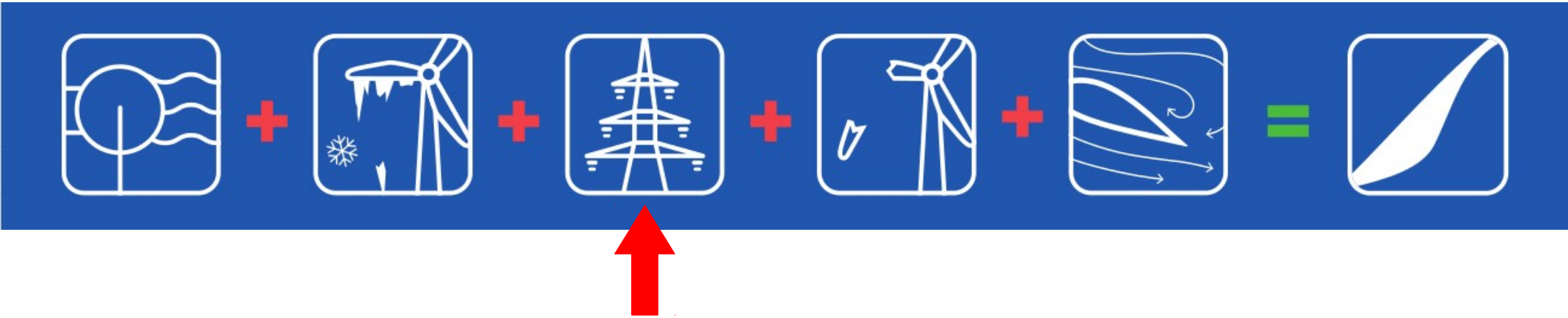
Windenergie und Freileitungen

5 Jahre Erfahrung mit der neuen DIN EN 50341-2-4

F2E GmbH & Co. KG

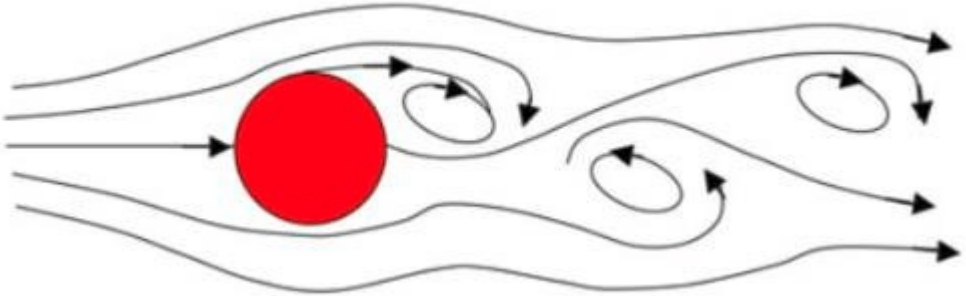


Inhalt

- Der Ausgangspunkt
  - Physikalischer Hintergrund der Schädigung von Leiterseilen
- Die Historie
  - Von den 1990ern zur heutigen DIN-Norm
- Die Praxis
  - Anwendung der DIN EN 50341-2-4
- Die Weiterentwicklung
  - Die Physik im Licht der Strömungssimulation
- Der Ausblick

Kármánsche Wirbelstraße

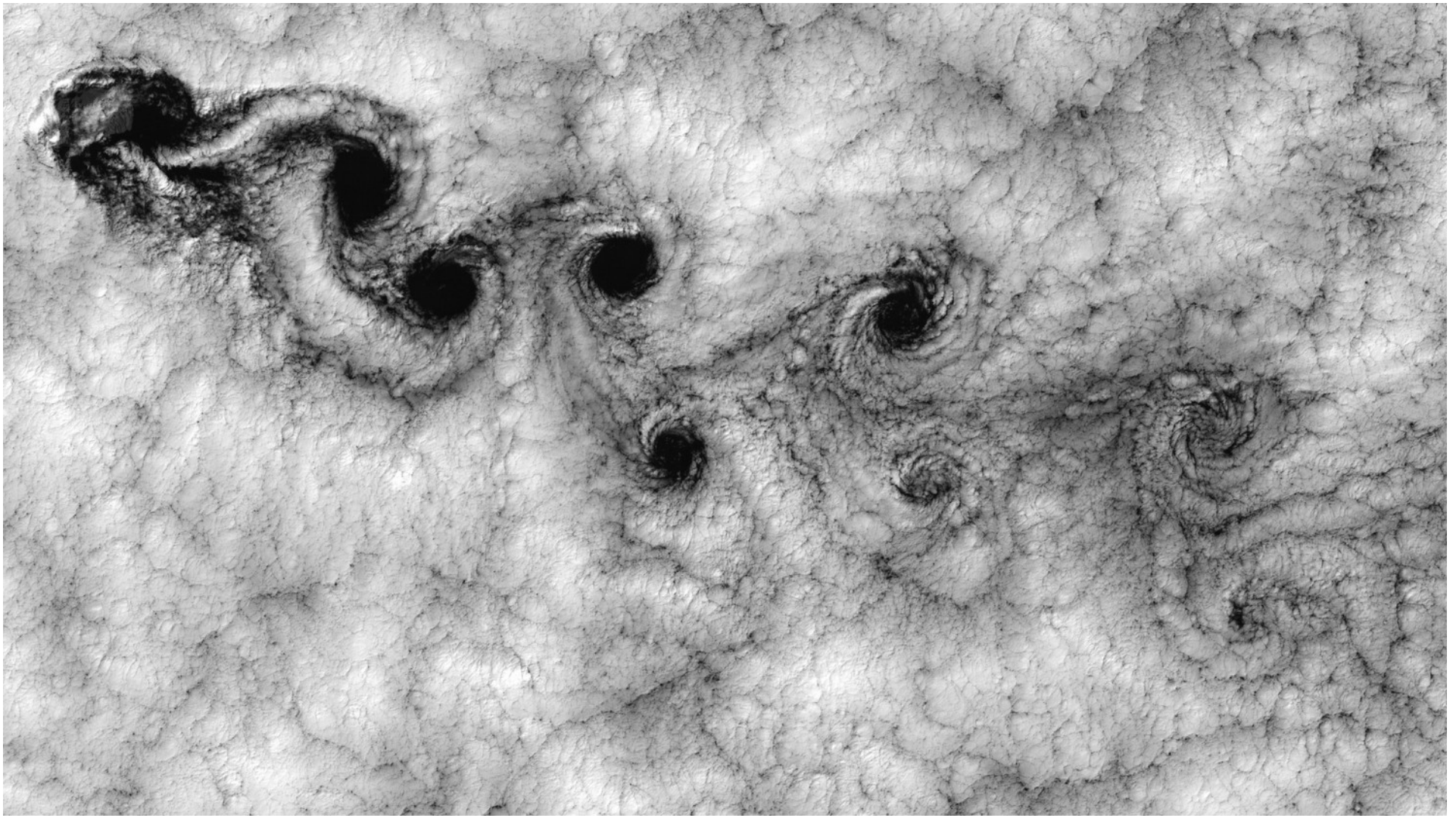
- Umströmung einer zylindrischen Struktur (Leiterseil einer Freileitung):



Quelle: https://www.researchgate.net

- Die Frequenz der Ablösung der Wirbel ist proportional zu v/d
- Wenn die Ablösefrequenz die Eigenfrequenzen des Leiterseiles trifft kommt es zu einer Anregung und einer Schwingung quer zur Windrichtung
- Dies führt zu erhöhten Ermüdungsbelastungen vorwiegend an den Unterstützungspunkten der Leiterseile

Kármánsche Wirbelstraße



Leiterseilschwingung

- Leiterseilschwingungen entstehen bei stetiger Anströmung mit niedrigen Windgeschwindigkeiten von maximal ca. 7m/s
- Zur Verhinderung werden Dämpfer wie z.B. der Stockbridge-Dämpfer eingesetzt:

Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Stockbridge-Schwingungstilger

Leiterseilschwingung und WEA

- Im Nachlauf einer WEA ist die Windgeschwindigkeit reduziert
- An einer Freileitung kommt es hinter einer WEA daher häufiger zu Situationen, bei denen eine Leiterseilanregung auftreten kann
- Die Ermüdung der Leiterseile wird dadurch potentiell erhöht

Inhalt

- Der Ausgangspunkt
  - Physikalischer Hintergrund der Schädigung von Leiterseilen
- Die Historie
  - Von den 1990ern zur heutigen DIN-Norm
- Die Praxis
  - Anwendung der DIN EN 50341-2-4
- Die Weiterentwicklung
  - Die Physik im Licht der Strömungssimulation
- Der Ausblick

Studie RWTH Aachen - 1999

- „Mindestabstand zwischen Windenergieanlagen und Freileitungen“
  - Leitung RWTH Aachen, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft
  - Unter Mitarbeit von
    - Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg, Fachbereich Physik
    - Richard Bergner GmbH + Co, Hersteller von Schwingungsdämpfern
    - ENERCON GmbH
  - Begleitet von
    - PreussenElektra AG
    - RWE Energie AG
    - VEW Energie AG
    - Deutsche Kommission Elektrotechnik DKE, AK 421

Studie RWTH Aachen - Ergebnisse

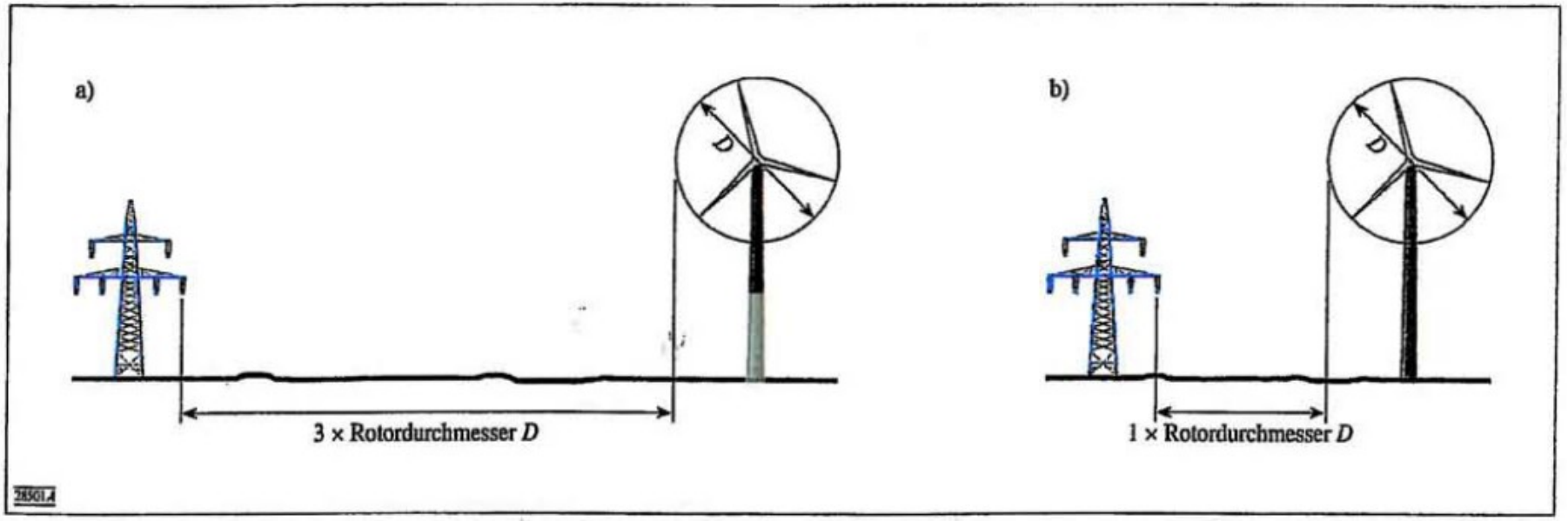
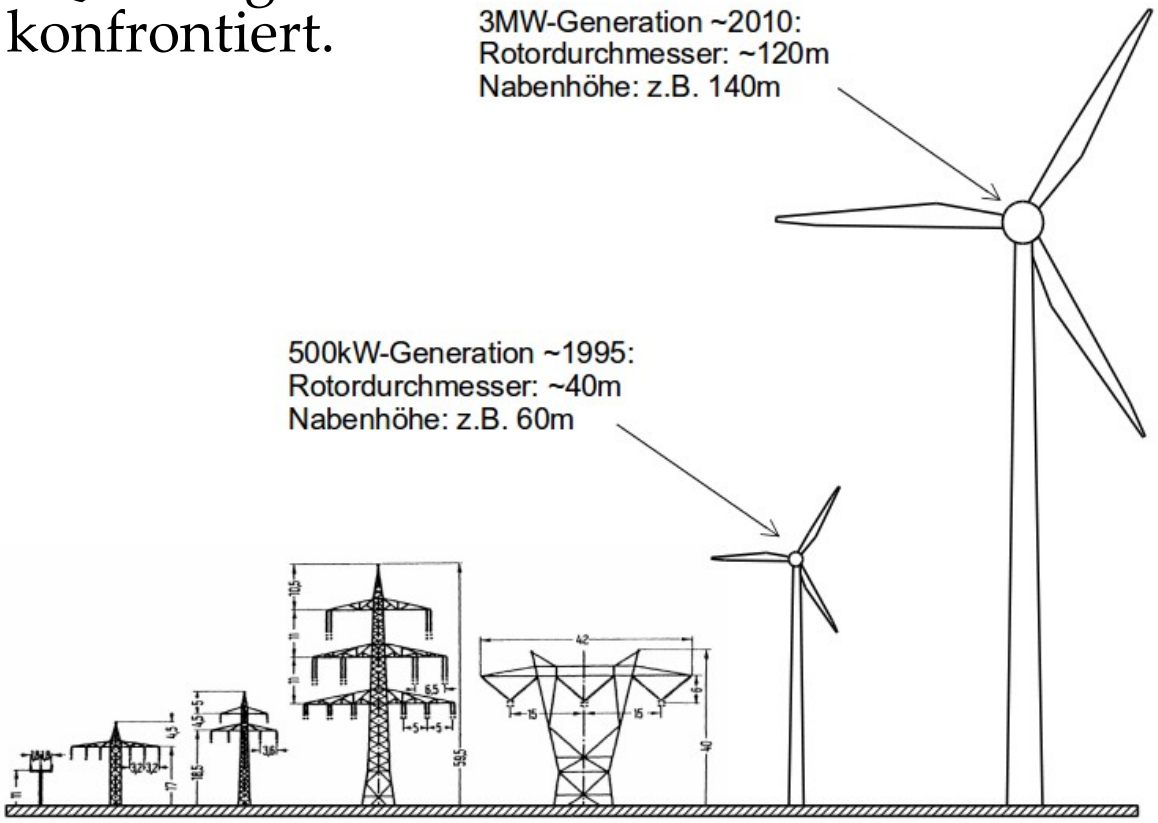


Bild 4. Mindestabstand zwischen Hochspannungsfreileitungen mit Nennspannungen über 30 kV und Windenergieanlagen
a) ohne Schwingungsschutzeinrichtungen *b) mit Schwingungsschutzeinrichtungen*

- Über das DKE fand dies Berücksichtigung in den Nationalen Normativen Festlegungen (National Normative Aspects NNA) für Freileitungen von AC 1 kV - 45 kV (DIN EN 50423-3-4) und für Freileitngen über AC 45 kV (DIN EN 50341-3-4)

Neubewertung 2012 - 2014

- Anlass und Hintergründe:
  - Zusammenlegung der Normen zu einer Norm für Freileitungen über AC 1 kV (EN 50341-1:2021).
  - Bei der Planung notwendiger neuer Freileitungstrassen sahen sich die Netzbetreiber mit der Querung bestehender Windparks konfrontiert.
  - Die Größenverhältnisse haben sich geändert:

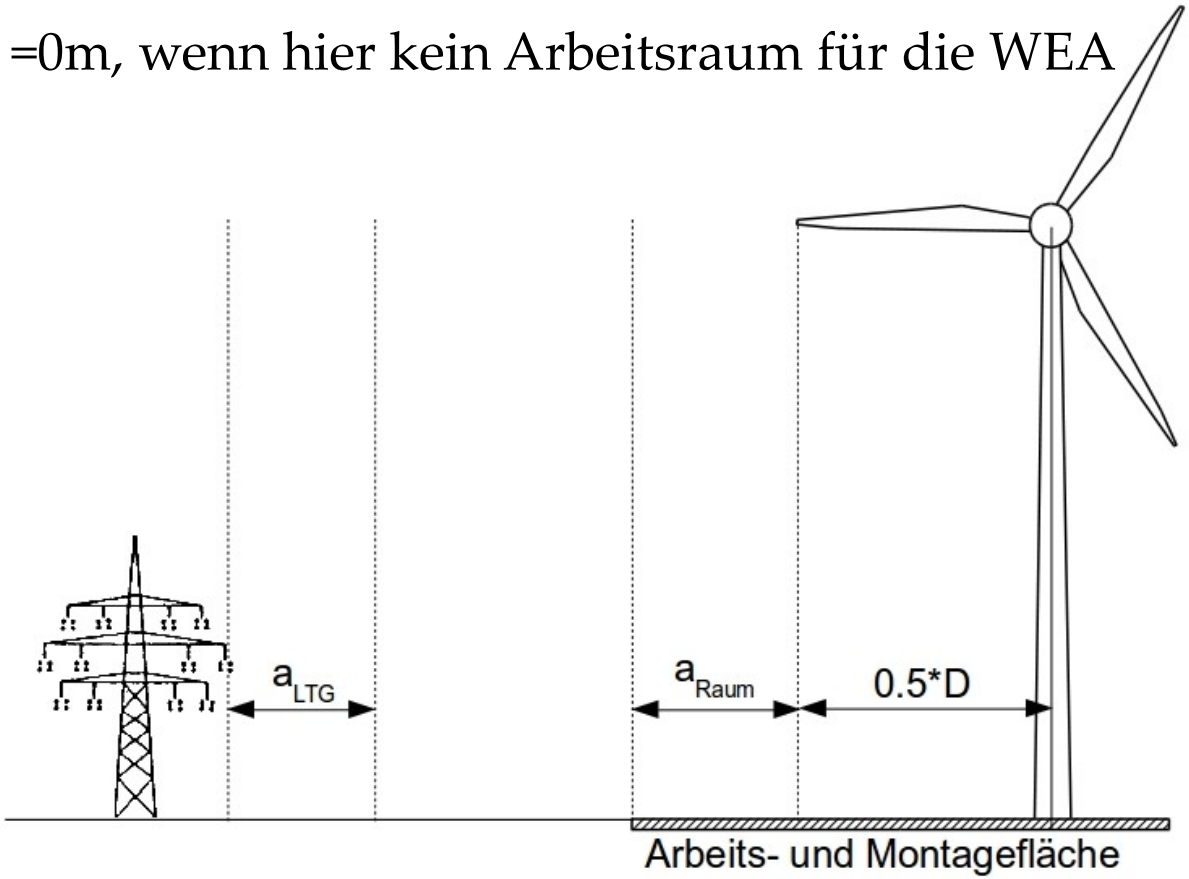


Kritik an den Annahmen von 1999

- Umgebungsturbulenzintensität im Bereich bis 7m/s
  - Annahme: 0.01 (TI = 1%)
  - Realistisch ist das 10-20fache (TI = 10 - 20%)
- Erhöhung der Turbulenzintensität im Nachlauf
  - Annahme: 0.05 (TI = 5%)
  - Realistisch ist das 4-8fache (TI = 20 - 40%)
- Betroffene Seillänge
  - Das gesamte Spannfeld ist betroffen
  - Bei einer Spannfeldlänge von 350-400m ist dies nicht realistisch
- Absenkung der Windgeschwindigkeit
  - Annahme: Absenkung auf 40% der ungestörten Strömung
  - Das liegt dicht am theoretischen Maximum
- Bestätigt durch das Fraunhofer Institute for Wind Energy Systems IWES in Zusammenarbeit mit der RWE Service GmbH

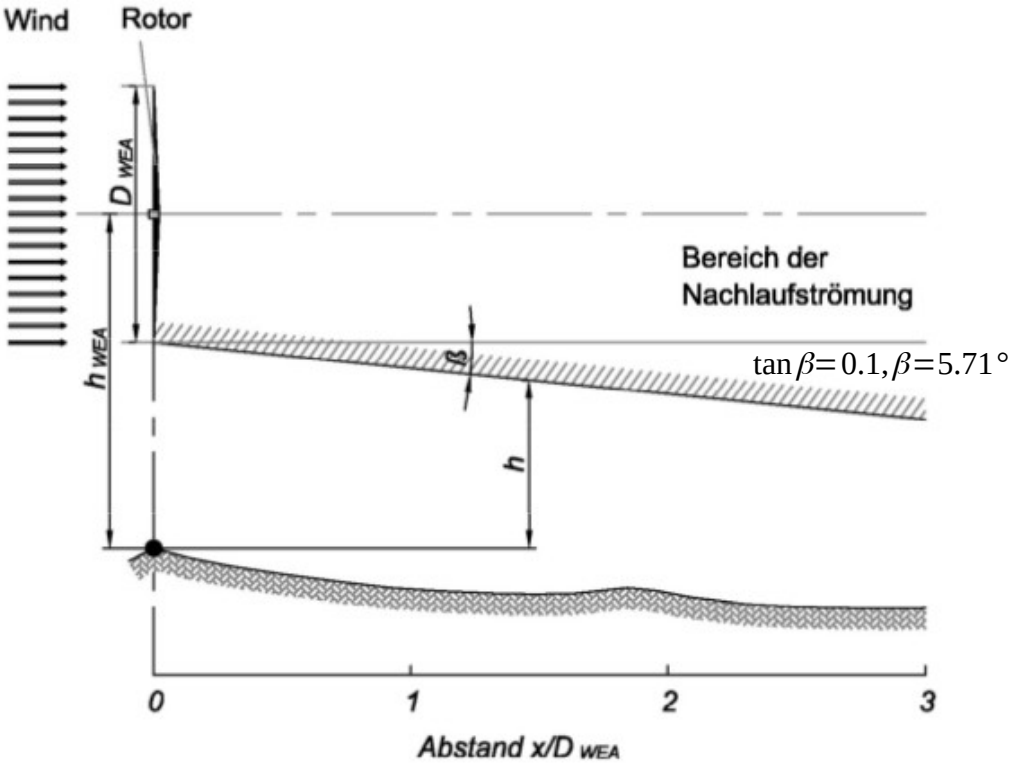
DIN EN 50341-2-4:2019

- Mindestabstand $\alpha_{WEA} = 0.5 \cdot D_{WEA} + \alpha_{Raum} + \alpha_{LTG}$
  - a_{LTG}: spannungsabhängiger Mindestabstand bzw. definiert durch Ausschwingweite + Schutzabstand (typischerweise 20 - 30m)
  - a_{Raum}: =0m, wenn hier kein Arbeitsraum für die WEA notwendig ist



DIN EN 50341-2-4:2019

- Schwingungsschutzmaßnahmen erforderlich?
  - ja, wenn der Nachlauf die Leiterseile trifft und der Abstand zwischen Turmachse der WEA und äußerstem ruhenden Leiterseil < 3D beträgt.
  - nein, wenn der Nachlauf die Leiterseile nicht trifft oder der Abstand zwischen Turmachse der WEA und äußerstem ruhenden Leiterseil ≥ 3D beträgt.

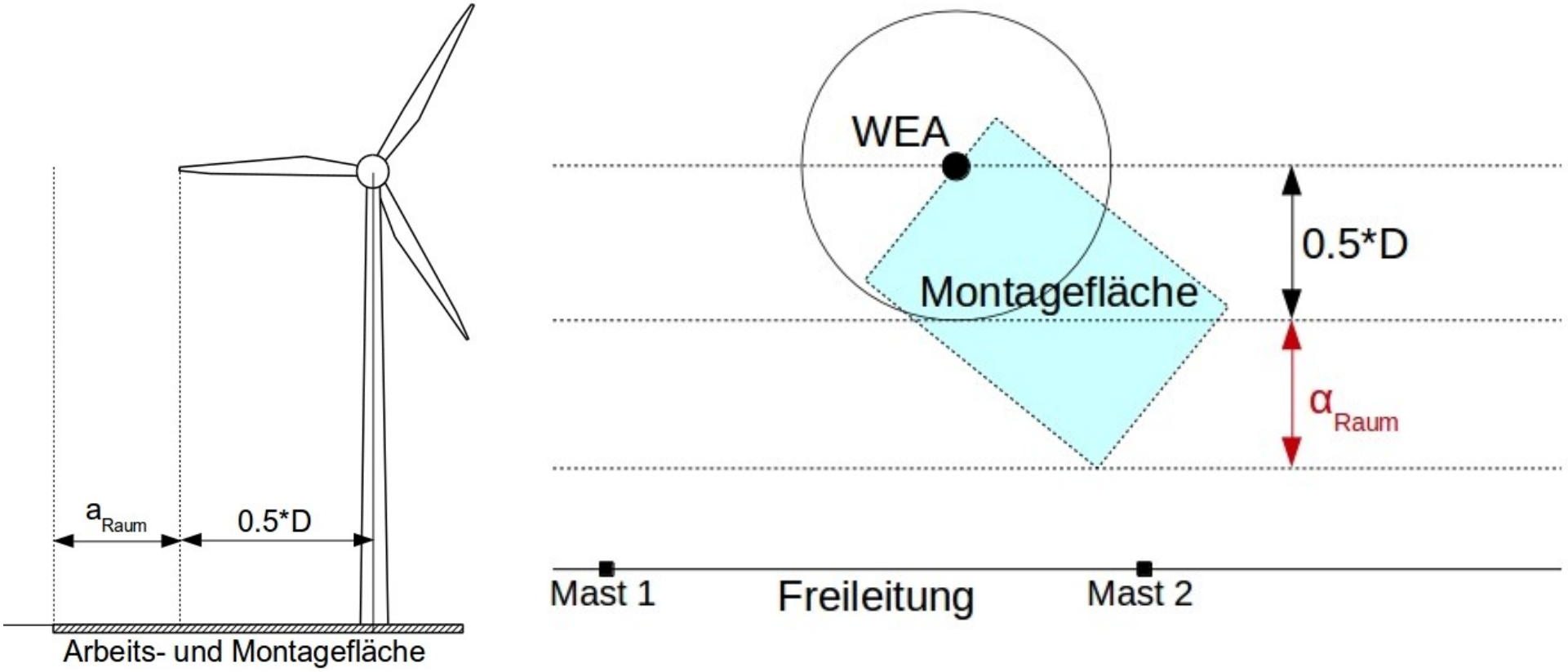


Inhalt

- Der Ausgangspunkt
  - Physikalischer Hintergrund der Schädigung von Leiterseilen
- Die Historie
  - Von den 1990ern zur heutigen DIN-Norm
- Die Praxis
  - Anwendung der DIN EN 50341-2-4
- Die Weiterentwicklung
  - Die Physik im Licht der Strömungssimulation
- Der Ausblick

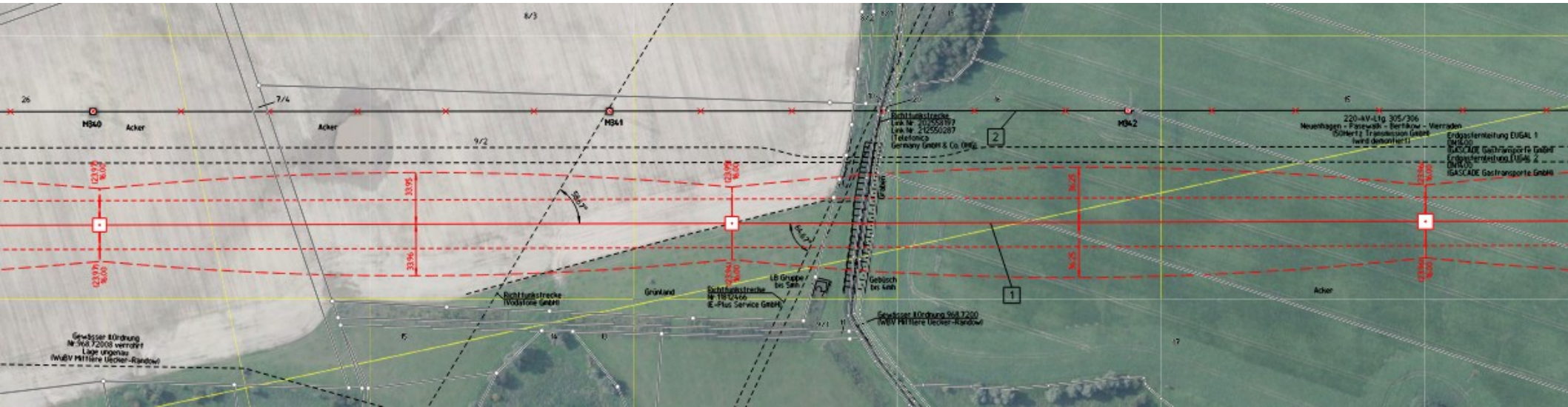
Planung des Arbeitsraumes

- Arbeitsraum kommt nur zum Tragen, wenn er zwischen Freileitung und WEA geplant ist und über den Rotor hinausragt



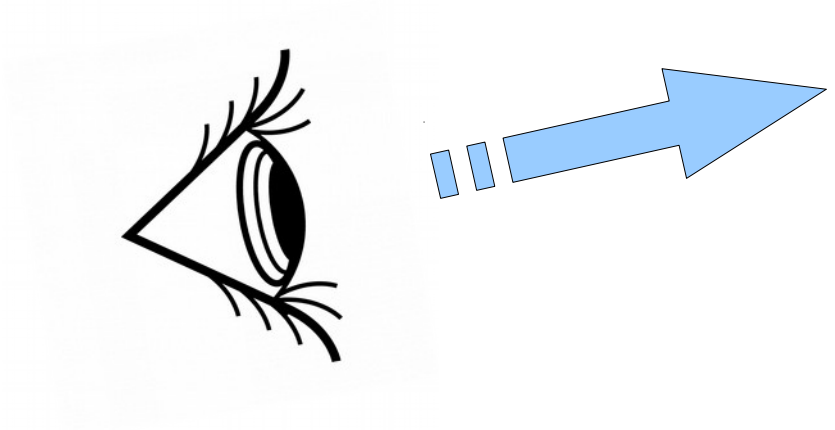
Datenbeschaffung

- Die Netzbetreiber sind mittlerweile gut auf die Nachfrage vorbereitet. Die Bereitstellung der Daten kann aber dauern.
- Nur bei Freileitungen der Mittelspannungsebene (AC 1 - 35kV) ist die Datenlage oft schwierig.
- Benötigt werden:
  - Koordinaten der Tragmasten
  - Mastgeometrie, aus der die Größe und Anordnung der Traversen etc. hervorgeht
  - Angaben zur Ausschwingbreite der Leiterseile oder zur Breite des Schutzstreifens



Schwingungsschutz

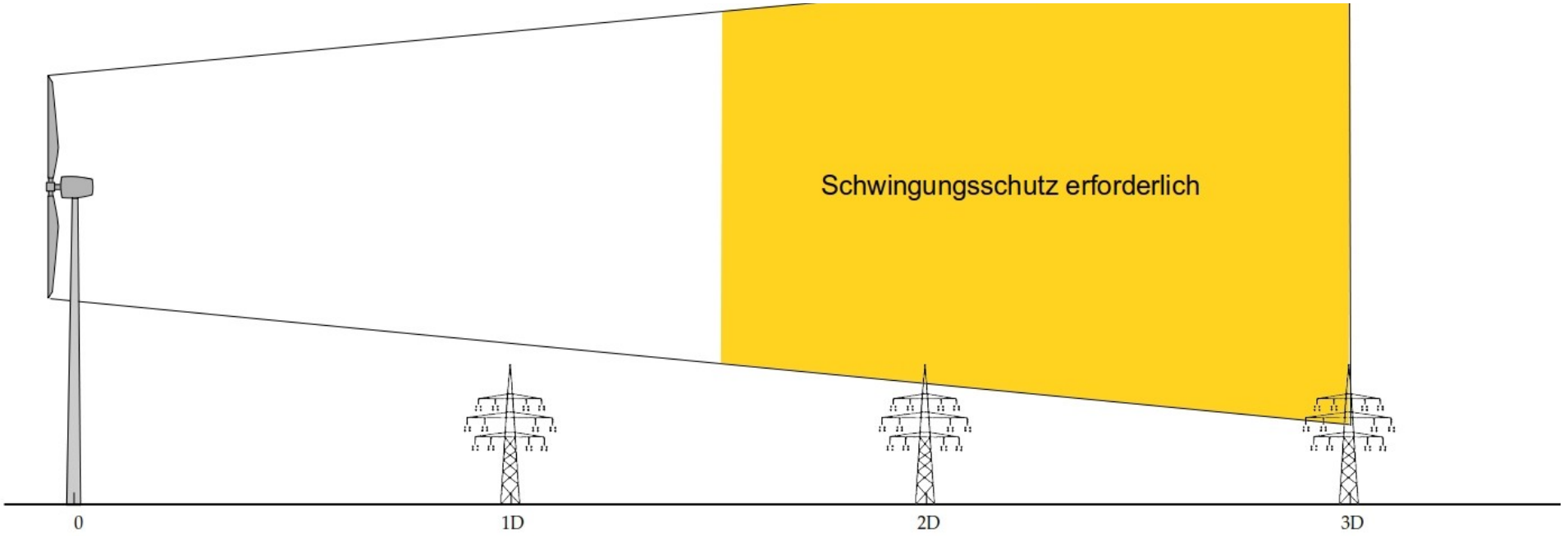
- Sind bereits Schwingungsschutzmaßnahmen vorhanden?
- Wenn diese ausreichend sind, kann die WEA ohne weiteren Aufwand maximal dicht geplant werden



Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Stockbridge-Schwingungstilger

Ausdehnung des Nachlaufs

- Das Modell der Norm ist stark vereinfacht und physikalisch nicht begründet
- Der potentiell schädliche Bereich weist z.B. überall eine auf 40% reduzierte Windgeschwindigkeit auf und dehnt sich gleichzeitig kontinuierlich aus. Das entspricht offensichtlich nicht der Realität.

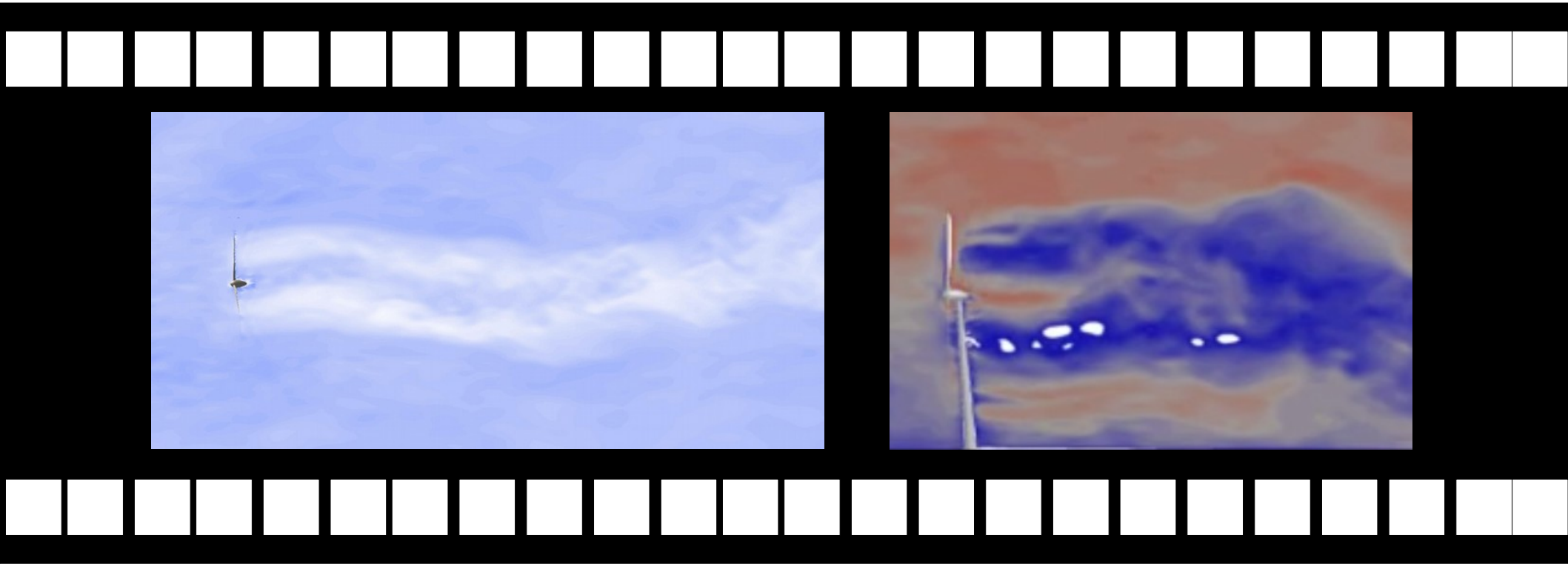


- **Detaillierte Betrachtung mit CFD!**

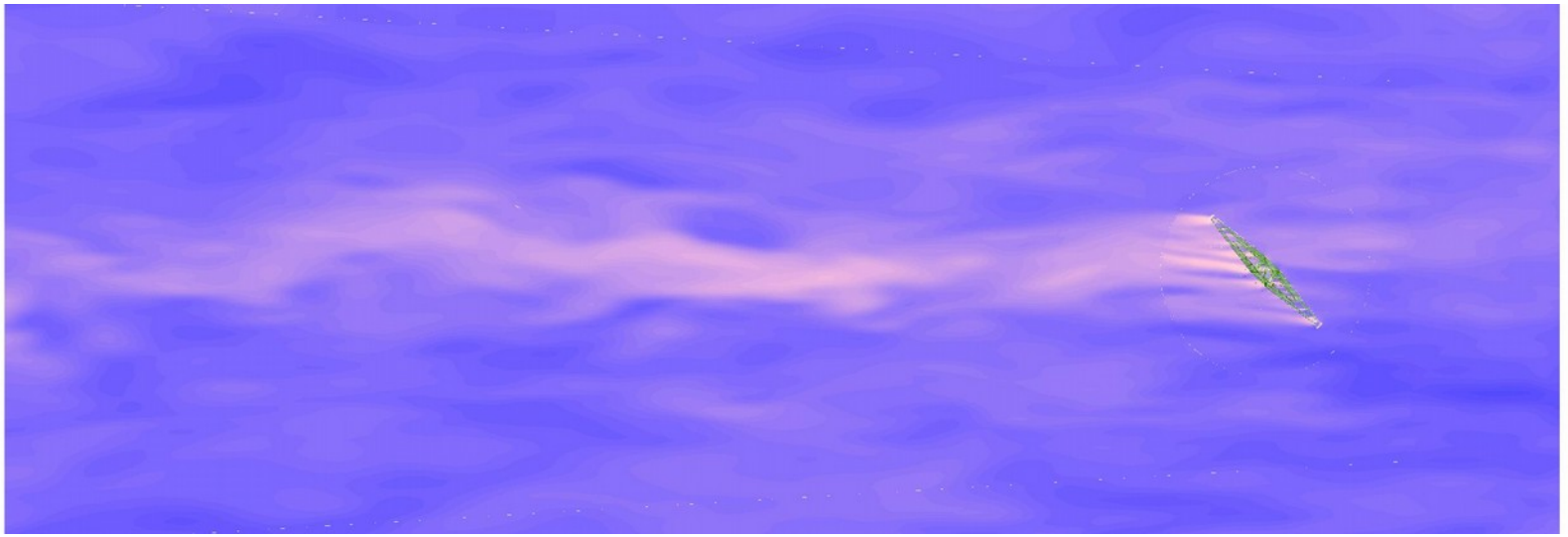
Inhalt

- Der Ausgangspunkt
  - Physikalischer Hintergrund der Schädigung von Leiterseilen
- Die Historie
  - Von den 1990ern zur heutigen DIN-Norm
- Die Praxis
  - Anwendung der DIN EN 50341-2-4
- Die Weiterentwicklung
  - Die Physik im Licht der Strömungssimulation
- Der Ausblick

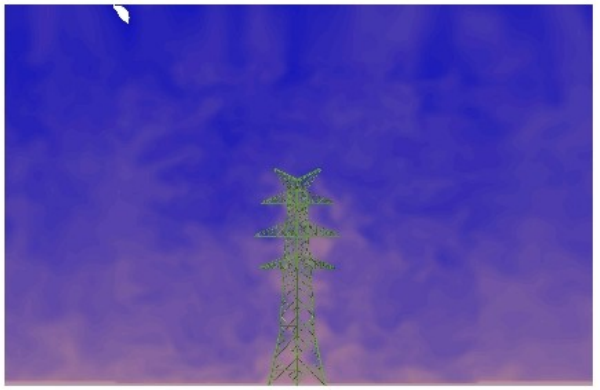
Was passiert im Nachlauf wirklich?



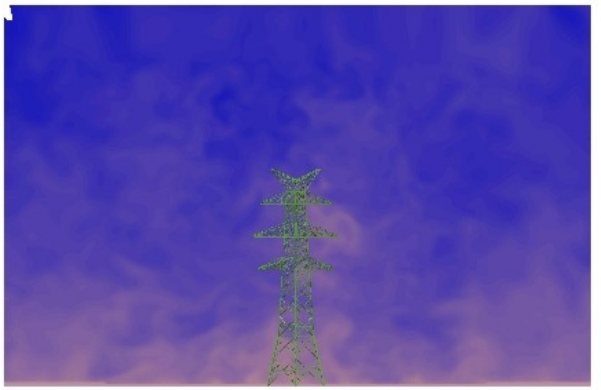
Umströmung Freileitungsmast



100m



150m



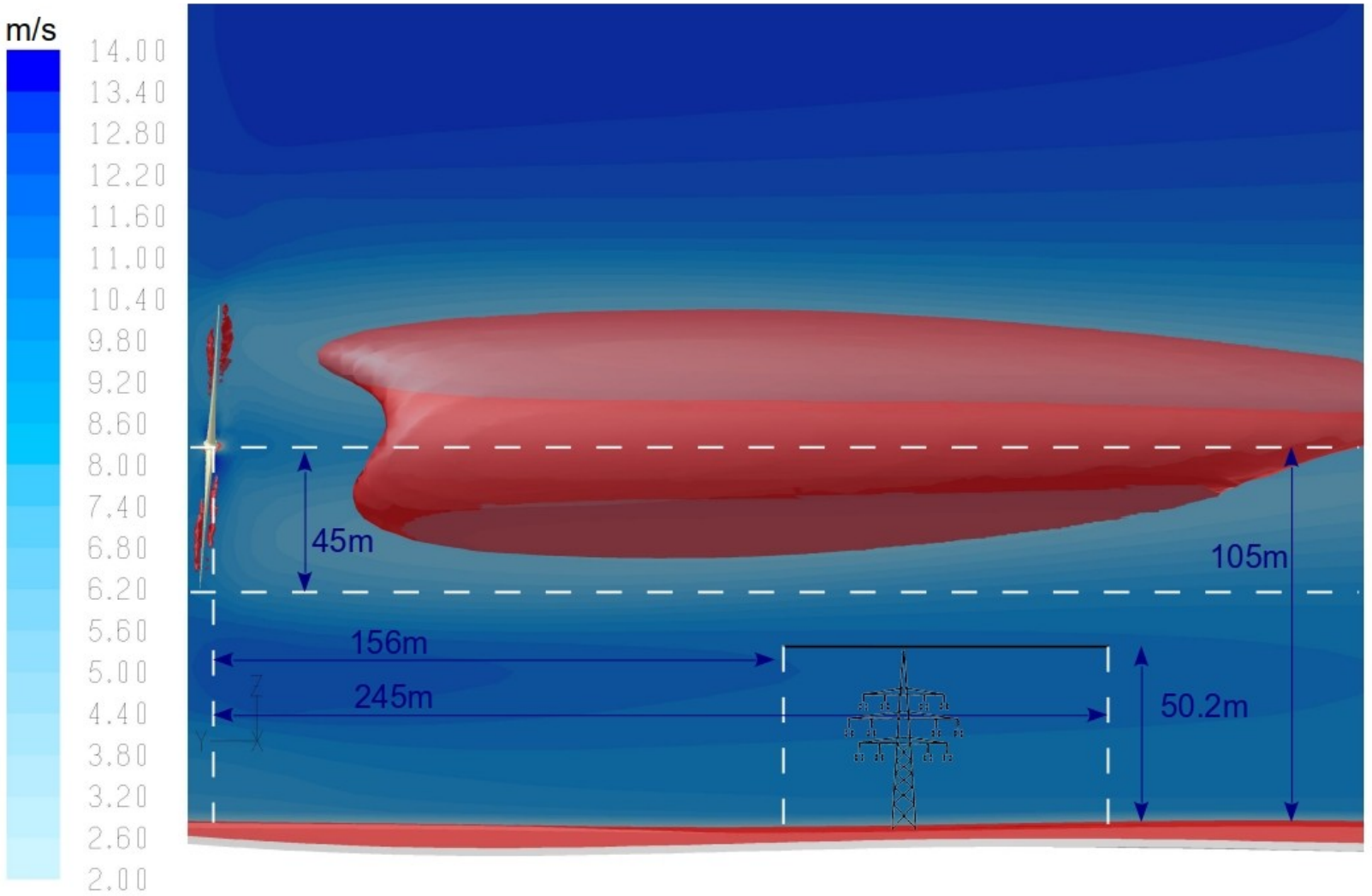
200m

Nachlauf ↔ Studie von 1999

- Der Bereich verminderter Windgeschwindigkeit dehnt sich nicht aus. Er mäandert seitlich und leicht auch in der Höhe.
- 40% der ungestörten Windgeschwindigkeit werden im Nachlauf der WEA entweder nicht oder nur in einem begrenzten Bereich erreicht.
- Unterhalb des Rotors ist die Windgeschwindigkeit im Mittel erhöht.
- Die schwingungsdämpfende Turbulenz ist im Nachlauf sehr viel höher als in der Studie angenommen.
- Alle Annahmen der Studie zusammen finden sich an keiner Stelle im Nachlauf.
- Gibt es eine schädigende Wirkung im Hinblick auf Schwingungsanregung?

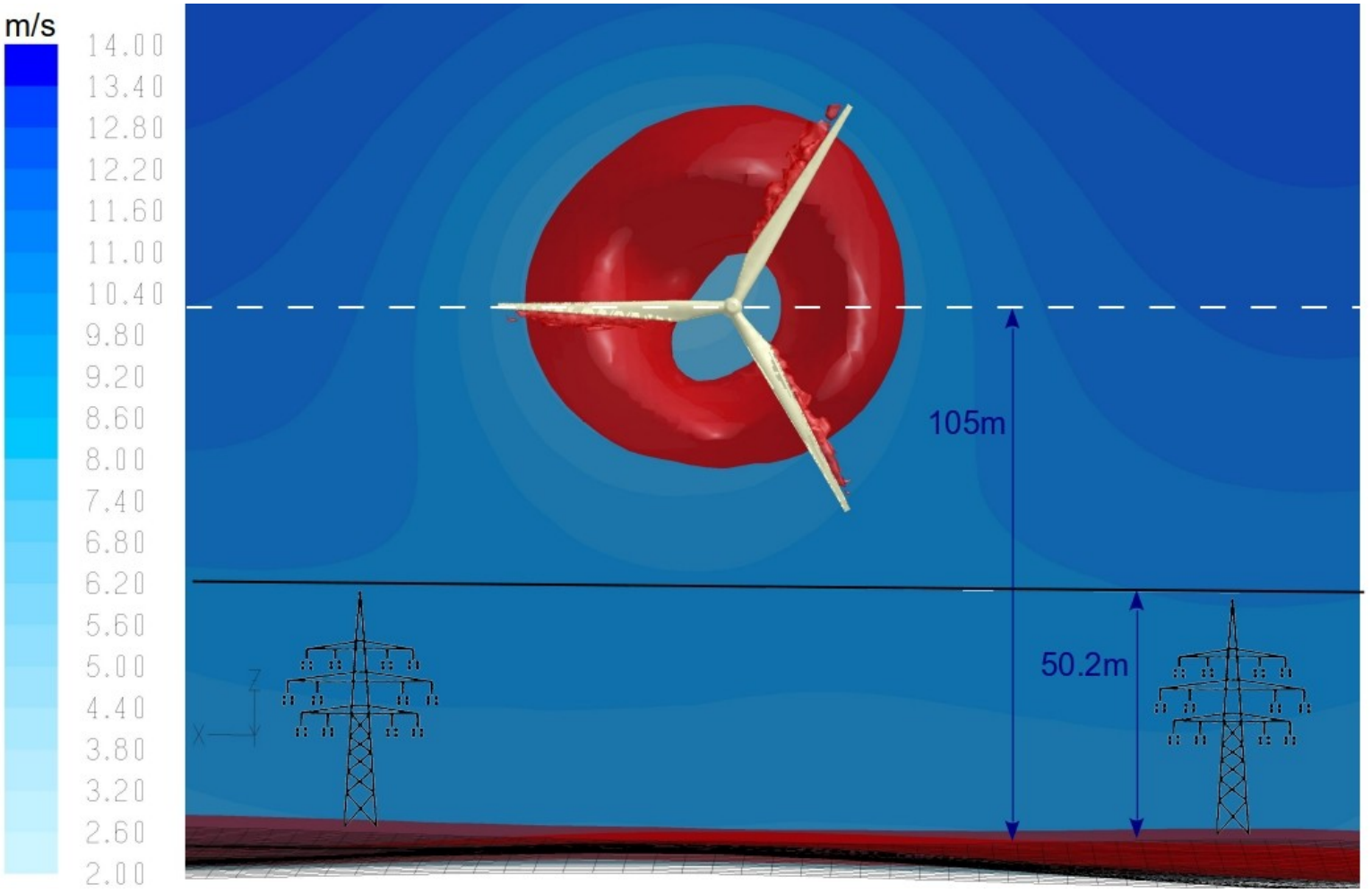
CFD-Modellierung

- Konservativer Ansatz: Nur Betrachtung der auf 40% reduzierten Windgeschwindigkeit



CFD-Modellierung

- Faustformel: Masten, die nicht über die Unterkante des Rotors hinausragen, werden vom potentiell schädigenden Bereich der Nachlaufströmung nicht getroffen.



Inhalt

- Der Ausgangspunkt
  - Physikalischer Hintergrund der Schädigung von Leiterseilen
- Die Historie
  - Von den 1990ern zur heutigen DIN-Norm
- Die Praxis
  - Anwendung der DIN EN 50341-2-4
- Die Weiterentwicklung
  - Die Physik im Licht der Strömungssimulation
- Der Ausblick

Zusammenfassung und Ausblick

- Zusammenfassung
  - Auf Basis der neuen DIN EN 50341-2-4 können WEA mehr oder weniger bis an den Schutzstreifen der Freileitung geplant werden
  - Mit den Methoden der CFD lässt sich der potentiell schädigende Bereich der Nachlaufströmung deutlich eingrenzen
  - Potentielle Schwingungsprobleme lassen sich technisch stets durch eine Bedämpfung der Leiterseile lösen.
- Ausblick
  - Vereinzelt werden andere Risiken angefragt:
    - Bauteilversagen (Blattbruch, Turmversagen etc.)
    - Eiswurf/Eisfall (eine Schädigung der Freileitung ist hier aber fraglich)
  - Diese Risiken können ebenfalls bewertet werden. Vortrag hierzu im anemos Forum 8A, Donnerstag 12:45 Uhr