

Adaptive Profilgeometrie an vertikalen Windturbinen (SmartWingVAWT 01/20 - 03/23)

M. Eng. Franz Thiele; M. Eng. Martin Sünder; Prof. Dr.-Ing. Tobias Kempe; Prof.-Ing. Karel Frana, Ph.D.

1. Motivation und Zielsetzung

Das Ziel des Projektes ist die Steigerung der Effizienz von Windturbinen mit vertikaler Drehachse (VAWT). Bei diesen Anlagen ändern sich die Anströmverhältnisse am Rotor periodisch, so dass die Blätter nur bei bestimmten Drehwinkeln ideal angeströmt werden. Um die Betriebsweise zu optimieren und die Leistung zu steigern, müssen sich die Rotorblätter an die Anströmung fortlaufend anpassen – das sogenannte „Pitchen“. Vorgegangene Modellierungen hatten zum Ziel, diese Vorgänge zu reproduzieren und eine optimierte Verstell-(Pitch-)Funktion zu entwickeln [1,2]. Wesentliche Ergebnisse und Erkenntnisse der Voruntersuchungen sind:

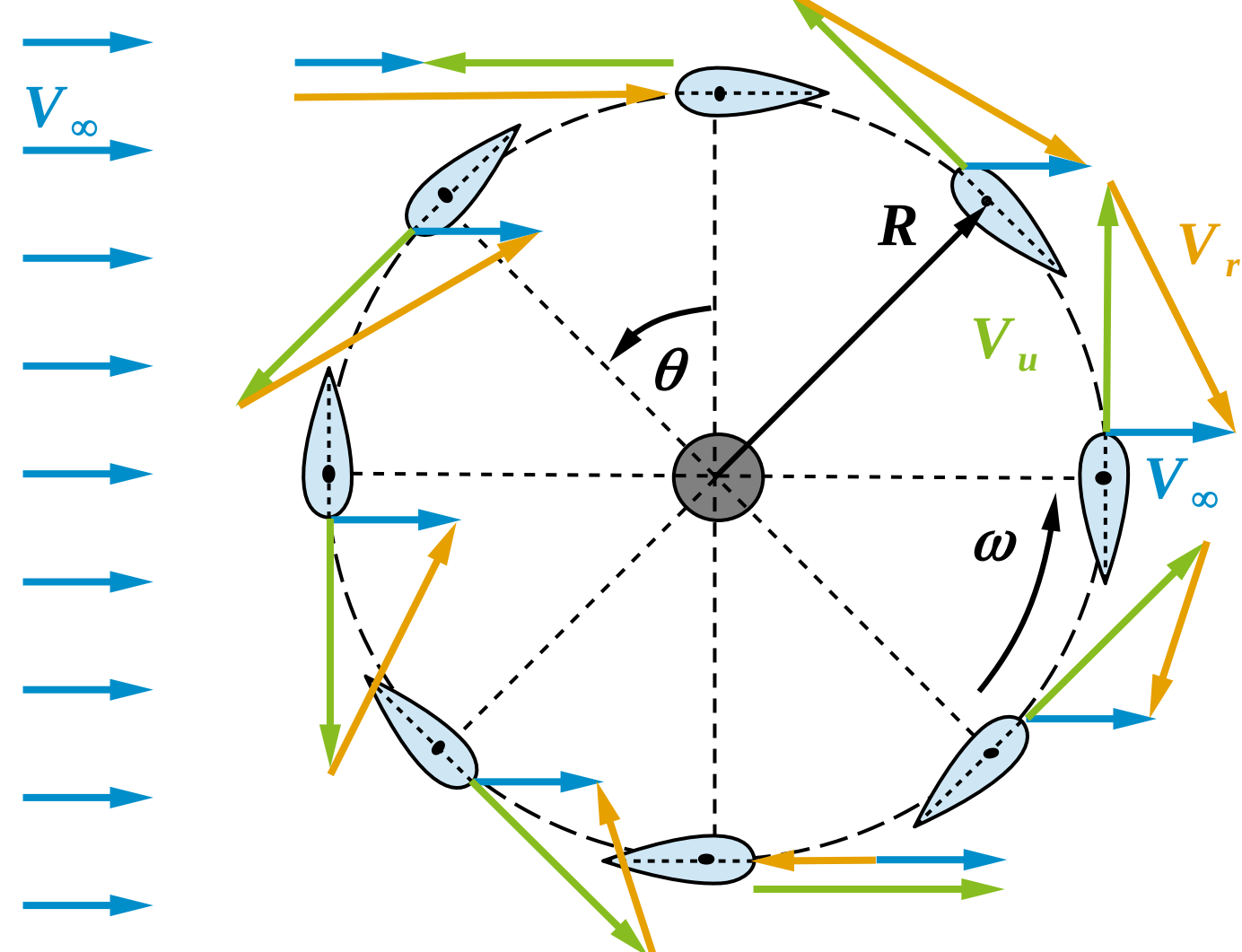


Abb. 1: H-Rotor einer VAWT.

- Modellierung mittels halbempirischen Double Multiple Streamtube Modells (DMST) in Python
 - Sehr gute Reproduktion der Energieumwandlung im Rotor
 - Grundlage für detaillierte Anpassungen der Anlagen(-betriebsweise) auf Basis erprobter Optimierungsmethoden und auf Ansätzen des Maschinellen Lernens
- Hohes Effizienzsteigerungspotential auf Basis unterschiedlicher Pitchansätze

2. Stand von Wissenschaft und Technik - VAWT mit H-Rotor

Die nachteiligen Eigenschaften VAWT resultieren aus der periodischen Änderung der Anströmung der Flügelblätter. Die Betriebsweise lässt sich wie folgt charakterisieren:



- Nutzung des Auftriebs von vertikal angeordneten Rotorblättern (Abb. 1)
- periodische Änderung der relativen Anströmung V_r und des Anstellwinkels α am Profil (Abb. 2):

$$\alpha = \arctan \left[\frac{\sin \theta}{\lambda + \cos \theta} \right]$$

- starke Abhängigkeit der Performance von der Schnellaufzahl λ :

$$\lambda = \frac{V_u}{V_\infty} = \frac{\omega R}{V_\infty}$$

Abb. 2: Veränderlichen Anströmung der Rotorblätter bei einer Umdrehung des Rotors mit der ungestörten Windgeschwindigkeit V_∞ sowie der Umfangs- V_u und der Relativgeschwindigkeit V_r .

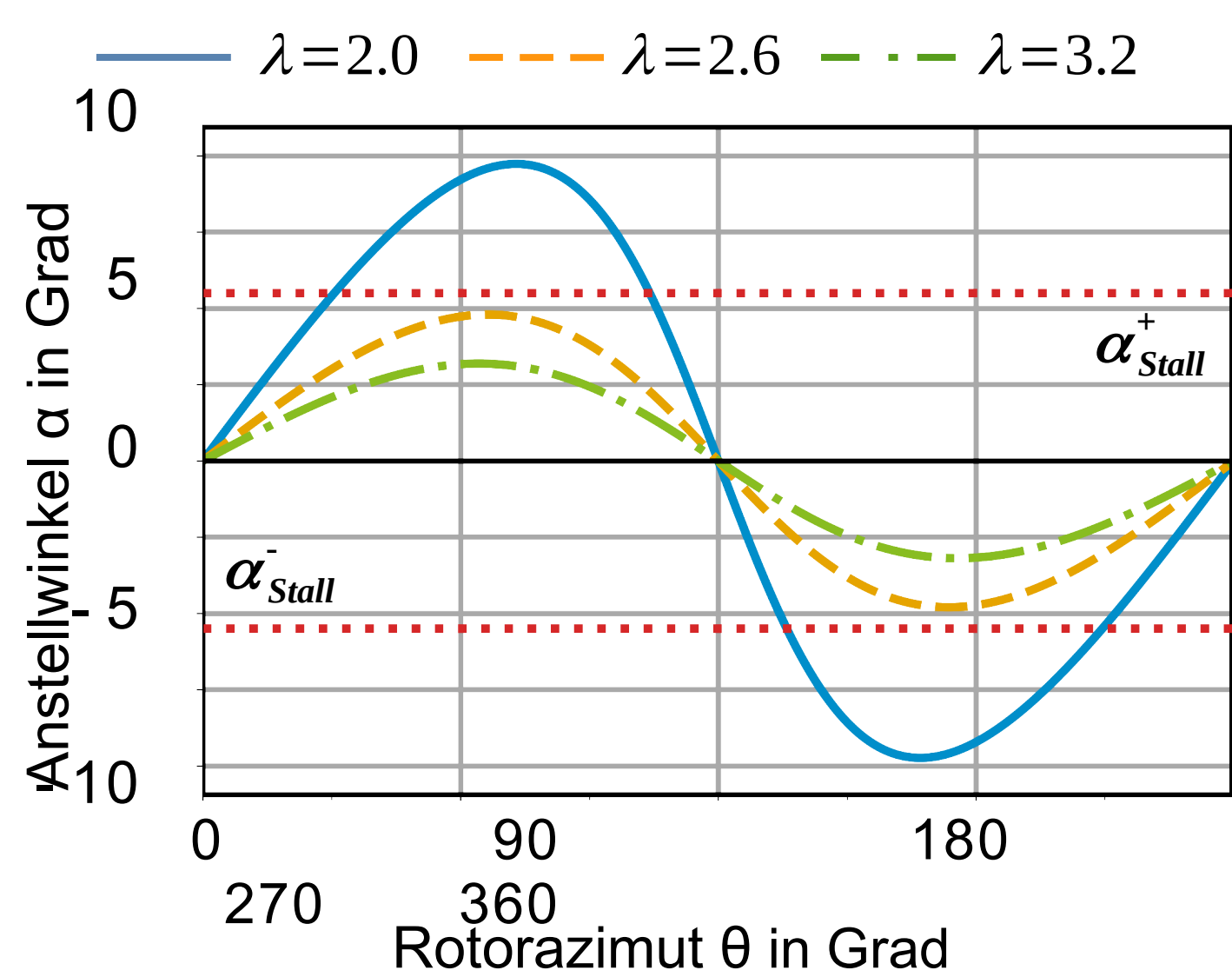


Abb. 3: Anstellwinkel α in Abhängigkeit vom Rotorazimut θ und der Schnellaufzahlen λ bei idealer verlustfreier Rotorumströmung.

- hohe Anstellwinkel bei niedrigen Schnellaufzahlen λ und umgekehrt (Abb. 3)
- Strömungsabriss beim Überschreiten des kritischen Anstellwinkels α_{Stall}

- Gestaffelte Energieumwandlung:
 - Hauptanteil im Luvbereich ($\theta = [0^\circ; 180^\circ]$)
 - Teilanteil im Leebereich ($\theta = [180^\circ; 360^\circ]$)
- Verbesserung der aerodynamischen Umströmung der Rotorblätter:

- Anpassen des aerodynamischen Anströmwinkels $\alpha_{VB} = \alpha_{FB} + \varphi$
- Verstellung der Rotorblätter um deren Längsachse (Pitchen)
- Verwendung unterschiedlicher Pitchansätze

3. Versuchs-H-Rotor mit Pitchsystem im Modellmaßstab

Umsetzung eines Modellrotors einer 3-Blättrigen H-VAWT:

- Konzeptionierung, Konstruktion und Realisierung auf der Basis von theoretischen Vorbetrachtungen
- Anwendung des konstruktiven Leichtbaus und des 3D-FDM-Druckverfahrens
- Installation in einer einfachen Strömungsstrecke
- Grundlegende Versuche zum:
 - Funktionsnachweis der Anlage
 - Test des Pitchsystems
 - Evaluierungsmessungen

Komponenten und deren Hauptfunktionen des Versuchs (Abb. 4):

- (1) Rotorblatt mit integriertem Servomotor → Kraftübertragung und Rotorblattverstellung
- (2) Schleifring → Energie- und Datenübertragung
- (3) Drehwinkel- und Drehzahlsensor → Betriebspunkterfassung
- (4) Drehmomentsensor → Leistungsmessung
- (5) Hysteresebremse → Generator- bzw. Lastersatz
- (6) Mikrocontroller → Hauptsteuerung der VAWT mit Pitchsystem
- (7) Rechentechnik mit PC, Software/Matlab und Datenerfassungselektronik (DAQ) → Messwerterfassung und -auswertung

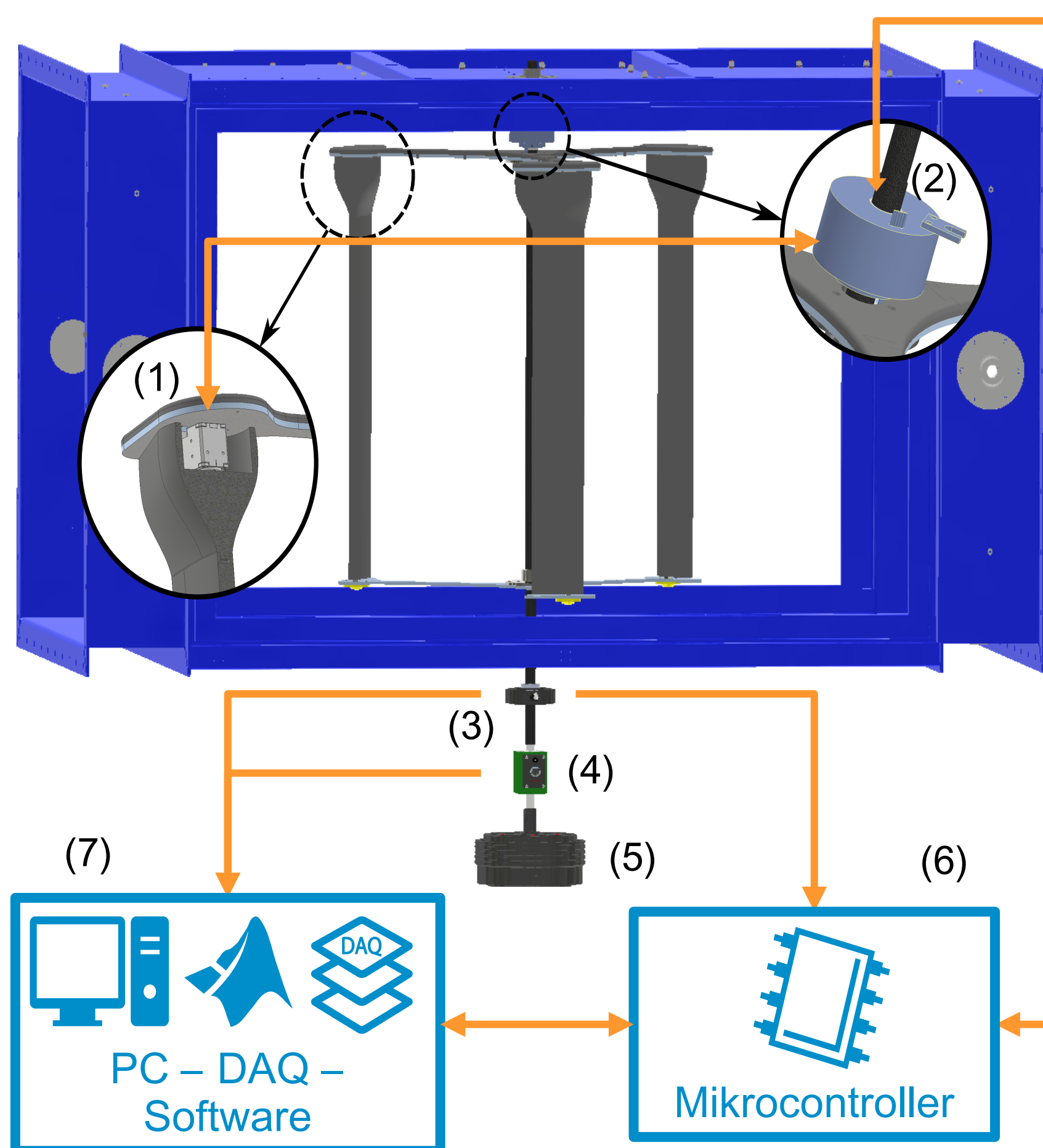


Abb. 4: Versuchsstand mit H-Rotor als CAD-Modell, mit Mikrocontrollersteuerung, Sensorik, Datenerfassung (DAQ) und Datenauswertung.

4. Umsetzung des Pitchsystems und der Mikrocontrollersteuerung

Für die praktische Umsetzung des Pitchsystems und einen entsprechenden Versuchsaufbau im Labor wird eine Steuerungs- und Verstellvorrichtung entsprechend des in Abb. 5 dargestellten Schemata verwendet. Dieses Anlagensteuerung besteht im wesentlichen aus:

- Messtechnik/Sensoren:
 - Erfassung des Anlagenbetriebspunktes → Windverhältnisse
 - Erfassen des aktuellen Rotordrehwinkel → Ermittlung des Anlagenazimut
- Mikrocontroller vom Typ ESP 32:
 - Basis der Steuerung mit hinterlegter Pitchdatenbank
 - Auf den zeitkritischen Pitchvorgang optimierte Programmierung
- „Plug & Play“ - Servomotoren mit allen nötigen Komponenten zur Blattwinkelvorgabe:
 - Motor als Antrieb → Blattverstellung
 - Drehencoder zur Ist-Winkelerfassung → Blattwinkelmessung
 - PID-Regler → Blattwinkeleinstellung
- PC mit DAQ-System und Auswertesoftware:
 - Externe Programmierung des Mikrocontrollers
 - Matlab und eigener GUI → Datenauswertung und Ansteuerung der Versuche

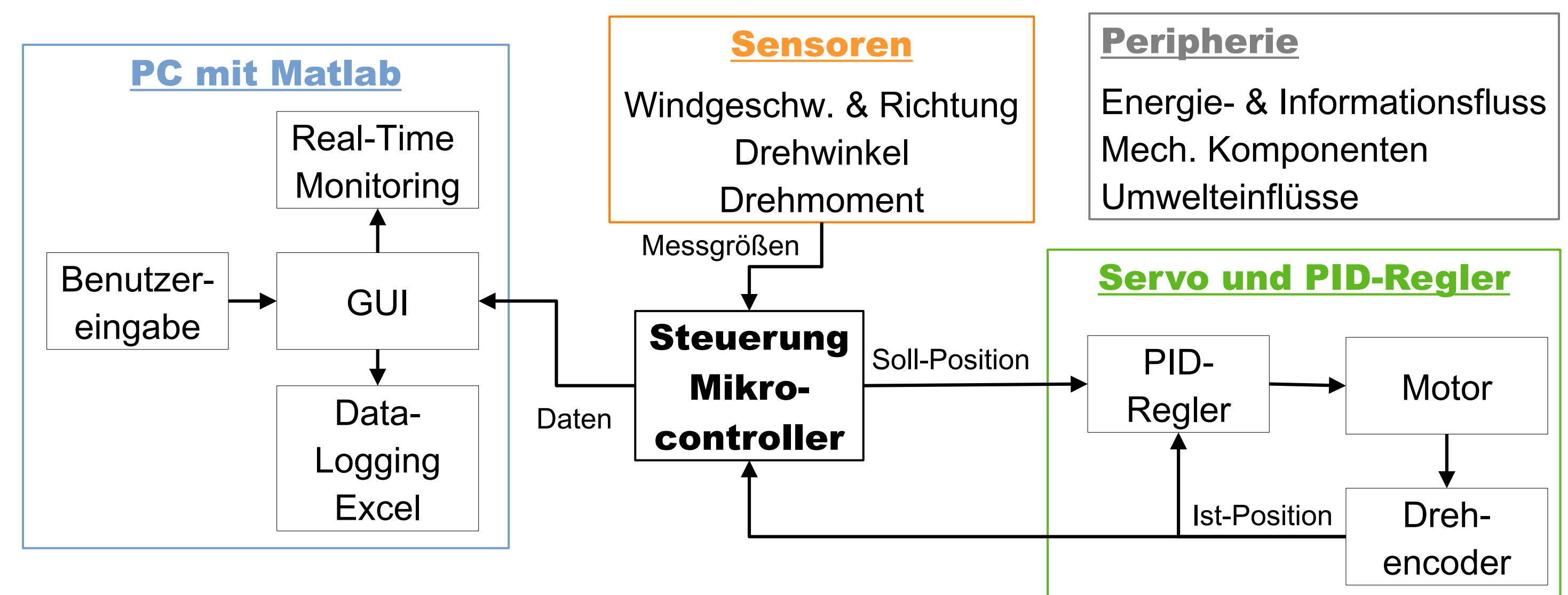


Abb. 5: Schema der Steuerung des Pitchsystems bestehend aus Sensorik, Aktoren und Mikrocontroller.

Durch den Controller werden die aktuelle Drehzahl und Drehwinkel der Blätter bestimmt und die Rotorblätter mittels Ansteuerung der Servomotoren verstellt. Über eine GUI unter Matlab können verschiedene Zustände des Versuchs dargestellt und verschiedene Betriebsmodi gestartet werden:

Tab. 1: Überblick der möglichen Betriebsmodi zur Untersuchung des Modellrotors.

Modus	Start	Klassische VAWT	Active-Pitch
Umwandlung	Widerstandsprinzip	Auftriebsprinzip	Auftriebsprinzip
Blattverstellung	mit Blattverstellung (senkrecht zur Strömung)	ohne Blattverstellung (fester Anstellwinkel)	mit Blattverstellung (variabler Anstellwinkel)

5. Ergebnisse des Versuchsmessungen

Innerhalb der Versuchsreihen konnten die unterschiedlichen Betriebsmodi getestet und evaluiert werden. Folgende hauptsächlichen Erkenntnisse wurden gewonnen:

- Funktionierendes Versuchsanlagenkonzept im Modellmaßstab
- Klassische Anlage ist nicht in der Lage, selbstständig zu starten (Hilfsenergie notwendig)
- Pitchen der Anlage führt zu einer Verbesserung der Anlagenperformance

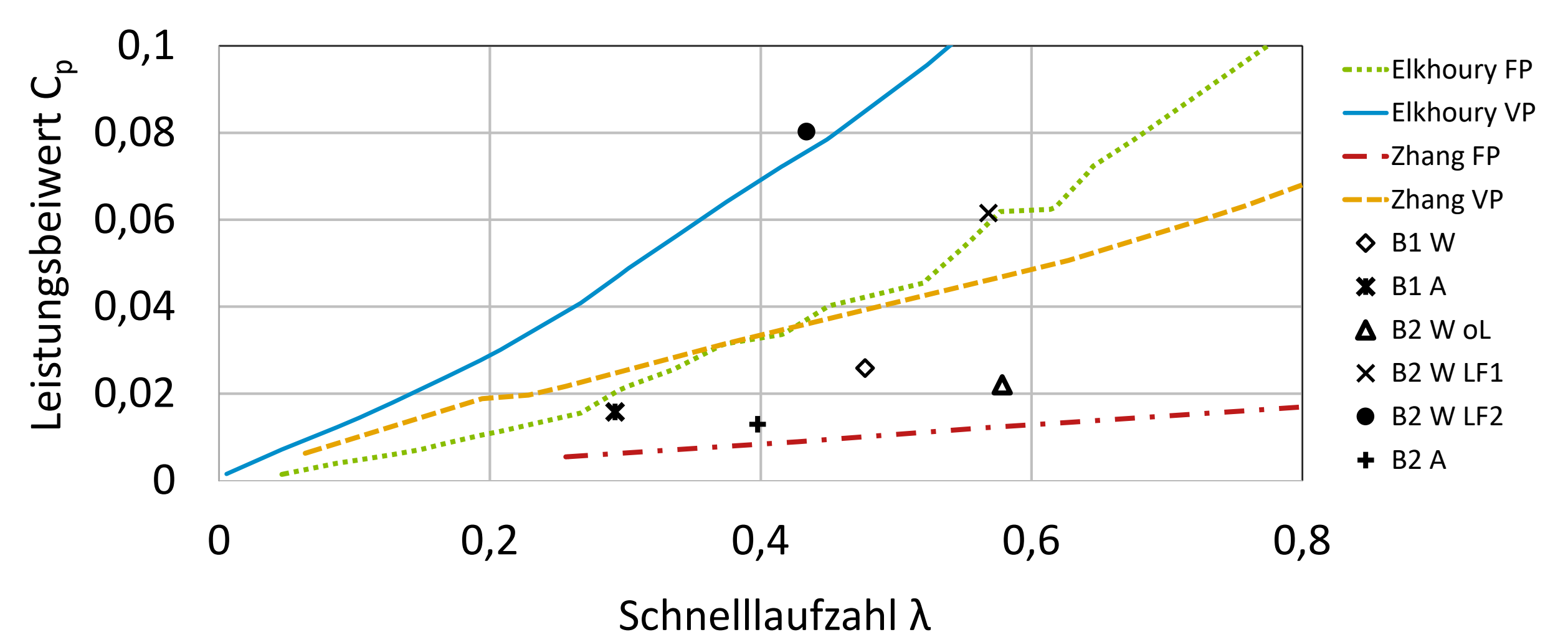


Abb. 5: Auftragung des Leistungsbeiwerts C_p in Abhängigkeit von der Schnellaufzahlen λ für einzelne Messpunkte im Vergleich zu Elkhoury et al. [3] und Zhang et al. [4].

Eine umfangreiche Untersuchung der Anlage kann infolge der zu geringen Windgeschwindigkeiten im Strömungskanal für den Modellmaßstab nicht durchgeführt werden.

- Untersuchungen in einem leistungsstarken Windkanal (in Beantragung)
- Durchführung von Feldtests unter Realbedingungen

7. Verwertung der Projektergebnisse

- Umsetzung der Entwicklungen im Verbundprojekt „WIR! - Lausitz - Life & Technology – Innovative Windenergie-Technologien in der Lausitz“ (BMBF, 06.2022 – 12.2025)
- Veröffentlichung der Ergebnisse in einem wissenschaftlichen Paper (in Arbeit)

8. Quellen

Die Projektposter der vergangenen Landtagsmittelkonferenzen können der Webseite entnommen werden: <https://f-m.hszg.de/kooperation/forschung/forschungsprojekte/smartwingvawt>

- [1] F. Thiele, M. Sünder, T. Kempe, Projektposter zur Landtagsmittelkonferenz 2021, HSZG, 2021.
- [2] F. Thiele, T. Kempe, Projektposter zur Landtagsmittelkonferenz 2021, HSZG, 2022.
- [3] M. Elkhoury, T. Kiwata, and E. Aoun. Experimental and Numerical Investigation of a Three-Dimensional Vertical-Axis Wind Turbine with Variable-Pitch. Journal of wind engineering and Industrial aerodynamics 139:111–123, 2015.
- [4] L. Zhang, Y. Liang, E. Li, S. Zhang, and J. Guo. Vertical Axis Wind Turbine with Individual Active Blade Pitch Control. College of Mechanical and Electrical Engineering Harbin Engineering University, 2012.