{ice} ist ein Skalierungsfaktor, der die Vereisungsbedingungen am Standort beschreibt, und sf_{rotor} berücksichtigt die Abmessungen der Rotorblätter. Der Einfluss der Betriebsführung (bspw. Eisabschaltung) wird durch den Faktor sf_{op} erfasst und N_{obs} ist die Referenzanzahl von Eisstücken aus Beobachtungsdaten. Mit einer Festlegung der Skalierungsfaktoren für eine konkrete WKA an einem bestimmten Standort mit spezifischen meteorologischen Verhältnissen kann man somit die in Feldbeobachtungen bestimmte Anzahl von Eisstücken auf das jeweilige Projekt umlegen.

Gute Referenzdaten für die Anzahl der beobachteten Eisstücken von WKA an Standorten mit unterschiedlichen IEA Vereisungsklassen bzw. Vereisungsdauern finden sich beispielsweise in (IEA Wind, 2018). Die Daten in (IEA Wind, 2018) basieren auf einer sehr breiten Datenbasis, jedoch ist zu berücksichtigen, dass darin auch Beobachtungen von skandinavischen Anlagen enthalten sind, die auch unter Vereisungsverhältnissen weiterbetrieben werden (keine Eisabschaltung).

Die Gefährdung durch herabfallende Eisstücke hängt in erster Linie von deren Masse und Auftreffgeschwindigkeit ab. Die Schwere der Verletzungen, die ein Eisstück verursachen kann, skaliert dabei mit der kinetischen Energie S beim Aufprall. Die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Verletzung durch ein herabfallendes Eisstück zum Tode führt, korreliert jedoch nicht linear und kann für Eisfragmente mit Massen zwischen 0,1 und 4,5 kg mit Hilfe der kumulierten Standardnormalverteilung ausgedrückt werden (Bosch, van den, et al., 1989).

$$W_{\text{Tod}} = \Phi(-22,56 + 5,3 \cdot \ln S)$$

wobei

$$S = \frac{1}{2} m \cdot u^2$$

Diese Funktion ergibt ein vernachlässigbares Tötungsrisiko für kleine Werte, ab einer gewissen Schwelle steigt das Risiko stark an, und für große Werte beträgt das Tötungsrisiko konstant 100%.

In dem gegenständlichen Gutachten wird diese Wahrscheinlichkeitsverteilung dafür benutzt, um eine Mindestmasse zu bestimmen, ab welcher Eisstücke für Personen zu einem Tötungsrisiko werden können. Für kompakte Eisstücke und sehr große Fallhöhen erhält man auf diese Weise eine Grenzmasse von 80 g. Das bedeutet keineswegs, dass von schwereren Eisstücken automatisch ein Todesfallrisiko ausgeht, da hierbei noch viele weitere Einflussfaktoren eine Rolle spielen. Umgekehrt kann aber mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit gesagt werden, dass von Eisstücken kleiner als 80 g kein Todesfallrisiko für Personen ausgeht. Als konservative Annahme wird somit in diesem Gutachten davon ausgegangen, dass das Auftreffen eines Eisteils mit mehr als 80 g – in der relevanten Trefferfläche „Kopf“ (siehe Abschnitt 2.2.1) – in jedem Fall für die betreffende Person tödlich ist.

3. Datengrundlage

3.1 Kenndaten des Projekts

3.1.1 Layout des Windparks

Der Projektstandort, Abb 1, befindet sich auf dem Gemeindegebieten von Japons und Imfritz-Messern im Bezirk Horn in einer Seehöhe von etwa 530 m.

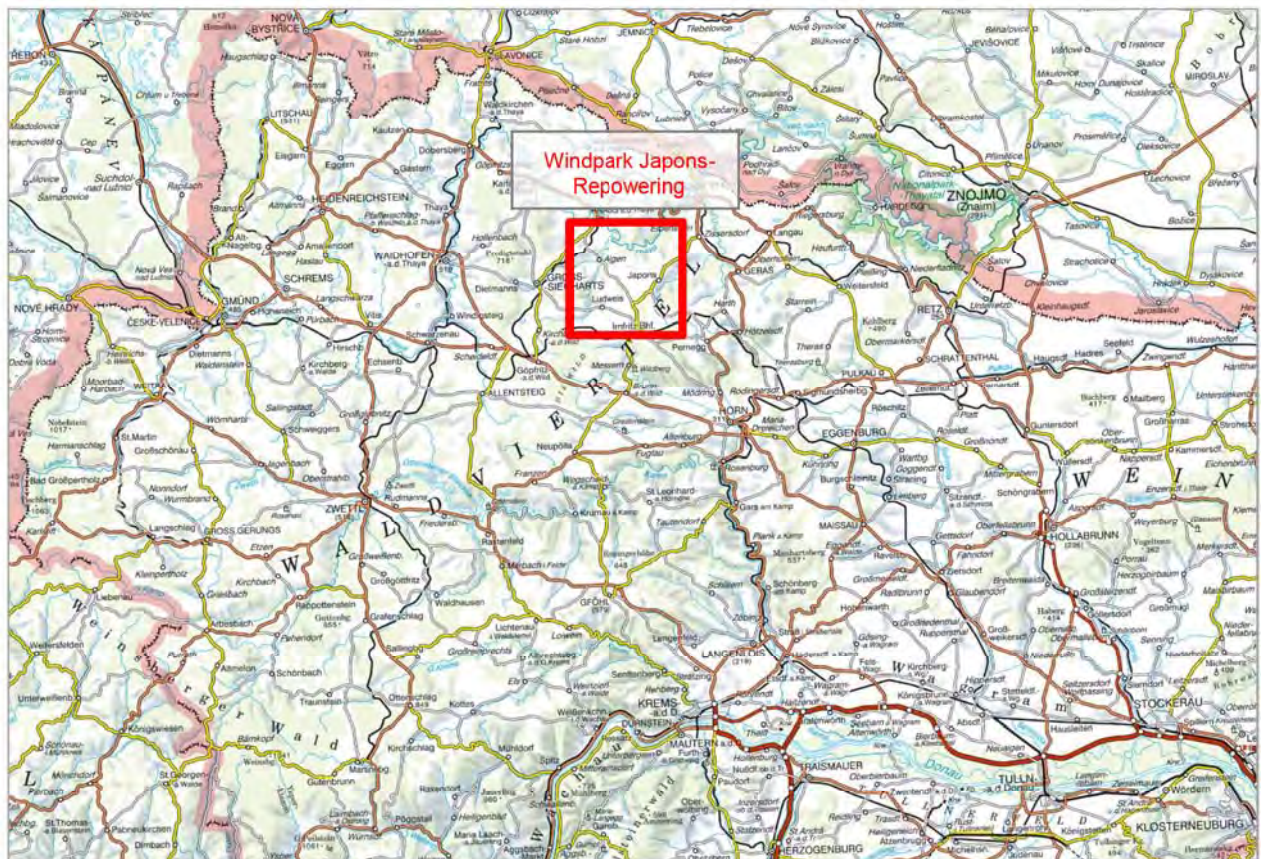


Abb 1: Übersichtsplan zur Lage des Projektgebiets von Japons-Repowering. [Kartenquelle: Amap]

Das Vorhaben Windpark Japons-Repowering besteht aus drei Windkraftanlagen vom Typ Vestas V150 4.2 MW mit einer Nabenhöhe von 166 m zuzüglich einer Fundamentüberhöhung von 3,6 m. Tab 1 enthält eine Zusammenstellung der geographischen Positionen in WGS 84 Koordinaten sowie der Nabenhöhen der geplanten WKA.

Das Umfeld der geplanten WKA ist in Abb 2 ersichtlich. Die innerhalb des Projektgebietes vorhandenen Wege werden zur Erschließung der landwirtschaftlichen Nutzflächen sowie zur Wartung der WKA genutzt. Zwischen den Anlagen JAP2-02 und JAP2-04 verläuft die Landesstraße L52.



Abb 2: Darstellung der geplanten Windkraftanlagen des Windparks Japons-Repowering. Die Größe der roten Symbole entspricht dem Durchmesser des Rotorüberstrichs, bzw. dem Rotordurchmesser. [Kartenquelle: basemap.at]

Bezeichnung	Koordinaten (WGS 84)		Anlagentyp	Nabenhöhe
	Länge	Breite		(ggf. mit Fundamentanhebung)
JAP2-01	15° 31' 24,62"	48° 47' 43,45"	Vestas V150	[m] 166 + 3,6
JAP2-02	15° 31' 22,10"	48° 47' 27,46"	Vestas V150	166 + 3,6
JAP2-04	15° 31' 07,33"	48° 46' 59,22"	Vestas V150	166 + 3,6

Tab 1: Geographische Daten der Windkraftanlagenstandorte.

3.1.2 Anlagenbezogene Kenndaten

Die Berechnung des Risikos durch Eisfall wurde für den Anlagentyp V150 4.2 MW durchgeführt. Bei dieser Anlagenbauart handelt es sich um einen Luvläufer mit Pitch-Regelung, aktiver Windnachführung und Dreiblattrotor. In Tab 2 sind die wichtigsten technischen Spezifikationen entsprechend den Herstellerangaben zusammengefasst.

Windkraftanlagentyp		Vestas V150 4.2 MW
Rotortyp	[-]	Dreiblattrotor, horizontale Achse
Rotordurchmesser	[m]	150
Nabenhöhe	[m]	166 + 3,6
Blattspitzenhöhe	[m]	244,6

Tab 2: Wichtigste technische Spezifikationen der Windkraftanlage Vestas V150.

Weitere Informationen zu den verwendeten WKA finden sich im technischen Bericht des Änderungsoperates.

3.1.3 Eiserkennungssystem und Eiswarnkonzept

Um das Abwerfen von Eis vom drehenden Rotor zu vermeiden und einen sicheren Betrieb der Windkraftanlage zu gewährleisten, werden WKA mit Eiserkennungssystemen ausgestattet, welche die Windkraftanlagen bei Eisansatz an den Rotorblättern verlässlich stoppen. Details zu den verwendeten Eiserkennungssystemen können dem technischen Bericht entnommen werden.

Es ist vorgesehen, die Anlagen mit Vestas Rotorblattheizungen auszurüsten. Die Steuerung der Rotorblattheizung erfolgt ebenfalls auf Basis des Eiserkennungssystems.

Bei der Detektion von Eisansatz ergeht gleichzeitig mit dem Stoppen der Windkraftanlage eine Meldung an den Betreiber. Sobald eines der Eiserkennungssysteme einen Eisansatz erkannt hat, werden Wegbenutzer und das Personal des Betreibers durch Warnleuchten über die potentielle Gefahr von herabfallenden Eisstücken informiert. Hinweisschilder an den Warnlampen weisen darauf hin, dass eine Gefährdung durch Eisabfall bei eingeschalteten Signalleuchten gegeben ist. Die Ansteuerung dieser Leuchten erfolgt über die SCADA-Steuereinheit des Windparks. Nach einer Abschaltung verbleibt die Anlage so lange im Stillstand (bzw. Trudelbetrieb) bis der eisfreie Zustand der WKA zweifelsfrei festgestellt ist.

3.2 Windmessdaten

3.2.1 Beschreibung der Windmessung

Als Basis für die Eisfallsimulationen wurden vom Auftraggeber aufbereitete Winddaten für den Standort auf 100 m und 160 m Höhe zur Verfügung gestellt. Diese Daten basieren auf einer Windmessung mit einem 100 m Messmaste die von Mai 2013 bis Oktober 2014 etwa 7 km südlich des Projektgebiets durchgeführt wurde.

Ort	Koordinaten (WGS 84)		Messhöhe
	Länge	Breite	[m]
Irnfritz	15° 33' 25,35"	48° 43' 44,61"	100

Tab 3: Position der Windmessung Irnfritz.

Die folgende Tab 4 fasst die Windmessergebnisse zusammen, die für das Eisfallgutachten verwendet wurden. Es wurden dabei ausschließlich Winddaten aus dem Winterhalbjahr, d.h. Oktober bis April, herangezogen. Für das vertikale Windprofil wurde ein Wind-Scherexponent von $\alpha = 0.25$ angenommen.

Grösse		Alle	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
Anteil	[%]	100	6,4	3,6	3,6	7,9	21	10,3	2,8	2,7	4,6	11,3	16,6	9,2
Mittl. Wind	[m/s]	6,8	5	4,9	5,5	6,1	7,4	5,6	4,3	4,4	6,1	7,8	8,8	6,6
Weibull A	[m/s]	7,6	5,6	5,6	6,1	6,8	8,3	6,3	4,9	5	6,8	8,8	9,9	7,5
Weibull k	[1]	2,12	1,94	1,98	1,93	2,27	2,55	1,91	2,11	2,1	2,46	2,54	2,66	2,2

Tab 4: Windstatistik für den Standort Japons in einer Höhe von 160 m.

Wie aus der Tabelle und aus der Windrose in Abb 3 ersichtlich, ist der Standort mehrheitlich von Winden aus nordwestlicher und südöstlicher Richtung geprägt.

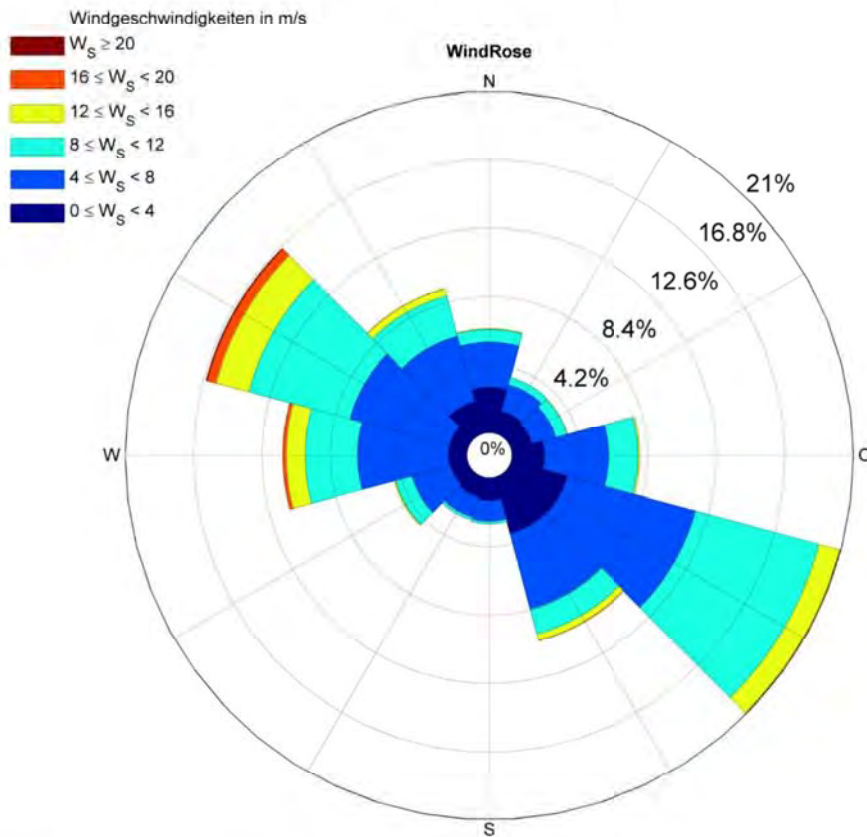


Abb 3: Windrose für den Standort Japons in 160 m Höhe.

3.3 Vereisungsdaten

Für die Ermittlung der Auftreffwahrscheinlichkeiten im Nahbereich der Anlagen ist neben den Windverhältnissen und der Formverteilung der Eisfragmente (d.h. der A/m-Verteilung) insbesondere die standortspezifische Anzahl der herabfallenden Eisfragmente von entscheidender Bedeutung.

Für das vorliegende Gutachten erfolgte diese Abschätzung anhand der in Abschnitt 2.4 beschriebenen Skalierungsfunktion, welche die Größe der geplanten WKA und die vorgesehene Betriebsweise (vgl. Abschnitt 3.1) sowie die standortspezifischen Vereisungsbedingungen berücksichtigt.

Zusätzlich zu einer Auswertung der verwendeten Windmessdaten in Hinblick auf Vereisungsereignisse wurde für die Einschätzung der Anzahl der Eisfragmente auf die Daten aus dem Forschungsprojekt R.Ice (www.eisatlas.at) zurück gegriffen.

Aus den meteorologischen Daten für die Projektregion lässt sich somit ableiten, dass die Vereisungsverhältnisse für den Standort der geplanten Windparks der IEA Vereisungsklasse II entsprechen.

Damit und unter Berücksichtigung des für das Projekt gewählten WKA-Typs sowie des geplanten Betriebs- bzw. Beheizungsmodus kann konservativ davon ausgegangen werden, dass pro WKA und Jahr etwa 1200 relevante (d.h. Masse > 80 g) Eisfragmente zu Boden gehen.

4. Projektspezifische Risikoanalyse und Bewertung

In diesem Abschnitt werden zunächst die Ergebnisse der durchgeführten Simulationen zur Bestimmung der Auftreffwahrscheinlichkeit von Eisfragmenten dargestellt. Darauf basierend wird anschließend das Risiko für die im Gefährdungsbereich befindlichen Schutzobjekte ermittelt und bewertet.

4.1 Modellierung des Gefahrenbereichs

Unter Verwendung der in Abschnitt 3 beschriebenen Datengrundlagen und Parameter wurde der potentielle Gefahrenbereich im Umkreis der Windenergieanlagen modelliert. Die Verteilung der Auftreffwahrscheinlichkeit der Eisfragmente pro Quadratmeter und Jahr als Funktion des Abstandes vom Fußpunkt der WKA ist in Abb 4 für unterschiedliche Richtungen dargestellt.

Eine Auftreffwahrscheinlichkeit kleiner als 10^{-5} stellt sicher, dass auch im Fall der maximal möglichen Exposition (d.h. ein ungeschützter Aufenthalt einer Personen im Freien, 24 Stunden am Tag und 365 Tage im Jahr) der Grenzwert für das allgemein akzeptierte individuelle Risiko nicht überschritten wird (IEA Wind, 2018). Auftreffwahrscheinlichkeiten kleiner als 10^{-5} sind daher für die Gesamt-Risikobestimmung nicht relevant und in Abb 4 nicht dargestellt.

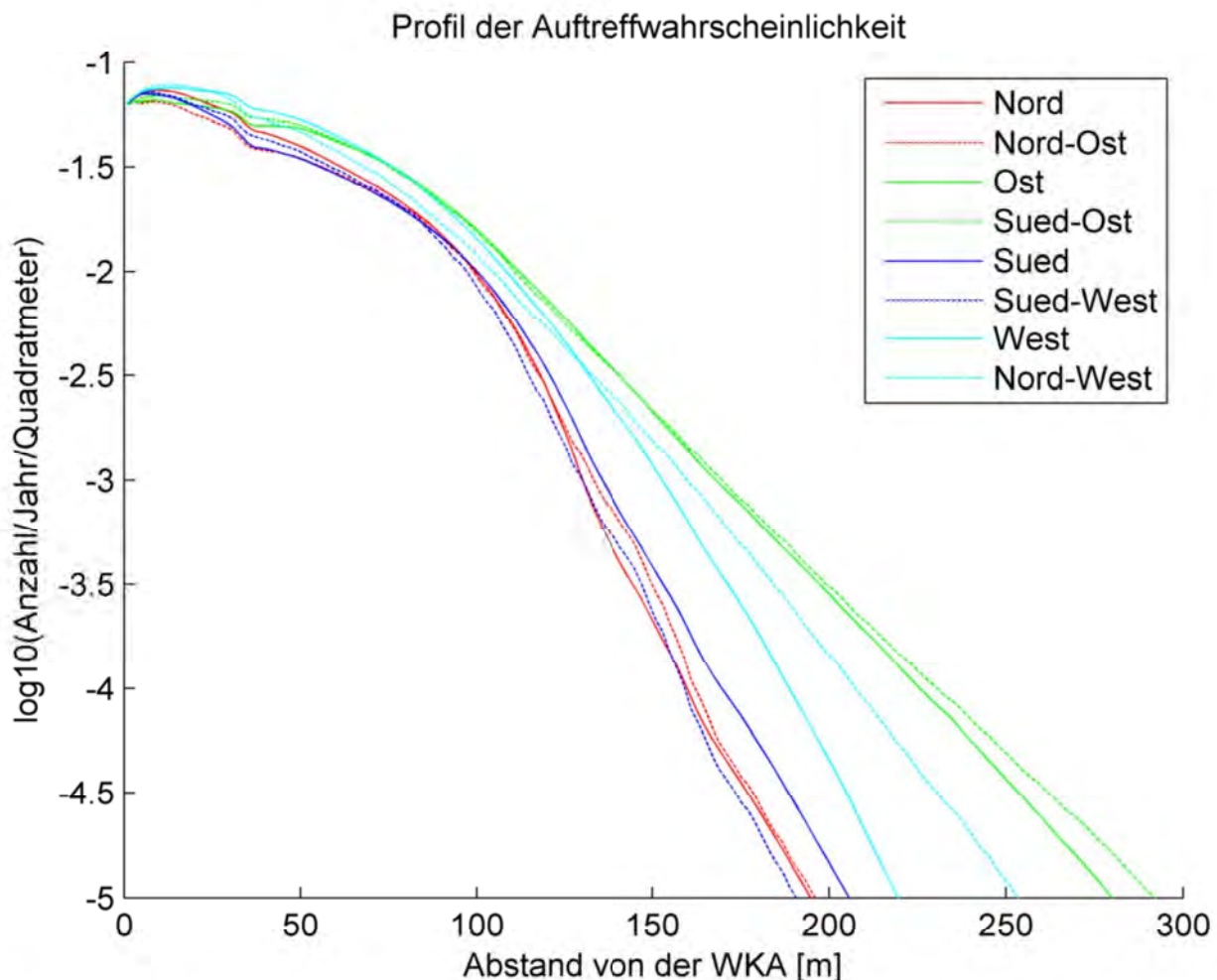


Abb 4: Auftreffwahrscheinlichkeit von Eisteilchen pro Quadratmeter und Jahr für die WKA vom Typ Vestas V150 mit einer Nabenhöhe von 166 m +3,6 m am Standort Japons. Auftreffwahrscheinlichkeiten kleiner als 10^{-5} sind nicht dargestellt.

Abb 5 zeigt die Positionen und das Umfeld der geplanten Anlagen. Die größte Gefährdung durch Eisfall besteht im unmittelbaren Nahbereich der Anlagen. Auf dem östlich von JAP2-02 verlaufenden Wirtschaftsweg, der auch unterhalb des Rotorüberstrichs verläuft, besteht daher eine relativ große Gefährdung für Fußgeher und Autofahrer. Aus diesem Grund wurde auf dem in Abb 5 in blau eingezeichneten Wegabschnitt von der Bezirkshauptmannschaft Horn ein bei aktiver Eiswarnleuchte (Siehe dazu Abschnitt 2.2.3 und 3.1.3) gültiges Fahr- und Betretungsverbot bei aktivierten Eiswarnlampen erlassen (Bezirkshauptmannschaft Horn, 2016). Dieses Verbot wird durch eine Beschilderung „Fahrverbot (in beiden Richtungen)“, „Reitverbot“ und „Verbot für Fußgänger“ mit dem Zusatz „gilt bei Aufleuchten des gelben Warnlichts“ kenntlich gemacht.

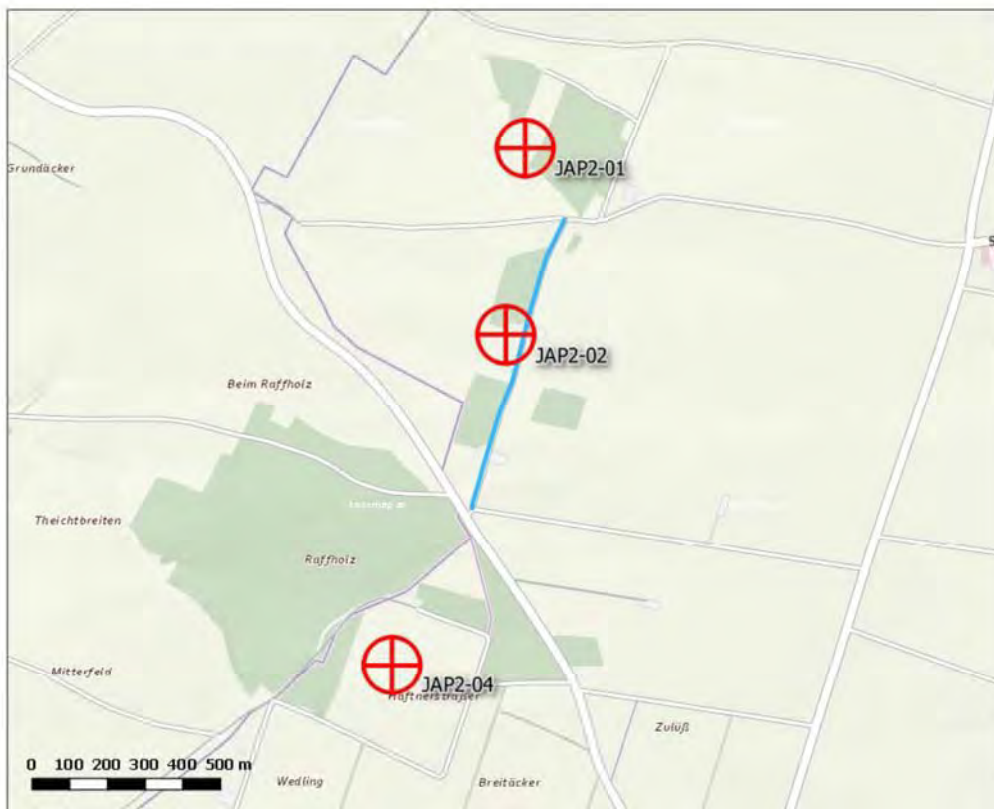


Abb 5: Positionen und Umfeld der WKA des Windparks Japons-Repowering. Bei aktivierter Eiswarnleuchte gilt für den blau markierten Wirtschaftsweg ein Fahr- und Betretungsverbot. Die Größe der roten Symbole entspricht dem Rotorüberstrich bzw. dem Rotordurchmesser. [Kartenquelle: basemap.at]

4.2 Bewertung des Risikos für Benutzer der Wirtschaftswege

Die höchste Gefährdung durch herabfallende Eisstücke besteht für Personen, die sich ungeschützt im Freien in der Nähe von WKA aufhalten. Für die Berechnung des maximal zu erwartenden Risikos für Fußgeher, Radfahrer und Autofahrer auf den Wirtschaftswegen innerhalb der Windparks wurde eine Strecke ausgewählt, die einerseits einen großen Teil des Projektgebiets passiert und dabei das oben erwähnte Fahr- und Betretungsverbot respektiert. Diese Route ist in Abb 6 als lila Linie eingezeichnet.



Abb 6: Darstellung der betrachteten Wegs durch den Bereich der Windparks (lila) und der Anlagenpositionen. Die Größe der roten Symbole entspricht dem Rotorüberstrich, bzw. dem Rotordurchmesser. [Kartenquelle: basemap.at]

4.2.1 Risiko für Fußgeher

Für die Bestimmung des individuellen Risikos ist die am meisten exponierte Person zu betrachten. Dabei gelten folgende Annahmen und Voraussetzungen:

- Die Gesamtlänge des eingezeichneten Wegs beträgt etwa 5 km.
- Die Anlagen befinden sich auf abgelegenen Standorten.
- Hinweisschilder weisen auf eine potentielle Gefährdung durch herabfallende Eisstücke hin.
- Im Fall der Detektion von Eisansatz durch die Eissensoren wird dies durch Warnleuchten angezeigt.

Unter diesen Aspekten wird für die am meisten exponierte Person ein Fußgeher angenommen, der mit einer Geschwindigkeit von 5 km/h einmal pro Woche den in Abb 6 dargestellten Weg benutzt. Verschneidet man die Aufenthaltswahrscheinlichkeit mit der Trefferwahrscheinlichkeit, die den Kopf als relevante tödliche Trefferfläche (in Abschnitt 2.2.1 genauer erläutert) berücksichtigt, ergibt sich das in Tab 5 angeführte jährliche Todesfallrisiko.

Schutzobjekt	Jährliches Todesfallrisiko
Fußgeher am Wirtschaftsweg	$2,3 \cdot 10^{-9}$

Tab 5: Projektspezifisches individuelles Risiko für den meist-exponierten Fußgeher.

Der so ermittelte, konservative Wert für das individuelle Risiko liegt unter dem entsprechenden Grenzwert für das gesellschaftlich akzeptierte individuelle Todesfallrisiko betriebsfremder Personen von 10^{-6} pro Jahr (siehe Abschnitt 2.2.2.1). Wie in Abschnitt 2.2.1 dargelegt, sind damit, durch die strengen Grenzwerte bei der Bewertung des Todesfallrisikos, auch alle geringeren Schäden wie Verletzungen mit abgedeckt.

Eine Betrachtung des kollektiven Risikos kann im gegebenen Fall entfallen, da mit einer regelmäßigen Frequentierung des Windparks durch eine größere Anzahl (>100) von Personen nicht zu rechnen ist.

4.2.2 Risiko für Autofahrer

Für die Bewertung der maximalen Gefährdung von Autofahrern auf den Wirtschaftswegen wurde die selbe Route (Abb 6) wie für die Fußgeher verwendet. Für die Person des meistexponierten Autofahrers wurde dabei eine durchschnittlich zweimalige Benutzung pro Tag unterstellt. Als Fahrgeschwindigkeit auf den Wirtschaftswegen (Schotterfahrbahn) wurden 30 km/h angenommen. Mit diesen Annahmen erhält man das in Tab 6 angegebene individuelle Todesfallrisiko.

Schutzobjekt	Jährliches Todesfallrisiko
Meistexponierter Autofahrer am Wirtschaftsweg	$2,6 \cdot 10^{-8}$

Tab 6: Projektspezifisches individuelles Risiko für den meist-exponierten Autofahrer.

Der so ermittelte Wert für das individuelle Risiko liegt unter dem entsprechenden Grenzwert für das gesellschaftlich akzeptierte individuelle Todesfallrisiko betriebsfremder Personen von 10^{-6} pro Jahr (siehe Abschnitt 2.2.2.1). Wie in Abschnitt 2.2.1 dargelegt, sind damit, durch die strengen Grenzwerte bei der Bewertung des Todesfallrisikos, auch alle geringeren Schäden wie Verletzungen mit abgedeckt.

Für die Bewertung des kollektiven Risikos, wurde in konservativer Abschätzung eine Frequentierung von 50 Fahrzeugen pro Tag auf der in Abb 6 dargestellten Strecke angenommen. Mit dieser Frequentierung ergibt sich folgendes kollektives Risiko:

Schutzobjekt	Jährliches Todesfallrisiko
Kollektives Risiko für Autofahrer am Wirtschaftsweg	$6,6 \cdot 10^{-7}$

Tab 7: Projektspezifisches kollektives Risiko für Autofahrer auf den Wirtschaftswegen.

Der so ermittelte Wert für das kollektive Risiko liegt ebenfalls unter dem entsprechenden Grenzwert für das gesellschaftlich akzeptierte kollektive Todesfallrisiko betriebsfremder Personen von 10^{-4} pro Jahr (siehe Abschnitt 2.2.2.3). Wie in Abschnitt 2.2.1 dargelegt, sind damit, durch die strengen Grenzwerte bei der Bewertung des Todesfallrisikos, auch alle geringeren Schäden wie Verletzungen mit abgedeckt.

4.3 Bewertung des individuellen Risikos für das Betriebspersonal

Für die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Betriebspersonals können durchschnittlich anfallende, jährliche Wartungsarbeiten herangezogen werden. Es ist von einem Besuch des Mühlenwarts oder eines Wartungsteams beim Turmfuß der WKA etwa zwei Mal pro Monat auszugehen. Dabei wird angenommen, dass die Anfahrt zu den Anlagen in einem Fahrzeug erfolgt, welches auf der Kranstellfläche abgestellt wird. Der Weg vom Fahrzeug zur Eingangstüre der WKA wird anschließend zu Fuß zurückgelegt.

Da das Betriebspersonal einerseits durch Schulungsmaßnahmen über die Gefahr durch Eisfall informiert ist und andererseits beim tatsächlichen Vorliegen von Vereisung durch das Eiswarnsystem (Warnleuchten) gewarnt wird, kann davon ausgegangen werden, dass der Zugang zur WKA auf eine entsprechend vorsichtige Art und Weise erfolgt (angepasste Fahrgeschwindigkeit, kein unnötiger Aufenthalt im Freien, kurze Wege). Unter diesen Voraussetzungen wird für den Zugang zur WKA ein Aufenthalt im Freien von 3 Minuten in der Nähe des Turmfußes angenommen. Bei den geringen zu erwartenden Fahrgeschwindigkeiten, kann darüber hinaus im Fahrzeuginneren eine Todesfallgefahr durch Eisfall ausgeschlossen werden. Gemäß Abschnitt 2.2.3 wird die Schutzwirkung der vorgeschriebenen Verwendung einer persönlichen Schutzausrüstung mit einem Faktor zehn berücksichtigt. Damit ergibt sich aus den jährlichen Besuchen für eine einzelne WKA ein individuelles Todesfallrisiko für das Betriebspersonal von $4,4 \cdot 10^{-8}$.

Im konkreten Fall wird angenommen, dass jeweils alle drei WKA des Windparks besucht werden.

Schutzobjekt	Jährliches Todesfallrisiko
Betriebspersonal im Freien	$1,3 \cdot 10^{-7}$

Tab 8: Projektspezifisches individuelles Risiko für Betriebspersonal

Der ermittelte Wert für das individuelle Risiko für Betriebspersonal liegt unter dem Grenzwert für das gesellschaftlich akzeptierte individuelle Todesfallrisiko für Betriebspersonal von 10^{-5} pro Jahr (siehe Abschnitt 2.2.2.2). Wie in Abschnitt 2.2.1 dargelegt, sind damit, durch die strengen Grenzwerte bei der Bewertung des Todesfallrisikos, auch alle geringere Schäden wie Verletzungen mit abgedeckt.

4.4 Empfohlene Maßnahmen und abschließende Risikobewertung

Das Risiko für Leib und Leben durch die in dem gegenständlichen Vorhaben geplanten WKA liegt in allen identifizierten Gefährdungsszenarien unterhalb der entsprechenden Risikogrenzwerte.

Zusammenfassend lässt sich also feststellen, dass unter Berücksichtigung der vorgesehenen risikomindernden Maßnahmen das Risiko für Personen im Umfeld der WKA durch herabfallende Eisstücke zu Schaden zu kommen, sowohl für einzelne individuelle Personen als auch gesamtgesellschaftlich, unter den entsprechenden Grenzwerten für das allgemein akzeptierte Risiko liegt.

5. Literaturverweise

- Amini, R. E., Katrakazas, C., & Antoniou, C. (2019). Negotiation and Decision-Making for a Pedestrian Roadway Crossing: A Literature Review. *Sustainability*, Vol. 11, 2019.
- Aspelin, K. (2005). *Establishing Pedestrian Walking Speeds*. Portland State University.
- Bachmann, A. e. (2006). *Elemente der Risikoethik*.
- Bezirkshauptmannschaft Horn. (4. 11 2016). Verbot von Befahren, Gehen und Reiten auf den Güterwegen bei Aufleuchten des gelben Warnlichts (HOS1-V-0653/001).
- Bienz A. F., & Niederhäuser F.R. (2000). *Sicherheitskonzept für den Umgang mit Munition und Explosivstoffen in Armee und Militärverwaltung*. Bern: Stämpfli Verlag AG, Bern.
- Bosch, van den, C., Twilt, L., Merx, W., Jansen, C., de Weger, D., Reuzel, P., . . . Blom-Bruggeman, J. (1989). *Methods of determining the Potential Damage, CPR16E*. The Hague: Directorate-General of Labour of the Ministry of Social Affairs and Employment III.
- CENELEC, Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung. (2000). *Norm EN 50126*.
- Hess Josef Th. (2011). *Schutzziele im Umgang mit Naturrisiken in der Schweiz*. Zürich.
- IEA Wind, T. 1. (2018). *International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments*.
- IEA Wind, Task 19. (2011). *13. WIND ENERGY PROJECTS IN COLD CLIMATES*.
- Paté-Cornell Elisabeth. (2000). *Risk and Uncertainty Analysis in Government Safety Decisions*.
- Trbojevic, V. M. (2015). *Risk criteria in EU*. London, UK.
- Wilhelm C. (1999). *Kostenwirksamkeit von Lawinenschutzmassnahmen an Verkehrsachsen*. Bern.
- Zapf B., Klein G., & Weidl T. (2004). *Risikomanagement, Verfahren zum Fliegen in Flughafennahbereich*. Bremen: TÜV Industrie Service GmbH TÜV Süd Gruppe.
- Dokumente mit projektspezifischen Informationen laut Abschnitt 1.1.

6. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb 1:	Übersichtsplan zur Lage des Projektgebiets von Japons-Repowering. [Kartenquelle: Amap].....	14
Abb 2:	Darstellung der geplanten Windkraftanlagen des Windparks Japons-Repowering. Die Größe der roten Symbole entspricht dem Durchmesser des Rotorüberstrichs, bzw. dem Rotordurchmesser. [Kartenquelle: basemap.at].....	15
Abb 3:	Windrose für den Standort Japons in 160 m Höhe.	17
Abb 4:	Auftreffwahrscheinlichkeit von Eisteilchen pro Quadratmeter und Jahr für die WKA vom Typ Vestas V150 mit einer Nabenhöhe von 166 m +3,6 m am Standort Japons. Auftreffwahrscheinlichkeiten kleiner als 10^{-5} sind nicht dargestellt.....	19
Abb 5:	Positionen und Umfeld der WKA des Windparks Japons-Repowering. Bei aktivierter Eiswarnleuchte gilt für den blau markierten Wirtschaftsweg ein Fahr- und Betretungsverbot. Die Größe der roten Symbole entspricht dem Rotorüberstrich bzw. dem Rotordurchmesser. [Kartenquelle: basemap.at]	20
Abb 6:	Darstellung der betrachteten Wegs durch den Bereich der Windparks (lila) und der Anlagenpositionen. Die Größe der roten Symbole entspricht dem Rotorüberstrich, bzw. dem Rotordurchmesser. [Kartenquelle: basemap.at].....	21
Tab 1:	Geographische Daten der Windkraftanlagenstandorte.	15
Tab 2:	Wichtigste technische Spezifikationen der Windkraftanlage Vestas V150.....	16
Tab 3:	Position der Windmessung Inrfritz.	16
Tab 4:	Windstatistik für den Standort Japons in einer Höhe von 160 m.	17
Tab 5:	Projektspezifisches individuelles Risiko für den meist-exponierten Fußgeher.....	22
Tab 6:	Projektspezifisches individuelles Risiko für den meist-exponierten Autofahrer.....	22
Tab 7:	Projektspezifisches kollektives Risiko für Autofahrer auf den Wirtschaftswegen.....	22
Tab 8:	Projektspezifisches individuelles Risiko für Betriebspersonal.....	23