Risikoabschätzung des Eisabwurfs von Windenergieanlagen

Henry Seifert

Forschungs- und Koordinierungsstelle Windenergie
Hochschule Bremerhaven

Eis & Fels 07
Andermatt / Schweiz 21. & 22. Juni 2007

Foto: Rudolf Wiesnegger, Tauernwind

Betrieb in kaltem Klima beeinflußt:

WEA - Auslegung	Sicherheit	Wirtschaftlichkeit
Aerodynamik Lasten Dynamik Regelung Betriebsführung Instrumentierung Material	Eisabwurf Eisabfall Unwucht Resonanz Überleistung Fatigue	Energieproduktion Standortprognose Windmessungen Lebensdauer WEA-Ausrüstung Wartung & Reparatur

Wie ist das Risiko durch Eiswurf erkennbar?

1. Direkte Beobachtung

2. Indirekte Beobachtung

3. Gerüchte: Es wurde berichtet, dass .....

4. Forschungsprojekte

1 - 3 Zeitungsartikel: “Waldarbeiter wurden beinahe durch ....
Versicherungen: “Auto von Eisbrocken beschädigt“
Windenergiegegner veröffentlichen Vorfälle:

Beispiel: “kg-schwere Eisstücke mehrere 100m weit ..... “

Direkte Beobachtung

Web-Cam Oberzeiring 08.01.2003 11:39

Ref.: 1 MW-WT Schmidtsreute,
87487 Wiggensbach. Sonntag den 18.02.2001, 16:00 Uhr.

Indirekte Beobachtung

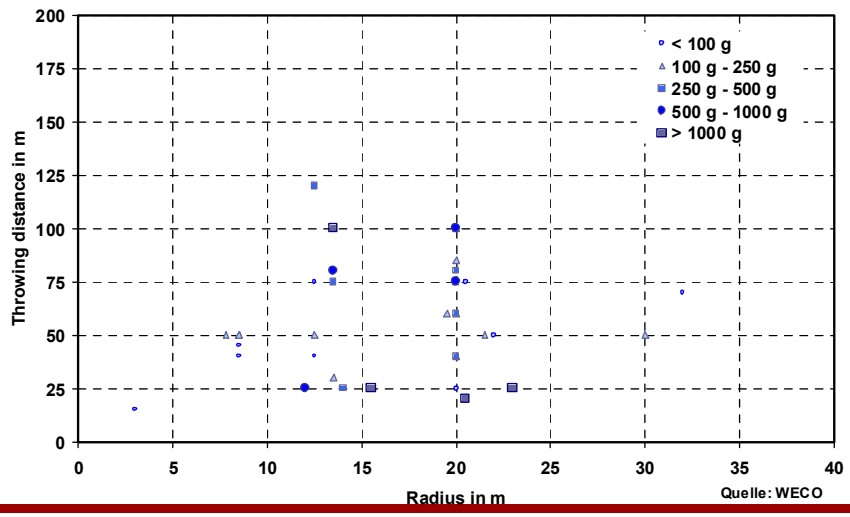
Gerüchte: Man hat erzählt, dass .....

In der Zeitung gelesen:

"Der Eisbrocken ist nicht von meiner WKA heruntergekommen! Den muß wohl ein Bauer mit seinem Traktor verloren haben" WKA-Betreiber Jörg Temme in Sefferweich bei Bitburg / Rheinland-Pfalz, am 26.2.2002, als sich vor den Augen von CDU-Landtagsabgeordneten ein Eisbrocken von einer WKA löste und in der Nähe der Personen einschlug.

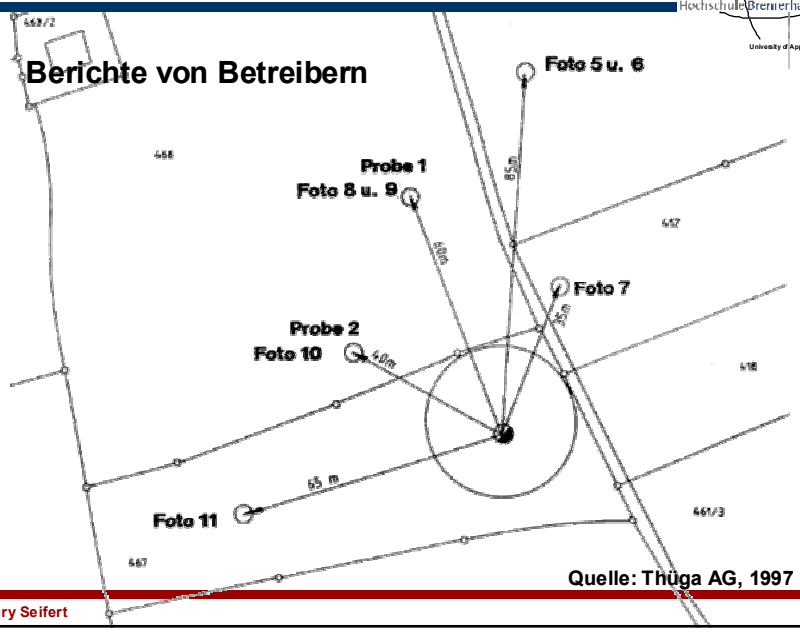
Hochschule Bremerhaven
University of Applied Sciences

Beobachtungen im WECO Projekt



Quelle: WECO

Berichte von Betreibern



Quelle: Thüga AG, 1997

Was macht die mögliche Gefährdung aus?

Windenergieanlagen werden normalerweise aus Gründen der Einhaltung von Geräuschgrenzen und Minimierung des Schattenwurfs weit entfernt von Häusern, Ansiedlungen, Industrie, etc. aufgestellt.

Daher sollte Eiswurf kein Problem darstellen.

Aber

Windenergieanlagen werden aus infrastrukturellen Gründen (kurze Zugangsstraßen, Netzanbindung, etc.) sehr dicht an Wegen und öffentlichen Straßen aufgestellt. Hier entsteht durch Eiswurf ein Risiko für Passanten und Verkehr

Verschiedene Strategien werden bei Auftreten von Vereisung verfolgt:

- WEA bleibt in Betrieb, keine spezielle Ausrüstung oder Aktion
- WEA bleibt in Betrieb, de-icing - Systeme werden aktiviert
- WEA bleibt in Betrieb, anti-icing - Systeme werden aktiviert
- WEA wird in gestoppt
  - wegen zu wenig Wind
  - wegen “schlechterer Aerodynamik” durch Eisansatz
  - durch die Betriebsführung und ihre spezielle Sensorik

Je nach verfolgter Strategie ist der Eiswurf unterschiedlich zu betrachten

Lastannahmen, durch die IEC 61400-1 gefordert:

Eis ist als extreme externe Bedingung definiert

	External conditions	
Operating conditions	normal	extreme
normal	N	E
fault situation	S	-
erection	M	-

N = normal design situations and normal external conditions;
E = normal design situations and extreme external conditions;
S = fault design situations and appropriate external conditions;
M = transportation, installation and maintenance design situations and the appropriate external conditions.

Die Philosophie der Normen und Richtlinien:
Es treten keine Fehler bei extremen externen Bedingungen auf:
Daher: Keine Fehler bei Vereisungsbedingungen

Wie kann eine Vereisungssituation erkannt werden?

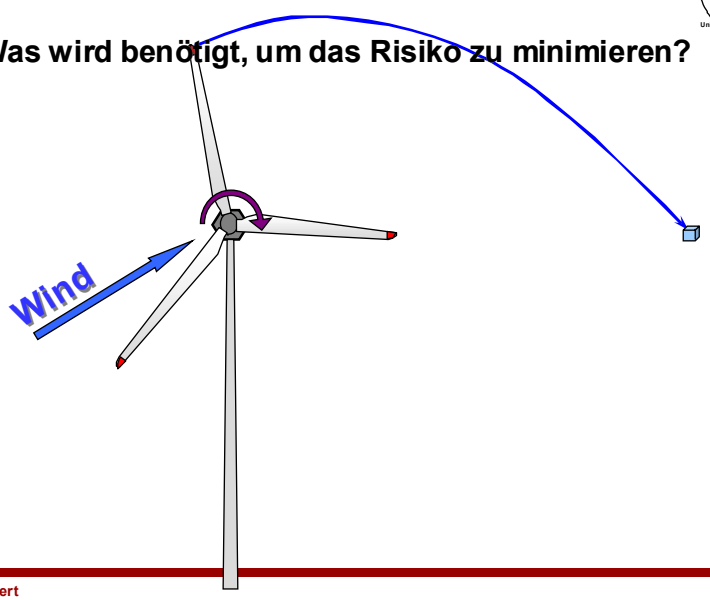
Spezielle Sensoren

2 Gondelanemometer (eines schalenbeheizt)

Check der Leistungskurve
(mit schalenbeheiztem Gondelanemometer)

Weitere .....

Was wird benötigt, um das Risiko zu minimieren?



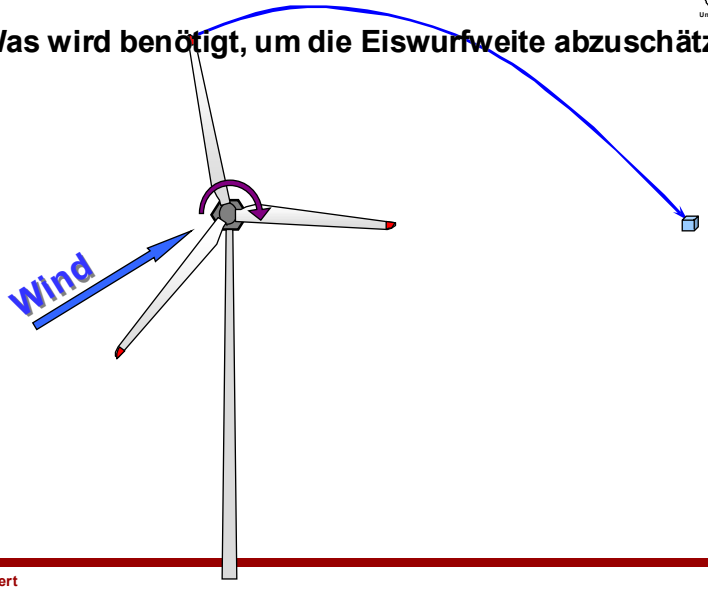
Warnschilder

Hochschule Bremerhaven
University of Applied Sciences

Warnschild und Warnsignal

Es gibt noch kein international genormtes Warnschild

Was wird benötigt, um die Eiswurfweite abzuschätzen ?



Hochschule Bremerhaven
University of Applied Sciences

Ausgangslage: Eisbildung an der Rotorblattvorderkante

Weggeschleudertes Eisstück

Was wird an Information und Daten benötigt?

Betriebsführung/Regelung (pitch, stall, active stall)

WEA - Geometrie (Rotordurchmesser, Nabenhöhe, etc.)

Rotordrehzahl (dimensionierende Größe)

Masse und Größe der abgeworfenen Einstücke

Widerstandsbeiwert der Eisstücke

Windrichtung und Windgeschwindigkeit

Orographie

Worst case Szenario

WT - and input data for "ICETHROW" - Calculation

Typische Eingabedaten

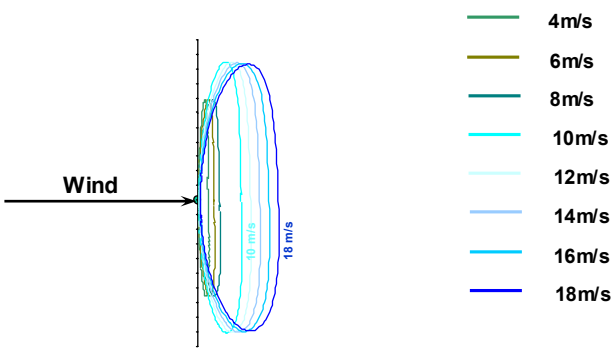
Manufacturer	Testwind OY	
WEA-Typ	Proto 50	
Rated Power	800	kW
Hubheight	60	m
Rotor diameter	50	m
Height of site NN	120	m

v_{in}	4.0	m/s
v_{rated}	12.0	m/s
rpm_{min}	15.0	min^{-1}
rpm_{max}	29.2	min^{-1}

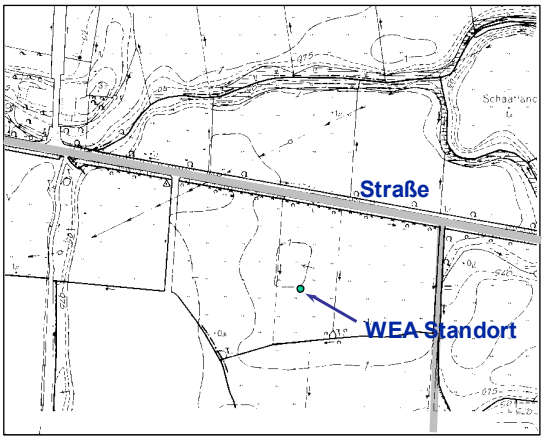
v_{Wind}	rpm
4	15.0
6	18.6
8	22.1
10	25.7
12	29.2
14	29.2
16	29.2
18	29.2
20	29.2
22	29.2

Air density ρ_{air} at 0°C and HH	1.2637	kg/m³
Drag coefficient c_d	1.2	
Chord length t_{tip}	0.45	m
Thickness of airfoil h_{tip}	0.0675	m
Depth of piece t_{ea}	0.0667	m
Frontal aera of ice piece A_{ice}	0.0675	m²
Lenght of piece l_{ice}	1.00	m
Density of ice ρ_{ice}	800	kg/m³
Mass of ice fragment m_{ice}	3.60	kg
File name	TESTWIND_50_01	

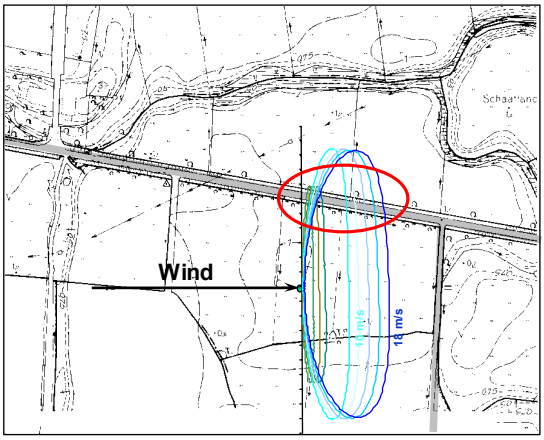
Typisches Ergebnis bei WEA im Betrieb



Typisches Ergebnis bei WEA im Betrieb

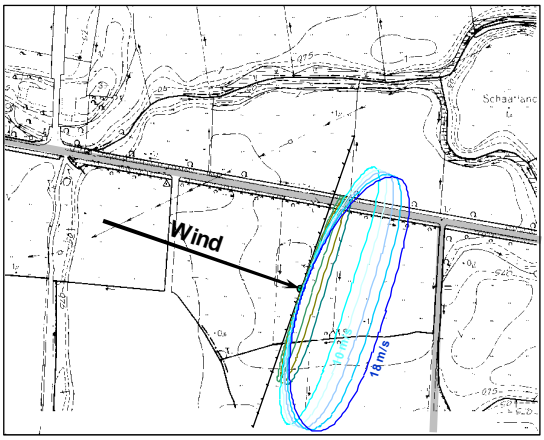


Typisches Ergebnis bei WEA im Betrieb



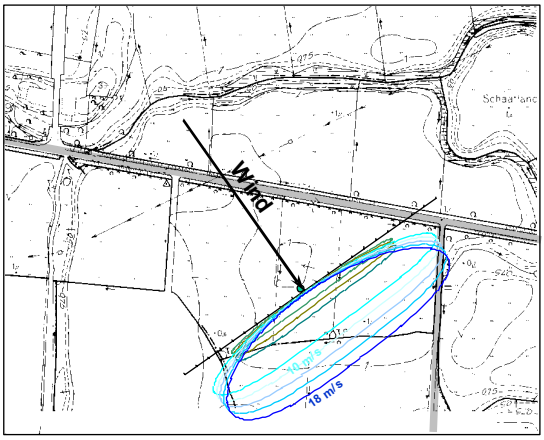
Gefährdung der Straße
WEA muss abgeschaltet werden

Typisches Ergebnis bei WEA im Betrieb



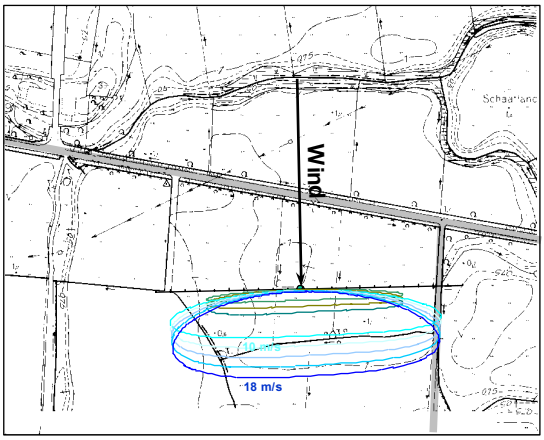
Gefährdung der Straße nur bei 2. Laststufe
WEA kann in kleiner Drehzahl laufen

Typisches Ergebnis bei WEA im Betrieb



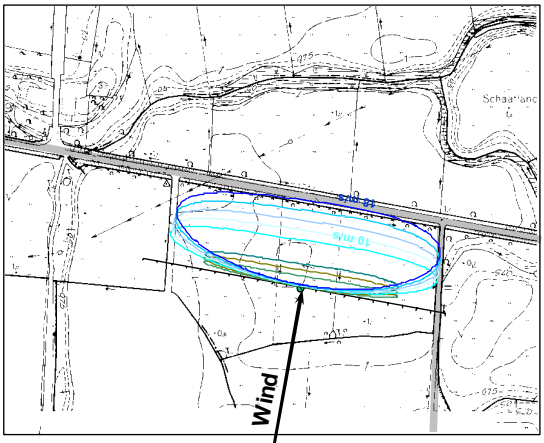
Keine Gefährdung der Straße
Weg kann gesperrt werden

Typisches Ergebnis bei WEA im Betrieb



Keine Gefährdung der Straße

Typisches Ergebnis bei WEA im Betrieb



Keine Gefährdung der Straße bei Wind <18 m/s

Aus den Berechnungen und Abschätzungen ergibt sich eine vereinfachte Empfehlung:

$$d = (D + H) \cdot 1.5$$

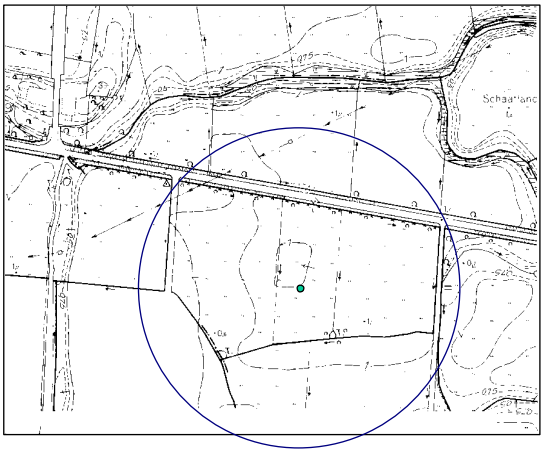
d = maximale Wurfweite in m

D = Rotordurchmesser in m

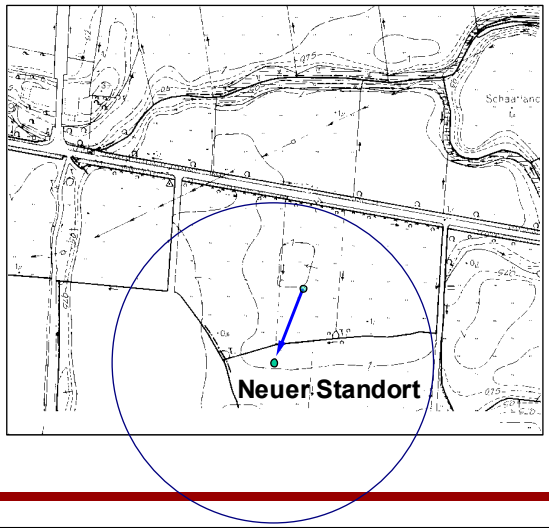
H = Nabenhöhe in m

Quelle: WECO Projekt

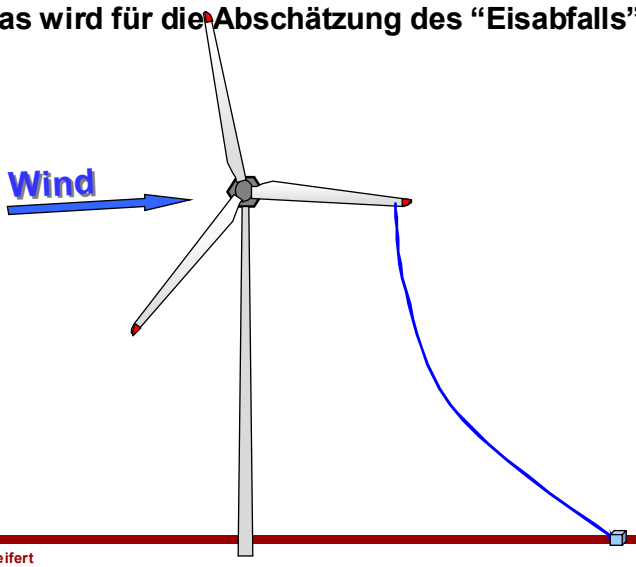
Vereinfachte Annahmen

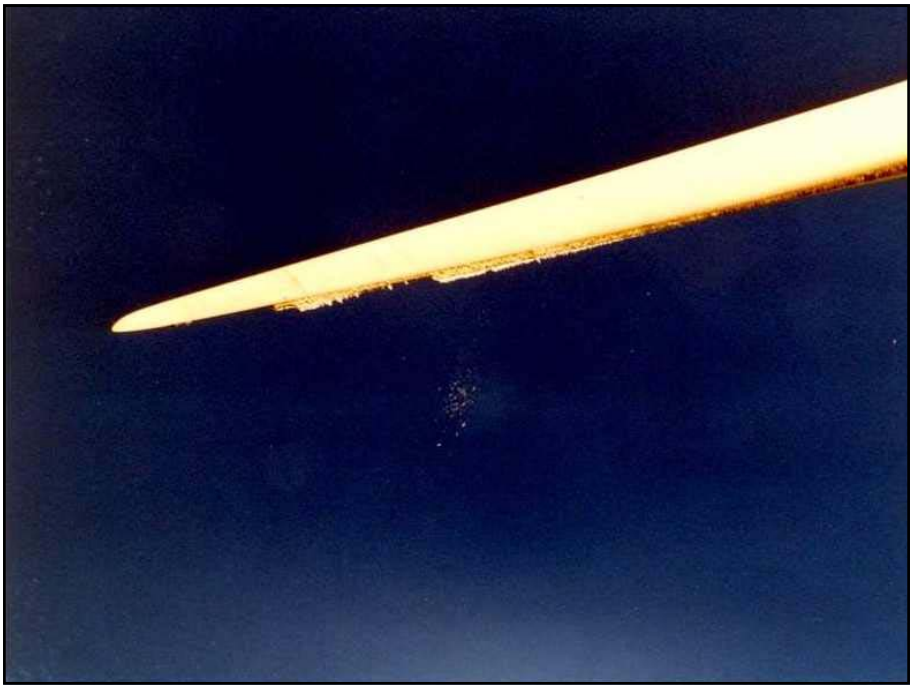


Vereinfachte Annahmen



Was wird für die Abschätzung des “Eisabfalls” benötigt?





Hochschule Bremerhaven
University of Applied Sciences

Was wird an Information und Daten benötigt?

Betriebsführung/Regelung (pitch, stall, active stall)

WEA - Geometrie (Rotordurchmesser, Nabenhöhe, etc.)

Rotorstellung

Masse und Größe der abgeworfenen Einstücke

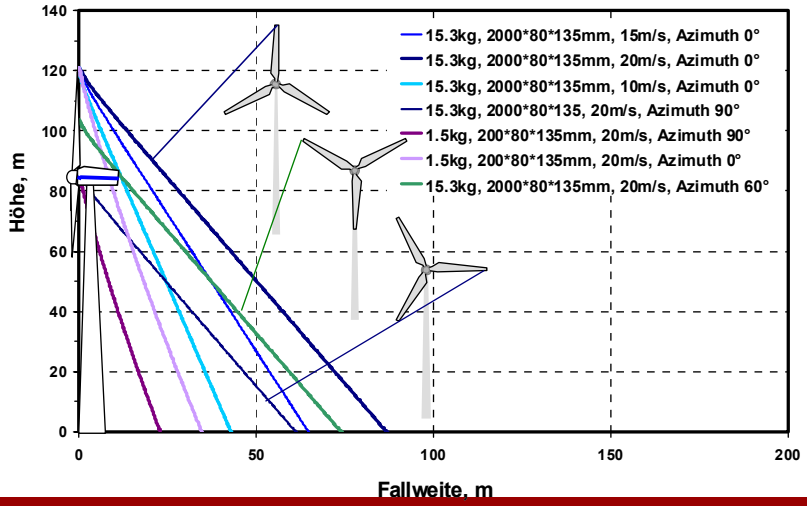
Widerstandsbeiwert der Eisstücke

Windrichtung und Windgeschwindigkeit

Orographie

Worst case Szenario

Typisches Ergebnis bei gestoppter WEA



Vereinfachte Empfehlung

$$d = v \frac{D/2 + H}{15}$$

v = Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe in m/s

d = Maximale Aufschlagentfernung in m (Fallweite)

D = Rotordurchmesser in m

H = Nabenhöhe in m

Zur Diskussion !!!!

Risikoanalyse

Eingabedaten:

Anzahl der Vereisungswetterlagen pro Jahr

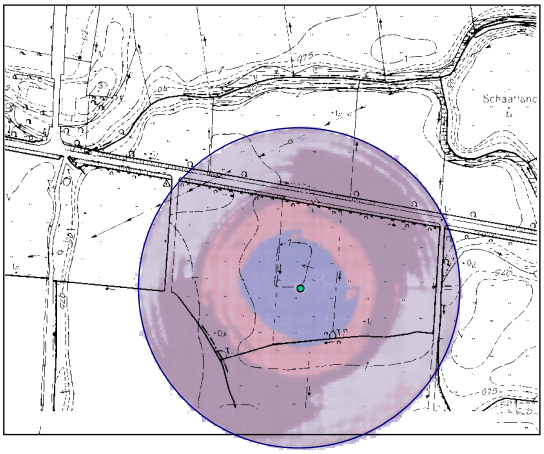
Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung

Aufschlagsort, Anzahl und Masse der Eisstücke

Anzahl der Personen, die die gefährdete Fläche pro Jahr passieren

Andere standortspezifische Annahmen

Ergebnis der Risikoanalyse



Quelle: Seifert, Kröning, ea., BOREAS IV

Ergebnis der Risikoanalyse

Abschätzung des Risikos, dass eine Person am Standort von einem weggeschleuderten oder herunterfallenden Eisstück verletzt oder getötet wird.

Beispiel:

Wenn 15 000 Personen den näheren Bereich einer WEA pro Jahr passieren, kann es zu einem Unfall in 300 Jahren kommen.

Diese Ergebnis wird dem allgemeinen Risiko in dem speziellen Land gegenübergestellt. Die Forderung besteht, dass die Einführung einer neuen Technologie (hier die WEA am vereisungsgefährdeten Standort) dieses allgemeine Risiko nicht wesentlich erhöht.

Zusammenfassung

Von laufenden Windenergieanlagen werden kleinere Eisstücke weiter geschleudert als größere.

Von stillstehenden Windenergieanlagen werden größere Eisstücke vom Wind weitergetragen als kleinere.

Die „Risikofläche“ ist bei laufender Anlage größer als bei stillstehender WEA.

Der Einfluss der Windrichtung ist sehr bestimmend für die Risikobetrachtung.

Zusammenfassung

Eiswurf- / Eisfallgutachten werden von einigen Baubehörden in Deutschland und Österreich gefordert

Die Anzahl der angeforderten Gutachten steigt

Es gibt noch zu wenig Erfahrungen mit Eiswurf- / Eisfallvorfällen

Simulationen müssen verbessert und validiert werden

Benchmark-Tests und Ringversuche mit vorhandenen Rechenprogrammen und Simulationen müssen durchgeführt werden.

Die Vereinfachten Annahmen sind zu validieren.

Generelle Empfehlung

Bei der Planung von Windparkprojekten an vereisungsgefährdeten Standorten muss das Risiko des Eisabwurfs besonders sorgfältig untersucht werden.

Jeder Unfall, der durch Eis von einer Windenergieanlage verursacht wird, ist einer zuviel und wird der Akzeptanz der Windenergie in der Bevölkerung schaden.