



TÜVNORD

---

# TÜV NORD – Windenergie

**Risikobeurteilung für  
Windenergieanlagen**

Lautenschlager | TÜV NORD | Risikobeurteilung WEA |  
22.03.2023

---

---

# Gliederung

## 1. Einleitung

- *Relevanz für die Genehmigung*
- *Mögliche Gefährdungen ausgehend von der WEA*

## 2. Risikobeurteilung

- *Risikoanalyse / Risikobewertung*
- *Bewertungsmaßstäbe*

## 3. Eisbildung an Windenergieanlagen

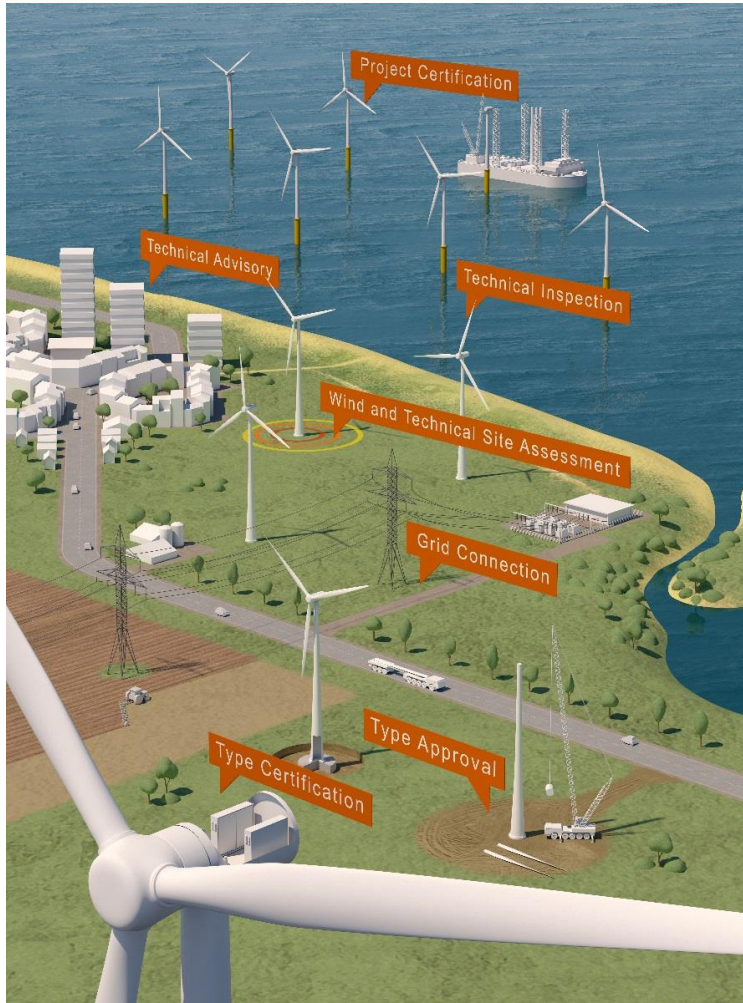
- *Eisabwurf/Eisabfall*

## 4. Beispiel aus der Praxis (Risikobeurteilung)

- *Eisabwurf/Eisabfall*
- *Rotorblattbruch und Turmversagen*

## 5. Fragen

# Service TÜV NORD Windenergie

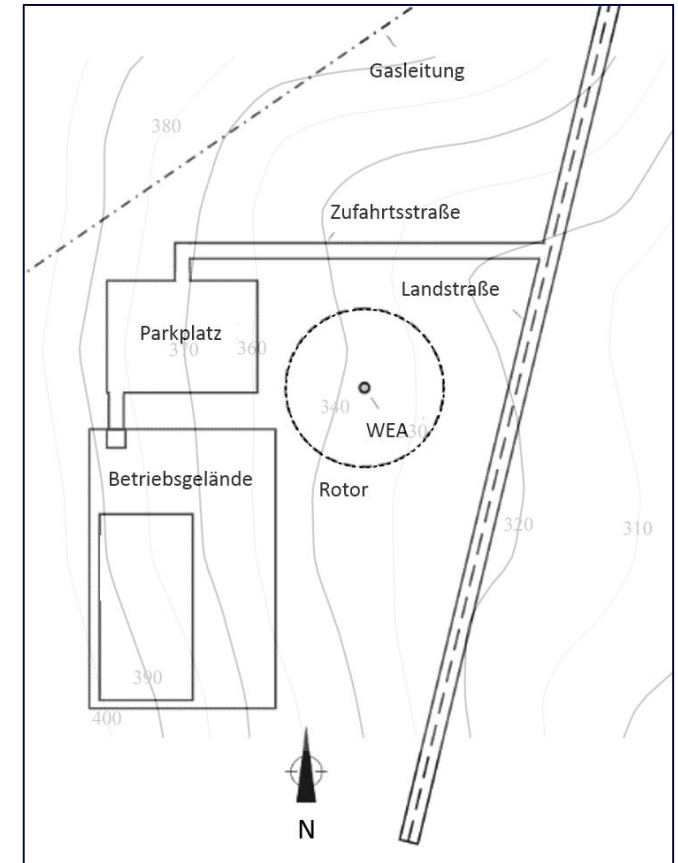


- Standortgutachten
  - Windpotenzial und Ertragsgutachten nach TR6, Standortgüthenachweis
  - Standorteignung (Turbulenzbelastung, standortspez. Lastvergleiche)
  - Schallimmissions- und Schattenwurfprognose
  - Risikobeurteilung (z.B. Eisabwurf/Eisabfall)
  - Geotechnische Standorterkundung und Gründungsberatung
  - Weiterbetrieb über die Entwurfslebensdauer hinaus
- Zertifizierungsstelle im Bereich der erneuerbaren Energien
  - Ca. 80 Ingenieure unterschiedlichster Fachrichtungen (weltweit aktiv)
  - Komponenten-, Typen- und Projektzertifizierung
- Inspektionsstelle / Zugelassene Überwachungsstelle “ZÜS“
  - Inspektionen (on- und offshore) / Wiederkehrende Prüfungen (WKP)

# Einleitung

## Relevanz der Risikobeurteilung

- **BImSchG §5 Abs. 1** „...schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können.“
- **Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen Anlage A 1.2.8/6**
  - Bei Abständen kleiner  $1,5 \times$  (Rotordurchmesser plus Nabenhöhe) zu Verkehrswegen und Gebäuden ist ein System zur Eiserkennung zu installieren oder eine Aussage eines Sachverständigen nötig
- **Örtliche Nähe zu z. B.**
  - Verkehrswegen (Straße und Wege / Bahn / Flughäfen / Schifffahrt)
  - Siedlungen
  - Störfallbetrieben gemäß Störfall-Verordnung (12. BImSchV)
  - Industriegebieten / Betriebsgeländen
  - Pipelines



Möglicher Standort, TÜV NORD 2020

# Einleitung

## Gefährdungen ausgehend von der WEA

Mögliche Gefährdungen sind:

- Eisabwurf/Eisabfall
- Rotorblattbruch
- Turmversagen/Gondelabwurf
- Brand (Blitzschlag)



TÜV NORD 2014



Lausitzer Rundschau 2011



Donegal News 2013



Nordwest-Zeitung 2006

# Risikobeurteilung

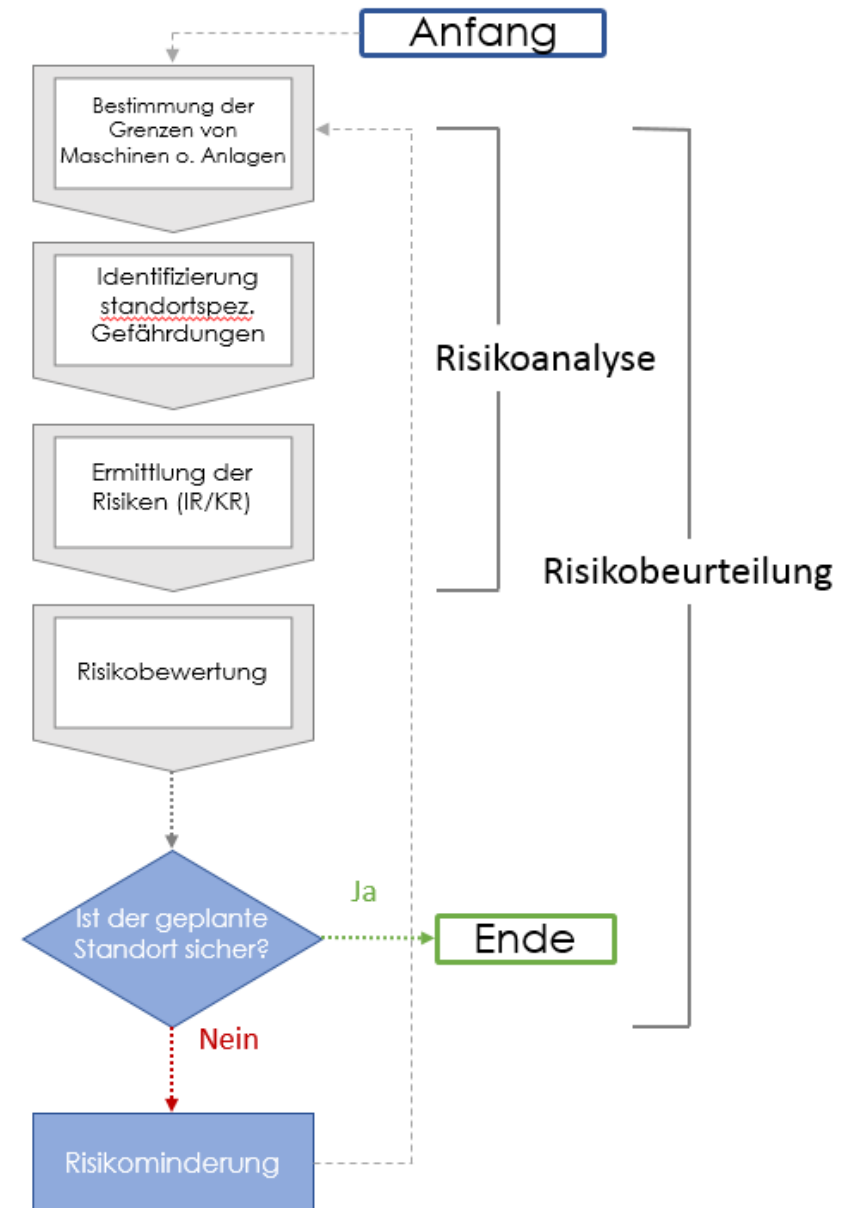
DIN EN ISO 12100

## ▪ Risikoanalyse

- Standortspezifische Gefährdung
- Darstellung der Gefährdung
- Ermittlung des Risiken

## ▪ Risikobewertung

- Bewertung der Ergebnisse
  - Bewertungsmaßstäbe
  - Maßnahmen zur Risikominderung



TÜV NORD 2018, angelehnt an DIN EN ISO 12100

# Risikobeurteilung

## Bewertungsmaßstäbe

### Einteilung in Grenzwertbereiche

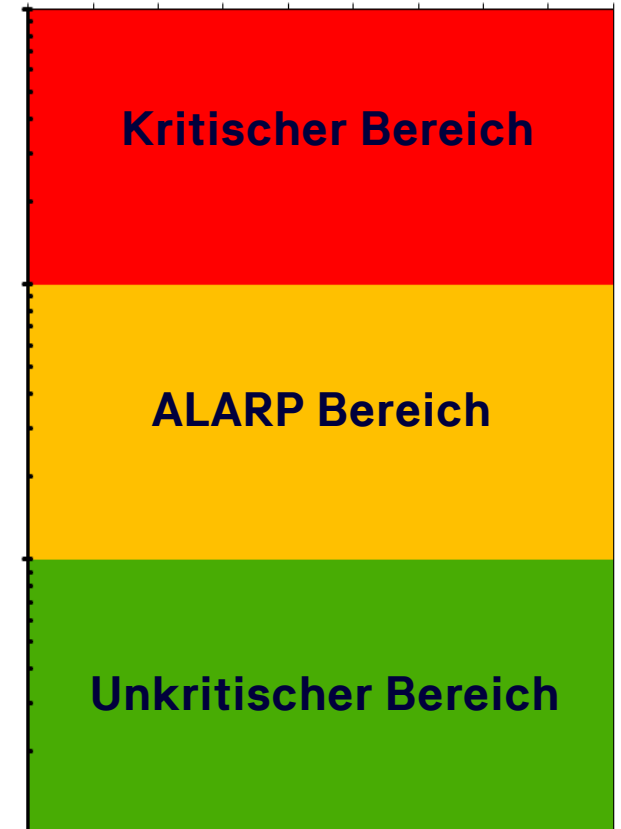
#### Grenzwertbereiche (GB)

- Unterhalb des GB (Grüner Bereich) = Risiko unkritisch
- Innerhalb des GB (Oranger Bereich) = Risiko tolerabel, Risikomindernde Maßnahmen sind zu prüfen und ggf. umzusetzen (ALARP = As Low As Reasonably Practicable)
- Oberhalb des GB (Roter Bereich) = Risiko unakzeptabel, weiterführende Maßnahmen zur Risikominderung sind zwingend erforderlich

### Herleitung der Risikogrenzwerte

- allgemein akzeptierte Risiken bzw. etablierte Grenzwerte
- Arbeitsunfälle (Statistiken DGUV), Verkehrsstatistik (Statistisches Bundesamt), Empfehlungen des VdTÜV's

#### Grenzwertbereiche



# Risikobeurteilung

## Bewertungsmaßstäbe

- **Individualrisiko und Kollektivrisiko**
  - MEM-Prinzip (Minimale endogene Sterblichkeit, DIN EN 50126; Bahn Risiken)
  - Empfehlungen des VdTÜV
  - Unfallstatistik des GBE zu Freizeitunfällen
  - Internationale Praxis und Vorgaben aus europäischen Nachbarländern (z.B. Niederlande)
- **Gefährdung des Straßenverkehrs (Kollektivrisiko)**
  - Unfallstatistik vom Statistischen Bundesamt
  - Ermittlung für jeweilige Straßenkategorie (Autobahn / außerorts ohne Autobahn)
  - Berücksichtigung von schweren Unfällen (nicht nur mit tödlichem Ausgang)
  - Objektbezogener Grenzwert - allgemein akzeptiertes Risiko im Straßenverkehr



# Eisbildung an Windenergieanlagen

## Eisabwurf / Eisabfall

### ▪ Eisansatz / Eisbildung an Windenergieanlagen

- Im Winter immer möglich
- Häufigkeit ist standortspezifisch, Information z.B. Eiskarte Europa oder Wettermessungen

### ▪ Eisabwurf

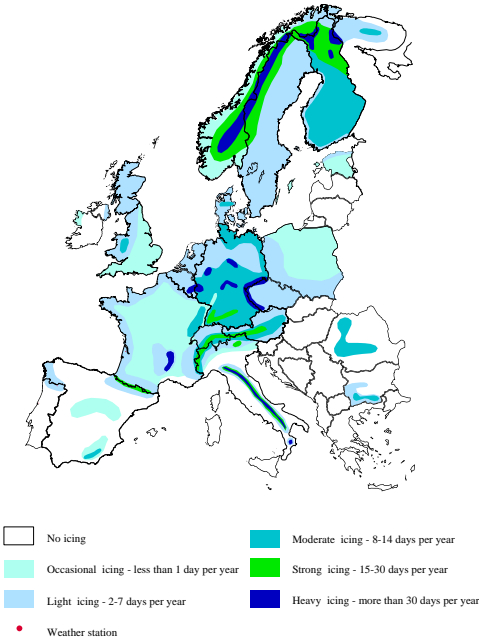
- WEA im Leistungsbetrieb (drehende Rotorblätter)
- Infolge der Umfangsgeschwindigkeit der Rotorblätter im Betrieb; (Eisabwurf) –> hohe Wurfweiten möglich
- Verhinderung durch Eiserkennungssysteme; je nach Hersteller unterschiedliche Systeme

### ▪ Eisabfall

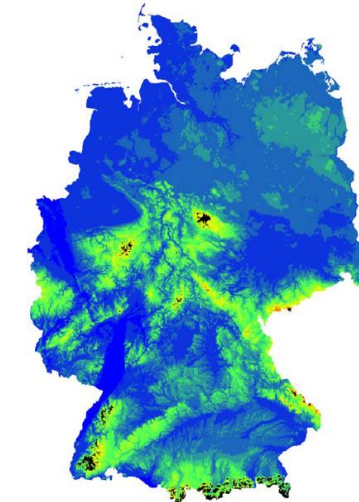
- WEA abgeschaltet –> Rotor trudelt (geringe Drehzahl)
- Eisabfall kann im Winter nicht verhindert werden
- Gefährdung abhängig von den Windbedingungen am WEA-Standort

### ▪ Anzahl Eisobjekte pro Vereisung

- Abhängig von WEA-Typ: größerer Rotor -> mehr Eisobjekte -> höheres Risiko



WECO 2012



VTT 2018

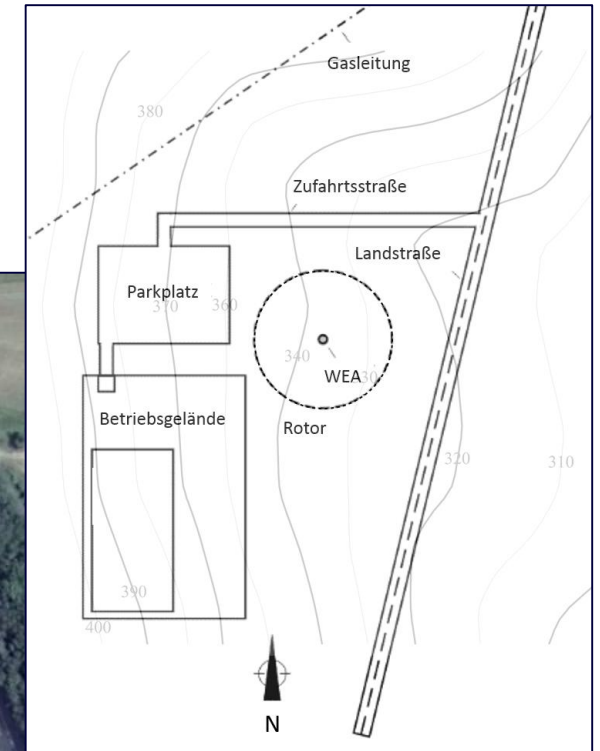
TÜVNORD

# Beispiel aus der Praxis

## Gefährdung des Standortes

### Ermittlung der standortspezifischen Gefährdung Eisabwurf/Eisabfall

- Schutzobjekte z.B:
  - Straße
  - Wanderweg
  - Betriebsgelände
  - Freizeitstätten
- Nutzung
  - Personen pro Tag
  - Verkehrsdichte
  - Nutzung im Winter



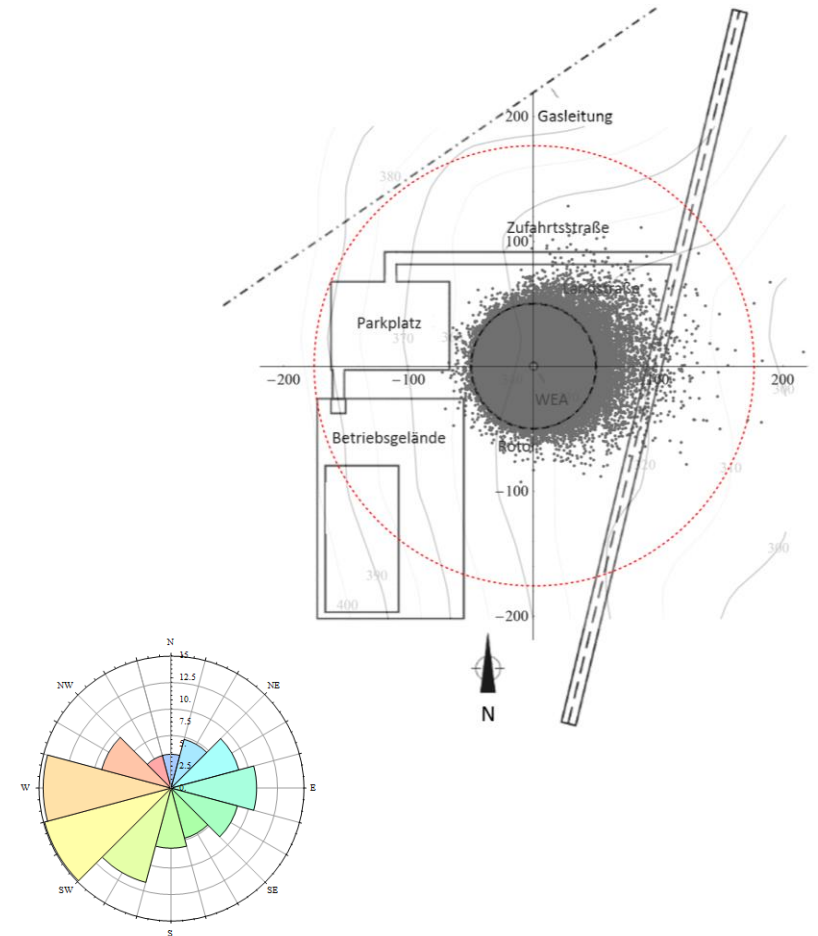
TÜV NORD

Fiktiver Standort, Google-Earth, TÜV NORD

# Beispiel aus der Praxis

## Simulation Eisabfall

- Ermittlung der möglichen Trefferbereiche für den Eisabfall (Monte-Carlo-Simulation)
- Randbedingungen der Simulation
  - WEA-Spezifikationen (Rotordurchmesser und Nabenhöhe)
  - Drehzahl bei Eisabfall (Trudelbetrieb)
  - Verteilung der Windrichtungen (Sektorbezogen)
  - Verteilung der Windgeschwindigkeiten (Sektorbezogen)
  - Idealisierte Eisobjekte
  - Lage des Eisobjekts auf dem Rotorblatt
  - Stellung des Rotorblatts
  - Position der WEA im Wind
    - Windnachführung oder Parkposition
  - Topographie des Standortes



# Beispiel aus der Praxis

## Gefährdungsbereiche Eisabfall



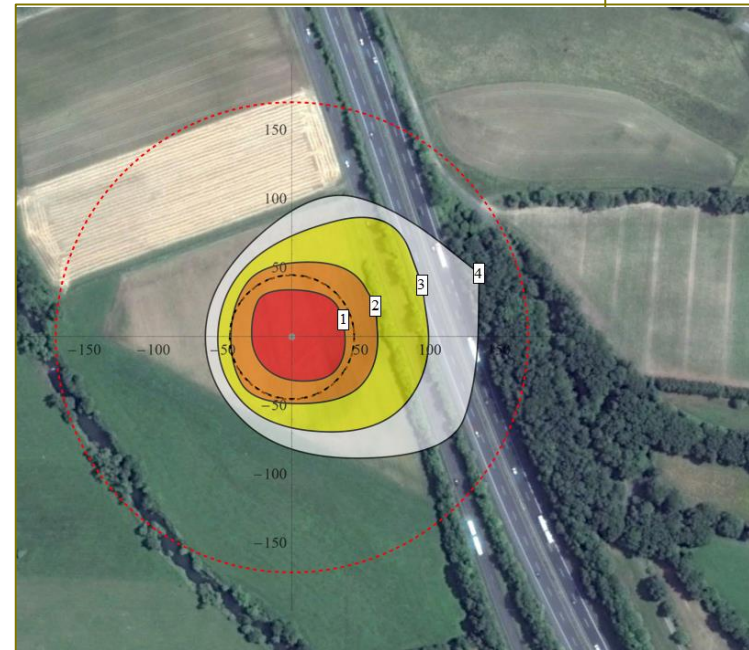
Fiktiver Standort, Google-Earth, TÜV NORD

# Beispiel aus der Praxis

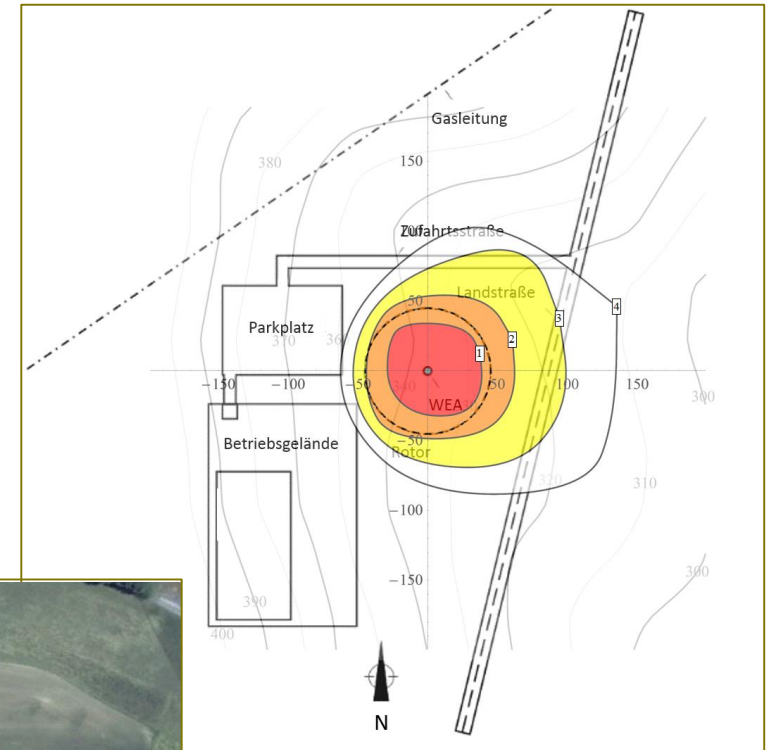
## Risikoanalyse

### Analyse des Standortes

- Betroffene Schutzobjekte
- Nutzung Schutzobjekte
  - Straße (Verkehrsdichte)
  - Wirtschaftsweg
  - Wanderweg/Loipe
- Ermittlung der Gefährdungen
  - Individualrisiko
  - Kollektivrisiko bzw. Gefährdung des Straßenverkehrs



Fiktiver Standort, Google-Earth, TÜV NORD

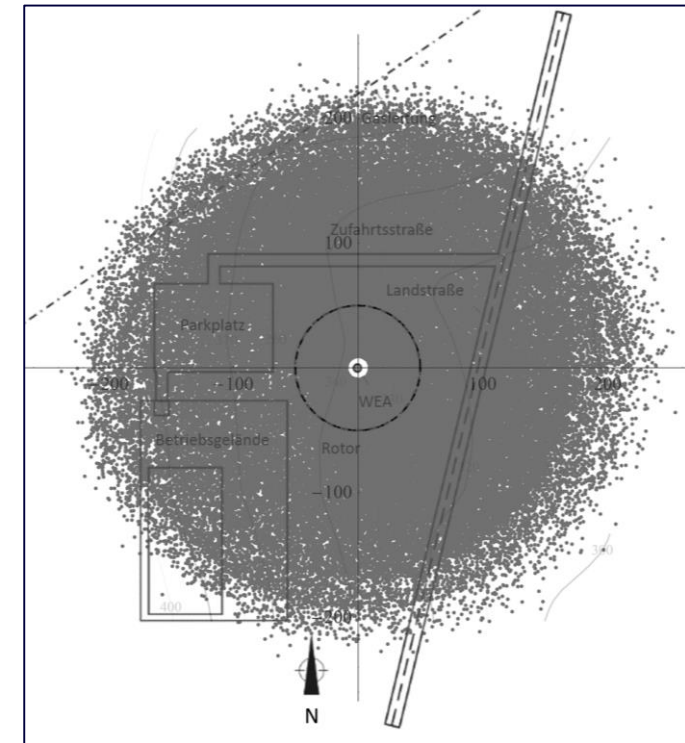
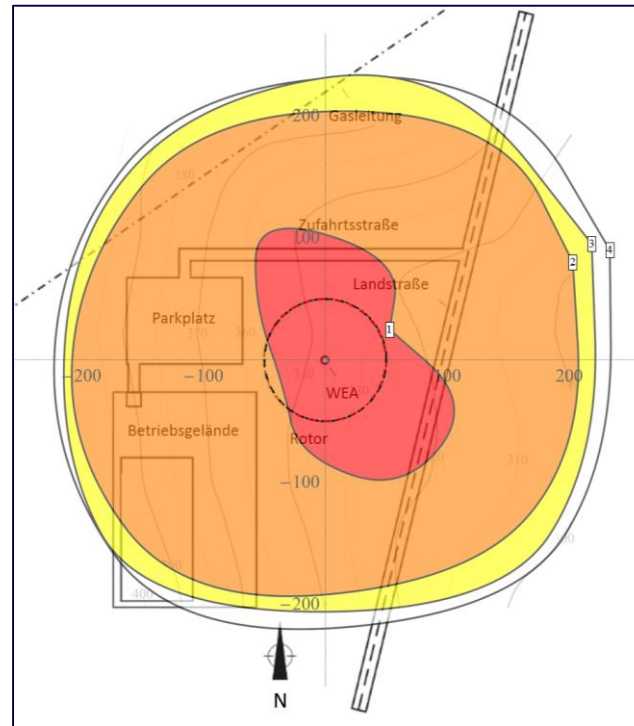


TÜV NORD 2018

# Beispiel aus der Praxis

## Rotorblattbruch

- Ermittlung der möglichen Trefferbereiche für den Rotorblattbruch
- Randbedingungen der Simulation
  - Windbedingungen: Verteilung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit
  - (nur Windgeschwindigkeiten > 15 m/s berücksichtigt)
  - Geometrie des Bruchstücks: diskrete Bruchposition (alle 2 Meter)
  - Lage des Rotorblattes: Position in der Rotationsebene gleichverteilt
  - Rotationsgeschwindigkeit: Überdrehzahl
  - Topographie des Standortes

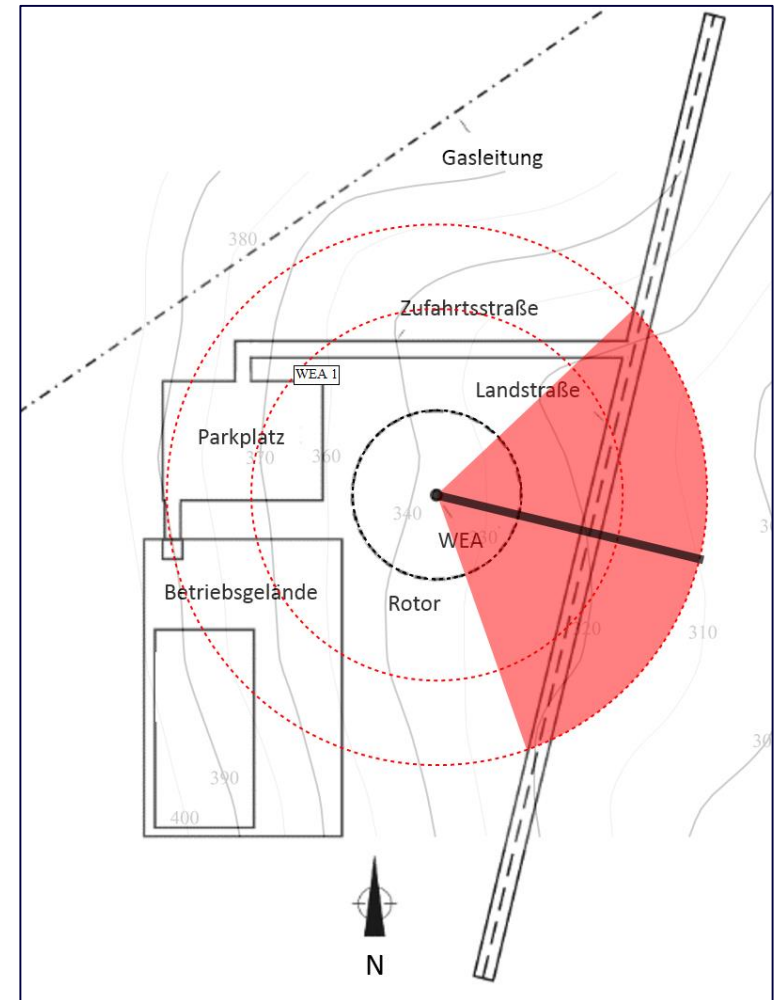


Möglicher Standort, TÜV NORD

# Beispiel aus der Praxis

## Turmversagen

- Ermittlung der möglichen Trefferbereiche für Turmversagen
- Randbedingungen der Simulation
  - Geometrie des Bruchs: gleichverteilte Bruchposition über gesamten Turm
  - Fallrichtung des Turms: gleichverteilt
  - Position der Rotorblätter: senkrecht angenommen

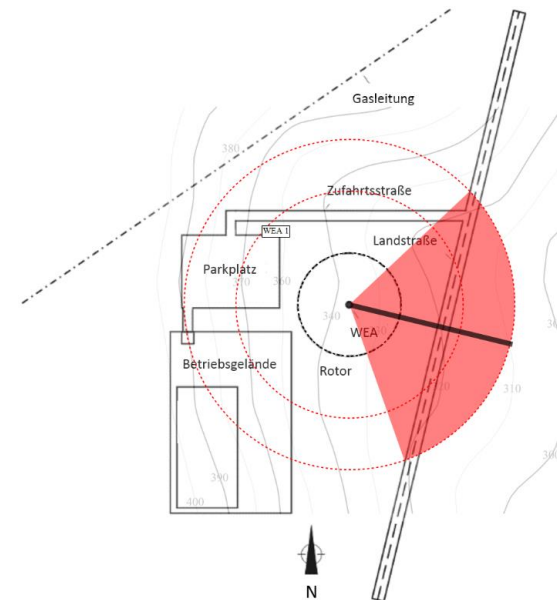
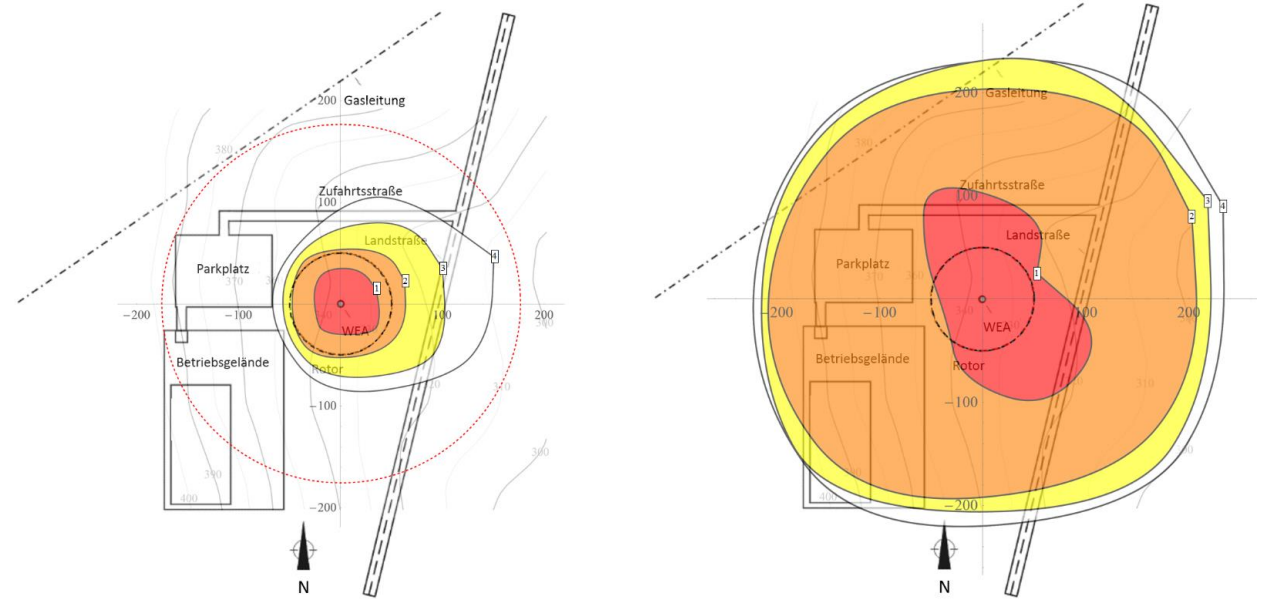


Möglicher Standort, TÜV NORD

# Beispiel aus der Praxis

## Risikoanalyse - Standortuntersuchung

- Schutzobjekt (Beispiel Straße)
- Vereisungstage pro Jahr
- Eintrittshäufigkeit Rotorblattbruch und Turmversagen
- Nutzung des Schutzobjektes
  - Straße (Verkehrsdichte am Standort)
- Ermittlung der Risiken
  - Individualrisiko / regelmäßige Nutzung
  - Kollektivrisiko bzw. Gefährdung des Straßenverkehrs (Verkehrsdichte)



Möglicher Standort, TÜV NORD



# Beispiel aus der Praxis

## Beispielhaft Ergebnisse Kollektivrisiko bzw. Gefährdung des Straßenverkehrs

### ▪ Szenario 1:

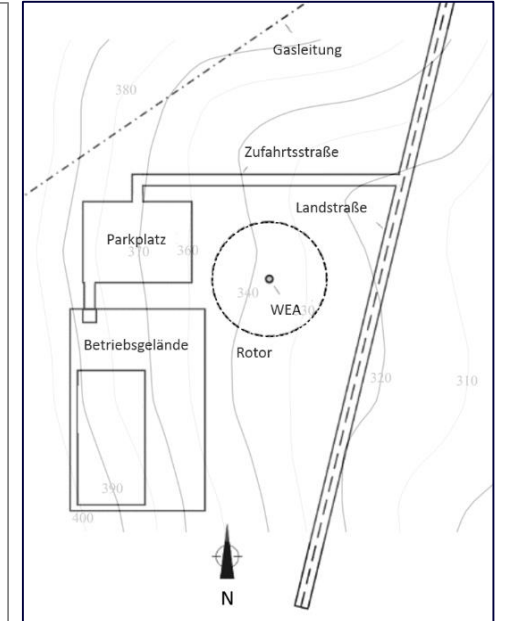
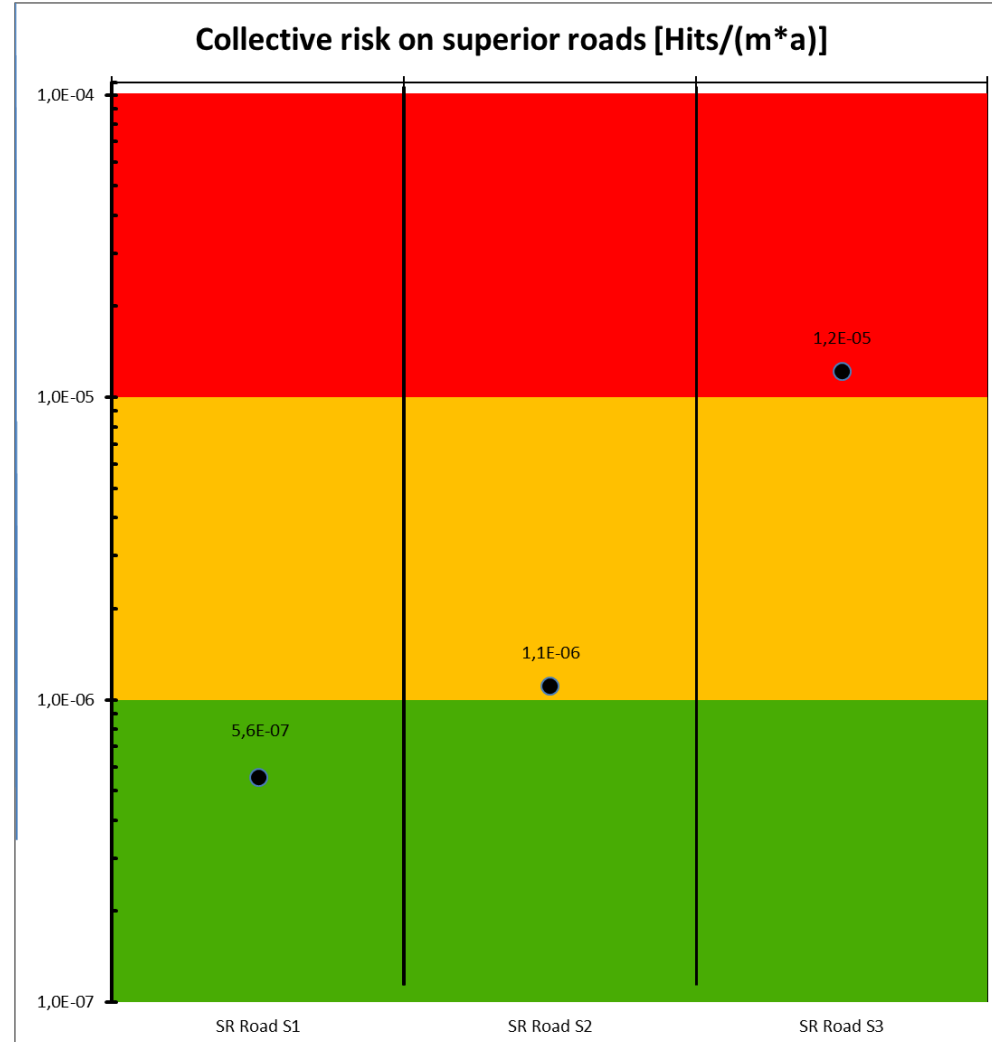
- 250 Fahrzeuge pro Tag
- $5,6E-07$

### ▪ Szenario 2:

- 500 Fahrzeuge pro Tag
- $1,1E-06$

### ▪ Szenario 3:

- 5.500 Fahrzeuge pro Tag
- $1,2E-05$



Möglicher Standort, TÜV NORD

# Beispiel aus der Praxis

## Standortspezifische Maßnahmen für Eisabfall (Beispielhaft)

### ▪ Szenario 1

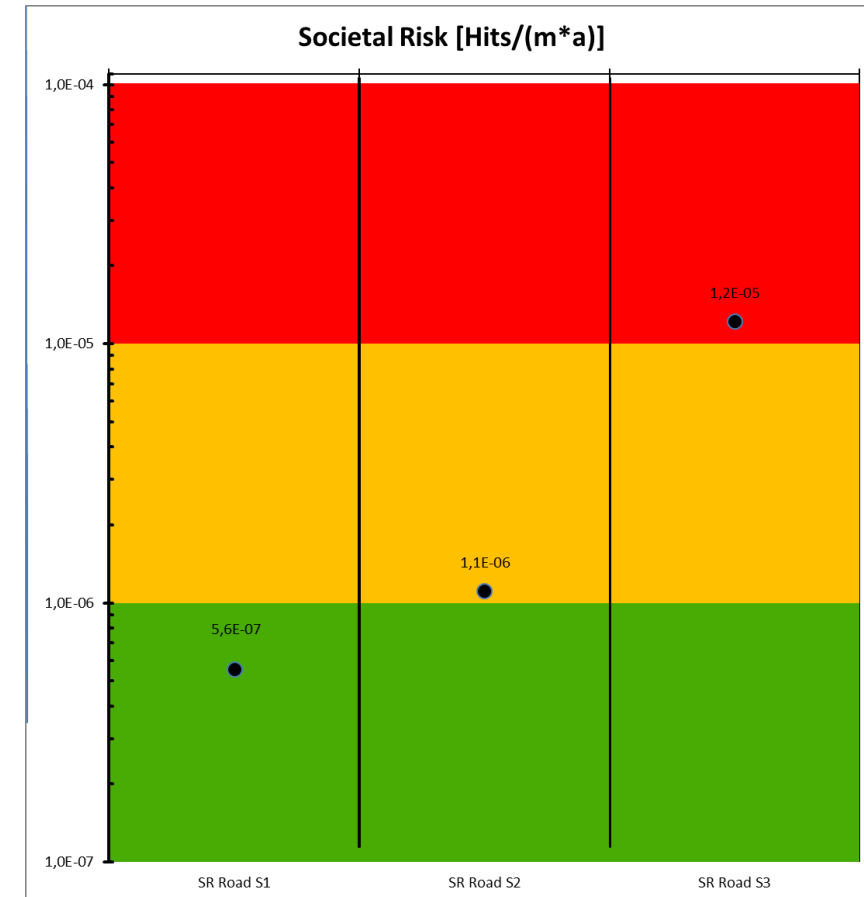
- Keine weiteren Maßnahmen nötig, aber übliche Maßnahmen sind empfehlenswert z.B:
  - Warnschilder z.B. für Wirtschaftswege

### ▪ Szenario 2

- Parkposition bei Eisansatz
- Je nach Höhe des Risikos bzw. der möglichen Reduktion durch die Maßnahmen auch weiterführende Maßnahmen nötig

### ▪ Szenario 3

- Standortverschiebung
- Nabenhöhenreduktion
- Sperrung von Straßen im Winter
- Umleitung von Straßen im Winter



# Beispiel aus der Praxis

## Allgemeine Beispiele

- Standorte werden in Deutschland knapper und rücken näher an Infrastruktur
  - Straßen, Industriegelände (Störfallbetriebe), Pipelines
  - Öfter auch kritische Standorte, wo die Planung angepasst werden muss
- Gefährdungen von WEA möglichst frühzeitig im Genehmigungsprozess betrachten
  - Vorscreening
  - Betrachtung fiktiver WEA, wenn WEA-Typ offen
  - Ermittlung von Planungsgebieten (ohne Risiko oder mit geeigneten Maßnahmen)

# Haben Sie Fragen?

**Frederik Lautenschlager**

T.: +49 40 8557 1482

M.: [flautenschlager@tuev-nord.de](mailto:flautenschlager@tuev-nord.de)