

# **Gefahr durch Eiswurf?**

## **Risiken realistisch bewerten**

F2E GmbH & Co. KG  
Dr. Thomas Hahm

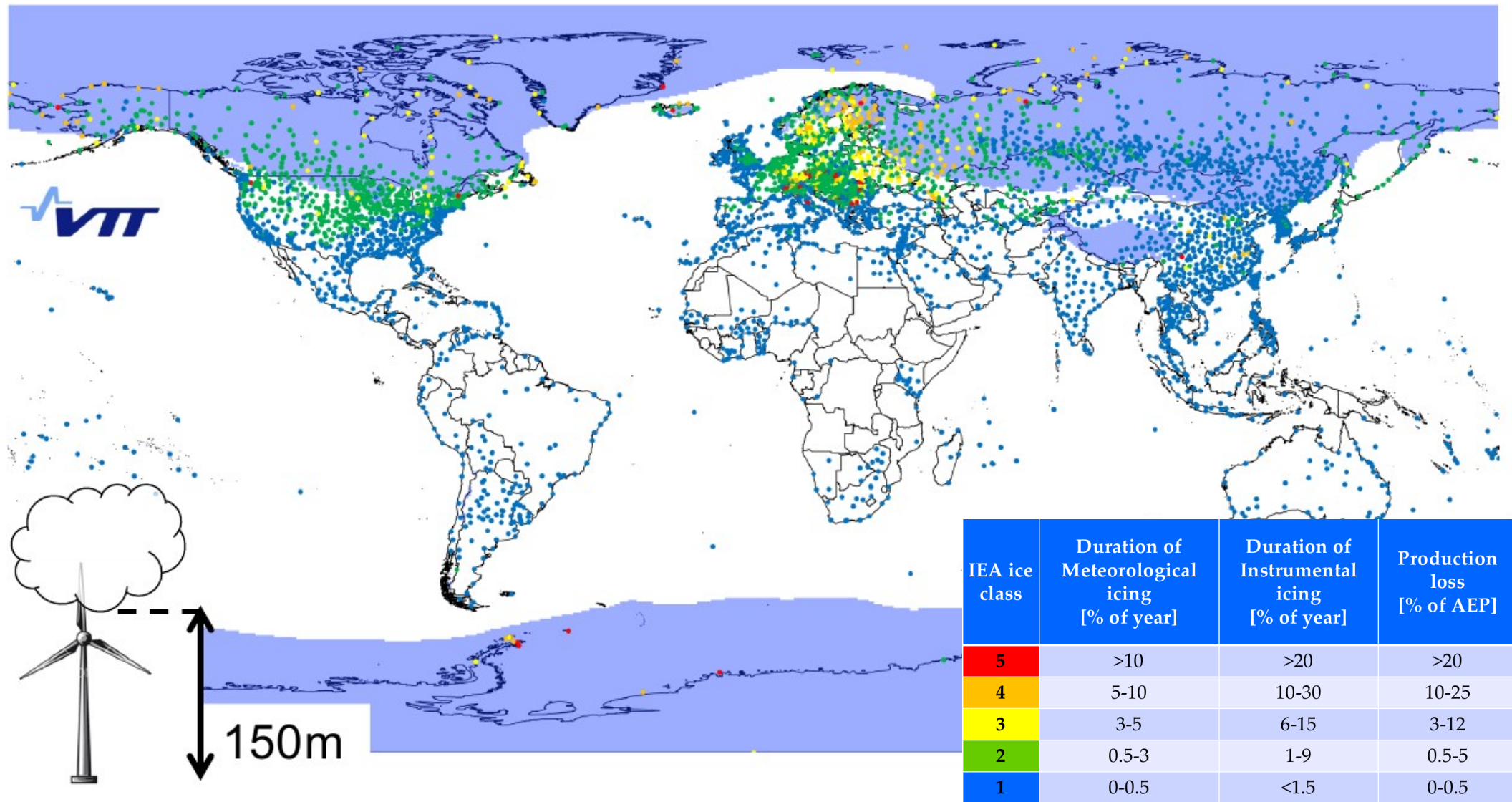


# Inhalt

- Einleitung:
  - Relevanz
  - Einordnung und Definitionen
- Bewertung des Risikos - Methodik:
  - Vereisung
  - Wurfbahnen von Eisstücken
  - Trefferhäufigkeiten und Schäden an Schutzobjekten
  - Bewertungsmaßstab
- Bewertung des Risikos – Einflussfaktoren
- Kurze Zusammenfassung



# Relevanz: Vereisung / kühle Regionen



Quelle: VTT Technical Research Centre of Finland Ltd



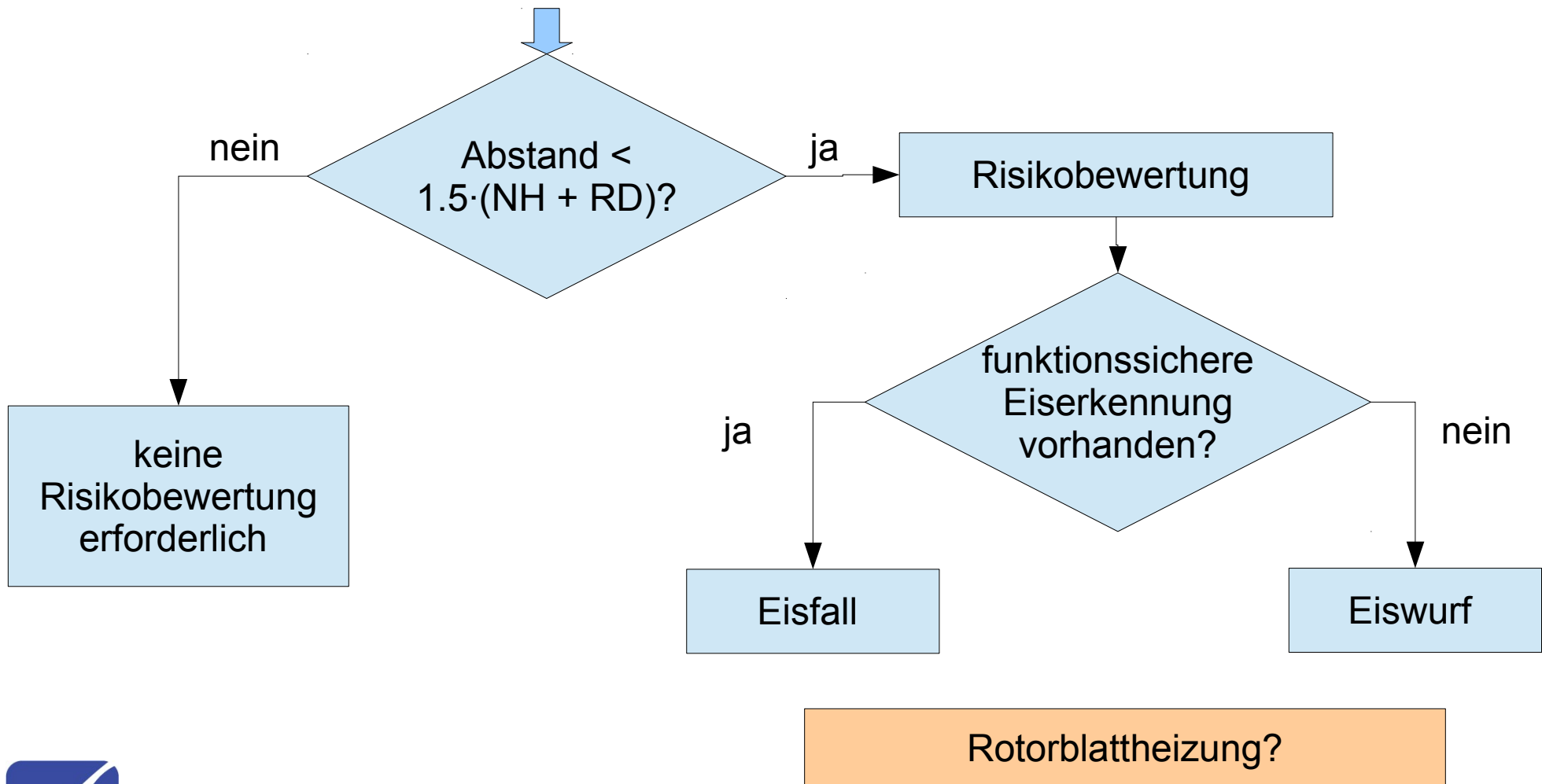
# Standortsspezifische Gutachten

- WECO 1998 (Wind Energy Production in Cold Climate):
  - An Standorten mit hoher Vereisungshäufigkeit sollte ein Sicherheitsabstand von  $1.5 \cdot (NH + RD)$  eingehalten werden.
- Musterliste der technischen Baubestimmungen:
  - Abstände größer als  $1.5 \cdot (NH + RD)$  zu Verkehrswegen und Gebäuden gelten im Allgemeinen in nicht besonders eisgefährdeten Regionen als ausreichend. In anderen Fällen ist die Stellungnahme eines Sachverständigen erforderlich.
    - *Standortsspezifische Risikobewertung*
  - Soweit erforderliche Abstände wegen der Gefahr des Eisabwurfes nicht eingehalten werden, ist die Funktionssicherheit von Einrichtungen nachzuweisen, durch die der Betrieb der Windenergieanlage bei Eisansatz sicher ausgeschlossen werden kann oder durch die ein Eisansatz verhindert werden kann.
    - *WEA-spezifischer Nachweis*



# Eiswurf ↔ Eisfall

- **Eiswurf:** Ablösung von Eisstücken während des Betriebes
- **Eisfall:** Ablösung von der trudelnden / stillstehenden WEA



# Bewertung des Risikos: Methodik

## Arbeitsschritte:

1. Bestimmung der Anzahl der Vereisungsereignisse
2. Definition und Anzahl sich lösender Eisstücke
3. Berechnung der Flugbahnen
4. Ermittlung der Schadenshäufigkeiten und -höhen
5. Bewertung des Risikos



# Schritt 1: Vereisungshäufigkeit

- DWD 2013: Studie zur räumlichen Verteilung der atmosphärischen Vereisung in Deutschland:
  - Basierend auf Daten von Wetterstationen und direkten Messungen.
  - Alle Ereignisse durch niederschlagsbedingte Vereisung und in-cloud Vereisung wurden erfasst.
  - Für Höhenlagen bis etwa 800m üNN gut verwendbar.
  - Danach variiert die Vereisungrate in diesem Höhenbereich zwischen 6 - 23 Tagen pro Jahr.
  - Das entspricht in etwa den IEA Eisklassen 2 und 3.



# Schritt 2: Definition und Anzahl von Eisstücken

- Die verschiedenen Vereisungsszenarien liefern unterschiedliches Eis hinsichtlich Dichte sowie Ort der Vereisung am Blatt.
- Pro Meter Blattlänge wird ein sich lösendes Eisstück unterstellt.



Quelle: Cattin et al., Wind Turbine Ice Throw Studies in the Swiss Alps





# Schritt 3: Berechnung der Flugbahnen

- Monte-Carlo-Simulation von ca. 1 Millionen Eisstücken
- 3D-Berechnung der Flugbahn des trudelnden Eistückes
  - Trägheitsmomente
  - Aerodynamische Kräfte
- Wichtige Einflussgrößen:
  - Betriebsweise der WEA
  - Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort
  - Höhenprofil des Geländes



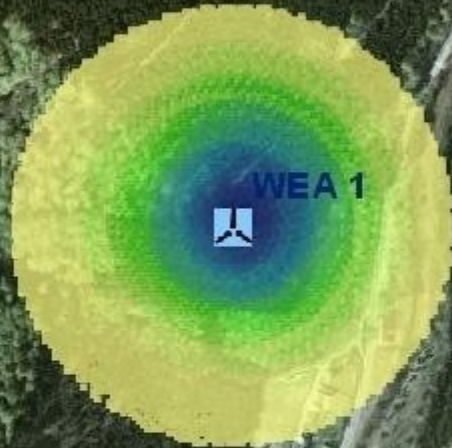
Hinweis:

Simplere Ansätze berücksichtigen ballistische Flugbahnen von Punktmassen

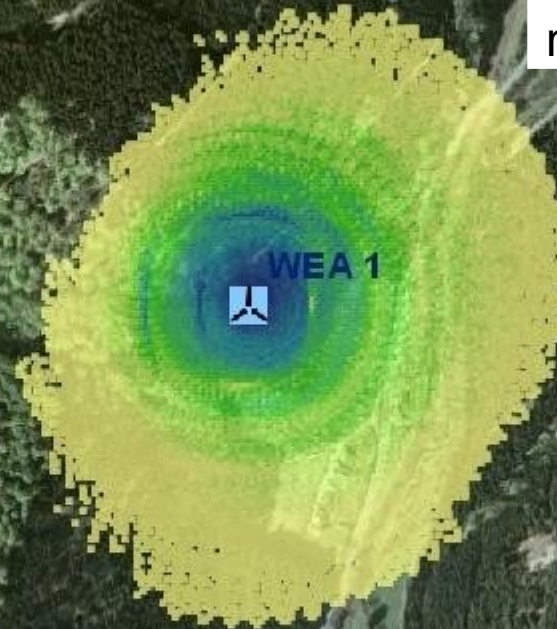


# Schritt 3: Flugbahn - Geländeeinfluss

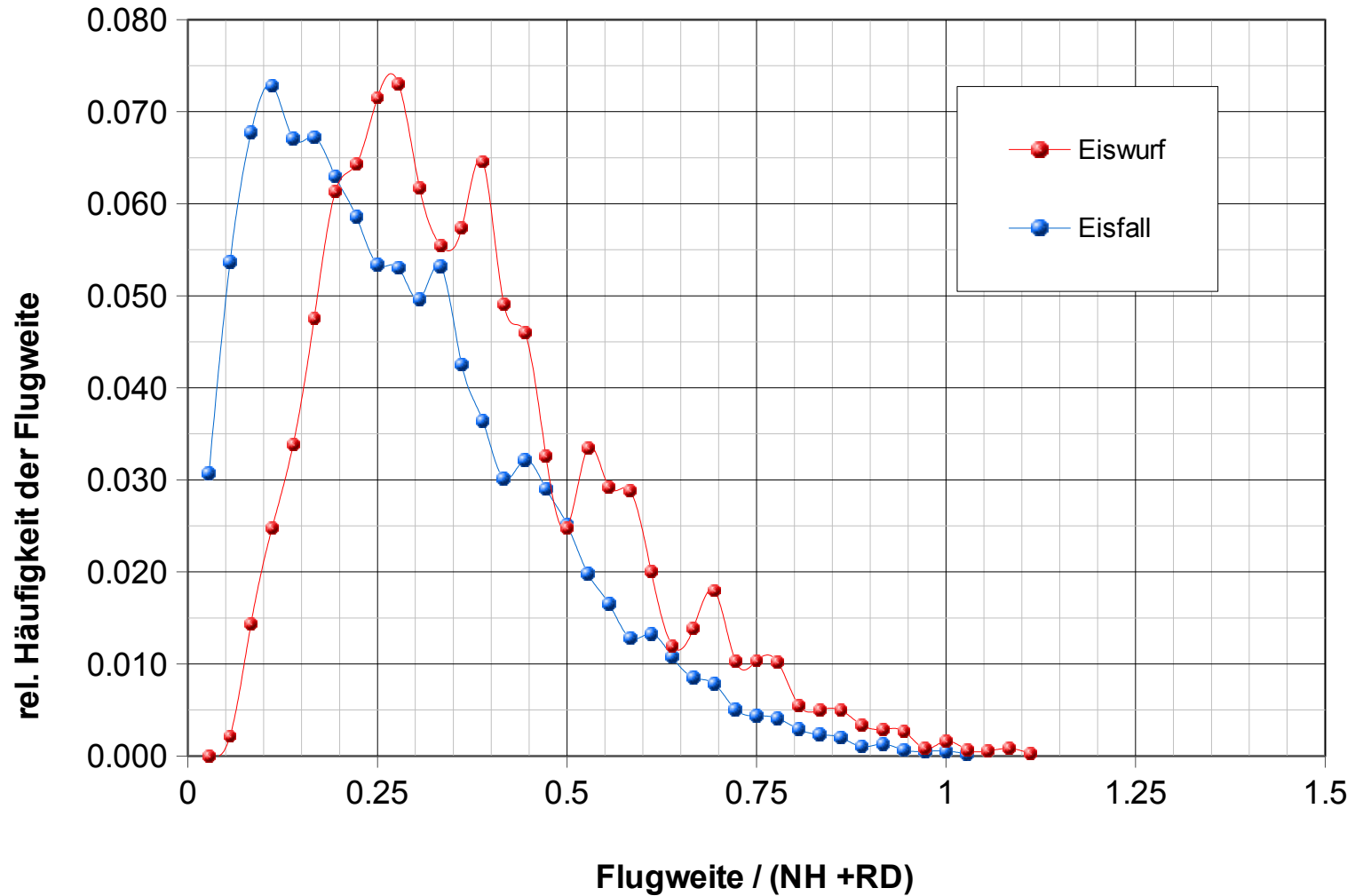
ohne Geländeeinfluss ❌



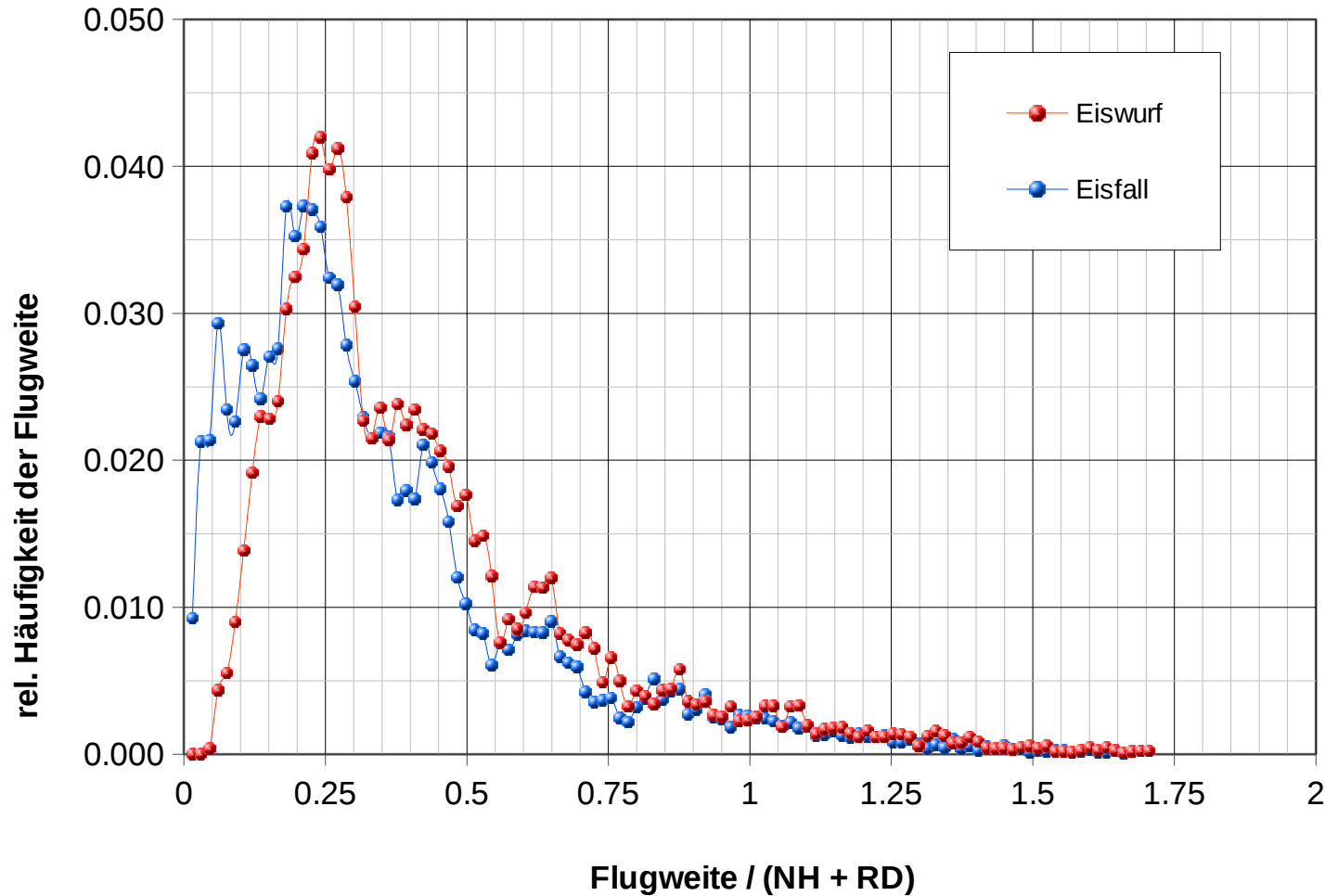
mit Geländeeinfluss ✅



# Schritt 3: Flugbahn - Einfluss Betriebsweise WEA



# Schritt 3: Flugbahn – gekoppelter Einfluss von Gelände und Betriebsart



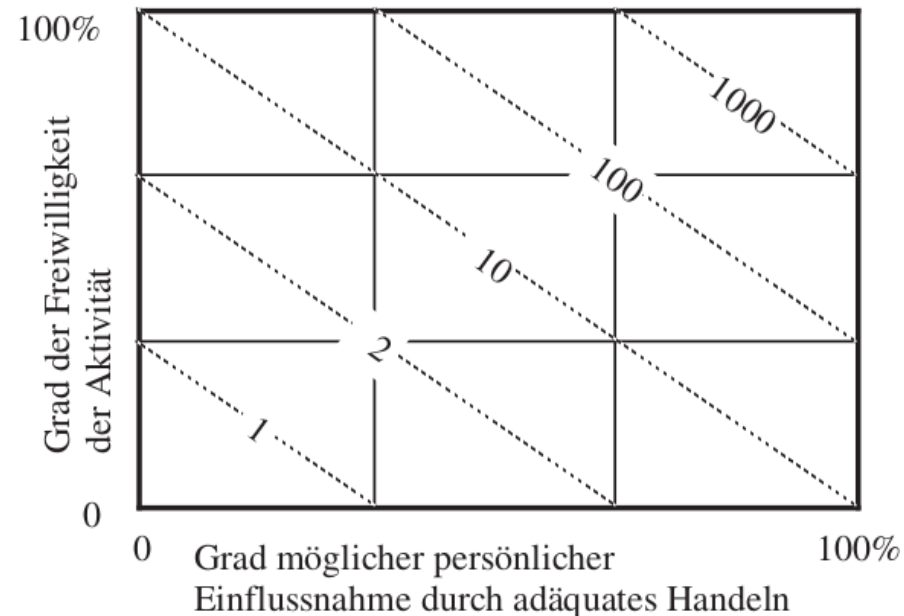
# Schritt 4: Schadenshäufigkeiten und Schadenshöhen

- Verkehrswege und Gebäude:
  - Schadenshöhe:
    - Sachschäden ↔ Personenschäden
    - Personenschäden: Todesfallrisiko
  - Schadenshäufigkeit
    - Verkehrszählungen
    - Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Personen
- Andere Schutzobjekte:
  - Eventuell weitere Aspekte zu berücksichtigen.



# Schritt 5: Bewertungsmaßstab

- Sachschäden: Individuell festzulegen - oft vernachlässigbar
- Personenschäden
  - MEM-Kriterium:
    - Minimale endogene Sterblichkeit. Erfasst das Sterberisiko durch technologische Faktoren →  $10^{-5}$  Todesfälle pro Person und Jahr
  - Akzeptiertes Todesfallrisiko pro 100 000 Personen und Jahr:



Quelle: Schneider, Schlatter; Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen; Teubner 1994.



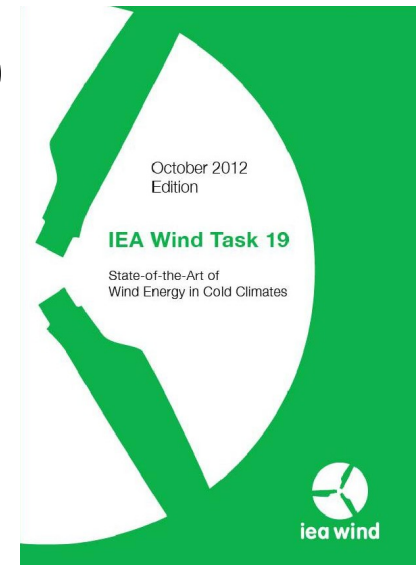
# Einflussfaktoren: Bestimmung der Anzahl der Vereisungsereignisse

- Vereisungsereignisse zeigen eine sehr hohe jährliche Variabilität → langjährige Daten (30 Jahre)
  - Messungen / Beobachtungen am Standort in der Regel nicht verfügbar
  - Langjährige Messungen von Wetterstationen unterliegen mikroskaligen Einflüssen. Ihre Übertragung auf den Standort ist mit hohen Unsicherheiten behaftet
- Das hier vorgestellte Verfahren liefert eine einheitliche validierte Basis für Deutschland



# Einflussfaktoren: Definition und Anzahl sich lösender Eisstücke

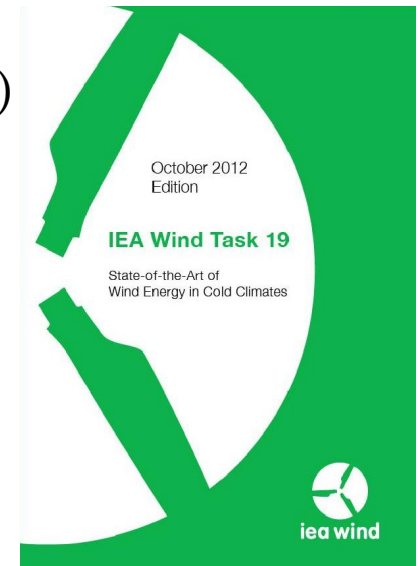
- Bandbreite der hier genannten Ansätze:
  - Ablösende Eisstücke:
    - ca. 400 – 4000 Eisstücke pro Jahr
  - Masse und Größe der Eisstücke:
    - 0.6 – 4.1 kg, maximale Länge 115cm
- IEA Wind Task 19: Studie zu Eiswurf (Schweiz)
  - 92 Eisstücke pro Jahr
  - Maximales Gewicht von 1.8kg
  - Maximale Länge ~100cm





# Einflussfaktoren: Berechnung der Flugbahnen

- Berechnungsmodell F2E:
  - Sehr aufwändige Modellierung mit Geländeeinfluss
  - Schutzwirkung von Bewuchs und Gebäuden wird nicht berücksichtigt
  - Volle Impulsübertragung vom rotierenden Blatt
  - Eisfall: ~50% der Eisstücke unterhalb des Rotors
  - Eiswurf: ~30% der Eisstücke unterhalb des Rotors
  - Maximale Eiswurfweite typischerweise  $< 1.5 \cdot (RD + NH)$   
eine Ausnahme können Steilhänge bilden
- IEA Wind Task 19: Studie zu Eiswurf (Schweiz)
  - ~ 40% der Eisstücke unterhalb des Rotors
  - Maximale Eiswurfweite  $1.02 \cdot (RD + NH)$



# Einflussfaktoren:

## Ermittlung der Schadenshäufigkeiten und -höhen

- Alle direkten Treffer auf Personen werden als tödlich bewertet
- Treffer auf Kfz:
  - Jeder Aufschlag in der Umgebung führt zu einem Unfall
  - Todesfallrate entsprechend der Rate für tödliche Unfälle und Unfälle mit Schwerverletzten bei durchschnittlicher Personenbesetzung des Kfz

## Bewertung des Risikos

- Etablierter Bewertungsmaßstab für das Todesfallrisiko



# Kurze Zusammenfassung

- In der Nähe zu Verkehrswegen und Gebäuden wird eine standortspezifische Bewertung des Risikos durch Eiswurf (Eisfall) gefordert für Abstände  $< 1.5 \cdot (NH + RD)$
- Wesentliche Einflussfaktoren für das Risiko:
  - Anzahl der sich lösenden Eisstücke pro Jahr
  - Flugbahn des trudelnden Eisstückes
    - Geländeprofil
    - Windverteilung am Standort
  - Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Kfz und Personen
- Die Größenordnung des Risikos wird konservativ bestimmt  
→ Anwendung etablierter Bewertungsmaßstäbe

