|  |  |
| --- | --- |
| CONTACT Software GmbH - OWL Maschinenbau | **Logo_Uni_1** |

Bachelorarbeit - Exposee

**Kurzzeitprognose der Turmschwingungskinematik von Onshore-Windenergieanlagen**

Autor: Zelgai Nemati

Matrikelnummer: 4516359

Studiengang: B. Sc. Systems Engineering

Erstprüfer: Prof. Dr. Klaus-Dieter Thoben

Zweitprüfer: M. Sc. Andreas Haselsteiner

Betreuer Contact Software: Dr. Nicole Göckel

Dr. Thomas Dickopf

Bearbeitungszeitraum: 13.12.2021 – 04.03.2022

**Inhaltsverzeichnis**

[1 Problemstellung 5](#_Toc87253268)

[2 Stand der Technik 6](#_Toc87253269)

[2.1 Turmschwingungskinematik 6](#_Toc87253270)

[2.2 Prognosemodelle 6](#_Toc87253271)

[2.2.1 Autoregression (AR) 6](#_Toc87253272)

[2.2.2 Moving-Average (MA) 6](#_Toc87253273)

[2.2.3 ARIMA 6](#_Toc87253274)

[2.2.4 SARIMA 6](#_Toc87253275)

[2.2.5 LTSM 6](#_Toc87253276)

[3 Zielstellung 7](#_Toc87253277)

[4 Gliederung 8](#_Toc87253278)

[5 Zeit- und Arbeitsplan 9](#_Toc87253279)

[6 Literaturverzeichnis 10](#_Toc87253280)

# Problemstellung

Onshore Windenergie liefert schon heute einen substanziellen Teil des Energiemixes und hat in den letzten zehn Jahren erhebliche Fortschritte gemacht. Beispiele sind größere und zuverlässigere Turbinen, steigende Bauhöhen und größere Rotorblattdurchmesser. Aufgrund dieses technologischen Fortschritts und der optimierten Skalierung konnten zwischen den Jahren 2010 und 2019 die Stromgestehungskosten um 39% (von 0,086 USD/kWh auf 0,053 USD/kWh) und die Installationskosten um 24% gesenkt werden. Diese Entwicklung führt zu einer gesteigerten Wettbewerbsfähigkeit der Windenergie Branche und somit haben 75% aller im Jahr 2019 in Auftrag gegebenen Windprojekte niedrigere Stromgestehungskosten als die billigste fossile Energiequelle. Die Windenergie ist auf dem Weg eine tragende Säule des zukünftigen grünen Energiemixes zu werden. [Ire20]

Um die Kosten weiterhin zu senken, ist es insbesondere notwendig, den Installationsprozess zu optimieren. Die Montage der Rotorblätter stellt dabei die größte Herausforderung dar, denn hier ist hohe Präzision und Sorgfalt erforderlich, um die Blattschraube in den Nabenflansch einzusetzen. Der Wind übt Lasten auf die mechanischen Strukturen der Windkraftanlage aus und die daraus resultierenden Relativbewegungen zwischen Turm und den Rotorblättern erschwert die Blattmontage. Überschreitet die Relativbewegung einen definierten Schwellenwert, kann die Installation nicht mehr durchgeführt werden, da Schäden beim Montagevorgang zu erwarten sind und es kommt zu einer kostspieligen Verzögerung. [Has20, Has21]

Deshalb werden aktuell Wetterlimits zur Planung solcher Installationsmaßnahmen verwendet, wobei eine direktere limitierende Größe als das Wetter, eine Prognose der Turmschwingung wäre.

# Stand der Technik

## Turmschwingungskinematik

Wie funktioniert:

## Prognosemodelle

### Autoregression (AR)

### Moving-Average (MA)

### ARIMA

### SARIMA

### LTSM

# Zielstellung

Im Kapitel 1 wurde bereits erläutert, dass Wetterlimits bei der Planung und Durchführung von Installationsvorgängen verwendet werden, da es bei einer zu hohen Relativbewegung zwischen Turm und Rotorblatt zu Schäden an den Komponenten kommen kann.

Eine direktere limitierende Größe als das Wetter, wäre eine Prognose der Turmschwingung. Deswegen soll im Rahmen dieser Abschlussarbeit die Forschungsfrage beantwortet werden, wie genau die Schwingungskinematik eines Windenergieanlagen-Turms für die nächsten Sekunden und Minuten vorhergesagt werden kann.

Dazu werden fünf verschiedene Prognosemodelle aufgestellt, welche auf GitHub unter einer MIT Lizenz frei verfügbar sind. Die Genauigkeit dieser Modelle wird dann für verschiedene Zeiträume getestet, sodass eine fundierte Beantwortung der wissenschaftlichen Fragestellung sich aus diesen Ergebnissen ableitet.

Diese optimierten Prognosemodelle sollen dann im letzten Schritt an die CONTACT Elements Platform angebunden werden, damit man sich die Ergebnisse der Modelle auf einem Dashboard angucken kann

# Gliederung

1. Einleitung
2. Zielstellung
3. Stand der Forschung
   1. Turmschwingungskinematik
   2. Prognosemodelle
      1. Autoregression (AR)
      2. Moving-Average (MA)
      3. ARIMA
      4. SARIMA
      5. LSTM
4. Datenselektion und Vorverarbeitung
5. Autoregression (AR)
   1. Theorie
   2. Umsetzung
   3. Auswertung
6. Moving-Average (MA)
   1. Theorie
   2. Umsetzung
   3. Auswertung
7. ARIMA
   1. Theorie
   2. Umsetzung
   3. Auswertung
8. SARIMA
   1. Theorie
   2. Umsetzung
   3. Auswertung
9. LSTM
   1. Theorie
   2. Umsetzung
   3. Auswertung
10. CONTACT Elements Integration
11. Fazit und Ausblick
12. Literaturverzeichnis

# Zeit- und Arbeitsplan

# Literaturverzeichnis

**[Ire20]** IRENA 2020, Renewable Power Generation Costs in 2019, Seite 46-60

**[Has21]** Haselsteiner A. 2021, Could Mass Eccentricity explain the formation of orbits in wind turbines?

**[Has20]** Haselsteiner A. 2020, Relative motion during single blade installation: Measurements from the north sea