



**OST**

Ostschweizer  
Fachhochschule

# Entwicklung eines digitalen Zwillings für die aerodynamische Überwachung der Rotorblätter von Windenergieanlagen

**Sarah Barber, Yuriy Marykovskiy, Imad Abdallah**

*Technologietag'24*

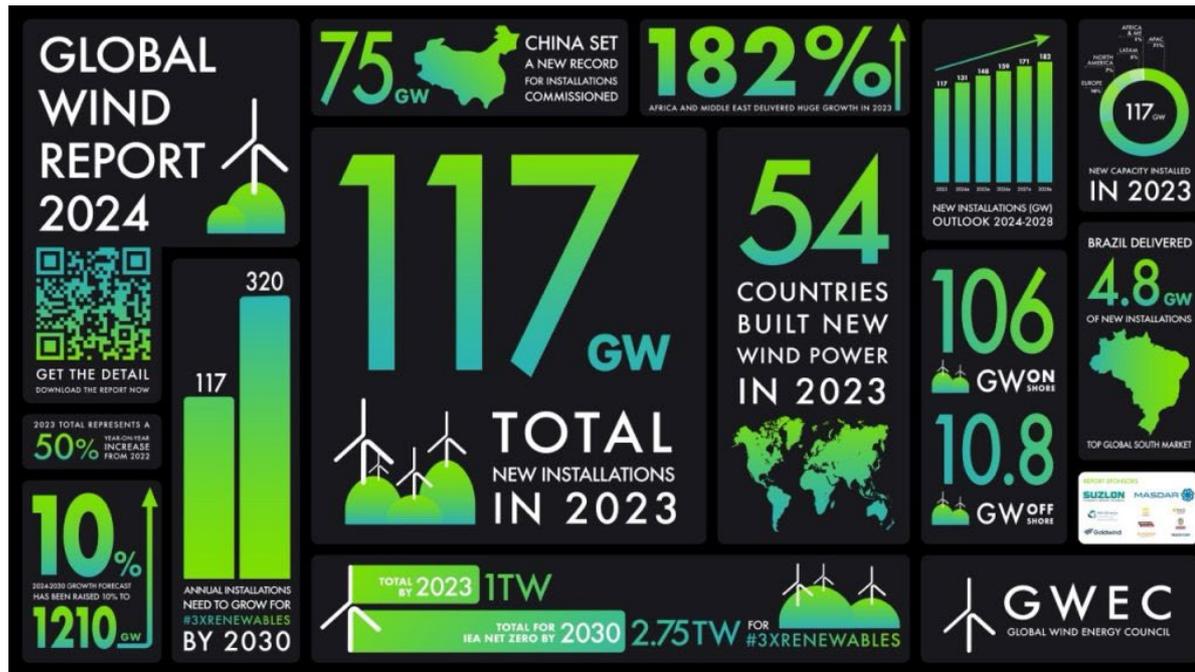
11.06.2024

# Inhalt

- Monitoring von Rotorblättern von Windenergieanlagen
- Digitale Zwillinge für Windenergie
- Das Aerosense-System
- Auslegung des Aerosense-DTs
- Demonstration eines Anwendungsfalls
- Konklusionen

# Monitoring von Rotorblättern von Windenergieanlagen

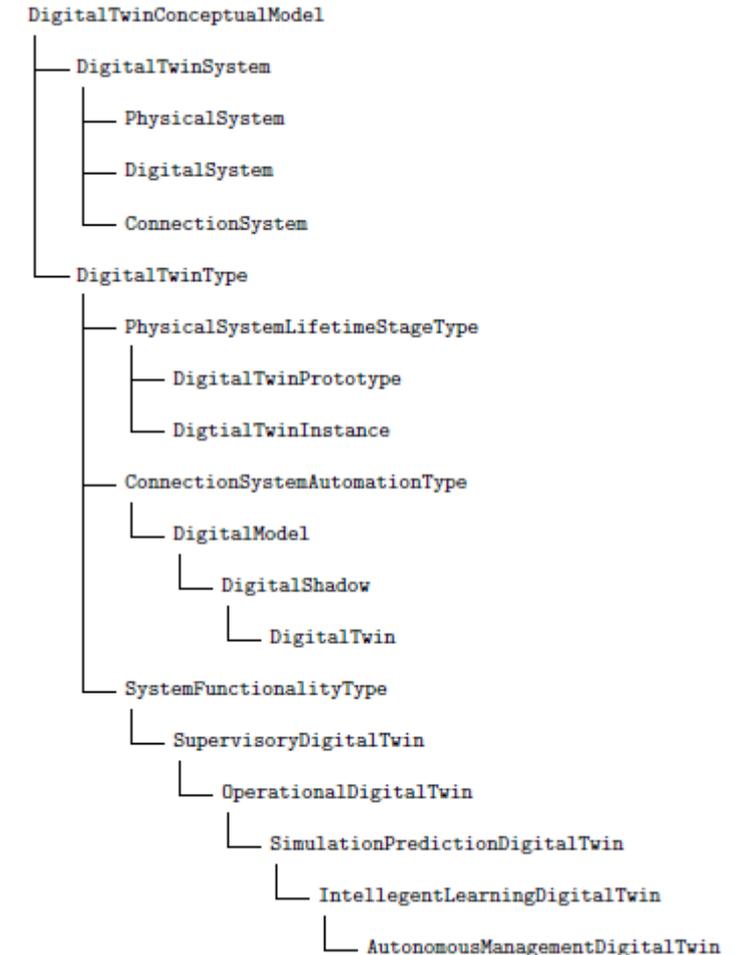
- Windenergie wesentlich für das Erreichen der Netto-Null-Zielen.



- Rotorblätter werden immer grösser und flexibler → aerodynamisches Verhalten messen und überwachen.

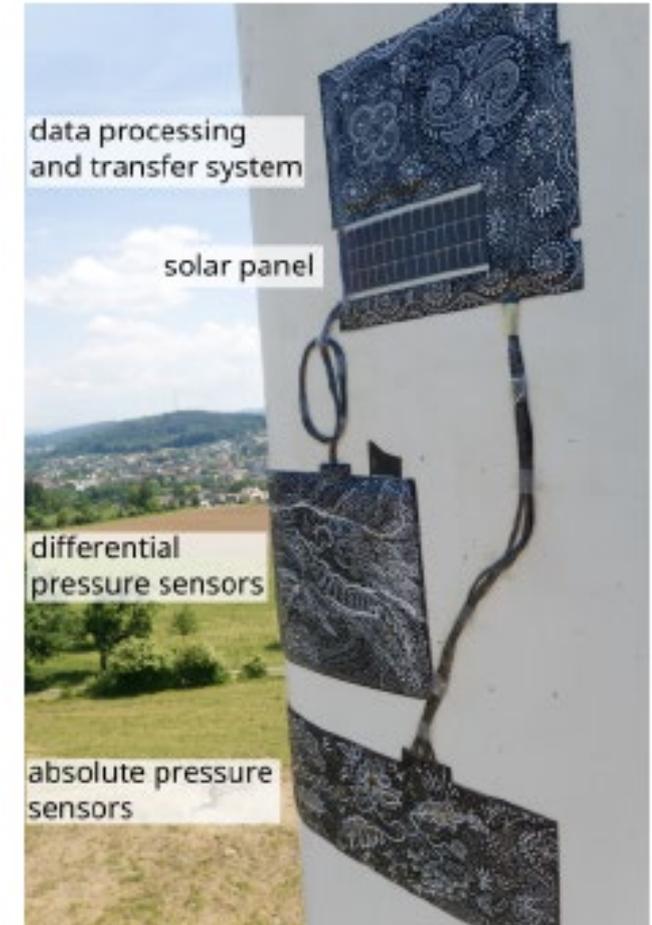
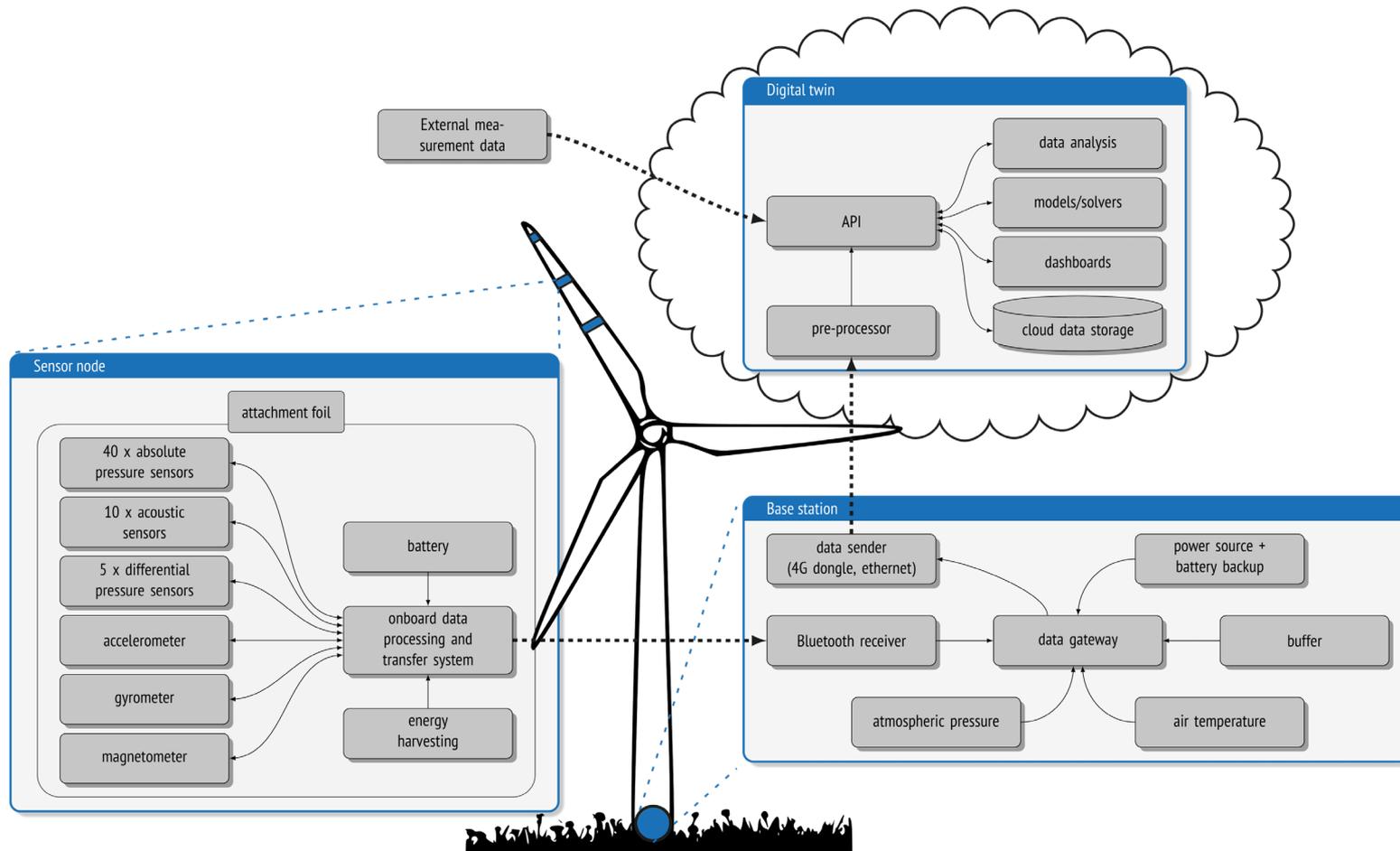
# Digitale Zwillinge (DTs) für Windenergie

- Vielversprechende für die Wertschöpfung aus der Überwachung von Windenergieanlagen!
- Unser Klassifizierungssystem:
  - **Supervisory:** Daten werden aufgenommen und gespeichert
  - **Operational:** Daten werden ausgewertet
  - **Simulation-prediction:** Messungen werden mit Simulationen und Modellen ergänzt
  - **Intelligent-learning:** Systeme zur Entscheidungsunterstützung
  - **Autonomous-management:** autonome Anlagensteuerung
- Die meisten bisherigen Windenergieanwendungen sind „Operational“ oder „Simulation-prediction“.
- Keine Windenergie-Veröffentlichungen über DT-Architektur!



# Das Aerosense-System

Autonome Erfassung der aerodynamischen Profile an Rotorblättern



# Auslegung des Aerosense-DTs

1. Anwendungsfälle definieren
2. DT klassifizieren
3. Konzeptuelles Modell definieren
4. Teilsysteme auslegen

# 1. Anwendungsfälle definieren

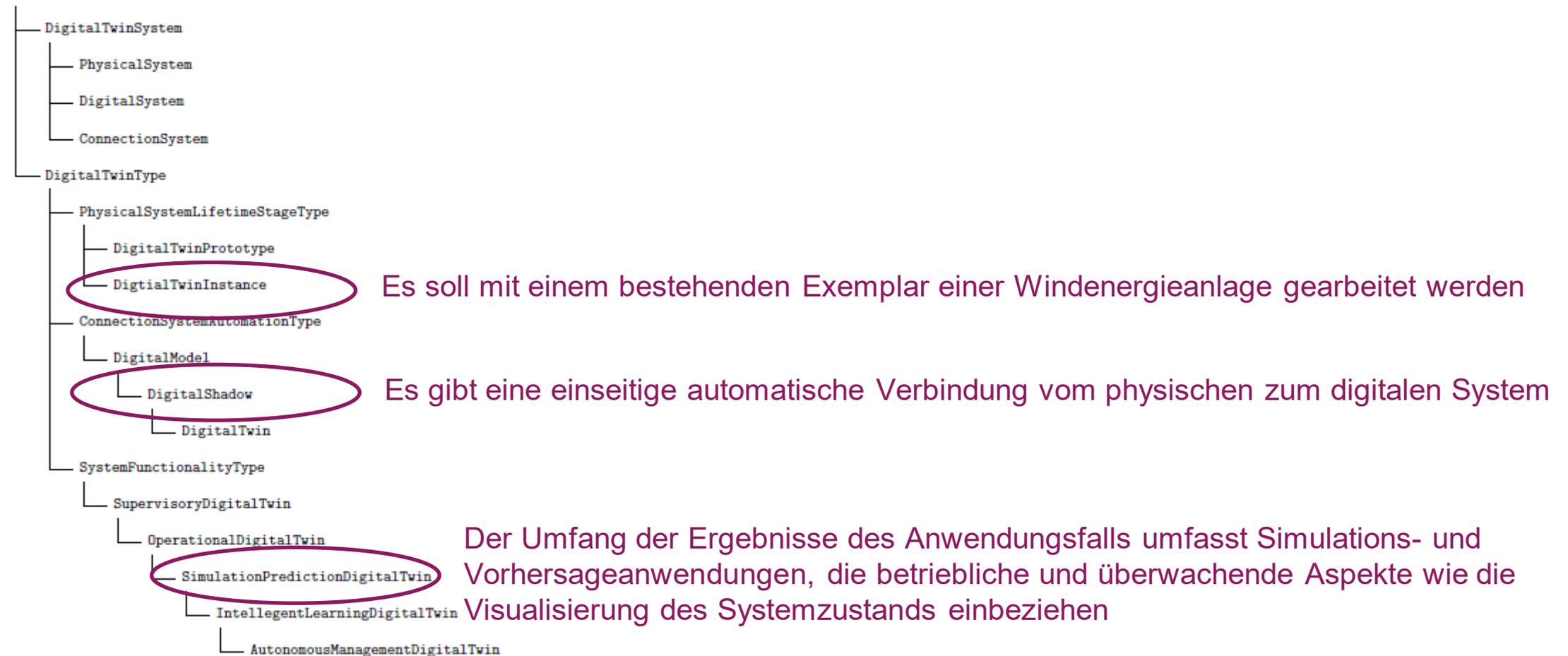
- Anwendungsfälle definiert durch Design Thinking.
- «User Stories» → «Foundational use case» = «Aerodynamische Modelle verbessern»

Beneficiary	Value added	Required output
1. OEM measurement & data science teams	1a. Allow initial data inspection and download of measurement data for further analysis or comparison by the customer	1a. Corrected and calibrated time series data for each sensor, classified based on operating conditions, available on a dashboard.
	1b. Allow detailed analyses such as extracting data and plotting pressure distributions to be carried out based on the time series and averaged data according to the needs of the customer or partner, without having to write a new code that works with the downloaded data.	1b. Colab notebook for analysis of time series and averaged data.

Beneficiary	Value added	Required output
2. OEM aerodynamic modelling teams	2a. Enable data exploration for improved understanding of the aerodynamic behaviour.	2a. Pressure coefficient distribution plots for specific time instances available on a dashboard.
	2b. Enable pressure distributions to be plotted, examined and compared.	2b. Installed sensor placement obtained via photogrammetry available through an API and accessible via a Colab notebook.
	2c. Enable direct comparisons with data from the customer, eg measured or simulated 2D pressure coefficient distributions.	2c. Phase-averaged pressure and pressure coefficient distributions at different operating conditions available in a Colab notebook.
	2d. Enable inference of the angle of attack at the sensor location, which allows measured pressure distributions to be compared with measured or simulated 2D pressure distributions at different angles of attack.	2d. Aerofoil inflow inference model with uncertainty quantification available in a Colab notebook.
	2e. Allow direct comparison of observed pressure distributions with 2D simulation results, leading to an improved understanding of the aerodynamic behaviour of the wind turbine in the field, validation of the fundamental assumptions adopted during modelling, as well as to recommendations for the improvement of aerodynamic models.	2e. Simulated vs. measured phase-averaged pressure distributions at different angles of attack available in a Colab notebook.

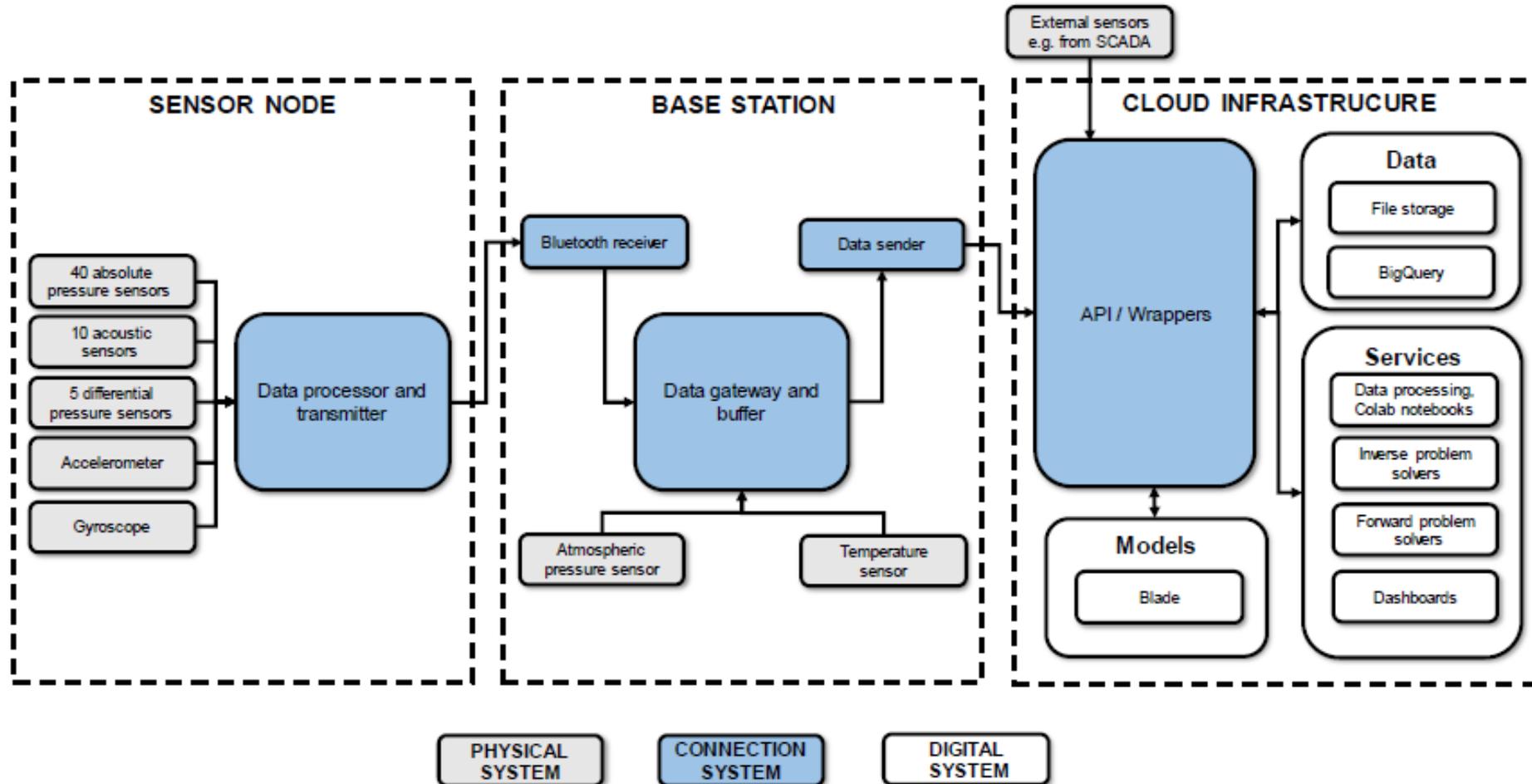
## 2. DT klassifizieren

DigitalTwinConceptualModel



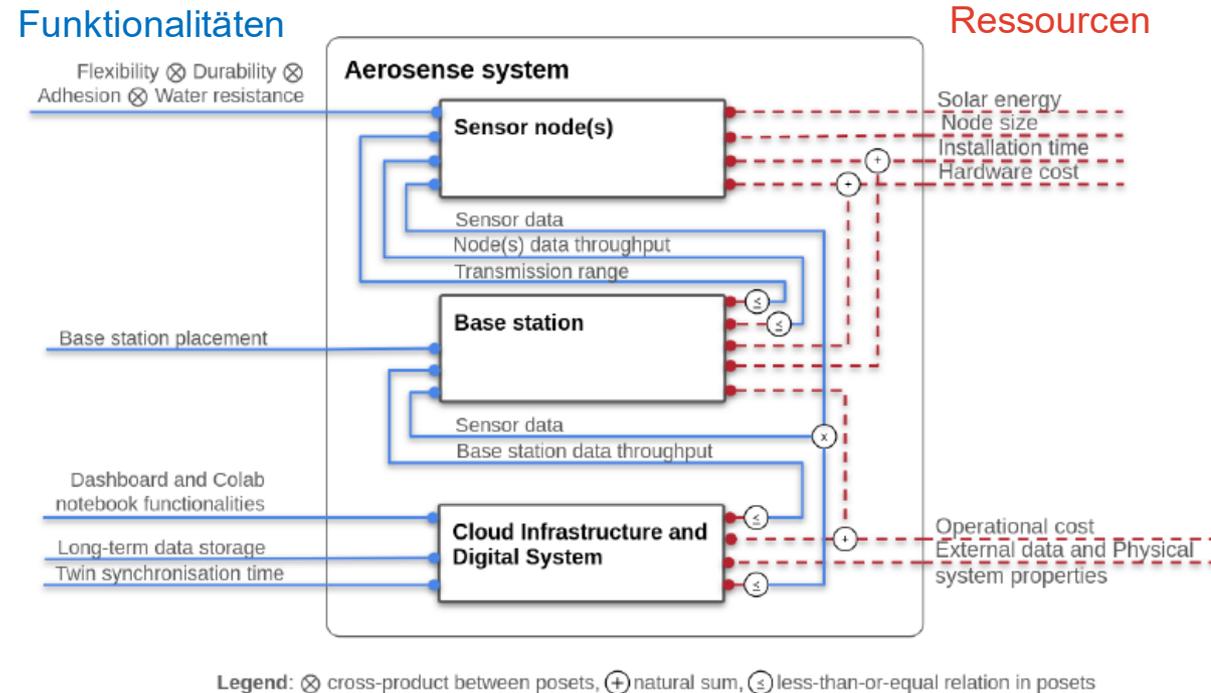
# 3. Konzeptuelles Modell definieren

Physisches System, digitales System und Verbindungssystem:

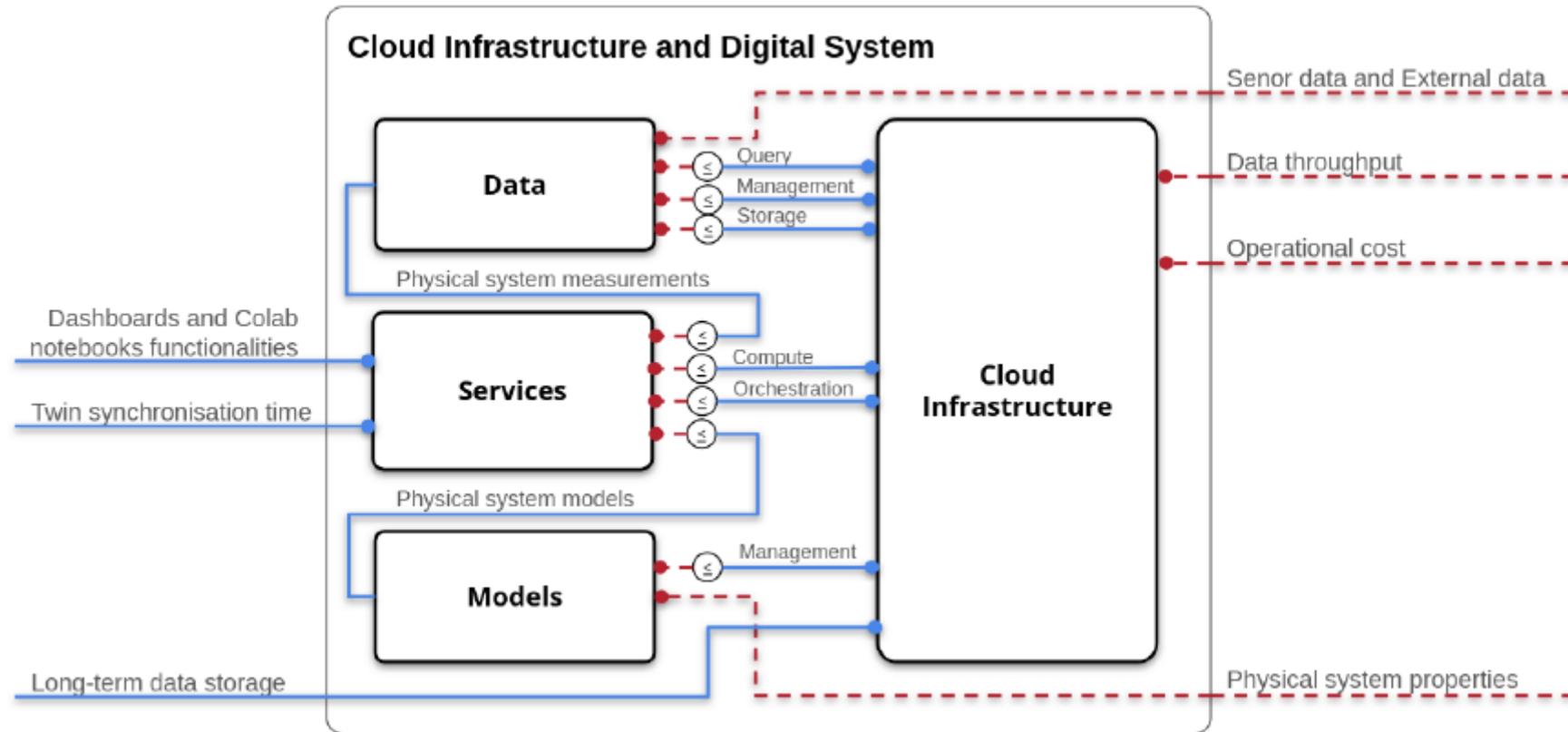


# 4. Auslegung der Teilsysteme

- «Applied category theory collaboration design»: multidisziplinärer Ansatz, der die Prinzipien der Kategorientheorie nutzt, um die Zusammenarbeit und die Designprozesse in verschiedenen Bereichen zu verbessern.
- Für das Gesamtsystem:

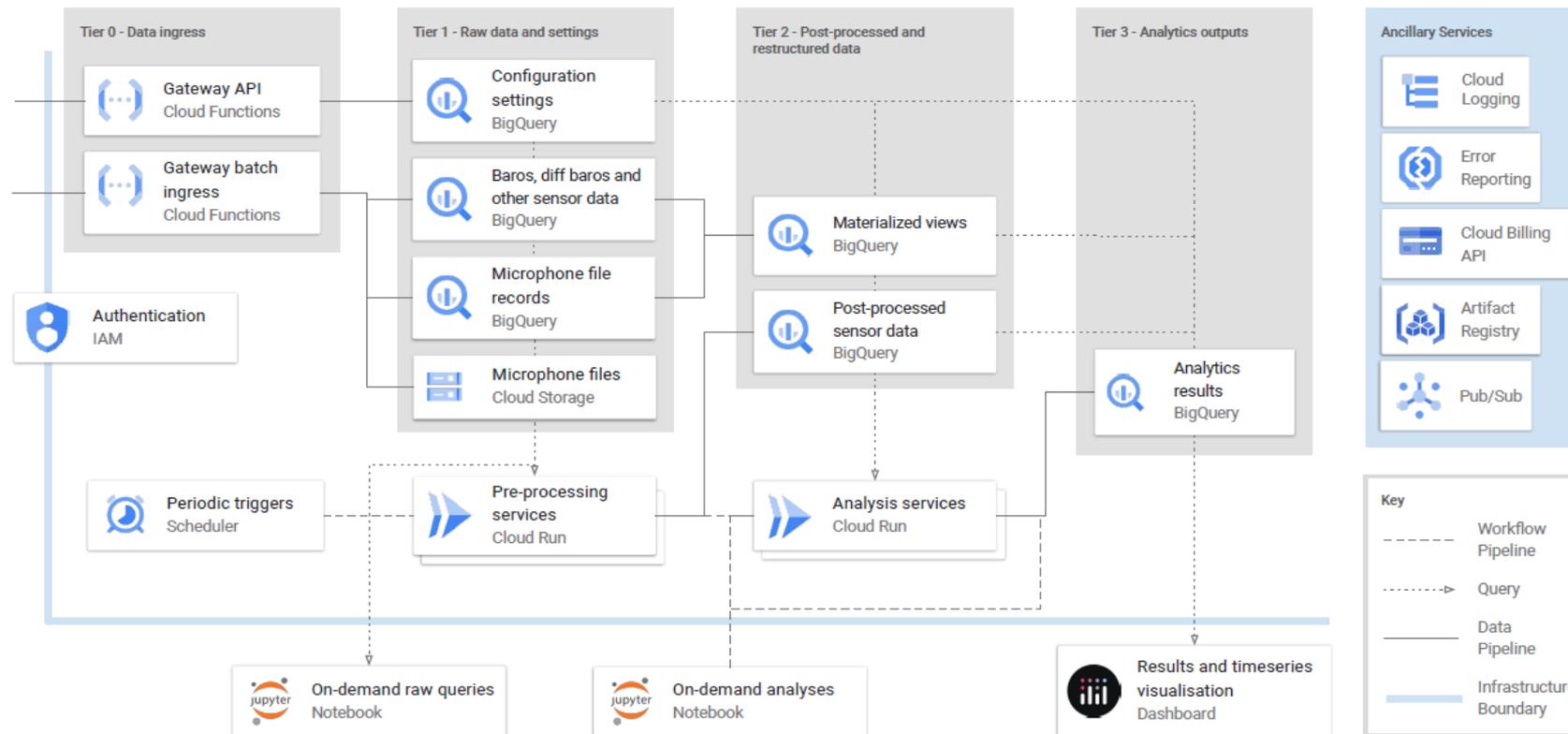


# Beispiel: für das digitale System



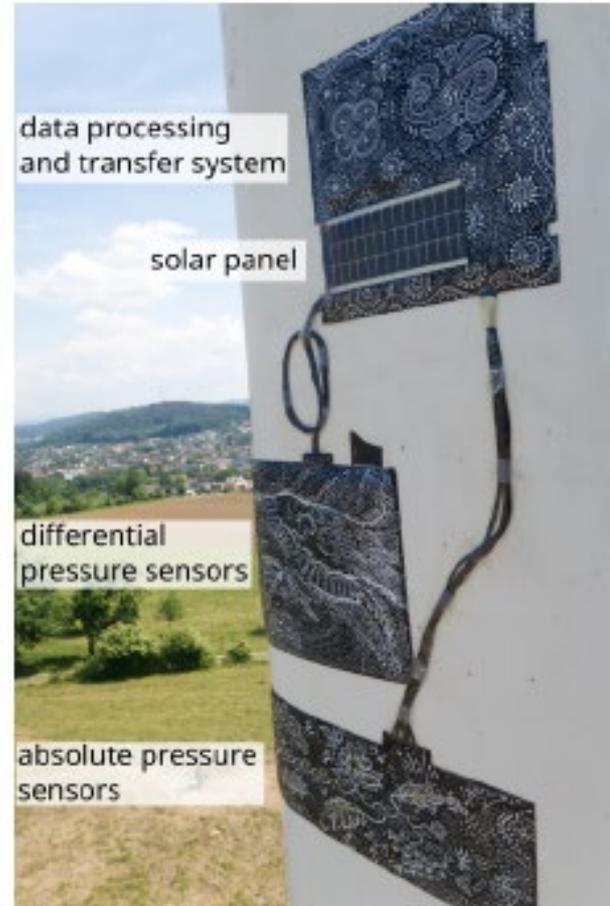
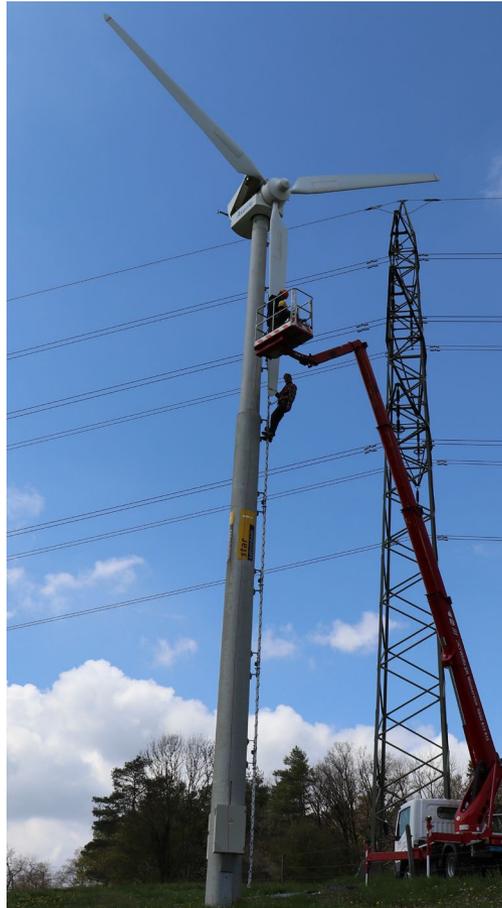
# Ergebnis

- Software- und Hardware-Lösungen für ein produktionsreifes Datensystem mit BiQuery und einem Lakehouse für die Erfassung von aerodynamischen Daten → Open Source.



# Demonstration eines Anwendungsfalls

- Aventa 6 kW Testanlage in Winterthur:



# Dashboard

Zeitreihen darstellen

Bestimmte Sensortypen und Messperioden auswählen

AEROSENSE  
Data Gateway Dashboard

Information sensors | Sensors | Cp plot

Installation  
Installation reference: pdedp-test-20221130 (Turbine unknown)  
Node ID: 1

Sensor: barometer

Time range: Measurement session

Measurement sessions

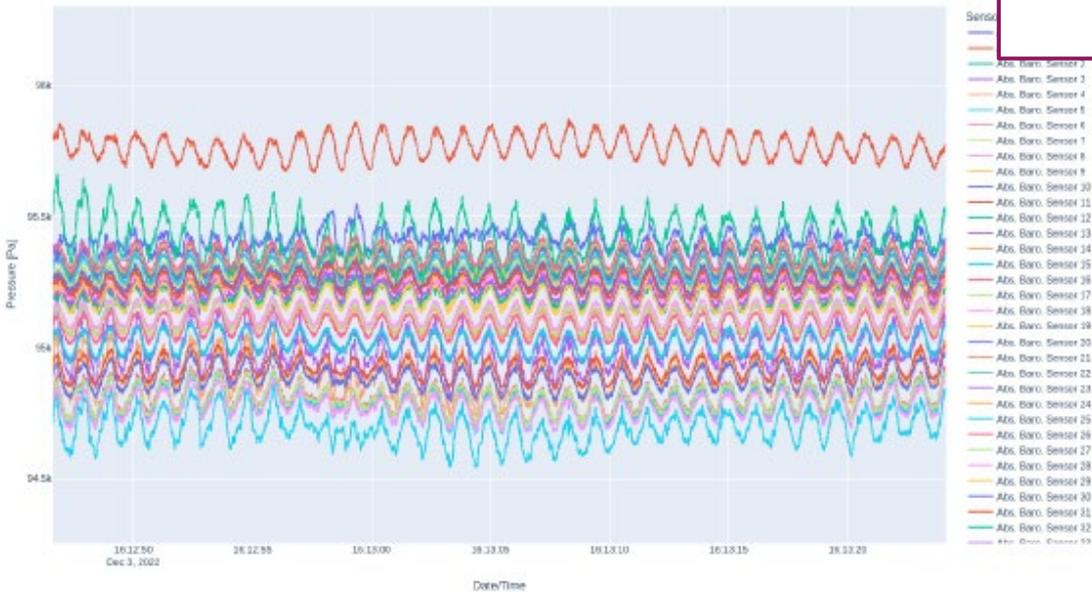
Start datetime	Hour	Minute	Second
Date	0	0	0
Date	0	0	0

Measurement session: 2022-12-03 15:52:03.190723 to 2022-12-03 16:22:02.094317

Barometer

Large amount of data - the query has been limited to the latest 10000 datapoints.

Barometer Measurement Series



Erste Datenprüfung ohne Code

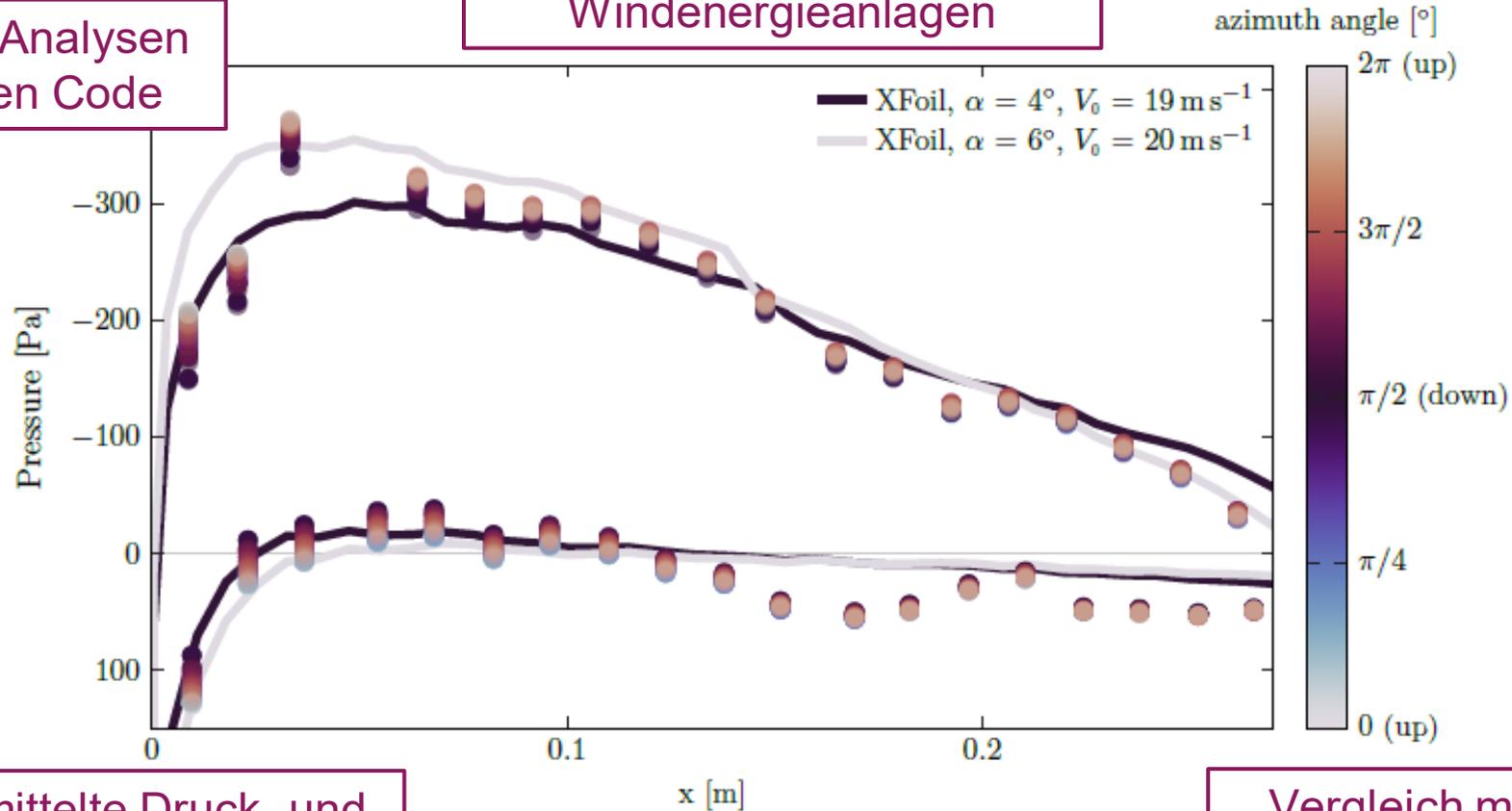
Druckkoeffizientenverteilungsdiagramme darstellen

Eine Stunde Synchronisierungszeit

# Colab notebooks

Detaillierte Analysen  
ohne neuen Code

Vergleich von mehreren  
Windenergieanlagen



Phasengemittelte Druck- und  
Druckkoeffizientenverteilungen

Vergleich mit Simulationen

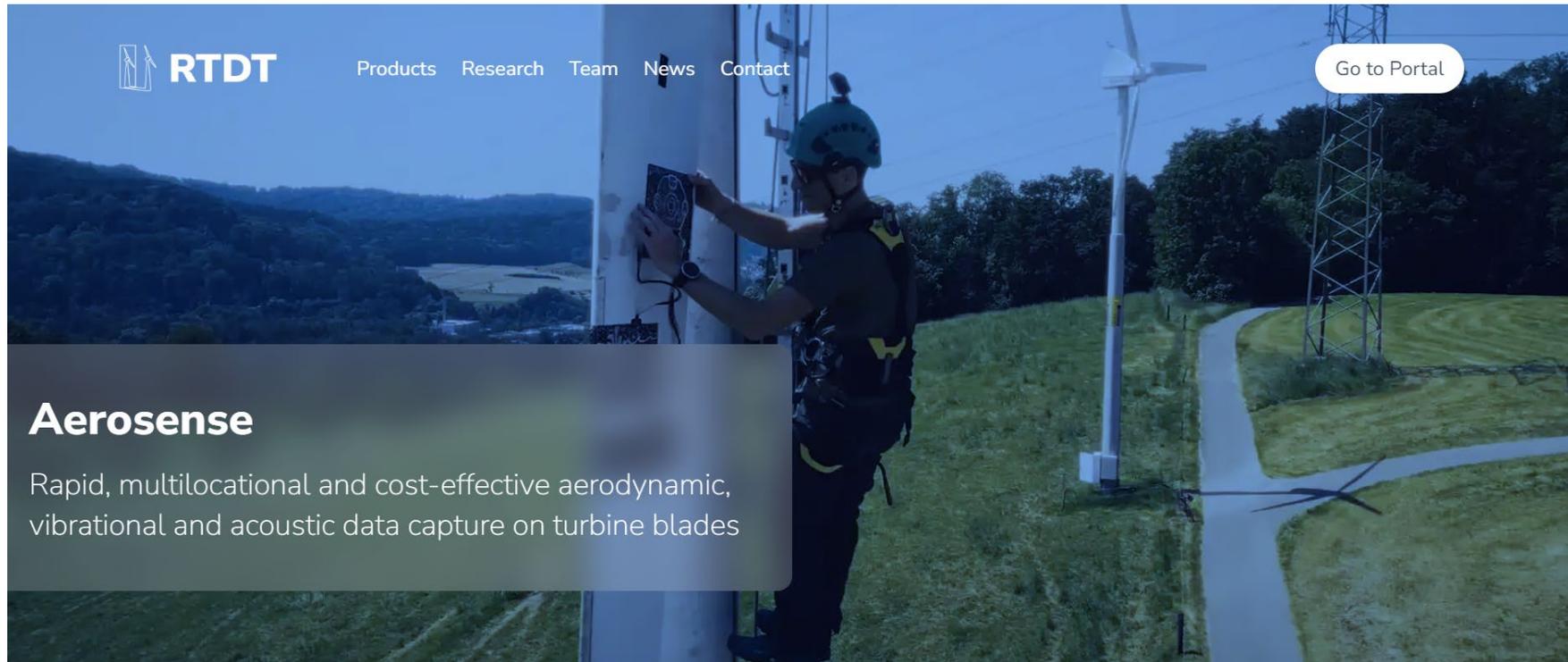
Direkte Vergleiche mit Daten  
der Kund:innen

# Konklusionen

- Der digitale Zwilling für das Aerosense-System überwacht die Aerodynamik der Rotorblätter.
- Der digitale Zwilling hat „Simulation/Prediction“-Funktionalität, „Digital Shadow“-Konnektivität und deckt die „Instance“-Phase ab.
- „Applied Category Theory“ wurde für das Design genutzt, um Funktionalitäten und interdisziplinäre Herausforderungen zu bewältigen.
- Technologielösungen bieten ein Datensystem für Rotorblattdaten, Cloud-Einbindung und Lakehouse-Zugriff.
- Software- und Hardware-Lösungen sind als Open Source mit Dokumentation veröffentlicht.
- Der digitale Zwilling von Aerosense überwacht Windenergieanlagen, erfasst Blattsensordaten und ergänzt sie durch Simulationen.

<https://rtdt.ai/aerosense>

[sarah.barber@ost.ch](mailto:sarah.barber@ost.ch)



Aerosense Video:

