



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## **Bachelorarbeit**

Karim Omar

# **Entwicklung einer Softwarelösung zur Steuerung eines Getriebeprüfstands und zur Auswertung der Messdaten**

*Fakultät Technik und Informatik  
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science  
Department of Mechanical Engineering and  
Production Management*

**Karim Omar**

**Entwicklung einer Softwarelösung zur Steuerung eines  
Getriebeprüfstands und zur Auswertung der Messdaten**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Produktionstechnik und -management  
am Department Maschinenbau und Produktion  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr. Andreas Meyer-Eschenbach  
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Thomas Rieling

Abgabedatum: 22.04.2023

## Zusammenfassung

### Name des Studierenden

Karim Omar

### Thema der Bachelorthesis

Entwicklung einer Softwarelösung zur Steuerung eines Getriebeprüfstands und zur Auswertung der Messdaten

### Stichworte

Entwicklung, Softwaresysteme, LabVIEW, catman Easy, Getriebeprüfstand, Datenflussdiagramm, Leistung, Wirkungsgrad, Tabellenkalkulations-Datei, Messfrequenzen, Vergleich, Anleitung

### Zusammenfassung

In der vorliegenden Bachelorarbeit wird ein Getriebeprüfstand optimiert, indem die Messwerte der Messwellen am Getriebeprüfstand, die aufgenommenen Messdaten wie Antriebs- und Abtriebsmoment sowie deren Drehzahlen an die jeweiligen Softwares LabVIEW und catman Easy weitergeleitet werden. Die Messwerte können dort so verarbeitet werden, dass die Antriebs- und die Abtriebsleistung sowie der Wirkungsgrad berechnet werden können. Diese berechneten Daten sollen im Anschluss in eine Tabellenkalkulations-Datei importiert werden.

Die Bachelorthesis beinhaltet folgende Schwerpunkte:

- Einarbeitung in die relevanten Softwaresysteme catman Easy, LabVIEW und Matlab/Simulink,
- methodische Auswahl eines dieser Softwaresysteme und Erarbeitung eines Datenflussdiagramms für den Getriebeprüfstand,
- Entwicklung eines Tools zur Berechnung von Leistung und Wirkungsgrad und zur Ausgabe der Messwerte in eine Tabellenkalkulations-Datei,
- Entwicklung eines Tools zum Vergleich der Messwerte bei unterschiedlichen Messfrequenzen (von 1 Hz und 1000 Hz) sowie Klärung und Verringerung von Verzögerungseffekten bei der Messung,
- Entwicklung einer Anleitung zur Verwendung der Softwaresysteme catman Easy und LabVIEW.

**Student Name**

Karim Omar

**Thesis Title**

Development of a software solution for controlling a transmission test bench and evaluating the measurement data

**Keywords**

Development, software systems, LabVIEW, catman Easy, transmission test bench, data flow diagram, performance, efficiency, spreadsheet file, measuring frequency, comparison, instructions.

**Abstract**

In this bachelor's thesis, a transmission test bench is optimised to allow measured values from the measuring shafts on the transmission test bench to be forwarded to the software systems LabVIEW and catman Easy. These measured values are processed using the software to allow calculation of the input and output power and efficiency. The calculated data is then exported into a spreadsheet file.

This bachelor's thesis includes the following focal points:

- Introduction of the relevant software systems catman Easy, LabVIEW and MATLAB/Simulink.
- Methodical selection of one of these software systems and development of a data flow diagram for the transmission test bench.
- Development of a tool for calculating power and efficiency and for outputting the measured values to a spreadsheet file.
- Development of a tool to compare the measured values at different measuring frequencies (from 1 Hz to 1000 Hz) and to clarify and reduce delay effects during the measurement.
- Development of a manual for the use of the software systems catman Easy and LabVIEW.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	I
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	III
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	V
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	VIII
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	IX
<b>Formelverzeichnis</b> .....	X
<b>1 Einleitung</b> .....	1
1.1 Aufgabenstellung der Arbeit .....	2
1.2 Vorgehensweise .....	4
<b>2 Einarbeitung in die relevanten Softwaresysteme (Theoretische Grundlagen)</b> .....	5
2.1 Der Getriebeprüfstand .....	5
2.2 Die zentralen Komponenten von LabVIEW .....	7
2.2.1 Frontpanel in LabVIEW .....	8
2.2.2 Blockdiagramm in LabVIEW .....	9
2.2.3 Werkzeugpalette in LabVIEW .....	10
2.2.4 Kontextmenü in LabVIEW.....	12
2.3 Benötigtes Hintergrundwissen zu Matlab/Simulink .....	12
2.3.1 Matlab .....	13
2.3.2 Simulink .....	15
2.4 Grundlagen zu catman Easy .....	19
2.5 Vergleichstabelle zu den möglichen Softwarelösungen .....	21
2.6 Datenflussdiagramm des Getriebeprüfstands .....	24
2.7 Optimierung der Regelung eines Motors .....	27
<b>3 Auswahl eines geeigneten methodischen Lösungsverfahrens</b> .....	30
3.1 Die Anforderungsliste.....	30
3.2 Die Gewichtung der Rangfolge.....	33
3.3 Das Wertigkeitsverfahren .....	35
3.4 Anforderungsliste der sieben wichtigsten Anforderungen mit Nutzwertanalyse .....	37
<b>4 Entwicklungsteil 1: Entwicklung eines Tools zur Berechnung von Leistung und Wirkungsgrad</b> .....	40

---

4.1 Entwicklung eines Programms mithilfe von LabVIEW zur Ausgabe von Daten der beiden Messwellen an einem Getriebepfprüfstand.....	40
4.2 Ansätze für die Optimierung .....	48
4.3 Entwicklung eines Programms mithilfe von catman Easy zur Ausgabe von Messdaten	52
<b>5 Entwicklungsteil 2: Entwicklung eines Tools zum Vergleich der Zeitabhängigkeit der Messwerte .....</b>	<b>58</b>
5.1 Vergleich der Messwerte bei unterschiedlichen Messfrequenzen (1 Hz und 1000 Hz)	58
5.2 Vergleich der Messwerte ohne Verzögerungseffekte (bei 1 Hz und 1000 Hz) .....	60
<b>6 Entwicklungsteil 3: Entwicklung einer Bedienanleitung zu den verwendeten Softwares .....</b>	<b>63</b>
6.1 Technische Daten der Softwaretools: .....	63
6.2 Beschreibung der Softwaretools .....	64
6.3 Installation.....	65
6.3.1 Installation der Software catman Easy:.....	65
6.3.2 Installation der Software LabVIEW: .....	65
6.4 Bedienungsanleitung der Softwares .....	66
6.4.1 Bedienungsanleitung der Software catman Easy.....	66
6.4.2 Bedienungsanleitung der Software LabVIEW .....	76
6.5 Störung bzw. Fehlerbehebung .....	80
6.6 Deinstallation von catman Easy und LabVIEW:.....	81
<b>7 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>82</b>
7.1 Zusammenfassung.....	82
7.2 Ausblick .....	83
<b>8 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>84</b>
<b>Eigenständigkeitserklärung .....</b>	<b>87</b>

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: DARSTELLUNG DES GETRIEBEPRÜFSTANDS IM IKP-LABOR .....	6
ABBILDUNG 2: DARSTELLUNG EINES PROGRAMMS UND DER WICHTIGSTEN KOMPONENTEN IM FRONTPANEL .....	8
ABBILDUNG 3: DARSTELLUNG EINES PROGRAMMS IM BLOCKDIAGRAMM.....	9
ABBILDUNG 4: WERKZEUGPALETTE .....	10
ABBILDUNG 5: KONTEXTMENÜ EINES BEDIENELEMENTS .....	12
ABBILDUNG 6: DARSTELLUNG DER MATLAB-OBERFLÄCHE MIT DEN WICHTIGSTEN KOMPONENTEN .....	13
ABBILDUNG 7: STARTBILDSCHIRM VON SIMULINK.....	15
ABBILDUNG 8: DARSTELLUNG DES ARITHMETISCHEN, DES GEOMETRISCHEN UND DES HARMONISCHEN MITTELWERTS IN EINEM SIMULINK-MODELL.....	16
ABBILDUNG 9: GRAFISCHE DARSTELLUNG DES SCOPES DES ARITHMETISCHEN MITTELWERTS.....	17
ABBILDUNG 10: GRAFISCHE DARSTELLUNG DES SCOPES DES GEOMETRISCHEN MITTELWERTS ...	18
ABBILDUNG 11: GRAFISCHE DARSTELLUNG DES SCOPES DES HARMONISCHEN MITTELWERTS ....	18
ABBILDUNG 12: DATENFLUSSDIAGRAMM DES GETRIEBEPRÜFSTANDS DES IKP-LABORS .....	26
ABBILDUNG 13: BEISPIELPROGRAMM FÜR EINE REGELUNG ZUR OPTIMIERUNG DES MOTORS....	29
ABBILDUNG 14: SKIZZE DES ISTZUSTANDS DES LABVIEW-PROGRAMMS .....	42
ABBILDUNG 15: SKIZZE DES OPTIMierten LABVIEW-PROGRAMMS.....	43
ABBILDUNG 16: DARSTELLUNG DES ZUM DOWNLOAD FREIGEgebenEN FRONTPANELS VON HOTTINGER BRÜEL & KJAER HBK (AUSGANGSPROGRAMM).....	44
ABBILDUNG 17: DARSTELLUNG DES ZUM DOWNLOAD FREIGEgebenEN BLOCKDIAGRAMMS VON HBK (AUSGANGSPROGRAMM).....	45
ABBILDUNG 18: DARSTELLUNG DES INPUTS DES BLOCKDIAGRAMMS.....	45
ABBILDUNG 19: DARSTELLUNG DER BLACKBOX (HAUPTPROGRAMMIERTEIL) DES BLOCKDIAGRAMMS.....	46
ABBILDUNG 20: DARSTELLUNG DES OUTPUTS DES BLOCKDIAGRAMMS .....	46
ABBILDUNG 21: DARSTELLUNG DES ZUM DOWNLOAD FREIGEgebenEN FRONTPANELS VON HBM WÄHREND DES DURCHLAUFS (AUSGANGSPROGRAMM).....	48
ABBILDUNG 22: DARSTELLUNG DES OPTIMierten FRONTPANELS.....	50
ABBILDUNG 23: DARSTELLUNG DES OPTIMierten BLOCKDIAGRAMMS .....	51
ABBILDUNG 24: DER FORMELEDITOR ZUM EINTRAGEN DER GEWÜNSCHTEN BERECHNUNGSFORMEL .....	52
ABBILDUNG 25: SPEICHERMENÜ .....	54
ABBILDUNG 26: DARSTELLUNG DER EXCEL-DATEI MIT DEN HEADER-DATEIEN .....	55

ABBILDUNG 27: DARSTELLUNG DES SPEICHERFORMATS .....	56
ABBILDUNG 28: DARSTELLUNG DER ÄNDERUNGSMÖGLICHKEITEN FÜR DIE EIGENSCHAFTEN DER EINZELNEN KANÄLE .....	56
ABBILDUNG 29: DARSTELLUNG ALLER KANÄLE UND BERECHNUNGSKANÄLE .....	57
ABBILDUNG 30: MESSWERTAUFNahme BEI 1 HZ MESSFREQUENZ.....	59
ABBILDUNG 31: MESSWERTAUFNahme BEI 1000 HZ MESSFREQUENZ.....	60
ABBILDUNG 32: MESSWERTAUFNahme BEI 1 HZ MESSFREQUENZ OHNE VERZÖGERUNGSEFFEKTE .....	61
ABBILDUNG 33: MESSWERTAUFNahme BEI 1000 HZ MESSFREQUENZ OHNE VERZÖGERUNGSEFFEKTE .....	62
ABBILDUNG 34: VERKNÜPFUNG AUF DEM DESKTOP DER SOFTWARE CATMAN EASY .....	66
ABBILDUNG 35: DARSTELLUNG DER MASKE ZUM ÖFFNEN EINES BESTEHENDEN MESSPROJEKTS	66
ABBILDUNG 36: DARSTELLUNG ZUM ÖFFNEN DER GEWÜNSCHTEN DATEI.....	67
ABBILDUNG 37: DARSTELLUNG ZUM START DES PROGRAMMABLAUFS.....	67
ABBILDUNG 38: AUSWAHL FÜR DEN START DES GEWÜNSCHTEN MESSJOBS .....	68
ABBILDUNG 39: DARSTELLUNG ZUM STOPP EINES LAUFENDEN PROGRAMMS .....	68
ABBILDUNG 40: SPEICHERUNG UND HINTERLEGUNG DER AUFGENOMMENEN WERTE .....	69
ABBILDUNG 41: DARSTELLUNG DES DATEIPFADS.....	69
ABBILDUNG 42: DARSTELLUNG DER GESPEICHERTEN ASCII-DATEI.....	70
ABBILDUNG 43: SO SIEHT DIE AM ENDE ENTSTEHENDE EXCEL-DATEI AUS .....	70
ABBILDUNG 44: AUSWAHL DES GEWÜNSCHTEN MESSJOBS ZUM START DER ERSTEN MESSUNG.	71
ABBILDUNG 45: DARSTELLUNG ZUM START EINES PROGRAMMABLAUFS .....	71
ABBILDUNG 46: DARSTELLUNG ZUM STOPP EINES LAUFENDEN PROGRAMMS .....	72
ABBILDUNG 47: DARSTELLUNG ZUR PFADSICHERUNG.....	72
ABBILDUNG 48: AUSWAHL DES GEWÜNSCHTEN MESSJOBS ZUM START DER ZWEITEN MESSUNG .....	73
ABBILDUNG 49: DARSTELLUNG ZUM START EINES PROGRAMMABLAUFS .....	73
ABBILDUNG 50: DARSTELLUNG ZUM STOPP EINES LAUFENDEN PROGRAMMS .....	74
ABBILDUNG 51: DARSTELLUNG ZUR PFADSICHERUNG.....	74
ABBILDUNG 52: DARSTELLUNG DES DATEIPFADS.....	75
ABBILDUNG 53: AUSSEHEN DER ABSCHLIEßENDEN EXCEL-DATEI.....	75
ABBILDUNG 54: DARSTELLUNG ZUM STARTEN DER SOFTWARE LABVIEW AUF DER TASKLEISTE DES DESKTOPS.....	76
ABBILDUNG 55: DIE AUSWAHLMASKE ZUM ÖFFNEN EINES BELIEBIGEN PROGRAMMS .....	76
ABBILDUNG 56: DARSTELLUNG ZUM START DES PROGRAMMS .....	77

---

ABBILDUNG 57: DARSTELLUNG ZUR ANSTEUERUNG DES GEWÜNSCHTEN MEDIUMS .....	77
ABBILDUNG 58: BESTÄTIGUNG DER AUSWAHL DES GEWÜNSCHTEN MEDIUMS MITTELS HAKEN IM KÄSTCHEN DAVOR.....	78
ABBILDUNG 59: AUSWAHL DER SIGNALE, DIE VON DEN MESSWELLEN ABGERUFEN WERDEN SOLLEN .....	79
ABBILDUNG 60: DARSTELLUNG ZUM STOPP EINES LAUFENDEN PROGRAMMS .....	80
ABBILDUNG 61: UNTER DIESEM PFAD SIND ALLE AUFGENOMMENEN VERSUCHE GESPEICHERT UND AUFFINDBAR.....	80

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: BEDEUTUNG UND ANWENDUNG DER KOMPONENTEN DES FRONTPANELS.....	9
TABELLE 2: WERKZEUGPALETTE MIT DEN KOMPONENTEN UND DEREN BEDEUTUNG .....	11
TABELLE 3: KOMPONENTEN IN MATLAB UND DEREN BEDEUTUNG UND ANWENDUNG .....	14
TABELLE 4: VERGLEICHSTABELLE TEIL 1 MIT BEWERTUNG.....	22
TABELLE 5: VERGLEICHSTABELLE TEIL 2 MIT BEWERTUNG.....	23
TABELLE 6: ANFORDERUNGSLISTE ALLER WÜNSCHE HINSICHTLICH DES GETRIEBEPRÜFSTANDS..	32
TABELLE 7: RANGFOLGE-GEWICHTUNG DES GETRIEBEPRÜFSTANDS .....	34
TABELLE 8: WERTIGKEITSVERFAHREN DES GETRIEBEPRÜFSTANDS .....	36
TABELLE 9: DIE SIEBEN WICHTIGSTEN ANFORDERUNGEN AN DEN GETRIEBEPRÜFSTAND.....	37
TABELLE 10: NUTZWERTANALYSE DER SIEBEN WICHTIGSTEN FORDERUNGEN BEZÜGLICH DES GETRIEBEPRÜFSTANDS.....	39
TABELLE 11: DARSTELLUNG DER PROBLEMSTELLUNGEN UND LÖSUNGSANSÄTZE FÜR DAS AUSGANGSPROGRAMM.....	47

## Abkürzungsverzeichnis

ASCII-Datei	'American Standard Code for Information Interchange 'Datei
<i>DGL</i>	<i>Differentialgleichung</i>
FI-Schalter	Fehlerstrom-Schutzschalter
G	Go
Gi	Gewichtungsfaktor
HBK	Hottinger Brüel & Kjaer
HBM	Hottinger Brüel Messtechnik
i	Übersetzung
IKP	Institut für Konstruktion und Produktentwicklung
K <sub>p</sub>	Proportionalbeiwert
K <sub>s</sub>	Endwert der Sprungantwort
<i>LabVIEW</i>	<i>Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench</i>
Lfd.	Laufnummer
LTI	Lust Technology International
<i>Matlab</i>	<i>Matrix Laboratory</i>
NI	National Instruments
Pi	Wert Bewertungsfaktor
PID	Proportional Integral Differential
T	Zeit
T <sub>n</sub>	Zeitkonstante
T <sub>t</sub>	<i>Totzeit</i>

## Formelverzeichnis

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
$P_{an}$	Watt [W]	Leistungsantrieb
$P_{ab}$	Watt [W]	Leistungsabtrieb
$M_{an}$	Newtonmeter [Nm]	Antriebsmoment
$M_{ab}$	Newtonmeter [Nm]	Abtriebsmoment
$n_{an}$	Umdrehung pro Minute $\frac{1}{min}$	Antriebsdrehzahl
$n_{ab}$	Umdrehung pro Minute $\frac{1}{min}$	Abtriebsdrehzahl
$\eta$	Prozent [%]	Wirkungsgrad
$\pi$		Pi
$i$		Übersetzung

# 1 Einleitung

In der folgenden Bachelorthesis wird dargestellt, wie die Daten des Getriebeprüfstands im IKP-Labor an den Rechner bzw. an die verwendeten Softwaretools weitergeleitet werden. Dies wird durch ein Datenflussdiagramm des Getriebeprüfstands dargestellt.

Des Weiteren wird dargestellt, wie die verwendeten Softwaretools vom Istzustand bis hin zum angestrebten Sollzustand optimiert werden, d. h., alle Schritte, inklusive der durchgeführten Optimierungen, werden zusätzlich erläutert. Das Problem des Istzustands liegt darin, dass von dem Getriebeprüfstand nur vier Werte weitergeleitet werden. Diese Werte sind Antriebs- und Abtriebsleistung sowie Antriebs- und Abtriebsdrehzahl des Getriebeprüfstands.

Der Schwerpunkt in dieser Bachelorthesis liegt darauf, aus diesen vorhandenen Werten des Getriebeprüfstands weitere Daten zu berechnen, wie die Leistungen am Antrieb und am Abtrieb sowie den dazugehörigen Wirkungsgrad. Diese ermittelten Werte sollen in eine Tabellenkalkulations-Datei importiert werden. Erfolgen soll dies mittels der Softwares LabVIEW und catman Easy.

Weiterhin soll in dieser Bachelorthesis ein Vergleich der Messwerte dargestellt werden, die mit unterschiedlichen Messfrequenzen (1 Hz und 1000 Hz) ermittelt werden. Zusätzlich wird ein Vergleich bei gleichen Messwertfrequenzen ohne die Verzögerungseffekte vorgenommen.

Im abschließenden Teil dieser Arbeit erfolgt die Erstellung einer Bedienungsanleitung zu den verwendeten Programmen (LabVIEW und catman Easy). Ziel ist es, ein schnelles Verständnis für die Durchführung der beiden Aufgaben in den zwei zuvor erläuterten Absätzen zu ermöglichen.

## 1.1 Aufgabenstellung der Arbeit

Im Rahmen dieser Bachelorthesis soll eine Software entwickelt werden, die es ermöglicht, aus den aufgenommenen Messdaten zweier Messwellen an einem Getriebeprüfstand die An- und Abtriebsleistungen sowie den Wirkungsgrad zu berechnen. Anschließend sollen diese in eine Tabellenkalkulations-Datei, beispielsweise eine Excel-Datei, importiert und ausgegeben werden.

Zudem soll ein Vergleich der Getriebemessdaten bei 1 Hz sowie bei 1000 Hz Messfrequenz vorgenommen und erläutert werden. In einem zweiten Versuch soll erneut ein Vergleich der beiden Messfrequenzen aus Durchlauf 1 vorgenommen werden, dann jedoch ohne Berücksichtigung der Verzögerungswerte.

Des Weiteren soll eine Bedienungsanleitung des entwickelten Programms der Softwares sowohl in catman Easy als auch in LabVIEW dargestellt werden.



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

*Hamburg University of Applied Sciences  
Department Maschinenbau und Produktion*

## Aufgabenstellung

für die Bachelorthesis

von Herrn Karim Omar

Matrikel-Nummer: 

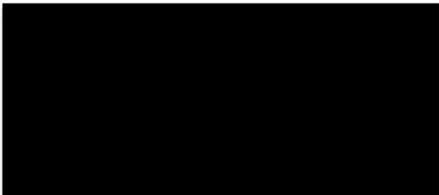
### Thema:

Entwicklung einer Softwarelösung zur Steuerung eines Getriebeprüfstands und zur Auswertung der Messdaten

### Schwerpunkte:

- Einarbeitung in die relevanten Softwaresysteme catmanEasy, LabVIEW und Matlab/Simulink
- Methodische Auswahl eines dieser Softwaresysteme und Erarbeitung eines Datenflussdiagramms für den Getriebeprüfstand
- Entwicklung eines Tools zur Berechnung von Leistung und Wirkungsgrad und zur Ausgabe der Messwerte in eine Tabellenkalkulations-Datei
- Entwicklung eines Tools zum Vergleich der Messwerte bei unterschiedlichen Messfrequenzen (von 1 Hz und 1000 Hz) sowie Klärung und Verringerung von Verzögerungseffekten bei der Messung
- Entwicklung einer Anleitung zur Verwendung der Softwaresysteme catmanEasy und LabVIEW

  
Datum

  
Unterschrift

## 1.2 Vorgehensweise

Im ersten Kapitel werden die Grundlagen erläutert. Hierzu gehören die jeweiligen Informationen zu den Softwares catman Easy, LabVIEW und Matlab/Simulink. Die Softwaretools LabVIEW und Matlab/Simulink werden anhand eines Beispiels vorgestellt und die wichtigsten Bestandteile aller drei Softwares werden beschrieben. Zudem wird in diesem Kapitel der im Labor vorhandene Getriebeprüfstand dargestellt. Weiterhin soll eine Vergleichstabelle der drei Softwares mit einer zusätzlichen Bewertung erstellt werden. Zum Abschluss dieses Kapitels wird ein Datenflussdiagramm dargestellt bzw. der Datenfluss des Getriebeprüfstands ermittelt.

Im zweiten Kapitel soll eine geeignete Softwarelösung entwickelt werden. Diese Lösung wird mit den Kenntnissen, die während des Studiums im Fach ‚Methodische Projektentwicklung‘ erworben wurden, ausgearbeitet. Hierzu wird zuerst eine Anforderungsliste erstellt. Anhand dieser können die weiteren Schritte für eine geeignete Lösungsfindung ermittelt werden. Zudem wird eine sogenannte Nutzwertanalyse erstellt, mit der die sieben grundlegenden Wünsche und Forderungen bewertet werden.

In Kapitel 4, das den ersten Teil der Entwicklungsphase umfasst, wird eine Softwareoberfläche mit catman Easy und LabVIEW programmiert. Hier liegt die Hauptanforderung darin, die Leistungen am Abtrieb und Antrieb sowie den Wirkungsgrad zu berechnen und diese auszugeben. Diese berechneten Daten sollen zudem in eine Tabellenkalkulations-Datei importiert bzw. ausgegeben werden.

Im zweiten Entwicklungsteil, der in Kapitel 5 behandelt wird, soll ein Vergleich der Messwerte bei unterschiedlichen Messfrequenzen dargestellt werden. Die betrachteten Messfrequenzwerte sind 1 Hz und 1000 Hz. Im zweiten Teil dieses Entwicklungsteils soll ein Vergleich der ermittelten Werte stattfinden, wobei die Verzögerungseffekte vernachlässigt werden.

Zum Abschluss der vorliegenden Bachelorthesis werden zwei Bedienungsanleitungen entwickelt: zum einen für die Software catman Easy und zum anderen für LabVIEW. Diese Anleitungen sollen im Rahmen des Konstruktionslabors entwickelt werden.

Die Relevanz der beiden Softwaresysteme für diese Abschlussarbeit ist darin begründet, dass sie für das Labor an der HAW kostenlos zur Verfügung stehen und auf den dortigen Rechnern vorinstalliert sind.

## 2 Einarbeitung in die relevanten Softwaresysteme (Theoretische Grundlagen)

Im nachfolgenden Abschnitt werden drei Programme erläutert, die mögliche Optionen zur Problemlösung darstellen. Das Ziel bei diesen Programmen ist, die Messwertdaten der beiden Messwellen an den Getriebeprüfstand zu übermitteln. Durch die übermittelten Daten können weitere Datengrößen berechnet werden. Die errechneten Werte sind die Antriebs- und die Abtriebsleistung sowie der Wirkungsgrad. Deshalb werden in einem ersten Schritt die Softwaretools erläutert. Anschließend wird eine Vergleichstabelle der drei Programme erstellt, um nachvollziehen zu können, welches Softwaretool das Optimum für den Anwendungsfall bietet. Die Möglichkeit, dass alle drei Programme für diese Aufgabe gleichermaßen gut anwendbar sind, besteht ebenfalls. Zusätzlich wird in dem aktuellen Kapitel der Getriebeprüfstand mit seinen wesentlichen Komponenten erläutert.

### 2.1 Der Getriebeprüfstand

Zuerst wird im folgenden Abschnitt der Begriff des Getriebeprüfstands definiert und welche Komponenten ein solcher mindestens beinhalten muss, um funktionstüchtig zu sein. Des Weiteren wird der Prüfstand, der im IKP-Labor vorhanden ist, mit seinen wesentlichen Komponenten beschrieben und seine Funktionen werden erläutert.

Getriebeprüfstände spielen in der heutigen Zeit eine große Rolle im Bereich der Industrie. **[2] (vgl. Paulweber. M.; Lebert. K.; 2014; Seite 275)** In der Automobilindustrie kommen beispielsweise die Prüfstände für eine Messwert- und Testergebnisermittlung der einzelnen Komponenten zum Einsatz, woraus die Qualität ermittelt werden kann. **[2] (vgl. Paulweber. M.; Lebert. K.; 2014; Seite 62)**

Getriebeprüfstände werden auch Komponentenprüfstände genannt. Der Grund hierfür ist, dass ein Getriebeprüfstand aus mehreren einzelnen Komponenten zusammengesetzt ist. **[2] (vgl. Paulweber. M.; Lebert. K.; 2014; Seite 25)**

Die wesentlichen Komponenten, die an einem Prüfstand vorhanden sein müssen, damit dieser in Betrieb genommen werden kann bzw. funktionstüchtig ist, sind: **[2] (vgl. Paulweber. M.; Lebert. K.; 2014; Seite 25)**

1. der Antriebsstrang (hier vorhanden als Motor mit Servoregler und Software),
2. die entsprechende Messsensorik mit Messverstärker und Software (zur Datenübertragung an den Rechner),
3. das Getriebe ohne digitale Anbindung (dieses ist der Prüfling) und abschließend
4. der Abtriebsstrang (hier vorhanden als eine Magnetpulverbremse mit Messverstärker, Regler und Software).

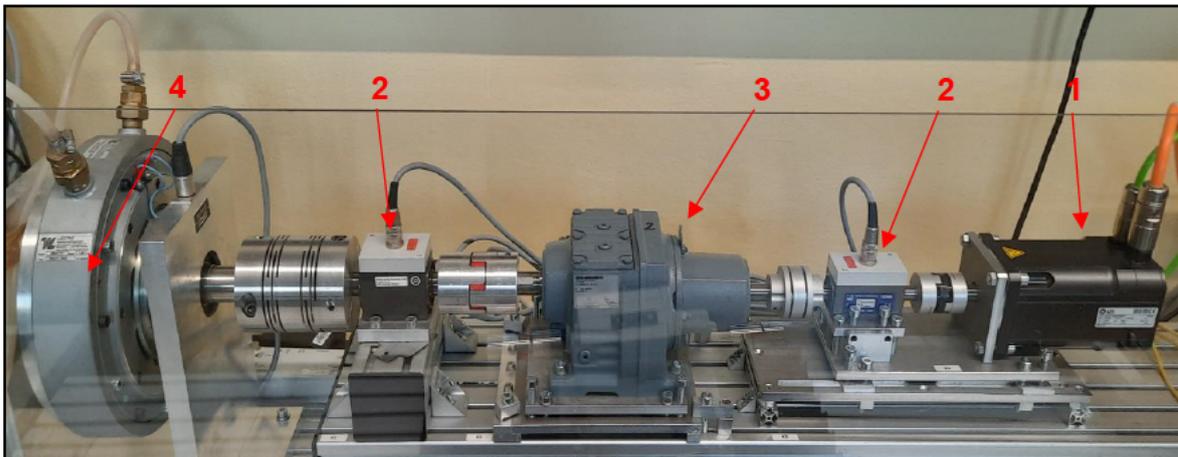


Abbildung 1: Darstellung des Getriebeprüfstands im IKP-Labor

Getriebeprüfstände dienen zur Durchführung von Funktionstests sowie Dauerlauftests von Getrieben. In den meisten Fällen werden für den Antriebsstrang der Prüfstände Verbrennungsmotoren oder auch elektrische Motoren verwendet. **[2] (vgl. Paulweber. M.; Lebert. K.; 2014; Seite 26)**

An dem Getriebeprüfstand im IKP-Labor werden beispielsweise verschiedene Getriebe hinsichtlich ihrer Antriebs- und Abtriebsdrehzahl, ihres Antriebs- und Abtriebsdrehmoments und ihres Wirkungsgrads untersucht. Dieses sind die sogenannten Funktionstests. Dauerlauftests können mit diesem Getriebeprüfstand zurzeit nicht realisiert werden, da die Bremse nicht ausreichend durch das Thermostat gekühlt wird.

Mit dem Getriebeprüfstand ist zusätzlich ein Rechner verbunden. Dieser dient dazu, die Daten, die an die Softwaretools weitergeleitet werden, auszugeben. Der Motor ist an eine bzw. mehrere Komponenten angebunden. Diese sind notwendig, um den Motor anfahren zu können.

Benötigte Komponenten sind folgende:

- Netzteil AC/DC
- Netzentstörfilter
- Netzdrossel
- Netzschalter
- zweites Netzteil
- Servoregler

Ebenfalls erforderlich ist eine Softwareanbindung des Motors. Er kann mit der Software LTI Drive Manager 5 betrieben werden.

## 2.2 Die zentralen Komponenten von LabVIEW

Das erste Softwaretool, das in Erwägung gezogen wird, um den Getriebeprüfstand zu optimieren, ist Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench (LabVIEW).

LabVIEW ist ein Programm mit einer Entwicklungsumgebung, die dabei hilft, mess-, steuer- sowie regelungstechnische Anwendungen zu erstellen. Hier kommt die grafische Programmiersprache Go (G), die technische Prozesse abbildet, zum Einsatz. **[1] (vgl. Reim. K; 2017; Seite 7)**

Der Unterschied zwischen einer grafisch orientierten Programmiersprache und einer textorientierten ist im Wesentlichen, dass bei der grafischen Sprache mit vorprogrammierten Funktionsblöcken gearbeitet wird, hingegen bei der textorientierten Sprache direkt mit dem Quellcode. **[1] (vgl. Reim. K; 2017; Seite 7)**

LabVIEW besitzt die Möglichkeit, Signale physikalischer Natur in ein Programm einzuspielen, diese zu verarbeiten und grafisch darzustellen. Somit kann der Nutzer sein Messgerät auf seine eigene Messaufgabe zuschneiden. **[1] (vgl. Reim. K; 2017; Seite 7)**

LabVIEW besteht aus den folgenden vier zentralen Bestandteilen:

- Frontpanel
- Blockdiagramm
- Werkzeugpalette
- Kontextmenü

Im weiteren Verlauf des Kapitels werden die wesentlichen vier Bestandteile eines LabVIEW-Programms dargestellt und erläutert. Dies soll nicht den kompletten Bedienumfang erläutern. Vielmehr sollen das Frontpanel und das Blockdiagramm mit einem Beispielprogramm beschrieben werden.

Dazu wird eine Tabelle erstellt, die die wesentlichen Funktionen des Frontpanels präsentiert. Auf eine Überblickstabelle für das Blockdiagramm wird verzichtet, da die meisten Funktionen, die im Frontpanel vorhanden sind, auch im Blockdiagramm aufzufinden sind.

## 2.2.1 Frontpanel in LabVIEW

Der erste wesentliche Bestandteil von LabVIEW ist, wie oben beschrieben, das Frontpanel. Es stellt die Bedienoberfläche der Software dar. Hier werden die Daten bzw. Aktionen vom Nutzer vorgegeben und nach Ablauf des Programms werden die Ergebnisse ausgegeben.

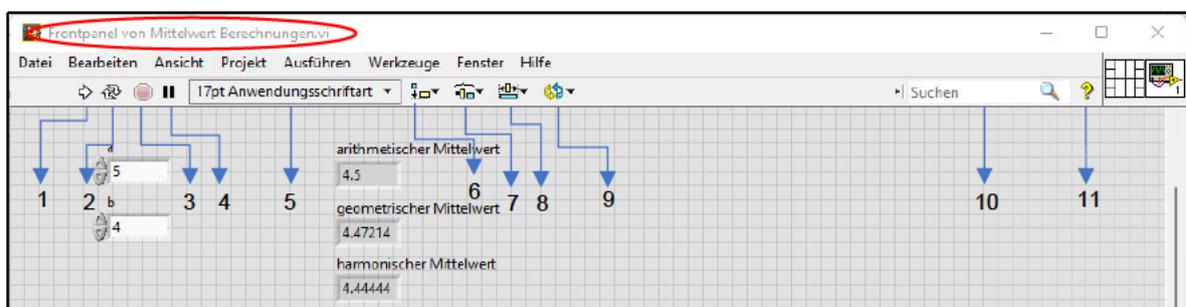


Abbildung 2: Darstellung eines Programms und der wichtigsten Komponenten im Frontpanel

Was dieses Programm leistet bzw. berechnet, wird anschließend im Zusammenhang mit Abbildung 3 erklärt. Hier soll jedoch zunächst nur verdeutlicht werden, dass die weiß hinterlegten Felder a und b in Abbildung 2 (Eingabeelemente) für den Anwender bestimmt sind. Nachdem der Anwender beide Felder mit beliebigen Werten gefüllt hat, wird der Ausführungsbutton in Abbildung 2 mit 1 beschriftet (in Tabelle 1 erklärt), angeklickt und die Ergebnisse für den arithmetischen, geometrischen und harmonischen Mittelwert werden errechnet. Im jeweiligen grau hinterlegten Kästchen (Ausgabeelemente) werden die berechneten Werte ausgegeben.

Die gekennzeichneten Komponenten in Abbildung 2 werden in der folgenden Tabelle genauer beschrieben:

Tabelle 1: Bedeutung und Anwendung der Komponenten des Frontpanels

	Bedeutung	Anwendung
<b>1</b>	Ausführen	Programm wird gestartet
<b>2</b>	kontinuierliches Ausführen	Wenn der Ablauf beendet ist, startet das Programm erneut
<b>3</b>	Ausführung abbrechen	Programm wird beendet
<b>4</b>	Pause	Programm pausiert
<b>5</b>	Texteinstellungen	Schriftart, Schriftgröße und Schriftfarbe ändern
<b>6</b>	Objekte ausrichten	Die Objekte im Programm ausrichten
<b>7</b>	Objekte verteilen	Die Objekte im Programm verteilen
<b>8</b>	Objekte skalieren	Größe der Objekte im Programm ändern
<b>9</b>	Objekte neu anordnen	Die Objekte im Programm neu Umsortieren
<b>10</b>	Suchleiste	Um ein Element oder eine Funktion zu suchen
<b>11</b>	Kontexthilfefenster	Die Bedeutung eines Elementes oder einer Funktion anzeigen lassen

## 2.2.2 Blockdiagramm in LabVIEW

Eine weitere grundlegende Komponente in LabVIEW ist das sogenannte Blockdiagramm. Hier wird der Programmablauf des zu erstellenden Programms entwickelt bzw. programmiert. Neben den Elementen des Blockdiagramms werden die Bedienelemente (a und b) und die Anzeigeelemente (arithmetischer, geometrischer und harmonischer Mittelwert) aus dem Frontpanel angezeigt. Diese werden in Abbildung 3 in Form von Funktionsblöcken dargestellt. Deren Anschlüsse werden als Blockdiagrammanschlüsse bezeichnet.

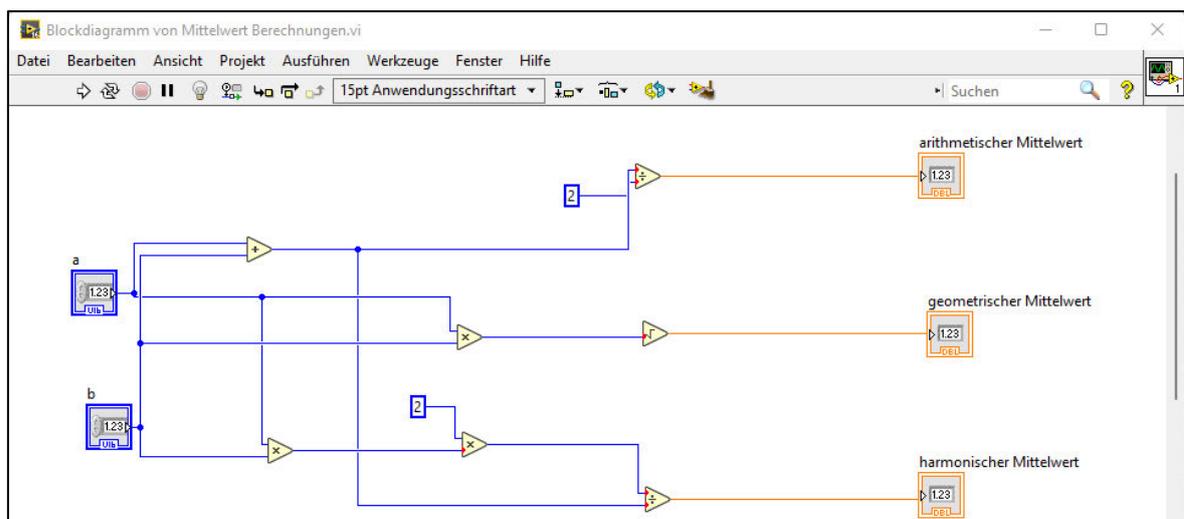


Abbildung 3: Darstellung eines Programms im Blockdiagramm

In der oben dargestellten Abbildung 3 ist ein mathematisches Programm abgebildet. In diesem Programm werden arithmetischer, geometrischer und harmonischer Mittelwert durch zwei variable Konstanten, hier als a und b definiert, berechnet.

Zur Verdeutlichung werden unten die Formeln für den arithmetischen, geometrischen und harmonischen Mittelwert aufgelistet und durch das Beispiel in Abbildung 2 berechnet.

$$\text{arithmetischer Mittelwert} = \frac{a+b}{2} = \frac{5+4}{2} = 4,5 \quad (2.1)$$

$$\text{geometrischer Mittelwert} = \sqrt{a * b} = \sqrt{5 * 4} = 4,47214 \quad (2.2)$$

$$\text{harmonischer Mittelwert} = \frac{a*b*2}{a+b} = \frac{5*4*2}{5+4} = 4,44444 \quad (2.3)$$

### 2.2.3 Werkzeugpalette in LabVIEW

Eine weitere wesentliche Komponente in LabVIEW ist die Werkzeugpalette. Wird mit dem Mauszeiger über ein bestimmtes Element im Blockdiagramm oder im Frontpanel gefahren, ändert sich das Aussehen des Mauszeigers in die jeweilige Form, die das Element zulässt.



Abbildung 4: Werkzeugpalette

Die Komponenten aus Abbildung 4 werden in der nachfolgenden Tabelle 2 mit ihrer zusätzlichen Bedeutung aufgelistet.

Tabelle 2: Werkzeugpalette mit den Komponenten und deren Bedeutung

	Bedeutung
	Farbe Festlegen
	Objekttextmenü
	Fenster verschieben
	Haltepunkt setzen/löschen
	Sondenwerte
	Wert einstellen
	Farbpipette
	Positon/Größe/Auswahl
	Text bearbeiten
	Anschlüsse verbinden
	Automatische Werkzeugwahl

## 2.2.4 Kontextmenü in LabVIEW

Die letzte wesentliche Komponente in LabVIEW bildet das Kontextmenü. Es wird durch einen rechten Mausklick auf ein bestimmtes Objekt (hier ein Eingabeelement) im Frontpanel oder im Blockdiagramm geöffnet. Es ist essenziell zu wissen, dass jedes einzelne Objekt ein eigenes Kontextmenü aufweist.

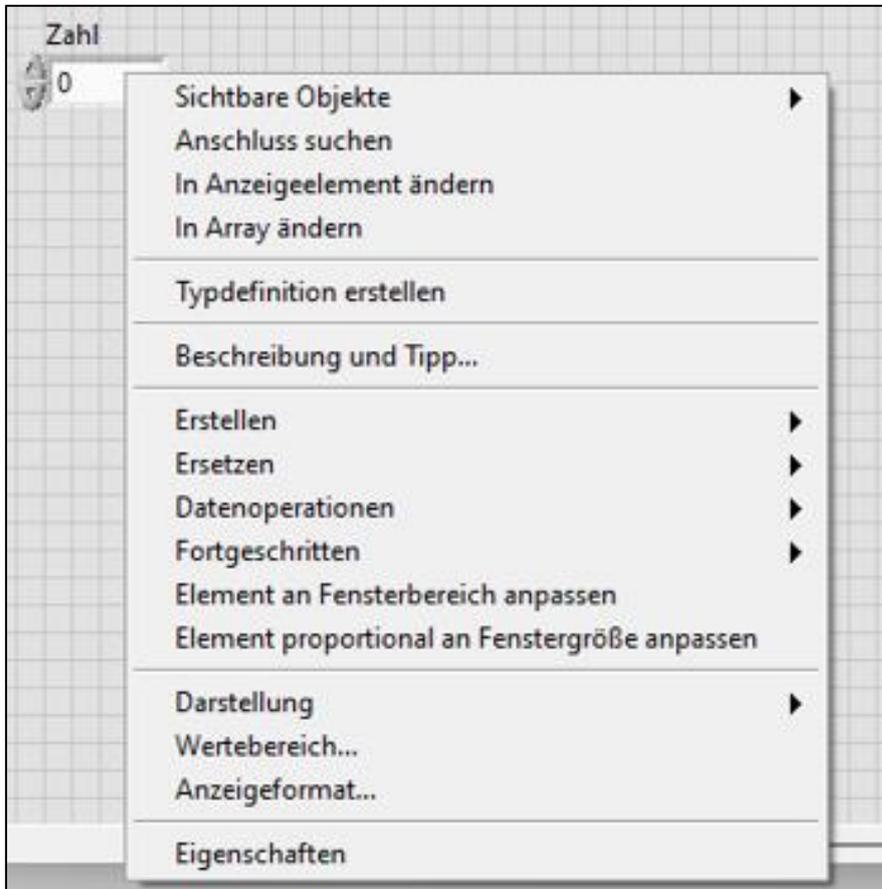


Abbildung 5: Kontextmenü eines Bedienelements

## 2.3 Benötigtes Hintergrundwissen zu Matlab/Simulink

Matlab ist die Abkürzung für Matrix Laboratory und ist ein Softwaretool für numerische Berechnungs- und Simulationswerkzeuge, das ursprünglich mit der Programmiersprache FORTRAN geschrieben wurde. Diese Software bietet einen großen Vorteil durch die Toolbox Simulink, die unter dem Punkt 2.3.2 Simulink genauer erläutert wird. **[6] (vgl. Beucher. O; 2013; Seite 3)**

### 2.3.1 Matlab

Das Hauptthema der Arbeit sind die Darstellung und die Auswertung von realen Messwerten sowie die Steuerung des An- und Abtriebs mit demselben Softwaretool. Deshalb soll Matlab an dieser Stelle nur kurz thematisiert werden, da es sich um ein Berechnungssystem handelt und nicht um ein Simulationsprogramm. Matlab beinhaltet jedoch ein Simulationsprogramm, das Simulink heißt. Dieses wird im Weiteren beschrieben. Die Software Matlab wird in diesen Abschnitt kurz berücksichtigt, da sie hier nicht zum Einsatz kommt. Diese Software ist aber Voraussetzung, um die integrierte Software Simulink starten zu können.

Bezogen auf diese Abschlussarbeit heißt das, Matlab wird erwähnt, da das Tool Simulink nur auf der Oberfläche von Matlab geöffnet werden kann. Des Weiteren sind die Programme miteinander verknüpft. Die Integration beider Programme in ein Softwaretool ist von Vorteil, da somit für beispielsweise ein Projekt zum einen Berechnungen vorgenommen werden können und zum anderen die entsprechenden Simulationen. Dies ist eine Fähigkeit, die viele andere Softwaretools an der HAW nicht aufweisen.

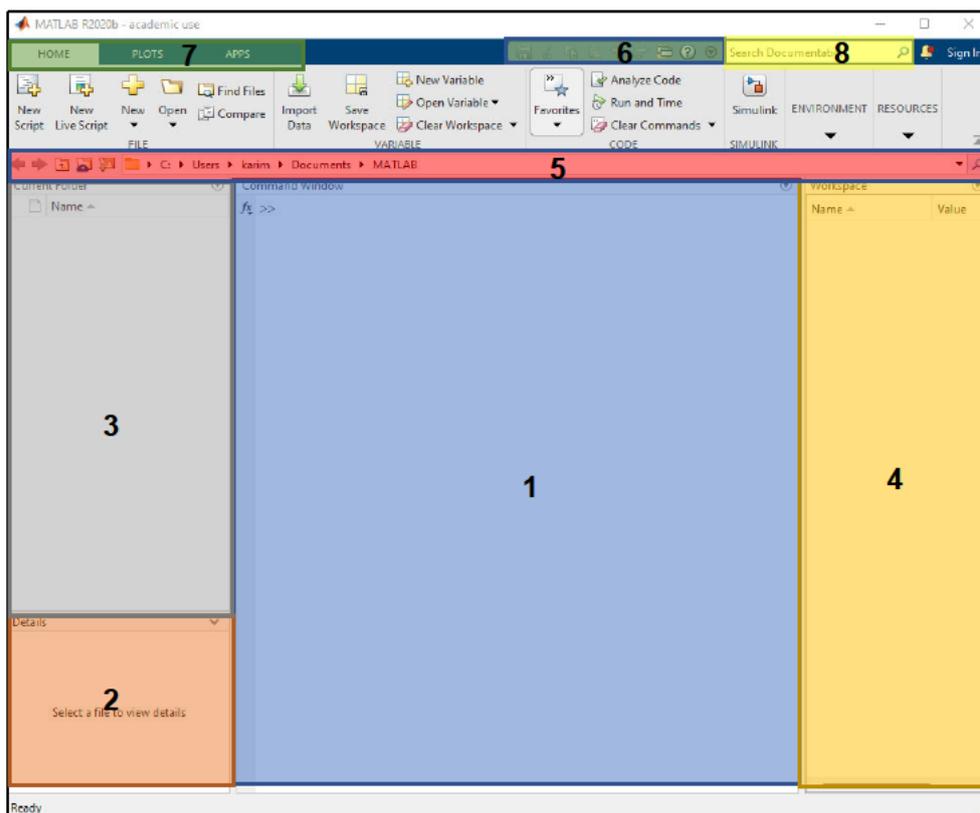


Abbildung 6: Darstellung der Matlab-Oberfläche mit den wichtigsten Komponenten

Tabelle 3: Komponenten in Matlab und deren Bedeutung und Anwendung

	<b>Bedeutung</b>	<b>Anwendung</b>
<b>1</b>	Kommandofenster	Matlab wartet auf die Eingabe des Nutzers
<b>2</b>	Kommando-Protokollfenster	abgesezte Kommandos sind hier aufgelistet
<b>3</b>	Fenster des aktuellen Verzeichnisses	zeigt das aktuelle Verzeichnis an
<b>4</b>	Arbeitsspeicher-Fenster	Überblick über den Inhalt des Workspaces
<b>5</b>	Werkzeugleiste des aktuellen Verzeichnis	zeigt das aktuelle Verzeichnis an
<b>6</b>	Wergzeugleiste für schnellen Zugriff	sofortiger Zugriff auf die wichtigsten Tools in Matlab (benutzerdefiniert)
<b>7</b>	Toolstrip	Hier werden die drei Reiter Home, Plots und Apps dargestellt zum Arbeiten mit Matlab
<b>8</b>	Suchfeld	Suche im Protokoll

## 2.3.2 Simulink

Bei Simulink handelt es sich um ein Simulationsprogramm, das als Werkzeug für eine grafische Programmumgebung dient. Auf der grafischen Oberfläche kann ein Blockschaltbild konstruiert werden. Gestartet und durchgeführt wird Simulink ausschließlich über Matlab. In den häufigsten Fällen werden lineare und nicht lineare zeitabhängige, physikalische oder technische Vorgänge auf Basis von Differenzialgleichungen (DGL) beschrieben. [6] (vgl. **Beucher. O; 2013; Seite 187**)

Simulink kann aufgerufen werden, indem mit der Maus in Matlab der Reiter ‚Home‘ angesteuert und dort die Schaltfläche ‚Simulink‘ angeklickt wird. Nachdem auf die Schaltfläche ‚Simulink‘ geklickt wurde, öffnet sich ein Fenster, das in Abbildung 7 zu sehen ist. Hier stehen einige Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung. Angeklickt wird die erste Auswahlmöglichkeit (‚Blank Model‘ – in Abbildung 7 dargestellt, schwarz umrandet). Mit dieser Abbildung 7 soll dargestellt werden, wie die Software Simulink geöffnet wird. Der Inhalt der Abbildung als solches ist an dieser Stelle nicht relevant.

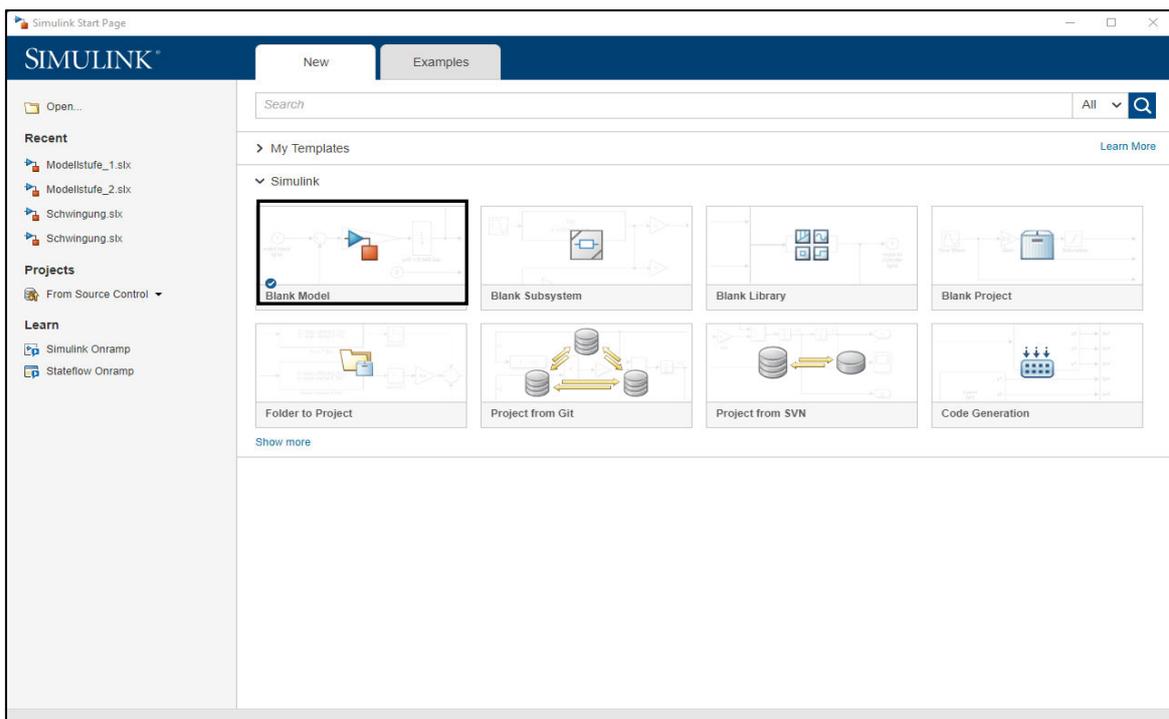


Abbildung 7: Startbildschirm von Simulink

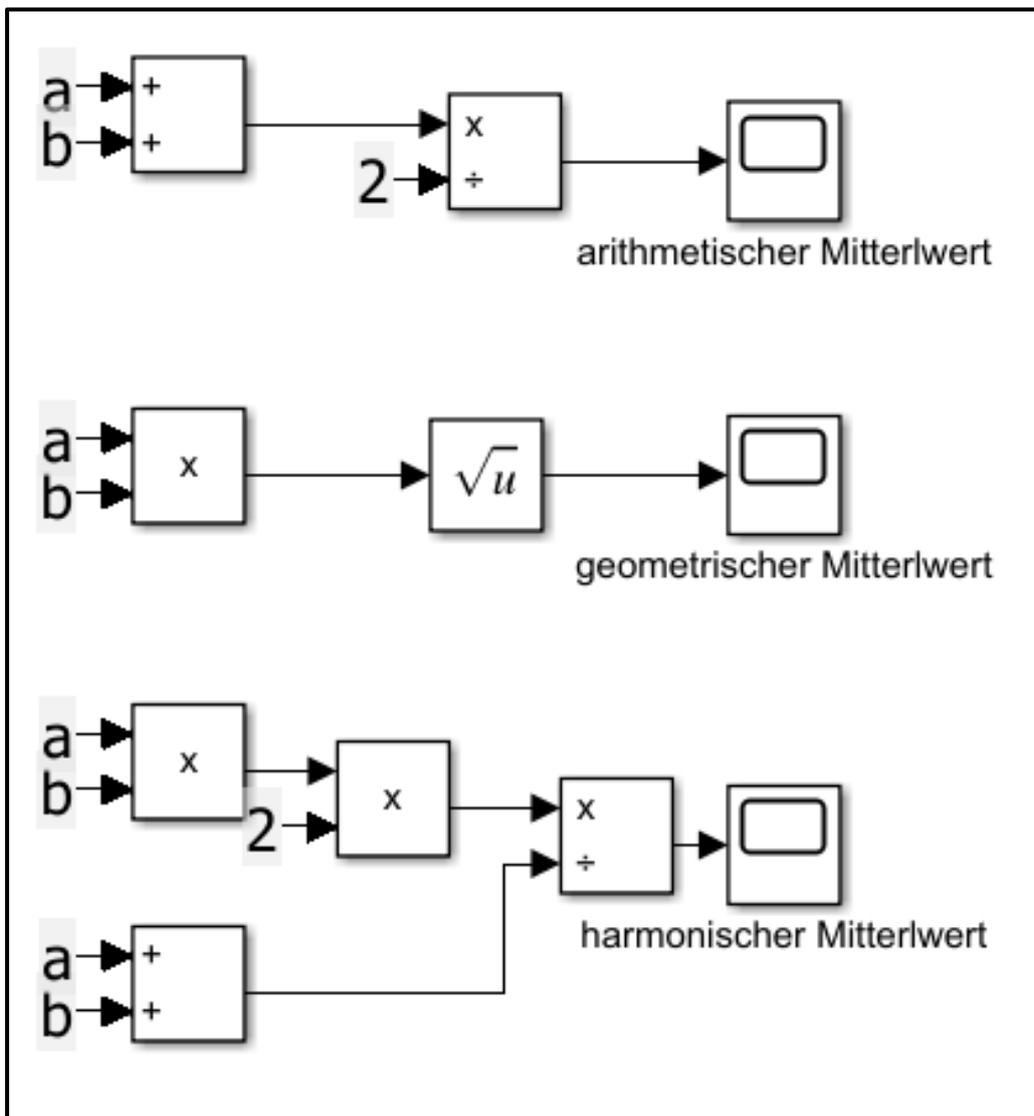


Abbildung 8: Darstellung des arithmetischen, des geometrischen und des harmonischen Mittelwerts in einem Simulink-Modell

In den Abbildungen 9,10 und 11 wird in Simulink zum erleichterten Verständnis das gleiche Beispiel wie unter LabVIEW verwendet, d. h., der arithmetische, der harmonische und der geometrische Mittelwert werden dargestellt. Fenster wie in Abbildung 9 ff. stellen den Scope dar. Nachdem dieser geöffnet wurde, werden die Simulationsergebnisse durch die gelben Halbkreise dargestellt.

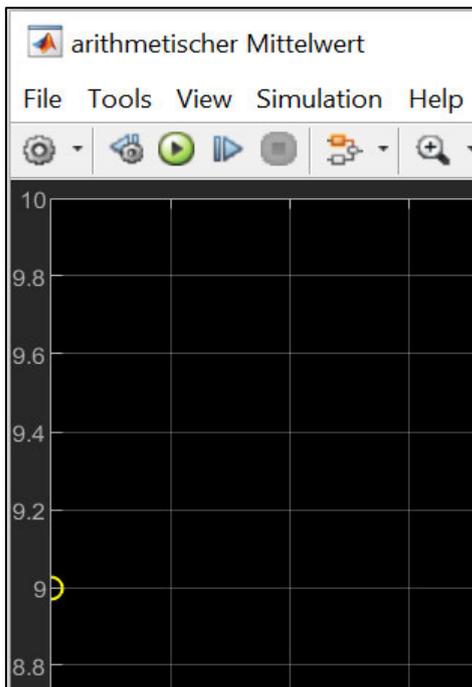


Abbildung 9: Grafische Darstellung des Scopes des arithmetischen Mittelwerts

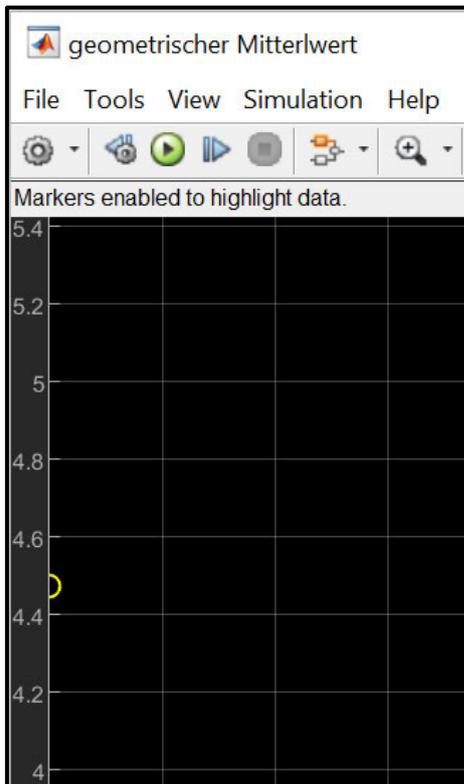


Abbildung 10: Grafische Darstellung des Scopes des geometrischen Mittelwerts



Abbildung 11: Grafische Darstellung des Scopes des harmonischen Mittelwerts

## 2.4 Grundlagen zu catman Easy

catman Easy ist eine Datenerfassungssoftware, mit der auf einfachen Wegen Messdaten aufgenommen, visualisiert sowie ausgewertet werden können. Diese Software wurde von der Firma Hottinger Baldwin Messtechnik entwickelt. Die Applikation kann in den verschiedensten Bereichen angewendet werden, beispielsweise bei Bauteilprüfungen im Labor, Tests am Prüfstand sowie Überwachungsaufgaben. **[7] (vgl. HBM, 2022; Zugriff: 07.11.2022)**

Ein großer Vorteil dieser Software ist, dass keine Programmierkenntnisse vorhanden sein müssen, um ein funktionstüchtiges Programm zu entwickeln. In dieser Software kann produktiv mit der sogenannten Drag-and-Drop-Funktion gearbeitet werden. **[21] (vgl. Messweb; 11.11.2020; Zugriff: 02.02.2023)**

In catman EasyAP ist ein Zusatzmodul mit dem Namen EasyMath integriert. Dieses Modul beinhaltet eine große Anzahl von mathematischen Funktionen wie Filter- und Analysetools für die Betriebsfestigkeitsuntersuchung. Zusätzlich können Berechnungen der elektrischen Leistung bis hin zur Schallpegelmessung durchgeführt werden. **[21] (vgl. Messweb; 11.11.2020; Zugriff: 02.02.2023)**

Die Catman EasyAP-Version, die auf dem Rechner des IKP-Labors der HAW installiert ist, bietet als zusätzliche Funktion die Möglichkeit, bis zu vier Kameras anzuschließen. Diese ermöglichen es, die aufgenommenen Messdaten einfacher anhand eines Videos zu vergleichen. **[21] (vgl. Messweb; 11.11.2020; Zugriff: 02.02.2023)**

Darüber hinaus können Langzeitmessungen sowie die dazugehörigen Überwachungen durchgeführt werden. Zusätzlich kann die Software mit vielen HBK-Sensoren kombiniert werden. Dies wäre optional mit den Datenerfassungssystemen QuantumX und SomatXR realisierbar. **[21] (vgl. Messweb; 11.11.2020; Zugriff: 02.02.2023)**

Im vorliegenden Fall wird der QuantumX-Messverstärker angeschlossen. Hier werden keine weiteren Einstellungen benötigt. Das Prinzip ‚vom Sensor zum Ergebnis, einfach einstecken und loslegen‘ kommt an dieser Stelle zum Einsatz. **[21] (vgl. Messweb; 11.11.2020; Zugriff: 02.02.2023)**

Die Messtechniksoftware, die über Standardschnittstellen mit dem Rechner verbunden ist, muss folgende Funktionen aufweisen: **[5] (vgl. Giesecke, P; 1999; Seite 318)**

- *„Die Software muß [sic!] die Komplexität der im Funktionsumfang gewachsenen Meßsysteme [sic!] beherrschbar machen.“* **[5] (vgl. Giesecke, P; 1999; S.318 – 319)**
- *„Die interaktive Bedienung sollte möglichst intuitiv sein.“* **[5] (vgl. Giesecke, P; 1999; S.318 – 319)**
- *„Die graphische Benutzeroberfläche muß [sic!] leicht erlernbar sein und eine große Effizienz in der Bedienung ermöglichen.“* **[5] (ebd.)**
- *„Die Software ist Werkzeug für den Entwickler automatisierter Applikationen.“* **[5] (ebd.)**
  - *„Durchführung von Testmessungen“* **[5] (ebd.)**
  - *„Entwurf und Realisierung der graphischen Benutzerschnittstelle für den Endanwender“* **[5] (ebd.)**
  - *„Programmierung des Meßablaufs [sic!]“* **[5] (ebd.)**
  - *„Festlegung der Visualisierung nach entsprechenden Vorgaben“* **[5] (ebd.)**
  - *„Entwurf der Protokollierung“* **[5] (ebd.)**
  - *„Einbindung in übergeordnete Automatisierungsebenen“* **[5] (ebd.)**
- *„Die erstellte Anwendung ist mit den folgenden Eigenschaften die Schnittstelle zwischen Meßkette [sic!] und Bedienpersonal.“* **[5] (ebd.)**
  - *„Der Bedienerqualifikation angepaßte [sic!] Bedienphilosophie“* **[5] (ebd.)**
  - *„Übersichtliche Online-Visualisierung“* **[5] (ebd.)**
  - *„Komfortable Reportgenerierung“* **[5] (vgl. Giesecke, P; 1999; S.318 – 319)**

## 2.5 Vergleichstabelle zu den möglichen Softwarelösungen

In den nachfolgenden Tabellen 4 und 5 werden die drei Softwaretools aufgelistet, die in dieser Bachelorthesis in Betracht kommen. Es werden die zentralen Kriterien miteinander verglichen. Diese Tabellen könnten mehr Kriterien enthalten. Da dies aber den Umfang der Arbeit übersteigen würde, sind nur die wesentlichen aufgeführt.

Des Weiteren werden die Softwaretools in den beiden Tabellen bewertet. Diese Bewertung erfolgt mit dem Zahlensystem 0 bis 4, wobei die 0 für ‚unbefriedigend‘ und die 4 für ‚sehr gut‘ steht. Dieses Bewertungssystem wurde mit der VDI 2225 durchgeführt. Hier wird für jedes Softwaretool mit dem entsprechenden Kriterium eine Note erfasst und am Ende der Tabelle wird aus allen einzelnen Noten des jeweiligen Kriteriums eine Gesamtsumme ermittelt. Je höher die Summe ist, desto optimaler ist das jeweilige Softwaretool für die Aufgabenstellung der Thesis. Das heißt, die Software, die die höchste Gesamtsumme darstellt, bietet das Optimum.

Da dieses Bewertungssystem nach eigenem Ermessen umgesetzt wurde, heißt es nicht, dass die am schlechtesten bewertete Software die geforderten Anforderungen nicht erfüllen kann. Hier spielt die subjektive Betrachtung eine große Rolle. Daher sollten Bewertungstabellen iterativ von mehreren Personen durchgespielt werden, um schlussendlich alle Interessengruppen befriedigen zu können.

Bei dem Vergleich in Tabelle 4 und 5 kann entnommen werden, dass catman Easy mit 44 Punkten am besten abgeschnitten hat. Matlab/Simulink hat mit 35 Punkten die zweit höchste Gewichtung und LabVIEW ist mit 33 Punkten die Software, die am schlechtesten abgeschnitten hat. Die Ergebnisse der Softwarelösungen Matlab/Simulink und LabVIEW unterscheiden sich hier nur um 2 Punkte, dieses kann in diesem Fall als gleichwertig betrachtet werden. Dieses würde in diesem Fall bedeuten das catman Easy als beste Softwarelösung abschneidet. LabVIEW und Matlab/Simulink stellen die zweit besten Softwarelösungen dar.

Tabelle 4: Vergleichstabelle Teil 1 mit Bewertung

		Programme			Bewertungen mit dem Zahlensystem 0 unbefriedigend bis 4 sehr gut nach VDI 2225		
		LabVIEW	catmanEasy	Matlab/Simulink	LabVIEW	catmanEasy	Matlab/ Simulink
Anschaffungskosten	Preis	1820€/Jahr a)	ab 775€ b)	unbefristete Lizenz 2100€ Jahreslizenz 840€ c)	1	3	2
	Daten Export	Im Kontextmenü unter dem Punkt Export und dann vereinfachtes exportieren d)	Excel, DIAdem, nSoft, E.D.A.S. Win, Flexpro, Caesar, RPC3 und ASCII-Datei e)	Excel, Text, Bilder, Audio Dateien und Videos in jedem Dateiformat möglich f)	1	3	4
Empfangen und Versenden von Daten	Daten Import	aufwendiger, aufgrund zusätzlicher zu programmierenden SubVI's mit der Spreadsheet Funktion g)	ASCII-Datei und Excel-Tabelle h)	Excel, Text, Bilder, Audio Dateien und Videos in jedem Dateiformat möglich i)	2	3	4
	Mathematische Modelle	Konstanten, Vergleichselemente, Verknüpfungselemente, Funktionen einer Variablen, Express-VI, Formelknoten, Zeitfunktion, Statistiken, Komplexe Zahlen, Integral und Differential, Matrizen und etc. j)	Algebra und Formeln, DMS Spannungsanalyse, Mathematikbibliotheken, Elektrische Leistung, etc.	hier existiert jede Art von Funktion voraussetzung dafür ist die Funktion so in Matlab einzugeben das Matlab es versteht	3	3	4
Bedienerfreundlichkeit	Drag and Drop Programmierung	nur in der Programmierumgebung möglich, bei Mathmatischen Funktionen muss des häufigeren auch die Tastatur verwendet werden	möglich in vielen Bereichen (z.B. mathematische Funktionen aufstellen, Grafiken einfügen) k)	In Matlab nicht möglich und in Simulink kann dies nur mit den Funktionsbausteinen gemacht werden	3	4	1
Aufnahme der Messdaten	Messfrequenz	Niederfrequente Messaufnahme sowie Hochfrequente Messwertaufnahme möglich l)	hier sind drei Arten von Messrateaufnahmen vorhanden Langsam, Standard und Schnell	können manuell in Matlab programmiert werden m)	2	4	1
	Zeitdarstellung	Echtzeit-Visualisierung aufwendig einzustellen leichter mit der vorgegebenen Zeit Einstellung und durch Programmierung der Zeitdifferenz	Echtzeit-Visualisierung möglich n)	Echtzeit-Visualisierung möglich o)	1	4	4
	Messdaten darstellen	Darstellung der Drehmomente, Drehzahlen, Antriebs Leistung, Abtriebs Leistung und Wirkungsgrad	Darstellung der Drehmomente, Drehzahlen, Abtriebs Leistung, Antriebs Leistung und Wirkungsgrad	Darstellung der Drehmomente, Drehzahlen, Abtriebs Leistung, Antriebs Leistung und Wirkungsgrad	4	4	4

Tabelle 5: Vergleichstabelle Teil 2 mit Bewertung

Grafische Darstellung	mehrere Y-Achsen	Möglich durch das Kontextmenü	möglich durch das Eigenschaften Fenster des Diagramms p)	kann durch Programmieren in Matlab erzeugt werden "yyaxis left" "yyaxis right" q)	4	4	1
	3D-Diagramme	In der LabVIEW Bibliothek integriert	integriert in der Bibliothek von catman r)	kann durch Programmieren in Matlab erzeugt werden surf(x,y,z) s)	4	4	1
Virtuelle Daten erzeugen	Referenz für Messdaten	kann durch Anschlussfeldmuster eines VI erzeugt werden t)	kann durch die Differenzbildung zwischen dem Ursprungs kanal und dem Ergebniskanal dargestellt werden, wenn es zu Störungen kommen sollte	Ermittlung von Referenzergebnissen mit einem Solver mit variabler Schrittweite möglich u)	3	4	1
	Grenzwert für Messdaten	kann kontinuierliche oder segmentierte Masken im Zeit- oder Frequenzbereich erzeugen v)	möglich, bei Digitalzeiger Überschreitung w)	kann für Testlücken, fehlenden Anforderungen oder unbeabsichtigten Funktionalitäten verwendet werden x)	3	4	4
Geräte steuern	Motor	aufwendig zu programmieren	kann nicht gesteuert werden	möglich mit einer Algorithmus Programmierung y)	1	0	2
	Bremse	aufwendig zu programmieren	kann nicht gesteuert werden	möglich mit einer Algorithmus Programmierung y)	1	0	2
<b>Summe</b>					<b>33</b>	<b>44</b>	<b>35</b>

Der nachfolgende Abschnitt stellt die Quellenangaben der Vergleichstabelle dar:

<sup>a</sup>([23]; O. Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022); <sup>b,e,h,k</sup>([9]; O. Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022);  
<sup>c</sup>( [11]O. Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022); <sup>d</sup>([24]; O. Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022);  
<sup>f,i</sup>([19]; O. Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022); <sup>g</sup>([25]; O. Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022);  
<sup>j</sup>([20]; O. Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022); <sup>l</sup>([25]; O. Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022);  
<sup>m</sup>([18]; O. Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022); <sup>n,w</sup>([8]; O. Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022);  
<sup>o</sup>([17]; O. Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022); <sup>p,r</sup>([5]; Giesecke. P.; 1999; S. 325); <sup>q</sup>([17]; O.  
Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022); <sup>s</sup>([15]; O. Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022); <sup>t</sup>([27]; O.  
Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022); <sup>u</sup>([14]; O. Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022); <sup>v</sup>([22]; O.  
Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022); <sup>x</sup>([12]; O. Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022); <sup>y</sup>([13]; O.  
Verf.; 2022; Zugriff: 05.11.2022)

## 2.6 Datenflussdiagramm des Getriebeprüfstands

In Abbildung 12 auf der folgenden Seite wird das Datenflussdiagramm des Getriebeprüfstands mit allen angebotenen Komponenten dargestellt. Es wird angezeigt, welche Schnittstellen an welchen Komponenten angeschlossen werden.

Benötigt werden drei verschiedene Schnittstellen in der gesamten Anlage für einen reibungslosen Funktionsablauf. Diese sind serielle sowie Ethernet- und USB-Schnittstellen.

In Abbildung 12 ist der Ausgangspunkt des Datenflussdiagramms am Motor zu finden. Dieser leitet die Daten an die Motorregelung, die wiederum mit dem Ethernet-Switch verbunden ist, der die Daten an den Rechner weiterleitet.

Der Ethernet-Switch dient zur Kommunikation zwischen den einzelnen Geräten bzw. Komponenten, wenn mehr als zwei vorhanden sind. Er wird nicht unbedingt benötigt, wenn am Rechner genügend Ethernet-Schnittstellen zur Verfügung stehen. Da an dem Rechner im IKP-Labor keine weiteren Ethernet-Schnittstellen vorhanden sind, muss ein Switch einbezogen werden.

Die andere Seite des Motors ist mit der Welle des Getriebeprüfstands verbunden, die eine Messwelle beinhaltet. Diese leitet die aufgenommenen Messdaten weiter an den Messverstärker, der wiederum mit dem Ethernet-Switch verbunden ist und die Daten an den Rechner leitet. Diese Daten sind die Messdaten des Antriebsstrangs.

Die Daten des Abtriebsstrangs werden durch die zweite Messwelle aufgenommen. Diese werden ebenso durch den Messverstärker an den Rechner weitergeleitet.

Die Erläuterungen in den beiden vorherigen Absätzen sind in Abbildung 12 bildlich mit roten Pfeilen dargestellt. Sie weisen darauf hin, dass es sich in diesem System um den Leistungsdatenfluss des Getriebeprüfstands handelt. Die schwarzen Pfeile deuten die Datenflüsse zwischen den jeweiligen Baugruppen an.

Des Weiteren sind in Abbildung 12 gestrichelte Linien dargestellt. Diese zeigen an, dass hier Leitungen zwar vorhanden sind, aber keine Daten fließen, da es noch keine Softwarelösung in diesen Bereichen gibt.

Mit dem zweiten Messverstärker, der mit der Bremse des Getriebeprüfstands verbunden ist, wird das Drehmoment manuell eingestellt. Hier ist die Zielvorstellung, dass durch ein Softwaretool die Daten ebenfalls an den Rechner geleitet werden und dort in einer Tabellenkalkulations-Datei ausgegeben werden. Zurzeit existiert eine Verbindung zwischen Messverstärker und Rechner. Da die Software nicht funktioniert, kann aber momentan

keine genaue Aussage getroffen werden, was in dieser Verbindung übertragen wird. Dieser Punkt wird im letzten Kapitel „Ausblick“ genauer erläutert.

Grund dafür, dass hier ein Datenflussdiagramm erstellt wird, ist, dass in noch keiner zuvor ausgearbeiteten Abschlussarbeit ein Übersichtsplan des Getriebeprüfstands erstellt worden ist. Durch diesen Plan kann eingesehen werden, welche Schnittstellen wo vorhanden sind. Des Weiteren wird hier dargestellt, welche Daten wohin ab- und zufließen. Zusätzlich kann auf dieser Grundlage weitergearbeitet werden, für den Fall, dass an dem Getriebeprüfstand Optimierungen vorgenommen werden für künftige Bachelorprojekte und Bachelor- oder Masterarbeiten.

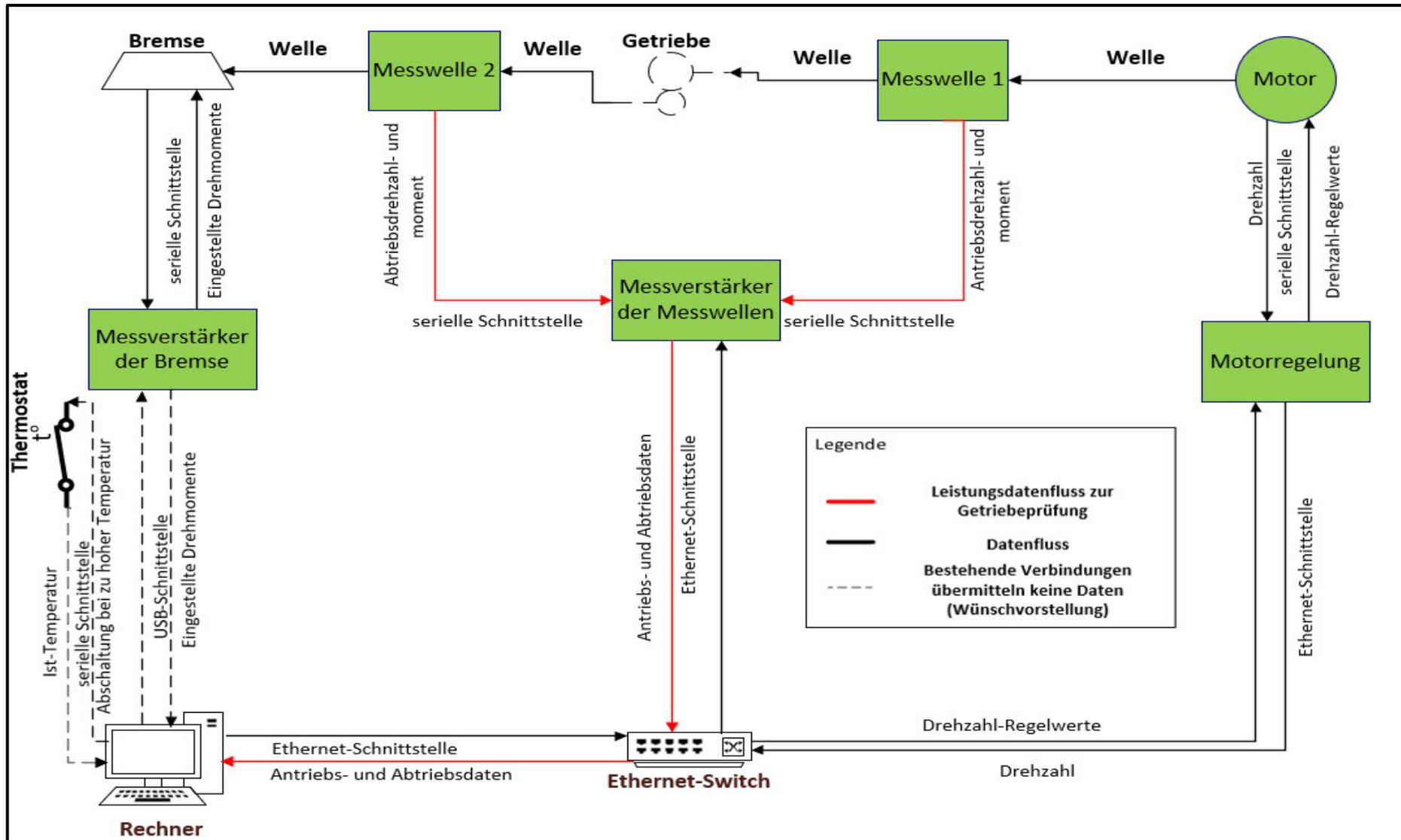


Abbildung 12: Datenflussdiagramm des Getriebeprüfstands des IKP-Labors

## 2.7 Optimierung der Regelung eines Motors

Ein Optimierungsvorschlag für die Regelung des Motors wird im folgenden Abschnitt erläutert und an dieser Stelle vorgegriffen, da in dem Fazit keine Beispiele einfließen sollten.

Eine Optimierung für eine Regelung des Motors kann wie folgt in Abbildung 13 aussehen. Um eine Regelung in dem Softwaretool zu programmieren, ist es essenziell, das PID-Toolkit für LabVIEW zu installieren. Dieses Toolkit erleichtert das Programmieren einer Regelung mithilfe der Software LabVIEW. Das Programm könnte auch ohne dieses Tool erstellt werden. Der Nachteil wäre jedoch, dass es aufwendiger ist, diese Regelung zu erstellen.

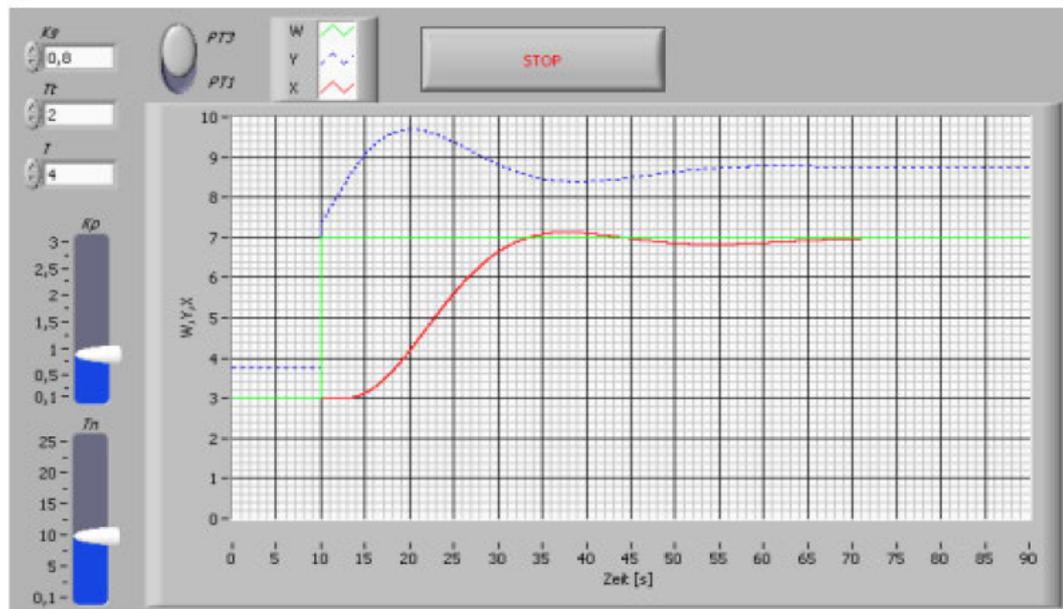
Für eine Optimierung des Motors kann das vorliegende Handbuch „**ServoOne und ServoOne Junior Geräte Hilfe Servoregler 2 A bis 450 A**“ von LTI MOTION in digitaler Form genutzt werden. Der Optimierungsfall ist unter Punkt 7 zur „**Regelung**“ zu finden. Dort sind mehrere Regelkreise des Motors abgebildet. Durch die dort hinterlegten Regelkreise kann in LabVIEW ein Ablaufprogramm für den Motor entwickelt werden mithilfe der auf dem Rechner installierten PID-Bibliothek.

Das nachfolgende Beispiel soll zwei verschiedene Regelstrecken analysieren. Zum einem soll eine Reihenschaltung mit einer Totzeit und einem  $PT_1$ -Glied untersucht und zum anderen sollen zum ersten Fall zwei weitere Verzögerungsglieder in Reihe hinzugefügt werden. Aus dieser Kombination von Fall 1 und Fall 2 entsteht eine Totzeit und ein  $PT_3$ -Glied. Auf der Oberfläche von LabVIEW ist ein Schalter integriert, durch den es ermöglicht wird, zwischen  $PT_1$ - und  $PT_3$ -Glied zu wechseln. **[29] (vgl. Kröber, Prof. Dr.; 2023 ; Folie 2 )**

In dem grauen Bild in der folgenden Abbildung 13 ist das Frontpanel des oben aufgeführten Textes hinterlegt. Die rote Kurve stellt die  $PT_1$ -Strecke, die blaue die  $PT_3$ -Strecke und die gelbe Kurve die Regeldifferenz dar. Das  $K_p$  stellt hier den Proportionalbeiwert dar. Das  $T_n$  deutet hier auf eine Zeitkonstante hin. Der Proportionalbeiwert und die Zeitkonstante lassen sich im Frontpanel manuell einstellen, durch die vertikalen Zeigerschlitten. Dazu kommen das  $K_s$ , das den Endwert der Sprungantwort definiert, das  $T_t$ , das definiert ist als Totzeit, und das T stellt die Zeit dar. Diese Werte werden manuell in das Programm eingegeben. Die Variablen sind auf der linken Seite des dargestellten Frontpanels aufgelistet.

Im Blockdiagramm sind die oben aufgelisteten fünf Variablen als Eingabeelemente an die For-Schleife angebunden und gelb dargestellt. Die gelbe Farbe weist darauf hin, dass diese Variablen als ‚double‘ definiert wurden. Sie sind im Blockdiagramm genauso wie im Frontpanel auf der linken Seite angeordnet, was auf ein Eingabeelement hindeutet. Auf der linken Seite ist ebenfalls der Schalter angeordnet, der dazu dienen soll, zwischen  $PT_1$ -Glied und  $PT_3$ -Glied zu wechseln. Auf der rechten Seite ist der Stoppschalter dargestellt, der dazu dient, das laufende Programm zu beenden. Das Ausgabeelement ist an der rechten Seite der For-Schleife angebunden, in der Form eines Diagramms im Frontpanel dargestellt.

## Oberfläche des Simulationsprogrammes:



## Simulationsprogramm:

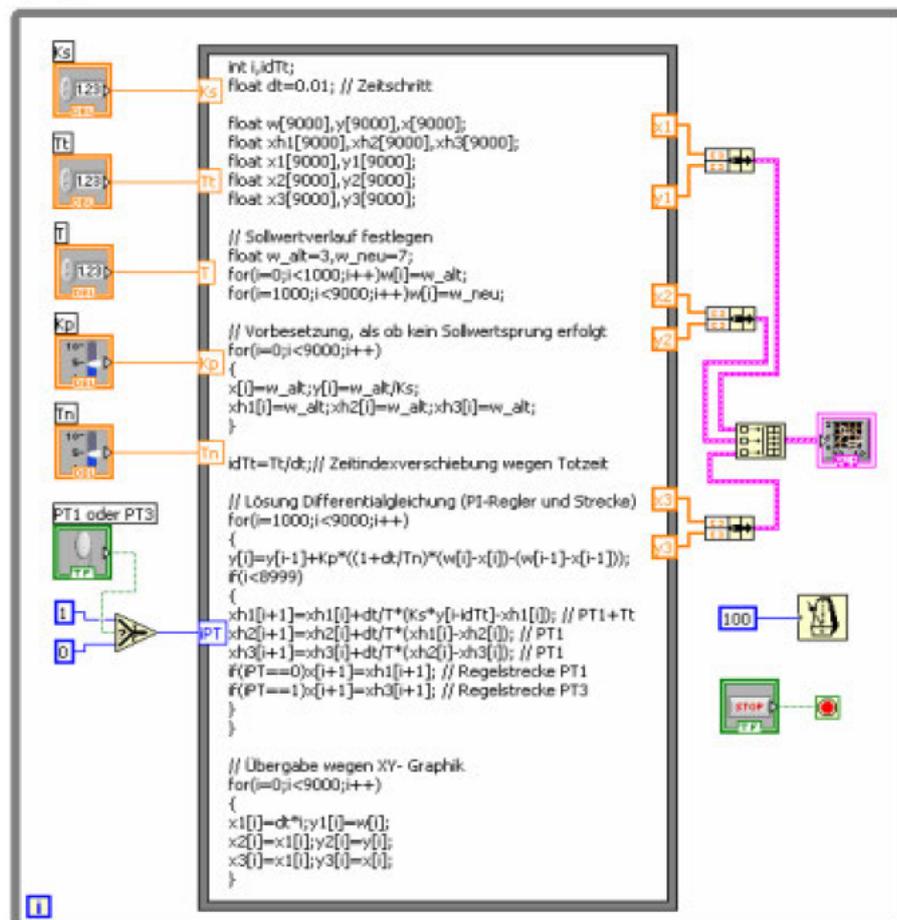


Abbildung 13: Beispielprogramm für eine Regelung zur Optimierung des Motors  
 Quelle 1: Laborskript [29] (Kröber, Prof. Dr.; 2023 ; Folie 3)

### **3 Auswahl eines geeigneten methodischen Lösungsverfahrens**

In diesem Kapitel wird mithilfe eines methodischen Entwicklungsverfahrens ein geeignetes Softwaretool für den Getriebeprüfstand ermittelt. Hierfür müssen zunächst die Anforderungen für das Softwaretool in einer Anforderungsliste präzise definiert werden. Dies bedeutet, dass alle möglichen Funktionalitäten, die von der Software zu erwarten sind, genau spezifiziert werden müssen.

In einem weiteren Schritt wird die Rangfolge-Gewichtung durchgeführt. Sie dient zur Ermittlung des Gewichtungsfaktors ( $G_i$ ), der für den weiteren Verlauf, das sogenannte Wertigkeitsverfahren, benötigt wird. Hier wird ein Prozentsatz ermittelt, der für jede Lösungsvariante aufgelistet ist.

Die Lösungsvariante mit dem höchsten Prozentsatz stellt nach diesem Verfahren die am besten geeignete dar. Zudem wird in diesem Kapitel eine Nutzwertanalyse durchgeführt, in der die bedeutendsten sieben Bewertungskriterien dargelegt werden. Sie sind in Forderungen und Wünsche aufgeteilt, die alle als ‚sehr wichtig‘ eingestuft wurden. Eine solche Nutzwertanalyse erfolgt im Anschluss in diesem Kapitel.

In Fällen, in denen es aufgrund einer identisch eingestuften Bedeutsamkeit nicht möglich ist, eine Rangliste zu erstellen, muss auf die Nutzwertanalyse ausgewichen werden, um eine konkrete Aussage für eine geeignete Lösung treffen zu können.

#### **3.1 Die Anforderungsliste**

Die Anforderungsliste wird aus zwei wesentlichen Aspekten zusammengesetzt. Diese sind zum einen die Forderungen und zum anderen die Wünsche hinsichtlich des zu optimierenden Prozesses bzw. Produktes.

Mit der Anforderungsliste soll in der vorliegenden Arbeit ein Überblick zu den Forderungen und Wünschen erstellt werden, die für den Getriebeprüfstand und dessen Softwareanbindungen von großer Bedeutung sind. Das Ziel bei der Erstellung der Anforderungsliste ist, die Forderungen von Wünschen zu unterscheiden und des Weiteren die Wünsche nach ihrer Bedeutsamkeit einzustufen.

Die Wichtigkeitskategorien für die Wünsche sind folgende:

- W4 – sehr wichtig,
- W3 – wichtig,
- W2 – interessant und
- W1 – wenn möglich.

Die allgemeine Vorgehensweise beim Anfertigen einer Anforderungsliste ist, zuerst die einzelnen Unterpunkte des zu entwickelnden oder optimierenden Produkts aufzulisten. In der Anforderungsliste, die in der unteren Tabelle 6 dargestellt ist, sind dies die Softwarespezifikationen, der Getriebeprüfstand und die Anforderungen, die sowohl für die Software als auch für die Hardware gelten. **[4] (vgl. Hoder. H. Prof. Dr.; 2017; Folie 144)**

In einer Anforderungsliste dürfen nicht zu viele Forderungen definiert werden, da so eine konstruktive Einschränkung der Möglichkeiten wahrscheinlicher ist. Dieses bedeutet, es dürfen nur die wesentlichen Forderungen definiert werden. **[4] (vgl. Hoder. H. Prof. Dr.; 2017; Folie 146)**

In der folgenden Tabelle 6 sind die wichtigsten Punkte in Fettschrift dargestellt. Diese hervorgehobenen Punkte werden in einer späteren Anforderungsliste einzeln dargestellt, um anhand dieser wichtigsten Forderungen und Wünsche eine geeignete Softwarelösung zu finden.

Tabelle 6: Anforderungsliste aller Wünsche hinsichtlich des Getriebeprüfstands

Quelle 2: Tabellen Format von Prof. Dr. H. Hoder, Eigene Erstellung der Inhalte, Karim Omar

	W4 = sehr wichtig W3 = Wichtig W2 = interessant W1 = wenn möglich F = Forderung	<b>Anforderungsliste für den Getriebeprüfstand und der Softwares</b>
Lfd.Nr.	F / W	Anforderungen
		<b>Allgemein (trifft auf beide zu)</b>
1	F	<i>Es müssen serielle Schnittstellen vorhanden sein</i>
2	F	<i>Es müssen Ethernet Schnittstellen vorhanden sein</i>
3	F	<i>Es müssen USB Schnittstellen vorhanden sein</i>
		<b>Des Getriebeprüfstand</b>
4	F	<i>Muss während des Semesters betriebsbereit sein für die Praktika</i>
5	W1	<i>Sollte lange Inbetriebnahme ermöglichen für längere Versuche (über acht Stunden, über Nacht und/oder über das Wochenende)</i>
6	W1	<i>sowie geräuscharm sein</i>
7	F	<i>Möglichst geringe Ausrichtungsfehler</i>
8	W3	<i>Muss kurze/leichte Instandhaltungszeiten/arbeiten haben (Praktika)</i>
9	W4	<b>Muss ausreichend gekühlt werden bei längeren Versuchen</b>
10	W2	<i>Ein System, das es ermöglicht einen Schaden Frühzeitig zu erkennen</i>
11	W3	<i>Kühlmittel für den Thermostat</i>
12	F	<i>Das Drehmoment darf maximal auf 100 Nm ausgelegt werden</i>
13	F	<i>Drehzahl darf nicht höher als die vorgeschriebene Drehzahl am Getriebe sein</i>
14	W4	<b>Soll durch LabVIEW bedient werden</b>
15	W4	<b>Soll durch Catman easy bedient werden</b>
		<b>Der Softwares</b>
16	W4	<b>Messwerte sollen einfach zu exportieren sein z.B. in eine Excel Datei</b>
17	F	<b>Aus den beiden Messwellen jeweils zwei Messwerte anzeigen lassen (Drehmoment und Drehzahl)</b>
18	W4	<i>zwei weitere Messwerte für die Messkanäle zum Thermostat</i>
19	W2	<i>Messung der Temperatur am Getriebe und der Kupplungen</i>
20	F	<b>Digitale Drehzahlregelung</b>
21	W4	<b>Berechnung der Leistungen und des Wirkungsgrads</b>
22	W2	<i>Geringer Bedienungsaufwand der Software</i>
23	W2	<i>Mathematische Berechnungen wie Steigung, Gefälle und/oder Winkel</i>

### 3.2 Die Gewichtung der Rangfolge

In diesem Abschnitt wird die Rangfolge-Gewichtung durchgeführt. Sie spielt eine große Rolle für ein zu optimierendes Produkt, in diesem Fall den Getriebepfprüfstand. Aus einer solchen Gewichtung lassen sich Prioritäten ableiten für das weitere Vorgehen. Sollten sich jedoch alle Wünsche als gleichrangig erweisen, lässt sich aus diesem Ergebnis keine hilfreiche Aussage ableiten. In diesem Fall erweist sich eine Gewichtung als nutzlos. Die Forderungen wiederum werden in der Rangfolge-Gewichtung nicht berücksichtigt, da diese auf jeden Fall erfüllt werden müssen.

Wenn die beiden Kriterien „**soll durch LabVIEW bedient werden**“ und „**soll durch catman Easy bedient werden**“ bezüglich ihrer Bedeutung miteinander verglichen werden, kann keine eindeutige Aussage getroffen werden, da beide die gleiche Priorität haben. In diesem Fall werden sie somit als gleichwertig eingestuft. Dieses wird durch eine „0“ gekennzeichnet, wie in Tabelle 7 dargestellt (rot markiert).

Diese rot markierten Kriterien werden in der Nutzwertanalyse am Ende des Kapitels bearbeitet, da bei gleichwertigen Wünschen eine Gewichtung, wie bereits beschrieben, nicht zielführend ist. Ein entsprechendes Ergebnis lässt sich an dieser Stelle nicht in die Wertung einbeziehen.

Diese Vergleiche werden für alle aufgelisteten Kriterien durchgeführt und am Ende werden aus jeder Zeile alle „+“ miteinander addiert und die Summe daraus wird gebildet. Sie wird benötigt, um später den Gewichtungsfaktor jedes einzelnen Wunsches zu errechnen.

Tabelle 7: Rangfolge-Gewichtung des Getriebeprüfstands

Quelle 3: Tabellenformat von Prof. Dr. H. Hoder, Eigene Erstellung der Inhalte, Karim Omar

Rangfolge - Gewichtung															Summe "+"	Gewichtungsfa ktor gi = "+"/Su. "+		
		Gewichtungsmatrix für den Getriebeprüfstand																
		Bewertungskriterien																
Lfd	W	Bewertungskriterien	5	6	8	9	10	11	14	15	16	18	19	21	22	23		
5	W1	Sollte lange Inbetriebnahme ermöglichen für längere Versuche (über acht Stunden, über Nacht und/oder über das Wochenende)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
6	W1	sowie geräuscharm sein	+		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.013157895
8	W3	Muss kurze/leichte Instandhaltungszeiten/arbeiten (Praktika)	+	+		-	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	7	0.092105263
9	W4	Muss ausreichend gekühlt werden bei längeren Versuchen	+	+	+		+	+	0	0	0	0	+	0	+	+	8	0.105263158
10	W2	Ein System, das es ermöglicht einen Schaden Frühzeitig zu erkennen	+	+	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.026315789
11	W3	Kühlmittel für den Thermostat	+	+	-	-	+		-	-	-	-	+	-	+	+	6	0.078947368
14	W4	Soll durch LabVIEW bedient werden	+	+	+	0	+	+		0	0	0	+	0	+	+	8	0.105263158
15	W4	Soll durch Catman easy bedient werden	+	+	+	0	+	+	0		0	0	+	0	+	+	8	0.105263158
16	W4	Messwerte sollen einfach zu exportieren seinz.B. in eine Excel Datei	+	+	+	0	+	+	0	0		0	+	0	+	+	8	0.105263158
18	W4	zwei weitere Messwerte für die Messkanäle zum Thermostat	+	+	+	0	+	+	0	0	0		+	0	+	+	8	0.105263158
19	W2	Messung der Temperatur am Getriebe und der Kupplungen	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-		-	+	+	5	0.065789474
21	W4	Berechnung der Leistungen und des Wirkungsgrads	+	+	+	0	+	+	0	0	0	0	+		+	+	8	0.105263158
22	W2	Geringer Bedienungsaufwand der Software	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-		-	3	0.039473684
23	W2	Mathematische Berechnungen wie Steigung, Gefälle und/oder Winkel	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+		4	0.052631579
<b>Summe</b>																<b>76</b>	<b>1.000</b>	

### 3.3 Das Wertigkeitsverfahren

Das Wertigkeitsverfahren dient dazu, die optimale Lösung für den jeweiligen Anwendungsfall zu ermitteln. Hier muss beachtet werden, dass die Bewertungskriterien in die Tabelle aufgenommen werden, wie zuvor in der Rangfolge-Gewichtung. Zusätzlich muss beachtet werden, welche Bewertungskriterien einzubeziehen sind. Im vorliegenden Fall werden in der Gewichtungstabelle alle Wünsche, die in der Anforderungsliste dargelegt sind, aufgelistet und mit den jeweiligen Laufnummern (Lfd.) aus der Anforderungsliste gekennzeichnet.

Zusätzlich wird ein Gewichtungsfaktor benötigt. Dieser wurde in der Rangfolge-Gewichtung zuvor berechnet. Danach ist bei jeder Lösungsvariante ein Pi-Wert erforderlich. Angewandt worden ist dieser in der Vergleichstabelle in Kapitel 2, nach VDI 2225. Er wird mit dem Gewichtungsfaktor multipliziert, um eine Summe aus diesen Werten zu bilden. Diese drückt die Wertigkeit der Lösungsvariante aus. Die jeweiligen Endergebnisse werden miteinander verglichen, um eine Lösungsvariante als die geeignete ermitteln zu können. Nach dieser Lösungsermittlung sind die Softwares catman Easy und LabVIEW gleichwertig.

In der nachfolgenden Tabelle 8 sind Kriterien mit Null bewertet worden, da diese zeitlich nicht realisierbar waren. Dennoch gehören sie in die Wertigkeitstabelle, da diese alle Wünsche der Anforderungsliste beinhalten muss. Zusätzlich ist dieses ein weiterer Grund, am Ende des Kapitels die Nutzwertanalyse darzustellen, um die unerwünschten Nullwerte im Wertigkeitsverfahren zu eliminieren.

Tabelle 8: Wertigkeitsverfahren des Getriebeprüfstands

Quelle 4: Tabellenformat von Prof. Dr. H. Hoder, Eigene Erstellung der Inhalte, Karim Omar

0=unbefriedigend 1=ausreichend 2=befriedigend 3=gut 4=sehr gut			Wertigkeitsverfahren für den Getriebeprüfstand												
Lfd	F/W	Bewertungskriterien	Gew.	LV 1 LabVIEW		LV 2 Catman Easy		LV 3 Matlab/Simulink		LV 4		LV 5		LV 6	
			gi	Pi	gi*Pi	Pi	gi*Pi	Pi	gi*Pi	Pi	gi*Pi	Pi	gi*Pi	Pi	gi*Pi
5	W1	Sollte lange Inbetriebnahme ermöglichen für längere Versuche (über acht Stunden, über Nacht und/oder über das Wochenende)	0	0	0	0	0	0	0						
6	W1	sowie geräuscharm sein	0.013158	0	0	0	0	0	0						
8	W3	Muss kurze/leichte Instandhaltungszeiten/arbeiten haben (Praktika)	0.092105	4	0.368421	4	0.368421	4	0.368421						
9	W4	Muss ausreichend gekühlt werden bei längeren Versuchen	0.105263	1	0.105263	1	0.105263	1	0.105263						
10	W2	Ein System, das es ermöglicht einen Schaden Frühzeitig zu erkennen	0.026316	0	0	0	0	0	0						
11	W3	Kühlmittel für den Thermostat	0.078947	3	0.236842	3	0.236842	3	0.236842						
14	W4	Soll durch LabVIEW bedient werden	0.105263	4	0.421053	0	0	0	0						
15	W4	Soll durch Catman easy bedient werden	0.105263	0	0	4	0.421053	0	0						
16	W4	Messwerte sollen einfach zu exportieren sein z.B. in eine Excel Datei	0.015263	4	0.061053	4	0.061053	3	0.045789						
18	W4	zwei weitere Messwerte für die Messkanäle zum Thermostat	0.105263	0	0	0	0	0	0						
19	W2	Messung der Temperatur am Getriebe und der Kupplungen	0.065789	0	0	0	0	0	0						
21	W4	Berechnung der Leistung und des Wirkungsgrads	0.105263	4	0.421053	4	0.421053	4	0.421053						
22	W2	Geringer Bedienungsaufwand der Software	0.039474	3	0.118421	3	0.118421	2	0.078947						
23	W2	Mathematische Berechnungen wie Steigung, Gefälle und/oder Winkel	0.052632	0	0	0	0	0	0						
Summe gi*Pi					1.732105		1.732105		1.256316						
Rangfolge					1		1		2						
Wertigkeit Gesamtlösung					0.3464		0.3464		0.2513						

### 3.4 Anforderungsliste der sieben wichtigsten Anforderungen mit Nutzwertanalyse

In der folgenden Tabelle 9 werden aus der ersten Anforderungsliste in Tabelle 6 die sieben wichtigsten Forderungen und Wünsche aufgelistet. Anhand dieser wird durch eine Nutzwertanalyse in Tabelle 10 eine optimale Lösung ermittelt.

Tabelle 9: Die sieben wichtigsten Anforderungen an den Getriebeprüfstand  
Quelle 5: Tabellenformat von Prof. Dr. H. Hoder, Eigene Erstellung der Inhalte, Karim Omar

		<b>Anforderungsliste der 7 wichtigsten Forderungen für den Getriebeprüfstand und der Softwares</b>
	W4 = sehr wichtig	
	W3 = Wichtig	
	W2 = interessant	
	W1 = wenn möglich	
	F = Forderung	
Lfd.Nr.	F / W	Anforderung
1	W4	<i>Muss ausreichend gekühlt werden bei längeren Versuchen</i>
2	W4	<i>Soll durch LabVIEW bedient werden</i>
3	W4	<i>Soll durch Catman easy bedient werden</i>
4	W4	<i>Messwerte sollen einfach zu exportieren sein z.B. in eine Excel Datei</i>
5	F	<i>Aus den beiden Messwellen jeweils zwei Messwerte anzeigen lassen (Drehmoment und Drehzahl)</i>
6	F	<i>Digitale Drehzahlregelung</i>
7	W4	<i>Berechnung der Leistungen und des Wirkungsgrads</i>

## Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse wird verwendet, wenn mit der Rangfolge-Gewichtung keine eindeutige Lösung ermittelt wird. Ist es mit der Rangfolge-Gewichtung nicht möglich, genauere Lösungsvarianten zu bestimmen, ist dies darin begründet, dass die Forderungen bzw. Wünsche eine identische Wertung aufweisen. Dies gilt auch im Fall des Getriebeprüfstands, da alle fünf Wünsche als sehr wichtig eingeordnet wurden. Bei der Rangfolge-Gewichtung kann somit kein Wunsch dem anderen vorgezogen werden. Deshalb muss eine sogenannte Nutzwertanalyse durchgeführt werden, um eine aussagekräftige Lösungsvariante ermitteln zu können.

In der vorgenommenen Nutzwertanalyse werden die Wünsche als Bewertungskriterien bezeichnet, die jeweils einer Gewichtung unterzogen werden. Der Gewichtungsfaktor aller Bewertungskriterien muss am Ende 100 % aufweisen.

Nachdem die einzelnen Gewichtungsfaktoren definiert wurden, werden die verschiedenen Lösungsvarianten aufgelistet. Die Lösungsvarianten erhalten jeweils eine Bewertung (0 für unbefriedigend bis 4 für sehr gut nach VDI 2225). Nachdem die einzelnen Aspekte bzw. Kriterien zu den Lösungsvarianten einer Bewertung unterzogen wurden, werden die jeweiligen Gewichtungsfaktoren mit den Bewertungen der Lösungsvarianten multipliziert. Am Ende werden jeweils alle Punkte der einzelnen Lösungsvarianten summiert und der Nutzwert für jede Lösungsvariante wird errechnet. Die Lösungsvariante mit dem höchsten Nutzwert stellt das Optimum dar.

Punkt 1, „**Muss ausreichend gekühlt werden**“, erhält in der Nutzwertanalyse 10 %, da dieser Aspekt nicht in der Aufgabenstellung erwähnt wurde. Somit ist dieser Punkt weniger relevant als die anderen vier Wünsche. Die beiden Wünsche „**soll durch catman Easy bedient werden**“ und „**soll durch LabVIEW bedient werden**“ wurden mit jeweils 15 % gewichtet, da eine Software ohne Funktion nichts aussagt. Deshalb muss die Software zuerst nutzbar gemacht werden. Dieses wird durch den Wunsch „**Berechnung der Leistungen und des Wirkungsgrads**“ dargestellt. Folglich hat dieses Kriterium mit 35 % die höchste Gewichtung. Des Weiteren sollen diese Werte in einer Tabellenkalkulations-Datei ausgegeben werden. Somit erhält dieses Kriterium die zweithöchste Gewichtung mit 25 %.

Tabelle 10: Nutzwertanalyse der sieben wichtigsten Forderungen bezüglich des Getriebeprüfstands

<b>Nutzwertanalyse der 7 wichtigsten Forderungen des Getriebeprüfstands</b>								
<b>0 = unbefriedigend</b> <b>1 = ausreichend</b> <b>2 = befriedigend</b> <b>3 = gut</b> <b>4 = sehr gut</b>								
Lfd. Nr.	Bewertungskriterien	Gewichtung [%]	Lösung 1 LabVIEW Bewertung Punkte		Lösung 2 Catman Easy Bewertung Punkte		Lösung 3 Matlab/Simulink Bewertung Punkte	
1	Muss ausreichend gekühlt werden bei längeren Versuchen	10	1	10	1	10	1	10
2	Soll durch LabVIEW bedient werden	15	4	60	0	0	0	0
3	Soll durch CatmanEasy bedient werden	15	0	0	4	60	0	0
4	Messwerte sollen einfach zu exportieren sein z.B. in eine Excel-Datei	25	4	100	4	100	3	75
7	Berechnung der Leistungen und des Wirkungsgrads	35	3	105	4	140	4	140
	<b>Nutzwert</b>	100		<b>275</b>		<b>310</b>		<b>225</b>

## 4 Entwicklungsteil 1: Entwicklung eines Tools zur Berechnung von Leistung und Wirkungsgrad

Dieses Kapitel beginnt mit der Darstellung des Istzustands des Programms anhand des Frontpanels, des Blockdiagramms, deren zusätzlichen Skizzen und einer Darstellung des Programmdurchlaufs. Dieser Überblick veranschaulicht, wie das Programm im nicht optimierten Zustand arbeitet. Hieraus können wesentliche Optimierungen abgeleitet werden.

### 4.1 Entwicklung eines Programms mithilfe von LabVIEW zur Ausgabe von Daten der beiden Messwellen an einem Getriebeprüfstand

Die nachfolgenden Abbildungen 16 und 17 zeigen das LabVIEW-Programm, das der Hersteller Hottinger Brüel & Kjaer (HBK) für die Messwellen entworfen und den Kunden zum Download auf der Website bereitgestellt hat. Das Programm ist für 30 Tage kostenfrei nutzbar. Nach Ablauf dieser Frist muss es gekauft werden. Der Preis liegt bei ca. 600 €.

In der folgenden Abbildung 16 ist das Frontpanel dargestellt. Dieses ist hauptsächlich für den Nutzer bzw. Anwender gedacht, zum Bedienen der Geräte und zur Ausgabe der Messwerte.

In Abbildung 16, dem Ausgangsprogramm des Frontpanels, ist ersichtlich, dass im Diagramm die Achsen bzw. die Y-Achse nicht stimmt. Hier wird die Amplitude dargestellt, die in diesem Fall keine Rolle spielt, da hier die Daten vom Getriebeprüfstand benötigt werden. Es handelt sich bei Letzteren um die Drehzahlen und die Drehmomente im Antrieb zwischen dem Motor und dem Getriebe sowie zwischen dem Getriebe und der Bremse im Abtrieb des Prüfstands.

Im unteren Abschnitt der Abbildung 16 ist eine Tabelle dargestellt, die die Werte des Getriebeprüfstands aufzeichnet. Hier sind in der ersten Spalte Datum und Uhrzeit verzeichnet. Diese beiden Informationen sind in diesem Programm ebenso wenig relevant wie die Amplitude. Deshalb muss hier eine Optimierung durchgeführt werden.

In den beiden nachfolgenden Abbildungen 14 und 15 sind zwei Skizzen dargestellt. Diejenige in Abbildung 14 dient als Übersicht zu den einzelnen Komponenten, die im Istzustand des Programms vorhanden sind.

Die Abbildung 15 stellt den optimierten Zustand des Softwaretools dar. Wenn beide Abbildungen miteinander verglichen werden, ist zu erkennen, welche Komponenten des

Istzustands entfallen und welche Optimierungen hinzugekommen bzw. welche Bestandteile geblieben sind.

Im Istzustand wird deutlich, dass ein Diagramm vorhanden ist, in dem sowohl die Drehmomente als auch die Drehzahlen angezeigt werden. Neben dem Diagramm ist die dazugehörige Legende abgebildet. Des Weiteren ist eine Tabelle in dieses System integriert. Die letzte Komponente in diesem System ist die Schaltfläche ‚Exit‘, die dazu dient, das Programm zu beenden.

Im optimierten Zustand ist verdeutlicht, welche Komponenten des Istzustands entfernt worden sind und welche neu hinzugekommen sind. Es sind jetzt zwei Diagramme vorhanden. Das erste Diagramm gibt die Drehmomente am Antrieb und Abtrieb aus. Im zweiten Diagramm werden die entsprechenden Drehzahlen dargestellt. Beide Diagramme verfügen über eine dazugehörige Legende und über dem ersten Diagramm wird die Versuchsdauer ausgegeben. Neu hinzu kommen die Ausgaben der Antriebs- und Abtriebsdrehmomente und ebenso die entsprechenden Drehzahlen in digitaler Form. Des Weiteren werden die Antriebs- sowie Abtriebsleistungen und der Wirkungsgrad berechnet und ausgegeben. Die letzte Komponente im optimierten Zustand wird vom Istzustand übernommen: die ‚Exit‘-Schaltfläche.

Die detaillierte Entwicklung vom Istzustand zum optimierten Zustand wird im weiteren Verlauf dieses Kapitels dokumentiert.

Die Benutzeroberfläche des Frontpanels von LabVIEW im Istzustand

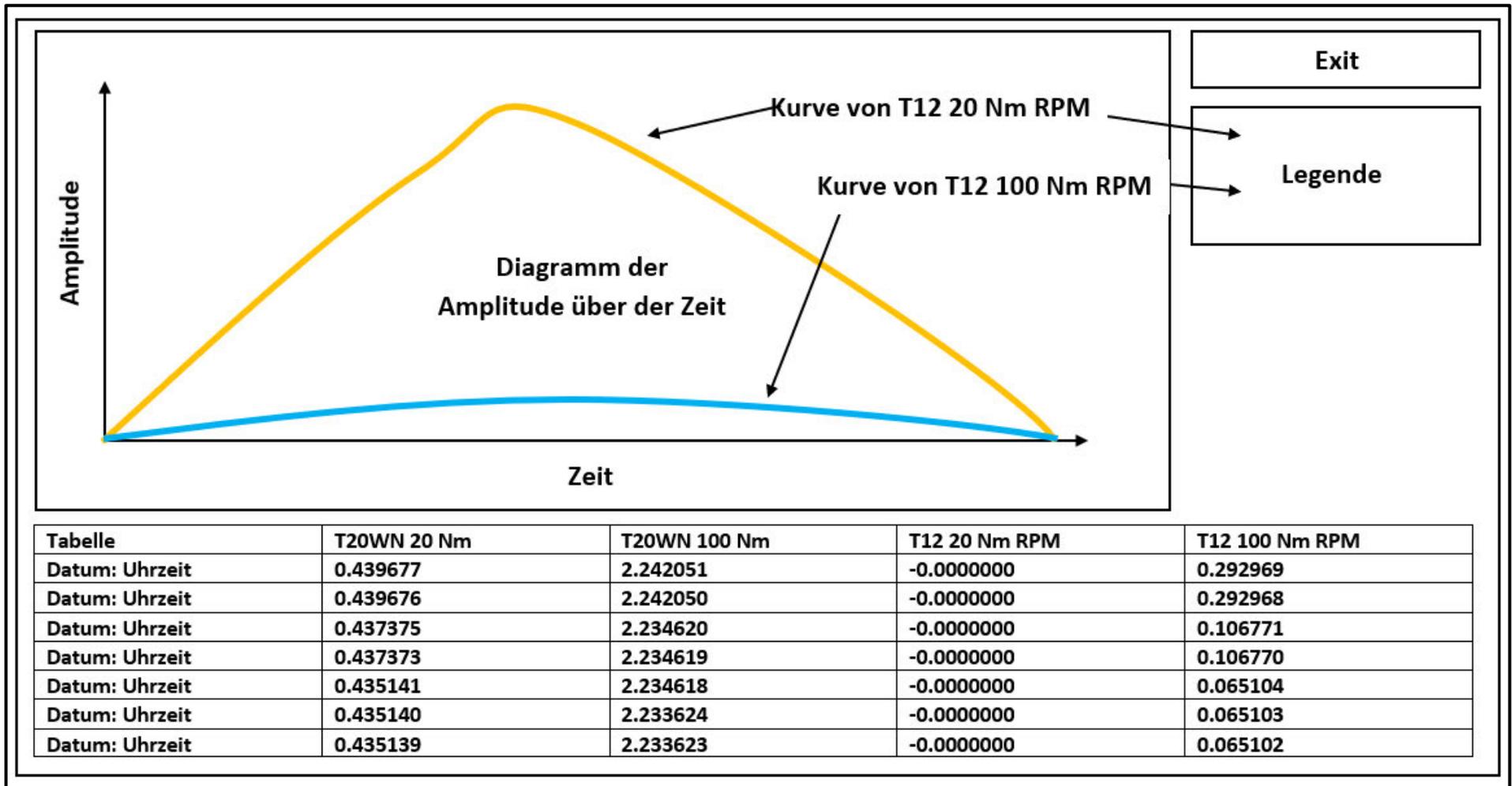


Abbildung 14: Skizze des Istzustands des LabVIEW-Programms

### Die Benutzeroberfläche des Frontpanels von LabVIEW im optimierten Zustand

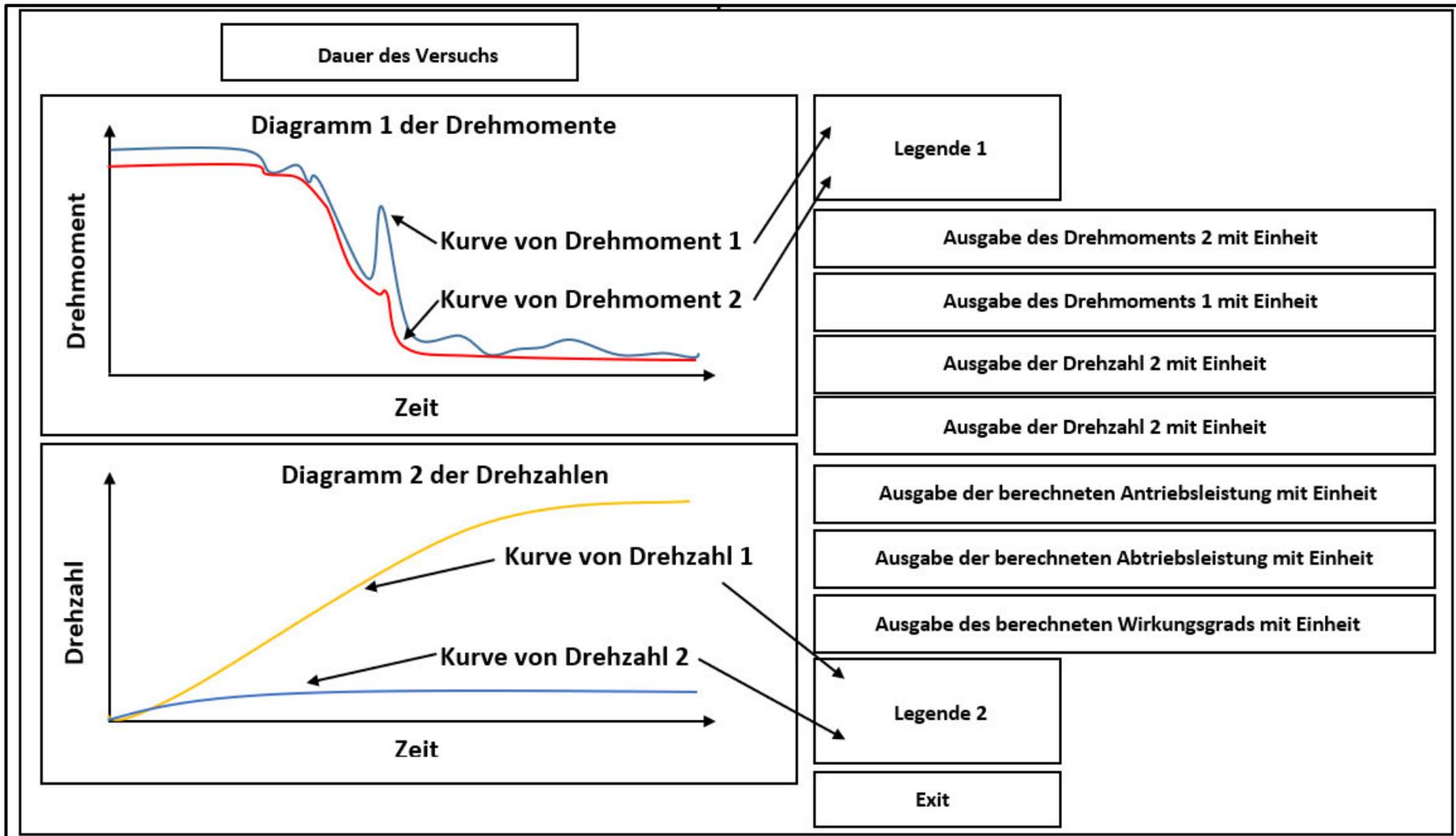


Abbildung 15: Skizze des optimierten LabVIEW-Programms

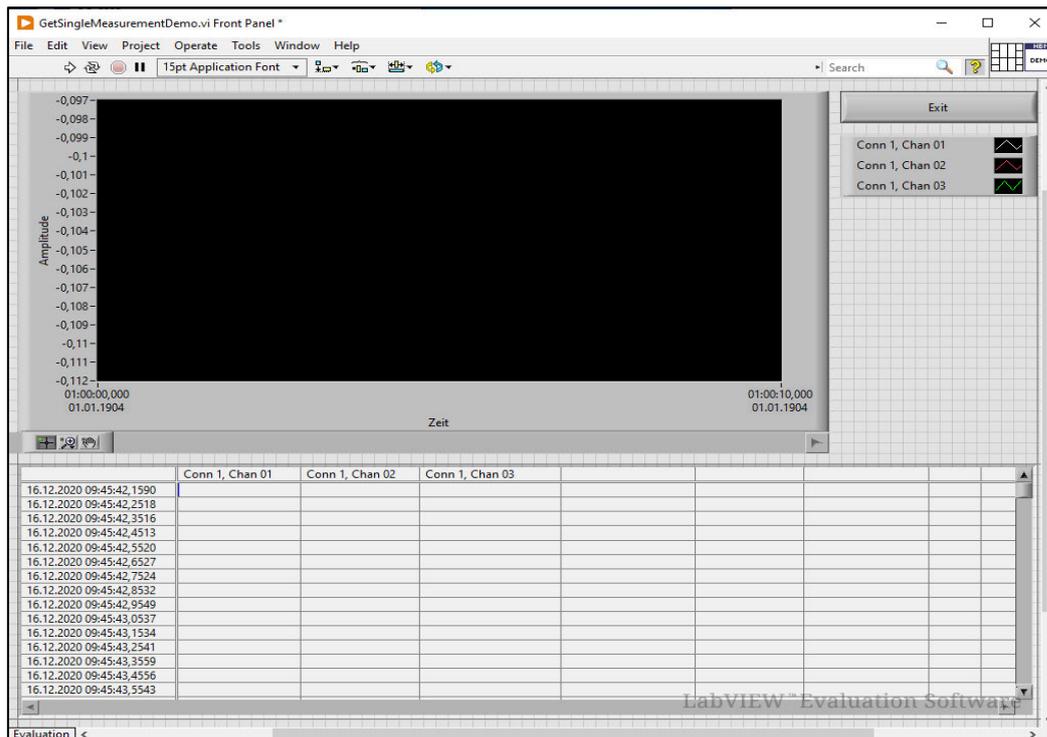


Abbildung 16: Darstellung des zum Download freigegebenen Frontpanels von Hottinger Brüel & Kjaer HBM (Ausgangsprogramm)

Quelle 6: Eigene Darstellung, Karim Omar; Anordnung der Komponenten von HBM

In der folgenden Abbildung 17 ist der Istzustand des Blockdiagramms dargestellt. Dieses ist nur für den Entwickler zugänglich und bildet den Ort der kompletten Entwicklung. Der entscheidende Teil in dieser Abbildung ist in dem rechteckigen, markierten orangefarbenen Bereich zu finden. Dieser wird in einer weiteren Abbildung größer dargestellt. In diesem Teil findet die eigentliche Programmierung statt. Zusätzlich werden hier In- und Output, schwarz umrandet markiert, deutlicher dargestellt.

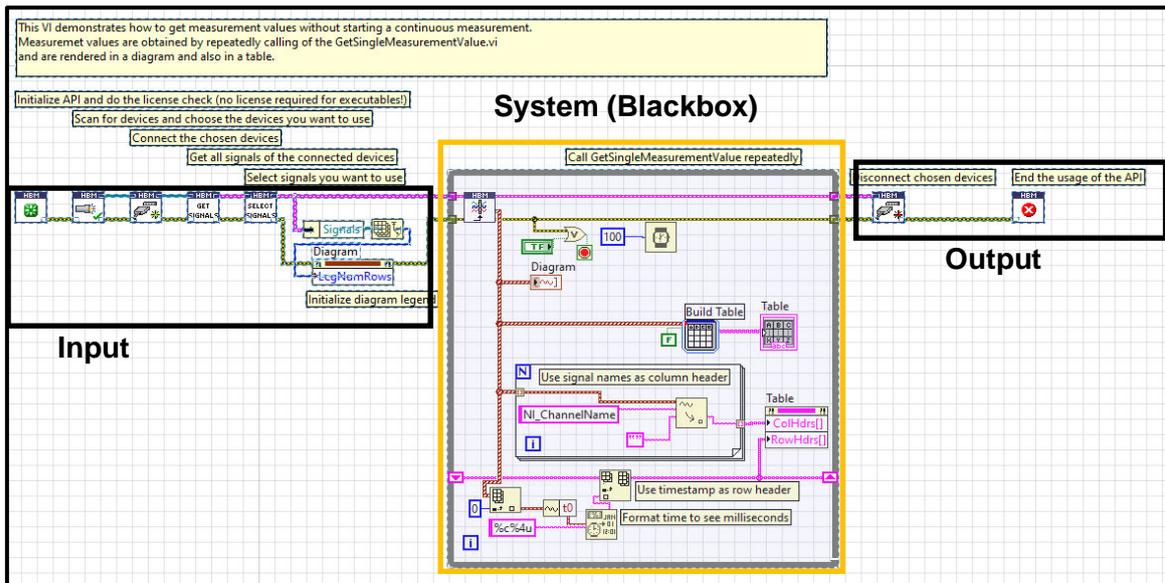


Abbildung 17: Darstellung des zum Download freigegebenen Blockdiagramms von HBK (Ausgangsprogramm)

Quelle 7: Eigene Darstellung, Karim Omar; Anordnung der Komponenten von HBM

In der nachfolgenden Abbildung 18 wird der Input aus Abbildung 17 anschaulicher dargestellt. In diesem Teil des Programms werden die Voreinstellungen für den Ablauf des Programms vorgenommen. Diese sind in einem folgenden Abschnitt „Bedienungsanleitung von LabVIEW“ dargestellt und erläutert. Diese Daten und Signale laufen weiter in die Blackbox.

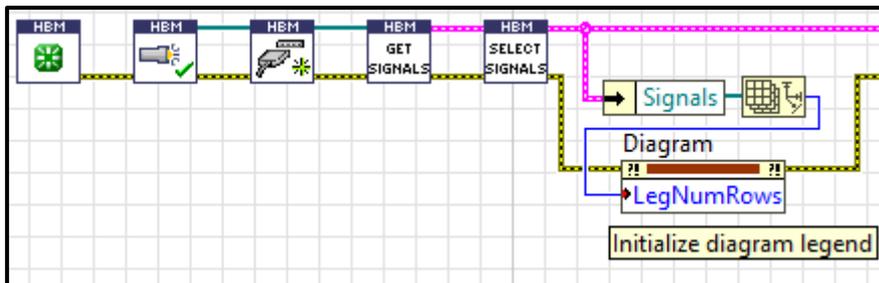


Abbildung 18: Darstellung des Inputs des Blockdiagramms

In der Abbildung der Blackbox ist erkennbar, dass die Daten in das Diagramm eingespeist und dort als Graphen ausgegeben werden. Des Weiteren laufen die Daten in die Tabelle, die hier auch erstellt wird. In dem Rechteck ist eine For-Schleife einprogrammiert. Hier werden die Überschriften der Tabelle erstellt. Der untere Abschnitt unter der For-Schleife dient dazu, Zeit und Datum in der Tabelle anzeigen zu lassen.

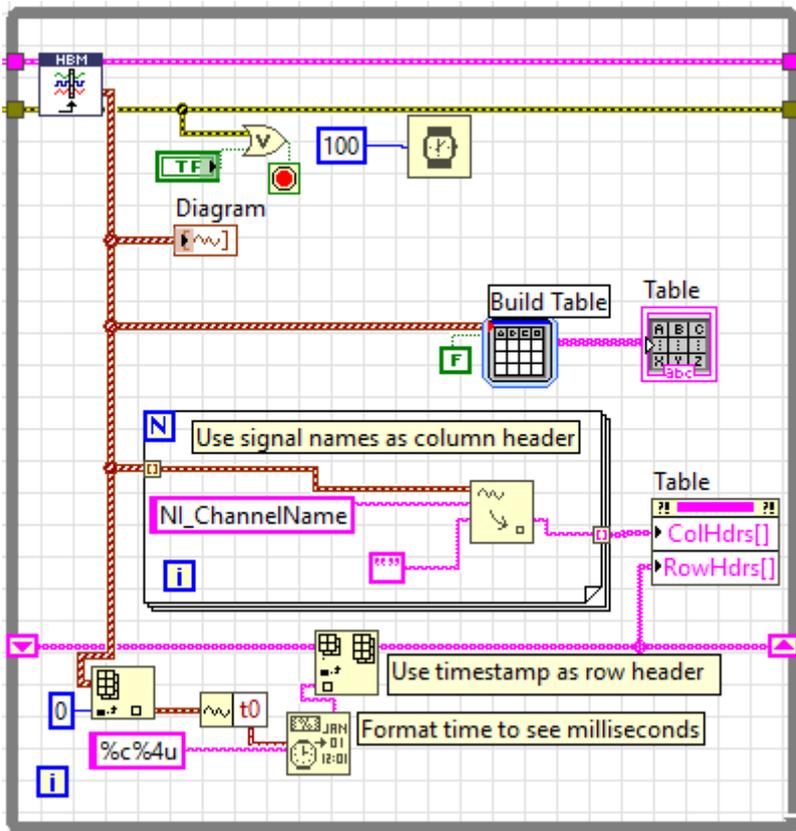


Abbildung 19: Darstellung der Blackbox (Hauptprogrammierteil) des Blockdiagramms

In Abbildung 20 ist der Output aus Abbildung 17 deutlicher dargestellt. Hier wird das Programm beendet.

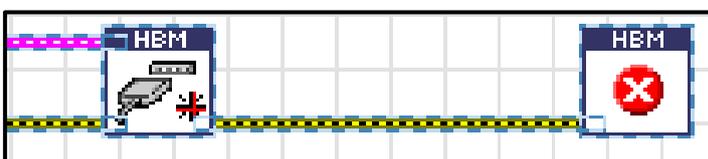


Abbildung 20: Darstellung des Outputs des Blockdiagramms

In Tabelle 11 sind die Problemstellungen aufgelistet. Aus diesen können Lösungsansätze abgeleitet werden.

*Tabelle 11: Darstellung der Problemstellungen und Lösungsansätze für das Ausgangsprogramm*

<b>Problemstellung</b>	<b>Lösungsansätze</b>
Die Y-Achse sagt für das vorliegende Programm (Ausgangsprogramm) nichts aus	Die Y-Achse wird mit dem entsprechenden Parametern gekennzeichnet
Die Messwerte in der Tabelle werden zu schnell aufgenommen (10 Werte pro Sekunde)	Die Tabelle wird entfernt
In der Tabelle werden nur die ersten Werte dargestellt, die neueren Werte werden nicht angezeigt	Die Frequenzrate muss vergrößert werden, damit nicht zu viele unnötigen Messwerte in kürzester Zeit aufgenommen werden
Ein Diagramm für die Drehzahl und das Drehmoment	Diagramm in zwei Diagramme aufteilen für eine bessere Übersicht (Drehzahl und Drehmoment jeweils einzeln)

In Abbildung 21 ist das Programm während des Ablaufs dargestellt. Hier ist das Problem zu erkennen, dass der gelbe Graph eine Amplitude von ungefähr 730 aufweist, obwohl ein Drehmoment und eine Drehzahl ausgegeben werden müssen.

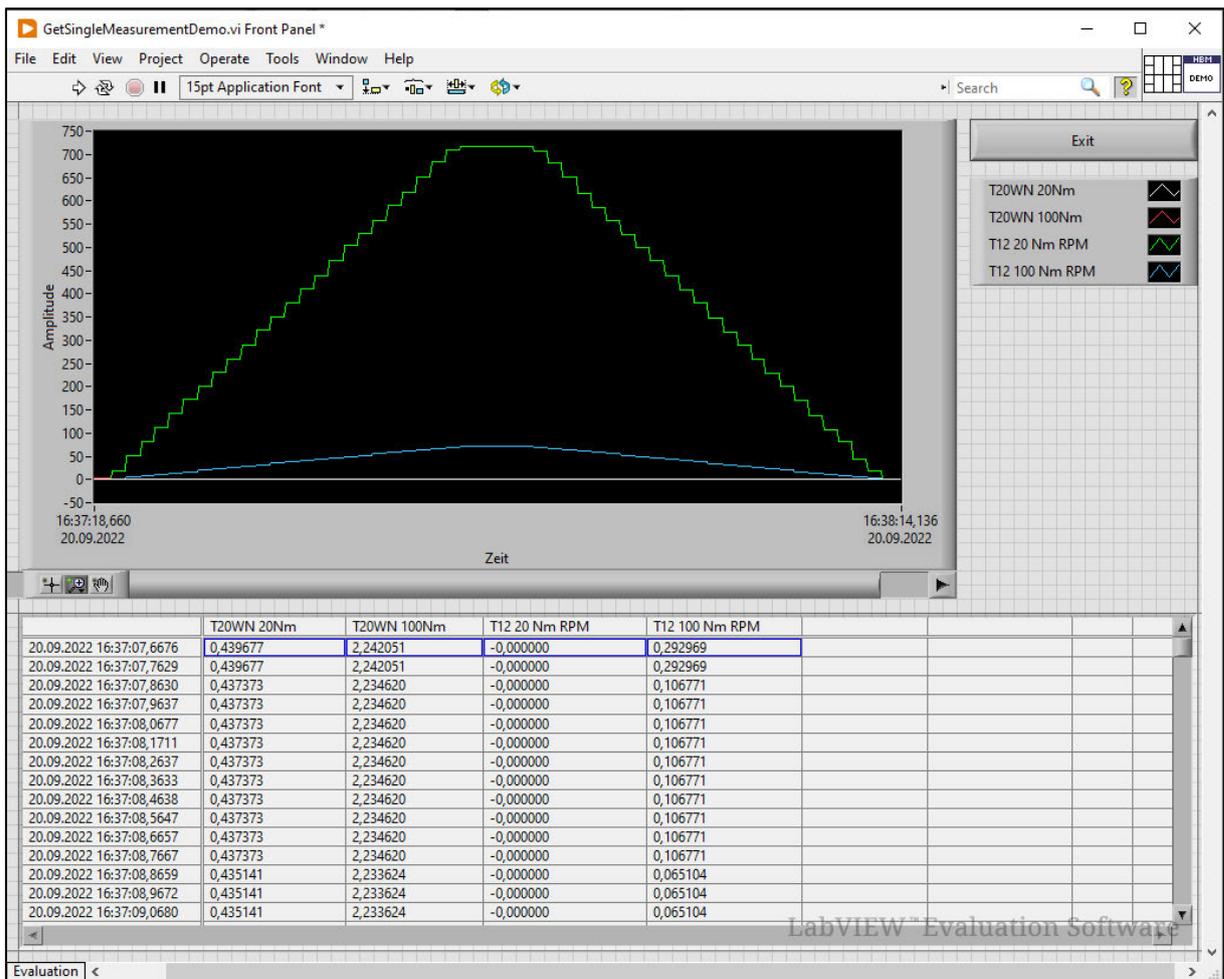


Abbildung 21: Darstellung des zum Download freigegebenen Frontpanels von HBM während des Durchlaufs (Ausgangsprogramm)

## 4.2 Ansätze für die Optimierung

In den nachfolgenden Schritten werden die y-Achse sowie die Zeitachse angepasst. Des Weiteren wird die Tabelle unter den Diagrammen entfernt. Daraufhin wird ein gemeinsames Diagramm der Messwerte in zwei Diagramme aufgeteilt, für eine deutlichere Übersicht der Drehzahlen und Drehmomente. Die Berechnungen, die sich aus diesem Versuch ergeben, werden an der rechten Seite dargestellt, genauso wie die Dauer des Versuchs, die über den Diagrammen dargestellt wird.

Nachdem die Diagramme aufgeteilt wurden, werden in einem weiteren Schritt die Achsen angepasst: für jeweils beide Drehmomente und die Zeit sowie im zweiten Diagramm für die beiden Drehzahlen und die dazugehörige Zeit. Dieses geschieht im Kontextmenü des Diagramms unter dem Punkt ‚Properties‘.

Nachdem die Zeit-, Drehmoment- und Drehzahl-Achsen in beiden Diagrammen durch das Kontextmenü der Diagramme für die Messwellen richtig definiert worden sind, werden die Berechnungen einprogrammiert.

In Abbildung 22 wurden die Antriebs- und Abtriebsleistung sowie der Wirkungsgrad berechnet und ausgegeben. Die Formeln dieser drei Komponenten sind unten dargestellt.

**Die Antriebsleistung ( $P_{an}$ ) wird durch folgende Formel berechnet:**

wobei das Antriebsmoment  $M_{an}$  und die Antriebsdrehzahl  $n_{an}$  ist

$$P_{an} = M_{an} * n_{an} \quad (4.1)$$

**Die Abtriebsleistung ( $P_{ab}$ ) wird durch folgende Formel berechnet:**

wobei das Abtriebsmoment  $M_{ab}$  und die Abtriebsdrehzahl  $n_{ab}$  ist

$$P_{ab} = M_{ab} * n_{ab} \quad (4.2)$$

Als Nächstes wird der Wirkungsgrad ( $\eta$ ) mit folgender Formel berechnet:

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{an}} * 100 \quad (4.3)$$

Ein weiterer Schritt ist, die Laufzeit des aktuellen Versuchs einzuprogrammieren. Nachdem alle Schritte durchgeführt sind, sieht das optimierte Programm wie in der folgenden Abbildung 22 aus.

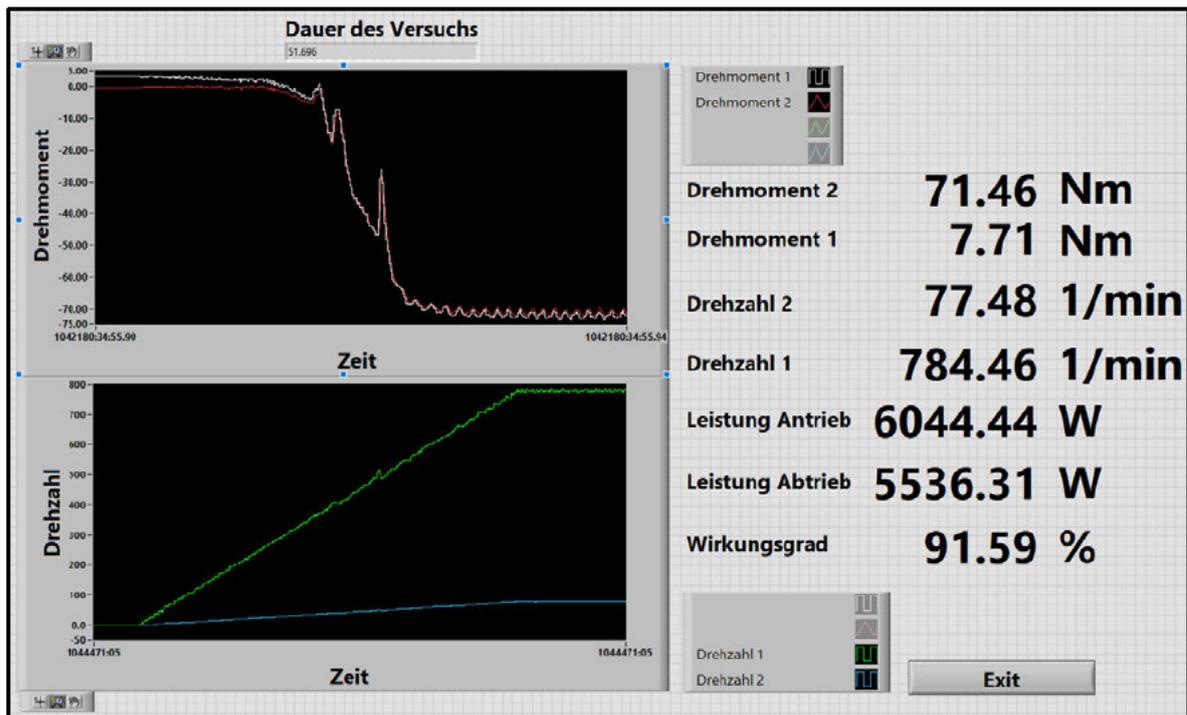


Abbildung 22: Darstellung des optimierten Frontpanels

In einem weiteren Schritt werden alle aufgenommenen Messdaten des Getriebeprüfstands in eine Excel-Datei erfasst und importiert. Hierzu wird in LabVIEW die Komponente ‚Format Into String‘ verwendet. In diese Komponente müssen alle Variablen einfließen, die für die Excel-Datei benötigt werden: Drehmoment 1 und 2, Drehzahl 1 und 2, Antriebs- sowie Abtriebsleistung und Wirkungsgrad. Diese werden im Anschluss mit der Funktion ‚Write to Text File‘ miteinander verbunden. Zusätzlich muss der Dateipfad mit den beiden vorher benannten Funktionen gekoppelt werden. Des Weiteren müssen diese auch mit dem gewünschten Dateinamen und mit dem zu speichernden Format versehen werden.

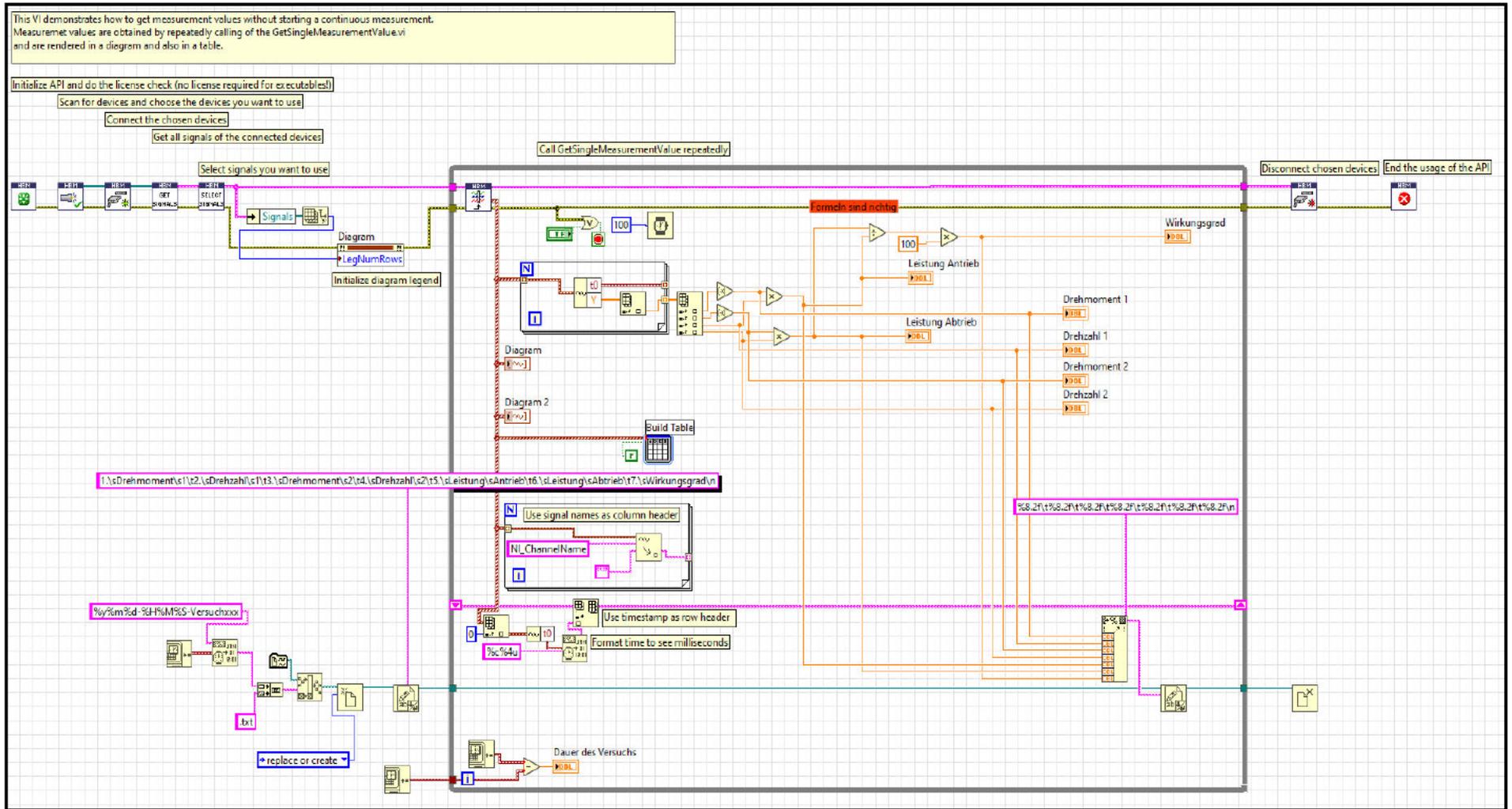


Abbildung 23: Darstellung des optimierten Blockdiagramms

### 4.3 Entwicklung eines Programms mithilfe von catman Easy zur Ausgabe von Messdaten

In diesem Abschnitt des Kapitels wird die Wiederholung des Vorgangs aus dem letzten Abschnitt beschrieben. Der einzige Unterschied ist, dass mit einem anderen Softwaretool gearbeitet wird. Angewandt wird das Softwaretool catman Easy.

Im zweiten Kapitel wurde schon erläutert, dass die Messwellen an An- und Abtrieb jeweils die Drehmomente und Drehzahlen ausgeben und an die Software weiterleiten. Jetzt werden die Leistungen am Abtrieb und Antrieb berechnet sowie der Wirkungsgrad. Dieses ist in catman Easy einfacher als in LabVIEW umzusetzen, da hier der Einsatz der Drag-and-Drop-Funktion möglich ist.

Um die Formeln der Leistungen und des Wirkungsgrads anlegen zu können, wird die Funktion ‚Erzeugen‘ im Reiter ‚Messkanäle‘ benötigt. Es öffnet sich ein weiteres Fenster, ‚Berechnungen bearbeiten‘, bei dem Formeln verlangt werden, die für die gewünschten Berechnungen benötigt werden.

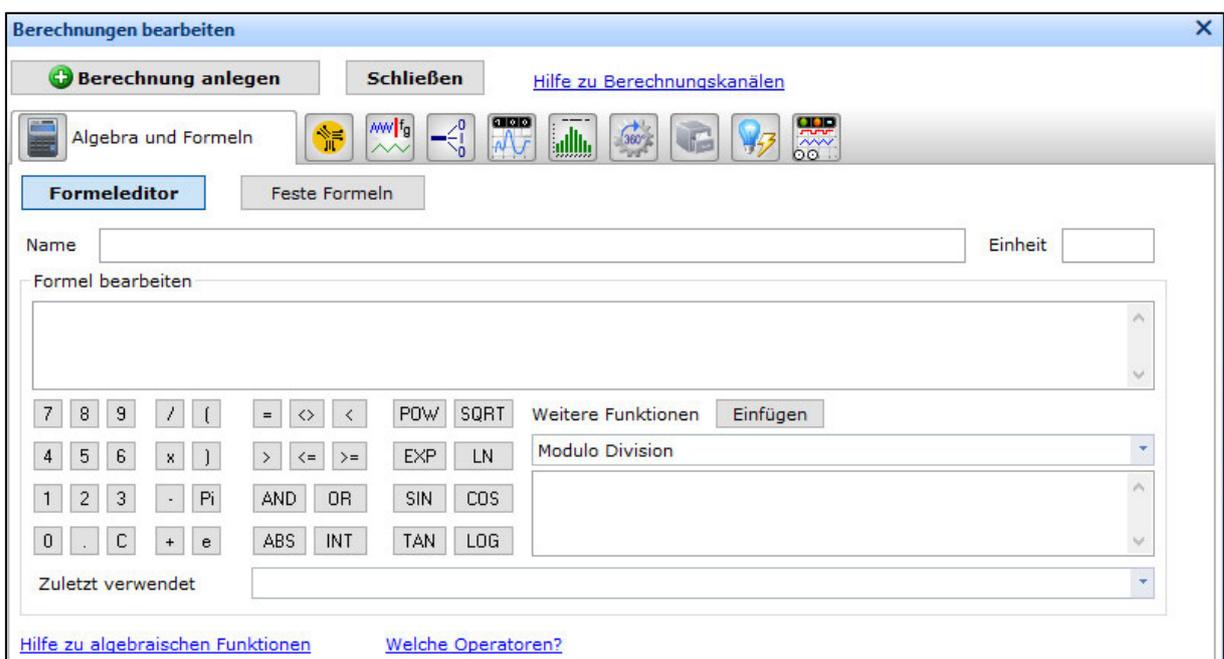


Abbildung 24: Der Formeleditor zum Eintragen der gewünschten Berechnungsformel

In Abbildung 24 ist der Formeleditor dargestellt. In der ersten Zeile ‚Name‘ wird die Formel benannt, die berechnet werden soll, beispielsweise der Wirkungsgrad. Rechts daneben wird die Einheit der berechneten Variablen definiert.

In dem größeren Feld ‚Formel bearbeiten‘ unten wird die gewünschte Formel durch die Drag-and-Drop-Funktion hineingezogen. Am Ende wird auf die Schaltfläche ‚Berechnung anlegen‘ geklickt. Damit ist die erste Formel in das Programm eingespeichert.

Die Formeln für die Antriebs- und Abtriebsleistungen in catman Easy sind:

$$P_{an} = M_{an} * n_{an} * 2\pi \quad (4.4)$$

$$P_{ab} = M_{ab} * n_{ab} * 2\pi \quad (4.5)$$

In catman Easy wird  $2\pi$  als 6,283 definiert; also sehen die Formeln wie folgt aus:

$$P_{an} = M_{an} * n_{an} * 6,283 \quad (4.6)$$

$$P_{ab} = M_{ab} * n_{ab} * 6,283 \quad (4.7)$$

Aus den Formeln der Antriebs- und Abtriebsmomente kann der Wirkungsgrad ermittelt werden. Diese Formel sieht wie folgt aus:

wobei hier  $i$  die Übersetzung der Zahnräder im Getriebe darstellt. In diesem Getriebe ist die Übersetzung  $i = 10,11$ . Diese Angabe ist auf dem Typenschild des Getriebes vermerkt.

$$\eta = \frac{P_{ab}}{\frac{P_{an}}{i}} * 100 \quad (4.8)$$

Die Momente und Drehzahlen können per Drag-and-Drop ohne weitere Programmierung in die Berechnungsmaske gezogen werden. Die Operatoren und Zahlenwerte müssen per Tastatur eingegeben werden.

Im zweiten Teil des Abschnitts zu catman Easy werden die berechneten Werte zu Leistungen und Wirkungsgrad in eine Tabellenkalkulations-Datei ausgegeben bzw. importiert. Dieses funktioniert durch Klicken auf den Reiter ‚Messjobs‘. Dort gibt es ein Untermenü, das als ‚Einstellungen‘ bezeichnet ist. Hier gibt es den Unterpunkt ‚Speicherung‘.



Abbildung 25: Speichermenü

An dieser Stelle werden Speichermodus, Datensicherung, Dateiformat, Auflösung und Sicherungstiefe eingestellt. Das gewünschte Format der Tabellenkalkulations-Datei ist eine Excel-Datei. Wenn die Daten im Punkt Dateiformat direkt in eine Excel-Datei gespeichert werden, werden die Werte auch direkt übernommen. Bei dieser Option werden alle Messdaten erst ab Zeile 50 aufgelistet. Die ersten 50 Zeilen wurden von der Firma HBK so programmiert, dass diese für die sogenannten Header-Dateien ausgelegt sind. In der nachfolgenden Abbildung 26 ist diese programmierte Excel-Datei mit ihren Header-Dateien von HBK dargestellt. Mit dieser Abbildung 26 soll lediglich die Optik der Datei vorgestellt werden. Der Inhalt ist in diesem Kontext nicht relevant.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Dateikommentar:											
2	Zeit 1 - Langsame Messrate	T20vN20Nm	T20vN100Nm	T12 20 Nm RPM	T12 100 Nm RPM	Drehzahl Antrieb	Drehmoment Antrieb	Drehzahl Abtrieb	Drehmoment Abtrieb	Leistung Antrieb	Leistung Abtrieb	Wirkungsgrad
3	s	Nm	Nm	U/min	U/min	1/min	Nm	1/min	Nm	W	W	%
4												
5	16,11.22 13:13:31	16,11.22 13:13:31	16,11.22 13:13:31	16,11.22 13:13:31	16,11.22 13:13:31	16,11.22 13:13:31	16,11.22 13:13:31	16,11.22 13:13:31	16,11.22 13:13:31	16,11.22 13:13:31	16,11.22 13:13:31	16,11.22 13:13:31
6	1000,00 ms (1Hz)	1000,00 ms (1Hz)	1000,00 ms (1Hz)	1000,00 ms (1Hz)	1000,00 ms (1Hz)	1000,00 ms (1Hz)	1000,00 ms (1Hz)	1000,00 ms (1Hz)	1000,00 ms (1Hz)	1000,00 ms (1Hz)	1000,00 ms (1Hz)	1000,00 ms (1Hz)
7	Hardw. arekanal: 0	Hardw. arekanal: 1	Hardw. arekanal: 3	Hardw. arekanal: 6	Hardw. arekanal: 8	Hardw. arekanal: 0						
8	Serien-Nr. (Elektronik / AP): N.V.	Serien-Nr. (Elektronik / AP): 9E5005280	Serien-Nr. (Elektronik / AP): N.V.									
9	Sensor:	Sensor: HBM	Sensor: HBM	Sensor: HBM	Sensor: HBM	Sensor:						
10	Sensor T-ID:	Sensor T-ID: A700000234750C23	Sensor T-ID: F000000234D56123	Sensor T-ID: 9E00000234D49A23	Sensor T-ID: E700000234644E23	Sensor T-ID:						
11	Verstärkung N.V.	Verstärkung: MX840A	Verstärkung: MX840A	Verstärkung: MX840A	Verstärkung: MX840A	Verstärkung N.V.						
12	Anschlußplatte: N.V.	Anschlußplatte: N.V.	Anschlußplatte: N.V.	Anschlußplatte: N.V.	Anschlußplatte: N.V.	Anschlußplatte: N.V.	Anschlußplatte: N.V.	Anschlußplatte: N.V.	Anschlußplatte: N.V.	Anschlußplatte: N.V.	Anschlußplatte: N.V.	Anschlußplatte: N.V.
13	Aufnahmetyp: N.V.	Aufnahmetyp: DC Spannung	Aufnahmetyp: DC Spannung	Aufnahmetyp: Impulsmessung 2 Phasen 1x	Aufnahmetyp: Impulsmessung 2 Phasen 1x	Aufnahmetyp: N.V.						
14	Messbereich: N.V.	Messbereich: 10	Messbereich: 10	Messbereich: 1000	Messbereich: 1000	Messbereich: N.V.						
15		Hardw. areskalierung P1: 0; 0	Hardw. areskalierung P1: 0; 0	Hardw. areskalierung P1: 0; 0	Hardw. areskalierung P1: 0; 0	Hardw. areskalierung P1: 0; 0	Hardw. areskalierung P1: 0; 0	Hardw. areskalierung P1: 0; 0	Hardw. areskalierung P1: 0; 0			
16		Hardw. areskalierung P2: 10; 20	Hardw. areskalierung P2: 10; 100	Hardw. areskalierung P2: 90; 15000	Hardw. areskalierung P2: 90; 15000	Hardw. areskalierung P2: 0; 0						
17	Grundeinheit	Grundeinheit V	Grundeinheit V	Grundeinheit kHz	Grundeinheit kHz	Grundeinheit						
18	Phys. Einheit:	Phys. Einheit: Nm	Phys. Einheit: Nm	Phys. Einheit: U/min	Phys. Einheit: U/min	Phys. Einheit:						
19	Endwert: 0	Endwert: 20 Nm	Endwert: 100 Nm	Endwert: 166666,7 U/min	Endwert: 166666,7 U/min	Endwert: 0						
20	catman Skalierung: Keine	catman Skalierung: Extern Hardw. are	catman Skalierung: Keine									
21	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V
22	Filtercharakteristik: N.V.	Filtercharakteristik: Bessel Tiefpaß	Filtercharakteristik: Bessel Tiefpaß	Filtercharakteristik: Bessel Tiefpaß	Filtercharakteristik: Bessel Tiefpaß	Filtercharakteristik: N.V.						
23	Filterfrequenz: N.V.	Filterfrequenz: 2 Hz	Filterfrequenz: 2 Hz	Filterfrequenz: 2 Hz	Filterfrequenz: 2 Hz	Filterfrequenz: N.V.						
24	Nullabgleichwert: 0 s	Nullabgleichwert: 5,390571E-02 Nm	Nullabgleichwert: 0,339124 Nm	Nullabgleichwert: 1,367188E-02 U/min	Nullabgleichwert: 1,106771E-02 U/min	Nullabgleichwert: 0 1/min	Nullabgleichwert: 0 Nm	Nullabgleichwert: 0 Nm	Nullabgleichwert: 0 Nm	Nullabgleichwert: 0 W	Nullabgleichwert: 0 W	Nullabgleichwert: 0 %
25	Tarawert: 0 s	Tarawert: 5,390571E-02 Nm	Tarawert: 0,339124 Nm	Tarawert: 1,367188E-02 U/min	Tarawert: 1,106771E-02 U/min	Tarawert: 0 1/min	Tarawert: 0 Nm	Tarawert: 0 Nm	Tarawert: 0 Nm	Tarawert: 0 W	Tarawert: 0 W	Tarawert: 0 %
26	Software-Nullabgleichwert: 0 s	Software-Nullabgleichwert: 0 Nm	Software-Nullabgleichwert: 0 Nm	Software-Nullabgleichwert: 0 U/min	Software-Nullabgleichwert: 0 U/min	Software-Nullabgleichwert: 0 1/min	Software-Nullabgleichwert: 0 Nm	Software-Nullabgleichwert: 0 Nm	Software-Nullabgleichwert: 0 Nm	Software-Nullabgleichwert: 0 W	Software-Nullabgleichwert: 0 W	Software-Nullabgleichwert: 0 %
27	Messsignal: N.V.	Messsignal: EIN	Messsignal: EIN	Messsignal: EIN	Messsignal: EIN	Messsignal: N.V.						
28	Verstärkereingang: N.V.	Verstärkereingang: N.V.	Verstärkereingang: N.V.	Verstärkereingang: N.V.	Verstärkereingang: N.V.	Verstärkereingang: N.V.	Verstärkereingang: N.V.	Verstärkereingang: N.V.	Verstärkereingang: N.V.	Verstärkereingang: N.V.	Verstärkereingang: N.V.	Verstärkereingang: N.V.
29	k-Faktor: 0,00000	k-Faktor: 0,00000	k-Faktor: 0,00000	k-Faktor: 0,00000	k-Faktor: 0,00000	k-Faktor: 0,00000	k-Faktor: 0,00000	k-Faktor: 0,00000	k-Faktor: 0,00000	k-Faktor: 0,00000	k-Faktor: 0,00000	k-Faktor: 0,00000
30	Brückenfaktor: 0,00000	Brückenfaktor: 0,00000	Brückenfaktor: 0,00000	Brückenfaktor: 0,00000	Brückenfaktor: 0,00000	Brückenfaktor: 0,00000	Brückenfaktor: 0,00000	Brückenfaktor: 0,00000	Brückenfaktor: 0,00000	Brückenfaktor: 0,00000	Brückenfaktor: 0,00000	Brückenfaktor: 0,00000
31	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.	N.V.
32												
33												
34												
35												
36												
37												
38												
39												
40												
41												
42												
43												
44												
45												
46												
47												
48												
49												
50	0	-0,521571517	-1,084587336	935,5813599	92,539505463	935,5813599	0,521571517	92,539505463	1,084587336	51,09886296	10,51642504	20,56835251
51	1,000000047	-0,528521001	-1,10638643	965,5794067	95,39713287	965,5794067	0,528521001	95,39713287	1,10638643	53,43995125	11,05844885	20,71713403
52	2,000000095	-0,532961547	-1,1028651	995,630188	98,68294525	995,630188	0,532961547	98,68294525	1,1028651	55,56607768	11,39673122	20,46739781
53	3,000000142	-0,535073896	-1,12891925	1025,629517	101,3229141	1025,629517	0,535073896	101,3229141	1,12891925	57,46785067	11,97805524	20,86858682
54	4,00000019	-0,535753866	-1,106882215	104,304039	1055,65564	104,304039	0,535753866	104,304039	1,106882215	59,22543497	12,08977852	20,43525569
55	5,000000237	-0,537708521	-1,092447162	1085,678345	107,5442734	1085,678345	0,537708521	107,5442734	1,092447162	61,13133827	12,30278798	20,09564626
56	6,000000285	-0,542097867	-1,118778944	1115,69397	1115,69397	1115,69397	0,542097867	1115,69397	1,118778944	63,33424433	12,95254611	20,41340339
57	7,000000332	-0,546016157	-1,124567151	1145,75647	1145,75647	1145,75647	0,546016157	1145,75647	1,124567151	65,51090836	13,35528473	20,37178906
58	8,00000038	-0,5495578063	-1,136375666	1149,710938	1149,710938	1149,710938	0,5495578063	1149,710938	1,136375666	65,68426907	13,52573607	20,60221288
59	9,000000427	-0,543998182	-1,128960371	1149,71228	1149,71228	1149,71228	0,543998182	1149,71228	1,128960371	65,49413757	13,42475885	20,52721796
60	10,00000047	-0,544790566	-1,123289263	1149,692749	1149,692749	1149,692749	0,544790566	1149,692749	1,123289263	65,58842166	13,42514567	20,50333311
61	11,00000052	-0,543949127	-1,110591398	1149,641235	1149,641235	1149,641235	0,543949127	1149,641235	1,110591398	65,48418432	13,20849788	20,19486503
62	12,00000057	-0,543732285	-1,118494749	1149,673218	1149,673218	1149,673218	0,543732285	1149,673218	1,118494749	65,45593011	13,31643227	20,348897233
63	13,00000062	-0,543755664	-1,119682199	1149,684937	1149,684937	1149,684937	0,543755664	1149,684937	1,119682199	65,46350327	13,34834144	20,37083529
64	14,00000066	-0,544144332	-1,115425625	1149,704468	1149,704468	1149,704468	0,544144332	1149,704468	1,115425625	65,51123524	13,30672172	20,27567184

Abbildung 26: Darstellung der Excel-Datei mit den Header-Dateien

In diesem Format stellt die Datei ein Problem für die Durchführung der Labore dar, da so erst nach den richtigen Daten gesucht werden muss. Um dieses Problem zu umgehen, werden die Messdaten in eine ASCII-Datei gespeichert. Von dort aus können sie in eine gewünschte Excel-Datei kopiert werden. Die zweite Möglichkeit ist, die erstellte Excel-Datei mit den Header-Dateien, die in den Zeilen 2 bis 50 aufgelistet sind, zu markieren, die rechte Maustaste anzuklicken und den Punkt ‚Zeilen Löschen‘ auszuwählen. So sind in der ersten Zeile alle Berechnungskanäle beschriftet und ab der zweiten Zeile alle aufgenommenen Messwerte dargestellt.

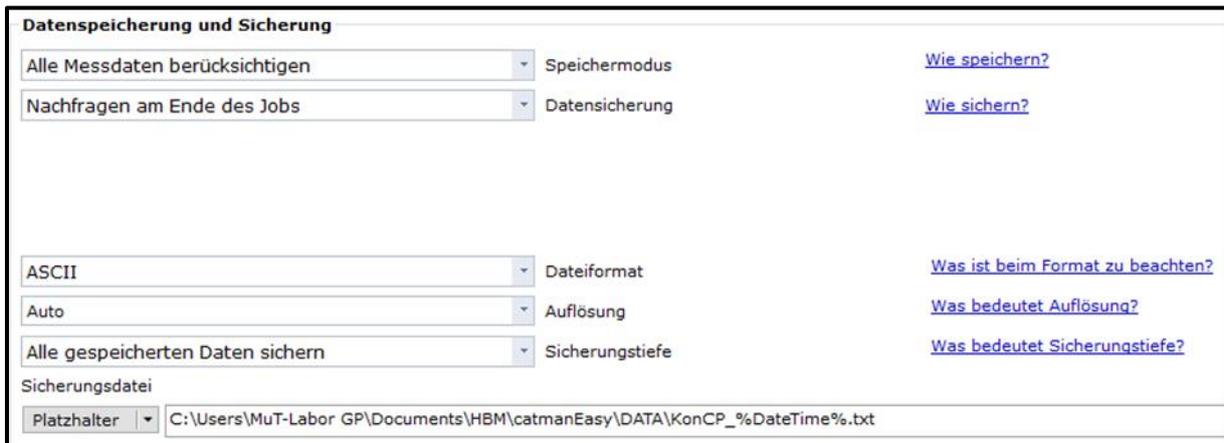


Abbildung 27: Darstellung des Speicherformats

Des Weiteren sind in der Excel-Datei Angaben zu Antriebs- und Abtriebsmomenten sowie Drehzahlen in den Spalten B bis I doppelt vorhanden, mit anderen Bezeichnungen. Dieses kann in catman Easy eingestellt werden, sodass die Werte einmal in der Excel-Datei aufgelistet werden.

Hierzu wird im Reiter auf die Schaltfläche ‚Messjobs‘ geklickt und in dem Fenster, das mit ‚Einstellungen‘ beschriftet ist, auf ‚Kanäle‘. Es öffnet sich ein Fenster, in dem alle Kanäle angezeigt werden, verbunden mit der Angabe, ob diese aktiv oder inaktiv sind (Abbildung 29).



Abbildung 28: Darstellung der Änderungsmöglichkeiten für die Eigenschaften der einzelnen Kanäle

In der folgenden Abbildung 29 sind alle Kanäle des Messverstärkers QuantumX MX840B aufgelistet sowie die erstellten Berechnungskanäle. Um das Problem der doppelt angezeigten Kanäle in der Excel-Datei zu beheben, wird in der zweiten Spalte, die mit ‚Speichern‘ beschriftet ist, geklickt. Mit einem Klick auf den gewünschten Sensor kann die Speicherung deaktiviert werden. In dieser Spalte kann mit einem Klick auf die rechte Maustaste der gewünschte Sensor aktiviert sowie deaktiviert werden. Aktive Kanäle des MX840B sowie der Berechnungskanäle können deaktiviert werden, sodass ihre Namen in der Excel-Datei weder gespeichert noch aufgelistet werden (gekennzeichnet durch das Kreuz auf dem Symbol in Spalte ‚Speichern‘).

	Aktiv	Speichern	Sichern	Statistik-Journal	Slot	Kanalname	Filter
<b>MX840B</b>							
▶				<input type="checkbox"/> Aus	1	T20WN 20Nm	Geräteeinstellung
▶				<input type="checkbox"/> Aus	2	MX840B_CH 2	Auto (Anti-Aliasing)
▶				<input type="checkbox"/> Aus	3	T20WN 100Nm	Geräteeinstellung
▶				<input type="checkbox"/> Aus	4	MX840B_CH 4	Auto (Anti-Aliasing)
▶▶				<input type="checkbox"/> Aus	5	MX840B_CH 5	Auto (Anti-Aliasing)
▶				<input type="checkbox"/> Aus	6	T12 20 Nm RPM	Geräteeinstellung
▶▶				<input type="checkbox"/> Aus	7	MX840B_CH 7	Auto (Anti-Aliasing)
▶				<input type="checkbox"/> Aus	8	T12 100 Nm RPM	Geräteeinstellung
<b>Berechnungskanäle</b>							
				<input type="checkbox"/> Aus		Drehzahl Antrieb	N.A.
				<input type="checkbox"/> Aus		Drehmoment Antrieb	N.A.
				<input type="checkbox"/> Aus		Drehzahl Abtrieb	N.A.
				<input type="checkbox"/> Aus		Drehmoment Abtrieb	N.A.
				<input type="checkbox"/> Aus		Leistung Antrieb	N.A.
				<input type="checkbox"/> Aus		Leistung Abtrieb	N.A.
				<input type="checkbox"/> Aus		Wirkungsgrad	N.A.
				<input type="checkbox"/> Aus		Winkelgeschwindigkeit Antrieb	N.A.
				<input type="checkbox"/> Aus		Winkelgeschwindigkeit Abtrieb	N.A.
				<input type="checkbox"/> Aus		Frequenz am Antrieb	N.A.
				<input type="checkbox"/> Aus		Frequenz am Abtrieb	N.A.
				<input type="checkbox"/> Aus		Leistung Antrieb Probe	N.A.
				<input type="checkbox"/> Aus		Leistung Abtrieb Probe	N.A.
				<input type="checkbox"/> Aus		Wirkungsgrad 1	N.A.

Abbildung 29: Darstellung aller Kanäle und Berechnungskanäle

## **5 Entwicklungsteil 2: Entwicklung eines Tools zum Vergleich der Zeitabhängigkeit der Messwerte**

In diesem Kapitel wird eine Softwarelösung entwickelt, die eine vergleichende Darstellung der einzelnen Messwerte ermöglicht. Diese Messwerte werden jeweils mit 1 Hz Messfrequenz und mit 1000 Hz Messfrequenz erzeugt. Die Entwicklung erfolgt unter Zuhilfenahme des Softwaretools catman Easy. Des Weiteren wird ein zweiter weitestgehend identischer Vergleich hinzugezogen, jedoch ohne eine Verzögerung des Motors für die Darstellung der Messwerte.

### **5.1 Vergleich der Messwerte bei unterschiedlichen Messfrequenzen (1 Hz und 1000 Hz)**

Im folgenden Abschnitt wird der Vergleich zwischen den Messwerten bei 1 Hz und 1000 Hz dargestellt. Dieser Vergleich ist von Bedeutung, wenn ein Versuch gestartet wird, da hier die Beschleunigungsprozesse gut aufgenommen werden können. Bei 1000 Hz ist es ab dem Zeitpunkt, zu dem die gewünschte Drehzahl erreicht ist, nicht mehr zielführend 1000 Werte pro Sekunde darstellen zu lassen. Die Messfrequenz kann dann wieder verringert werden, beispielsweise auf einen Wert pro Sekunde. Es könnte aber auch im Niederfrequenzbereich gearbeitet werden. Dies hängt davon ab, welche Frequenz für den Versuch benötigt wird. Bei catman Easy wäre es möglich, Frequenzen von 0,2 Hz und 0,1 Hz aufzunehmen.

In der folgenden Abbildung 30 ist zu erkennen, dass pro Sekunde ein Messwert aufgenommen wird, sowohl im Diagramm der Drehmomente als auch im Diagramm der Drehzahlen.

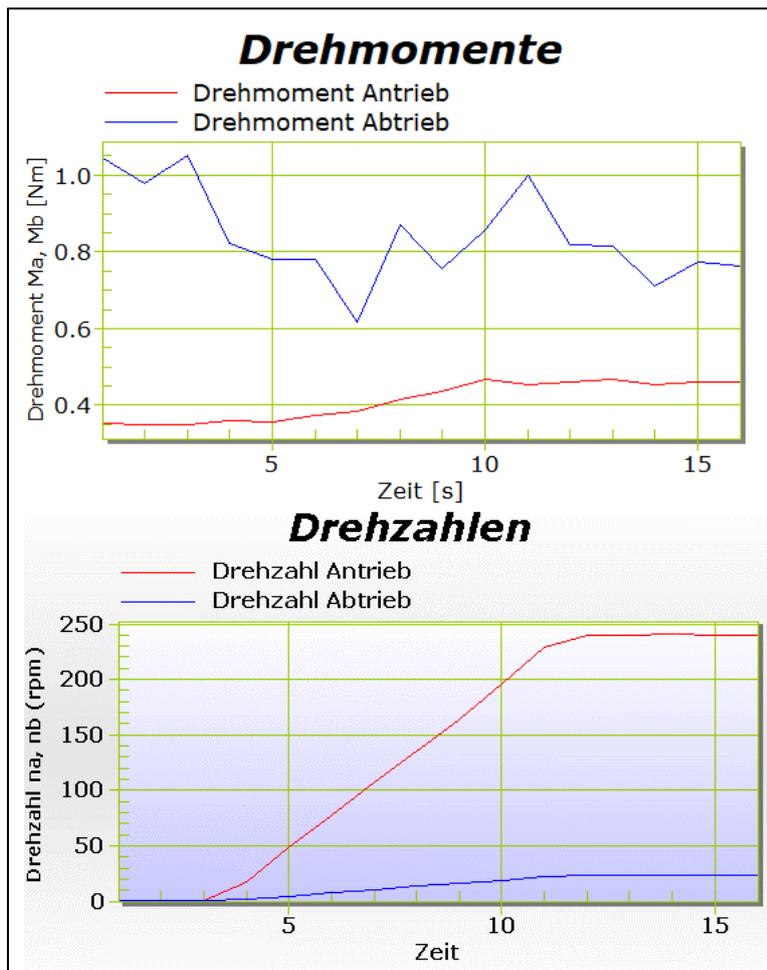


Abbildung 30: Messwertaufnahme bei 1 Hz Messfrequenz

In Abbildung 31 ist dies nicht der Fall. Hier werden pro Sekunde 1000 Messwerte aufgenommen. Dies lässt sich auch gut daran erkennen, dass die Verlaufskurve des zweiten Diagramms (Drehzahl am Antrieb, rote Kurve) der Abbildung 30 innerhalb einer Sekunde sehr stark variiert.

Im Diagramm der Drehmomente (am Abtrieb, blaue Kurve) kann deutlich erkannt werden, dass die Amplituden während der Beschleunigung des Motors auf seine Sollgeschwindigkeit immer größer werden. Ab dem Zeitpunkt, an dem die gewünschte Geschwindigkeit erreicht ist, werden die Amplituden nicht mehr größer und bleiben annähernd konstant.

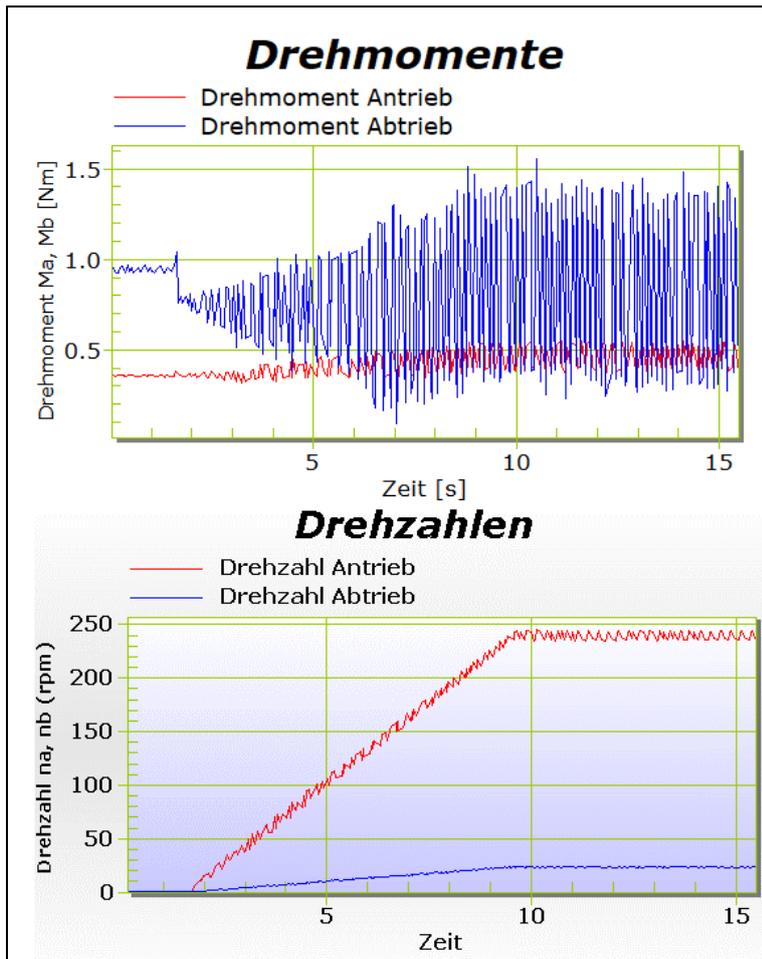


Abbildung 31: Messwertaufnahme bei 1000 Hz Messfrequenz

## 5.2 Vergleich der Messwerte ohne Verzögerungseffekte (bei 1 Hz und 1000 Hz)

Im folgenden Abschnitt des Kapitels werden die Werte ohne die Verzögerungseffekte bei 1 Hz und bei 1000 Hz verglichen. Dies bedeutet, dass in diesem Versuch der Motor auf beispielsweise eine Drehzahl von 500 Umdrehungen pro Minute hochgefahren wird und nach Erreichen dieses Zielwerts ohne die Verzögerungseffekte abgebremst wird. Er kommt also sofort zum Stillstand. Bei diesem Versuch darf die Geschwindigkeit die oben genannte Drehzahl von 500 Umdrehungen pro Minute nur geringfügig überschreiten, da es sonst zu Schäden am Motor bzw. am Getriebeprüfstand kommen kann.

Der nachfolgenden Abbildung 32 (Messwertfrequenz bei 1 Hz) ist deutlich zu entnehmen, dass das Drehmoment in den ersten 17 Sekunden am Abtriebsmoment leichte Schwankungen aufweist. Das Antriebsmoment ist nahezu konstant in diesem Zeitraum. Im Diagramm der Drehzahlen steigen beide Kurven kontinuierlich an, bis die eingestellte Drehzahl erreicht

ist. Dies geschieht im gleichen Zeitraum wie im Diagramm der Drehmomente. In Sekunde 17 wird der Motor abgeschaltet. Da hier die Verzögerungseffekte entfallen, ist er innerhalb einer Sekunde in seiner Ruhelage.

Da in Abbildung 32 dieser Versuch mit einer Messwertfrequenz von 1 Hz gefahren wurde, kann hier eine abfallende Neigung in den beiden Diagrammen festgestellt werden.

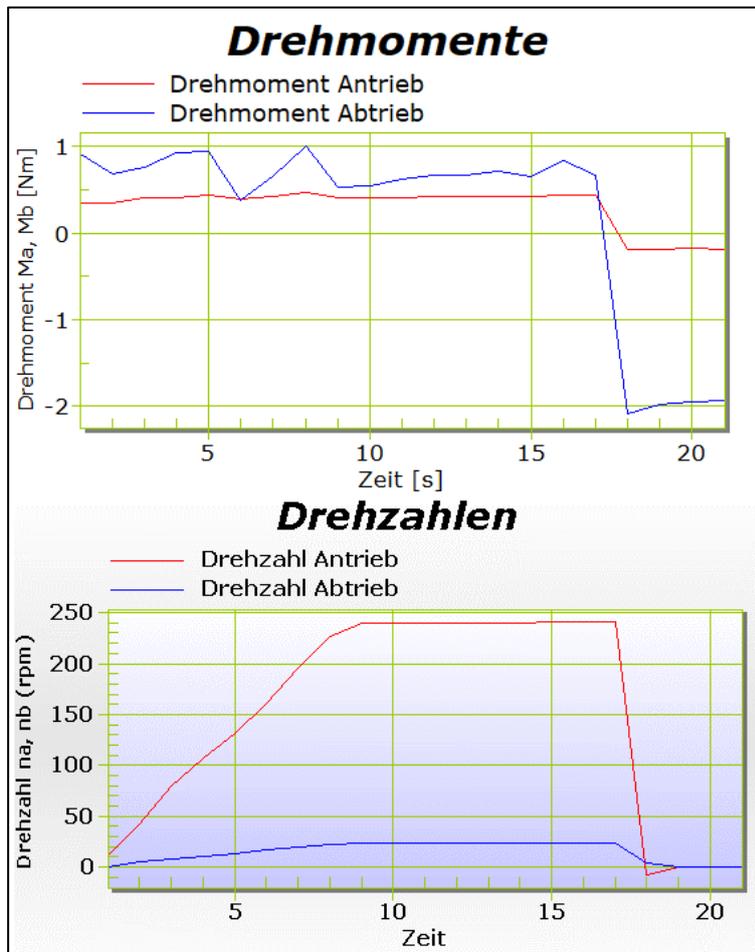


Abbildung 32: Messwertaufnahme bei 1 Hz Messfrequenz ohne Verzögerungseffekte

In der folgenden Abbildung 33 (Messwertfrequenz bei 1000 Hz) erkennbar, schwingt sich im Verlauf der Zeit die Kurve beim Abtriebsmoment immer weiter auf. Im Zeitraum von Sekunde 3 bis 9, danach bis zur Sekunde 17 ist dieser Schwingvorgang annähernd konstant. Im Diagramm der Drehzahlen schwingt die Kurve dauerhaft konstant, sowohl beim Anfahren bis zur eingestellten Drehzahl als auch danach im konstanten Abschnitt der Antriebsdrehzahl.

In Abbildung 33 wurde der Versuch mit einer Messwertfrequenz von 1000 Hz gefahren. Hier liegt deshalb die Neigung kaum vor. Es ist zu erkennen, dass eine rapide Abschwenkung der Messwerte vorhanden ist.

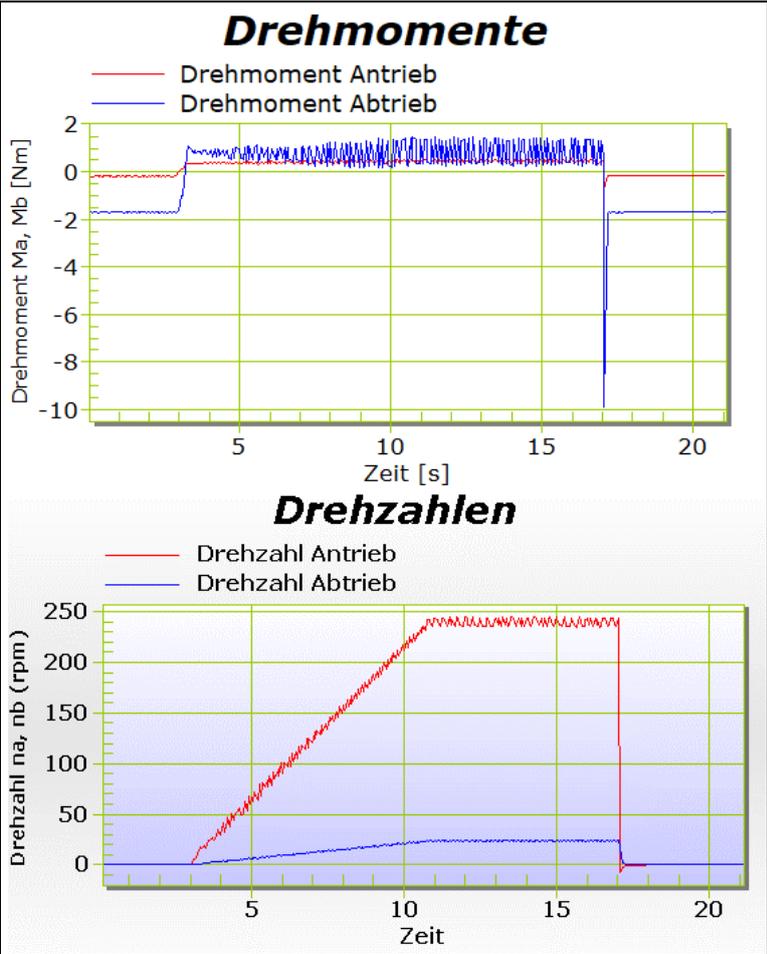


Abbildung 33: Messwertaufnahme bei 1000 Hz Messfrequenz ohne Verzögerungseffekte

## 6 Entwicklungsteil 3: Entwicklung einer Bedienanleitung zu den verwendeten Softwares

In diesem Kapitel wird eine Anleitung zu den beiden Programmen catman Easy und LabVIEW erstellt, die den Umgang mit diesen Softwaretools erleichtern soll. Laut der Norm DIN 82079 gehören zu einer Bedienungsanleitung folgende Punkte: technische Daten, Beschreibung des Produkts, Installation, Beschreibung der Bedienung, Fehlerbehebung und Deinstallation.

Die Norm DIN 82079 wurde im Juni 2013 eingeführt, als Nachfolger der Norm DIN 62079. Sie soll dazu dienen, eine Gebrauchs- bzw. Bedienanleitung regelkonform zu erstellen. Diese DIN ist weltweit gültig. **[28] (vgl. WEKA; 22.12.2022; Zugriff: 02.02.2023)**

*Der vollständige Titel dieser Norm lautet: „Erstellen von Gebrauchsanleitungen – Gliederung, Inhalt und Darstellung – Teil 1: Allgemeine Grundsätze und ausführliche Anforderungen (IEC 82079-1:2012); Deutsche Fassung EN 82079-1:2012“.* **[28] (vgl. WEKA; 22.12.2022; Zugriff: 02.02.2023)**

### 6.1 Technische Daten der Softwaretools:

Damit die Softwares catman Easy und LabVIEW Messungen aufzeichnen können, müssen an dem Rechner folgende Komponenten bzw. Schnittstellen vorhanden sein:

- USB-Schnittstellen
- Ethernet-Schnittstellen

Folgende Schnittstellen müssen vorhanden sein, damit die Messverstärker von Liedtke und HBM die Messdaten an den Rechner weiterleiten können:

- serielle Schnittstellen

Diese müssen vorhanden sein, aber indirekt, d. h. nicht unbedingt an dem Rechner. Sie dienen zur Kommunikation zwischen den beiden Messwellen am Getriebeprüfstand und dem Messverstärker von HBM, um die Daten, die von den Messsensoren aufgenommen werden, an den Messverstärker weiterleiten zu können.

**Betriebssystem Voraussetzung:**

Microsoft Windows 10 Pro; kompatibel mit allen vorherigen Versionen

**Version des Betriebssystems:**

10.0.19044 Build 19044

**Version der Software:**

LabVIEW 21.0

**Version der Software:**

Catman Easy-AP 3.4

**Hersteller von catman Easy:**

HBM bzw. HBK (damals Hottinger Baldwin Messtechnik) (heute Hottinger Brüel & Kjaer)

**Hersteller von LabVIEW:**

National Instruments (NI)

**Weitere Eigenschaften der Softwares catman Easy und LabVIEW:**

Zu finden sind diese Informationen, indem auf die jeweilige Verknüpfung mit der rechten Maustaste geklickt wird und dort auf den Menüpunkt ‚Eigenschaften‘. Hier können wichtige Inhalte zur Sicherheit, zu Allgemeinen Fragen, zu Details, zur Verknüpfung, zu den Vorgängerversionen und zur Kompatibilität eingesehen werden.

## **6.2 Beschreibung der Softwaretools**

In diesem Abschnitt werden die Produkte, in diesem Fall die Softwaretools catman Easy und LabVIEW, beschrieben. Da diese schon im zweiten Kapitel „Einarbeitung in die relevanten Softwaresysteme“ ausführlich thematisiert wurden, wird hier nicht weiter darauf eingegangen.

## 6.3 Installation

Die Voraussetzungen einer erfolgreichen Installation, damit catman Easy und LabVIEW Zugriff auf die Messdaten bekommen, sind folgende:

Es müssen die nötigen Anschlüsse vorhanden sein wie USB-Schnittstellen, serielle Schnittstellen und Ethernet-Schnittstellen. Weiterhin erforderlich ist der Messverstärker von HBM QuantumX MX840B, da die Messwerte nicht direkt vom Getriebeprüfstand an den Rechner weitergeleitet werden, sondern über den Messverstärker und von dort aus zum jeweiligen Rechner.

### 6.3.1 Installation der Software catman Easy:

Es gibt zwei Möglichkeiten, die Software zu installieren.

- Die erste Möglichkeit ist, dass der Nutzer sich von der Firma HBM bzw. HBK die Administratorrechte geben lässt und nach der Installation den Rechner neu startet. **[10] (vgl. MANUALZZ; 2023; Zugriff: 02.02.2023)**
- Die zweite Option ist, dass die Installation mit dem Namen des späteren Benutzers durchgeführt wird. Nach Abschluss der Installation sollte ein Systemadministrator einbezogen werden, der Administratorrechte besitzt. Dieser kann den notwendigen Dienst der Software anmelden bzw. freischalten. Dazu muss das Programm NT\_IODRV.EXE verwendet werden, das sich nach Installation im Verzeichnis \WINNT\SYSTEM32 findet. Optional kann die Installation noch einmal durch den Systemadministrator in dasselbe Verzeichnis wie das oben genannte Programm installiert werden. Hier wird der Systemdienst automatisch eingetragen und aktiviert. Danach muss der Rechner neu gestartet werden. **[10] (vgl. MANUALZZ; 2023; Zugriff: 02.02.2023)**

### 6.3.2 Installation der Software LabVIEW:

Die Installation ist folgendermaßen möglich:

- auf der Homepage von HBK auf Downloads klicken,
- dann die gewünschte Softwareversion von LabVIEW auswählen,
- diese downloaden und abschließend
- auf Aufforderung nach der Installation den Rechner neu starten.

## 6.4 Bedienungsanleitung der Softwares

Als Erstes wird die Anleitung für das Programm von catman Easy entwickelt, danach die Anleitung für LabVIEW.

### 6.4.1 Bedienungsanleitung der Software catman Easy

#### Schritt 1:

Die Software catman Easy-AP öffnen (auf dem Desktop ist die Verknüpfung vorhanden).

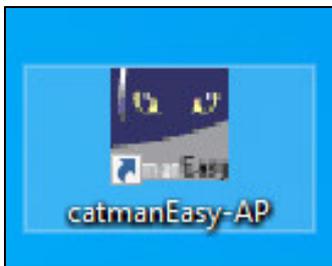


Abbildung 34: Verknüpfung auf dem Desktop der Software catman Easy

#### Schritt 2:

Im Fenster links auf ‚Messen‘ klicken und danach auf die Schaltfläche ‚Öffnen Ein bestehendes Messprojekt laden‘ klicken.



Abbildung 35: Darstellung der Maske zum Öffnen eines bestehenden Messprojekts

### Schritt 3:

Im Fenster ‚catmanEasy Messprojekt öffnen‘ auf das Messprojekt ‚Aktuelle Leistungsdifferenz Eta‘ klicken und auf die Schaltfläche ‚Öffnen‘.

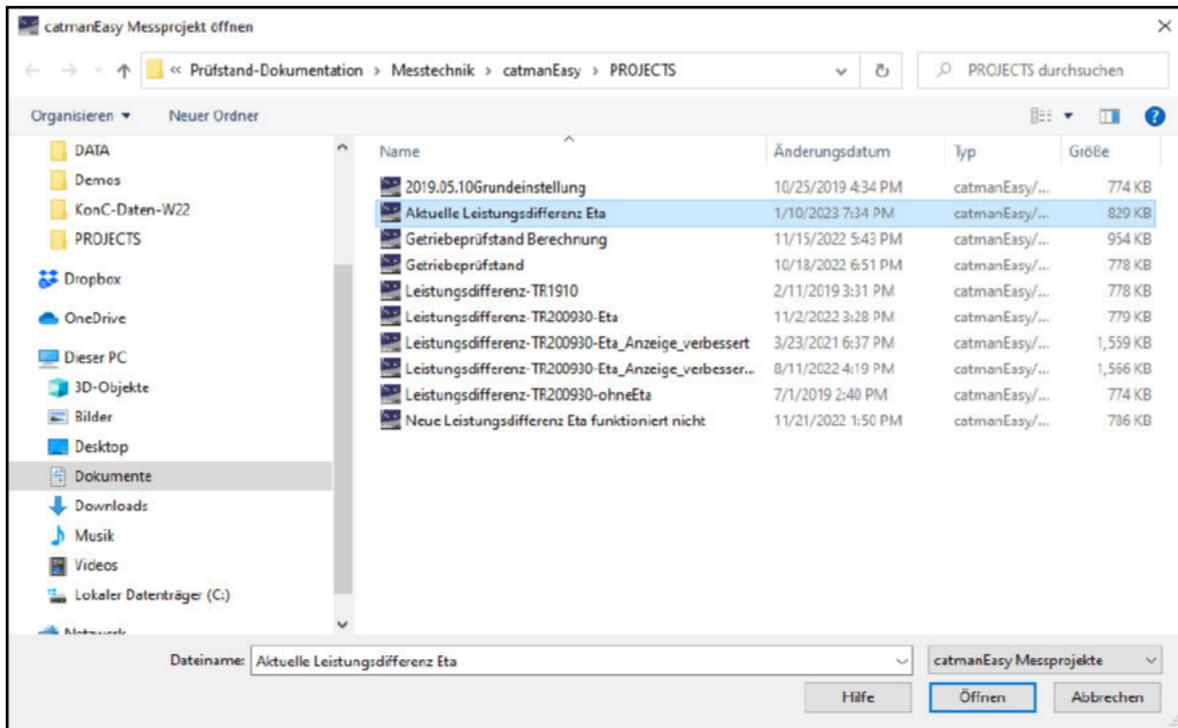


Abbildung 36: Darstellung zum Öffnen der gewünschten Datei

### Schritt 4:

Im folgenden Fenster im Reiter auf ‚Messkanäle‘ klicken und im Unterfenster unter dem Punkt ‚Messung‘ auf die Schaltfläche ‚Start‘ klicken.

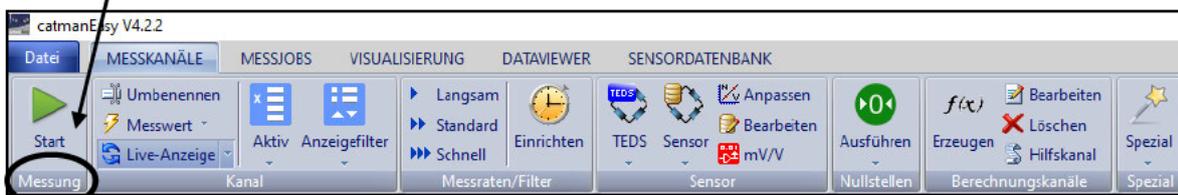


Abbildung 37: Darstellung zum Start des Programmablaufs

**Schritt 5:**

Ab hier startet der erste Versuch der ‚Berechnung von Leistung und Wirkungsgrad‘.

Im Fenster ‚Messjob starten‘ auf ‚Job 1‘ klicken und mit ‚Ausführen‘ bestätigen. Für den ersten Versuch zur Berechnung von Leistung und Wirkungsgrad ist nur Job 1 zu verwenden.

Job 2 wird im zweiten Versuch ‚Vergleiche der Messwerte bei Messwertfrequenzen von 1 Hz und 1000 Hz‘ verwendet, ebenso wie Job 1.

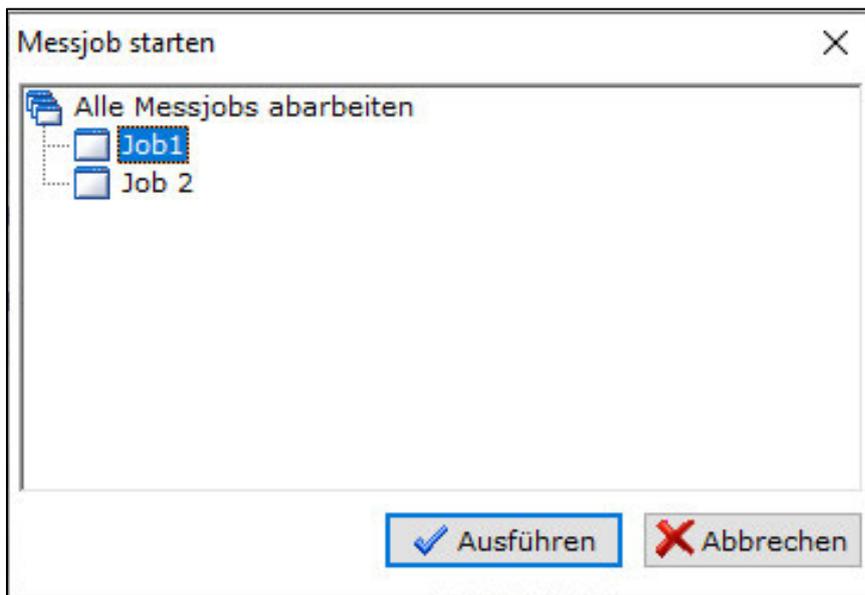


Abbildung 38: Auswahl für den Start des gewünschten Messjobs

**Schritt 6:**

Im folgenden Fenster im Unterfenster ‚Messung‘ auf die Schaltfläche ‚Stop‘ klicken.



Abbildung 39: Darstellung zum Stopp eines laufenden Programms

## **Schritt 7:**

Es öffnet sich das folgende Fenster unter der Bezeichnung ‚Ablage der Messdaten‘. Hier wird der Speicherort der Datei angezeigt und die jeweiligen Speicherorte werden zur Auswahl gestellt. Zusätzlich kann das Format ausgewählt werden. Mit der Schaltfläche ‚Messdaten jetzt ablegen‘ können die Daten in dem angegebenen Pfad abgelegt werden.

Ablage der Messdaten

Datei

Platzhalter C:\Users\MuT-Labor GP\Documents\HBM\catmanEasy\DATA\KonCP\_2023\_01\_16\_

Format ASCII Auflösung Auto

Alle gespeicherten Daten sichern Sicherungstiefe

Kommentar

[Hilfe zum Datenformat](#)

Versuchsparameter

	Name	Wert
1	Bearbeiter	
2	Abteilung	
3	Kommentar	
4		
5		
6		

Neuer Parameter Parameter löschen

Messdaten jetzt ablegen Messdaten verwerfen

Abbildung 40: Speicherung und Hinterlegung der aufgenommenen Werte

## **Schritt 8:**

Die abgelegte .txt-Datei in dem angegebenen Pfad von Schritt 7 öffnen und kopieren bzw. einfach in eine Excel-Datei ziehen.

Datei

Platzhalter C:\Users\MuT-Labor GP\Documents\HBM\catmanEasy\DATA\KonCP\_2023\_01\_16\_

Abbildung 41: Darstellung des Dateipfads

Mit Abbildung 41 soll verdeutlicht werden, wie die .txt-Datei aussieht, nachdem sie von catman Easy gespeichert wurde.

Zeit [s]	Langsame Messrate [s]	Drehzahl Antrieb [1/min]	Drehmoment Antrieb [Nm]	Drehzahl Abtrieb [1/min]	Drehmoment Abtrieb [Nm]	Leistung Antrieb [W]	Leistung Abtrieb [W]	Wirkungsgrad [%]
0	8.910	0.2585	0.02669	-0.03125	0.2412	0.000	-1.196	0.9330
1.000	38.09	0.2994	3.758	0.01405	1.194	0.0055	0.4642	3.989
2.000	71.38	0.3170	6.738	-0.06714	2.359	-0.04737	-2.095	7.475
3.000	101.69	0.3149	10.10	-0.1357	3.353	-0.1435	-4.262	10.65
4.000	136.09	0.3685	12.92	0.06903	5.019	0.09340	1.853	13.62
5.000	162.44	0.3732	15.43	0.07677	6.348	0.1143	1.876	17.01
6.000	194.95	0.3508	18.84	0.02633	7.145	0.05105	0.7441	20.41
7.000	218.46	0.3258	22.18	-0.4099	7.435	-0.9310	-12.20	22.88
8.000	248.32	0.4076	24.40	-0.04445	10.60	-0.1135	-1.078	26.00
9.000	282.90	0.4298	27.79	0.1442	12.71	0.4197	3.325	29.63
10.000	315.99	0.3858	31.85	-0.1674	12.68	-0.5443	-4.293	32.88
11.000	341.90	0.3968	33.85	-0.1616	14.21	-0.5731	-4.039	35.81
12.000	373.61	0.4626	36.40	0.4858	18.10	1.852	10.39	39.12
13.000	401.15	0.4783	39.65	0.5580	20.09	2.317	11.54	42.01
14.000	425.19	0.4370	42.62	-0.2761	19.46	-1.232	-6.250	44.53
15.000	461.00	0.4277	45.56	-0.5846	20.64	-2.789	-13.52	48.28
16.000	482.64	0.4470	47.50	-0.2444	22.59	-1.216	-5.488	50.54
17.000	482.36	0.4437	47.79	-0.1531	22.41	-0.7663	-3.413	50.51
18.000	482.10	0.4329	47.88	-0.3474	21.86	-1.742	-7.938	50.49
19.000	482.46	0.4228	47.82	-0.4640	21.36	-2.324	-11.06	50.52
20.000	483.29	0.4158	47.79	-0.4483	21.04	-2.243	-11.055	50.51
21.000	482.79	0.4397	47.62	-0.2518	22.23	-1.256	-5.664	50.56
22.000	481.47	0.4403	47.85	-0.1115	22.20	-0.5584	-2.504	50.42

Abbildung 42: Darstellung der gespeicherten ASCII-Datei

### Schritt 9:

Die Daten kopieren und in eine Excel-Datei einfügen bzw. in eine geöffnete leere Excel-Datei ziehen und bei Bedarf zusätzlich die im Programm catman Easy aufgezeichneten Diagramme markieren und kopieren; diese in die neu erstellte Excel-Datei einfügen oder durch die Daten der Excel-Datei selbst erstellen. Die nachfolgende Abbildung 43 dient der optischen Darstellung der abschließenden Excel-Datei. Der Inhalt ist an dieser Stelle nicht relevant.

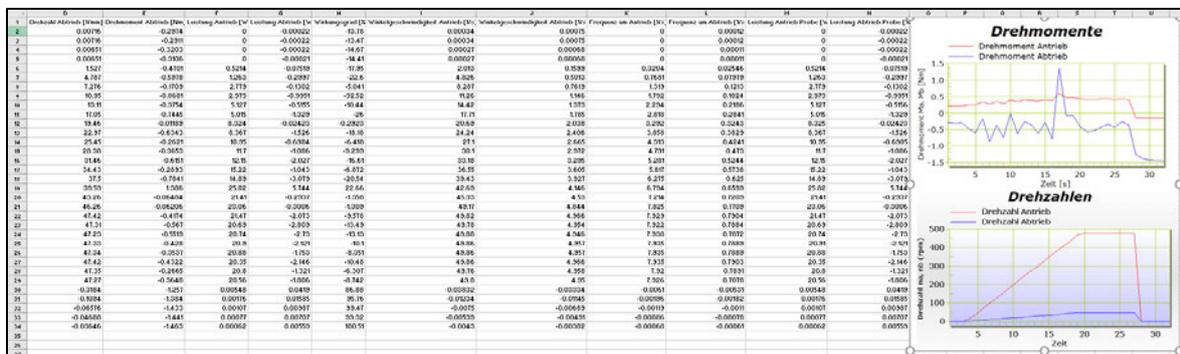


Abbildung 43: So sieht die am Ende entstehende Excel-Datei aus

Ab Schritt 10 beginnt der zweite Versuch, der ‚Vergleich der Messwerte bei unterschiedlichen Messfrequenzen bei 1 Hz und bei 1000 Hz‘.

**Schritt 10:**

Im Fenster ‚Messjobs starten‘ auf ‚Job 1‘ im Unterfenster ‚Jobliste‘ klicken und mit ‚Ausführen‘ bestätigen. Der Job mit 1 Hz Messfrequenz wird gestartet.

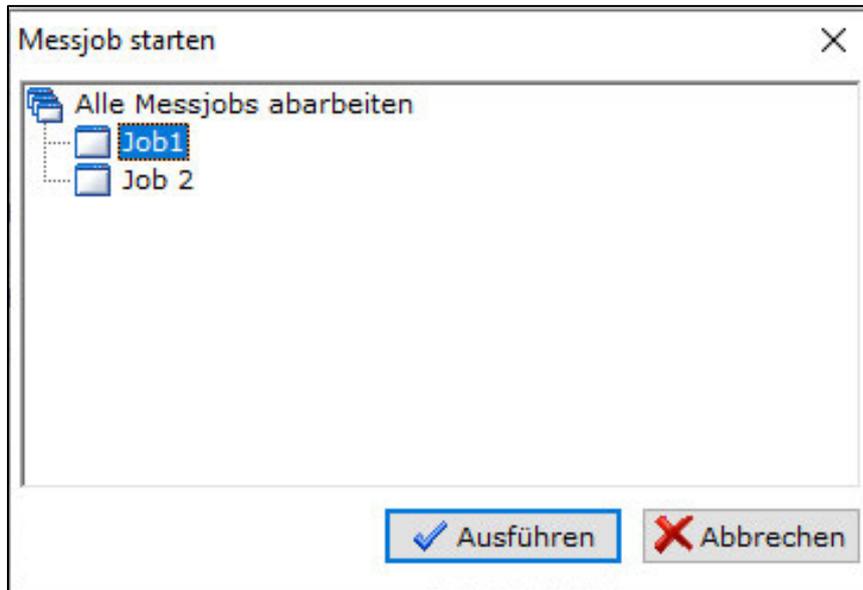


Abbildung 44: Auswahl des gewünschten Messjobs zum Start der ersten Messung

**Schritt 11:**

Wiederholung des vierten Schrittes (Start). Im folgenden Fenster im Reiter auf ‚Messkanäle‘ klicken und im Unterfenster unter dem Punkt ‚Messung‘ auf die Schaltfläche ‚Start‘.

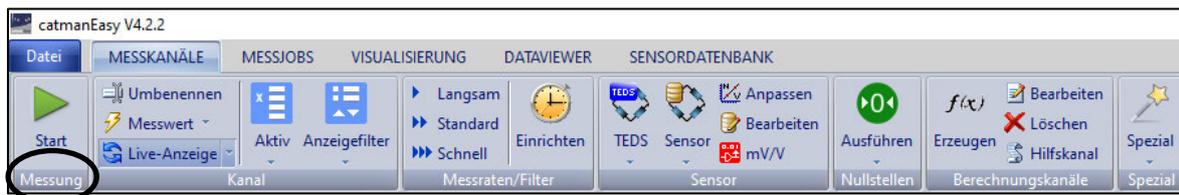


Abbildung 45: Darstellung zum Start eines Programmablaufs

**Schritt 12:**

Wiederholung des sechsten Schrittes (Stop). Im folgenden Fenster im Unterfenster ‚Messung‘ auf die Schaltfläche ‚Stop‘ klicken.



Abbildung 46: Darstellung zum Stopp eines laufenden Programms

**Schritt 13:**

Es öffnet sich das Fenster ‚Ablage der Messdaten‘. Hier wird der Speicherort der Datei angezeigt und angewählt. Zusätzlich kann das Format ausgewählt werden. Die Schaltfläche ‚Messdaten jetzt ablegen‘ muss angeklickt werden. Die Messdaten sind in dem angegebenen Pfad zu finden (siehe Schritt 7 und hier in Abbildung 47 schwarz umrandet).

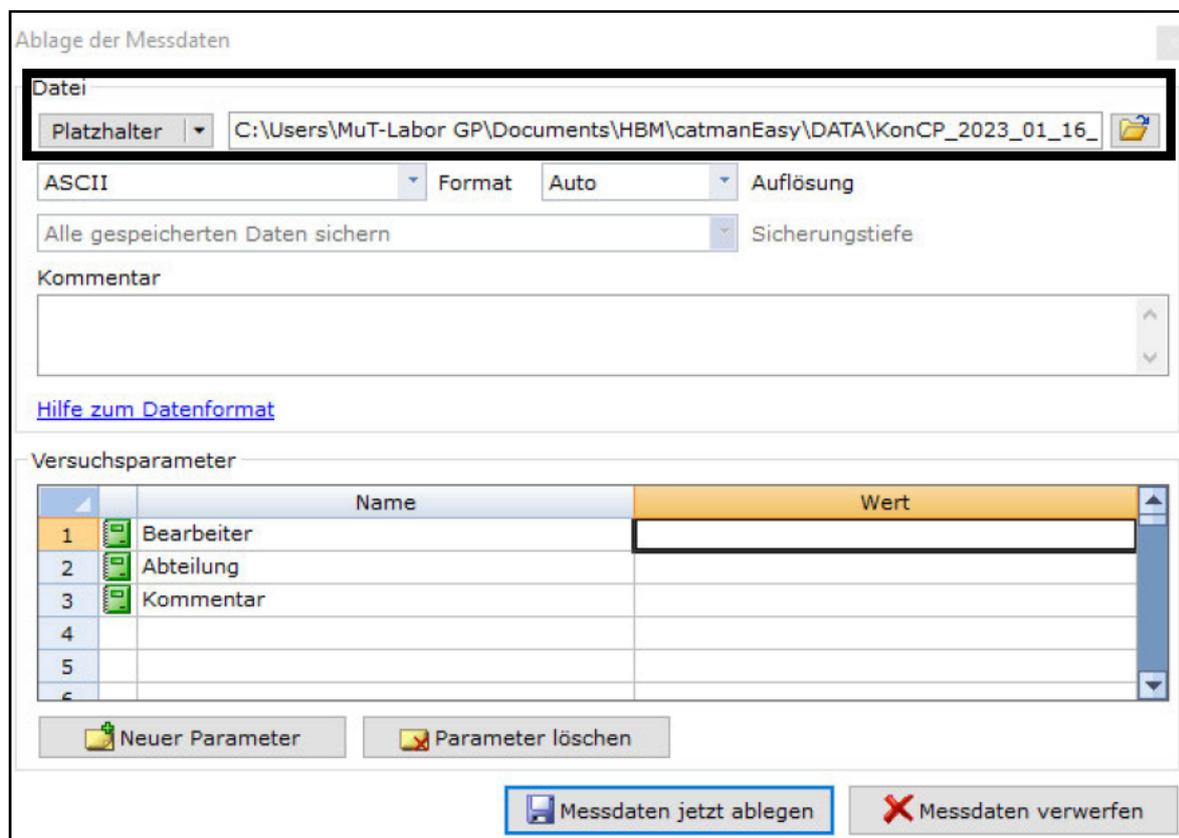


Abbildung 47: Darstellung zur Pfadsicherung

**Schritt 14:**

Im Fenster ‚Messjobs starten‘ auf ‚Job 2‘ klicken und mit ‚Ausführen‘ bestätigen. Der Job mit 1000 Hz Messfrequenz wird gestartet.

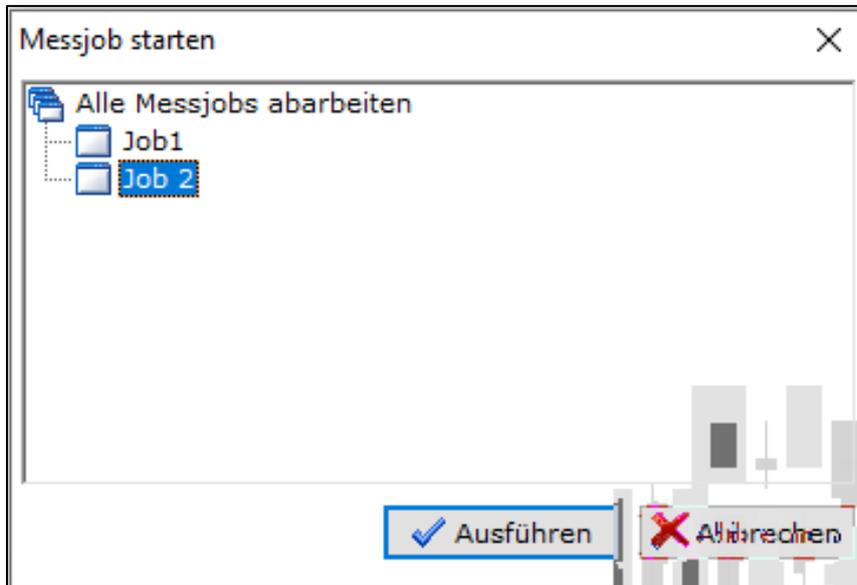


Abbildung 48: Auswahl des gewünschten Messjobs zum Start der zweiten Messung

**Schritt 15:**

Wiederholung des vierten Schrittes (Start). Im folgenden Fenster im Reiter auf ‚Messkanäle‘ klicken und im Unterfenster unter dem Punkt ‚Messung‘ auf die Schaltfläche ‚Start‘.

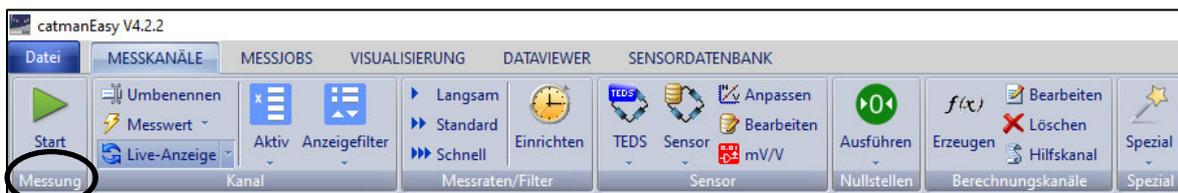


Abbildung 49: Darstellung zum Start eines Programmablaufs

**Schritt 16:**

Wiederholung des sechsten Schrittes (Stop). Im folgenden Fenster im Unterfenster ‚Messung‘ auf die Schaltfläche ‚Stop‘ klicken.



Abbildung 50: Darstellung zum Stopp eines laufenden Programms

**Schritt 17:**

Es öffnet sich das Fenster ‚Ablage der Messdaten‘. Hier wird der Speicherort der Datei angezeigt bzw. angewählt. Zusätzlich kann das Format ausgewählt werden. Die Schaltfläche ‚Messdaten jetzt ablegen‘ muss angeklickt werden. Die Messdaten sind in dem angegebenen Pfad zu finden (siehe Schritt 7 und hier in Abbildung 51 schwarz umrandet).

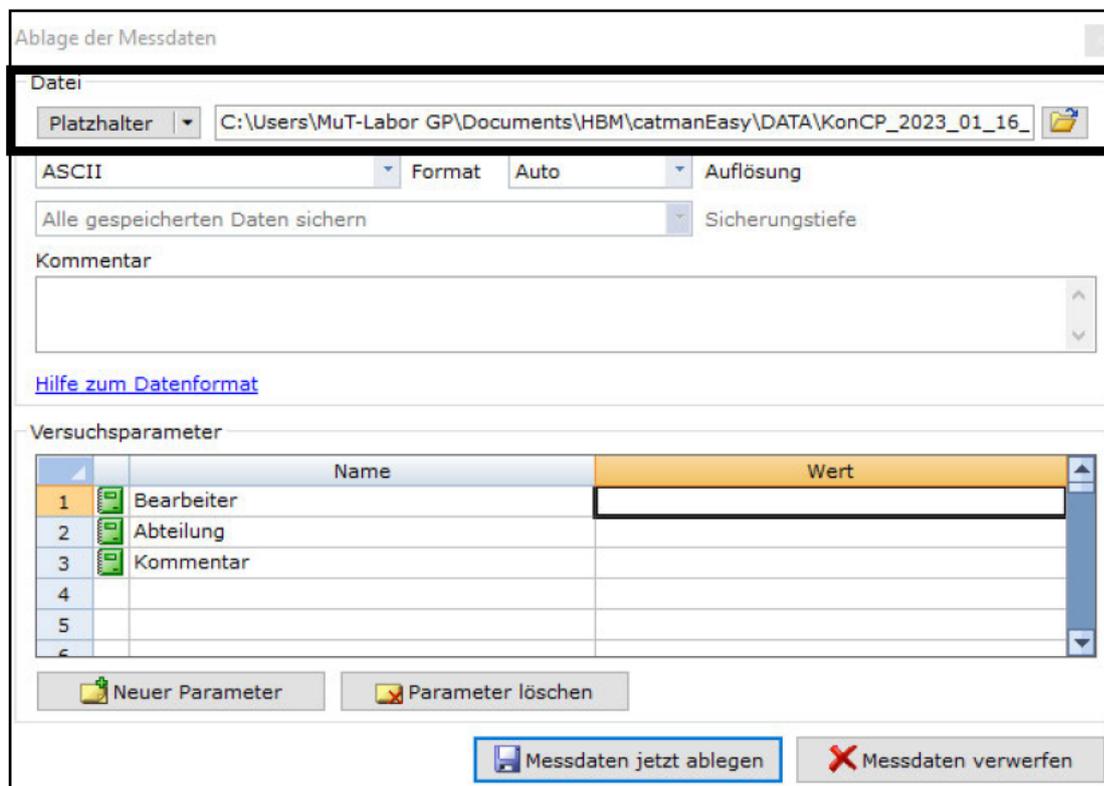


Abbildung 51: Darstellung zur Pfadsicherung

**Schritt 18:**

Die abgelegte .txt-Datei in dem angegebenen Pfad von Schritt 7 öffnen und kopieren bzw. einfach in eine Excel-Datei ziehen.



Abbildung 52: Darstellung des Dateipfads

**Schritt 19:**

Die Daten kopieren und in eine Excel-Datei einfügen; bei Bedarf zusätzlich die im Programm catman Easy aufgezeichneten Diagramme markieren, kopieren und in die neu erstellte Excel-Datei einfügen oder durch die Daten der Excel-Datei selbst erstellen. Mit der nachfolgenden Abbildung 53 soll dokumentiert werden, wie die Excel-Datei am Ende aussehen soll. Der Inhalt ist an dieser Stelle nicht relevant.

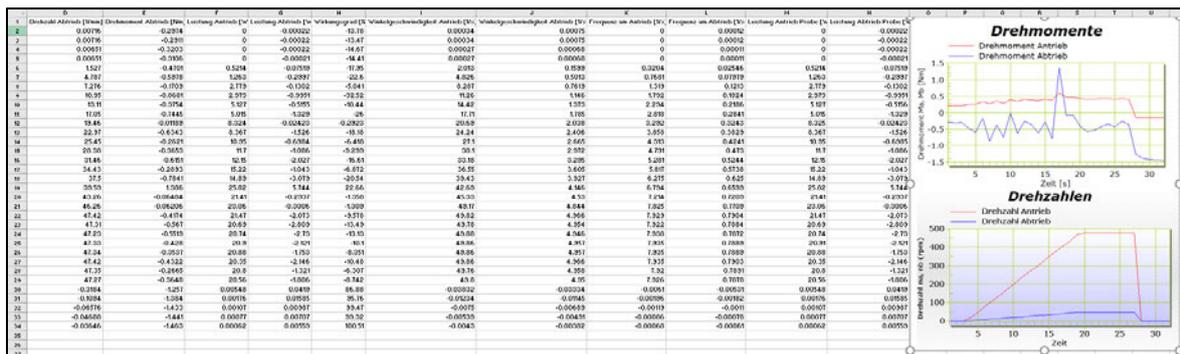


Abbildung 53: Aussehen der abschließenden Excel-Datei

## 6.4.2 Bedienungsanleitung der Software LabVIEW

### Schritt 1:

Die Software LabVIEW öffnen (auf dem Desktop ist auf der Taskleiste die Verknüpfung vorhanden).



Abbildung 54: Darstellung zum Starten der Software LabVIEW auf der Taskleiste des Desktops

### Schritt 2:

Im geöffneten Fenster ‚LabVIEW‘ die gewünschte Datei anklicken und laden; auszuwählen ist die Datei ‚GetSingleMeasurement5neu2023.vi‘

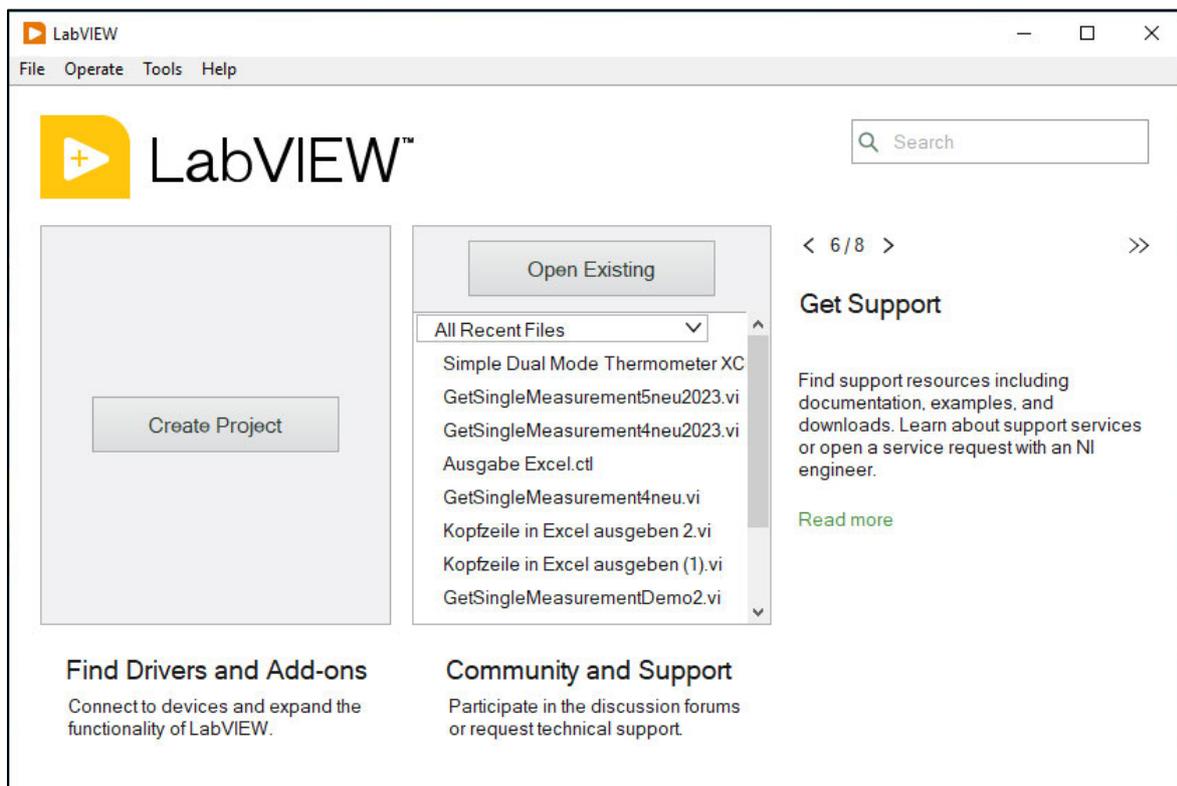


Abbildung 55: Die Auswahlmaske zum Öffnen eines beliebigen Programms





**Schritt 6:**

Ein weiteres Fenster ‚Select signals‘ öffnet sich; hier die Signale T20WN 20 Nm, T20WN 100 Nm, T12 20 Nm RPM und T12 100 Nm RPM mit einem Haken markieren und die Schaltfläche ‚Adopt selected signals‘ anklicken. Das Programm läuft.

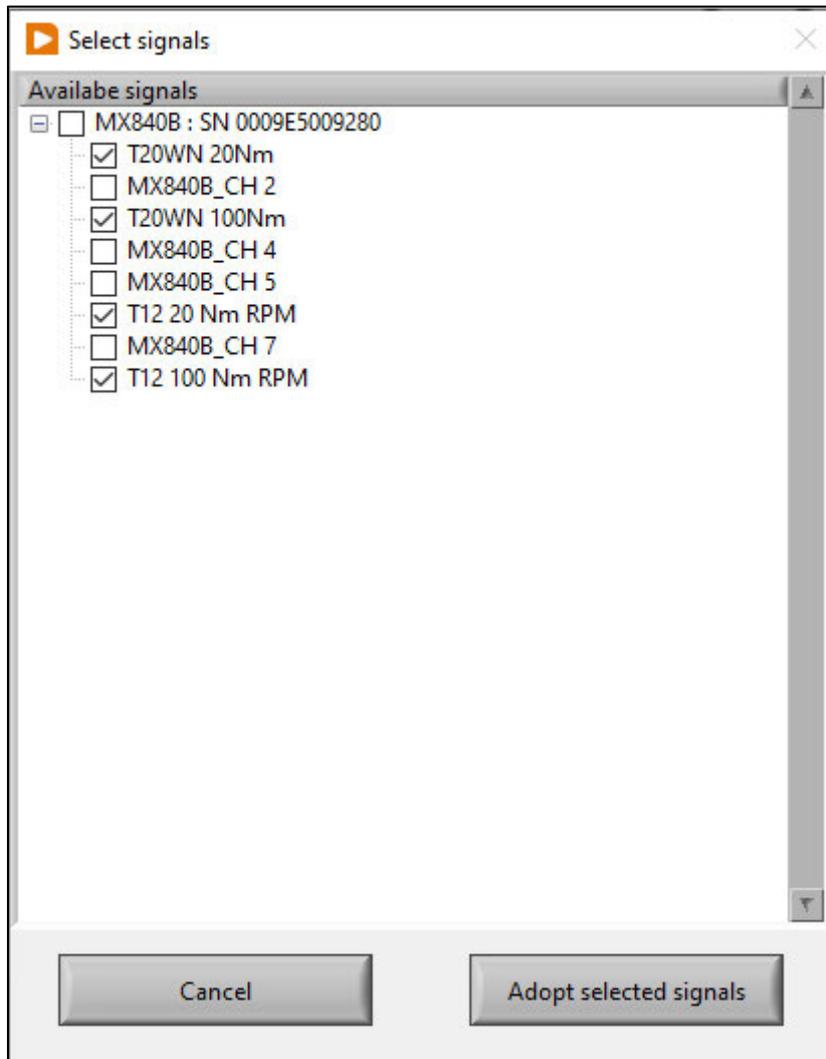


Abbildung 59: Auswahl der Signale, die von den Messwellen abgerufen werden sollen

### **Schritt 7:**

Nach Ablauf der gewünschten Zeit muss die Schaltfläche ‚Exit‘ angeklickt werden, die Daten werden automatisch in eine Datei gespeichert.

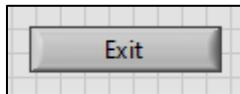


Abbildung 60: Darstellung zum Stopp eines laufenden Programms

### **Schritt 8:**

Jetzt wird die abgespeicherte Datei in eine Excel-Datei kopiert bzw. eingefügt. Die erstellte Datei ist unter folgendem Pfad zu finden, als .txt Datei mit Datum und Uhrzeit:



Abbildung 61: Unter diesem Pfad sind alle aufgenommenen Versuche gespeichert und auffindbar

## **6.5 Störung bzw. Fehlerbehebung**

***An dieser Stelle wird auf die vorhandene Bedienanleitung „Anleitung zur Inbetriebnahme des Getriebeprüfstands im Labor für Maschinenelemente und Tribologie“ hingewiesen.***

Wenn die Programme keine Messdaten aufnehmen:

- überprüfen, ob der Transformator angeschaltet ist.
- sicherstellen, dass alle vier Leuchten an dem Messverstärker QuantumX MX840B grün aufleuchten, und die Verbindung der Messwellen mit dem Messverstärker überprüfen.

Wenn beim Start des Softwaretools eine Fehlermeldung auftritt:

- überprüfen, ob eine Verbindung zwischen dem Rechner und dem Messverstärker besteht.
- sicherstellen, dass der Messverstärker überhaupt eingeschaltet ist.

Wenn sich der Getriebeprüfstand nicht einschalten lässt:

- kontrollieren, ob der Haupt-FI-Schalter am Schaltschrank ausgelöst hat.
- überprüfen, ob der Notausschalter betätigt wurde.

## 6.6 Deinstallation von catman Easy und LabVIEW:

Um die Software zu deinstallieren, muss die Liste der installierten Windows-Anwendungen geöffnet werden. Dieses Fenster kann über **Systemsteuerung -> Programme und Funktionen** im Windows Startmenü unter **Einstellungen -> Systemsteuerung -> Software** geöffnet werden. Dort kann die Anwendung catman Easy ausgewählt und deinstalliert werden. **[10] (vgl. MANUALZZ; 2023; Zugriff: 02.02.2023)**

Hier ist zu beachten, dass erstellte Dateien der Anwendung nicht gelöscht werden. Nur das Programm selbst wird deinstalliert. **[10] (vgl. MANUALZZ; 2023; Zugriff: 02.02.2023)**

Dies bedeutet, alle weiteren Anwendungen, die zu der Software gehören, werden nicht entfernt und müssen einzeln deinstalliert werden. Gleiches gilt für dazugehörige Treiber für beispielsweise Schnittstellen. **[10] (vgl. MANUALZZ; 2023; Zugriff: 02.02.2023)**

Die Deinstallation funktioniert für LabVIEW genauso wie für catman Easy.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

### 7.1 Zusammenfassung

Die Zielvorstellung dieser Bachelorthesis bestand darin, anhand verschiedener Softwaretools ein geeignetes Konzept zur Berechnung der Antriebs- und Abtriebsleistungen sowie des Wirkungsgrads zu entwickeln. Zusätzlich sollten die berechneten Daten in einer Tabellenkalkulations-Datei importiert und ausgegeben werden.

Eine weitere Zielsetzung war, einen Vergleich zwischen zwei verschiedenen Messwertfrequenzen darzustellen. Diese Versuche sollten bei 1 Hz und bei 1000 Hz Messfrequenz durchgeführt werden, um einen deutlicheren Überblick über die Vorgänge beim Anfahren des Getriebeprüfstands zu erlangen.

Zudem sollte der Versuch ein weiteres Mal durchgeführt werden, jedoch mit dem wesentlichen Unterschied, dass bei diesem zweiten Versuch die Vorzögerungseffekte vernachlässigt werden sollten. Dies bedeutet, dass der Motor nicht mit einer kontinuierlichen Geschwindigkeit verzögern, sondern direkt aus dem vollen Schwung abbremsen sollte. In den Abbildungen 32 und 33 wurde dieser Vergleich anschaulich dokumentiert.

Das abschließende Ziel dieser Bachelorthesis war, zu den beiden verschiedenen Softwaretools eine Bedienungsanleitung zu erstellen. Diese Softwaretools sollten zum einen catman Easy und zum anderen LabVIEW sein. Sie wurden im ersten Kapitel dieser Abschlussarbeit erläutert. Mit einer Vergleichstabelle und dem Kapitel 3 „Auswahl eines geeigneten methodischen Lösungsverfahrens“ wurde ermittelt, welche dieser Softwares am besten geeignet wäre, um die gewünschten Anforderungen aus den Entwicklungsteilen 1 bis 3 zu erfüllen. Zudem wurde noch ein Datenflussdiagramm von dem Getriebeprüfstand mit allen verbundenen Komponenten erstellt.

Die wichtigsten Erkenntnisse dieser Bachelorarbeit sind, dass Die Softwarelösung catman Easy am geeignetsten ist, dieses ist in der Vergleichstabelle sowie in der Nutzwertanalyse zu entnehmen. Die zweit beste Lösung in der Vergleichstabelle ist, Matlab/Simulink diese ist wiederum in der Nutzwertanalyse die mit den wenigsten Punkten. Die Softwarelösung LabVIEW ist in der Vergleichstabelle die mit den wenigsten Punkten, aber in der Nutzwertanalyse ist sie die zweit beste. Des Weiteren sind in dieser Abschlussarbeit alle Aufgabenteile, die in der Aufgabenstellung angegeben sind, erfolgreich durchgeführt.

## 7.2 Ausblick

Zum Abschluss dieser Bachelorthesis werden noch einige Vorschläge bzw. Empfehlungen für künftige Projekte, Hausarbeiten oder auch Abschlussarbeiten zu dem Getriebeprüfstand des IKP-Labors dargestellt, die im Rahmen dieser Arbeit weder zeitlich noch inhaltlich realisierbar waren.

Da sich die Magnetpulverbremse bei längerer Laufzeit erhitzt, sollte das vorhandene Thermostat entweder repariert oder komplett ausgetauscht werden. Das Thermostat funktioniert zwar, aber die Kühlung ist nicht ausreichend für die vorhandene Magnetpulverbremse.

Zusätzlich könnte das Thermostat hier ein akustisches Signal ausgeben, wenn eine bestimmte Temperatur erreicht wird. Es könnte ebenso eine Warninformation ausgegeben werden, wenn die Kühlung zu schwach ist. Hier bestünde somit die Möglichkeit, selbst die Kühlung zu regulieren, um einen Versuchsabbruch zu vermeiden.

Des Weiteren muss die Software für die Magnetpulverbremse richtig eingestellt werden. Die vorhandene Dokumentation ist nicht aussagekräftig genug. Auf mehrmalige Nachfrage bei der Firma Liedtke bezüglich einer ausführlicheren Dokumentation waren keine aussagekräftigen Antworten zu erhalten bzw. es wurde auf andere Mitarbeiter verwiesen.

Um eine LabVIEW-Anbindung für die Magnetpulverbremse zu erhalten, wurde empfohlen, den Messverstärker von Liedtke an die Firma zu schicken. Dort soll eine zusätzliche Schnittstelle eingebaut werden, um den Messverstärker mit einer LabVIEW-Anbindung auszustatten. Das LabVIEW-Programm muss komplett selbst erstellt werden, da die Firma Liedtke keines vorprogrammiert hat. Ein Beispiel für ein vorprogrammiertes Programm von HBM ist in dieser Arbeit im Kapitel Entwicklungsteil 1 zu finden.

Im Kapitel 2 wurde zusätzlich ein Beispielprogramm dargestellt, dass es ermöglicht eine Optimierung des Motors durchzuführen. Da in diesem Teil neue Quellen vorhanden sind und diese nicht in den Ausblick dürfen ist ein zusätzliches Unterkapitel in Kapitel 2 erstellt worden. Dieses würde im Zusammenhang mit dem Datenflussdiagramm vorteilhafter in das Kapitel 2 gehören.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] K. Reim, LabVIEW-Kurs Grundlagen, Aufgaben, Lösungen, Würzburg: Vogel Business Media GmbH, 2017.
- [2] M. Paulweber und K. Lebert, Mess- und Prüfstandstechnik Antriebsstrangentwicklung Hybridisieren Elektrifizierung, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014.
- [3] C. Meiwald und M. von der Crone, LabVIEW für Dummies, Weinheim: Wiley-VCH GmbH, 2022.
- [4] H. P. D. I. Hoder, *Vorlesungsskript Methodische Produktentwicklung*, 2017.
- [5] P. Giesecke, Industrielle Meßtechnik Entwicklung analoger und PC-gestützter Meßschaltungen, Heidelberg: Hüthig GmbH, 1999.
- [6] O. Beucher, MATLAB und Simulink Eine kursorientierte Einführung, Heidelberg: Hüthig Jehle Rehm GmbH, 2013.
- [7] O. Verf., „HBM-Homepage,“ 07 11 2022. [Online]. Available: [https://www.hbm.com/de/2290/catman-messtechnik-software/?product\\_type\\_no=Datenerfassungssoftware%20catman](https://www.hbm.com/de/2290/catman-messtechnik-software/?product_type_no=Datenerfassungssoftware%20catman) - [07.11.2022]. [Zugriff am 07 11 2022].
- [8] O. Verf., „HBM-Homepage - [Zugriff: 05.11.2022],“ [Online]. Available: <https://www.hbm.com/de/9825/faqs-catman-visualisierung-und-aufzeichnung/> [Zugriff: 05.11.2022].
- [9] O. Verf., „Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH-Homepage - [Zugriff: 05.11.2022],“ [Online]. Available: <https://www.i-need.de/?Produkt=7985> - [Zugriff: 05.11.2022].
- [10] O. Verf., „MANUALZZ the universal manuals library,“ 2023. [Online]. Available: <https://manualzz.com/doc/de/4581811/catmaneasy-ap-kurzanleitung-quick-start-guide-guide-rapide> - [02.02.2023]. [Zugriff am 02 02 2023].
- [11] O. Verf., „MathWorks-Homepage,“ 05 11 2022. [Online]. Available: [https://de.mathworks.com/pricing-licensing.html?intendeduse=comm&s\\_tid=htb\\_learn\\_gtwy\\_cta1](https://de.mathworks.com/pricing-licensing.html?intendeduse=comm&s_tid=htb_learn_gtwy_cta1) - [05.11.2022]. [Zugriff am 15 11 2022].

- [12] O. Verf., „MathWorks-Homepage,“ 05 11 2022. [Online]. Available: <https://de.mathworks.com/products/simulink-coverage.html> - [05.11.2022]. [Zugriff am 05 11 2022].
- [13] O. Verf., „MathWorks-Homepage,“ 05 11 2022. [Online]. Available: <https://de.mathworks.com/solutions/robotics/robot-manipulators.html> - [05.11.2022]. [Zugriff am 05 11 2022].
- [14] O. Verf., „MathWorks-Homepage,“ 05 11 2022. [Online]. Available: <https://de.mathworks.com/help/matlab/referencelist.html?type=function> - [05.11.2022]. [Zugriff am 05 11 2022].
- [15] O. Verf., „MathWorks-Homepage,“ 05 11 2022. [Online]. Available: [https://de.mathworks.com/help/matlab/learn\\_matlab/plots.html](https://de.mathworks.com/help/matlab/learn_matlab/plots.html) - [05.11.2022]. [Zugriff am 05 11 2022].
- [16] O. Verf., „MathWorks-Homepage,“ 05 11 2022. [Online]. Available: [https://de.mathworks.com/help/matlab/creating\\_plots/plotting-with-two-y-axes.html](https://de.mathworks.com/help/matlab/creating_plots/plotting-with-two-y-axes.html) - [05.11.2022]. [Zugriff am 05 11 2022].
- [17] O. Verf., „MathWorks-Homepage,“ 05 11 2022. [Online]. Available: <https://de.mathworks.com/company/newsletters/articles/real-time-simulation-of-physical-systems-using-simscape.html> - [05.11.2022]. [Zugriff am 05 11 2022].
- [18] O. Verf., „MathWorks-Homepage,“ 05 11 2022. [Online]. Available: <https://de.mathworks.com/discovery/frequency-analysis.html> - [05.11.2022]. [Zugriff am 05 11 2022].
- [19] O. Verf., „MathWorks-Homepage,“ 05 11 2022. [Online]. Available: <https://de.mathworks.com/help/matlab/data-import-and-export.html> - [11.05.2022]. [Zugriff am 05 11 2022].
- [20] O. Verf., „Docplayer-Homepage,“ 05 11 2022. [Online]. Available: <https://docplayer.org/24764853-Labview-mathematische-operationen.html> - [05.11.2022]. [Zugriff am 05 11 2022].
- [21] O. Verf., „Messweb,“ 11.11.2020. [Online]. Available: <https://www.messweb.de/hbk-datenerfassungssoftware-catman-einfach-zum-ergebnis>. [Zugriff am 02 02 2022].
- [22] O. Verf., „NI-Homepage (National Instruments),“ 05 11 2022. [Online]. Available: <https://www.ni.com/docs/de->

- DE/bundle/labview/page/lvwave/limit\_specification.html - [Zugriff: 05.11.2022].  
[Zugriff am 05 11 2022].
- [23] O. Verf., „NI-Homepage (National Instruments),“ 05 11 2022. [Online]. Available:  
<https://www.ni.com/de-de/shop/labview> - [05.11.2022]. [Zugriff am 05 11 2022].
- [24] O. Verf., „NI-Homepage (National Instruments),“ 05 11 2022. [Online]. Available:  
[https://www.ni.com/docs/de-DE/bundle/labview/page/lvhowto/exporting\\_simplified\\_images.html](https://www.ni.com/docs/de-DE/bundle/labview/page/lvhowto/exporting_simplified_images.html) - [05.11.2022].  
[Zugriff am 05 11 2022].
- [25] O. Verf., „NI-Homepage (National Instruments),“ 05 11 2022. [Online]. Available:  
<https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA03q000000YH2MCAW&l=de-DE> - [05.11.2022]. [Zugriff am 05 11 2022].
- [26] O. Verf., „NI-Homepage (National Instruments),“ 05 11 2022. [Online]. Available:  
<https://www.ni.com/de-de/support/documentation/supplemental/21/frequency-measurements-how-to-guide.html#section-1872923095> - [Zugriff: 05.11.2022]. [Zugriff am 05 11 2022].
- [27] O. Verf., „NI-Homepage (National Instruments),“ 05 11 2022. [Online]. Available:  
[https://www.ni.com/docs/de-DE/bundle/labview/page/lvprop/virefnum\\_m.html](https://www.ni.com/docs/de-DE/bundle/labview/page/lvprop/virefnum_m.html) - [Zugriff: 05.11.2022]. [Zugriff am 05 11 2022].
- [28] O. Verf., „WEKA CE-Kennzeichnung,“ 22. Dezember 2022. [Online]. Available:  
<https://www.weka-manager-ce.de/betriebsanleitung/erstellen-von-anleitungen-neue-din-en-82079-1/>. [Zugriff am 02 02 2023].
- [29] P. D. Kröber, „HS Koblenz,“ 28 02 2023. [Online]. Available: [https://www.hs-koblenz.de/fileadmin/media/fb\\_ingenieurwesen/MT/Laboratorien/Regelungstechnik\\_Labor/Versuch\\_3.pdf](https://www.hs-koblenz.de/fileadmin/media/fb_ingenieurwesen/MT/Laboratorien/Regelungstechnik_Labor/Versuch_3.pdf).

## Eigenständigkeitserklärung

### Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorstehende Bachelorthesis mit dem Titel

***Entwicklung einer Softwarelösung zur Steuerung eines Getriebeprüfstands und zur Auswertung der Messdaten***

– bzw. im Falle einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – selbstständig ohne fremde Hilfe gefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Ort, Datum, Unterschrift