

Eisfall von Windkraftanlagen

Bei entsprechenden Witterungsbedingungen kommt es zu Vereisung an Windkraftanlagen (WKA). Konkret sammelt sich vor allem an den Rotorblättern meist Raueis an. Im Gegensatz zu Klareis (das nur bei Eisregen auftritt) entsteht Raueis, wenn Wassertröpfchen auf die Rotorblätter aufprallen und dort anfrieren. Dieses Eis ist undurchsichtig, weniger fest und weist eine geringere Dichte als Klareis auf, allerdings können sich mehrere 100 bis 1000 kg Eis auf einer großen Windkraftanlage sammeln. In den derzeit für Windkraft genutzten Gebieten kommt dies typischerweise an wenigen Tagen im Jahr vor, je nach Region ist aber auch häufigeres Auftreten möglich.

Aktueller Stand in Österreich

In den meisten österreichischen Bundesländern müssen WKA diese Eisbildung mithilfe von Sensoren erkennen und automatisch in den sogenannten Trudelbetrieb wechseln, bei dem sich die Rotorblätter nur mehr mit sehr geringer Geschwindigkeit bewegen. Diese Maßnahme dient dazu, das Abwerfen von Eis mit hoher Geschwindigkeit zu verhindern. Dennoch fällt das angesammelte Eis zwangsläufig von der Anlage ab und kann, auch bei niedriger Geschwindigkeit, für Personen und Infrastruktur eine Gefahr darstellen. Dies ist insbesondere für die jetzt vermehrt zu erschießenden alpinen Lagen relevant, aber selbst in vergleichsweise warmen und flachen Gebieten wie dem Burgenland nicht zu ignorieren. Um damit adäquat umzugehen und die gewünschte Sicherheit zu gewährleisten, ist es notwendig, Fall- bzw. Wurfweiten möglichst genau einzuschätzen.

Eisfall

Die Gefährdung durch Eiswurf und -fall wird seit mindestens 30 Jahren wissenschaftlich bearbeitet. Eine wesentliche Herausforderung ist dabei, dass detaillierte Beobachtungen sehr schwer durchzuführen sind. Das liegt unter anderem an den ungünstigen Witterungsbedingungen, da Eisfall häufig bei Schneefall oder Nebel, oft auch nachts, stattfindet.

Daher wurde am Institut für Sicherheits- und Risikowissenschaften (ISR) erstmalig ein experimenteller Ansatz gewählt. Dazu wurden in einer Monitoring-Kampagne von WKA gefallene Eisfragmente gesammelt und 3D-Scans davon angefertigt. Auf dieser Basis wurden sehr naturnahe Probekörper durch 3D-Druck hergestellt (siehe Abb. 1). Somit konnten Kunststoff-Probekörper, die in Form und Gewicht realen Eisfragmenten entsprechen, von WKAs unterschiedlicher Höhe bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten abgeworfen werden. Hierbei wurden nicht nur Fallweiten erhoben, sondern auch die Flugbahnen selbst erfasst. Eine wesentliche Erkenntnis hierbei ist, dass Eisfragmente über ein ausgeprägtes aerodynamisches Profil verfügen und komplexe Bewegungsmuster aufweisen. Diese führen vor allem zu starken Abweichungen der Fallrichtung von der Windrichtung, wodurch Eisfragmente an Punkten aufschlagen, die trivial nicht erwartet werden.

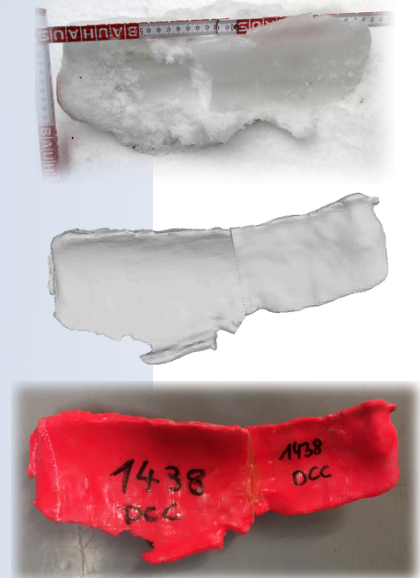


Abb 1: Herstellung eines Probekörpers: Probenahme im Feld, 3D Scan und 3D Druck

Ballistische Modelle

Zur theoretischen Beschreibung der Flugbahn von Eisfragmenten werden nach Empfehlung der International Energy Agency (IEA) überwiegend ballistische Modelle angewandt. Diese Modelle ermöglichen es, die Trajektorie eines Eisstückes zu berechnen. Dazu werden dessen Eigenschaften (Geometrie, Gewicht), seine Anfangsgeschwindigkeit und die vorherrschenden Windverhältnisse berücksichtigt. Das verbreitetste Modell (Biswas-Modell) beschreibt hierbei ein Eisfragment als kugelförmig mit bestimmter Größe, Masse und Luftwiderstand (Biswas et al 2012). Dieses Modell ist für einfache Abschätzungen gut geeignet, kann aber beispielsweise Abweichungen von der Windrichtung oder zusätzlichen Auftrieb nicht beschreiben, da es die Form der Eisstücke ignoriert. Daher wurde am ISR als Alternative ein Sechs-Freiheitsgrade-Modell (6DOF) entwickelt, das die auf ein Eisstück wirkenden Kräfte und Drehmomente beschreibt.

Dadurch wird die Beschreibung wesentlich komplexerer Flugbahnen, wie z.B. schraubenförmige Trajektorien, möglich. Um diese Beschreibung mit akzeptabler Rechenzeit zu ermöglichen, werden Kräfte und Momente im Vorfeld mithilfe numerischer Strömungsmechanik-Methoden berechnet und als Tabelle abgelegt, aus der die Daten für die endgültige Simulation abgerufen werden können.



Ein wesentliches Problem lag bisher mangels geeigneter Daten in der Validierung von Modellen. Erst durch die vom ISR durchgeführten Experimente wurde eine Überprüfung der Simulationsergebnisse möglich. Hierbei zeigt sich, dass im sehr einfachen Biswas-Modell (Referenz-Modell) die Fallweiten stark überschätzt werden, die Breite der Verteilung aber deutlich unterschätzt wird (Abb. 2 rechts). Das vorgeschlagene 6DOF-Modell zeigt - wie in Abb. 2 links zu sehen ist - eine wesentlich bessere Übereinstimmung. Die dargestellten Rechnungen und Experimente zeigen weiter, dass der Großteil des Eises in der Nähe der Anlage (Rotorradius) abfällt. Einzelne Eisfragmente können aber auch Fallweiten, die der Anlagenhöhe und mehr entsprechen, erreichen.

Risikobewertung

Zur Darstellung des Risikos durch Eisfall oder Eiswurf werden üblicherweise „Risikokarten“ erstellt. Diese zeigen die Wahrscheinlichkeit, dass eine hypothetische Person, die sich das gesamte Jahr über an einem bestimmten Punkt aufhält, durch ein Eisstück verletzt wird. Dazu werden mehrere Millionen Würfe von Eisfragmenten simuliert und die Häufigkeit, mit der bestimmte Punkte in der Simulation getroffen werden, berechnet. Mit der zusätzlichen Information über die Geschwindigkeit, mit der ein Eisfragment auftrifft, lässt sich dessen Gefährlichkeit quantifizieren. Um aus den berechneten Häufigkeiten konkrete Maßnahmen ableiten zu können, sind Grenzwerte für die Sicherheit notwendig.

Diese sind primär gesellschaftliche Entscheidungen, die sich nicht allein aus wissenschaftlich-technischen Betrachtungen ableiten lassen, sondern die Faktenbasis mit einer Wertebene, d.h. einem akzeptablen Risiko, verknüpfen.

Am ISR wird zur praktischen Eingrenzung des Risikos die ALARP-Methode (as low as reasonably possible) herangezogen. Bei dieser werden zwei Grenzen definiert: eine für eindeutig „zu hohes Risiko“ und eine für „ausreichend niedriges Risiko“. Im Bereich zwischen diesen Grenzen sind alle möglichen Maßnahmen zu treffen, um das Risiko weiter zu reduzieren, die möglich und praktisch zumutbar sind (siehe Abb. 3). Übliche Maßnahmen sind aktive Warnschilder (Blinklicht bei Vereisung, aussagekräftige Piktogramme), ggf. Verlegung von Wegen am besten bereits in der Bauphase oder Warnung an Anwohner*innen per SMS.

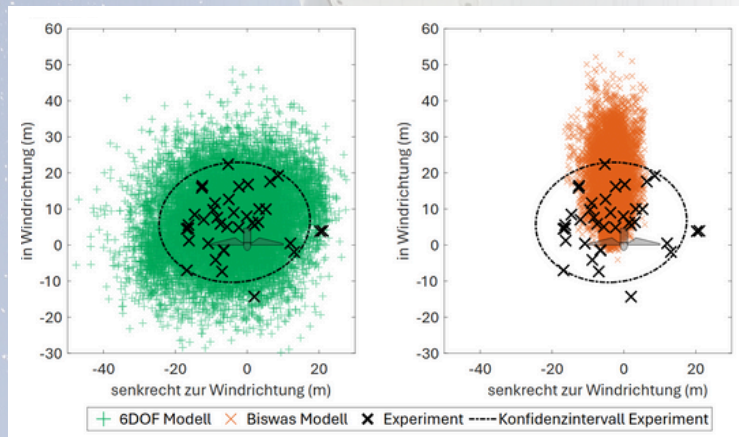


Abb. 2: Vergleich simulierter Auftreffpunkte im neuentwickelten Sechsfreiheitsgrade-Modell (links, grün) und Referenz-Modell (rechts, orange) mit experimentell ermittelten Auftreffpunkten künstlicher Eisfragmente (schwarze X). In diesem Experiment fallen alle Eisstücke aus einer Höhe von 100 m von der Gondel der Anlage (nicht maßstabsgetreu). Das strichliniert markierte Konfidenzintervall für die experimentellen Daten (90% der Eisfragmente landen innerhalb dieses Bereichs) ist weitestgehend deckungsgleich mit dem entsprechenden Konfidenzintervall im Sechsfreiheitsgrade-Modell des ISR. Das bisher eingesetzte Biswas-Referenz-Modell kann den tatsächlichen, experimentell ermittelten Eiswurf wesentlich weniger genau wiedergeben.

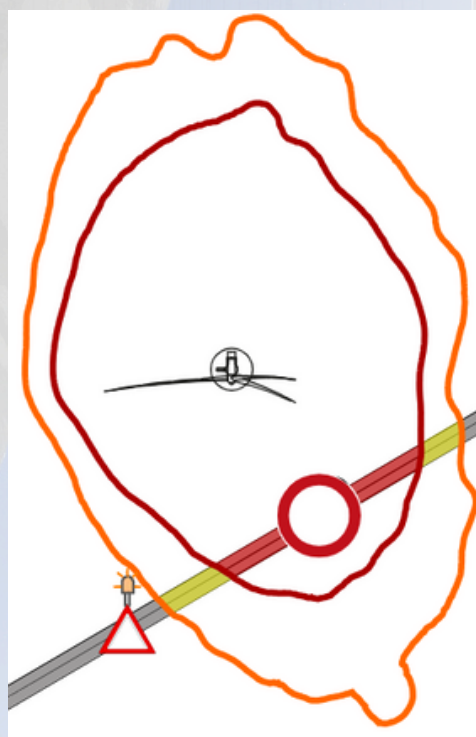


Abb 3: Beispiel für Risikobereiche um eine WKA. Gebiete innerhalb der roten Linie weisen ein zu hohes Risiko auf, wie etwa der rot markierte Straßenabschnitt. Diese Bereiche wären bei Eiswurf tatsächlich zu sperren. Gebiete außerhalb der orangen Linie müssen nicht näher betrachtet werden, während für die gelb markierten Bereiche dazwischen das Risiko möglichst minimiert werden muss, was beispielsweise durch entsprechende Warnanlagen (Warnschild mit Warnbeleuchtung) gewährleistet werden kann.

Fazit

Dein Eisfall von Windkraftanlagen ist ein derzeit unvermeidliches aber wohlbekanntes Problem, das allerdings - standortabhängig - auf Bereiche unmittelbar um die Anlage beschränkt ist, nur an wenigen Tagen pro Jahr auftritt und durch verschiedene Maßnahmen technisch beherrschbar ist. Neue Modelle erlauben eine gute Einschätzung des Risikos, dem mit diversen Maßnahmen begegnet werden kann. Üblich ist hierbei die automatische Erkennung von Vereisung und daraufhin Reduktion der Drehzahl der Anlage, wodurch die möglichen Fallweiten drastisch verringert werden. Weiters ist eine Berücksichtigung des Eisfallrisikos bereits in der Planungsphase essentiell. Dadurch ist es möglich, die Position von Anlagen anzupassen und geeignete Maßnahmen zur Warnung bei möglichem Eisfall zu setzen.

Darüber hinaus existieren weitere technische Möglichkeiten, wie beispielsweise das Beheizen der Rotorblätter, um die Vereisungshäufigkeit herabzusetzen. Im Lichte dieser neuen Erkenntnisse ist zu diskutieren, welche Maßnahmen zur Vermeidung dieses Risikos als Standard etabliert werden sollen. Jedenfalls erscheint es notwendig, akkuratere Modelle, wie beispielsweise das vorgestellte Sechsfreiheitsgrade-Modell des ISR, weiter zu entwickeln und einzusetzen um eine realistische Einschätzung des Risikos zu ermöglichen.