

IEA Windenergie Task 19: Windenergie in kalten Klimazonen

Arbeitsperiode 2016 - 2018

A. Krenn, A. Stökl,
H. Winkelmeier

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

64/2019

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

IEA Windenergie Task 19: Windenergie in kalten Klimazonen

Arbeitsperiode 2016 - 2018

DI Andreas Krenn MBA, Dr. Alexander Stökl, Mag. Hans Winkelmeier
Energiewerkstatt Verein

Friedburg, März 2019

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms

IEA FORSCHUNGS
KOOPERATION

des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	7
2	Abstract	8
3	Ausgangslage	9
4	Projekthalt	10
	4.1. Beschreibung des IEA Wind Task 19	10
	4.2. Forschungsschwerpunkt: „Standardisierung von Eisfallrisikogutachten“	12
	4.3. Forschungsschwerpunkt: „Evaluierung der Vestas Rotorblattheizung“	13
5	Ergebnisse	15
	5.1. Allgemeine Ergebnisse aus dem Task19	15
	5.2. Ergebnisse aus dem Forschungsschwerpunkt: „Standardisierung von Eisfallrisikogutachten“	16
	5.3. Ergebnisse aus dem Forschungsschwerpunkt: „Evaluierung der Vestas Rotorblattheizung“	20
6	Vernetzung und Ergebnistransfer	26
7	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	28

1 Kurzfassung

Der Betrieb von Windkraftanlagen an Standorten in kalten Klimazonen bringt eine Reihe von Herausforderungen mit sich. Dabei stellt insbesondere die Eisbildung an den Rotorblättern der Windkraftanlage ein betriebliches Hindernis, als auch ein Sicherheitsrisiko für Personen und Infrastruktur im Umfeld der Anlagen dar. Etwa 15 % der Windkraftanlagenstandorte in Österreich können als sogenannte ‚Cold Climate‘ Standorte mit häufiger Vereisung eingestuft werden.

Der Task 19 der IEA Wind setzt sich seit mehr als 16 Jahren mit den vielfältigen Herausforderungen von Windenergie unter Vereisungsbedingungen auseinander. Das primäre Ziel dieser internationalen Forschungskooperation ist die Sammlung und das Generieren neuer Erkenntnisse durch wechselseitigen Erfahrungsaustausch sowie globale Vernetzung. Die Energiewerkstatt fungierte hierbei als nationale Schnittstelle zu den IEA-Aktivitäten im Task 19, um für einen reibungslosen Knowhow-Transfer der internationalen Expertise nach Österreich zu sorgen. Dieser Bericht behandelt die Ergebnisse und die Teilnahme der Energiewerkstatt in der fünften Periode des Task 19. Im Zuge dessen wurden von der Energiewerkstatt die folgenden zwei Forschungsschwerpunkte bearbeitet und in die Kooperation eingebracht:

(1) Die Energiewerkstatt leitete einen Subtask, der sich mit der Standardisierung der Methodik zur Erstellung von Eisfallrisikogutachten auseinandersetzt. Als Ergebnis wurde dabei von einer internationalen Expertengruppe aus der Windenergiebranche ein Dokument erstellt, in dem zum ersten Mal das aktuelle Wissen über Eisfall und Eiswurf von Windkraftanlagen, einschließlich Beobachtungsdaten und Konzepten zur Risikobewertung, an einem Ort zusammengestellt ist. In der Sitzung des Leitungskomitees der IEA Wind im Oktober 2018 wurde dieses Dokument "International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments" schließlich zur Publikation freigegeben. Erste Reaktionen auf die Veröffentlichung deuten bereits an, dass das Ziel dieser Empfehlungen, nämlich eine internationale Standard-Referenz für die Erstellung von Eisrisikogutachten zur Verfügung zu stellen und dadurch international den Weg zu höherer Qualität, Einheitlichkeit und Transparenz bei Eisfall- und Eiswurfrisikogutachten zu bereiten, erfüllt wurde.

(2) Des Weiteren wurde von der Energiewerkstatt anhand der Betriebsdaten des Windparks Sternstein in OÖ die Funktionstüchtigkeit des Vestas Rotorblattheizungssystems evaluiert, das seit dem Jahr 2014 am Markt verfügbar ist. Dazu wurden die Betriebsdaten von zwei WKA vom Typ Vestas V112 – 3MW - beide sind mit einer Rotorblattheizung ausgestattet - an einem Standort mit hoher Vereisungsanfälligkeit (IEA Vereisungsklasse 3) im nördlichen Mühlviertel in Oberösterreich ausgewertet und beurteilt. Für die beiden Winterhalbjahre 2016/17 und 2017/18 wurde der theoretisch mögliche Energieertrag (ohne Vereisungsverluste) errechnet und dem Realertrag gegenübergestellt. In Form des Evaluierungsberichts steht nun Planern und Betreibern von Windparks eine unabhängige Einschätzung der Wirksamkeit der Vestas Rotorblattheizung zur Verfügung.

2 Abstract

The operation of wind turbines on sites in cold climate zones is connected with a number of challenges. Thereby, ice formation on the rotor blades in particular constitutes an operational obstacle, as well as a safety risk for persons and infrastructure in vicinity of the turbines. About 15% of current wind turbine sites in Austria can be classified as so-called 'Cold Climate' locations with frequent icing.

Since more than 16 years, Task 19 of the IEA Wind is concerned with the manifold challenges of wind energy utilization under icing conditions. The primary aim of this international research cooperation is to collect and to generate new knowledge through mutual exchange of experience and global networking. Energiewerkstatt thereby acts as a national interface to the IEA-activities to ensure a smooth transfer of know-how from the international expertise to the Austrian wind community. This report covers the results and the participation of Energiewerkstatt in the fifth term of Task 19. In course of the participation in the Task 19, Energiewerkstatt contributed to the international collaboration with the following two research topics:

(1) Energiewerkstatt led a sub-task that was concerned with the methodology of the creation of icefall risk assessments. As a result, a document has been created by an international group of experts from the wind energy business, in which the current knowledge on ice fall and ice throw from wind turbines, including observational data and approaches to risk assessment, has been compiled in one document. In the meeting of the executive committee of IEA Wind in October 2018, this document "International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments" has been accepted for publication. First reactions on the publication already indicate, that the aim of this publication, namely the provision of an international standard-reference for the creation of ice risk assessments, and thus to pave the way forward to increase the quality, consistency, and transparency of ice-risk assessments internationally, has been achieved.

(2) Furthermore, based on operational data from the wind farm Sternstein in upper Austria, Energiewerkstatt evaluated the functional efficiency of the Vestas rotor blade heating system, which has been introduced to the market in 2014. For doing so, the operational records from two heated wind turbines of the type Vestas V112 – 3MW on a site with severe icing conditions (IEA icing class 3) in the northern part of Upper Austria have been analyzed and evaluated. For the two winter seasons 2016/17 and 2017/18, the theoretical annual energy yield (without icing losses) has been calculated and compared with the actual energy yield. In the form of the evaluation report, wind energy planners and operators are now provided with an independent estimate of the efficiency of the Vestas rotor blade heating system.

3 Ausgangslage

Die Vereisung von Windkraftanlagen ist ein kritisches Thema an einer Vielzahl von Standorten mit herausfordernden klimatologischen Bedingungen, die andererseits aber auch ein sehr großes Windenergiepotential bieten. Die gesamte installierte Leistung an Standorten mit Vereisungsbedingungen in Europa, Nordamerika und Asien betrug mit Jahresende 2015 bereits etwa 90 GW mit einem geschätzten Wachstum bis zum Jahr 2020 von jährlich weiteren 8 GW (Lethomäki 2016). Eisfallrisiken und Ertragsverluste durch Rotorblattvereisung sind zwei Aspekte desselben Phänomens: Während Ertragsverluste in erster Linie an Standorten mit moderaten bis schweren Vereisungsbedingungen eine Rolle spielen, muss das Risiko durch herabfallende Eisstücke auch an Standorten betrachtet werden, an denen Vereisung nur an wenigen, einzelnen Tagen im Jahr auftritt, insbesondere wenn im Umfeld der Windkraftanlage mit einer höheren Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Personen gerechnet werden muss.

Der Task 19 der IEA Wind „Wind Energy in Cold Climates“ wurde im Jahr 2002 mit dem Ziel gegründet, sich mit den Herausforderungen der Windenergie in kalten Klimazonen zu befassen, Best-Practice Beispiele zu sammeln und darauf aufbauend Empfehlungen für die Industrie zu erarbeiten. Die Aktivitäten fokussieren sich auf Fragen in Zusammenhang mit der Anwendung von Technologien in kalten Klimazonen unter Berücksichtigung von meteorologischen und betrieblichen Informationen.

Für Österreich hat eine Beteiligung an diesem Task eine hohe Relevanz, da viele Windparkprojekte in Österreich mit den Herausforderungen von Vereisung konfrontiert sind. Alleine in der Steiermark sind bis 2030 650 MW an Windkraftleistung geplant, die allesamt an alpinen und semialpinen Standorten mit großer Vereisungsgefahr errichtet werden sollen. Aber selbst bei den Standorten in jenen Regionen Ost-Österreichs, wo aktuell ein Großteil der österreichischen Windkraftanlagen in Betrieb ist, treten mehrmals pro Jahr Vereisungsereignisse auf, welche insbesondere in Hinblick auf Sicherheits- und Risikoaspekte zu berücksichtigen sind.

Die Energiewerkstatt konnte sich aufgrund ihrer langjährigen Beschäftigung mit den Herausforderungen der Windenergienutzung unter Vereisungsbedingungen in einem großen Teil der im Task behandelten Themen eine umfangreiche Expertise aufbauen. Diese reicht von der Evaluierung von Rotorblattheizungen und Eisdetektionssystemen über die Windmessung an vereisungsgefährdeten Standorten bis zur Bewertung von vereisungsbedingten Ertragsverlusten. Die beiden von der Energiewerkstatt bearbeiteten Forschungsschwerpunkte orientieren sich einerseits an der Expertise und Erfahrungen der Energiewerkstatt, andererseits aber an den praktischen Fragestellungen und den spezifisch Österreichischen geographischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen.

4 Projektinhalt

4.1. Beschreibung des IEA Wind Task 19

Der IEA Wind Task 19 „Windenergie in kalten Klimazonen“ (Wind Energy in Cold Climates) wurde 2002 eingerichtet und hat seitdem fünf erfolgreiche Perioden mit jeweils 3 Jahren durchlaufen. In der letzten, fünften, Periode haben sich elf Nationen am Task 19 beteiligt, der Operating Agent wurde von Finnland gestellt.

Die Schwerpunkte in den Tätigkeiten im Task 19 während der fünften Periode waren die Mitwirkung an dem IEC Standard IEC 61400-15 ed.1 sowie Anstrengungen hin zu einer zunehmenden Standardisierung von ‚cold climate‘ Themen (Ice protection warranty guideline, ice fall/throw guideline). Der Schwerpunkt der Standardisierung geht dabei auf eine Umfrage bei der WinterWind Konferenz 2015 zurück, wo der Mangel an fundierten und allgemein verfügbaren Empfehlungen, Richtlinien und Normen als eines der größten Herausforderungen und Hindernisse bei der Umsetzung von Windenergieprojekten an Standorten in kalten Klimazonen identifiziert wurde. Durch die diversen Tätigkeiten und Publikationen des Task 19 hat sich diese Situation seither deutlich verbessert. Dazu zählt auch die Veröffentlichung des freien Software Pakets *T19IceLossMethod*. Auf solchen Aktivitäten gründet sich die große, und weiterwachsende, internationale Bedeutung des Task 19 für die Windenergie in kalten Klimazonen. Aufgrund des weltweit sehr großen Windenergiepotentials an Standorten mit kalten Klimabedingungen wird sich diese Entwicklung fortsetzen. Somit wird auch der Bedarf an neuen Lösungen und Methoden zur Windenergienutzung in kalten Klimazonen auch in Zukunft anhalten. Eine Zusammenstellung der teilnehmenden Nationen der fünften Periode des Task 19, sowie deren Vertretungen im Task 19, findet sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Teilnehmende Nationen in der fünften Periode des Task 19.

Nation	Vertreten durch	Beschreibung
Belgien	OWI-Lab	Forschungsplattform im Bereich Windenergie
China	CARDC (China Aerodynamic Research and Development Center)	Staatliches Nationales aerodynamisches Test- und Forschungszentrum
Dänemark	DTU, Technical University of Denmark	Technische Universität und weltweit eines der größten Institute in dem Bereich der Windenergie
Deutschland	Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme	Eine der größten Europäischen Forschungseinrichtungen im Bereich der Windenergiesysteme
Finnland (Operating Agent)	VTT Technical Research Centre of Finland Ltd	Großes Forschungsinstitut das an einem breiten Spektrum angewandter technischer Forschungsthemen arbeitet.
Großbritannien	DNV GL	Großes Unternehmen für Zertifizierungen und technische Dienstleistungen, u.a. in der Windenergie
Kanada	Nergica	Zentrum für angewandte Forschung im Bereich der erneuerbaren Energien
Norwegen	Kjeller VindTeknikk	Unternehmen für Windmessung und – Auswertung
Österreich	Energiewerksatt Verein	Technisches Büro für erneuerbare Energie
Schweden	WindREN	Windenergie Beratungsunternehmen
Schweden	Vattenfall	Großes internationales Energieversorgungsunternehmen
Schweden	RISE	Staatliche Schwedische Forschungseinrichtung
Schweiz	Meteotest	Dienstleistungen zu Wetter, Klima, Umwelt und Informatik

Ein wesentliches Element der Kooperationsstrategie waren die Task-Meetings, die zweimal jährlich stattgefunden haben, um die inhaltlichen und administrativen Arbeiten des Tasks zu koordinieren. In ihrer Bedeutung zunehmend wichtiger (d.h. hinsichtlich der internationalen Kooperation) wurden die zusätzlich stattfindenden virtuellen Meetings, die ebenfalls dazu genutzt wurden, aktuelle Themen und Fragestellungen zu besprechen.

Neben den Diskussionen zu den nationalen Forschungsprojekten wurde bei diesen Meetings auch die Vorgehensweise hinsichtlich der Verwertung der gemeinsam erarbeiteten Ergebnisse und Erkenntnisse besprochen. In diesem Zusammenhang stellen die Gemeinschaftsberichte des Task 19 (der sog. Recommended Practices Report und der sog. Available Technologies Report) einen wesentlichen Baustein dar. Zusätzlich wurden die Ergebnisse bei nationalen und internationalen Konferenzen vorgestellt, dazu gehörten in dieser Periode unter anderem die WindEurope, die Winterwind, die AWEA und Quebec's jährliche Windenergie Konferenz. Des Weiteren werden alle Forschungsergebnisse auf der Homepage des Task19 – (http://www.ieawind.org/task_19.html) präsentiert. Ein weiterer wichtiger Baustein der Verwertungsstrategie ist die Kooperation des Task 19 mit Standardisierungsgremien, um die IEA Forschungsergebnisse in Normung,

Standardisierung und Klassifizierung überzuleiten. In diesem Zusammenhang ist insbesondere die Aufnahme von Cold-Climate-Aspekten in die IEC 61400-1 ed4 - "Design Requirements for Wind Turbines" zu erwähnen.

Die inhaltliche Bearbeitung der einzelnen Fachthemen wird im Task 19 in Rahmen von Gremien umgesetzt, in der jeweils eine unterschiedliche Anzahl von Teilnehmern mitwirken können und die unter der Leitung eines verantwortlichen Task 19 Mitglieds stehen. In der abgelaufenen fünften Periode des Task 19 hat die Energiewerksatt zwei Forschungsschwerpunkte betreut die im Folgenden beschrieben sind:

4.2. Forschungsschwerpunkt: „Standardisierung von Eisfallrisikogutachten“

Die Gefährdung durch Eisabfall von Windkraftanlagen ist ein Thema, das im Prinzip schon seit längerem bekannt ist, aber in den letzten Jahren verstärkt in den Fokus der Aufmerksamkeit geraten ist. Aufgrund der starken Zuwachsraten bei Windenergieprojekten an vereisungsgefährdeten Standorten ist dieses Thema sowohl national als auch international zunehmend Gegenstand des öffentlichen Interesses und gewinnt somit auch an Genehmigungsrelevanz. So zeigten Erhebungen im Rahmen des Task 19, dass in den Genehmigungsverfahren vieler Länder nun seit ein paar Jahren Gutachten zur Bewertung des Risikos durch Eiswurf bzw. Eisfall, gefordert werden.

In einem solchen Gutachten wird in einem ersten Schritt die Auftreffwahrscheinlichkeit von Eisfragmenten im Umkreis der WKA (in Form der Wahrscheinlichkeit von Einschlägen pro Quadratmeter und Jahr) modelliert, wobei die Vereisungsintensität des Standortes, die vorherrschenden Windverhältnisse sowie die Größe der WKA entscheidende Parameter sind. In einem zweiten Schritt wird unter Berücksichtigung der erwarteten Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Personen im Gefährdungsbereich das resultierende Gesamtrisiko für einen Schadensfall errechnet und Werten des allgemein akzeptierten Risikos gegenübergestellt.

Bei einer solchen Ermittlung und Bewertung des Eisfallrisikos gibt es eine ganze Reihe von Annahmen und Parametern, die nach den vorliegenden Daten oder durch plausible Abschätzung festgelegt werden müssen. Dazu zählen Anzahl, Verteilung, Größe und Eigenschaften der Eisfragmente, die Art der zu verwendenden Winddaten, Umfang der physikalischen Modellierung der fallenden Eisteile, und Grenzwerte für das akzeptierte Risiko. Obwohl Eisfall-Risikogutachten nun regelmäßig international nachgefragt werden, gab es für solche Festlegungen bisher keine einheitlich etablierte Vorgangsweise. Je nach Gutachter und nach national üblicher Praxis wurde teilweise mit deutlich unterschiedlichen Festlegungen gearbeitet, was sich dann auch in unterschiedlichen Resultaten äußerte. Ein weiteres Resultat dieses Mangels an Definitionen sind die teilweise stark abweichenden Qualitätsansprüche der jeweiligen nationalen Behörden an die Gutachten.

Um dieser Situation abzuhelpen und einheitliche, nach Stand des Wissens und nach allen verfügbaren Daten bestmöglich abgesicherten Standards zu schaffen, wurden in dem gegenständlichen Sub-Projekt eine internationale Empfehlung für die Erstellung von Eis-

Risikogutachten erarbeitet. Dazu wurde eine Arbeitsgruppe eingerichtet und der Ablauf des Erstellens von Eisfall/Eiswurf Gutachten thematisch in drei Abschnitte geteilt:

- Das mathematische Modell für die Berechnung der räumlichen Verteilung der Auftrefforte der Eisteile.
- Die notwendigen Wind- und Vereisungs-Daten
- Aspekte der Risikobewertung

Um unterschiedliche Zugänge vergleichen zu können und um einen Abgleich der inhaltlichen Beiträge der einzelnen Teilnehmer zu gewährleisten, wurden die Themen anhand von vordefinierten Problemstellungen untersucht. Dabei wurden von den Teilnehmern unterschiedliche Ansätze auf diese konkreten Szenarien angewendet und die Ergebnisse anschließend verglichen und diskutiert. Auf diese Weise wurden für die oben genannten drei Hauptteile Empfehlungen erarbeitet, welche dann mit allgemeinen Abschnitten (wie der Diskussion der verbliebenen Unsicherheiten und der Maßnahmenwirksamkeit) ergänzt wurden.

Nach interner Fertigstellung der Empfehlungen wurde das Dokument zur Sicherstellung eines abgesicherten und belastbaren Standards zur Prüfung an eine internationale Auswahl von unabhängigen, externen Experten gesendet. Nach dem Einarbeiten deren Rückmeldungen wurde das Dokument der „Internationalen Empfehlungen für Eisfall und Eiswurf Risikogutachten“ in der Sitzung des Leitungskomitees der IEA Wind im Oktober 2018 vorgelegt und dort zur Publikation freigegeben.

4.3. Forschungsschwerpunkt: „Evaluierung der Vestas Rotorblattheizung“

Die Vereisung der Rotorblätter stellt eine wesentliche Herausforderung beim Betrieb von Windkraftanlagen an vielen Standorten in Österreich dar. Einerseits verringert sich durch den erzwungenen Betriebsausfall die jährliche Stromproduktion, andererseits entsteht durch das Abfallen der Eisteile ein potentielles Risiko für Personen im Nahbereich der Anlagen.

Aus diesem Grund bieten mittlerweile einige Windkraftanlagenhersteller beheizbare Rotorblätter an, wobei die auf dem Markt angebotenen Systeme zur Enteisung entweder über die Beheizung des Hohlraumes in den Rotorblättern mittels zirkulierender Warmluft oder mit beheizbaren Matten an der Oberfläche der Blätter funktionieren. Auch Vestas als der seit Jahren weltweit größte Hersteller von Windkraftanlagen bietet seit 2014 ein Rotorblattheizungssystem an, welches auf der Zirkulation von Warmluft basiert. Jedoch liegen bislang nur wenig Betriebserfahrungen mit dieser Technologie vor, die es den Planern und Betreibern ermöglichen würden, die Leistungsfähigkeit und Störungsanfälligkeit der Vestas-Blattheizungen bewerten zu können.

Daher wurde die Möglichkeit zu einer Evaluierung dieser Technologie, die sich beim Windpark Sternstein an der Grenze zu Tschechien ergeben hat, für einen Forschungsschwerpunkt des Task 19 genutzt, um eine unabhängige Evaluierung des Vestas Blattheizungssystems durchzuführen und deren Ergebnisse der internationalen Windenergiebranche zur Verfügung zu stellen.

Der betrachtete Standort eignet sich in mehrererlei Hinsicht für die Evaluierung der Vestas-Rotorblattheizung. Zum einen bietet er eine vergleichsweise hohe Anzahl von

Vereisungsereignissen was eine aussagekräftige Statistik ermöglicht und höhere Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Blattheizung stellt. Zum anderen befindet sich in direkter Nachbarschaft zu den beheizten WKA auch eine Reihe von unbeheizten Windkraftanlagen. Somit ergibt sich durch den Vergleich einer größeren Anzahl von Anlagen mit und ohne Rotorblattheizung eine breite Datenbasis, welche die Ableitung von möglichst belastbaren Schlussfolgerungen ermöglicht.

Im Zuge der Analyse wurden von der Energiewerkstatt die Betriebsdaten der Vestas WKA der Windparks Sternwald II und Sternwald III in OÖ analysiert, wobei sieben Anlage ohne und zwei mit Rotorblattheizung ausgestattet sind. Ausgewertet wurden dabei die an den Anlagen gemessenen Leistungs- und Wind-Messdaten sowie die Fehlercodes der Anlagen bei Betriebsausfällen für die beiden Winterhalbjahre 2016/17 und 2017/18. Dabei wurde ein Soll/Ist-Vergleich durchgeführt, in dem der theoretisch mögliche Energieertrag (errechnet anhand der Gondeldatenanemometer) dem tatsächlich realisierten Ertrag gegenübergestellt wird. Diese Auswertung, sowohl für die älteren Vestas WKA (ohne Rotorblattheizung) als auch die neueren WKA (mit Rotorblattheizung) gibt dann Auskunft darüber, wie leistungsfähig die Enteisungs-Technologie und wie hoch der Ertragsentgang infolge Vereisung bei Anlagen mit und ohne Rotorblattheizung ist.

Als Ergebnis dieses Teilvorhabens wurde ein Evaluierungsbericht zu den Betriebserfahrungen mit der Vestas Rotorblattheizung veröffentlicht.

5 Ergebnisse

5.1. Allgemeine Ergebnisse aus dem Task19

In der fünften Periode des IEA Wind Task 19 (i.e. Periode 2016 bis 2018) ist die internationale Bedeutung des Task 19 weiter gestiegen. Die wichtigsten Meilensteine und Ereignisse während der fünften Periode waren:

- Die *World cold climate market study 2015-2020* wurde in der Zeitschrift *WindPowerMonthly* veröffentlicht (Lethomäki 2016). Auf diese Studie, die eine Zuwachsrate von jährlich 12 GW ausweist, wird seither von vielen Seiten aus der Forschung und der Industrie verwiesen.
- Ende 2016 wurde die neue Version des Berichts "*Recommended Practice 13: Wind energy Projects in Cold Climates*" (IEA Wind 2017) publiziert.
- Die Vorschläge für die Design- Lastfälle wurden in die neue IEC Norm 61400-1 ed4 "*Design requirements of wind turbines*" (IEC 2018) übernommen.
- Die Textstellen betreffend die Vereisungsverluste für die neue IEC 61400-15 ed1 "*Site energy yield assessment*" wurden fast ausschließlich vom Task 19 beigesteuert.
- Die Empfehlungen der Zertifizierungsgesellschaft DNV-GL *Recommended Practices "Icing of Wind Turbines" DNVGL-RP-0175* (DNV-GL 2017) basiert größtenteils auf Task 19 Dokumenten und Anregungen.
- Das freie Softwarepaket *T19IceLossMethod* (Task 19 2018) findet zunehmend Anwendung in der Windindustrie als auch im Forschungsbereich.
- Durch die breite Außenwirkung etabliert sich der Task 19 international als zentrale Informationsstelle beim Thema Windenergie in kalten Klimazonen.
- Veröffentlichung der internationalen Empfehlungen für Eisfall Gutachten: "*International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments*" (IEA Wind Task 19 2018)
- Veröffentlichung der Richtlinie "*Performance Warranty Guidelines for Wind Turbines in Icing Climates*" (IEA Wind Task 19 2018)
- Ende 2018 wurde schließlich die die Zweite Version des Berichts "*Available Technologies for Wind Energy in Cold Climates*" (IEA Wind Task 19 2018b) veröffentlicht.

5.2. Ergebnisse aus dem Forschungsschwerpunkt: „Standardisierung von Eisfallrisikogutachten“

Die Zielsetzung bei dieser internationalen Empfehlung war es, dass aktuelle Wissen zu Eisfall und Eiswurf von Windkraftanlagen sowie die einschlägigen Erfahrungen aus der Industrie an einer Stelle zusammenzuführen und so eine internationale Standardreferenz für die Erstellung von Eisfall- und Eiswurf-Risikogutachten zur Verfügung zu stellen. Das Dokument behandelt daher alle wesentlichen Bausteine die notwendig sind, um das Risiko durch von Windkraftanlagen herabfallenden Eisteilen abzuschätzen und zu bewerten. Dazu gehören geeignete numerische Verfahren, Beobachtungsdaten (insbesondere zur Anzahl und Eigenschaften der Eisfragmente), Ansätze zur Definition von akzeptablen Risikoniveaus, und mögliche Maßnahmen zur Reduzierung von Risiken.

Die wichtigsten Erkenntnisse, Empfehlungen und Informationen zu den einzelnen Themenbereichen, die in den internationalen Empfehlungen festgehalten sind, sind in den folgenden Abschnitten zusammengefasst:

Mathematisches Modell

Das mathematische Modell beschreibt die Physik der Bewegung eines Eisteilchens und muss die Gewichtskraft und die aerodynamischen Kräfte auf das Teilchen beinhalten. Ausgehend von einer anfänglichen Position und Geschwindigkeit des Eisfragments zum Zeitpunkt der Ablösung von der Rotorblattoberfläche kann man daraus die Bewegungstrajektorie des Eisfragments berechnen. Rotation der Teilchen sowie aerodynamische Momente und Kräfte, die quer zur Anströmungsrichtung wirken („Auftrieb“), sind vernachlässigbar und nicht unbedingt mit zu berücksichtigen. Für die Berechnung der Widerstandskraft können konstante Widerstandbeiwerte von einer typischen Größe zwischen $C_D = 1$ und $C_D = 1,2$ verwendet werden.

Um von der Berechnung einzelner Eisteilchen auf die Gesamt-Auftreffwahrscheinlichkeit zu schließen, müssen eine große Anzahl von Teilchentrajektorien statistisch kombiniert werden. Dies kann entweder durch eine statistische Abdeckung der unterschiedlichen Parameterbereiche oder ein Monte-Carlo Modell erfolgen.

Eigenschaften der Eisfragmente

Die Eigenschaften der Eisteilchen können durch unterschiedliche Kombinationen von Parametern beschrieben werden, beispielsweise den geometrischen Abmessungen und der Eisdichte. In jedem Fall muss ein Ensemble von Eisteilchen verwendet werden, das die beobachtete Größen- und Massenverteilung der Eisteilchen wiedergibt. Beobachtungsdaten für die Abmessungen und Massen der Eisteile gibt es aus mehreren Beobachtungs- und Messkampagnen, bei denen Eisteile im Umfeld von WKA aufgesammelt und vermessen wurden. Die einzelnen Kampagnen lieferten dabei leicht unterschiedliche Ergebnisse. Das diesbezüglich einheitlichste Bild erhält man, wenn man die Häufigkeitsverteilung in Einheiten von A/m aufträgt. A ist dabei die Querschnittsfläche und m die Masse des Eisfragments. Diese Beschreibungsweise bietet sich auch aus physikalischer Sicht an: Die Bewegungsgleichungen der Eisteilchen lassen sich so umformen, dass die Eigenschaften der Eisfragmente ausschließlich in der Form des Bruches A/m auftreten.

Die beobachtete Verteilung des Verhältnisses A/m aus fünf unterschiedlichen Quellen (mit insgesamt etwa 1250 Eisfragmenten), ist in Abbildung 1 dargestellt.

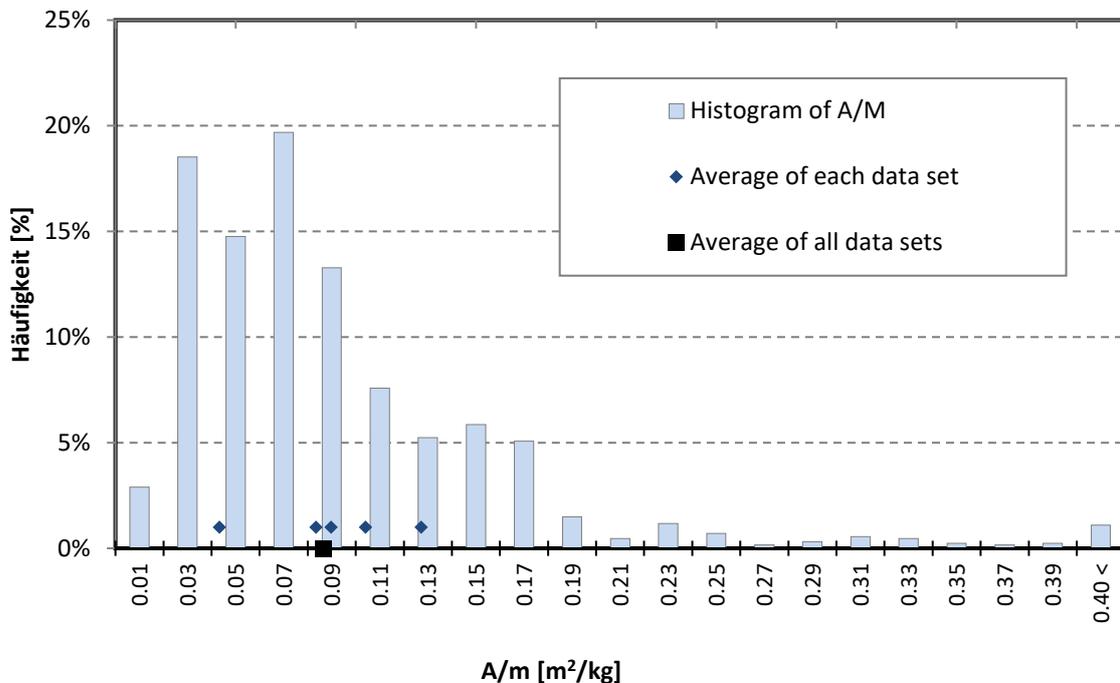


Abbildung 1: Beobachtete Verteilung des Verhältnisses A/m von aufgesammelten Eisfragmenten aus mehreren Messkampagnen. Eisfragment mit Massen über 50 g sind berücksichtigt (IEA Wind Task 19, International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments 2018).

Form und Mittelwert dieser Verteilung können von einem zum anderen Standort deutlich variieren und das lässt sich teilweise auch an der Streuung der blauen Rauten in Abbildung 1 ablesen. Neben einer statistischen Unsicherheit durch die begrenzte Anzahl der gefundenen Eisteile, lässt sich diese Streuung durch die unterschiedlichen Vereisungsbedingungen, Windbedingungen, Anlagenkonfigurationen und Betriebsweisen an den einzelnen Standorten erklären.

Anlagenkonfiguration

Die Berechnung der Auftreffwahrscheinlichkeit muss auf der konkreten Anlagenkonfiguration basieren. Dazu gehören die Abmessungen der WKA, aber auch der jeweilige Betriebsmodus der Anlage und gegebenenfalls vorhandene Eiserkennungssysteme oder Blattenteisungsanlagen. Im komplexen Gelände, muss auch die Geländetopographie für die Berechnung der Auftreffwahrscheinlichkeiten mitberücksichtigt werden.

Winddaten

Bei der Berechnung des Eisfallrisikos müssen die Windbedingungen am Standort einfließen. Für die Verteilungen (Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen) sind 10-Minuten Daten zu verwenden. Höher aufgelöste Winddaten oder Werte für die Turbulenzintensität können herangezogen werden, um den Effekt von Böen zu berücksichtigen. Die Windverteilung muss für den Zeitraum relevant sein, in dem Vereisungen auftreten können, z.B. für das Winterhalbjahr. Eine zu enge Eingrenzung der Windstatistik, z.B. ausschließlich auf den Zeitraum von beobachteten Vereisungsereignissen, ist

aber zu vermeiden. Eine Langzeitkorrektur der Windmessdaten ist erforderlich und ein Höhenprofil für die Windgeschwindigkeit muss verwendet werden.

Vereisungsdaten

Die Gesamtmasse des herabfallenden Eises und die Anzahl der Eisstücke müssen standortspezifisch festgelegt werden. Die Anzahl und Dauer von Vereisungsereignissen am Standort können dabei durch SCADA Daten von in Betrieb befindlichen WKA, Vereisungssensoren oder aus Windmesskampagnen (Anemometervereisung) erhoben werden. Die langjährige Gültigkeit der Vereisungsdaten muss dabei gewährleistet sein.

Für die standortspezifische Bestimmung der Menge und Anzahl der Eisstücke kann bspw. eine der drei folgenden Methoden verwendet werden:

- Skalierung von Beobachtungen am Standort
- Heuristische Formeln für Eislast-Massenverteilung wobei z.B. die Beschreibung aus der IEC 61400 (IEC 2018) verwendet werden kann.
- Numerische Simulation der Eisbildung

Eisfallbeobachtungen an mehreren WKA vom Typ ENERCON E-82 über einen Zeitraum von 3 Jahren bildeten die Basis für eine Abschätzung (Tabelle 2) der jährlich zu erwartenden Anzahl von Eisstücken in Abhängigkeit von den Vereisungsbedingungen am Standort (ausgedrückt über die IEA Vereisungsklasse). In Tabelle 2 sind Eisfragmente ab einer Masse von 50 g berücksichtigt.

Tabelle 2: Anzahl der zu erwartenden Anzahl von Eisstücke pro Jahr für eine Anlage vom Typ ENERCON E82 in Abhängigkeit von der IEA Vereisungsklasse (IEA Wind Task 19, International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments 2018).

IEA Vereisungsklasse	Meteorologische Vereisung [% des Jahres]	Instrumentelle Vereisung [% des Jahres]	Jährliche Ertragsverluste [%]	Jährliche Anzahl Eisstücke pro WKA
5	> 10	> 20	> 20	> 8000
4	5 – 10	10 – 30	10 – 25	4000
3	3 – 5	6 – 15	3 – 12	2000
2	0.5 – 3	1 – 9	0.5 – 5	1000
1	0 – 0.5	0 – 1.5	0 – 0.5	200

Risikobewertung

Bei der Risikobewertung wird ausschließlich das Risiko für Personen betrachtet, d.h. nicht für Sachwerte oder Infrastruktur. Das Risiko ergibt sich aus der Auftreffwahrscheinlichkeit von Eisstücken an einem bestimmten Ort mal der Aufenthaltswahrscheinlichkeit an diesem Ort. Daher muss die Frequentierung durch Fußgänger und Fahrzeugen auf den Wegen im Gefahrenbereich und der Aufenthalt von Personen unter freiem Himmel erhoben und berücksichtigt werden.

Für die relevanten Trefferflächen sollen folgende Annahmen verwendet werden:

- Für Personen der Kopf mit $0,04 \text{ m}^2$
- Für Fahrzeuge die Windschutzscheibe mit einer Fläche von 2 m^2

Bei der Risikobewertung wird zwischen dem individuellen und dem kollektiven Risiko unterschieden: Der individuelle Risikogrenzwert stellt sicher, dass durch das Vorhaben keine einzige Person eine signifikante Erhöhung ihres Todesfallrisikos hinnehmen muss. Das kollektive Risiko hingegen bemisst die Summe des Risikos für alle Personen die der Gefährdung ausgesetzt sind, also die Gesamtrisiken für die Gesellschaft durch das Vorhaben.

Bei der Beurteilung müssen immer beide Risiken, das Kollektive und das Individuelle, ausgewertet werden und mit den entsprechenden Grenzwerten verglichen werden. Bezüglich der Risikogrenzwerte können grob folgende Bereiche identifiziert werden:

- Wenn die ermittelten Risiken kleiner sind als 10^{-7} (individuell) oder 10^{-9} (kollektiv), dann sind diese viel kleiner als die anderen Risiken des täglichen Lebens und können als Vernachlässigbar angesehen werden.
- Wenn die ermittelten Risiken größer sind als 10^{-5} (individuell) oder 10^{-3} (kollektiv), dann sind diese als nicht-akzeptable einzustufen. In Solchen Fällen sind daher Maßnahmen zur Risikoreduzierung notwendig.
- Im Bereich zwischen diesen beiden Grenzen (ALARP-Bereich) sollte das Risiko durch unterstützende Maßnahmen nach Möglichkeit weiter reduziert werden.

Risikomindernde Maßnahmen:

Art und Umfang der risikomindernden Maßnahmen müssen nach standortspezifischen Kriterien festgelegt werden. Es kann sich dabei entweder um Maßnahmen handeln, die das Risiko für eine gegebene Situation verringern (bspw. Warnschilder, Warnlampen oder Absperrungen), oder, wenn das nicht ausreicht, um eine Risikominimierung durch eine Abänderung des Vorhabens (bspw. andere Positionen der WKA, andere Anlagentypen, Umleitungen von bestehenden Wegen, etc.)

5.3. Ergebnisse aus dem Forschungsschwerpunkt: „Evaluierung der Vestas Rotorblattheizung“

Die Lage der Windparks und der betrachteten WKA ist in Abbildung 2 dargestellt, der Bildausschnitt liegt überwiegend im Gemeindegebiet der Marktgemeinde Vorderweißbach.



Abbildung 2: Lage der betrachteten WKA der Windparks Sternwald II und Sternwald III. Die Staatsgrenze zur Tschechischen Republik ist als gelbe Linie dargestellt (Google Earth)

Bei den Anlagen WKA 20609 bis WKA 20614 handelt es sich um Anlagen vom Typ Vestas V90 – 2 MW. Diese Anlagen wurden im Jahr 2005 errichtet und verfügen über kein Blattenteisungssystem. Die beiden Anlagen WKA 210552 und WKA 210553 sind vom Typ Vestas V112 – 3,3 MW, wurden im Jahr 2016 errichtet und sind mit der untersuchten Vestas Rotorblattheizung ausgerüstet. Die wichtigsten Kenndaten der Windkraftanlagen sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Die beiden Vestas V112 Anlagen sind von 3,3 MW auf 2.975 kW dauerhaft gedrosselt.

Tabelle 3: Anlagenparameter der betrachteten Vestas V90 – 2 MW und Vestas V112 – 3.3 MW (Vestas 2019).

Anlagentyp		VESTAS V90 – 2 MW	VESTAS V112 – 3.3 MW
Bauart	[-]	Luvläufer mit verstellbaren Rotorblättern	
Rotortype	[-]	Dreiblattrotor, horizontale Achse	
Rotordurchmesser	[m]	90,0	112,0
Rotorkreisfläche	[m ²]	6.362	9.852
Nennleistung	[kW]	2.000	2.975
Drehzahl Rotor	[U/min]	Variabel: 8,2 bis 17,3	Variabel: 6,2 bis 17,7
Einschaltgeschw.	[m/s]	3	3
Abschaltgeschw.	[m/s]	23	25
Nabenhöhe	[m]	105	140
Schrägstellung	[°]	6	6
Blattkonus	[°]	2	4
Blattmaterial	[-]	Glasfaserverstärktes Epoxidharz und Kohlefasern	
Blattlänge	[m]	44	54,65
Rotorblattheizung	[-]	keine	Heißluft

Der Beobachtungszeitraum für die Evaluierung der Blattheizung umfasste die Zeiträume von 01.01.2017 bis 01.05.2017 und 01.10.2017 bis 01.05.2018. Für diese Perioden wurden vom Betreiber folgende Informationen zur Verfügung gestellt:

- 10-Minuten gemittelte Zeitserien für Windgeschwindigkeit, Richtung, Leistung, Gondelposition
- Liste der vereisungsbedingten Anlagenstillstände.
- Logfile Daten zum Betrieb der Blattheizung in den 3 Rotorblättern (keine Daten für den Zeitraum 01.01.2017 bis 28.02.2017)
- Informationen zur Betriebserfahrung über persönliche Kommunikation

Für eine einfachere Interpretation wurden die Ergebnisse in der Auswertung, wo sinnvoll, auf den Zeitraum von einer Winterperiode bezogen, die von Anfang Oktober bis Ende April definiert wurde. Diese Annahme lässt sich sehr gut mit den Jahrestemperaturverläufen im langjährigen Mittel (1981–2010) argumentieren, die in guter Näherung einen symmetrischen Temperaturverlauf von Anfang Oktober bis Ende April erkennen lassen. Für die Luftdichte auf Nabenhöhe der Anlage, etwa 1100 m über Normalnull, wurden die Werte der ISO Standardatmosphäre übernommen.

Betriebsverhalten der Rotorblattheizung

In Abbildung 3 ist ein Beispiel für die Wirkung der Blattheizung illustriert. In diesem Fall gibt es nach einer Phase mit geringen Windgeschwindigkeiten und Vereisungsbedingungen einen Heizungszyklus am 18. Nov. etwa bis 12:00 Uhr (mittleres Bild). Nach dieser Blattheizung befindet sich die Anlage 60 Stunden lang im Leistungsbetrieb. Die Lufttemperatur (oberes Bild) liegt während dieser Periode meist leicht unter dem Gefrierpunkt. Die zum Vergleich geplottete Anlage 20609 (Bild unten) verbleibt daher durchgehend in der Eisabschaltung. Erst nachdem die Temperaturen am 21. November wieder deutlich gestiegen sind und dadurch das Eis abschmelzen konnte, gehen auch die unbeheizten Anlagen wieder in Betrieb. Durch insgesamt zweimaligen Betrieb der Blattheizung konnten daher in diesem Fall drei Tage mit sehr guten Windbedingungen ausgenutzt werden. Am 17. November sind hingegen zwei Blattbeheizungs-zyklen ersichtlich, die zwar den Vereisungsstatus beheben konnten, auf den Energieertrag aber aufgrund der geringen Windgeschwindigkeiten keine positiven Auswirkungen hatten.

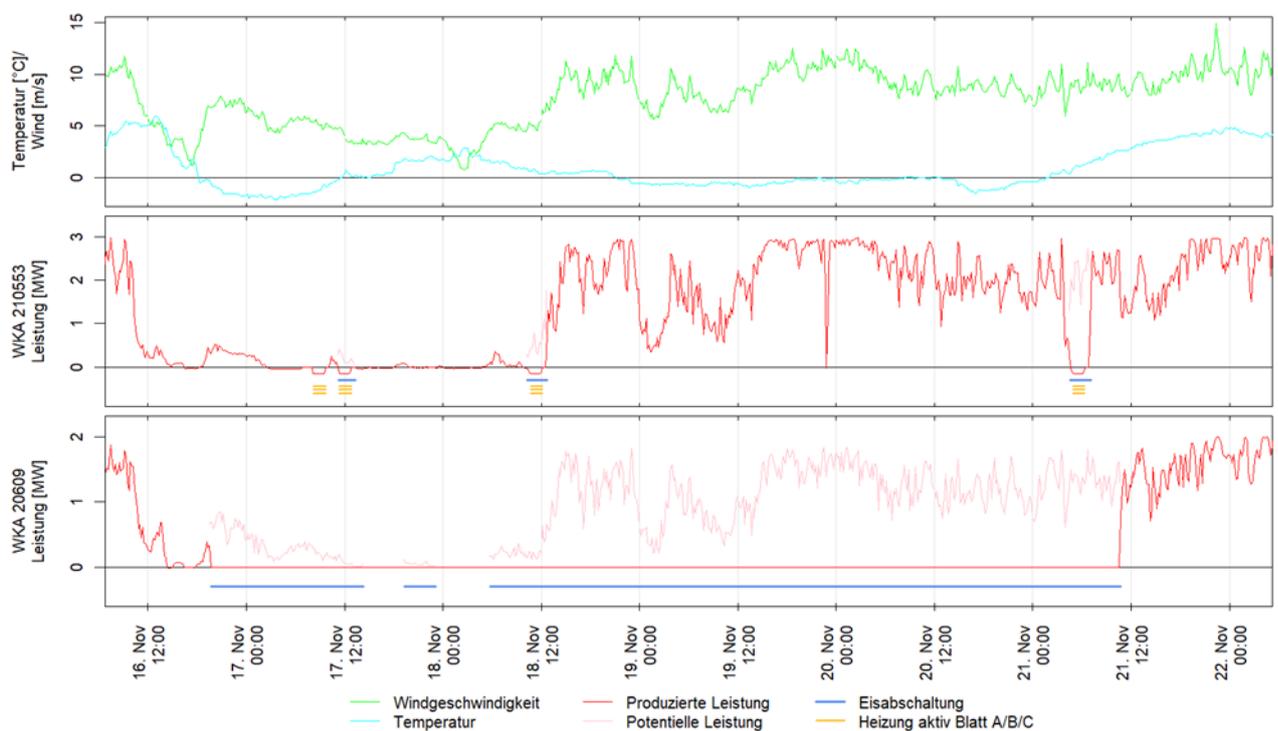


Abbildung 3: Meteorologische Bedingungen (oben) sowie produzierte Leistung und Vereisungsstatus für die beheizte WKA 21553 (Mitte) und die unbeheizte WKA 20609 (unten) im Zeitraum vom 16. bis 22. November 2017. Eisabschaltungen und aktive Blattheizung sind durch horizontale Linien gekennzeichnet. Es sind die Heizungen aller drei Blätter (A/B/C, von oben nach unten) eingezeichnet, aber nicht farblich differenziert. (Energiewerkstatt 2019)

Auswertung und Ergebnisse

Die wichtigste Größe für die Beurteilung der Blattheizung ist der Mehrertrag, der durch die Verringerung der Dauer der Eisabschaltungen erzielt werden kann. Die Ertragsverluste wurden dabei aus der Windgeschwindigkeit und den Leistungskurven der Anlagen berechnet. Als ersten

Schritt war es daher notwendig, Leistungskurven für jede der acht WKA zu ermitteln. Dafür wurden ausschließlich Zeiträume betrachtet, in denen die Anlagen sich im Produktionsstatus befanden und keine Störungsmeldungen, wie z.B. Eiserkennung, vorlagen. Als beste Alternative hat es sich dabei erwiesen, einzelne Leistungskurven für jede WKA zu erstellen und jeweils die Daten für alle Windrichtungen zusammenzufassen.

Die Haupt-Schwierigkeit bei der Errechnung der Ertragsverluste war, dass dafür die von den Gondelanemometern der WKA gemessenen Windgeschwindigkeiten verwendet wurden. Aufgrund der lokalen Umströmungsbedingungen der Gondel, und noch mehr wegen der Verringerung der Windgeschwindigkeit (indem die arbeitende WKA der Strömung Energie entzieht), müssen Gondelanemometer-Messungen mit einer Korrekturfunktion versehen werden. Zum Teil heben sich eventuelle systematische Fehler in den Gondelanemometer-Messungen in den Auswertungen wieder weg und beeinträchtigen so nicht das Ergebnis. Ein wichtiger verbleibender Punkt ist aber der, ob es zu einer systematischen Abweichung in den Gondelanemometer-Messungen kommt je nachdem ob die Anlage abgeschaltet oder in Betrieb ist. Aus einer vergleichenden Statistik der Windgeschwindigkeitsmessungen konnte nur für die V90-Anlagen tatsächlich eine solche systematische Abweichung in der Größe von 0,40 m/s bestimmt werden. Bei den V126 hingegen wurde kein signifikanter Effekt identifiziert. Die Ursache für diese Abweichungen ist nicht abschließend geklärt. Wahrscheinlichste Ursache ist die oben erwähnte Korrekturfunktion für die Gondelanemometer-Messungen.

Ertragsverluste

In Tabelle 4 sind die Anzahl und die Dauer der Vereisungen sowie die Ertragsverluste für alle Anlagen zusammengefasst. Die Mittelwerte in den letzten beiden Zeilen erlauben dabei einen Überblick über das unterschiedliche Vereisungsverhalten mit (V122) und ohne (V90) Rotorblattheizung. Bei den Ertragsverlusten der V112-Anlagen ist die für die Blattheizung aufgewendete Energie bereits mitberücksichtigt. Obwohl bei den Anlagen mit Rotorblattheizung nahezu dreimal so viele Vereisungsereignisse zu verzeichnen sind, ist die Gesamtdauer der Vereisung um mehr als die Hälfte kürzer als bei den unbeheizten Anlagen. Beim Energieertrag ist der Unterschied etwas kleiner, aber immerhin kann die Rotorblattheizung die vereisungsbedingten Ertragsverluste um 44% reduzieren. Die Angabe von Werten „pro Winter“ bezieht sich jeweils auf den Referenzzeitraum von Anfang Oktober bis Ende April.

Tabelle 4: Vereisungen und Ertragsverluste für die untersuchten Anlagen. Bei den Ertragsverlusten der V112-Anlagen ist die für die Blattheizung aufgewendete Energie bereits berücksichtigt. Die Mittelwerte in den letzten beiden Zeilen erlauben dabei einen Überblick über das unterschiedliche Vereisungsverhalten mit (V122) und ohne (V90) Rotorblattheizung. (Energiewerkstatt 2019)

WKA Typ	WKA Nummer	Anzahl Vereisungsereignisse pro Winter	Vereisungsdauer pro Winter [h]	Ertragsentgang pro Winter und MW installierter Leistung [MWh]
V90	20609	44	855	291
V90	20610	36	780	223
V90	20611	41	941	247
V90	20612	45	1034	312
V90	20613	26	849	235
V90	20614	35	986	269
V112	210552	109	363	135
V112	210553	104	412	160
V90	Alle V90	38	908	263
V112	Alle V112	106	387	147

Wenn man die Windgeschwindigkeiten der V90 Anlagen für die Perioden von Eisabschaltungen um die oben erwähnten 0,40 m/s korrigiert, dann ändert sich das in Tabelle 3 gezeigte Ergebnis geringfügig. Die Reduzierung des vereisungsbedingten Ertragsentgangs durch den Einsatz der Rotorblattheizung beträgt in diesem Fall 51%. Da der Hintergrund für diese Korrektur um 0,40 m/s nicht abschließend geklärt werden konnte, kann man die Ergebnisse aus Tabelle 4 als konservative Abschätzung ansehen, während es sich bei der 51% Reduzierung um eine bestmögliche Abschätzung handelt.

Zusammenfassung

In folgender Auflistung sind die wesentlichen Aussagen zum Betrieb der Rotorblattheizung zusammengefasst. Naturgemäß hängen diese Ergebnisse vom WKA-Typ und insbesondere von den spezifischen Vereisungsbedingungen des untersuchten Standorts ab. Bei einer Übertragung dieser Aussagen auf andere Standorte und WKA muss man daher die jeweiligen Rahmenbedingungen mit bedenken. Für die Einstufung der Vereisungsverhältnisse am Standort Sternwald kann man die Vereisungen der unbeheizten V90 Anlagen heranziehen. Demnach gibt es an dem Standort Sternwald 35 bis 45 Vereisungsereignisse pro Jahr und eine Vereisungsdauer von 9% bis 12% des Jahres. In der Kategorisierung aus (IEA Wind, 2011) entspricht das der IEA Vereisungsklasse 3.

Gesamtdauer der Vereisung: Die Gesamtdauer der vereisungsbedingten Stillstände ist bei Anlagen mit Rotorblattheizungen mit durchschnittlichen 387 Stunden pro Jahr um 57% kleiner als bei den unbeheizten Anlagen mit 908 Stunden pro Jahr.

Anzahl der Vereisungsereignisse: Die Anzahl der vereisungsbedingten Abschaltungen ist bei den Anlagen mit Rotorblattheizung mit 106 Ereignissen pro Jahr mehr als doppelt so hoch als bei den Anlagen ohne Enteisungsanlage. Die Ursache dafür ist ein sich wiederholender Zyklus von

Blattenteisung gefolgt von neuerlicher Vereisung während eines einzelnen länger andauernden meteorologischen Vereisungsereignisses. Die durchschnittliche Dauer der vereisungsbedingten Abschaltung beträgt bei den beheizten Anlagen nur 3,6 Stunden, wobei schon der Blattbeheizungszyklus alleine (der im Regelfall während der Eisabschaltung stattfindend) 2 Stunden dauert. Bei den unbeheizten Anlagen dauert hingegen eine durchschnittliche Vereisungsabschaltung etwa 24 Stunden.

Ertragsverluste: Die Ertragsverluste wurden in zwei Varianten berechnet, mit und ohne 0,4 m/s Korrektur. Je nachdem ergibt sich durch die Rotorblattheizung eine Verringerung der Ertragsverluste um 44% (konservativ) bis 51% (beste Schätzung). Für den untersuchten Standort entspricht das einem Mehrertrag durch die Blattheizung von 116 (konservativ), bzw. 151 (beste Schätzung) Volllaststunden.

Allgemeines: Der Betrieb der Rotorblattheizung führt im Regelfall zur Eisfreiheit des Rotors. Auch wenn es bei anhaltenden Vereisungsbedingungen bald zu einer neuerlichen Vereisung kommt, ist die Gesamtenergiebilanz von Produktion und notwendiger Heizenergie auch bei moderaten Windgeschwindigkeiten klar positiv. Nur bei einem kleinen Teil der Heizungszyklen ist im Anschluss keine Produktion möglich; entweder, weil die Leistungsfähigkeit der Heizung nicht ausreicht, oder weil der Wind nachlässt. Die in solchen Fällen aufgewandte Energie zur Blattheizung ist damit zwar verloren, die dadurch verursacht Ertragsminderung ist jedoch vergleichsweise gering und mangels Vorhersehbarkeit kaum zu vermeiden. Insgesamt sind die Grenzen der Leistungsfähigkeit der Rotorblattheizung an dem untersuchten Standort keine wesentliche Einschränkung. Für etwa 87% der Zeit, in der Vereisung auftritt, liegen die Wind- und Temperaturverhältnisse innerhalb des spezifizierten Betriebsbereichs des Enteisungssystems.

Die Ergebnisse dieser Studie, d.h. konkret die Verringerung der Ertragsverluste um etwa 50%, können auch als Basis für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Amortisierung) der Rotorblattheizung dienen. Eine solche Bewertung ist jedoch nur projektspezifisch für eine konkrete Anlage und einen konkreten Standort sinnvoll.

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Das Hauptziele des Task 19 ist es, die kommerzielle Nutzung von Windenergie unter Vereisungsbedingungen zu erleichtern und zu optimieren. Aus diesem Grund sind nationale und internationale Planer und Betreiber von Windenergieprojekten in vereisungsgefährdeten Regionen eine wesentliche Zielgruppe für die Ergebnisse des Task 19.

In Hinblick auf die Publikationen, die einen direkten Mehrwert für Planer und Betreiber von Windkraftanlagen haben, ist der sog. „Available Technologies Report“ zu nennen. Dieser Bericht wurde 2018 publiziert und besteht aus einer sehr großen Sammlung von Referenzen, die es dem Leser schnell und einfach ermöglicht, potentielle Lösungen für anspruchsvolle Herausforderungen der Windenergienutzung im kalten Klima zu finden. Diese Aspekte reichen von vorhandenen Lösungen hinsichtlich Rotorblattheizungen bis hin zu unterschiedlichen Produkten der Eisdetektion. Somit ist einerseits eine wirtschaftliche Verwertungsmöglichkeit gegeben, da sich Planer und Betreiber mit technischem Hintergrund und Grundkenntnissen über Windenergie einen Überblick zu vorhandenen Technologien machen können. Andererseits dient dieses Dokument auch als Orientierungshilfe für Produktentwickler und Forscher zu bisher gewählten Lösungsansätzen.

Ein zweites wichtiges Dokument für die oben angeführte kommerzielle Zielgruppe ist das Deliverable „Performance Warranty Guidelines for Wind Turbines in Icing Climates“. Dieser IEA Bericht gibt einen Überblick über die verschiedenen Garantieoptionen für Rotorblattheizungssysteme. Darin wird empfohlen, dass - sofern eine Rotorblattheizung zum Einsatz kommt - mit dem Anlagenhersteller eine Produkt-, eine Verfügbarkeits- sowie eine Leistungsgarantie verhandelt werden. Diese Garantien sollten Mindestanforderungen zur Performance der Rotorblattheizungen festlegen. Diese reichen von Festlegungen hinsichtlich der Möglichkeiten diese Festlegungen zu überprüfen über ausnahmen bis zur vertraglichen Fixierung der Konsequenzen, die sich aus den Überprüfungen der Vorgaben ergeben. Die Verwertungsmöglichkeit dieses Dokumentes liegt primär im kommerziellen Kontext. Bis dato waren WKA-Hersteller nicht bereit eine Performance-Garantie für die von ihnen angebotenen Rotorblattheizungen zu liefern. Mit diesem Dokument ist nun ein erster wichtiger Schritt getan, die WKA-Hersteller in dieser Hinsicht in die Pflicht zu nehmen.

Ein weiteres wichtiges Dokument ist die Publikation „International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments“. Die wesentlichen Ergebnisse dieses Dokumentes sind unter Kapitel 5.2 beschrieben. In Hinblick auf die Relevanz dieses Dokumentes ist festzuhalten, dass dieses einen direkten Nutzen in Hinblick auf den weiteren Ausbau der kommerziell genutzten Windenergie national und international hat. Aufgrund der Erkenntnisse dieser Publikation gibt es nun für Windkraftanlagenbetreiber mehr Planungssicherheit (z.B. hinsichtlich einzuhaltender Abstände zu höherrangigen Straßen), aber auch konkrete Empfehlungen für Behörden (z.B. hinsichtlich einzuhaltender Risikogrenzwerte oder hinsichtlich der Bewertung der Maßnahmenwirksamkeit).

Mit Blick auf die Forschungslandschaft als zweite Zielgruppe der erarbeiteten Task-19-Publikationen stellen die Internationalen Eisfallempfehlungen aber auch einen Mehrwert für Forschungsaktivitäten im Zusammenhang mit der Bewertung von Eisfall- und Eiswafrisiko dar, da aus diesem Dokument klar hervorgeht, in welchen Bereichen noch hohe Unsicherheiten herrschen und somit weitere Untersuchungen notwendig sind. Zu empfehlen sind dahingehend fortgesetzte Untersuchungen im

Hinblick auf die Auswirkungen einzelner Betriebs- und Beheizungsmodi auf das resultierende Risiko, eine Analyse der Unsicherheiten sowie Bewertungsempfehlungen für höherrangige Straßen (wie Autobahnen, Bundesstraßen).

Abschließend kann auf das von der Energiewerkstatt verfasste Dokument „Evaluierung Vestas Rotorblattheizung“ verwiesen werden. Inhalt dieses Dokument ist die Auswertung und die Beurteilung des Betriebsverhaltens der Vestas Rotorblattheizung (vgl. Kapitel 4.3). Anhand des publizierten Evaluierungsberichts ist es Planern und Betreibern von Windkraftanlagen möglich, die Wirksamkeit der Vestas Warmluft-Blattheizung einzuschätzen. Solche unabhängigen Informationen haben als Basis für das Treffen wirtschaftlicher Entscheidungen eine wichtige Bedeutung. Auch wenn zum Teil die standortspezifischen Vereisungsbedingungen eine große Rolle spielen, sind die hier vorliegenden Evaluierungsdaten durch den geographischen und klimatologischen Bezug insbesondere für Österreichische Betreiber und Projektierer interessant. Ein zweiter wichtiger Punkt in dieser Hinsicht ist, dass die Betriebsweise der untersuchten Windkraftanlagen der Österreichischen Genehmigungspraxis entspricht. Im Betrieb unter Vereisungsbedingungen gibt es im internationalen Vergleich durchaus deutliche Unterschiede. So ist es im skandinavischen Raum beispielsweise üblich, die Anlagen auch unter Vereisungsbedingungen weiter zu betreiben, wodurch die Eisstücke nicht bloß von den Rotorblättern abfallen, sondern vom sich drehenden Rotor weggeschleudert werden (Eiswurf statt Eisfall). Aufgrund der rasant fortschreitenden Entwicklung bei den WKA (insbesondere in Hinblick auf stetig größer werdenden Anlagen) erscheinen weitere Untersuchungen zur Performance der Rotorblattheizungen – auch von anderen WKA-Herstellern und alternativen Beheizungstechnologien - erforderlich. Dies wird untermauert durch die Tatsache, dass die Hersteller bis dato nicht bereit sind, Garantien zur Performance ihrer Rotorblattheizungen zu geben.

Neben den Publikationen in Form von Berichten, die auf diversen Homepages (i.e. IEA Wind, Energiewerkstatt und NachhaltigWirtschaften) zum Download bereitgestellt sind, gab es in den vergangenen Jahren mehrere Präsentationen bei diversen Veranstaltungen und Konferenzen (Winterwind, EWEA, VGB Workshop,...). Um darüber hinaus eine bestmögliche Verbreitung der Ergebnisse bei der österreichischen Zielgruppe zu erreichen, erfolgte die Vernetzung und Ergebnisverbreitung vielfach unter Einbeziehung und Mithilfe der IG Windkraft.

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Aufgrund der meteorologischen Verhältnisse an den österreichischen Standorten ist „Windenergie in kalten Klimazonen“ auch in Zukunft ein wichtiges Thema. Demnach haben die Aktivitäten im IEA Wind Task 19 weiterhin eine hohe Relevanz für die Österreichische Windenergie. Dies gilt nicht nur für die gemeinsam im Task erarbeiteten Publikationen (wie den „Recommended Practices Report“ oder den „Available Technologies Report“), sondern insbesondere für die Veröffentlichung der sog. Internationalen Eisfall-Empfehlungen. Dieses Dokument wurde in der österreichischen Windenergiebranche mit großem Interesse wahrgenommen und man erkennt bereits jetzt dessen Einfluss auf die österreichische Genehmigungspraxis.

Auch wenn mit der Veröffentlichung der Internationalen Empfehlungen des Task 19 ein wichtiger Meilenstein in der Vereinheitlichung und Standardisierung in der Erhebung und Bewertung von Eisfallrisiken erreicht wurde, kann das letztlich nur ein Zwischenschritt zu einer abschließenden und zufriedenstellenden Behandlung des Themas sein. So ist beispielsweise das theoretische Verständnis der Prozesse des Anwachsens und des Ablösens von Eis von der Rotorblattoberfläche nach wie vor ungenügend. Daher sollte das Problem des Eisfallrisikos und der diesbezüglichen Datenbasis, insbesondere in geographischem Bezug zu Österreichischen Standorten, weiterhin ein Schwerpunkt nationaler Forschungsanstrengungen sein.

Als Teil der sechsten Periode des Task 19, der von 2019 bis 2021 laufen wird, wird sich daher die Energiewerkstatt weiterhin mit der Bewertung des Risikos durch Eisfall und Eiswurf auseinandersetzen. Im Rahmen eines Sub-Tasks soll dabei die Unsicherheiten in der Bewertung des Eisfallrisikos genauer betrachtet werden. Als Endergebnis dieser Anstrengungen soll dann die 2018 publizierte Internationale Empfehlung für die Erstellung von Eis-Risikogutachten durch eine neue ergänzte und aktualisierte Version ersetzt werden.

Darüber hinaus wird sich der Task 19 mit diversen anderen Themen im Zusammenhang mit der Windenergienutzung in kalten Klimazonen in den kommenden Jahren auseinandersetzen. Dies betrifft einerseits Aspekte, die einen direkten Einfluss auf den Zubau der Windenergie unter Vereisungsbedingungen haben, aber auch Aktivitäten in Hinblick auf die Standardisierung von Abläufen sowie in Hinblick auf erhöhte Sicherheit und verbesserte Akzeptanz. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Inhalte, die der Task 19 für die kommende Periode geplant hat.

Task 19 topics	Deployment of wind energy in cold climate	Towards standardized practices for cold climate solutions	Safety and acceptance
Motivation	Increase industrial awareness and interest	Bringing cold climate issues in guidelines and standards	Improving safety and removing cold climate specific barriers
Deliverables	Market study update 2020-2025 Fact sheet: icing forecast benefits IPS & retrofit presentation Available Technologies wiki	Finalize work with IEC 61400-15 "Site assessment" T19IceLossMethod: for IPS Performance warranty guidelines for IPS: testing details development Performance evaluation guidelines for ice detection systems Best practices for testing icephobic surfaces Recommended Practices report & fact sheet	Ice throw guidelines: uncertainty and turbine control Iced turbine sound emissions summary presentation

Abbildung 4: Geplante Themen und Inhalte des Task 19 für die Periode 2019-2021 (Lehtomäki 2018).

In diesem Licht, und da in Österreich der Anteil der Windenergie an der Energieproduktion in den nächsten Jahren weiter stark steigen soll, ist daher auch in Zukunft der laufende Kontakt und Austausch mit internationalen Partnern im Rahmen des IEA Wind Task 19 von großem Wert für die österreichische Windenergie.

Literaturverzeichnis

DNV-GL. „Recommended Practice: Icing of wind turbines DNVGL-RP-0175.“ 2017.

Energiewerkstatt. „Evaluierung Vestas Rotorblattheizung.“ 2019.

IEA Wind. „Expert Group Study On Recommended Practices 13. Wind Energy Projects In Cold Climates, 2. Ed.“ 2017.

IEA Wind Task 19. „Available Technologies for Wind Energy in Cold Climates, 2nd Edition.“ 2018b.

IEA Wind Task 19. „International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments.“ 2018.

IEA Wind Task 19. „Performance Warranty Guidelines for Wind Turbines in Icing Climates.“ 2018.

IEC. „IEC 61400-1 Ed.4, Wind Energy Generation Systems - Part 1: Design requirements, 88/521/CD, IEC FDIS 61400-1.“ International Electrotechnical Commission, 2018.

International Organization for Standardization. „Atmospheric icing of structures - Second edition.“ *ISO 12494:2017*. 2017.

Krenn, A., T. Roßboth, und J. Klappacher. „Vergleichende Bewertung des Eisfallrisikos von beheizten und unbeheizten Windkraftanlagen im nördlichen Burgenland.“ 2018.

Lamraoui, F., G. Fortin, R. Benoit, J. Perron, und Ch. Masson. „Atmospheric icing impact on wind turbine production.“ *Cold Regions Science and Technology 100*, 2014: 36.

Lehtomäki, Ville. *Annex 19 – Task Extension Proposal 2019-2021*. Washington: IEA Wind, 2018.

Lehtomäki, Ville. „IEA Wind Task 19, “Emerging from the cold”.“ *WindPower Monthly*, 29. July 2016.

Task 19. „T19IceLossMethod: <https://community.ieawind.org/task19/t19icelossmethod>.“ 2018.

Vestas. „Vestas 2MW Plattform.“ 2019. <https://www.vestas.com/en/products/2%20mw%20platform> (Zugriff am 9. Jänner 2019).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beobachtete Verteilung des Verhältnisses A/m von aufgesammelten Eisfragmenten aus mehreren Messkampagnen. Eisfragment mit Massen über 50 g sind berücksichtigt (IEA Wind Task 19, International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments 2018).	17
Abbildung 2:	Lage der betrachteten WKA der Windparks Sternwald II und Sternwald III. Die Staatsgrenze zur Tschechischen Republik ist als gelbe Linie dargestellt (Google Earth)	20
Abbildung 3:	Meteorologische Bedingungen (oben) sowie produzierte Leistung und Vereisungsstatus für die beheizte WKA 21553 (Mitte) und die unbeheizte WKA 20609 (unten) im Zeitraum vom 16. bis 22. November 2017. Eisabschaltungen und aktive Blattheizung sind durch horizontale Linien gekennzeichnet. Es sind die Heizungen aller drei Blätter (A/B/C, von oben nach unten) eingezeichnet, aber nicht farblich differenziert. (Energiewerkstatt 2019).....	22
Abbildung 4:	Geplante Themen und Inhalte des Task 19 für die Periode 2019-2021 (Lehtomäki 2018).....	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Teilnehmende Nationen in der fünften Periode des Task 19.	11
Tabelle 2:	Anzahl der zu erwartenden Anzahl von Eistücke pro Jahr für eine Anlage vom Typ ENERCON E82 in Abhängigkeit von der IEA Vereisungsklasse (IEA Wind Task 19, International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments 2018).	18
Tabelle 3:	Anlagenparameter der betrachteten Vestas V90 – 2 MW und Vestas V112 – 3.3 MW (Vestas 2019).	21
Tabelle 4:	Vereisungen und Ertragsverluste für die untersuchten Anlagen. Bei den Ertragsverlusten der V112-Anlagen ist die für die Blattheizung aufgewendete Energie bereits berücksichtigt. Die Mittelwerte in den letzten beiden Zeilen erlauben dabei einen Überblick über das unterschiedliche Vereisungsverhalten mit (V122) und ohne (V90) Rotorblattheizung. (Energiewerkstatt 2019).	24

Abkürzungsverzeichnis

ALARP	As low as reasonably practicable („so niedrig, wie vernünftigerweise praktikabel“, Ein Prinzip der Risikoreduzierung)
bmvit	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
ExCo	Executive committee der IEA Wind
FFG	Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
IEA	International Energy Agency (Internationale Energieagentur)
IGW	Interessengemeinschaft Windkraft Österreich
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Anlagen-Leittechnik und Überwachung)
WKA	Windkraftanlage



Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

bmvit.gv.at