



Hochschule für Technik  
und Wirtschaft Berlin

*University of Applied Sciences*

# Modellierung, Simulation und Regelung einer drehzahlvariablen Windturbine

## Automation in regenerativen Energiesystemen (VA3)

<b>Name:</b>	<b>Matrikelnummer:</b>
Christopher Berg	579665
Sebastian Richter	572906
Aaron Zielstorff	567183

<b>Fachbereich:</b>	FB1
<b>Studiengang:</b>	M. Elektrotechnik
<b>Fachsemester:</b>	3. FS
<b>Fach:</b>	VA3 Automation in regenerativen Energiesystemen
<b>Dozent:</b>	Prof. Dr.-Ing. Horst Schulte
<b>Abgabe am:</b>	10. Februar 2022

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung in die Windenergieanlage</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>6</b>
2.1	Stromröhrentheorie . . . . .	6
2.2	Tragflügeltheorie . . . . .	6
2.3	WEA-Kennfelder . . . . .	6
2.4	Lookup Tables . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Modellierung des Umrichters</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Modellierung des Antriebsstranges</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Momentenregelung des Antriebstrangs</b>	<b>9</b>
5.1	Unterer Teillastbereich . . . . .	9
5.2	Oberer Teillastbereich . . . . .	9
5.3	Volllastbereich . . . . .	9
<b>6</b>	<b>Turm- und Blatt-Modell</b>	<b>10</b>
6.1	Aerodynamik . . . . .	10
6.2	Modellierung des Turmes und des Blattes . . . . .	10
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>11</b>

## Abbildungsverzeichnis

1.1	Aufbau NREL Windturbine . . . . .	4
6.1	Modell des Turms und der Blätter . . . . .	10

## Tabellenverzeichnis

1.1	Modellparameter . . . . .	5
-----	---------------------------	---

# 1 Einführung in die Windenergieanlage

Ziel dieser Arbeit soll es sein, eine drehzahlvariable 5 MW Windturbine zu Modellieren, Simulieren und die Regelung umzusetzen. Konkret handelt es sich um eine *NREL*-Turbine, die für den Offshore-Einsatz konzipiert ist.

Dafür sollen folgende Anforderungen umgesetzt werden:

1. Erstellung des mathematischen Modells der Windturbine
2. Implementierung des Modells in Matlab/Simulink
3. Untergliederung des Modells in die Teilmodelle Antriebsstrang, Aerodynamik, Turm- und Blattdynamik
4. Umsetzung eines reduzierten Windturbinen-Modells für den Teil- und Volllastbereich
5. Reglerentwurf für alle Arbeitspunkte (über kennfeldbasierte, arbeitspunktabhängige Nachführung der Reglerkoeffizienten)

Der modellhafte Aufbau einer Windturbine ist nachfolgend (in Abbildung 1.1) dargestellt.

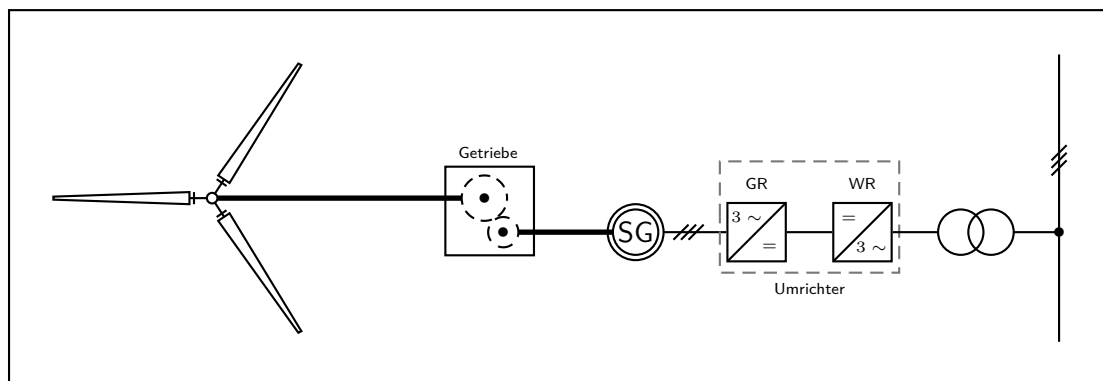


Abb. 1.1: Modellhafte Darstellung einer NREL Windturbine

Wie bereits aus den Anforderungen hervorgeht, soll das umzusetzende Modell unterteilt werden. Dabei besitzt jedes Teilmodell eigene Parameter/Konstanten, die in Tabelle 1.1 aufgezeigt sind.

Symbol	Parameter	Wert
Antriebsstrang		
$n_g$	Getriebeübersetzungsverhältnis	97.0
$J_r$	Rotor Trägheitsmoment	$38759 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
$J_g$	Generator Trägheitsmoment	$534.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
$k_s$	Triebstrangsteifigkeit bez. auf schnelle Welle	$867637000/n_g^2$
$d_s$	Dämpfungsfaktor d. Triebstranges	$6215000/n_g^2$
Turm		
$m_{\text{Nac}}$	Gondelmasse	240000 kg
$m_{\text{Rot}}$	Rotormasse (Blätter und Narbe)	11000 kg
$m_{\text{Tow}}$	Turm-masse	347460 kg
$m_T$	Ersatzmasse der Windkraftanlage	$m_{\text{Nac}} + m_{\text{Rot}} + 0.25 \cdot m_{\text{Tow}}$
$k_T$	Ersatzsteifigkeit des Turmes	1981900 N/m
$d_T$	Dämpfungsfaktor des Turmes	$7 \cdot 10^4$
Rotorblatt		
$R$	Blattradius	63 m
$m_{\text{Bla}}$	Masse eines Rotorblattes	17740 kg
$r_B$	Effektive Blattlänge	21.975 m
$m_B$	Effektiv schwingende Blattmasse	$0.25 \cdot m_{\text{Bla}}$
$k_B$	Ersatzsteifigkeit eines Blattes	40000 N/m
$d_B$	Dämpfungsfaktor eines Blattes	$2 \cdot 10^4$
Weitere Parameter		
$\rho$	Luft-dichte	$1.225 \text{ kg/m}^3$

Tab. 1.1: Modellparameter der NREL Windturbine

Ziel soll es sein eine Regelung für den Teillast- und Volllastbetrieb umzusetzen, die auf die in Simulink implementierten (Teil-)Modelle angewendet wird. Als Stellgröße gelten das Generatormoment und der kollektive Pitchwinkel. Dabei sind folgende Systemgrenzen zu berücksichtigen:

1. Stellgrößenbegrenzung des Pitchantriebes von maximal  $8^\circ$
2. Maximale Narbenauslenkung bei Böen sei 1.5 m
3. Maximale Blattauslenkung an der Spitze sei 7 m
4. Die Rotordrehzahl darf maximal 1.2-fach so groß sein wie die Nenndrehzahl

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Stromröhrentheorie

### 2.2 Tragflügeltheorie

### 2.3 WEA-Kennfelder

### 2.4 Lookup Tables

## 3 Modellierung des Umrichters

## 4 Modellierung des Antriebsstranges



## **5 Momentenregelung des Antriebstrangs**

### **5.1 Unterer Teillastbereich**

### **5.2 Oberer Teillastbereich**

### **5.3 Volllastbereich**

## 6 Turm- und Blatt-Modell

### 6.1 Aerodynamik

### 6.2 Modellierung des Turmes und des Blattes

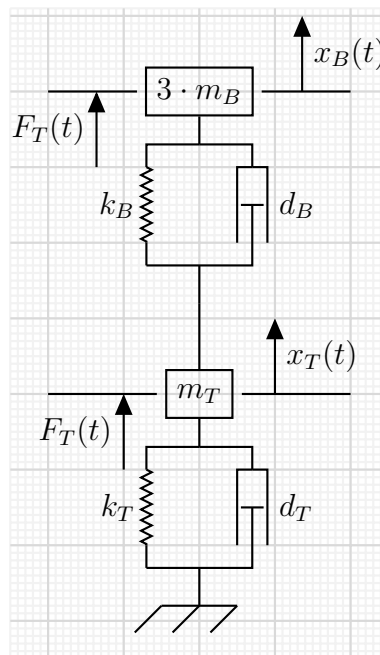


Abb. 6.1: Modell des Turms und der Blätter

## Literaturverzeichnis

- [1] HTW-Logo auf dem Deckblatt  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Logo\\_HTW\\_Berlin.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Logo_HTW_Berlin.svg)  
Stand: 17.08.2018 um 14:49 Uhr
- [2] HTW-Logo in der Kopfzeile  
<http://tonkollektiv-htw.de/>  
Stand: 17.08.2018 um 14:53 Uhr
- [3] Skript Automation in regenerativen Energiesystemen  
Prof. Dr.-Ing. Horst Schulte
- [4] Anleitung Linearisierung eines zeitinvarianten,  
nichtlinearen Zustandmodells  
Prof. Dr.-Ing. Heide Brandstädter
- [5] Regelungs- und Steuerungstechnik: Polstellenverteilung  
Prof. Dr.-Ing. M. Buss