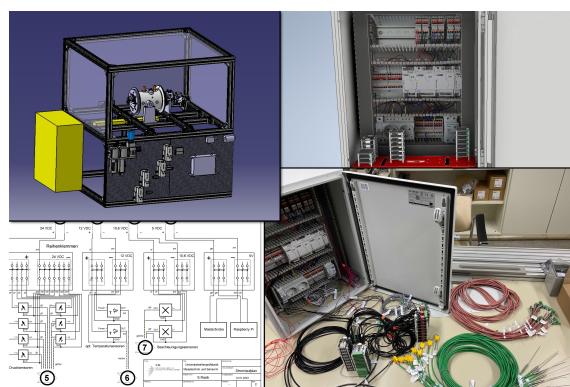


IFP: Messtechnik am Universalwellenprüfstand

Konzeption, Beschaffung, Aufbau und Datenerfassung



Bericht

im Rahmen des Studiengangs
M.Sc. Mechatronik

vorgelegt von
SteffenRaab
746495

ausgegeben und betreut von
Prof. Dr.-Ing. Brita Pyttel

Darmstadt, den 15.01.2023

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| 1 Einleitung | 3 |
| 2 Konzept des Messsystems | 4 |
| 2.1 Vorgesehene Messtechnik | 4 |
| 2.2 Positionierung der Sensorik | 5 |
| 2.3 Iterativer Prozess | 6 |
| 3 Auswahl und Beschaffung | 7 |
| 3.1 Vorauswahl der Komponenten | 7 |
| 3.2 Nutzwertanalyse | 8 |
| 3.3 Ausgewählte Komponenten | 10 |
| 3.4 Beschaffung | 10 |
| 4 Modulares Messsystem | 11 |
| 4.1 Anforderungen | 11 |
| 4.2 Konzept | 11 |
| 4.3 Umsetzung | 13 |
| 5 Inbetriebnahme des Messsystems | 15 |
| 5.1 Installation am Prüfstand | 15 |
| 5.2 Einrichtung der Messsoftware | 16 |
| 5.3 Durchführung und Auswertung von Messungen | 18 |
| 6 Zusammenfassung und Ausblick | 21 |

1 Einleitung

Im Rahmen des Projektes „Universalwellenprüfstand“ an der Hochschule Darmstadt soll ein Prüfstandsaufbau erfolgen, um eine luftgelagerte Welle genauer zu untersuchen. Bei der Welle handelt es sich um ein Design, welches in einer Mikrohybridturbine[1] zum Einsatz kommen wird. Die Mikrohybridturbine ist eine Kombination aus Gas- und ORC-Turbine, welche beide auf einer Welle arbeiten sollen. Ziel ist es die mechanischen und thermischen Belastungen der Welle genauer zu untersuchen und daraus notwendige Verbesserungen abzuleiten. Ebenfalls soll untersucht werden, ob eine Luftlagerung für diesen speziellen Anwendungsfall geeignet ist und auch in Serie eingesetzt werden kann.

Die Aufgabenstellung im Rahmen des „Integrierten Forschungsprojektes“ ist die Bereitstellung eines Messsystems. Um die Belastungen des Prüfstandes ermitteln zu können, muss entsprechende Sensorik und Messtechnik verbaut werden. Dies ist die primäre Aufgabenstellung des *IFPs*.

Während der Bearbeitungszeit wurde die Verwendung des Messsystems für ein weiteres Projekt beschlossen und daher musste das bereits erarbeitete Konzept erweitert werden. Somit wurde die Aufgabenstellung erweitert, um die neuen Anforderungen zu erfüllen:

- Konzept des Messsystems
- Auswahl und Beschaffung des Messsystems
- Modulares Messsystems
- Inbetriebnahme des Messsystems

Ziel dieses Berichtes ist es, den Ablauf des *IFPs* zu dokumentieren und die durchgeführten Bearbeitungsschritte aufzuzeigen.

2 Konzept des Messsystems

In diesem Abschnitt wird auf die Ermittlung der notwendigen Messgrößen eingegangen.

Die Bestimmung der Messgrößen fand im Rahmen mehrerer Arbeitsgruppentreffen innerhalb des Gesamtprojektes statt. Hierfür wurde gemeinsam die Anforderungen an die Messtechnik und Sensorik festgelegt. In einem ersten Schritt wurden Handskizzen im Blockschaltbildformat erarbeitet und ein Systemkonzept grafisch ausgearbeitet. Parallel dazu wurde bereits durch andere Projektteilnehmer ein CAD-Modell für die Konstruktion angefertigt.

2.1 Vorgesehene Messtechnik

Zunächst sollen die aufzunehmenden physikalischen Messgrößen dargestellt werden:

- Temperatur:
 - Lagerluft
 - Kühlkreislauf
 - Wellentemperatur
- Druck
 - Lagerluft
- Drehzahl
- Beschleunigung
- Gasgeschwindigkeit

2.2 Positionierung der Sensorik

Die parallel stattfindende Konstruktion machte es erforderlich ein erstes Konzept vorzulegen und darauf beruhend ebenfalls die Positionierung der Sensorik festzulegen:

Universalwellenprüfstand

Blockschaltbild mit Messstellen

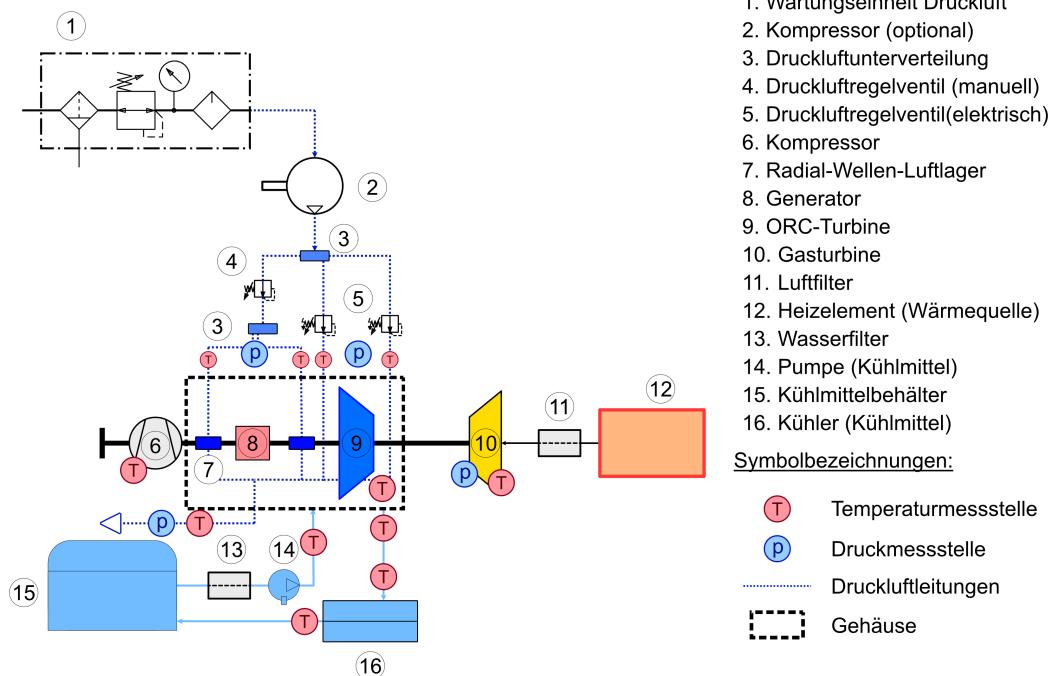


Abbildung 2.1: Blockschaltbild des Universalwellenprüfstandes

In Abbildung 2.1 ist der Aufbau der Einzelkomponenten des Universalwellenprüfstandes erkennbar. Ebenfalls wird die Aktorik und Sensorik des Prüfstandes abgebildet. Diese Darstellung wurde ebenfalls in Arbeitsgruppentreffen erstellt, um die Positionierung der Sensorik festlegen zu können. Nachdem dieser Schritt abgeschlossen war, konnten im CAD die Positionen am realen Prüfstand festgelegt werden. Hierbei war erneut eine enge Zusammenarbeit mit dem Konstrukteur von Nöten.

2.3 Iterativer Prozess

Zusätzlich gilt es zu erwähnen, dass die gesamte Festlegung der Messtechnik ein iterativer Prozess war. Während der Arbeitsgruppentreffen wurden mehrere Änderungen bezüglich der Auswahl, der Anzahl und auch der Positionierung der Sensorik festgelegt. Die dargestellten Abbildungen in diesem Bericht zeigen jeweils den aktuellsten Stand der Entwicklung der Messumgebung. Durch diese Vorgehensweise war es jedoch auch von Vorteil, dass bereits während der Planung eine Kostenaufstellung durchgeführt wurde und eine Kostenoptimierung möglich war. Ein Beispiel hierfür ist die Anpassung der Konstruktion an die ausgewählte Sensorik, um eine kostengünstige Umsetzung zu ermöglichen.

3 Auswahl und Beschaffung

In diesem Kapitel soll nun auf die Auswahl der verwendeten Messtechnik eingegangen werden. Zur Dokumentation der Auswahl wurde in einer projektweiten Stückliste gearbeitet, so dass dieser Prozess für alle Beteiligten zu jeder Zeit einsehbar war.

3.1 Vorauswahl der Komponenten

Im ersten Schritt wurde eine Online-Recherche durchgeführt, um mögliche Sensorik und Messaufnahmesysteme zu recherchieren. Für die Messaufnahme, also die Umwandlung und Aufbereitung der elektrischen Sensor-Signale in eine rechnergesteuerte Messumgebung, haben sich folgende drei umsetzbaren Möglichkeiten ergeben:

- National Instruments Hardware
- Tinkerforge-Hardware
- Mikrocontroller

Diese dargestellten Möglichkeiten sind jeweils mit unterschiedlichem Aufwand und Aufwendung verbunden, worauf noch genauer eingegangen wird.

Auch für die Messung der Temperaturen am Prüfstand haben sich verschiedene Typen von Sensoren recherchieren lassen. Folgende sinnvoll einsetzbare Typen konnten ermittelt werden:

- Thermoelemente
- PTC
- NTC

Diese Sensoren bieten jeweils Vor- und Nachteile, welche später noch genauer betrachtet werden.

Durch bereits vorhandene Sensorik an der Hochschule, konnten folgende Messgrößen in Bezug auf die Auswahl passender Sensorik für die Vorauswahl ausgeschlossen werden:

- Drucksensoren
- Drehzahlsensoren
- Beschleunigungssensoren
- Gasgeschwindigkeitssensoren

Für diese Positionen liefern die aufgeführten Messaufnehmer jedoch auch entsprechende Anschlussmöglichkeiten, um die Signale der Sensoren zu verarbeiten.

3.2 Nutzwertanalyse

Um einen übersichtlichen und möglichst objektiven Vergleich der Vorauswahl durchführen zu können wurde eine Nutzwertanalyse durchgeführt. Zunächst war es erforderlich Kriterien festzulegen, welche für die Umsetzung der Messtechnik am Prüfstand relevant sind. Vor allem die Auswahl der Sensoren zur Temperaturmessung und die Messaufnehmer mussten aufgrund der vielfältigen Angebote genauer verglichen werden.

Tabelle 3.1: Nutzwertanalyse für Auswahl der Temperatursensoren

| Nutzwertanalyse | | Vergleich: Thermoelement, PTC, NTC | | | | | |
|-------------------|------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| Kriterium | Gewichtung | Thermoelement | | PTC | | NTC | |
| | | Bewertung (1-5) | Bewertung (gewichtet) | Bewertung (1-5) | Bewertung (gewichtet) | Bewertung (1-5) | Bewertung (gewichtet) |
| Linearität | 15 | 3 | 45 | 5 | 75 | 1 | 15 |
| Schnelligkeit | 25 | 4 | 100 | 2 | 50 | 2 | 50 |
| Genauigkeit | 25 | 3 | 75 | 5 | 125 | 4 | 100 |
| Temperaturbereich | 20 | 5 | 100 | 3 | 60 | 1 | 20 |
| Preis | 15 | 2 | 30 | 4 | 60 | 5 | 75 |
| Summe | 100 | | 350 | | 370 | | 260 |

Tabelle 3.2: Nutzwertanalyse für Auswahl der Messaufnehmer

| Nutzwertanalyse | | Vergleich Messhardware: National Instruments, Tinkerforge, beliebiger Microcontroller | | | | | |
|-----------------------|------------|---|-----------------------|-----------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| Kriterium | Gewichtung | NI-Hardware | | Tinkerforge | | μ -Controller | |
| | | Bewertung (1-5) | Bewertung (gewichtet) | Bewertung (1-5) | Bewertung (gewichtet) | Bewertung (1-5) | Bewertung (gewichtet) |
| Messverfahren* | 25 | 5 | 125 | 4 | 100 | 1 | 25 |
| Erweiterbarkeit | 25 | 3 | 75 | 5 | 125 | 2 | 50 |
| Komfort & Handhabung* | 20 | 4 | 80 | 5 | 100 | 1 | 20 |
| Flexibilität* | 10 | 3 | 30 | 5 | 50 | 5 | 50 |
| Preis | 20 | 1 | 20 | 4 | 80 | 5 | 100 |
| Summe | 100 | ● | 330 | ● | 455 | ● | 245 |

* Anmerkungen:
- bewertet wurden Messgenauigkeit und Abtastrate
- einfache Installation und vielseitige Nutzungsmöglichkeiten sollten gewährleistet sein
- Wiederverwendbarkeit ist wichtig

Mit Hilfe der Nutzwertanalysen 3.1 und 3.2 wird visuell verdeutlicht, welche Vor- und Nachteile die einzelnen Optionen jeweils bieten. Die Gewichtungen wurden subjektiv festgelegt, die Bewertung der einzelnen Punkte wurde durch Recherche im Internet unterstützt. Hierzu wurden die folgenden Quellen recherchiert:

- Messaufnehmer:
 - National Instruments [2]
 - Tinkerforge [3]
- Temperaturmessungen:
 - TE-connectivity [4]
 - RCT-online [5]

Mit Hilfe dieser Analysen konnten nun die finalen Komponenten bestimmt werden. Die Temperaturmessstellen am Prüfstand werden je nach Anforderungen in Bezug auf den Messbereich, die Genauigkeit aber auch die Messgeschwindigkeit entweder als PTC oder aber als Thermoelement realisiert. Die Bezugsquelle der Messaufnehmer ist durch die Verwendung der Hardware von *Tinkerforge* bereits festgelegt, jedoch war es notwendig einen Anbieter für die ausgewählte Sensorik zu recherchieren.

3.3 Ausgewählte Komponenten

Nach abgeschlossener Nutzwertanalyse und Preisrecherche konnten folgende Hersteller und Lieferanten für die Sensorik und Messtechnik festgelegt werden:

- Sensoren: sensorshop24.de
- Messaufnehmer: tinkerforge.com

Die genannten Anbieter haben im Preis-Leistungs-Verhältnis überzeugt und auch das Angebot und die Anpassungsmöglichkeiten der notwendigen Komponenten ist vielfältig.

3.4 Beschaffung

Im nächsten Schritt wurde die ausgewählte Messtechnik bei den ausgewählten Händlern bestellt. Nach Eingang der Artikel an der Hochschule wurden diese einer Funktionsprüfung unterzogen, um die einwandfreie Funktion zu gewährleisten.

4 Modulares Messsystem

4.1 Anforderungen

Während der Bearbeitung wurde klar, dass eine modulare Lösung des Messsystems von Vorteil ist. Für ein weiteres Projekt, welches sich mit dem Aufbau eines Prüfstandes zur Untersuchung einer einfachen Dampfturbinengeometrie beschäftigt, wurde ebenfalls ein Messsystem gesucht. Aufgrund der engen Zusammenarbeit der Projektteilnehmer beider Projekte wurde festgelegt, das entwickelte Messsystem dort ebenfalls zu verwenden. Die dort vorhandene Sensorik kann ebenfalls mit den beschafften Komponenten verwendet werden.

Einige der ausgewählten und beschafften Komponenten beider Projekte, machten es erforderlich eine Spannungsversorgung bereitzustellen, da diese bereits digitalisierte Signale erzeugen. Auch eine zusätzliche und konstante Spannungsversorgung der Messaufnehmer von *Tinkerforge* ist grundsätzlich sinnvoll. Spannungsschwankungen können möglicherweise zu Abweichungen in den Messwerten führen. Zunächst wurden folgende notwendigen Anforderungen definiert:

- Anschluss an 230 V-Netz möglich
- Bereitstellung von Gleichspannungen 5 V, 12 V und 24 V
- Modularität, um Verwendung an anderen Prüfständen zu ermöglichen
- Sicherheit der Bedienenden

4.2 Konzept

Zunächst wurde ein Konzept erarbeitet, damit die gegebenen Anforderungen umgesetzt werden konnten. Ein besonderes Augenmerk lag hierbei auf der Einhaltung der Sicherheitsaspekte. Die Bedienersicherheit soll durch Unterbringung der Komponenten in einem abschließbaren Kompaktschalschrank erreicht werden.

Da der Anschluss ans 230V-Netz möglich sein soll, ist ein zusätzlicher Fehlerstromschalter geplant. Die Installation der geforderten Komponenten soll jederzeit änderbar sein, weswegen Tragschienenprofile (TH35) zum Einsatz kommen sollen. Eine saubere Führung der gesamten Verkabelung soll durch geschlitzte Kabelkanäle erfolgen. Auch Änderungen an der Verkabelung der Sensorik und Messtechnik ist gegebenenfalls beim Umrüsten nötig, daher sollen Installationsklemmen eingesetzt werden. Ebenfalls sollen zwei weitere Schutzkontaktsteckdosen im Schaltschrank verfügbar sein, um eventuelle Zusatzkomponenten mit handelsüblichen Schaltnetzteilen betreiben zu können.

Im nächsten Schritt wurde eine Vorauswahl der Komponenten getroffen, wobei bereits eine erste Kostenabschätzung erstellt werden konnte und gegebenenfalls bereits im Vorfeld preisgünstigere Alternativen ermittelt wurden. Diese Auswahl wurde wieder in der bereits angesprochenen Tabelle festgehalten. Mit Hilfe dieser Stückliste wurde ein Stromlaufplan erarbeitet, um die Bestellmengen zu ermitteln und den Aufbau des Messsystems zu unterstützen. Dieser ist in Abbildung 4.1 auszugsweise dargestellt.

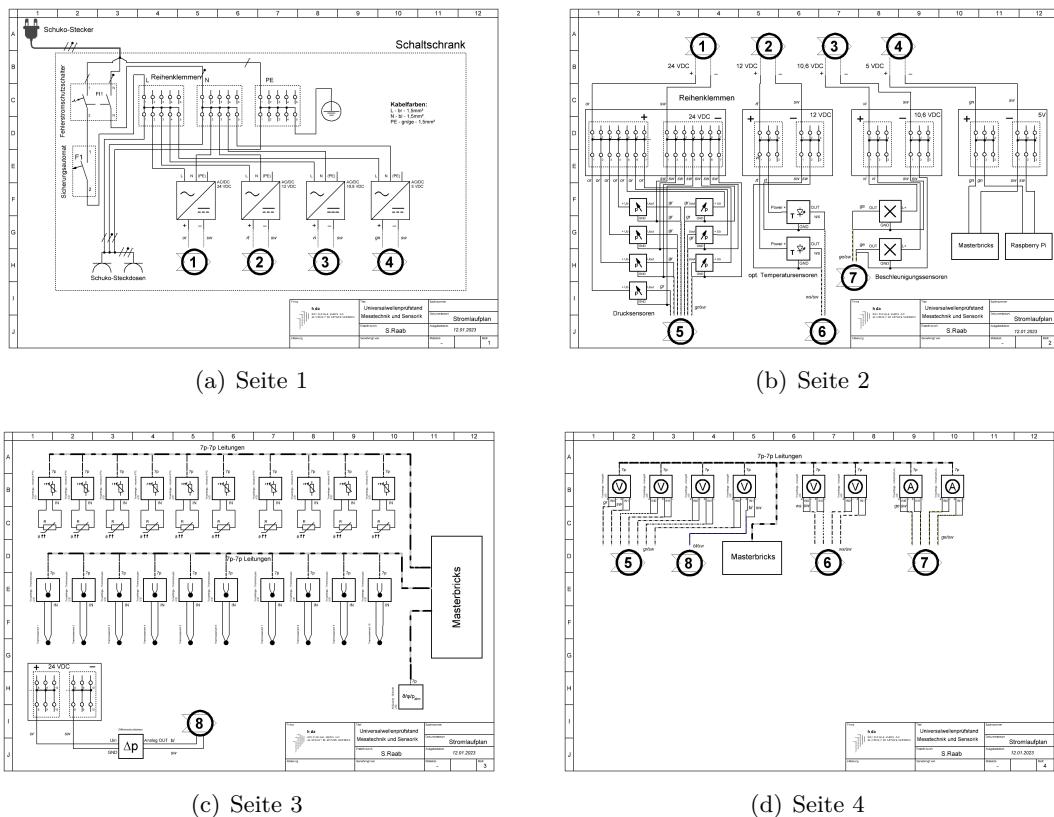


Abbildung 4.1: Stromlaufplan des Messschrankes

4.3 Umsetzung

Nach Fertigstellung des Konzeptes konnte nun die Beschaffung erfolgen und mit dem Aufbau begonnen werden. Im ersten Schritt wurde der Kompaktschalschrank zusammengebaut und mit den bestellten Komponenten bestückt.

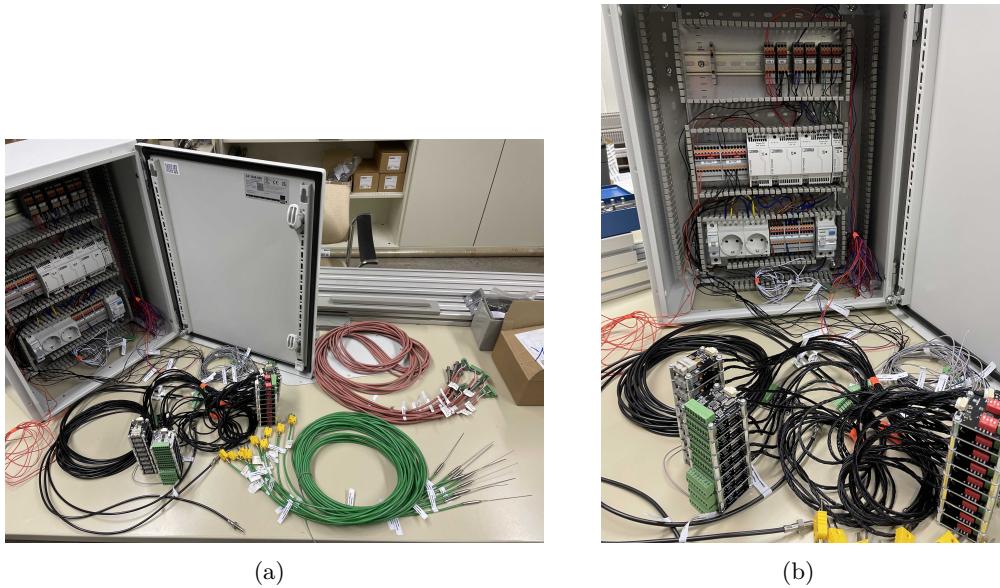


Abbildung 4.2: Teilweise aufgebautes Messsystem

In Abbildung 4.2 ist der derzeitige Aufbau des Messsystems dargestellt. Die Komponenten und die Verkabelung des Messschrankes ist gemäß dem Stromlaufplan (siehe: Abbildung: 4.1) erfolgt. Sämtliche Sensoren sind entsprechend ihrer vorgesehenen Einbauposition beschriftet und können somit einfach am Prüfstand installiert werden. Bei den gezeigten gestapelten Platinen handelt es sich um die *Tinkerforge*-Module, welche ebenfalls im Messschrank platziert werden sollen. Hierfür wurde eine Bodenplatte zur Montage der Module im Messschrank konstruiert:

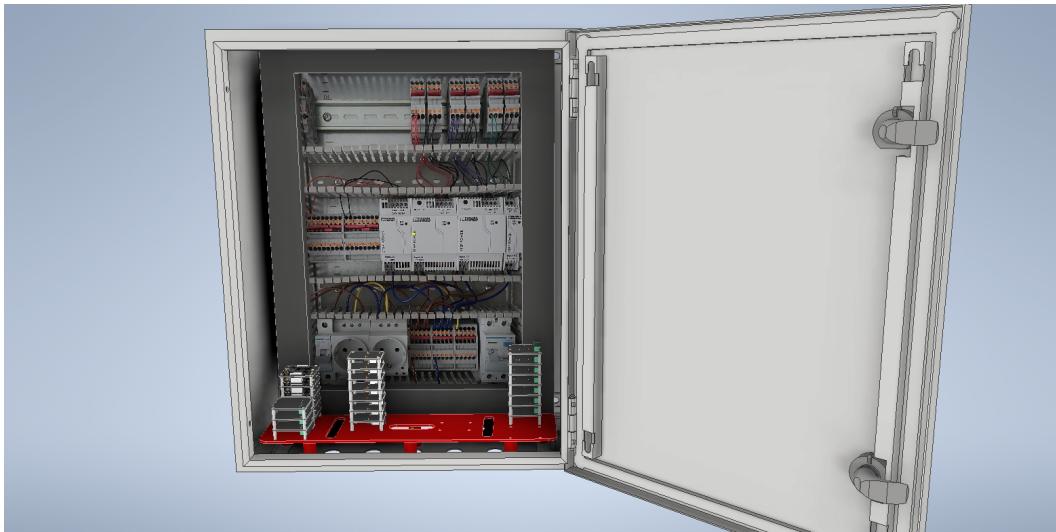


Abbildung 4.3: CAD-Modell: Platzierung der Montageplatte für *Tinkerforge*-Module

In Abbildung 4.3 ist die konstruierte Montageplatte in rot dargestellt. Diese befand sich zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch in der Fertigung und konnte noch nicht im Messschrank installiert werden.

Während des Aufbaus ist die Idee entstanden ein zusätzliches Hutschienenprofil mit Reihenklemmen direkt an den Prüfständen zu installieren. Somit kann eine einfache Trennung des Messschrankes und der Sensorik erfolgen und die Messtechnik an einem anderen Prüfstand verwendet werden. Hierfür ist es jedoch erforderlich zusätzliche Komponenten nachzubestellen und diese Änderungen ebenfalls entsprechend zu dokumentieren (Schaltpläne, Beschriftungen, usw.) Diese Änderungen werden dann im IFWP „*Aufbau eines Datenloggers sowie Messdatenverwertung und Visualisierung*“ umgesetzt.

Im darauffolgenden Kapitel soll dennoch der Aufbau und die Inbetriebnahme des Messsystems durchgeführt und eine erste Testmessung gezeigt werden.

5 Inbetriebnahme des Messsystems

5.1 Installation am Prüfstand

Die zukünftige Positionierung der Sensorik und Messtechnik soll in diesem Abschnitt mit Hilfe von Bildausschnitten des CAD-Modells des Universalwellenprüfstandes dargestellt werden.

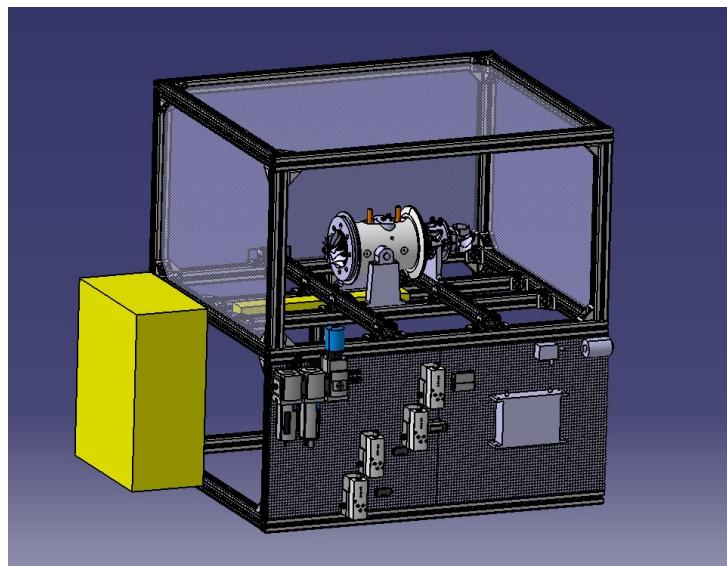


Abbildung 5.1: Universalwellenprüfstand in CATIA

In Abbildung 5.1 wird die Installation des Schaltschrankes sowie ein geplanter Kabelkanal mit den zusätzlich geplanten Reihenklemmen (in gelb dargestellt) gezeigt. Somit können die Sensoradern sauber verlegt werden und sind zusätzlich geschützt.

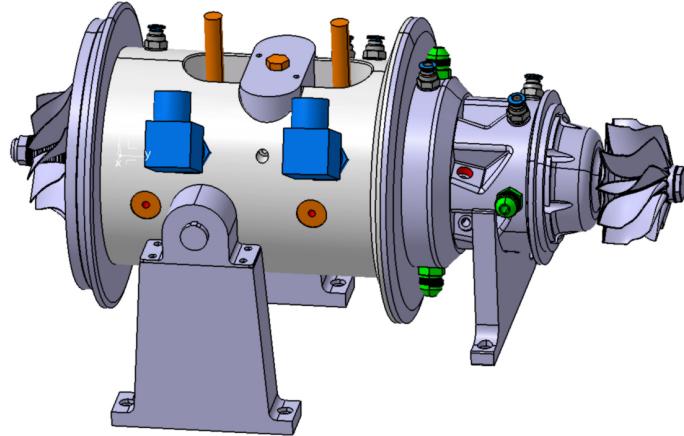


Abbildung 5.2: Platzierung der Sensoren am Turbinengehäuse

In Abbildung 5.2 sind nun die Positionen der einzelnen Sensoren im Turbinengehäuse dargestellt. In orange sind verschiedene Temperatursensoren dargestellt. Auch die Drucksensoren (hier blau) zur Überwachung des Luftdruckes der Luftlager sind erkennbar. Weitere Sensoren sind in Messblöcken geplant und nicht direkt am Turbinengehäuse installiert. Diese können beim Aufbau beliebig platziert werden. Ebenfalls sind Sensoren im Kühlkreislauf beschafft worden, wovon jedoch noch kein Aufbau bzw. ein CAD-Modell vorliegt.

5.2 Einrichtung der Messsoftware

Zur Durchführung der Messungen wurde auf die von *Tinkerforge* bereitgestellte Software *Brickv 2.4.23* zurückgegriffen. Mit dieser wurde zunächst die gesamte Messtechnik auf Funktion überprüft. Hierfür war es ebenfalls erforderlich bei einigen Komponenten ein Firmware-Update durchzuführen, um eine einwandfreie Funktionalität zu gewährleisten. Die Benutzeroberfläche von *Brickv 2.4.23* soll nun gezeigt werden.

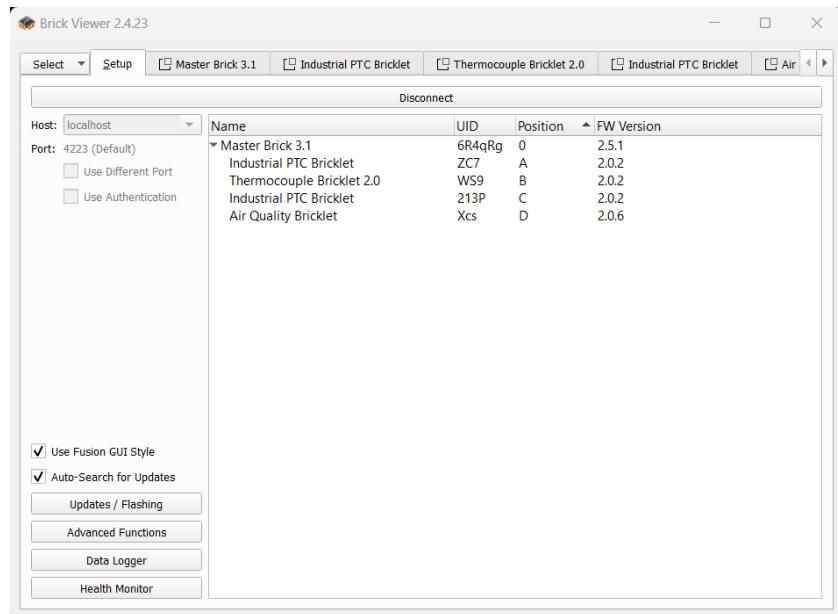


Abbildung 5.3: Benutzeroberfläche von *Brickv 2.4.23*

In Abbildung 5.3 ist die GUI von *Brickv 2.4.23* mit angeschlossenen und verbundenen *Tinkerforge*-Modulen dargestellt. Mit diesem Tool können bereits Sensorwerte ausgelesen werden, welche bei Temperatursensoren bereits Temperaturwerte liefern. Für die spätere Verwendung am Prüfstand muss gegebenenfalls eine Kalibrierung durchgeführt werden. Hier wird auch deutlich, dass sämtliche Module von *Tinkerforge* mit einer einzigartigen „UID“ versehen sind. Diese wurden entsprechend ausgelesen und tabellarisch dokumentiert.

| Modulübersicht Tinkerforge | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|-----------|---------------------------|------|----------|-----------|------------------------|------|----------|----------|-----------|-----------|
| Pos. 1 ist immer das oberste Modul! | | | | | | | | | | | | |
| Master-Bricks | | | Industrial Dual Analog IN | | | | Industrial Dual 0-20mA | | | | | |
| Pos. | UID | Sonstiges | Pos. | UID | Sensor 0 | Sensor 1 | Sonstiges | Pos. | UID | Sensor 0 | Sensor 1 | Sonstiges |
| 1 | 6DbMMY | | 1 | Ye9 | | | | 1 | ZLW | | | |
| 2 | 6Lg19G | | 2 | Ybj | | | | 2 | | | | |
| 3 | 6DAfkj | | 3 | 23RH | | | | 3 | | | | |
| 4 | 6LgwY | | 4 | YaM | | | | 4 | | | | |
| 5 | 6koAcl | | 5 | Ybs | | | | 5 | | | | |
| 6 | 6kpADw | | 6 | Ycy | | | | 6 | | | | |
| 7 | 6fd5hy | | 7 | 23RK | | | | 7 | | | | |
| 8 | 6DnPcp | | 8 | Ybx | | | | 8 | | | | |
| 9 | | | 9 | | | | | 9 | | | | |
| 10 | | | 10 | | | | | 10 | | | | |
| 11 | | | 11 | | | | | 11 | | | | |
| Industrial PTC | | | Thermocouple | | | | | | | | | |
| Pos. | UID | Sensor | Pos. | UID | Sensor | Sonstiges | Pos. | UID | Sensor 0 | Sensor 1 | Sonstiges | |
| 1 | Ye9 | | 1 | Ye9 | | | | | | | | |
| 2 | Ybj | | 2 | Ybj | | | | | | | | |
| 3 | 23RH | | 3 | 23RH | | | | | | | | |
| 4 | YaM | | 4 | YaM | | | | | | | | |
| 5 | Ybs | | 5 | Ybs | | | | | | | | |
| 6 | Ycy | | 6 | Ycy | | | | | | | | |
| 7 | 23RK | | 7 | 23RK | | | | | | | | |
| 8 | Ybx | | 8 | Ybx | | | | | | | | |
| 9 | | | 9 | Rhf | | | | | | | | |
| 10 | | | 10 | Wta | | | | | | | | |
| 11 | | | 11 | | | | | | | | | |

Abbildung 5.4: Auflistung und Position der verbauten *Tinkerforge*-Module

Abbildung 5.4 zeigt die Auflistung der verbauten *Tinkerforge*-Module. Diese Auflistung liegt als Excel-Dokument auf dem eingesetzten Cloud-Speicher des Projektes und kann somit von jedem eingesehen bzw. bearbeitet werden. Beim Aufbau sollen dann entsprechend die eingebauten Sensoren den Modulen zugeordnet werden. Diese Arbeit dient ebenfalls als Vorbereitung für das darauffolgende IFWP, da die UIDs für die Programmierung einer Visualisierung benötigt werden.

5.3 Durchführung und Auswertung von Messungen

Mit den angeschlossenen Modulen aus Abbildung 5.3 und den dazugehörigen Sensoren wird nun eine Testmessung durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden folgende Sensoren an die passenden *Tinkerforge*-Module angeschlossen:

- Temperatur: PTC-Widerstand
- Temperatur: Thermoelement Typ K
- Temperatur und Luftfeuchte: Fertigmodul *Tinkerforge Air Quality Bricklet*

Mit dieser Konfiguration soll nun eine Testmessung erfolgen. Hierfür muss nun das Datatalogging entsprechend in *Brickv 2.4.23* noch eingestellt werden:

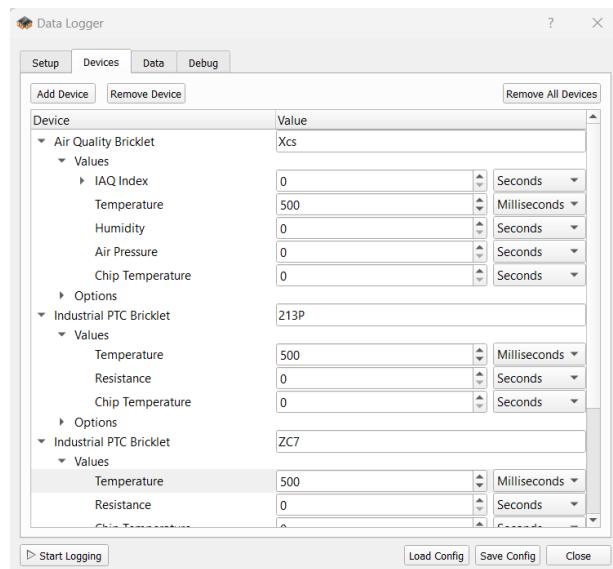


Abbildung 5.5: Auflistung und Position der verbauten *Tinkerforge*-Module

In Abbildung 5.5 ist die Benutzeroberfläche zur Einstellung des Dataloggings dargestellt. Folgende Zeitintervalle für das Abspeichern der Messwerte wurden festgelegt:

- Temperaturen: 500 ms
- Luftfeuchte: 1000 ms

Ebenfalls wurde vorher in einem anderen Menü-Tab das Abspeichern der Messwerte als CSV-Datei eingestellt, um eine spätere Auswertung zu ermöglichen. Das Datalogging wurde nun gestartet und während der Messung wurden die Sensoren mit der Hand umschlossen, um eine Änderung der Messwerte zu erreichen. Die aufgenommenen Messwerte sollen nun auszugsweise dargestellt werden:

| TIME | NAME | UID | VAR | RAW | UNIT |
|----------------|---------------------|-----|-------------|------|---------|
| 12.01.23 12:36 | Air Quality Bri Xcs | | Temperature | 2090 | °C/100 |
| 12.01.23 12:36 | Industrial PTC ZC7 | | Temperature | 1992 | °C/100 |
| 12.01.23 12:36 | Industrial PTC 213P | | Temperature | 1996 | °C/100 |
| 12.01.23 12:36 | Air Quality Bri Xcs | | Temperature | 2091 | °C/100 |
| 12.01.23 12:36 | Industrial PTC 213P | | Temperature | 1996 | °C/100 |
| 12.01.23 12:36 | Industrial PTC ZC7 | | Temperature | 1992 | °C/100 |
| 12.01.23 12:36 | Air Quality Bri Xcs | | Humidity | 4993 | %RH/100 |
| 12.01.23 12:36 | Air Quality Bri Xcs | | Temperature | 2091 | °C/100 |
| 12.01.23 12:36 | Industrial PTC ZC7 | | Temperature | 1993 | °C/100 |
| 12.01.23 12:36 | Industrial PTC 213P | | Temperature | 1996 | °C/100 |
| 12.01.23 12:36 | Air Quality Bri Xcs | | Humidity | 4993 | %RH/100 |
| 12.01.23 12:36 | Air Quality Bri Xcs | | Temperature | 2091 | °C/100 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Abbildung 5.6: Auszug aus der Datalog CSV-Datei

In Abbildung 5.6 wird deutlich, dass eine Aufbereitung der Messdaten stattfinden muss, um eine sinnvolle Auswertung durchführen zu können. Am späteren Prüfstand ist es notwendig die Position der Sensoren den passenden „UIDs“ der Module zuzuordnen. Hierfür kann wieder auf die bereits gezeigte Auflistung (siehe 5.4) zurückgegriffen werden. Auch für Visualisierungen müssen die Daten getrennt und die „RAW“-Werte korrigiert werden. Im Rahmen der Testmessung und Visualisierung wurden die Daten von Hand in *Excel* gefiltert und für jedes Modul ein separates Tabellenblatt erstellt. Anschließend wurden die Messdaten in Diagrammen visualisiert:

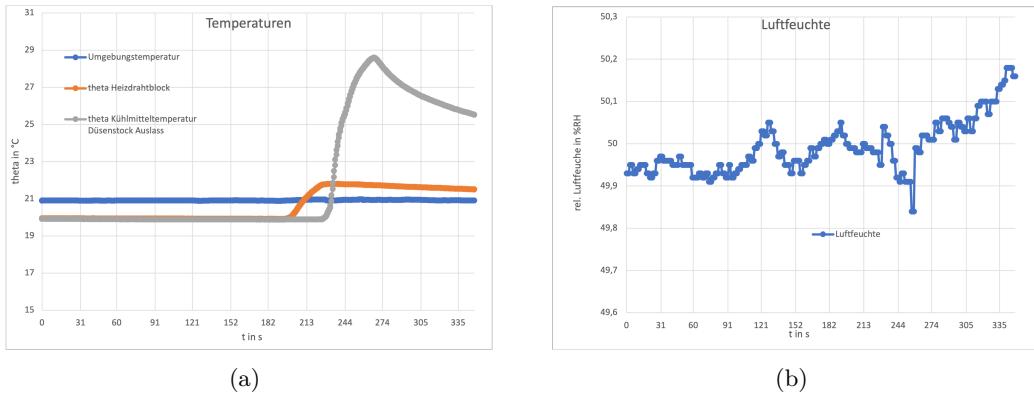


Abbildung 5.7: Visualisierung der Testmessung

In Abbildung 5.7 werden die aufgenommen und korrigierten Messwerte der Testmessung nun dargestellt. Anzumerken ist, dass die Sensoren nicht zeitgleich erwärmt wurden, sondern nacheinander. Die erwarteten Änderungen der Temperaturen sind zu erkennen. Besonders gut erkennt man hier den Unterschied der Messgeschwindigkeit zwischen einem PTC-Widerstand(orange) und einem Thermoelement(grau). Auch die Abkühlung des PTC-Widerstandes dauert wesentlich länger. Die Luftfeuchte ist über die Messzeit relativ konstant, was zu erwarten war. Möglicherweise ist der Anstieg am Ende durch die Bewegung im Raum während der Erwärmung der Temperaturmessstellen zu erklären. Der Ausschlag der Messwerte ist jedoch so gering und generell von Schwankungen betroffen, dass es sich auch lediglich um Messungenauigkeiten handeln kann.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Aufgabenstellung des *IFPs* konnte fast vollständig erfüllt werden. Das Messsystem zur Verwendung am Universalwellenprüfstandes wurde entsprechend der Anforderungen ausgelegt und folgende Ergebnisse wurden erzielt:

- Konzepterarbeitung
- Beschaffung der Komponenten
- Aufbau eines modularen Messsystems
- Inbetriebnahme für Testzwecke

Besonders hervorzuheben ist die stetige Entwicklung und Änderung des Konzeptes, welches im Laufe der Aufgabenstellung mehrfach erweitert und verfeinert werden musste. Einige Änderungen wurden erst kurz vor Ende des *IFPs* beschlossen, welche jedoch essentielle Verbesserung der Modularität und Vielseitigkeit des Messsystems versprechen. Dieser Prozess ist bedingt durch die ständige Weiterentwicklung des Prüfstandes und erforderte daher eine hohe Flexibilität in der Umsetzung des Messsystemkonzeptes. Hierbei spielt vor allem eine gute Dokumentation in Form von Stücklisten, Blockschaltbildern, Konstruktionsmodellen oder aber auch dieser Bericht eine große Rolle. Somit wäre es möglich eine Übergabe der Aufgabe nach Abschluss des *IFPs* durchzuführen und den Einstieg in die Weiterentwicklung zu erleichtern.

Aufbauend auf die Umsetzung des Messsystems wären folgende Erweiterungen und Weiterentwicklungen denkbar:

- teil-automatisierte Datenauswertung mit *Microsoft Excel* oder *MATLAB*
- Entwicklung einer Software-Messumgebung mit Visualisierung der Messdaten
- Steuerung und Regelung von Aktorik mit weiteren *Tinkerforge*-Modulen
- Weiterentwicklung zur vollwertigen Software zur Überwachung und Steuerung des Prüfstandes

Alles in allem konnte das *IFP* erfolgreich bearbeitet werden, hat tiefgreifende Einblicke in die Entwicklung einer Messumgebung ermöglicht und hat dazu beigetragen, dass viele neue Erkenntnisse gewonnen werden konnten. Besonders interessant war das Arbeiten mit sich ständig verändernden Anforderungen und den daraus notwendigen Anpassungen. Auch die vielfältigen Möglichkeiten zur Weiterentwicklung des entstandenen Messsystems haben einen tiefen Einblick ins Arbeiten in die Forschung vermitteln können.

Literatur

- [1] Dipl.-Ing. (FH) Michael Cremer; Prof.Dr. Wolfgang Heddrich; M.Eng. Lukas S. Zajac; „Die Mikrohybridturbine - ein modulares Konzept für die Energiewende“. In: *VDI - Technik und Mensch* (2021), S. 10–12. URL: https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/vor_ort/bv/bv-frankfurt-darmstadt/dateien/T_u_M_Strategie.pdf.
- [2] National Instruments. *PC-basierte Mess- und Steuersysteme*. Nov. 2022. URL: <https://www.ni.com/de-de/shop/pc-based-measurement-and-control-system.html>.
- [3] Tinkerforge. *Einstieg*. Nov. 2022. URL: <https://www.tinkerforge.com/de/doc/Primer.html#primer-bricks>.
- [4] TE connectivity. *Einen Temperatursensor auswählen*. Nov. 2022. URL: <https://www.te.com/deu-de/products/sensors/temperature-sensors/intersection/selecting-temperature-sensors.html>.
- [5] Reichelt Chemie Technik GmbH und Co. *Die elektrische Temperaturmessung - schnell und präzise*. Nov. 2022. URL: <https://www.rct-online.de/magazin/elektrische-temperaturmessung/>.