



Hotspot Identifikation im Rahmen des Adaptiven Freileitungsbetriebs (AFB) unter Verwendung der CFD-Software WindStation sowie des Cigré- und Puffermodells

Vorgehensweise

Emden, April 2020

menzio GmbH
Zum Nordkai 16
D-26725 Emden

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Durch die Verwendung der validierten CFD-Software **WindStation** werden Winddaten (z.B. DWD-Messstation oder Mesoskalendaten) mit einer hohen Genauigkeit unter Berücksichtigung der lokalen Geländestruktur und Topographie horizontal und vertikal auf die Positionen der Strommasten und Höhen der Seilleiter übertragen. Mit dieser Vorgehensweise können hochaufgelöste Zeitreihen der Temperatur, der Windgeschwindigkeit, der Windrichtung und des relativen Windanströmwinkels sowie der Turbulenz an **jeder beliebigen Position** entlang des Stromkreises berechnet werden. Diese Zeitreihen fließen zusammen mit den technischen Merkmalen des Seilleiters in das an **WindStation** gekoppelte Cigré-Modell ein, um die maximale Übertragungskapazität der Freileitung zu berechnen. Zur Identifizierung von Hotspots bei gleichzeitiger Minimierung der Anzahl von Wetterstationen pro Stromkreis wird das Verfahren der maximalen Pufferreduktion angewendet.

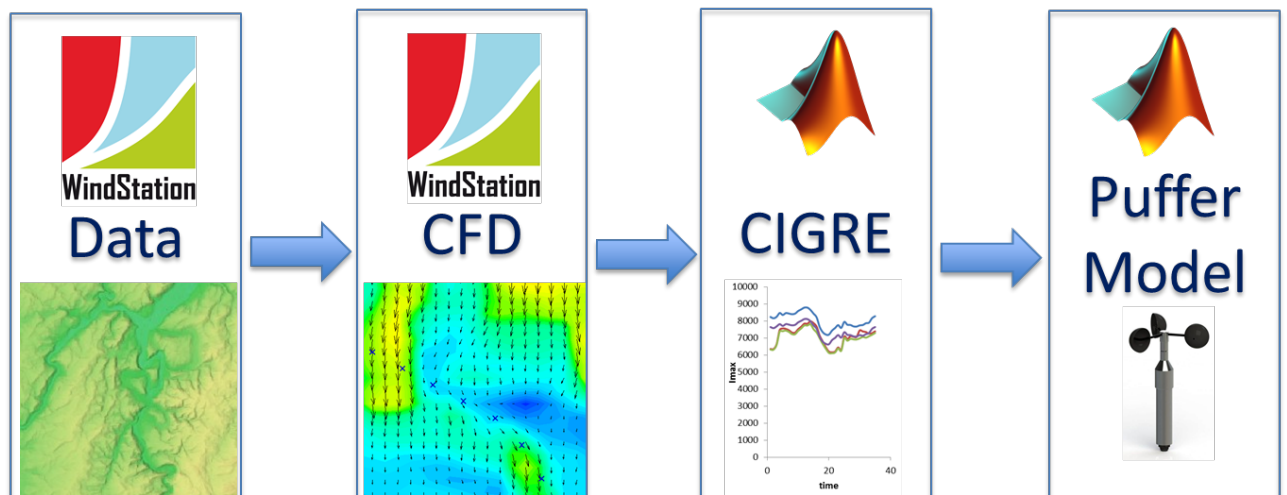


Abbildung 1: Verfahren zur Hotspot-Analyse unter Verwendung der CFD-Software WindStation sowie des Cigré- und des Puffermodells.

2 Datenanalyse - Geo-Daten und Meteorologische Daten

Als Eingangsdaten für die CFD-Simulationen sind neben den digitalen Orographie- und Landnutzungsdaten meteorologische Daten der Windgeschwindigkeit, der Temperatur und der Globalstrahlung erforderlich. Als Input können meteorologische Daten (Temperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Globalstrahlung) lokaler Messungen, von Mesoskalenmodellen, Reanalysen oder des amtlichen Messnetzes des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet werden.

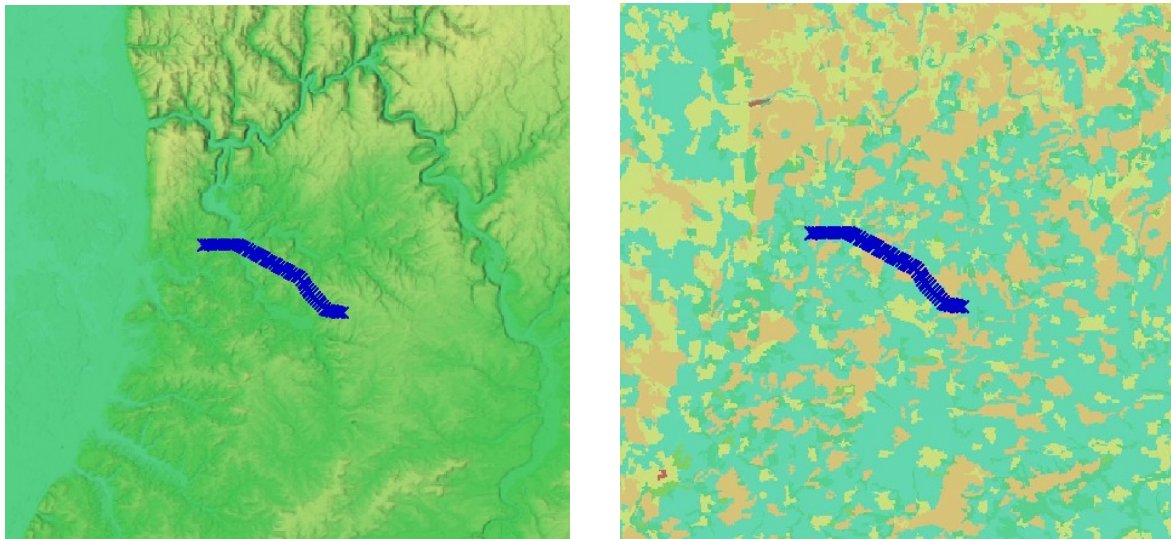


Abbildung 2: Beispielhafter Ausschnitt aus dem digitalen Geländemodell (links), Landnutzungsmodell (rechts) und der Verlauf des untersuchten Stromkreises (blaue Symbole).

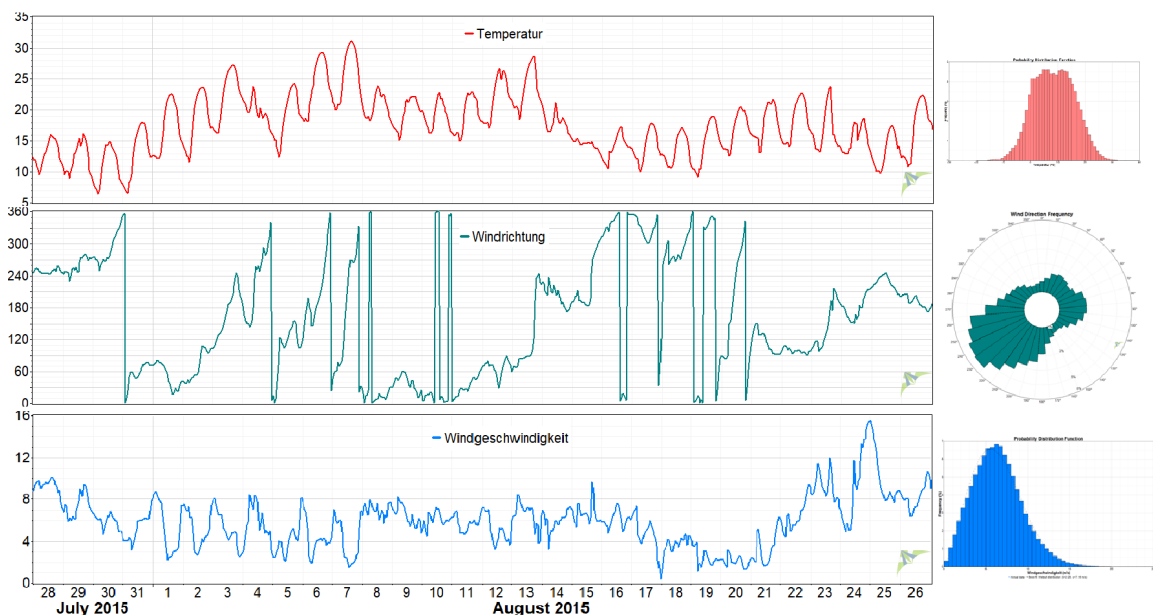


Abbildung 3: Hochaufgelöste Zeitreihen der Temperatur, der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung.

3 Strömungssimulationen mit der CFD-Software WindStation

Um den hohen Anforderungen an die Standortbeurteilung im komplexen Gelände mit variabler Gelände- und Landnutzungsstruktur gerecht zu werden, wird die validierte **CFD-Software WindStation** eingesetzt. In **WindStation** werden die Bewegungsgleichungen (Navier-Stokes Gleichungen) für ein dreidimensionales Rechengitter gelöst. Die Auswirkungen von Rauigkeitselementen wie Wäldern und größeren Hindernissen auf das vertikale Windprofil werden durch das integrierte Wald- und Hindernismodell dargestellt. Hindernisse (z.B. Gebäude) und bewaldete Geländeabschnitte werden über einen Porositätsansatz berücksichtigt, um deren Einfluss auf die bodennahe Strömung bestmöglich zu erfassen. Die Modellphysik des Strömungsmodells erlaubt es, den Einfluss der Orographie und der Landnutzung auf das bodennahe Windfeld für verschiedene meteorologische Verhältnisse zu berücksichtigen.

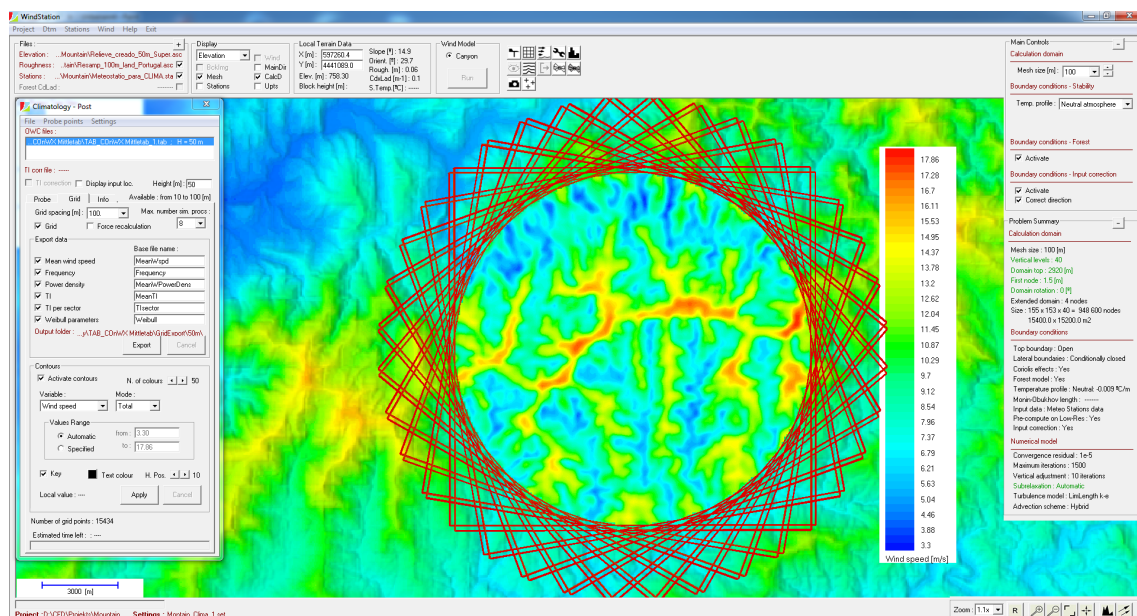


Abbildung 4: Bildschirmfoto der Benutzeroberfläche der CFD-Software WindStation.

Als atmosphärischen Strömungsantrieb für die CFD-Simulationen können Windmessungen, z.B. des amtlichen Messnetzes, oder Mesoskalendaten verwendet werden. Sofern keine Windmessungen verfügbar sind, werden über ein dynamisches Nesting-Verfahren die grob aufgelösten Mesoskalendaten (oder Reanalysen) auf die Maststandorte übertragen. In Abbildung 3 ist beispielhaft das Nesting-Verfahren dargestellt. Die blauen Kreuze zeigen die Masten eines Stromkreises innerhalb des hochaufgelösten Simulationsgebiets (high resolution).

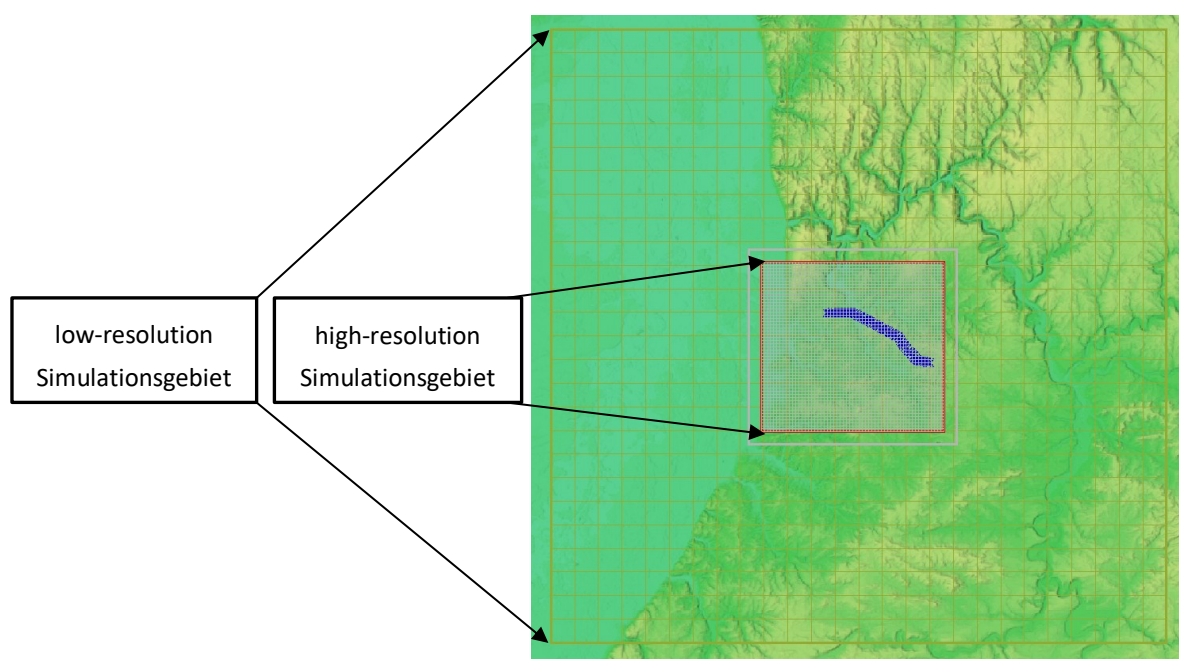


Abbildung 5: Schematische Darstellung des übergeordneten Simulationsgebietes der low-resolution (grünes Rechteck) und dem darin eingebetteten high-resolution Simulationsgebiet (rotes Rechteck) mit dem Verlauf eines Stromkreisabschnitts (blaue Symbole).

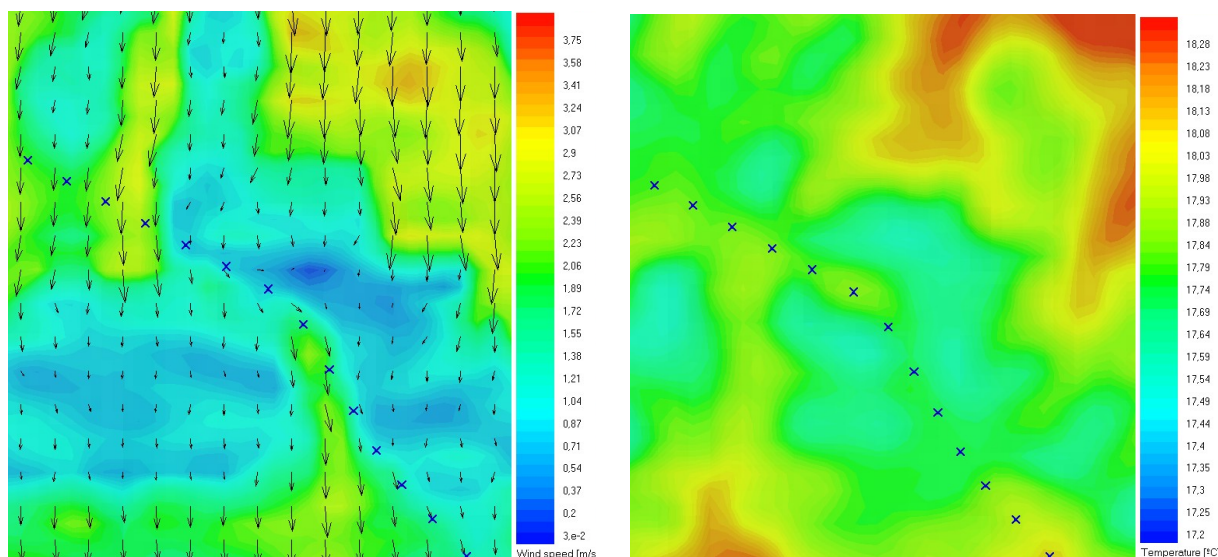


Abbildung 6: High-resolution CFD-Simulation des Windes (links) und Temperatur (recht) für die Umgebung des Stromkreisabschnitts (blaue Symbole)

4 Cigré-Modells und Hotspot-Analyse

Nach Durchführung aller high-resolution CFD-Simulationen werden im Postprocessing für jedes Spannungsfeld Zeitreihen der Windgeschwindigkeit, Windrichtung mit Berechnung des relativen Anströmwinkel zum Spannungsfeld, sowie der Temperatur und der Globalstrahlung mit stündlicher Auflösung generiert. Diese Zeitreihen fließen zusammen mit den technischen Merkmalen des Seilleiters in das an WindStation gekoppelte Cigré-Modell ein, um die maximale Übertragungskapazität für jedes Spannungsfeld zu berechnen. Es werden die durch den Auftraggeber bereitgestellten technischen Parameter der Seileiter berücksichtigt und die Berechnung der Dauerstrombelastbarkeit je Stromkreis (VDE-Anwendungsregel VDE-AR-N 4210-5) durchgeführt.

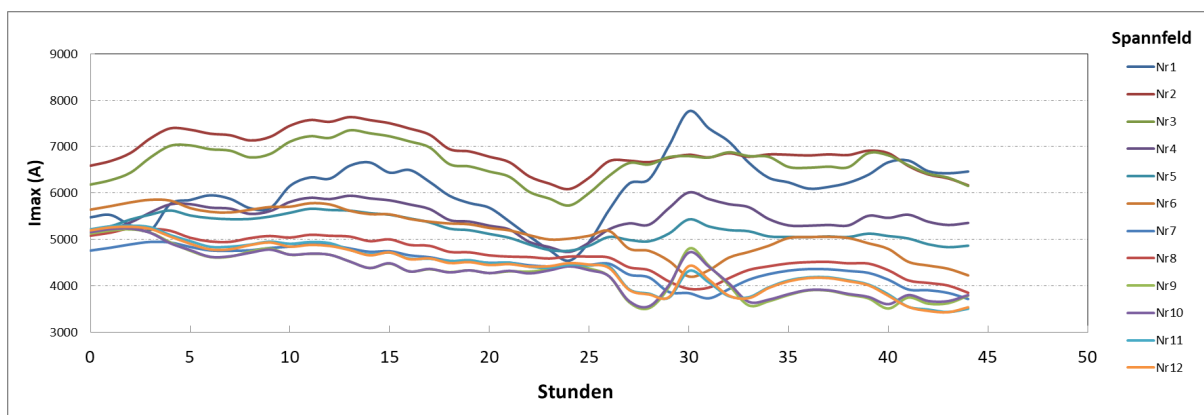


Abbildung 7: Hochaufgelöste Zeitreihen der maximalen Übertragungskapazität I_{max} für unterschiedliche Spannungsfelder eines Stromkreises.

Das Puffer-Modell wird verwendet, um zu bestimmen, welche Spannungsfelder die maximale Übertragungskapazität des gesamten Stromkreisabschnitts in einem bestimmten Zeitpunkt begrenzen (Hotspots). Basierend auf einem iterativen Verfahren berechnet das Modell an welchen Hotspots Wetterstationen installiert werden sollen, um eine effiziente Überwachung der meteorologischen Parameter entlang des Stromkreisabschnitts zu gewährleisten. Hierbei wird ein vorher definiertes Sicherheitsniveau in Form eines Perzentils berücksichtigt.



Abbildung 8: Messpunkte zu dem Stromkreisabschnitt.

5 Literaturverzeichnis

A. Gameiro Lopes, 2003: WindStation – A Software for the Simulation of atmospheric flows over complex topography. Environmental Modelling & Software, Vol. 18, N. 1, p. 81-86, 2003.

A. Gameiro Lopes, A. C. M. Sousa, D. X. Viegas, 1995: Numerical Simulation of Turbulent Flow and Fire Propagation in complex Terrain. Numerical Heat Transfer, Part A, N. 27, p. 229-253, 1995.

A. Gameiro Lopes, O. Herrera Sánchez, T. Sperling, H. Koch, R. Daus, R. Braun, 2017: Prediction of the Wind Field in Moderate Terrain Using the Navier-Stokes Solver WindStation. Abstract DEWEK 2017, Bremen.

Cigré Working Group 22.12, 2002, Thermal Behaviour of Overhead Conductors, August 2002.

Amprion GmbH, 2018: Puffermodell, Powerpoint-Präsentation der Amprion GmbH zum Adaptiven Freileitungsbetrieb, 17.04.2018 A-OT/Bu.

Meteogroup, Amprion 2018: Adaptiver Freileitungsbetrieb (Handbuch), Kap. 6 Hotspot-Identifikation Puffermodell.

SRTM-Daten: Fernerkundungsdaten der Erdoberfläche, die bei der STS-99 *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) im Februar 2000 erhoben wurden, Quelle: CGIAR - Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI)

CORINE Daten: Europaweit harmonisierte Landbedeckungs- und Landnutzungsdaten im Rahmen des Projekts CORINE Land Cover (CLC), Quelle: Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau.

Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 4. Juli 2002