



Jakob Anton Josef Troger, BSc

Entwicklung eines Motorenprüfstands für Antriebe der Materialflusstechnik

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur
(Dipl.-Ing.)

Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

DI Thomas Stöhr
Ass. Prof. DI Dr.techn. Norbert Hafner

Institut für Technische Logistik

Graz, Januar 2017

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

Datum

Unterschrift

Danksagung

Diese Masterarbeit wurde in der Zeit von 10.2015 bis 01.2017 am Institut für Technische Logistik an der Technischen Universität Graz verfasst.

Besonderer Dank gilt hier Herrn Ass. Prof. DI Dr. Norbert Hafner, sowie Herrn Dipl.-Ing. Thomas Stöhr für die zahlreichen Hilfestellungen sowie die zeitaufwendige Betreuung der Masterarbeit. Danken möchte ich auch allen Mitarbeitern am Institut für Technische Logistik, an dem ich auch als Studienassistent tätig war, und dort immer positiv aufgenommen wurde, im speziellen jedoch gebührt mein Dank Herrn Stefan Kügerl und Herrn Stefan Kratochwill, die mir immer mit Rat und Tat im Bereich der Labortechnik und Fertigung zur Seite standen.

Ein besonders großer Dank gilt meiner Familie und Freunden, die mich immer unterstützten, und mir diese Ausbildung ermöglicht haben.

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung, Konstruktion und Inbetriebnahme eines modularen Antriebssystemprüfstandes zur Wirkungsgradmessung verschiedener Antriebssysteme der Materialflusstechnik. In dem laufenden Forschungsprojekt „Energieeffizienz komplexer Materialflusssysteme“ am Institut für Technische Logistik der Technischen Universität Graz werden umfangreiche Untersuchungen zur Bewertung der Energieeffizienz von einzelnen Komponenten der Materialflusstechnik bis hin zu komplexen und vernetzten Intralogistikanlagen durchgeführt. Als Teil dieses Forschungsprojektes soll diese Arbeit fundierte Ergebnisse zur Effizienzbewertung unterschiedlicher Antriebssysteme ermöglichen.

Die Rahmenbedingungen wurden über einen Anforderungskatalog bestimmt. Grundgedanke für die Wirkungsgradermittlung ist die Messung und Gegenüberstellung der effektiven mechanischen Leistung und der aufgenommenen elektrischen Wirkleistung. In Zusammenarbeit mit den Industriepartnern wurden vorab Versuchsabläufe erarbeitet, um die genauen Leistungsmerkmale für Messtechnik und Steuerung zu definieren. Nach Konstruktion, Beschaffung und Fertigung der notwendigen Komponenten wurde eine Drehmoment- und Drehzahlregelung in die Prüfstandsteuerung implementiert um den Versuchsabläufen zu genügen.

Neben der Auswahl der geeigneten Messhardware wurde für die messtechnischen Untersuchungen ein Setup entwickelt, welches übersichtlich alle wesentlichen Daten und Kennzahlen beinhaltet. Um gesicherte Messergebnisse zu erhalten wurden die Messketten der Drehmoment-, Drehzahl- und elektrischen Leistungsmessung validiert.

Abschließend wurde an einem Antriebssystem eine Testmessung in Form eines Warmlaufversuchs sowie einer Aufnahme einer Wirkungsgradlinie durchgeführt und ausgewertet. Das Ergebnis zeigte einen charakteristischen Verlauf. In Verbindung mit der Validierung der Messketten kann der gesamte Prüfstand als validiert für Messungen an anderen Antriebssystemen angesehen werden.

Abstract

This thesis deals with development, construction and bringing into service of a modular drive system test-bench for research in energy efficiency of drive systems in material flow systems. In the ongoing research project „energy efficiency of complex material flow systems“ at the Institute of Logistics Engineering at the Technical University of Graz, extensive analysis for the evaluation of energy efficiency of single components of material flow systems up to complex and networked distribution centers is carried out. As part of this research project, this thesis should contribute to enable well-grounded results in efficiency testing of different drive systems.

The basic parameters were set by a requirement catalog. The fundamental idea for the efficiency identification is the measurement and comparison of the effective mechanical power and the absorbed electrical active power. In collaboration with the industry partners, the testing procedures were gathered in advance, to define the exact characteristics for measurement instrumentation and test-bench controls. After construction, acquisition and production of all required components a regulation for torque and drive was implemented in the test-bench controls.

Besides the selection of suitable measurement hardware, a setup for the measurement software was developed, in which all substantial data and characteristic numbers were included. To get secured measurement data the measurement chains of torque, drive and electrical power were validated individually.

For completion a testing measurement on a drive system was carried out and analyzed in form of a warmup test and recording of an efficiency line. The outcome showed a characteristic course. In connection with the validation of the measurement chains, the whole test-bench as a system can be seen validated for measurements on other drive systems.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Das Projekt EEkMFS.....	2
1.2	Problemstellung im Projekt	3
1.3	Zielformulierung.....	4
2	Vorgehensweise	6
2.1	Lastenheft	6
2.1.1	Prüflinge.....	8
2.1.2	Messgrößen	9
2.1.2.1	Mechanische Messgrößen	10
2.1.2.2	Elektrische Messgrößen	11
2.1.2.3	Anforderungen an die Messeinrichtungen.....	12
2.2	Versuchsablauf	12
2.2.1	Ableitung von Versuchsabläufen.....	14
2.2.1.1	Warmlaufversuch	14
2.2.1.2	Stufenversuch.....	16
3	Umsetzung am Prüfstand	17
3.1	Bestandsaufnahme	17
3.2	Konstruktion Gesamtprüfstand.....	19
3.3	Komponenten des Prüfstands.....	21
3.3.1	Belastungseinrichtung	22
3.3.1.1	Synchron-Servomotor Hauser HBMR 142 E6-130S	22
3.3.1.2	Planetengetriebe Stöber P501-PV-0100-MQ36.....	23
3.3.1.3	Frequenzumrichter Hauser Servax M500	24
3.3.2	Drehmomentmesswelle HBM T20WN	25
3.3.3	Ausgleichskupplungen	26
3.3.3.1	HBM Faltenbalgkupplung.....	27
3.3.3.2	Schmidt Semiflex C70	28

3.3.3.3	KTR Elastomere Klauenkupplung Rotex 28	28
3.3.4	NI DAQ-Karte CB-68LPR.....	29
3.3.5	Induktiver Sensor Visolux NT10 2084/33KS4.....	29
3.4	Prüfstands – Steuerung	30
3.4.1	Lastmomentvorgabe mittels LabView.....	30
3.4.1.1	Steuerung – Manuelle Vorgabe	32
3.4.1.2	Drehmomentregelung.....	33
3.4.1.3	Drehzahlregelung.....	33
3.5	PC-Messsystem.....	34
3.5.1	Messhardware.....	34
3.5.2	Messsoftware.....	35
3.5.3	Mess-Setup.....	37
3.5.3.1	Kanalsetup – analoge Kanäle	39
3.5.3.2	Kanalsetup – Counter/Encoder	41
3.5.3.3	Kanalsetup – mathematische Kanäle	42
3.5.4	Auswertung der Messdaten	43
4	Testmessungen.....	45
4.1	Validierung der Messketten	46
4.1.1	Messkette Drehmomentmessung	46
4.1.2	Messkette elektrische Leistung.....	47
4.1.3	Messkette Drehzahlmessung	49
4.2	Versuchsaufgabe.....	49
4.3	Versuchsdurchführung.....	49
4.3.1	Warmlaufversuch	51
4.3.2	Aufnahme Wirkungsgradlinie.....	51
4.4	Ergebnisse und Auswertungen der Testmessungen.....	51
4.4.1	Warmlaufversuch	52
4.4.2	Aufnahme Wirkungsgradlinie.....	54
5	Fazit und Ausblick	57
6	Verzeichnisse	59
6.1	Literaturverzeichnis	59

6.2	Abbildungsverzeichnis	60
6.3	Tabellenverzeichnis	61
7	Anhang.....	63
7.1	Bild des Prüfstands.....	63
7.2	Datenblätter	63
7.3	Fertigungszeichnungen.....	73
7.4	Inbetriebnahme Anleitung.....	86
7.4.1	Inbetriebnahme Prüfstand.....	86
7.4.1.1	Funktion – prinzipieller Aufbau	86
7.4.1.2	Inbetriebnahme – Vorgehensweise	87
7.4.1.2.1	Lastmotor Hauser HBMR 142 E6-130S.....	87
7.4.1.2.2	Drehzahl-/Drehmomentregler Hauser Servax M.....	87
7.4.1.2.3	DAQ-Karte National Instruments CB-68LPR.....	89
7.4.1.2.4	LabView – Steuerung/Regelung.....	90
7.4.1.2.5	Drehmomentmesswelle HBM T20WN inkl. Kupplungen.....	96
7.4.1.2.6	Induktiver Sensor Visolux NT10 2084/33KS4.....	97
7.4.1.2.7	Leistungsmessgerät Dewetron DEWE 800	97
7.4.1.2.8	Anschlussplan.....	98
7.4.2	Prüflinge.....	99
7.4.2.1	Ohne Frequenzumrichter / Starr am Netz.....	99
7.4.2.2	Externer Frequenzumrichterbetrieb (SEW Movimot)	100
7.4.2.3	Integrierter Frequenzumrichter	100
7.5	Dateienverzeichnis zum Anhang	101

Abkürzungen

EEkMFS	Energieeffizienz komplexer Materialflusssysteme
effMFS	Energieeffizienz von Materialflusssystemen
ATS	Antriebssystem Sonderprüfstand
MFS	Materialflusssystem
FFG	Forschungsförderungsgesellschaft
ITL	Institut für Technische Logistik

1 Einleitung

Die Ursachen und Auswirkungen des Klimawandels beschäftigen uns als Gesellschaft in zunehmendem Maße. Die UN-Weltklimakonferenz 2015 in Paris sieht eine Reduktion der Nettotreibhausgasemission bis 2060 auf null vor, um die Weltweite Klimaerwärmung unter 2°C zu halten ([EK15]). Die Gesellschaft hat eine zunehmende Sensibilität für diese Veränderungen entwickelt, und gestaltet auch danach ihre Konsumkultur. Somit sind alle energieintensiven Industrien, Gewerke und Prozesse gefordert, ihren Energieverbrauch stark zu reduzieren. Die Zunahme des Warenverkehrs stellt auch die Logistikbranche vor neue Herausforderungen. Die Logistik und Transportwirtschaft wird zunehmend als Verursacher gesehen. Die Transportwirtschaft versucht mit immer sparsameren und effizienteren Transportmitteln ihren Beitrag zu leisten. Die Gebäudetechnik in Distributionszentren kann auf moderne Klima-, Heizungs- und Beleuchtungssysteme zurückgreifen, während dies in der Intralogistik oder Materialflusstechnik nur begrenzt möglich ist (vgl. Abbildung 1). Im außerbetrieblichen Bereich schlagen sich die Energiekosten hauptsächlich in Kosten für Treibstoff nieder. Im innerbetrieblichen entfällt ein Großteil der Kosten auf elektrischen Strom. Nicht zuletzt aufgrund der Entwicklung des Industriestrompreises – auf das 2,5-fache seit 2000 ([BDE13]) – sind Hersteller und Kunden der Intralogistik-Industrie aus rein rational wirtschaftlichen Gründen zu einer Verbesserung der Energieeffizienz angehalten. Die Hauptanstrengungen zur Verbesserung der Effizienz in der Materialflusstechnik müssen von den Herstellern der Systeme selbst kommen. Dazu ist es erforderlich die Materialflusstechnik eines Distributionszentrums als Gesamtsystem bis hin zu einzelnen Antriebssystemen zu analysieren, und Verbesserungspotentiale zu erkennen. Genau hier setzt das Forschungsprojekt Energieeffizienz komplexer Materialflusssysteme (EEKMFS), welches in Kooperation mit SEW Eurodrive, SSI Schäfer, Anton Paar und dem Institut für Technische Logistik der TU Graz durchgeführt wird, an.

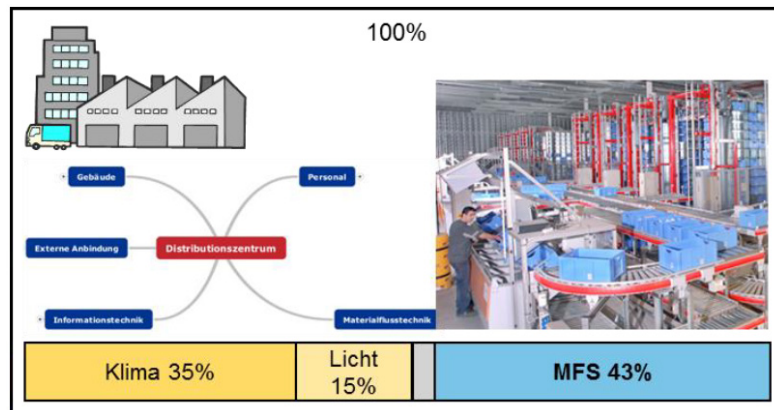


Abbildung 1 Anteil der Energiebedarfe in Logistikzentren ([KRA08])

1.1 Das Projekt EEkMFS

Das Projekt EEkMFS bildet den Anschluss an das 2014 abgeschlossene durch die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) geförderte Bridge-Projekt „Energieeffiziente Materialflusssysteme (effMFS)“. In dem im Februar 2014 abgeschlossenen Projekt wurden wertvolle Erkenntnisse für die Geräteebene gewonnen und aussagekräftige Kennzahlen erarbeitet, welche erstmals eine vergleichbare Bewertung der eingesetzten Systeme der Intralogistik auf Geräteebene ermöglichten ([LOT15]). Im Anschlussprojekt sollen nun von der Geräteebene weg bis hin zur Systemebene Belastungskollektive ermittelt werden und diese bis zu den Antriebssystemen heruntergebrochen werden (vgl. Abbildung 2). Zielstellung ist die Entwicklung eines Energieeffizienzrechners für Materialflusssysteme, welcher in der Lage ist die Gesamtenergieeffizienz von komplexen Materialflusssystemen zu Berechnen und Darzustellen. Dazu sind umfangreiche Untersuchungen von der Geräteebene bis hin zur Strukturebene notwendig (vgl. Abbildung 2). Es muss eine Methodik entwickelt werden, die es ermöglicht aus den von der Geräteebene bekannten Kennzahlen eine fundierte Aussage über die Energieeffizienz in der System- und Strukturebene zu tätigen.

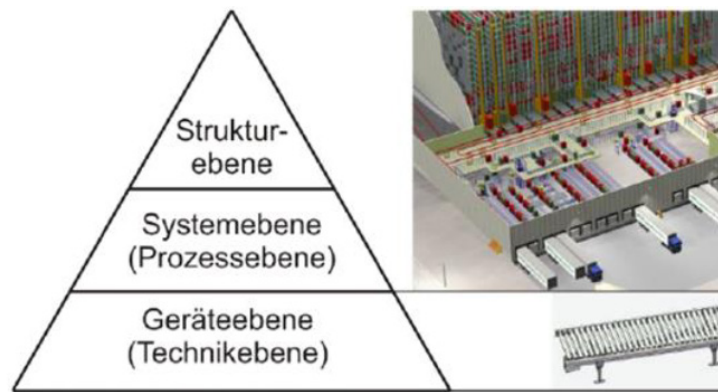


Abbildung 2 hierarchische Grundstruktur in MFS

1.2 Problemstellung im Projekt

Der in dieser Masterarbeit zu konstruierende und errichtende Antriebssystem Sonderprüfstand (ATS), stellt ein Teilgebiet des Projekts dar und soll aktuell eingesetzte sowie sich in der Entwicklung befindliche Antriebssysteme hinsichtlich ihres Wirkungsgrads an unterschiedlichen Belastungspunkten vermessen können.

Moderne und komplexe Materialflusssysteme zeichnen sich durch die große Anzahl an eingesetzten elektrischen Antriebssystemen und deren Vernetzung aus. Daraus resultiert auch die hohe installierte elektrische Leistung solcher MFS. Der Dimensionierung der Antriebe im Konstruktionsstadium wird häufig ein „Worst-Case“ Szenario zugrunde gelegt, welches bei vereinfachter Antriebsauswahl zu erheblicher Überdimensionierung führt. Im Forschungsprojekt effMFS am ITL konnte gezeigt werden, dass die derzeit eingesetzten Antriebsmotoren typischerweise in energetisch ungünstigen Teillastbereichen betrieben werden ([HL13];[HL12]). Die Wirkungsgradangaben der Antriebssysteme beziehen sich auf den Nenn-Auslegungspunkt des Antriebs, geben also keine Information zu Wirkungsgraden in Teillastbereichen.

In Untersuchungen und Messungen an real ausgeführten Materialflusssystemen sollen nun repräsentative Belastungspunkte identifiziert werden. Diese Informationen hinsichtlich Lastmomente, Fördergeschwindigkeiten können mit Hilfe des ATS-Prüfstands an verschiedenen Antriebssystemen abgebildet werden. Somit können unterschiedliche Antriebssysteme, und Komponenten davon über die relevanten Be-

triebsbereiche vermessen werden, und das optimal dimensionierte Antriebssystem identifiziert werden.

1.3 Zielformulierung

Basierend auf den Erkenntnissen, die im Rahmen des Projekts EEkMFS auf der Prozessebene gewonnen werden, gilt es im Zuge dieser Arbeit eine Hilfestellung in Form eines ATS für Untersuchungen auf der Geräteebene weiter zu entwickeln. Ziel ist die Entwicklung, Konstruktion und Aufbau eines modularen Antriebssystemprüfstands zur Wirkungsgradmessung der Antriebssysteme der Materialflusstechnik. Besonderes Augenmerk soll auf den variablen Aufbau gelegt werden. Antriebssysteme sollen schnell und ohne große Anpassungsarbeiten für Messungs- und Untersuchungszwecke ausgetauscht werden können. Daraus leiten sich auch die Ziele für Messgrößen, Messinstrumente sowie Steuerung und Regelung des ATS ab. Die Parameter Belastungsmoment und Drehzahl sollen über eine Applikation einfach gesteuert/geregelt werden können, um die Messung von Wirkungsgradkennfeldern entsprechend der EN-Norm 50598-2 zu ermöglichen. Die Bedien- und Funktionselemente sind funktionsgerecht in das Prüfstands Konzept zu integrieren. Die Messtechnik soll entsprechend der hohen Anforderungen die sich aus den messtechnischen Untersuchungen von Frequenzumrichter gesteuerten Antriebssystemen ergibt ausgewählt, installiert und eingestellt werden, damit der EN-Norm 5098-2 genügende Ergebnisse erhalten werden können. Zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit ergibt sich die Notwendigkeit einer Abschirmung rotierende Teile.

Aus diesen Themenstellungen ergeben sich folgende Problemstellungen:

1. Wie lässt sich der Modulare Aufbau, und der schnelle Wechsel von Antriebssystemen praktisch umsetzen?
2. Mit Hilfe welcher Applikation, und Bedienelementen kann eine Drehmoment/Drehzahl Steuerung und Regelung realisiert werden?

3. Welche Änderungen im Messsystem sind vorzunehmen um Frequenzumrichter betriebene Antriebssysteme zuverlässig vermessen zu können?

2 Vorgehensweise

Der grundsätzliche Anforderungskatalog schafft die Rahmenbedingungen für die Entwicklung des Prüfstands. Eine Vielzahl an anderen Faktoren schaffen ebenso Anforderungen die bei der Konzeptionierung berücksichtigt werden müssen. Dazu erfordert es eine konsequente Betrachtung der Prüflinge, Messgrößen und der gewünschten Versuchsabläufe. Folgendes Kapitel soll Aufschluss über diese, auf die Konzeptfindung einflussnehmenden Faktoren liefern.

2.1 Lastenheft

Für den optimalen Einsatz im Forschungsprojekt EEkMFS wurde ein Anforderungskatalog (vgl. Tabelle 1) von DI Thomas Stöhr entwickelt, und ein Überblick über die zu verwendenden Komponenten, welche bereits in Institutsbesitz sind, und deren limitierenden Faktoren gegeben (vgl. Tabelle 1). Der Prüfstand soll allen erforderlichen Kriterien genügen, und möglichst viele der wünschenswerten Kriterien integrieren.

Tabelle 1 Anforderungskatalog Prüfstand

Kriterium	Ausprägung
Allgemeine Anforderungen	E= erforderlich W= wünschenswert
Antriebssysteme (Motor + Getriebe + FU) im Leistungsbereich bis 3 kW (Begrenzung durch Servomotor)	E
Modulare Integrierbarkeit der Kombinationen <ul style="list-style-type: none"> ▪ Motor ▪ Motor + Getriebe ▪ Motor + Getriebe + FU ▪ Motor + FU 	E E E E
Messbares Drehmoment bis	

<ul style="list-style-type: none"> ▪ 50 Nm (Grundkonfiguration) ▪ 135 Nm (Adaptierbarkeit) 	E
	E
Messbare Drehzahl bis	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2300 U/min 	E
Mechanische Konstruktion	
Anschluss von Antriebssystemen (ATS)	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ ohne Frequenzumrichter 	E
<ul style="list-style-type: none"> ▪ mit externen Frequenzumrichter 	E
<ul style="list-style-type: none"> ▪ internen Frequenzumrichter 	E
Drehmomentübertragung ATS mit	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohlwelle 	E
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vollwelle 	E
Drehmomentabstützung zentrisch um Ausgangswelle ATS (Lochkreis)	E
Drehmomentabstützung mittels exzentrischer Punktabstützung (Drehmomentstütze)	W
Adaptierbarkeit auf Messbereich bis 135 Nm	E
Adaptierbarkeit von Schwingungsdämpfern	E
Steuerung	
Aufprägung von konstantem Lastmoment (stationärer Messpunkt)	E
Aufprägung von zeitlich veränderlichem Lastmoment (Messkurve)	E
Quantitativ exakt definierbares Lastmoment (als Zahlenwert am Interface)	E
Messstart durch Trigger	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Servomotor – Messsystem – FU (abhängig von FU) 	W
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Servomotor – Messsystem 	E

Parametrisierung des Lastmotors <ul style="list-style-type: none"> ▪ Drehzahlregelung ▪ Drehmomentregelung 	E
	E
Sicherheit	
Notaus-Taster an allen Bedienmodulen	E
Schutz vor rotierenden Teilen	E
Sperre der Inbetriebnahme ohne Schutz	W
Dokumentation	
Vollständige Inbetriebnahme Anleitung	E
Vollständige Einstellung und Parameter der Testmessung	E
Limitierende Faktoren durch Komponenten	E
Datenblätter aller Komponenten (Gebündelt)	E
CAD Zeichnungen aller Einzelteile	E

2.1.1 Prüflinge

Die Untersuchungsobjekte sind Antriebssysteme die vielfach Anwendung in Materialflusssystemen finden. Als Antriebssystem wird dabei ein Motor mit optionalem Stellglied und optionalem Getriebe verstanden. Dazu zählen vor allem Asynchronmotoren und Servomotoren die in Kombination mit Getrieben in unterschiedlichen Ausführungen (Kegelradgetriebe, Stirnradgetriebe, Schneckengetriebe, 2 stufige Getriebe, etc.) betrieben werden, in weiterer Folge auch als Getriebemotoren bezeichnet. Die Vernetzung von einzelnen automatisierten Systemen ermöglicht die zentrale Steuerung gesamter Intralogistikanlagen. Für die Drehzahlregelung der Motoren werden dabei häufig Frequenzumrichter eingesetzt, welche in dezentraler Lage mehrere Motoren versorgen können. Antriebssysteme mit integriertem Frequenzumrichter können auch als Stand-Alone Systeme in gewissen Bereichen als Insellösungen fungieren. Es interessieren vor allem jene Antriebssysteme mit Nennleistungen $<3\text{kW}$, welche in der Kleinladungsträger Fördertechnik häufig und in großen Stückzahlen eingesetzt

werden. Als Industriepartner im Projekt EEkMFS ist die SEW-Eurodrive GmbH & CO KG als Hersteller von Antriebssystemen und individuellen, applikationsspezifischen Automatisierungslösungen an der Untersuchung ihrer Antriebssysteme interessiert. Folglich soll der Prüfstand speziell zur Verwendung und schnellen modularen Adaptierbarkeit von SEW Komponenten konzipiert werden, sowie die dezentrale Montage von Frequenzumrichtern als auch die integrierte Variante sollen Berücksichtigung finden.

2.1.2 Messgrößen

Um Rückschlüsse auf die notwendigen Messgrößen, und die Qualität dieser ziehen zu können, muss zuerst die Definition der Energieeffizienz betrachtet werden.

Energieeffizienz: „Das Verhältnis von Ertrag an Leistung, Dienstleistung, Waren oder Energie zu Energieeinsatz“ ([Eur06])

$$\text{Energieeffizienz} = \frac{\text{Ertrag}}{\text{Energieeinsatz}}$$

Bei Antriebssystemen ist der Ertrag jene mechanische Leistung, welche an der Ausgangswelle des Getriebes abgegeben wird. Als Energieeinsatz wird dabei die zugeführte elektrische Leistung in Form von elektrischem Strom verstanden.

Aus dieser Definition kann die Art der notwendigen mechanischen und elektrischen Messgrößen abgeleitet werden. Die mechanische Leistung P_{mech} am Ausgang des Getriebes ergibt sich aus dem Produkt des Drehmoments M_{mech} und der Winkelgeschwindigkeit ω_{mech} .

$$P_{mech} = M_{mech} * \omega_{mech}$$

Der Energieeinsatz in Form elektrischer Wirkleistung P_{el} setzt sich aus dem Produkt der Effektivwerte von Spannung U_{eff} und Strom I_{eff} und dem Leistungsfaktor $\cos \varphi$.

Besonderheiten bei der Ermittlung der elektrischen Wirkleistung ergeben sich bei Prüflingen welche mittels Frequenzumrichter betrieben werden, da dort nicht sinusförmige Spannungen und Ströme einen Anteil an der Wirkleistungsbildung haben. Diese Besonderheit wird im unter 2.1.2.2 noch näher behandelt.

$$P_{el} = U_{eff} * I_{eff} * \cos \varphi$$

Die Energieeffizienz η ergibt sich definitionsgemäß aus dem Quotienten der mechanischen Leistung P_{mech} zur elektrischen Wirkleistung P_{el} .

$$\eta = \frac{P_{mech}}{P_{el}}$$

2.1.2.1 Mechanische Messgrößen

Aus dem Erkenntnissen in 2.1.2 können die mechanischen Messgrößen in das mechanische Drehmoment M_{mech} und die Drehzahl n_{mech} abgegrenzt werden. Dabei gilt:

$$\omega_{mech} = 2 * \pi * n_{mech}$$

Dabei kann M_{mech} direkt durch Verwendung eines geeigneten Drehmomentmessflansches oder einer Drehmomentmesswelle ermittelt werden. Eine weitere Möglichkeit wäre eine indirekte Messung des auftretenden Reaktionsmoments, welches dem mechanischen Drehmoment M_{mech} entspricht. Dazu wäre eine Messung des Abstützmoments mittels Kraftmessdose und definiertem Hebelarm.

Eine optische oder kapazitive Drehzahlmessung ist in den meisten Drehmomentmesswellen/Drehmomentmessflanschen integriert.

2.1.2.2 Elektrische Messgrößen

Zur Bestimmung der für die Errechnung der Effizienz notwendigen elektrischen Wirkleistung ist die Messung von Strom und Spannung notwendig. Alle verwendeten Antriebssysteme werden durch 3-Phasen Wechselspannungssystem 400V versorgt. Zur Ermittlung der Leistung sind für Spannung und Strom jeweils der zeitliche Verlauf und Phasenverschiebung notwendig. Bei Antriebssystemen die mittels Frequenzumrichter betrieben werden findet ein nicht vernachlässigbarer Teil der Leistungsbildung bei nicht-sinusförmigen Oberschwingungen statt, welche spezielle Anforderungen an Messtechnik und Messsoftware erfordern. Prinzipiell können nur gleichfrequente Strom- und Spannungsanteile eine Wirkleistung ausbilden ([ZIM15]). Es wird eine Abtastrate für die Spannungs- und Strommessung von mindestens dem 20ig-fachen der Taktfrequenz des Frequenzumrichters empfohlen, um auch hochfrequente sinus, und nicht sinusförmige Oberschwingungen von Strom und Spannung korrekt zu erfassen([ZIM15];[DEW13]). Auch die Software muss diesen speziellen Anforderungen entsprechen um eine korrekte Leistungsbildung vornehmen zu können. Allgemein gilt für die Wirkleistung P für nicht sinusförmige Systeme der Zusammenhang

$$P = \frac{1}{T} * \int_0^T u(t) * i(t) dt$$

Die Berechnung der Gesamtwirkleistung erfolgt durch eine Summation der Wirkleistungsanteile der vorhandenen harmonischen Frequenzanteile. Die entsprechenden Frequenzanteile für Spannung und Strom werden durch Fast-Fouriertransformation berechnet ([HL13a])

Diese Anforderungen bedingen spezielles Augenmerk bei der Auswahl von Messinstrumenten sowie den Einstellungen der Messsoftware.

2.1.2.3 Anforderungen an die Messeinrichtungen

Allgemein wird die Genauigkeitsklasse von Messgeräten, welche die Abweichung des wahren Werts einer physikalischen Größe zum Messwert in Prozent des Messbereichs angegeben. Daher sollte der Messbereich für alle Messgeräte so klein wie möglich gewählt werden. Für Messgeräte und Messsensoren gelten folgende Vorschriften, welche nicht überschritten werden dürfen.

Messgeräte: Die Messgeräte für elektrische Größen sowie Drehzahl und Drehmoment müssen nach IEC 60034-2 eine Genauigkeitsklasse von 0,5 oder besser aufweisen.

Leistungsversorgung: Die Netzfrequenz muss für die Zeit der Messung innerhalb von $\pm 0,3\%$ der vorgeschriebenen Frequenz liegen.

Umgebungsbedingungen: Die Umgebungstemperatur muss sich im Bereich von $20^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ befinden. Die relative Luftfeuchtigkeit darf nicht größer als 80% sein.

Daraus können die Anforderungen an mechanische und elektrische Messgrößen folgend abgeleitet werden.

2.2 Versuchsaufbau

In den Zielen des Forschungsprojekts ist die Ermittlung von Wirkungsgrad-Kennlinien-Flächen für die relevanten Betriebsbereiche für Drehmoment und Drehzahl für Antriebssysteme und Teil-Elemente (Stellglieder etc.) vorgesehen. Es soll dadurch ein Wirkungsgradkennfeld erstellt werden, welches genaue Aussagen über den Wirkungsgrad an nahezu allen möglichen Betriebspunkten der Antriebssysteme ermöglicht.

Die Europäische Norm EN 50598-2 legt die Indikatoren für die Energieeffizienz von Antriebssystemen im Leistungsbereich von 0,12 kW bis 1.000 kW fest. Sie legt die Methodik zur Bestimmung der Verluste der Antriebssysteme fest und definiert Grenzwerte und Prüfverfahren für die Klassifizierung der Gesamtverluste der Antriebssysteme. Theoretisch besteht eine unendliche Anzahl an Betriebspunkten eines

Antriebssystems. Die Norm legt für die Praxis die Messung der Verluste in acht Betriebspunkten fest (vgl. Abbildung 3).

Diese acht Punkte sind jedenfalls als Lastpunkte abzubilden. Es wird jedoch eine größere Anzahl an Messpunkten erforderlich sein um ein detaillierteres Wirkungsgrad-Kennfeld erstellen zu können, in welches nach Rücksprache mit SEW auch Messpunkte mit relativen Drehmomenten/Drehzahlen (bezogen auf Nenndrehmoment/Nenndrehzahl) > 100% eingearbeitet werden sollen.

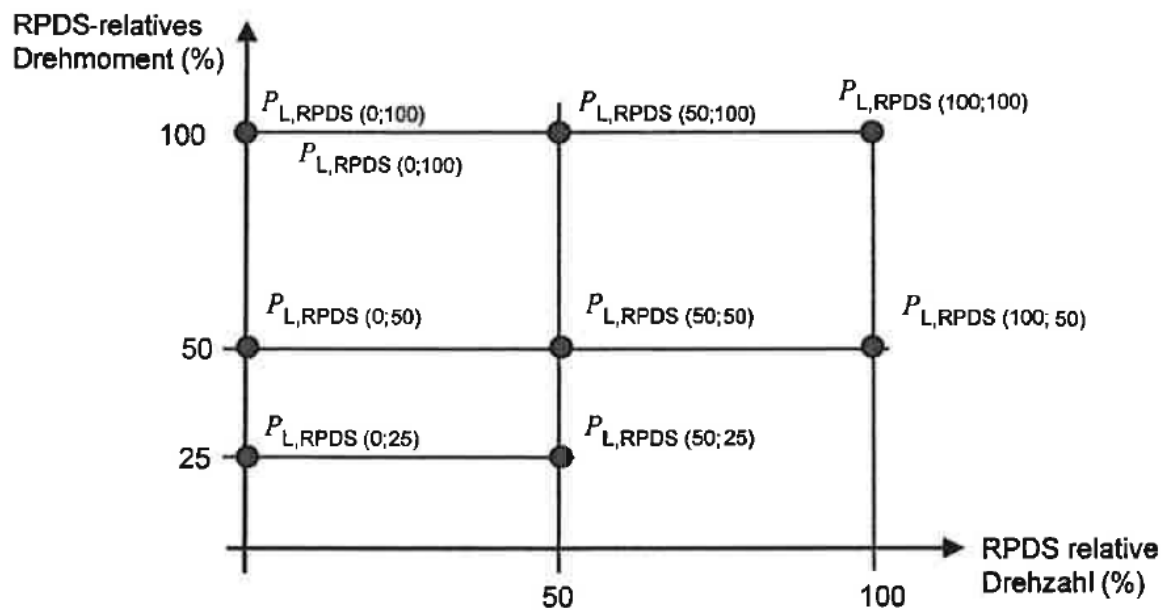


Abbildung 3 Darstellung der Arbeitspunkte der Drehzahl in Abhängigkeit vom Drehmoment zur Bestimmung der Verlustleistung des Antriebssystems ([ÖN015])

Die erläuterten Anforderungen legen einen Versuchsablauf mit diskreten Drehzahl- oder Drehmomentsprüngen, bei gleichzeitigem konstant halten eines der Parameter nahe. Diese einzeln aufgenommenen Wirkungsgradkurven können in weiterer Folge zu einer Wirkungsgradfläche interpoliert werden.

Diese Versuchscharakteristik benötigt steuerungstechnisch die Möglichkeit der Variation der beiden Parameter Drehzahl und Drehmoment. Hier würde sich eine Drehzahl-, sowie Drehmomentregelung als Steuerungselement anbieten, mit deren Hilfe jeder diskrete Wert der beiden Parameter eingestellt und konstant gehalten werden

kann. Eine solche Regelung würde den Arbeitsaufwand verringern und die Qualität der Ergebnisse verbessern.

2.2.1 Ableitung von Versuchsabläufen

Um die geforderten Erkenntnisse gewinnen zu können muss ein Versuchsablauf festgelegt werden. Die Randbedingungen bilden die Grundlage für die mechanische Konstruktion des Prüfstands als auch für die Rahmenbedingungen für die Steuerung- und Regelung der Komponenten.

Allen Antriebssystemen gemein ist, dass erst nach einer Warmlaufphase die eigentliche Messung gestartet werden kann. Einige Getriebe erfordern zusätzlich eine erweiterte Einlaufphase von ca. 20h unter Nennlast.

2.2.1.1 Warmlaufversuch

Der Warmlaufversuch als solches hat in späterer Folge keinen Einfluss auf relevante Ergebnisse, liefert jedoch wertvolle Informationen, um abschätzen zu können nach welcher Zeit die Messung gestartet werden kann. Dazu wird der Prüfling im Nennpunkt betrieben. Als konstanter Parameter wird dabei die Nenndrehzahl n_{nenn} gewählt, da diese über die geometrisch fixierte Getriebeübersetzung am wenigsten variabel ist. Über den gesamten Vorgang werden die elektrische Wirkleistung sowie das mechanische Drehmoment aufgezeichnet. Diese Werte folgen einer asymptotischen Charakteristik (vgl. Abbildung 4).

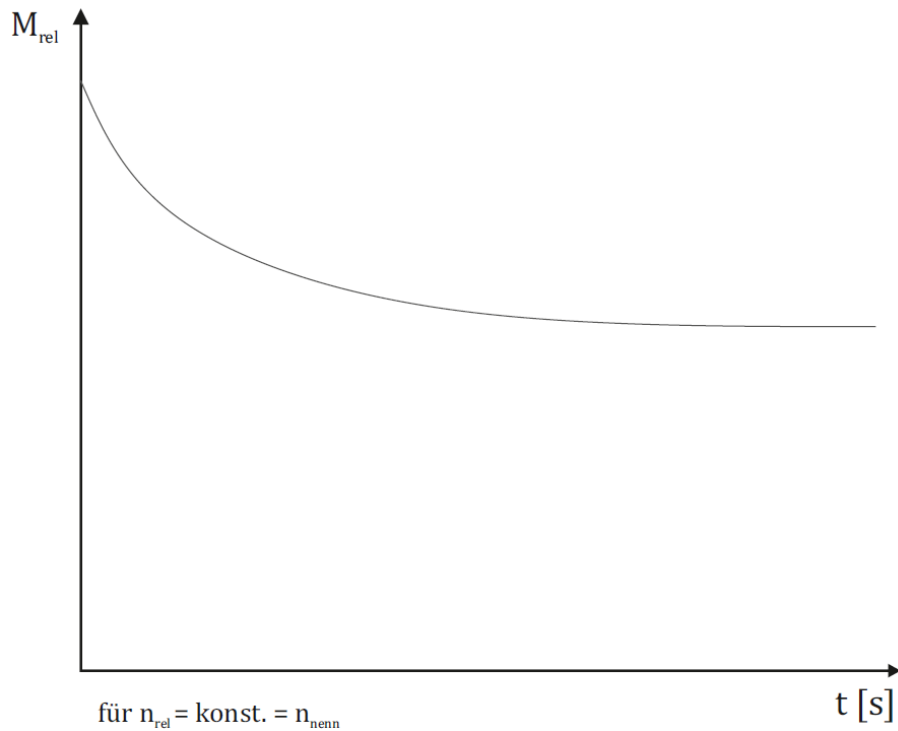


Abbildung 4 Warmlaufversuch; relatives Moment über Zeit

Wenn der Gradient G_M den hier definierten Anforderungen entspricht, ist keine nennenswerte Änderung der Werte mehr feststellbar und die eigentlichen Messungen können gestartet werden. Dieser Gradient hat sich bei mehreren Testmessungen als zweckmäßig herausgestellt. Dabei ist $(t_n | P_{ave})$ der gleitende Mittelwert der Wirkleistung zum Zeitpunkt t_n .

$$G_M < \frac{|(t_1 | P_{ave}) - (t_2 | P_{ave})|}{|t_2 - t_1|} = \frac{|0,003 * P_{nenn}|}{100 \text{ s}}$$

So können Einflüsse systematischer Natur vermieden werden. Dabei handelt es sich um thermische Einflüsse auf die Leitfähigkeit der Wicklungen, sowie auf die Getriebeöl-Viskosität.

Daraus können für jedes Antriebssystem Erkenntnisse über die Dauer der Warmlaufphase gewonnen werden.

2.2.1.2 Stufenversuch

Der eigentlich ergebnisrelevante Teil der Messungen findet im „Stufenversuch“ statt. Hier werden die aus 2.2 bekannten Rahmenbedingungen konkretisiert. Zur Ermittlung einer Wirkungsgradkennlinie wird die relative Drehzahl n_{rel} konstant gehalten, und dabei das relative Moment M_{rel} in diskreten Schritten variiert (vgl. Abbildung 5).

$$n_{rel} = \frac{n}{n_{nenn}} \qquad M_{rel} = \frac{M}{M_{nenn}}$$

Durch Veränderung der relativen Drehzahl n_{rel} kann so jeder gewünschte Messpunkt im Wirkungsgrad-Kennfeld bedient werden.

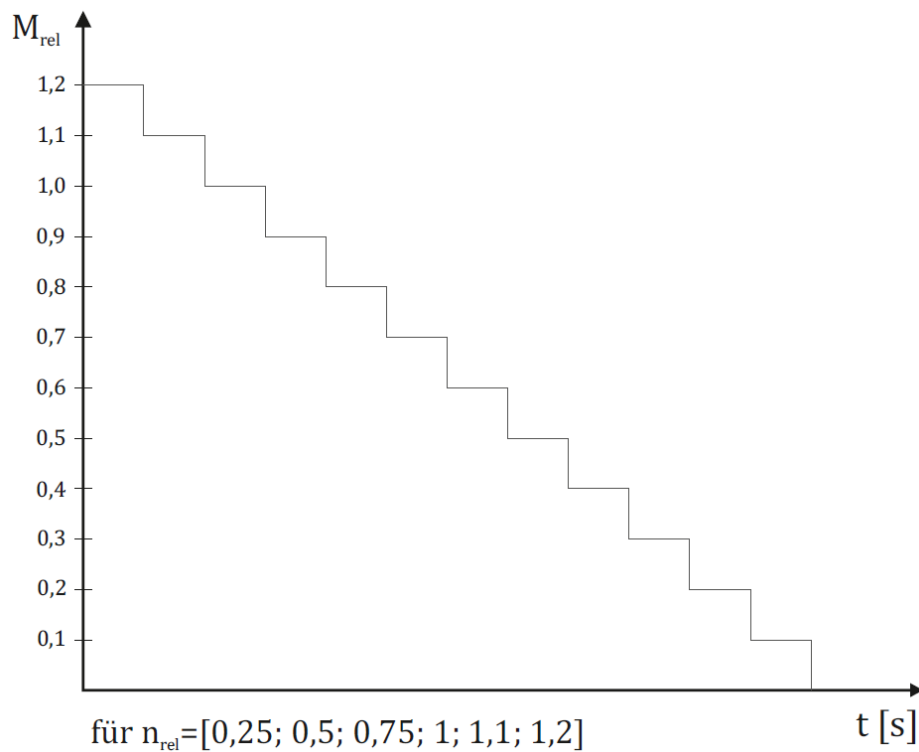


Abbildung 5 Stufenversuch; relatives Drehmoment über Zeit

3 Umsetzung am Prüfstand

Dieses Kapitel soll die Überleitung der Konzeption auf die Umsetzung hinsichtlich Konstruktion, Komponentenauswahl, sowie Steuerungstechnik und Messtechnik bilden.

3.1 Bestandsaufnahme

Im Rahmen einer Diplomarbeit zur Prüfung von einem speziellen Schneckengetriebe im Jahre 2002 wurde von Gernot Simonlehner ein Prüfstand entwickelt ([SIM02]). Dieses spezielle Schneckengetriebe gehört zu einer Getriebe/Elektromotoreinheit, welche ein Prototyp in der Allradfahrzeugtechnik ist. Folgende Messungen wurden im Rahmen der Diplomarbeit durchgeführt:

- Reaktionsmoment (Verluste) der Messeinrichtungen
- Leerlaufmessungen des Prüfgetriebes
- Messung von Spiel und Verformung des Schneckengetriebes

Zwei Jahre später befasste sich Oliver Fuchs im Rahmen seiner Diplomarbeit zum einen mit der Wiederinbetriebnahme des Schneckengetriebeprüfstandes, zum anderen mit dem Umbau des bestehenden Prüfstandes für die messtechnischen Untersuchungen an einem Abseilgerät ([FUC04]). Dazu mussten einige mechanische Komponenten ausgetauscht werden, und die Steuerung verändert werden.

Im Jahre 2012 und 2015 wurden in der Laborübung Fördertechnik unter Betreuung von DI Florian Lottersberger kleinere Umbauten vorgenommen um Getriebe-Motoren Kombinationen und Motoren hinsichtlich Wirkungsgradverhalten messtechnisch untersuchen zu können.

Die Massive Grundplatte sowie die Trägerplatten für die Belastungseinrichtung, sowie die Prüflings-Montage sollen weiter verwendet werden.

Im Rahmen von größeren Sanierungsarbeiten im Jahre 2014/15 in den Versuchshallen des ITL wurde der Prüfstand zerlegt und in die Kellerräume des ITL eingelagert. Dort wurde als erster Schritt eine Bestandsaufnahme aller vorhandenen Komponenten gemacht.

Um mit dem Aufbau vertraut zu werden, wurde er in der letzten Ausbaustufe wieder re-assembliert und in Betrieb genommen. Zur Dokumentation dieser Ausbaustufe wurde eine umfassende Dokumentation zur Installation und Inbetriebnahme erstellt und am Institutsserver hinterlegt. („Inbetriebnahme Wirkungsgradprüfstand – T10F“)

Im Sinne eines methodischen Vorgehens empfiehlt es sich an dieser Stelle den Anforderungskatalog (vgl. Tabelle 1) zu reflektieren und die wichtigsten Kriterien, die in der letzten Ausbaustufe nicht erfüllt sind noch einmal darzustellen:

- Modulare Integrierbarkeit der Kombinationen
 - Motor
 - Motor + Getriebe
 - Motor + Getriebe + FU
 - Motor + FU
- Anschluss von Antriebssystemen
 - Mit externem FU
 - Mit internem FU
- Drehmomentübertragung Antriebssysteme mit Hohlwelle und Vollwelle
- Drehmomentabstützung zentrisch um Ausgangswelle
- Aufprägung von zeitlich veränderlichem Lastmoment
- Qualitativ exakt definiertes Lastmoment
- Parametrisierung des Lastmoments
 - Drehzahlregelung
 - Drehmomentregelung
- Sicherheit
 - Not-aus an allen Bedienmodulen
 - Schutz vor rotierenden Teilen
- Dokumentation

3.2 Konstruktion Gesamtprüfstand

Um die messtechnischen Aufgaben erfüllen zu können wurde unter Beibehaltung der Grundplatte und Trägerplatten des bewährten Prüfstands eine Lösung entwickelt die den neuen Anforderungen entspricht (vgl. Abbildung 6).

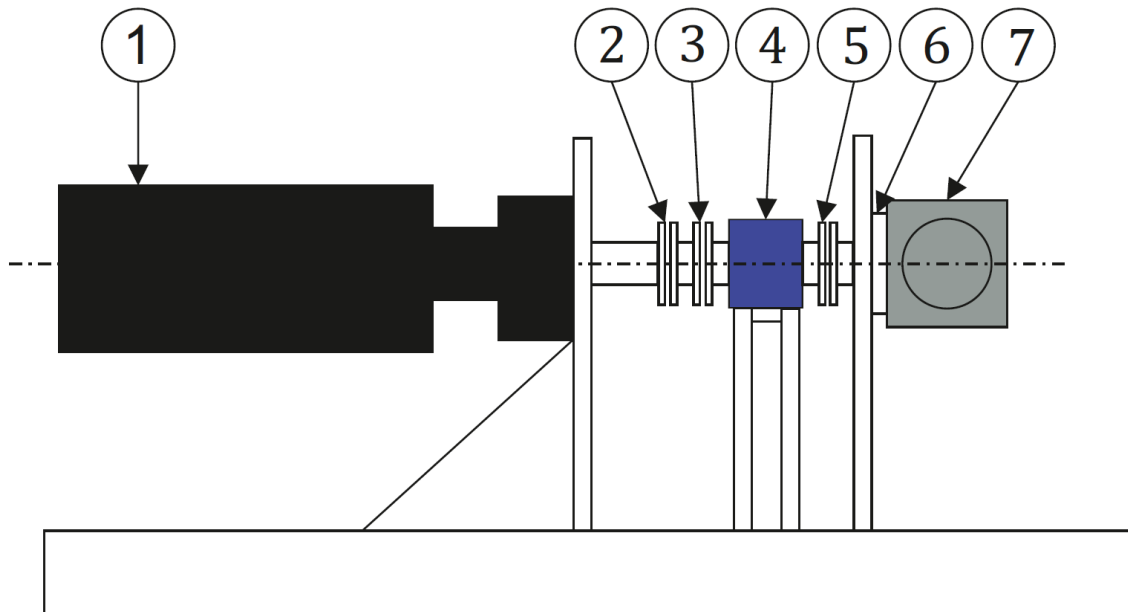


Abbildung 6 Konzept Konstruktion mechanisch

- 1 – Belastungseinrichtung: Servomotor mit Getriebe
- 2 – KTR Elastomere Klauenkupplung
- 3 – HBM Faltenbalg Kupplung
- 4 – HBM T20WN Drehmomentmesswelle
- 5 – Schmidt®- Semiflex Kupplung
- 6 – Adapter Ring Prüfling
- 7 – Prüfling/Antriebssystem (in dieser Ansicht mit Winkelgetriebe)

Als Belastungseinrichtung ist ein fest gelagerter Servomotor mit angeflanschem Planetengetriebe, welcher durch einen Frequenzumrichter geregelt wird vorgesehen. Dieser wird mittels einer elastomere-Klauenkupplung und einer Faltenbalgkupplung

an eine Drehmomentmesswelle reibschlüssig verbunden. Dadurch entsteht eine doppel-kardanische Anordnung der Kupplungen welche die Montage ohne translatorische Freiheitsgrade des Servomotors und der Drehmomentmesswelle ermöglicht. Diese Drehmomentmesswelle wird fest an einen drei-teiligen Halter geschraubt. Der Prüfling wird ebenfalls fest gelagert an eine Trägerplatte geschraubt. Dazu werden Adapter-Ringe eingesetzt welche einen schnellen Wechsel zwischen den Prüflingen ermöglichen sollen. Zwischen Prüfling und Drehmomentmesswelle wird eine spezielle Schmidt®-Semiflex Kupplung eingesetzt, welche in der Lage ist neben kleinen Winkelfehlern auch größere radiale Versätze auszugleichen. Dieser Ausgleich wird aufgrund von Ungenauigkeiten bei der Fertigung der Wellen und der Zentrierung der Prüflingswelle zur Drehmomentmesswelle notwendig sein. Diese Anordnung hat bei häufigem Wechsel der Prüflinge Vorteile, da zeitaufwändige zentrierungs-, und einrichtungsarbeiten der Prüflinge dadurch deutlich reduziert werden können. Zur weiteren Reduktion der Einrichtungsarbeiten, sowie der Steigerung der Genauigkeit ist eine erweiterte Zentrierungseinrichtung für verschiedene Prüflinge ist bereits im Rahmen einer Bachelorarbeit am ITL in Arbeit. Mit diesem prinzipiellem mechanischen Aufbau sollte die Funktionsfähigkeit in allen geforderten Situationen gegeben sein.

Um den Aufbau der Steuerungs- und Regelungseinrichtung sowie der angeschlossenen Messtechnik, und deren Schnittstellen zu verstehen soll das in Abbildung 7 ersichtliche Prinzip Bild Hilfestellung sein.

Zum Betrieb der Belastungseinrichtung wird ein Frequenzumrichter benötigt, welcher über eine PC parametrierbar wird. Dieser soll in der Lage sein ein stufenlos einstell- und regelbares Drehmoment Die Benutzeroberfläche für die Steuerung und Regelung bildet das Programm LabView 2015® welches an einem weiteren PC betrieben wird. Eine Messkarte welche Inputs in Form von Spannungssignalen verarbeitet , sowie Spannungssignale als Output ausgeben kann bildet die Schnittstelle zwischen den Inputs der Messsensorik, und der Ansteuerung der Belastungseinrichtung als Output. Die eigentlichen Messungen finden über ein externes PC-basiertes Messsystem statt.

Um den Schutz vor rotierenden Teilen zu gewährleisten wurde eine Abschirmung aus einem Lochblech gebogen, um neben der Prävention vor Verletzungen durch rotierende Teile nach wie vor eine visuelle Kontrolle der Kupplungen und der Drehmomentmesswelle zu ermöglichen.

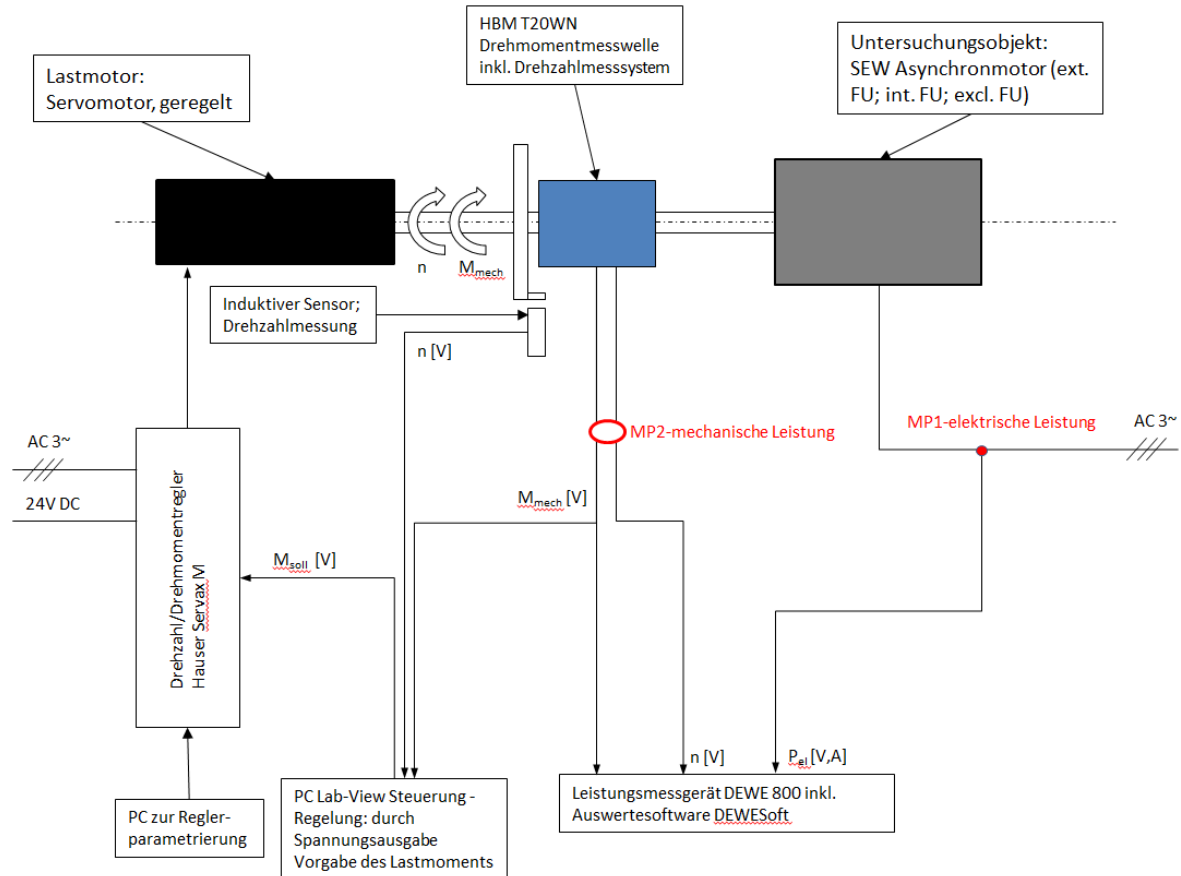


Abbildung 7 Konzept Gesamt

3.3 Komponenten des Prüfstands

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Spezifikationen, Eigenschaften und Einsatzzwecken der ausgewählten Komponenten des Prüfstands. Dabei wurde versucht am ITL vorhandene Komponenten einzusetzen um möglichst kosteneffizient zu arbeiten. Es wurde ein 3D-CAD Modell mit dem Programm PTC Creo 2.0® erstellt (vgl. Abbildung 8) um zum einen Fertigungszeichnungen der Teile welche in Eigenfertigung

erstellt werden anzufertigen, zum anderen um den Bauraumbedarf der Komponenten und deren Assemblierung vorab sicherzustellen.

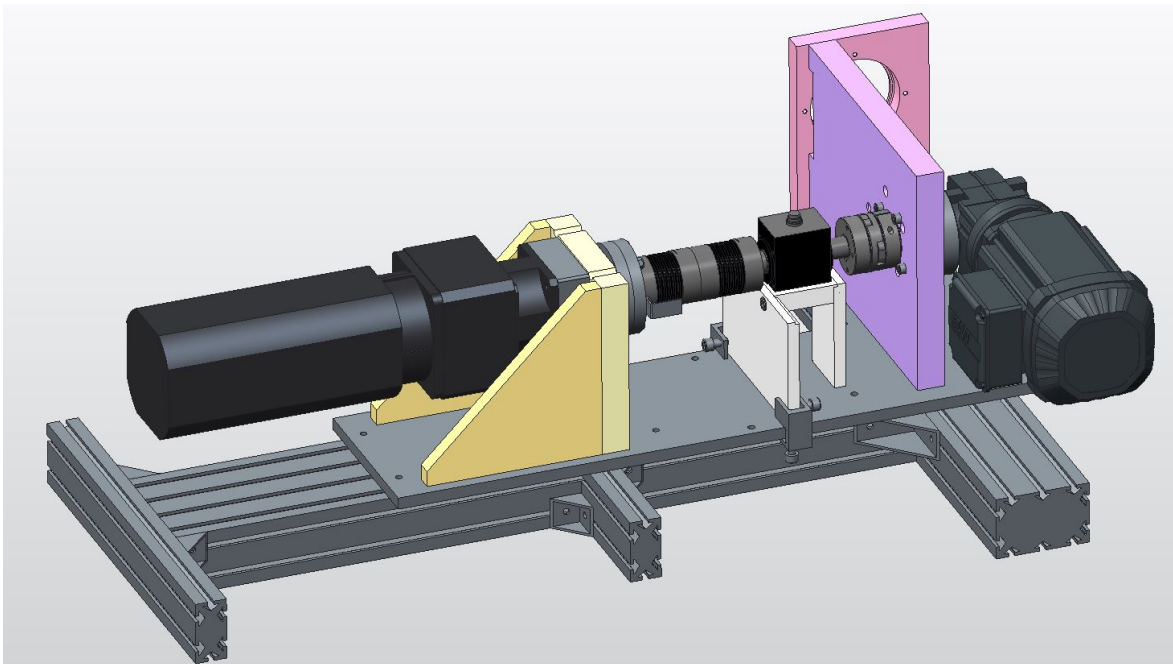


Abbildung 8 3D-CAD Screenshot

3.3.1 Belastungseinrichtung

Die Belastungseinrichtung kann als vollständiges Antriebssystem gesehen werden. Im Wesentlichen besteht es aus dem Synchron-Servomotor mit angeflanschem Planetengetriebe, als Stellglied fungiert ein Frequenzumrichter.

3.3.1.1 Synchron-Servomotor Hauser HBMR 142 E6-130S

Der bereits am ITL vorhandene Synchron-Servomotor in bürstenloser Ausführung mit integriertem Resolver und sinusförmiger Magnetisierung wird für die Antriebsaufgabe ausgewählt. Dieser liefert durch die sinusförmige Magnetisierung und hohe Resolverauflösung einen gleichmäßigen Drehmomentverlauf auch bei geringen Drehzahlen. Folgende die relevanten Leistungsmerkmale

Nennmoment	$M_{nenn} = 13,5 \text{ Nm}$
Nennzahl	$n_{nenn} = 2300 \text{ rpm}$
Trägheitsmoment	$J = 23 \text{ kgcm}^2$
Drehmomentkonstante	$k_T = 0,51 \text{ Nm/A}$

Aus der Anforderung Antriebssysteme mit 50 Nm Nennmoment vermessen zu können ergibt sich die Notwendigkeit des Einsatzes eines Getriebes, um auch den Warmlaufversuch unter Nennbelastung ohne thermische Probleme zu absolvieren. Es wurde bei der Konstruktion des Adapterflansches, zur Montage an der Trägerplatte des Belastungssystems darauf geachtet, dass eine Montage des Synchron-Servomotors auch ohne Getriebe und ohne Änderung anderer Bauteile möglich ist. Damit auch der Wellenanschluss universal verwendbar ist, wird eine Adapterhülse, mit modifizierter Passfeder eingesetzt.

3.3.1.2 Planetengetriebe Stöber P501-PV-0100-MQ36

Das Planetengetriebe von Stöber kann ohne weitere Adaptionsarbeiten am Synchron-Servomotor von Hauser verwendet werden. Es wurde bereits in einigen anderen Anwendungskonfigurationen am ITL verwendet. Die relevanten Leistungsdaten stellen sich wie folgt dar:

Übersetzung	$i = 10$
Max. Moment	$M_{2zul} = 200 \text{ Nm}$

Aus dem Wissen über die vielen vorangegangenen Einsätze und deren Belastung fiel die Entscheidung das Planetengetriebe zu zerlegen, alle Lager und Dichtungen zu erneuern und mit neuem Getriebeöl zu befüllen (vgl. Abbildung 9).

Sollwerteingang $U_{soll} = \pm 10 \text{ V}$

Es ist dabei eine Drehzahl-, sowie eine Drehmomentregelung möglich. Für alle Anwendungsfälle des ATS wird nur die Drehmomentregelung benötigt.

Über einen der zwei analogen Sollwerteingänge wird eine analoge Spannung angelegt, welche von der Messkarte, des Steuer- und Regelungs-PC's ausgegeben wird. Diese angelegte Spannung regelt die Höhe des ausgegebenen Stroms an den Synchron-Servomotor, und folglich das Drehmoment.

Weiterführende Informationen zu Parametereinstellungen, technischen Daten und Hinweisen zur Inbetriebnahme finden sich im Anhang in Kapitel 7.4.1.2.2.

3.3.2 Drehmomentmesswelle HBM T20WN

Die Drehmomentmesswelle T20WN kann statische und dynamische Drehmomente sowie Drehzahlen und Drehwinkel in beliebiger Drehrichtung messen. Die Messsignalübertragung erfolgt dabei berührungslos. Es wird eine 12V DC Speisespannung mit mindestens 0,2 A Stromstärke für den Betrieb benötigt. Der integrierte Messverstärker liefert ein drehrichtungsabhängiges Signal für die Drehmomentmessung von +/- 10 V. Ein optisches Messsystem mit einer Auflösung von 360 Impulsen pro Umdrehung liefert zwei um 90° zu einander phasenverschobenen Rechtecksignale mit einer Amplitude von 5 V. So können auch Drehrichtung und die genaue Position bestimmt werden. Folgend die relevanten Leistungsdaten:

Nenndrehmoment	$M_{nenn} = 50 \text{ Nm}$
Nenndrehzahl	$n_{nenn} = 3000 \text{ rpm}$
Genauigkeitsklasse	0,2
Grenzdrehmoment	$M_{grenz} = 200 \% \text{ bezogen auf } M_{nenn}$

Beide Enden der Welle sind zylindrisch ohne Passfedernut ausgeführt, um spielfreie, reibschlüssige Verbindungen zu ermöglichen.

Die Angaben des von HBM mitgelieferten Kalibrierprotokolls wurden in die Einstellungen der Messsoftware eingearbeitet. Zur Validierung der Drehmoment- und Drehzahlmessung, und um Skalierungs- und Einstellungsfehler zu verhindern wurde ein Versuchsaufbau erstellt, welcher im Anhang unter Kapitel 7.4.1.2.5 näher betrachtet wird.

3.3.3 Ausgleichskupplungen

Die Auswahl und folglich der richtige Einsatz von Ausgleichskupplungen stellte sich im Nachhinein betrachtet als schwierige Aufgabe heraus. Sie haben die zentrale Aufgabe alle auftretenden Positionierungsfehler auszugleichen, seien es radiale-, axiale- oder Winkelversätze. Aufgrund des breiten Einsatzgebietes des ATS wurden verschiedene Kupplungstypen, für verschiedene Einsatzbereiche eingesetzt. Zunächst wurden zwei Faltenbalgkupplungen von HBM eingesetzt, welche bedingt durch ihre geringen maximal zulässigen radialen Versätzen ein hohes Maß an Genauigkeit bei der Zentrierung der Prüflinge anhand der Drehmomentwellenachse erfordern. Um den Wechsel von Prüflingen zu erleichtern wurde eine spezielle Kupplung Typ Schmidt Semiflex C70 angeschafft, welche spielfrei und verlustarm in der Lage ist auch größere radiale Versätze auszugleichen. Sie ersetzt bei Antriebssystemen mit Getriebe eine der zwei Faltenbalgkupplungen. In dieser Konfiguration wurden alle Antriebssysteme der Motorbauform Asynchronmaschine problemfrei vermessen.

Ab dem Zeitpunkt als neue IE4 Getriebeservomotoren als Prüflinge eingesetzt wurden, traten Probleme in Form von starken Schwingungen und Schwebungen des Drehmomentverlaufs auf. Daraufhin wurden die Regelparameter des Prüflings von SEW so geändert, dass die Amplitude der Schwingungen zwar reduziert werden konnten, jedoch noch kein befriedigendes Ergebnis erzielt werden konnte.

Sowohl Faltenbalgkupplung als auch Schmidt Semiflex Kupplung haben eine extrem hohe Drehsteifigkeit, jedoch vernachlässigbar kleine Dämpfungen. Dies führt zu einem extrem drehsteifen Versuchsaufbau, in dem bereits kleine Anregungen in Bereichen der Eigenfrequenz durch den Prüfling zu starkem Aufschwingen des Drehmo-

mentverlaufs führen. Durch die eingesetzten Getriebe, der Belastungseinrichtung und des Prüflings trägt die quadratische Vervielfachung des Massenträgheitsmoments mit der Getriebeübersetzung zusätzlich negativ zu diesem Effekt bei. Dieser Effekt ist bei Antriebssystemen der Motorbauform Asynchronmaschine nicht in Erscheinung getreten, da die Schwingungen durch Veränderung des Schlupf s_{ASM} kompensiert werden. Die namensgebende Besonderheit bei der Asynchronmaschine ist, dass das Rotor-Feld asynchron zum Stator-Feld läuft. Aus dieser nicht-starren Kopplung ergeben sich torsionsschwingungsdämpfende Eigenschaften der Asynchronmaschine.

Der Einsatz einer Elastomere Klauenkupplung kann das Schwingungsverhalten erheblich verbessert. Diese wurde angeschafft, und wie in Kapitel 3.2 bereits erläutert eingebaut.

3.3.3.1 HBM Faltenbalgkupplung

Die Faltenbalgkupplung wird in Kombination mit der KTR Elastomere Klauenkupplung in doppel-kardanischer Ausführung eingesetzt, um ohne Aufprägung von Zwangskräften auf die Drehmomentmesswelle alle vorherrschenden Versätze auszugleichen. Es handelt sich dabei um eine Ausführung mit Klemmnabe für spielfreie, reibungsschlüssige Drehmomentübertragung. Folgend die relevanten Leistungsdaten.

Grenzdrehmoment	$M_{grenz} = 60 \text{ Nm}$
Massenträgheitsmoment	$J = 2 \text{ kgcm}^2$
Drehsteifigkeit	$C_T = 72 \text{ kNm/rad}$
max. zul. radialer Versatz	$V_r = 0,15 \text{ mm}$
max. zul. angular Versatz	$V_w = 1,5^\circ$

Diese Kupplung eignet sich bestens um Winkelfehler auszugleichen, daher auch ideal um in doppel-kardanischer Anordnung verbaut zu werden.

3.3.3.2 Schmidt Semiflex C70

Die Schmidt Semiflex Radial-Kupplung wird Prüflingsseitig verwendet. Sie arbeitet rückstellkräftefrei, appliziert dabei keine zusätzlichen Längs- oder Querkräfte auf die Drehmomentmesswelle. Auch hier wird eine Ausführung mit Klemmnabe verwendet. Diese Kupplung ist aufgrund ihrer maximalen Drehzahl für den Einsatz an Antriebssystemen mit Getriebe beschränkt. Alle in dem EEkMFS gemessenen Antriebssysteme waren mit einem Getriebe ausgestattet. Jedoch bedingt der Anforderungskatalog aus Kapitel 2.1 die Möglichkeit Antriebssysteme ohne Getriebe vermessen zu können. Hierfür wird diese Kupplung durch eine HBM Faltenbalgkupplung ersetzt, und der Prüfling genau zentriert. Folgend die relevanten Leistungsdaten.

Grenzdrehmoment	$M_{grenz} = 112 \text{ Nm}$
Massenträgheitsmoment	$J = 8,9 \text{ kgcm}^2$
Drehsteifigkeit	$C_T = 13 \text{ kNm/rad}$
max. zul. radialer Versatz	$V_r = 2 \text{ mm}$
max. zul. Angularer Versatz	$V_w = 1^\circ$
max. Drehzahl	$n_{max} = 1700 \text{ rpm}$

3.3.3.3 KTR Elastomere Klauenkupplung Rotex 28

Nach den Erkenntnissen aus 3.3.3 wurden iterative Schritte zur Optimierung des Systems unternommen. Verschiedene Kupplungssysteme, und deren Kennzahlen wurden eingepflegt. Mit Berücksichtigung der Einbauverhältnisse, wurde eine KTR Elastomere Rotex 28 Klauenkupplung mit zerlegbaren Klemmnaben und 92 Shore-A Zahnkranz ausgewählt. Folgend die relevanten Leistungsdaten.

Grenzdrehmoment	$M_{grenz} = 190 \text{ Nm}$
Nenn Drehmoment	$M_{nenn} = 95 \text{ Nm}$
Massenträgheitsmoment	$J = 1,07 \text{ kgcm}^2$
Drehsteifigkeit	$C_T = 6,76 \text{ kNm/rad (für } 0,5 \cdot M_{nenn} \text{)}$

max. zul. radialer Versatz	$V_r = 0,25 \text{ mm}$
max. zul. Angularer Versatz	$V_w = 0,9^\circ$
verhältnismäßige Dämpfung	$\psi = 0,8$

$$\psi = \frac{\text{Arbeit der Hystereseschleife}}{\text{statisch zurückgewinnbare Federarbeit}}$$

Falls sich beim praktischen Betrieb des Prüfstands andere Ergebnisse, als in der Simulation zeigen, kann durch Austauschen des Zahnkranzes mit anderen Dämpfungs- und Drehsteifigkeitseigenschaften das Verhalten einfach weiter optimiert werden.

3.3.4 NI DAQ-Karte CB-68LPR

Die DAQ-Karte CB-68LPR ist ein kostengünstiger Anschlussblock zur Verwendung mit NI LabView. Sie ermöglicht das Auslesen und Verarbeiten von Spannungssignalen, sowie einfachen Funktionen wie Flankenählung, als auch die Ausgabe von Spannungssignalen. In Prüfstandsaufbau dient sie als Schnittstelle zwischen der Steuerung des Prüfstands und der Regelung der Belastungseinrichtung. Näheres zu Anschlussplänen und Verwendung finden sich in der Dokumentation der Inbetriebnahme im Kapitel 7.4.1.2.3..

3.3.5 Induktiver Sensor Visolux NT10 2084/33KS4

Der induktive Näherungs-Sensor dient zur Ermittlung der Drehzahl, für die Weiterverarbeitung im Steuer-PC. Dieser zusätzliche Sensor stellte sich als notwendig heraus, weil das Messsignal der HBM Drehmomentmesswelle nicht im der NI DAQ-Karte CB-68LPR verarbeitet werden konnte. Auch mit der Verwendung von geschirmten Kabeln konnte Signalrauschen nicht verhindert werden, und da die DAQ-Karte nur steigende Flanken im Spannungssignal zählen kann, wurden nur unbrauchbare Ergebnisse erzielt. Dafür wird der induktive Sensor als einfaches, aber robustes Messgerät zur Drehzahlbestimmung zusätzlich verwendet.

Als Trigger dient ein fest an dem Flansch befestigtes Winkelblech, welches in geringem Abstand zum Sensor rotiert. Durch diese Messmethode kann nur eine geringe Auflösung der Drehzahl realisiert werden. Es wird nur ein Messwert pro Umdrehung aufgenommen. Für die vorangegangenen Anwendungen stellte dies keine große Einschränkung dar, weil meist nur Messwerte bei stationärem Betrieb der Prüflinge aufgenommen wurden.

3.4 Prüfstands – Steuerung

Zur Umsetzung der Aufgaben der Steuerung und Regelung des Prüfstandes wurde das Programm LabView 2015® von National Instruments gewählt. LabView ist eine durchgängige Entwicklungsumgebung für Steuer-, Mess- und Regelsysteme basierend auf einer graphischen Programmiersprache. Die externe Hardwareintegration ist einfach möglich. Die Struktur des Programms unterteilt sich in 2 Ebenen, dem Blockdiagramm, in dem der graphische Quellcode programmiert wird, und dem Frontpanel, der als User Interface dient. Näheres zur Gestaltung und Bedienung des Frontpanels findet sich in der Inbetriebnahme Anleitung in Kapitel 7.4.1.2.4.

3.4.1 Lastmomentvorgabe mittels LabView

Zur Erfüllung der Anforderungen aus 2.2 wurden eine Steuerungs- und zwei Regelungsmöglichkeiten entwickelt. Bei der Steuerung handelt es sich um eine manuelle Vorgabe des aufzubringenden Moments ohne Rückkoppelung durch ein Messinstrument. Bei den zwei Regelungsmöglichkeiten wird das Signal der Drehmomentmesswelle T20WN, sowie das Signal des Induktiven Sensors rückgekoppelt und lässt so eine Regelung zu.

Allen gemein ist das Blockschaltbild zum Lesen (vgl. Abbildung 10), sowie Ausgeben (vgl. Abbildung 11) der Daten. Die verschiedenen Kanäle, die bei der Akquise der Daten zur Auswahl stehen referenzieren auf die Anschluss-Pins der DAQ-Karte. Hier wurden Eingänge gewählt die analoge Spannungen verarbeiten können, um die

Rückkopplung des Drehzahlsignals zu gewährleisten. Für die Rückkopplung des Drehzahlsignals wurde ein Counter Eingang an der DAQ-Karte gewählt, welcher die Steigenden Flanken eines Signals zählt.

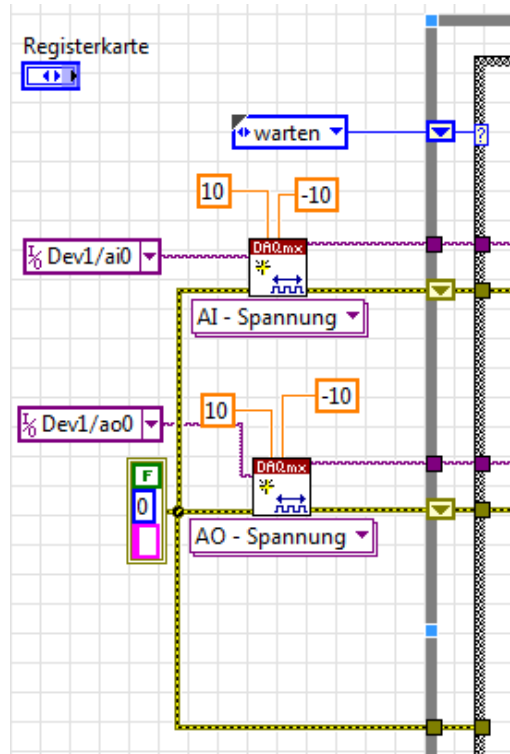


Abbildung 10 Blockschaltbild - Lesen Daten LabView

Die Datenausgabe bildet ein Modul welches an der DAQ-Karte eine Spannung anlegt, die sich direktproportional zum Bremsmoment der Belastungseinrichtung verhält.

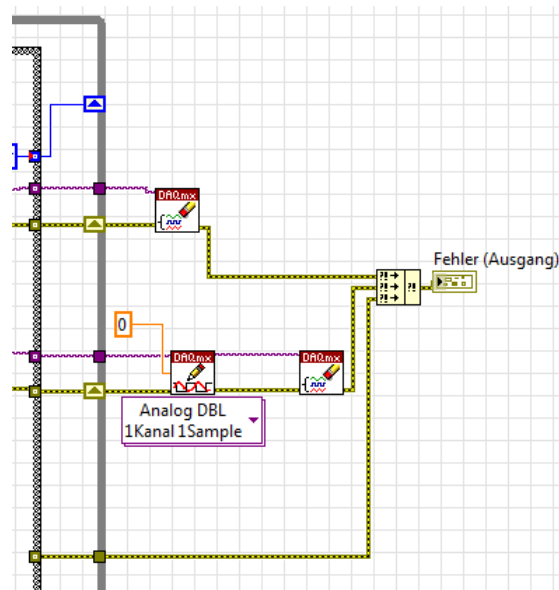


Abbildung 11 Blockschaltbild - Ausgeben Daten LabView

3.4.1.1 Steuerung – Manuelle Vorgabe

Bei der manuellen Vorgabe, kann die angelegte Spannung am Output, direkt und diskret ausgewählt werden. Dies ist mittels eines Schiebereglers, oder eines Eingabefelders möglich. Des Weiteren wird dem Benutzer direkt am Frontpanel die Information über das aktuell gemessene Drehmoment an der Drehmomentmesswelle angezeigt. (vgl. Abbildung 12)

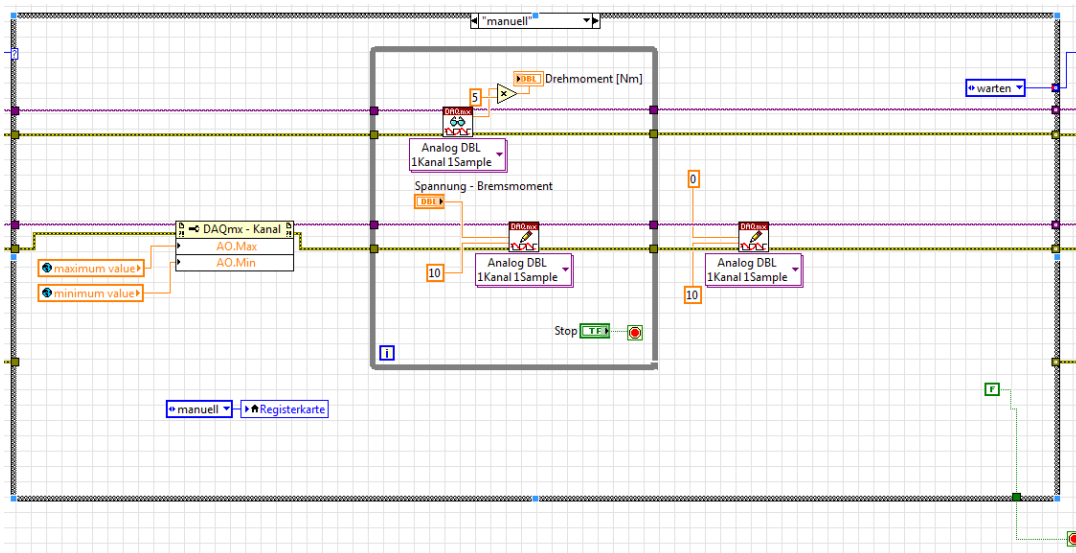


Abbildung 12 Blockschaltbild Steuerung - Manuelle Vorgabe

3.4.1.2 Drehmomentregelung

Um den Stufenversuch einfacher und genauer durchführen zu können, wurde eine Drehmomentregelung umgesetzt. Die Führungsgröße bildet der Sollwert [Nm], welcher im Frontpanel eingegeben werden kann. Als Rückkoppelung dient das Drehmomentsignal der Drehmomentmesswelle T20WN, welches als Spannungssignal vorliegt. Mit Hilfe des vorliegenden Kalibrierprotokolls kann auf ein Drehmomentsignal umgerechnet werden. Zur Regelung wird ein PID-Regler, mit änderbaren Parametern am Frontpanel eingesetzt. Zu diesen Parametern zählen neben den PID-Verstärkungswerten auch die maximale und minimale Spannungsausgabe, zur Verhinderung einer Überlastung der Komponenten. Der PID-Regler bestimmt die Stellgröße als Spannungs-Output. (vgl. Abbildung 13)

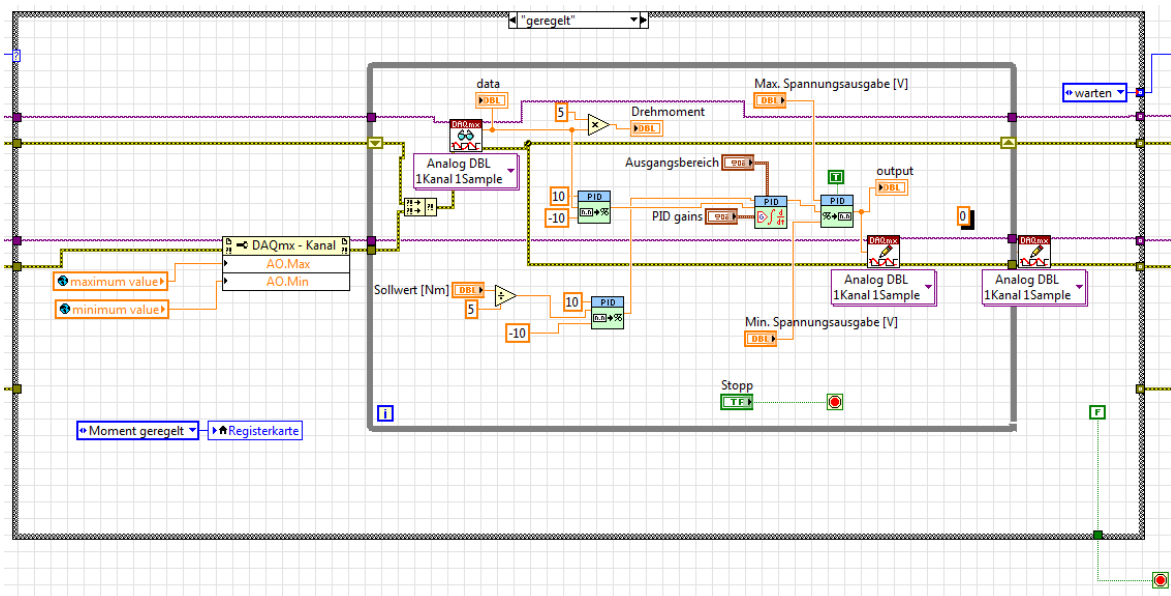


Abbildung 13 Blockschaltbild Drehmomentregelung

3.4.1.3 Drehzahlregelung

Die Drehzahlregelung hat für die eigentlichen Messungen wenig Bedeutung, kann aber bei Einsatz in einem Warmlaufversuch, konstant am Nennpunkt notwendig sein, da die Drehzahl als geometrisch unveränderbare Größe zum Einstellen des Nennpunkts besonders geeignet ist. So können interessante Informationen über die Warmlaufcharakteristik verschiedener Antriebssysteme, und die Veränderungen ihrer Wir-

kungsgrade gewonnen werden. Das Drehzahlssignal wird über den schon angesprochenen Counter-Eingang akquiriert. Die Frequenz dieses Signals ist direktproportional zur effektiven Drehzahl. Die Funktion des Reglers ist vom Funktionsprinzip analog zu 3.4.1.2. (vgl. Abbildung 14)

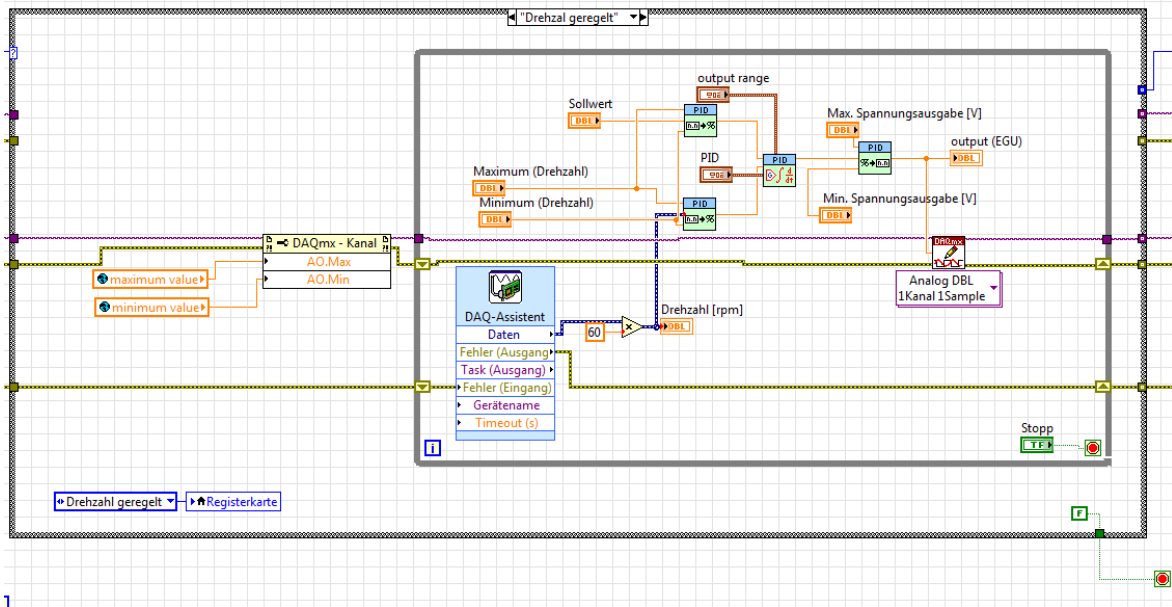


Abbildung 14 Blockschaltbild Drehzahlregelung

3.5 PC-Messsystem

Zur Messung wird ein unabhängig von der Steuerung arbeitendes computerbasiertes Messsystem der Firma Dewetron eingesetzt. Hard- und Software kommen dabei von einem Hersteller und sind dadurch ideal aufeinander abgestimmt.

3.5.1 Messhardware

Die ausgewählte Hardware erfüllt alle Voraussetzungen aus 2.1.2.3 und setzt sich wie folgt zusammen:

- Messgerät Dewetron DEWE-800
 - Windows 7® Betriebssystem

- 16 Slots für DAQ oder PAD Module
- A/D-Wandler DEWE-ORION-1616-500
 - Bis zu 40 digitale Input Channels
 - Counter/Encoder –Digital
- 4x Hochspannungsmessverstärker Dewetron DAQP-HV
 - Bandbreite 300 kHz
 - max. 1,4kV RMS ; 7 Bereiche ($\pm 20V$ bis $\pm 1400V$)
- 3x Niederspannungsmessverstärker Dewetron DAQP-LV
 - Bandbreite 300 kHz
 - 12 Bereiche ($\pm 50mV$ bis $\pm 50V$)
- 3x Strommesszangen Dewetron PROSYS CP300
 - Messbereich 300A
 - Bandbreite 100 kHz
 - Fehlerklasse 0,05%
- 2x Messshunt Dewetron DAQ Shunt 4
 - Messbereich 15A
 - Bandbreite 300kHz
 - Lesefehler 0,1%
- HBM Drehmomentmesswelle T20WN
 - Genaue Daten siehe 3.3.2

3.5.2 Messsoftware

Als Messsoftware, zur Erfassung als auch zur Verarbeitung der Messdaten kommt DEWESoft® 7.0.4. zum Einsatz. Die Software ermöglicht die Aufnahme der Messungen, sowie die spätere Auswertung und Aufbereitung der Daten in einem Programm. Die Benutzeroberfläche ist frei gestaltbar, und ermöglicht neben der graphischen Aufbereitung der Messwerte auch die Echtzeit Anzeige errechneter Werte. Es sind neben umfassenden Filtermöglichkeiten auch verschiedene Möglichkeiten der Mittelwertbildung möglich, ohne dass die roh-Daten für die Auswertung verloren gehen.

Nach dem Setup der einzelnen Kanäle (siehe 3.5.3) wurde eine Benutzeroberfläche entwickelt, welche alle relevanten Werte und Daten enthält. (vgl. Abbildung 15)

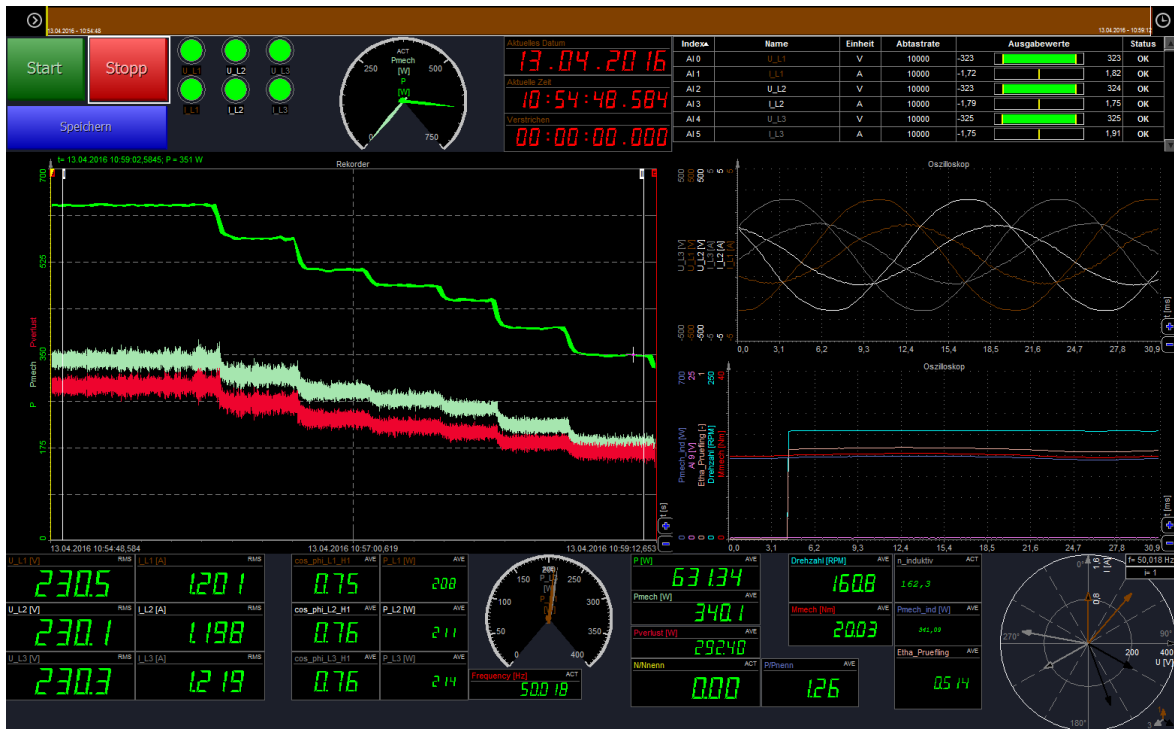


Abbildung 15 Setup Benutzeroberfläche

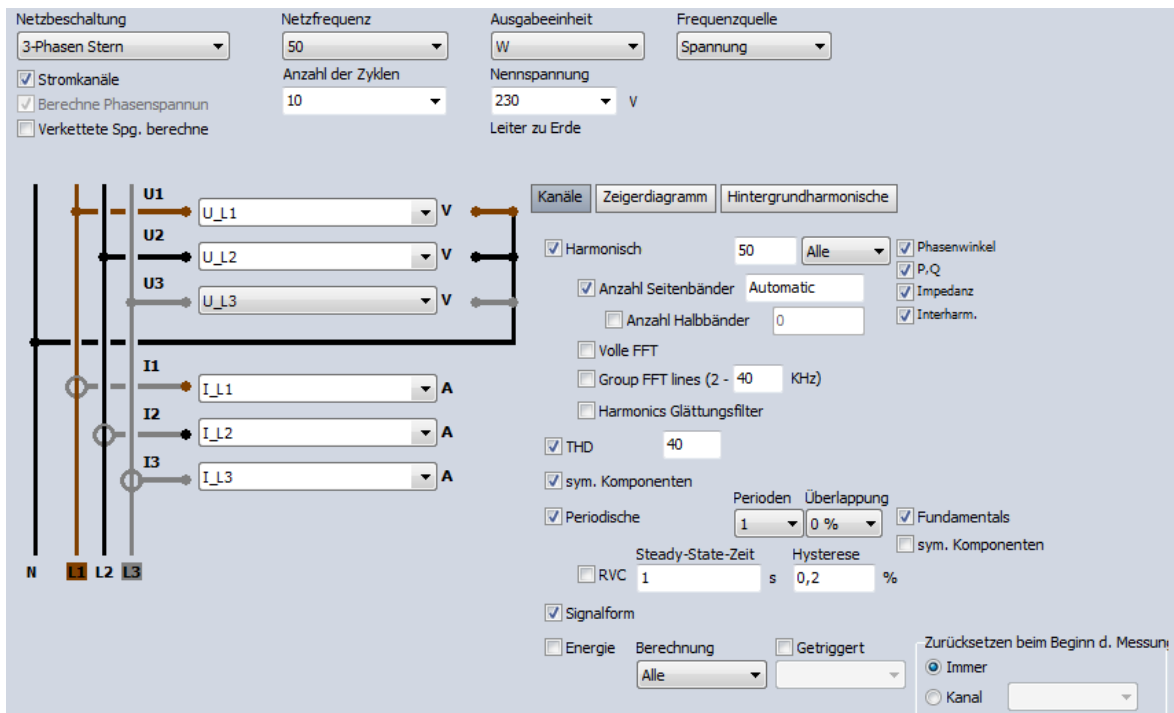


Abbildung 16 Leistungs - Modul DEWESoft® 7.0.4.

Als besonders geeignet erwies sich das Leistungs-Modul, welches in der Software integriert ist. Im Wesentlichen sind einige Parameter auszuwählen (Netzbeschaltung, Netzfrequenz, etc.), und die Messkanäle für Spannung und Strom richtig zu verketteten (vgl. Abbildung 16). Nach diesem Setup errechnet die Software Wirkleistung, Blindleistung, Scheinleistung sowie Leistungsfaktor automatisiert. Die wichtigsten Kanäle des Leistungsmoduls finden sich in Tabelle 2. Dies ist auch bei Frequenzumrichter betriebenen Antriebssystemen möglich. Des Weiteren ist auch eine FFT-Analyse der Spannung- und Stromsignale möglich, um Aufschluss über die leistungsbildenden Oberschwingungsanteile zu erlangen.

Tabelle 2 Leistungsmessung Kanäle

Wichtige Kanäle Leistungsmodul	
P	Wirkleistung
Q	Blindleistung
S	Scheinleistung
D	Verzerrungsblindleistung
cos_phi_L1	Leistungsfaktor L1
cos_phi_L2	Leistungsfaktor L2
cos_phi_L3	Leistungsfaktor L3
P_L1	Wirkleistung L1
P_L2	Wirkleistung L2
P_L3	Wirkleistung L3

3.5.3 Mess-Setup

Die Messung der anliegenden Spannungen, und des geflossenen Stroms aller drei Phasen dienen zur Erfassung der aufgenommenen elektrischen Leistung. Die Spannungen werden direkt abgegriffen und über die Hochspannungsmessverstärker gemessen. Der geflossene Strom wird über die Strommesszangen erfasst und durch die Niederspannungsmessverstärker gemessen. Die Verarbeitung der Messwerte wird in 3.5.2 genauer behandelt. Hinsichtlich der Messpunkte zur Ermittlung der elektrischen Leistungsaufnahme unterscheiden sich jedoch die verschiedenen Antriebssysteme.

- Antriebssysteme mit externem Frequenzumrichter - SEW Movimot®

Die Lage des Messpunkts der elektrischen Leistung kann hier vor (vgl. Abbildung 17 – Alternativmessung vor FU) oder nach dem Frequenzumrichter gewählt werden

Somit kann durch Vergleich von zwei Messungen unter gleicher Belastung an unterschiedlichen Messpunkten auch eine qualitative Aussage über den Wirkungsgrad des Frequenzumrichters ermittelt werden.

- Antriebssysteme mit integriertem Frequenzumrichter - SEW Movigear®

Durch den gekapselten Aufbau der SEW Movigear® Motoren ist hier nur eine Messung vor dem Frequenzumrichter möglich. Folglich kann nur der Wirkungsgrad des gesamten Antriebssystems ermittelt werden. (vgl. Abbildung 17)

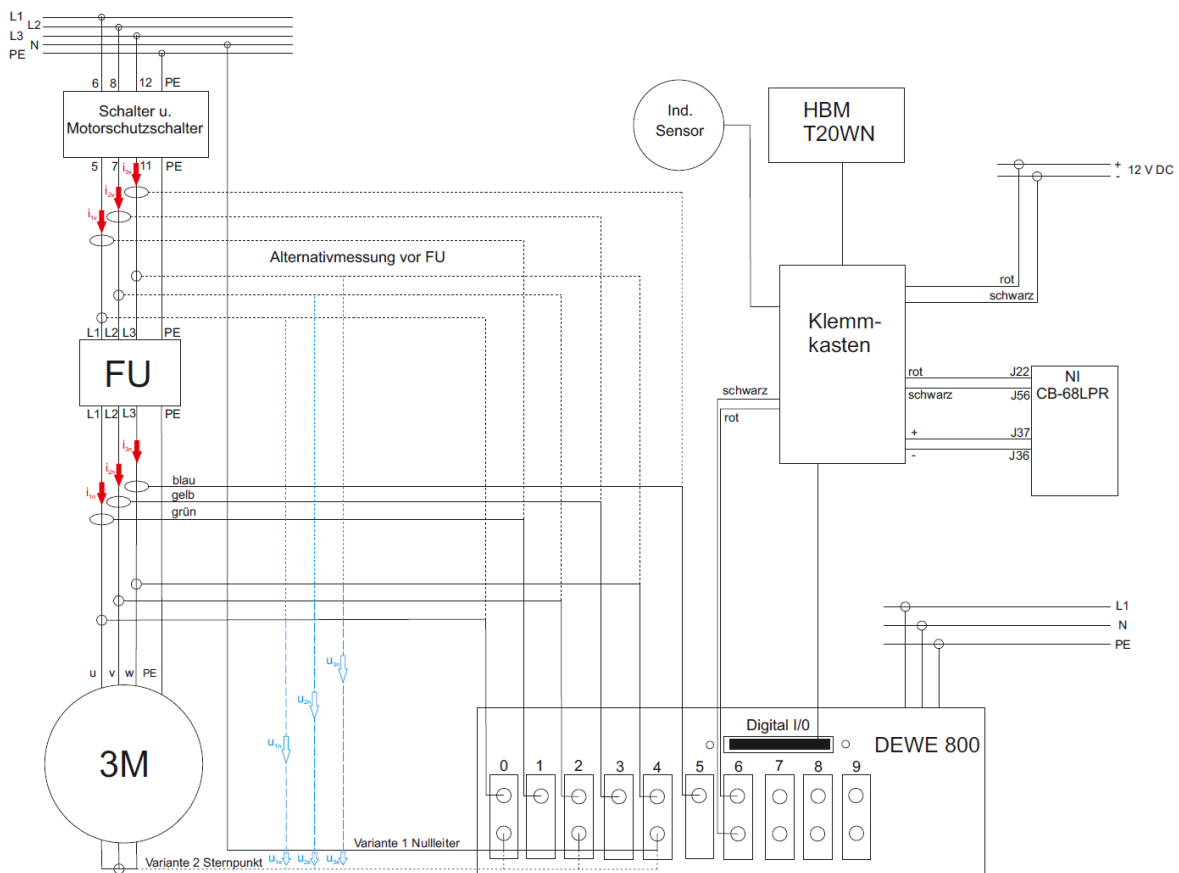


Abbildung 17 Schaltplan

Allen Messungen gemein ist das Setup zur Ermittlung der mechanischen Leistung. Das Ausgangssignal der Drehmomentwelle wird über einen Niederspannungsmessverstärker gemessen, und die Signale der optischen Drehzahlmessung werden mit im A/D-Wandler als digitales Signal weiter verarbeitet.

3.5.3.1 Kanalsetup – analoge Kanäle

In 2.1.2.2 wurde festgestellt, dass für Messungen an Antriebssystemen mit Frequenzumrichter eine hohe Abtastrate notwendig ist, um Leistungen korrekt zu erfassen. Bei den Prüflingen werden Frequenzumrichter mit einer PWM-Frequenz von 4 kHz eingesetzt. Die Abtastrate für Spannung und Strom sollte mindestens 20x höher als die Frequenz gewählt werden ([DEW13]).

Spannungsmessung – Hochspannungsmessverstärker DAQP-HV

Die drei Kanäle der Spannungsmessung werden wie folgt bezeichnet (vgl. Tabelle 3):

Tabelle 3 Spannungsmessung Kanäle

Kanal	Erklärung	Physikalischer Kanal
U_L1	Spannung L1 gegen Nullleiter/Sternpunkt	DAQP-HV 0
U_L2	Spannung L2 gegen Nullleiter/Sternpunkt	DAQP-HV 2
U_L3	Spannung L3 gegen Nullleiter/Sternpunkt	DAQP-HV 4

Das Setup aller drei Kanäle ist identisch und wie folgt (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4 Setup Spannungsmessung

Setup Spannung Kanäle U_L1, U_L2, U_L3	
Messgröße	V
Abtastrate	100 kHz
Bereich	± 400 V
Filter	700 kHz
Filter Typ	Bessel Tiefpass

Der Messbereich wurde mit $\pm 400\text{V}$ gewählt, da pro Leiter Scheitelwerte um $\pm 320\text{V}$ zu erwarten sind. Der Tiefpassfilter wurde mit einer Frequenz von 700kHz nach der Rücksprache mit Dewetron Elektrische Messgeräte GmbH gewählt, um den Informationsgehalt über Oberschwingungen bestmöglich auszunutzen. Die Abtastrate wurde mit 100 kHz gewählt um die oben definierten Anforderungen zu erfüllen.

Strommessung – Niederspannungsmessverstärker DAQP-LV

Die drei Kanäle der Strommessung werden wie folgt bezeichnet (vgl. Tabelle 5):

Tabelle 5 Strommessung Kanäle

Kanal	Erklärung	Physikalischer Kanal
I_L1	Strom L1 ; technisch positiv	DAQP-LV 1
I_L2	Strom L2 ; technisch positiv	DAQP-LV 3
I_L3	Strom L3 ; technisch positiv	DAQP-LV 5

Das Setup alle drei Kanäle ist identisch und wie folgt (vgl. Tabelle 6)

Tabelle 6 Setup Strommessung

Setup Strom Kanäle I_L1, I_L2, I_L3	
Messgröße	V
Abtastrate	100 kHz
Bereich	$\pm 0,1\text{ V}$
Filter	300 kHz
Filter Typ	Bessel Tiefpass

Die Abtastrate wurde bei dem Setup zur Strommessung analog zur Spannungsmessung gewählt. Die zu erwartenden Ströme befinden sich in einem Bereich des Scheitelwerts von unter 5 A . Deswegen wurde der Messbereich auch mit $\pm 0,1\text{V} \triangleq \pm 5\text{ A}$ angenommen. Der Filter wurde unter gleichartigen Aspekten wie bei der Strommessung ausgewählt.

Drehmomentmessung – Niederspannungsmessverstärker DAQP-LV

Der Kanal der Drehmomentmessung wird wie folgt bezeichnet (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7 Drehmomentmessung Kanal

Kanal	Erklärung	Physikalischer Kanal
M _{mech}	Mechanisches Drehmoment T20WN	DAQP-LV 6

Das Setup der Drehmomentmessung sieht wie folgt aus (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8 Setup Drehmomentmessung

Setup Drehmoment Kanal M _{mech}	
Messgröße	V
Abtastrate	100 kHz
Skalierung	+10,005 V $\hat{=}$ + 50 Nm - 9,996 V $\hat{=}$ - 50Nm
Bereich	± 10 V
Filter	300 kHz
Filter Typ	Bessel Tiefpass

Die Werte der 2-Punkt Skalierung wurden dabei aus dem Kalibrierprotokoll von HBM entnommen.

3.5.3.2 Kanalsetup – Counter/Encoder

Für den Anschluss an das A/D-Wandler Modul wurde ein 56-Pin Stecker verwendet, und eine Schaltung zur Spitzenspannungsbegrenzung vorgeschaltet.

DEWESoft® 7.0.4. verfügt über eine Counter/Encoder Funktion, welche neben einfacher Flankenählung, Drehzahlmessung auch genaue Positionsbestimmungen ermöglicht. In diesem Anwendungsfall ist eine Drehzahlmessung mit Drehrichtungsbestimmung notwendig. Die Drehmomentmesswelle liefert zwei um 90° zueinander Phasenverschobene Rechtecksignale. Diese Signale werden wie folgt in der Software eingestellt und verarbeitet (vgl. Tabelle 9, Tabelle 10).

Tabelle 9 Drehzahlmessung Kanäle

Kanal	Erklärung	Physikalischer Kanal
Drehzahl	Rechtecksignal	Source_B0_CNT0
	Rechtecksignal -90° phasenverschoben	Aux_B0_CNT0

Der Encoder, als Einstellung im Counter Mode ermöglicht es mehrere Signale auszuwerten, und diese mit einer Logik zu verknüpfen. Als Encoder Mode, oder Auswertelogik wird X1 gewählt. Diese Logik führt eine fortlaufende Impulzzählung von Signal A durch, wenn dieses Signal B vor eilt. Umgekehrt findet eine negative Impulzzählung von Signal B statt, wenn dieses Signal A vor eilt. So ist eine korrekte Drehrichtungserfassung möglich (vgl. Tabelle 10).

Tabelle 10 Setup Encoder Drehzahl

Setup Encoder Kanal Drehzahl	
Messgröße	V
Abtastrate	100 kHz
Counter Mode	Encoder
Signal A	Source_B0_CNT0
Signal B	Aux_B0_CNT0
Encoder Pulse	360 Pulse
Encoder Mode	X1
Bereich	± 10 V
Input Filter	500 ns

Der Bereich von ±10 V ist begründet durch den A/D-Wandler, der für Spannungen von maximal ±10 V geeignet ist. Zur Sicherstellung, dass keine Beschädigungen durch Überspannung entstehen, wurde eine Schaltung zur Spannungsbegrenzung in den Aufbau integriert.

3.5.3.3 Kanalsetup – mathematische Kanäle

Die mathematischen Kanäle in DEWESoft® 7.0.4 ermöglichen die die Verknüpfung einzelner Kanäle miteinander sowohl als Setup vor der Messung, wie auch nachträg-

lich in der Auswertung und Analyse. Folgend die eingesetzten Kanäle und deren Zusammenhänge (vgl. Tabelle 11).

Tabelle 11 mathematische Kanäle

Kanal	Erklärung	Formel
P_{mech}	mechanische Leistung	$P_{mech} = \frac{Drehzahl * \pi * M_{mech}}{30}$
$Etha_Prüfling$	Wirkungsgrad Prüfling	$Etha_Prüfling = \frac{P_{mech}}{P}$
$P_{verlust}$	Verlustleistung	$P_{verlust} = P - P_{mech}$
$dt_induktiv$	Δt für eine Umdrehung - Induktiver Sensor - physikalischer Kanal AI9	$dt_induktiv = stopwatch('AI9' > 10, 'AI9' > 10)$
$n_induktiv$	Drehzahl - aus Messung mit induktivem Sensor	$n_induktiv = \frac{1}{dt_induktiv * 60}$

Es sind noch etliche weitere mathematische Kanäle für das Setup definiert. Neben fortlaufender Mittelwertbildung der in Tabelle 11 definierten Kanäle, sind einige Kanäle für die Übersichtlichkeit der Bedienung definiert. Diese sind mit Parametern auszustatten, welche sich von Prüfling zu Prüfling unterscheiden, und hardcodiert werden müssen.

3.5.4 Auswertung der Messdaten

Nachdem die Messdaten erfasst wurden, können sie direkt in DEWESoft® 7.0.4. aufbereitet werden, oder in mehreren Formaten exportiert werden. Nach der Mittelwertbildung über einen geeigneten Zeitraum jeder einzelnen Messstelle der Stufenmessung in DEWESoft® 7.0.4. sollen diese in einem externen Programm weiter aufbereitet werden. Ein Tabellenverarbeitungsprogramm würde sich dafür eignen, da neben der graphischen Darstellung auch mathematisch-statistische Operationen möglich sind.

Sowohl die Messdaten in DEWESoft® 7.0.4. als auch die exportierten Daten müssen vorab auf Plausibilität und Vollständigkeit geprüft werden.

4 Testmessungen

Um die Funktion des Prüfstands sicherzustellen soll anhand eines Prüflings ein Wirkungsgradkennfeld gemessen und ausgewertet werden. Anhand dieser Informationen können noch Parametereinstellungen verbessert werden, oder mechanische Systeme feinjustiert werden. Der Versuchsaufbau zur Durchführung der Testmessungen stellt sich wie in Kapitel 3 erarbeitet dar (vgl. Abbildung 18).

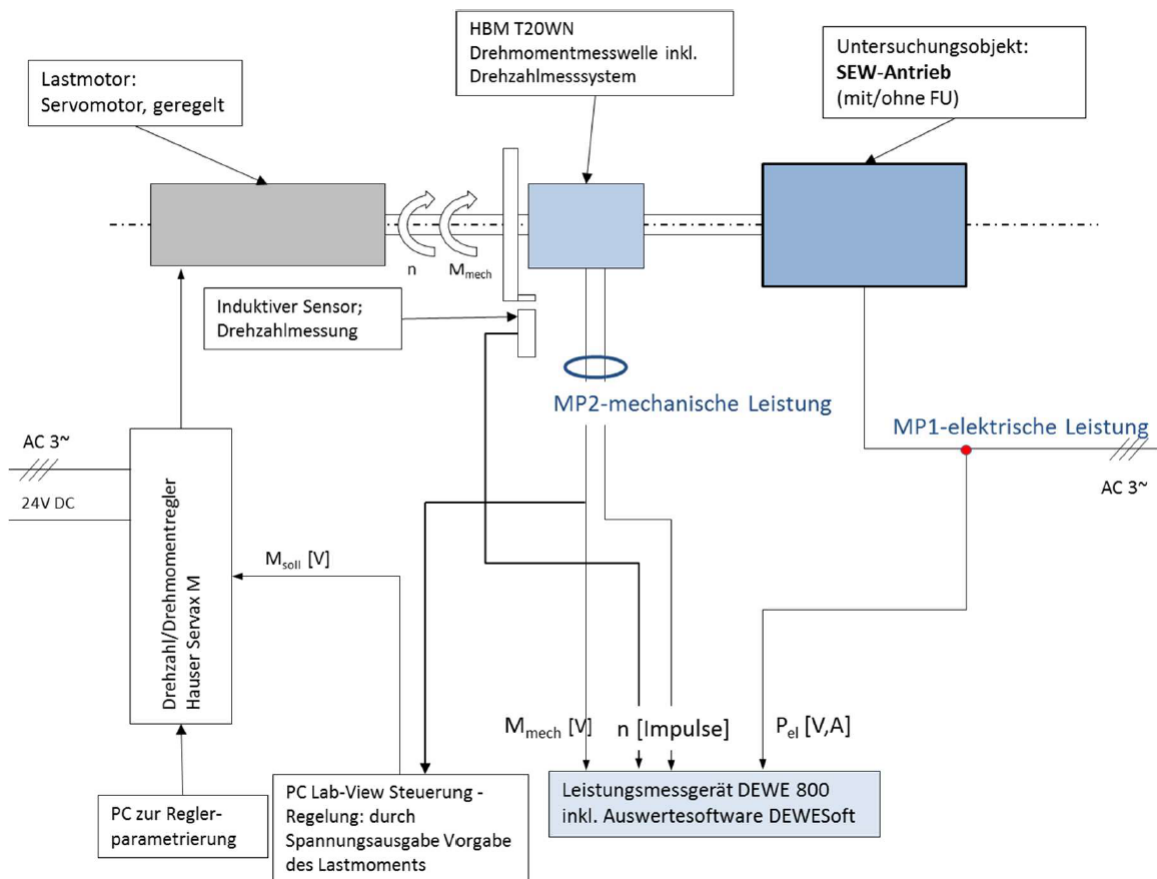


Abbildung 18 Versuchsaufbau Testmessungen

4.1 Validierung der Messketten

Nach Beschaffung, Aufbau und Inbetriebnahme der besprochenen Komponenten und Messtechnik, sollen die einzelnen Messketten zusätzlich validiert werden. Dies stellt die Plausibilität der Messergebnisse sicher und verhindert systematische Fehler.

4.1.1 Messkette Drehmomentmessung

Die Messkette der Drehmomentmessung setzt sich aus der Drehmomentmesswelle, dem integrierten Messverstärker und dem Niederspannungsmessverstärker zusammen. Um die gesamte Messkette auf Plausibilität zu prüfen wird diese statisch belastet. Dafür wurde über einen eigens angefertigten Hebel das System in einem definierten Abstand mit einem Gewicht belastet (vgl. Abbildung 19). Der Hebel wurde mit einer Wasserwaage genau in die horizontale Lage eingemessen, und das Gewicht des Hebels selbst durch Nullen des Moments in DEWESoft® 7.0.4. ausgeglichen.

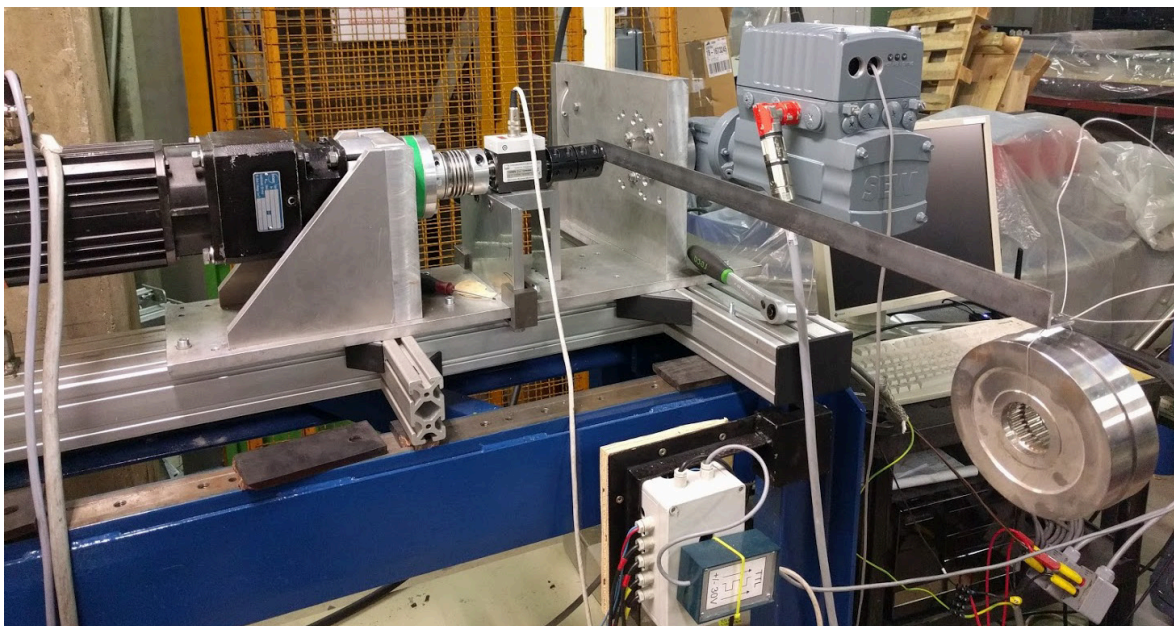


Abbildung 19 Versuchsaufbau Drehmomentvalidierung

Nach aufbringen des Prüfgewichts wurde das abklingen der auftretenden Schwingung abgewartet, um quasistatische Messbedingungen zu erhalten. Danach wurde die Messung gestartet und der Mittelwert des Drehmoments ausgewertet.

Konkret wurde in einem Abstand von 750mm ein Masse von 5,3kg aufgebracht.

$$M_{th_valid} = r * m * g = 0,75m * 5,3 kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = 38,99 Nm$$

Das Messergebnis über die Messkette betrug 38,27 Nm. Somit ist die Plausibilität der Drehmomentmessung gewährleistet, und die Messkette positiv validiert.

4.1.2 Messkette elektrische Leistung

Die Messkette der elektrischen Leistung besteht aus den Strommesszangen und Niederspannungsmessverstärkern für die Strommessung und Messspitzen und den Hochspannungsmessverstärkern für die Spannungsmessung. Die Spannungsmessung ist plausibel und benötigt keine gesonderte Validierung. Um die Strommessung validieren zu können muss der Versuchsaufbau mit einem Prüfling komplettiert werden. Als Prüfling wird dabei ein SEW-Getriebemotor mit integriertem Frequenzumrichter Typ KA19/T DRC1-005-DBC-A-ECR mit den Spezifikationen wie in Tabelle 12 ersichtlich eingesetzt.

Aufgrund der Nennleistungen der Prüflinge die unter 1 kW liegt, befindet sich die Peak-Stromstärke meist unter 3A. Die Strommesszangen des Typs Prosys CP 300 weisen einen Messbereich von 300A auf. Der Niederspannungsmessverstärker verfügt über eine Messbereichsanpassung der Eingangsverstärkung und kann so auf die zu erwartenden Peak-Stromstärken angepasst werden.

Tabelle 12 Prüfling KA 19/T DRC1-005-DBC-A-ECR Spezifikation

KA 19/T DRC1 - 005 - DBC - A - ECR	
Prüfling:	KA 19/T DRC1 - 005 - DBC - A - ECR
Komponenten:	Motor, Getriebe, FU mit motorintegrierter Installation

Frequenzumrichter:	integriert
Nennleistung	0,55 kW
Nenndrehmoment Getriebeausgang:	27 Nm
Nenndrehzahl Motor	2000 rpm
Übersetzung Getriebe	i=10
Getriebeausführung	2-stufig ; Stirnradgetriebe u. Kegelradgetriebe
Effizienzklasse	IE4

Der Messaufbau, das Setup und Schaltplan stellt sich wie in Kapitel 3.5.3 erläutert dar. Zur Validierung der Messkette werden zwei Messstellen definiert (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13 Messstellenplan Validierung elektrische Leistung

Messstelle	M_{rel}	n_{rel}
MS 1	1	0,5
MS 2	1	1

Diese werden in zwei Konfigurationen gemessen, nachdem der Warmlauf erfolgt ist. Als erste Konfiguration wird die Strommessung mit drei Strommesszangen des Typs Prosys CP300 durchgeführt (Konfiguration 1). Anschließend wird die Messung unter gleichen Bedingungen in der Konfiguration zwei Messshunts Dewetron DAQ Shunt 4 und einer Strommesszange Prosys CP300 wiederholt (Konfiguration 2). Der Vergleich der Ergebnisse soll die Plausibilität der Durchgeführten Messungen bestätigen.

Die Messungen werden wie in Kapitel 3.5.4 erläutert aufbereitet.

An der Messstelle 2, dem Nennpunkt ergibt sich eine Abweichung der Wirkleistungen der beiden Konfigurationen von 1%, an der Messstelle 1 von 0,4%. Somit ist die Messkette elektrische Leistung positiv validiert.

4.1.3 Messkette Drehzahlmessung

Die Messkette der Drehzahlmessung besteht aus dem optischen Drehzahlmesssystem der Drehmomentmesswelle T20WN, dem integrierten Messverstärker, und dem A/D-Wandler. Zur Validierung wird parallel mit einem zweiten Messsystem gemessen.

Der induktive Sensor, der für die Rückkopplung der Drehzahlregelung Verwendung findet, wird an einen Niederspannungsmessverstärker angeschlossen. Mit der Messung der Zeitspanne zwischen zwei Spannungsimpulsen kann auf eine Drehzahl gerechnet werden (vgl. Kapitel 3.5.3.3). Das nur ein Impuls pro Umdrehung zur Verfügung steht stellt keine Einschränkung dar, da die Validierung der Drehzahlmessung unter stationären Bedingungen stattfindet. Dafür wurden die gleichen Messstellen wie in Kapitel 4.1.2 definiert und gemessen.

Beim Vergleich der Ergebnisse der Drehzahlmessungen ergibt sich eine Abweichung an Messstelle 1 von 0,2% und an Messstelle 2 von 0,1%.

Mit diesen Ergebnissen kann die Drehzahlmessung als positiv validiert angesehen werden.

4.2 Versuchsaufgabe

Nach der Validierung aller Messketten kann mit den eigentlich relevanten Messungen begonnen werden.

Es soll ein Teil eine Wirkungsgradlinie gemessen und ausgewertet werden.

Zusätzlich soll mit einem ein exemplarischer Warmlaufversuch durchgeführt und ausgewertet werden.

4.3 Versuchsdurchführung

Zur Durchführung des Versuchs wird der Prüfling mit der Spezifikation welche in Tabelle 14 ersichtlich ist in den Versuchsaufbau integriert. Hierbei handelt es sich um ein Antriebssystem ohne Stellglied, es wird also starr am Netz betrieben. Ein diskretes Einstellen einer relativen Drehzahl n_{rel} ist also hier nicht möglich.

Tabelle 14 Prüfling W20 DRS71S4/Z Spezifikation

W20 DRS71S4/Z	
Prüfling:	W20 DRS71S4/Z
Komponenten:	Motor, Getriebe
Frequenzumrichter:	-
Nennleistung	0,37 kW
Nenndrehmoment Getriebeausgang:	18 Nm
Nenndrehzahl Motor/Getriebeausgang	1380 rpm / 168 rpm
Übersetzung Getriebe	$i = 8,2$
Getriebeausführung	1-stufig, Spiroplan®-Getriebe
Beschaltung	Sternschaltung

Zum Zwecke der späteren Auswertung ist die Bestimmung der Leistungsaufnahme sowie des mechanische Moments im Nennpunkt notwendig. Somit kann in weitere Folge auf ein relatives Moment M_{rel} gerechnet werden, und dieses zur Einstellung der Messstellen verwendet werden. Da der Nennpunkt nicht am Wellenausgang der Asynchronmaschine messtechnisch bestimmt werden kann, muss der Nennpunkt über die Angaben am Motortypenschild eingestellt werden. Vorher muss ein ausreichender langer Warmlauf erfolgen – bis keine zeitliche Änderung der Leistungen/des Moments mehr feststellbar ist. Aus dem Warmlaufversuch können nähere Erkenntnisse dafür ermittelt werden. Für diese Einstellung wurden zwei relevante Kriterien herangezogen.

- **Kriterium 1:** Nenndrehzahl am Getriebeausgang – geometrisch durch Übersetzungsverhältnis fix bestimmte Größe
- **Kriterium 2:** Leistungsfaktor $\cos \varphi$ – gemessener Wert muss Angabe am Typenschild übereinstimmen.

Mit Hilfe dieser messtechnischen Bestimmung des Nennpunkts kann das relative Moment M_{rel} nun genau erfasst werden.

4.3.1 Warmlaufversuch

Für den Warmlaufversuch wird die Drehzahl als erstes Kriterium konstant gehalten. Dies geschieht mittels des in Kapitel 3.4.1.3 erläuterten Regelungssystems. Konkret wird die Drehzahl dabei auf 168 rpm konstant gehalten. Dies geschieht über die Variation des Belastungsmoments.

Der Messbeginn erfolgt bei kaltem Motor. Die Messdauer beträgt 3600 Sekunden.

4.3.2 Aufnahme Wirkungsgradlinie

Wie bereits in Kapitel 4.3 erläutert handelt es sich bei dem Prüfling um ein System ohne Stellglied. Der Messstellenplan orientiert sich daher nur an dem relativen Moment M_{rel} . Die erarbeitete Systematik eines Messstellenplans aus Kapitel 2.2 gilt für Antriebssysteme mit Stellgliedern aber ohne Einschränkungen. Es wird ein Stufenversuch für diskrete Belastungsstufen durchgeführt. Jede Belastungsstufe wird dabei mindestens 30 Sekunden gehalten, um ausreichend Messdaten für die spätere Mittelwertbildung zu erhalten.

Die Regelung, die das konstant halten, und die Sprünge der Belastungsstufen ermöglicht geschieht mittels der in Kapitel 3.4.1.3 erarbeiteten Drehmomentregelung. Konkret sind für diese Messung 13 Belastungsstufen im Bereich von 1 Nm bis 20 Nm vorgesehen.

4.4 Ergebnisse und Auswertungen der Testmessungen

Nach Versuchsdurchführung wurden die Messdaten in DEWESoft® 7.0.4. auf Plausibilität geprüft, und gefiltert. Zur Aufbereitung wurden die Daten der relevanten Kanäle in Microsoft Excel 2010 ® exportiert und dort graphisch als auch statistisch aufbereitet.

4.4.1 Warmlaufversuch

Der Warmlaufversuch brachte die erwarteten Ergebnisse in Hinblick auf die Charakteristik der zeitlichen Änderungen der mechanischen Leistung und der elektrischen Wirkleistung. Der Verlauf zeigt die Form einer e-Funktion der mechanischen als auch elektrischen Größen (vgl. Abbildung 20). Der in Kapitel 2.2.1.1 definierte Gradient G_M wird in diesem Versuch ab einer Zeit ab Messbeginn von 2400 s unterschritten. Die Verlustleistung P_V ist als Differenz der elektrischen Wirkleistung und der mechanischen Leistung indirekt ermittelbar (vgl. Abbildung 20)

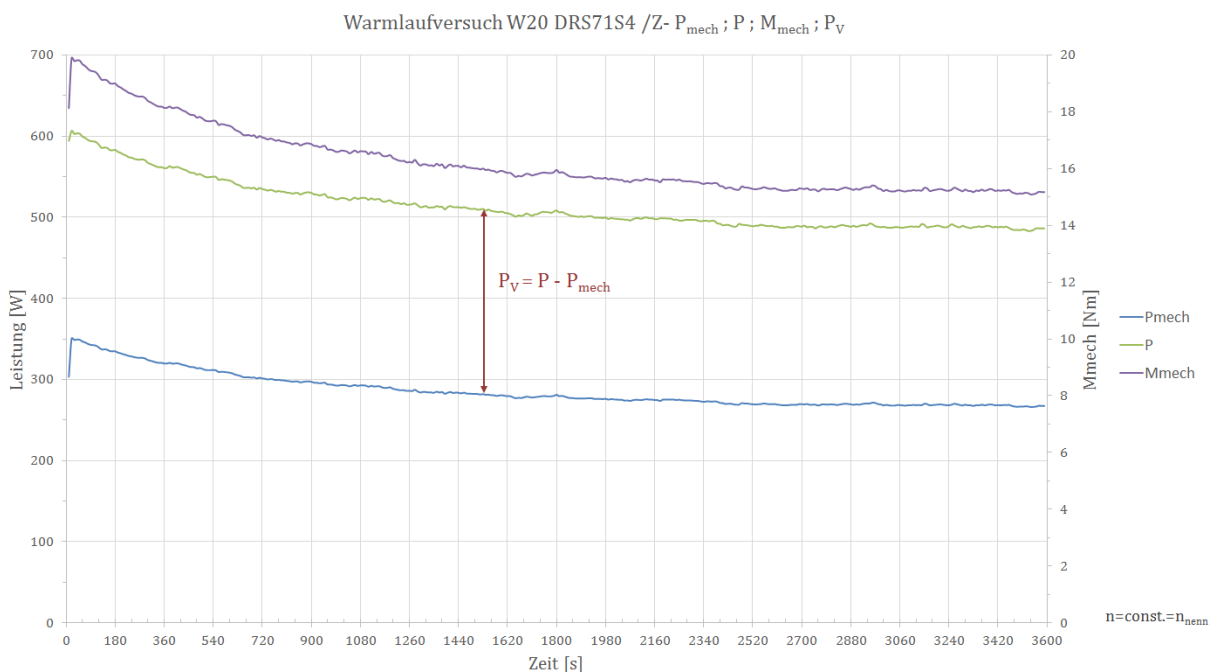


Abbildung 20 Auswertung Warmlaufversuch P_{mech} ; P ; M_{mech} ; P_V

Die Messwerte im Bereich von 2400s-3600s können nun zur Bestimmung des Nennpunkts herangezogen werden. Aus der Mittelung der Werte für mechanische Leistung und mechanischen Moment in diesem Zeitraum können nun die Nennwerte gebildet werden.

Tabelle 15 Nennpunktbestimmung W20 DRS71S4/Z

Nennpunktbestimmung Warmlaufversuch [(t G _M)-3600s]	
M_{nenn}	15,25 Nm
P_{mech_nenn}	268,88 W
P_{nenn}	488,39 W

Mit dieser Information für den Nennpunkt können nun die elektrische Wirkleistung P_{rel} mechanischen Leistung P_{mech_rel} als auch das Moment M_{rel} normiert werden.

$$P_{mech_rel} = \frac{P_{mech}}{P_{mech_nenn}}$$

$$P_{rel} = \frac{P}{P_{nenn}}$$

Aus diesen Ergebnissen kann auch eine Aussage über das Verhalten des Wirkungsgrads während der gesamten Warmlaufphase getätigt werden (vgl. Abbildung 21). Bei kaltem Motor, und geringeren Ohm'schen Verlusten, jedoch auch Getriebeöl mit kleinerer Viskosität findet sich ein um ca. 3% größerer Wirkungsgrad als bei warmen Motor und Getriebeöl mit niedrigerer Viskosität.

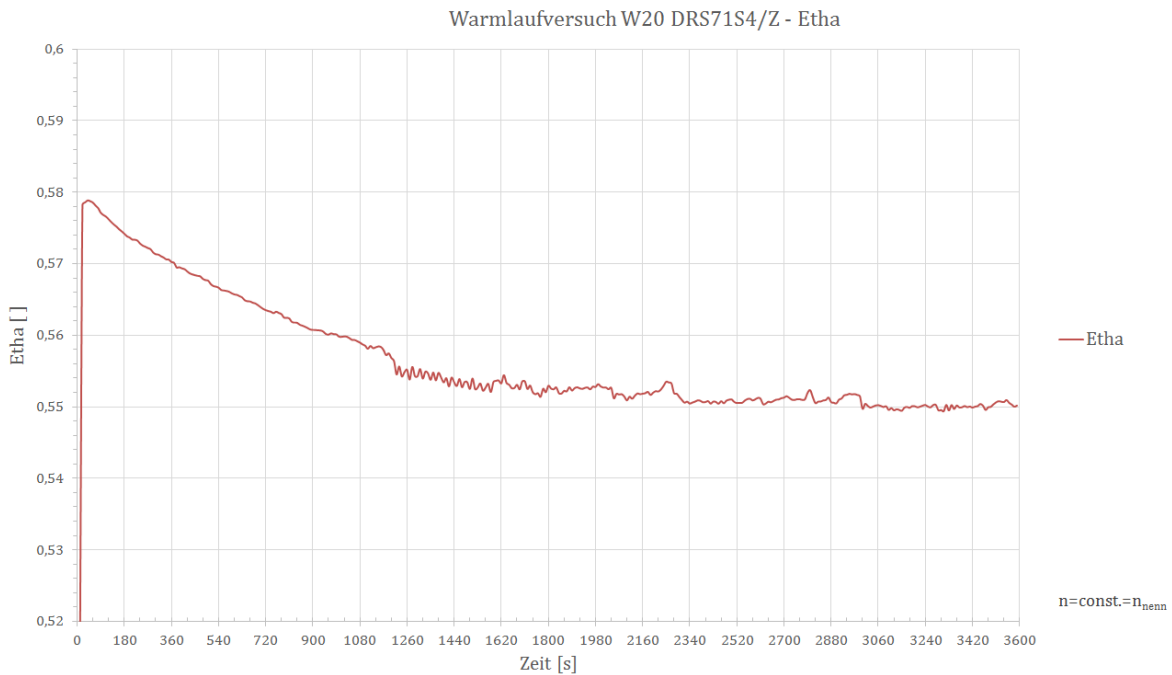


Abbildung 21 Auswertung Warmlaufversuch Etha

Diese Ergebnisse aus dem Warmlaufversuch bringen wichtige Erkenntnisse um die folgenden Wirkungsgrad Verläufe richtig zu ermitteln.

4.4.2 Aufnahme Wirkungsgradlinie

Die Messung zur Ermittlung einer Wirkungsgradlinie erfolgte an den in Tabelle 16 ersichtlichen Messstellen. Jede Messstelle wurde für mindestens 30s gehalten und aus den Werten dieser Messstellen in Microsoft Excel 2010 ® die Mittelwerte über die Zeit der konstanten Belastung gebildet. Es ist dies als eine Testmessung zur reinen Validierung der Funktion des gesamten Prüfstands und des Messsystems zu sehen, und entspricht daher auch nicht dem in Kapitel 2.2 definiertem Versuchsablauf. Es wurden noch weitere Messungen an Antriebssystemen mit Stellglied durchgeführt die dem Messstellenplan aus Abbildung 23 entsprechen. Die Ergebnisse dieser Messungen wurden jedoch vom Projektpartner noch nicht zur Veröffentlichung freigegeben.

Tabelle 16 Messstellen und Ergebnisse

P [W]	P _{mech} [W]	Etha	M _{mech} [Nm]	P _{mech_rel}	P _{rel}	M _{rel}	Drehzahl [rpm]
631,59	339,76	0,54	20,00	1,26	1,29	1,31	162,10
568,85	310,59	0,55	18,01	1,16	1,17	1,18	164,68
507,16	279,18	0,55	16,04	1,04	1,04	1,05	167,14
478,97	264,17	0,55	15,06	0,98	0,98	0,99	168,33
451,45	248,12	0,55	14,09	0,92	0,92	0,92	169,39
401,08	216,48	0,54	12,05	0,81	0,82	0,79	171,55
349,49	182,44	0,52	10,04	0,68	0,72	0,66	173,51
299,68	146,64	0,49	8,12	0,55	0,61	0,53	175,29
248,13	110,58	0,45	6,06	0,41	0,51	0,40	177,06
208,42	76,34	0,37	4,04	0,28	0,43	0,26	178,68
179,94	55,65	0,31	3,04	0,21	0,37	0,20	178,60
162,69	38,67	0,24	2,04	0,14	0,33	0,13	180,25
142,99	20,01	0,14	1,07	0,07	0,29	0,07	179,90

An der graphischen Aufbereitung der Ergebnisse (vgl. Abbildung 22) kann die Charakteristik der Wirkungsgradkurve gut abgelesen werden. Sie findet Ihren Scheitelpunkt im Nennpunkt, darüber hinaus zeigt diese eine leicht degressive Charakteristik. Je geringer die Belastung, desto stärker sinkt der Wirkungsgrad. Dieser Verlauf war in seiner Form und Ausprägung so erwartet worden, und zeigt, dass der Prüfstands Aufbau in dieser Form als validiert anzusehen ist.

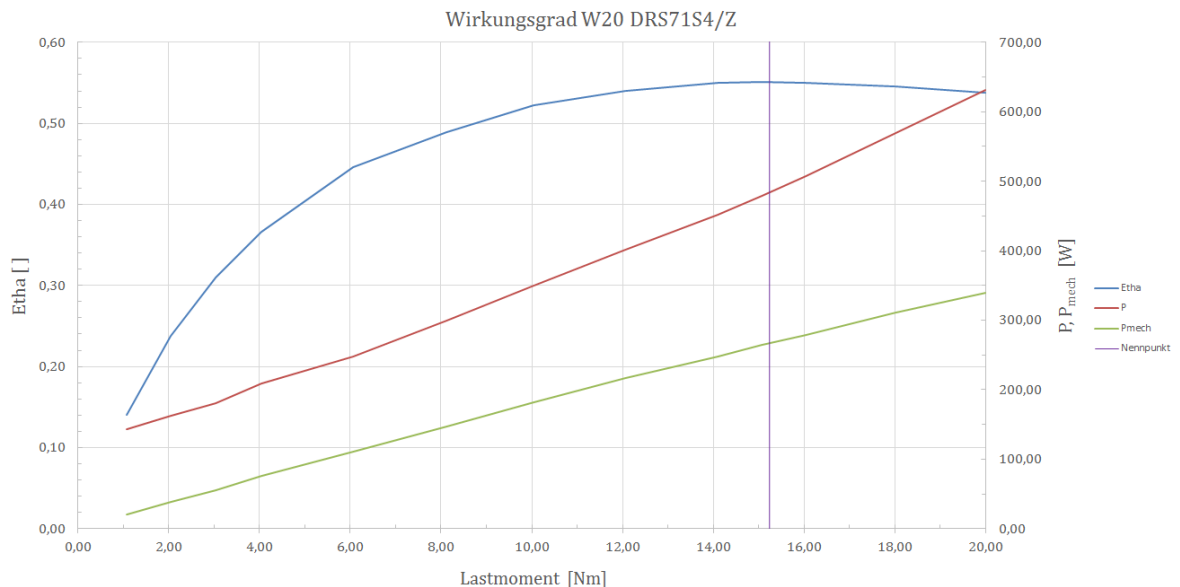


Abbildung 22 Auswertung Wirkungsgradmessung

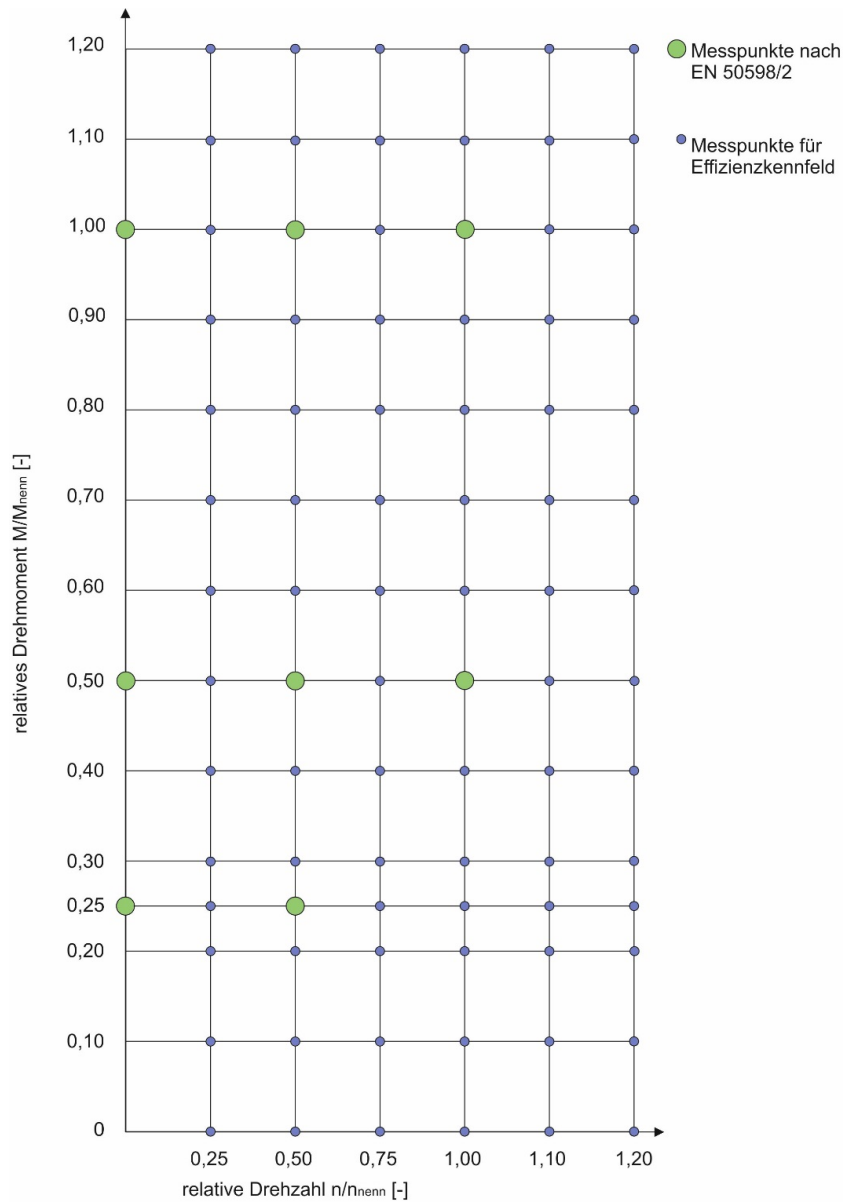


Abbildung 23 Messstellenplan Effizienzkennfeld

Als weiteres Ergebnis ist die Veränderung der Drehzahl (vgl. Tabelle 16) zu sehen. Mit zunehmender Belastung nimmt die Drehzahl ab, der Schlupf s_{ASM} in der Asynchronmaschine also zu. Dies entspricht dem Standardverhalten jeder Asynchronmaschine.

$$s_{ASM} = \frac{\omega_{Rotor}}{\omega_{Stator}}$$

5 Fazit und Ausblick

Die Entwicklung des Antriebssystemprüfstands für Antriebe der Materialflusstechnik gliederte sich methodisch in drei wesentliche Schwerpunkte:

- Definition der Ziele – Ableitung von Anforderungen
- Umsetzung der Anforderungen am Prüfstand
- Validierung der Messketten – Testmessungen

Die Definition der Ziele wurde im Wesentlichen von einem Anforderungskatalog, und den in Zusammenarbeit den Industriepartner abgesteckten Versuchsabläufen bestimmt. Durch die Erarbeitung der Eckdaten der zu Untersuchenden Antriebssysteme und notwendigen Messgrößen wurde die Planungsphase komplettiert.

In der Umsetzung der Anforderungen wurde die mechanische Konstruktion näher erläutert, sowie die einzelnen Komponenten des Prüfstands mit ihren wichtigsten Eckdaten und Funktionen vorgestellt. Der schematische Aufbau des Prüfstands mit all seinen Schnittstellen zu Steuerung und Messtechnik wurde intensiv erarbeitet. Die als erforderliches Kriterium im Anforderungskatalog definierte Drehmoment- und Drehzahlregelung wurde in NI LabView® realisiert und erfolgreich in Betrieb genommen. Die geeignete Messhardware für die durchaus komplexen und hohen Anforderungen der Messungen an Frequenzumrichtern wurde bestimmt, und Softwareseitig ein Setup zur übersichtlichen Messdatenaufzeichnung entwickelt.

Zur Sicherstellung der richtigen Funktion des Prüfstands und der Messtechnik wurden die Messketten der Drehzahl-, Drehmoment und elektrischen Leistungsmessung einzeln validiert und anschließend Testmessungen mit erfolgreichem Ausgang durchgeführt.

Alle erforderlichen Kriterien des Anforderungskatalogs aus Kapitel 2.1 (vgl. Tabelle 1) sind in dieser Arbeit behandelt und erfüllt worden. Darüber hinaus wurden wünschenswerte Kriterien angedacht und in Teilen umgesetzt. Die in Kapitel 1.3 - Zielformulierung – definierten drei Problemstellungen wurden erarbeitet und können für den Antriebssystemprüfstand als beantwortet betrachtet werden.

Aktuell wird in einer Bachelorarbeit an einem Zentriersystem für Prüflinge gearbeitet, welches in Zukunft den Wechsel zwischen verschiedenen Antriebssystemen weiter vereinfachen wird. Die Ergebnisse aus Wirkungsgradkennfeldmessungen neuer Antriebssysteme sollen direkt in einen Energieeffizienzrechner für komplexe Materialflusssysteme einfließen, und dort einen Beitrag zur Identifikation von Potentialen zur Effizienzsteigerung leisten.

6 Verzeichnisse

6.1 Literaturverzeichnis

- [KRA08] Kramm, M.: *Der Energieausweis für Distributionszentren*. In: Tagungsband Energieeffizienz im Lager (2008), Köln.
- [HL13] Hafner, N.; Lottersberger, F.: *Energieeffizienzsteigerungen - Potentiale automatisierter Intralogistikanlagen*. - in: SPS IPC Drives ; 2013 (2013), S. 379 - 388
- [HL13a] Hafner, N.; Lottersberger, F.: *Messsystem zur Verbesserung der Energieeffizienz in automatisierten Materialflissanlagen*. In: Tagungsband 3. Tagung Innovation Messtechnik (2013), S. 8-13
- [LOT15] Lottersberger, Florian: *Beitrag zu einer energieeffizienten Materialflusstechnik Grundlagen zur Ermittlung, zum Vergleich und zur Steigerung der Energieeffizienz*. Dissertation, Technische Universität Graz, Fakultät Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften, 2015 (2015)
- [EK15] Europäische Kommission, *COP 21 Weltklimakonferenz in Paris*
 URL:http://ec.europa.eu/priorities/energy-union-and-climate/climate-action-emission-reduction/cop21-un-climate-change-conference-paris_de Abgerufen am 14.12.2016 (2015)
- [ZIM15] Zimmer Electronic Systems; Jäckle, Thomas: *Elektrische Leistung und Wirkungsgrad am Frequenzumrichter zuverlässig messen*. ZES GmbH, 2015 (2015)
- [BDE13] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft: *BDEW Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken 2013. Forschungsbericht*. URL: [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/17DF3FA36BF264EBC1257B0A003EE8B8/\\$file/Energieinfo_EE-unddas-EEG-Januar-2013.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/17DF3FA36BF264EBC1257B0A003EE8B8/$file/Energieinfo_EE-unddas-EEG-Januar-2013.pdf) – Abrufdatum: 2015-12-10. (2013)
- [SIM02] Simonlehner, Gernot: *Konstruktion und Inbetriebnahme eines Schneckengetriebe Prüfstands*. Diplomarbeit, Technische Universität Graz, Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften, 2002 (2002)
- [FUC04] Fuchs, Oliver: *Inbetriebnahme eines Schneckengetriebeprüfstands Umrüstung für Untersuchungen an einem Abseilgerät*. Diplomarbeit, Technische

Universität Graz, Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften, 2004 (2004)

- [HL12] Hafner, N.; Lottersberger, F.: *Energy Efficiency in Material Flow Systems (effMFS)*. In: FME transactions 40 (2012) 4, S. 181 – 186
- [Eur06] Europäische Union: Richtlinie 2006/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz (2006)
- [ÖNO15] OVE/Austrian Standard Institute: *ÖNORM EN 50598-2 Ökodesign für Antriebssysteme, Motorstartr, Leistungselektronik und deren angetriebene Einrichtungen Teil 2*, Wien (2015)
- [DEW13] Dewetron, Power Tutorial; *Messungen in der elektrischen Energietechnik*, Dewetron elektronische Messgeräte GmbH (2013)

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Anteil der Energiebedarfe in Logistikzentren ([KRA08])	2
Abbildung 2 hierarchische Grundstruktur in MFS.....	3
Abbildung 3 Darstellung der Arbeitspunkte der Drehzahl in Abhängigkeit vom Drehmoment zur Bestimmung der Verlustleistung des Antriebssystems ([ÖNO15])	13
Abbildung 4 Warmlaufversuch; relatives Moment über Zeit	15
Abbildung 5 Stufenversuch; relatives Drehmoment über Zeit.....	16
Abbildung 6 Konzept Konstruktion mechanisch	19
Abbildung 7 Konzept Gesamt	21
Abbildung 8 3D-CAD Screenshot	22
Abbildung 9 Planetengetriebe zerlegt.....	24
Abbildung 10 Blockschaltbild - Lesen Daten LabView.....	31
Abbildung 11 Blockschaltbild - Ausgeben Daten LabView	32
Abbildung 12 Blockschaltbild Steuerung - Manuelle Vorgabe.....	32
Abbildung 13 Blockschaltbild Drehmomentregelung.....	33
Abbildung 14 Blockschaltbild Drehzahlregelung.....	34
Abbildung 15 Setup Benutzeroberfläche.....	36

Abbildung 16 Leistungs - Modul DEWESoft® 7.0.4.....	36
Abbildung 17 Schaltplan.....	38
Abbildung 18 Versuchsaufbau Testmessungen.....	45
Abbildung 19 Versuchsaufbau Drehmomentvalidierung.....	46
Abbildung 20 Auswertung Warmlaufversuch Pmech ; P ; Mmech ; PV	52
Abbildung 21 Auswertung Warmlaufversuch Etha.....	54
Abbildung 22 Auswertung Wirkungsgradmessung	55
Abbildung 23 Messstellenplan Effizienzkennfeld	56
Abbildung 24 Prüfstand	63
Abbildung 25 Anschlussplan Hauser Servax M	89
Abbildung 26 Anschlussplan CB-68LPR.....	90
Abbildung 27 Frontpanel LabView Spannungsausgabe.....	91
Abbildung 28 Registerkarte "einstellungen"	92
Abbildung 29 Registerkarte "automatisch".....	93
Abbildung 30 Registerkarte "manuell"	93
Abbildung 31 Registerkarte "Moment geregelt".....	94
Abbildung 32 Registerkarte "Drehzahl geregelt"	95
Abbildung 33 Anschlussplan gesamt.....	98
Abbildung 34 Anschlussplan Klemmkasten.....	99

6.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Anforderungskatalog Prüfstand.....	6
Tabelle 2 Leistungsmessung Kanäle	37
Tabelle 3 Spannungsmessung Kanäle	39
Tabelle 4 Setup Spannungsmessung.....	39
Tabelle 5 Strommessung Kanäle.....	40
Tabelle 6 Setup Strommessung.....	40
Tabelle 7 Drehmomentmessung Kanal.....	41
Tabelle 8 Setup Drehmomentmessung.....	41

Tabelle 9 Drehzahlmessung Kanäle	42
Tabelle 10 Setup Encoder Drehzahl.....	42
Tabelle 11 mathematische Kanäle	43
Tabelle 12 Prüfling KA 19/T DRC1-005-DBC-A-ECR Spezifikation.....	47
Tabelle 13 Messstellenplan Validierung elektrische Leistung.....	48
Tabelle 14 Prüfling W20 DRS71S4/Z Spezifikation	50
Tabelle 15 Nennpunktbestimmung W20 DRS71S4/Z.....	53
Tabelle 16 Messstellen und Ergebnisse.....	55
Tabelle 17 Dateienverzeichnis zum Anhang.....	101

7 Anhang

7.1 Bild des Prüfstands



Abbildung 24 Prüfstand

7.2 Datenblätter

Folgend die Datenblätter der relevanten Komponenten.

Technische Daten T20WN

Typ	T20WN												
Genauigkeitsklasse	0,2												
Drehmoment-Messsystem													
Nennrehmoment M_{nom}	N·m	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100	200	
Nennkennwert (Nennsignalspanne zwischen Drehmoment = Null und Nennrehmoment)	V	10											
Kennwerttoleranz (Abweichung der tatsächlichen Ausgangsgröße bei M_{nom} von der Nennsignalspanne)	%	$\pm 0,2$											
Ausgangssignal bei Drehmoment = Null	V	$0 \pm 0,2$											
Nennausgangssignal													
bei positivem Nennrehmoment	V	+10											
bei negativem Nennrehmoment	V	-10											
Lastwiderstand	M Ω	> 1											
Langzeitdrift über 48 h	mV	$< \pm 50$											
Grenzfrequenz (-3 dB)	Hz	200											
Restwelligkeit	mV _{SS}	< 80											
Gruppenlaufzeit	ms	< 1,0											
Temperatureinfluß pro 10 K im Nenn-temperaturbereich													
auf das Ausgangssignal, bezogen auf den Istwert der Signalspanne	%	$\pm 0,1$											
auf das Nullsignal, bezogen auf den Nennkennwert	%	$\pm 0,2$											
Energieversorgung													
Nennversorgungsspannung (Schutzkleinspannung)	V (DC)	12 (10,8 ... 13,2)											
Auslösen des Kalibriersignals	V	5 ... 13,2											
Stromaufnahme im Messbetrieb	A	< 0,2											
Nennaufnahmeleistung	W	< 2,4											
Zul. Restwelligkeit der Versorgungsspannung	mV _{SS}	200											
Linearitätsabweichung einschließlich Hysterese, bez. auf den Nennkennwert	%	$< \pm 0,1$											
Rel. Standardabweichung der Wiederholbarkeit, nach DIN 1319, bezogen auf die Ausgangssignaländerung	%	$< \pm 0,05$											
Kalibriersignal	V	$+10 \pm 0,2\%$											
Drehzahl-/Drehwinkel-Messsystem													
Messsystem		optisch											
Impulse pro Umdrehung	Anzahl	360											
Ausgangssignal	V	5 (asymmetrisch); zwei Rechtecksignale um ca. 90° phasenverschoben											
Mindestdrehzahl für ausreichende Impulsstabilität	min ⁻¹	0											
Lastwiderstand	k Ω	> 10											
Gruppenlaufzeit	μ s	< 3											
		bei 1,5 m Kabel zwischen T20WN und Klemmkasten VK20A (ohne VK20A ist die Gruppenlaufzeit abhängig von der angeschlossenen Impedanz / Kabel & Auswertegerät)											
Maximal meßbare Drehzahl	min ⁻¹	3000											
Allgemeine Angaben													
EMV													
Störfestigkeit (DIN EN50082-2)													
Elektromagnetisches Feld													
Gehäuse	V/m	10											
Leitungen	V _{SS}	10											
Magnetisches Feld	A/m	100											
Burst	kV	2/1											
ESD	kV	4/8											

Technische Daten T20WN (Fortsetzung)

Allgemeine Angaben												
Störaussendung (EN55011)		Klasse B Klasse B										
Funktörspannung Funktörfeldstärke												
Schutzart nach EN 60529		IP40										
Gewicht, ca.	kg	0,17					0,60			1,3		
Nenn Drehmoment M_{nom}	N·m	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100	200
Nenn temperaturbereich	°C	+5 ... +45										
Gebrauch temperaturbereich	°C	0 ... +80										
Lagerung temperaturbereich	°C	-5 ... +70										
Stoßbeständigkeit, Prüfschärfegrad nach DIN IEC 68; Teil 2-27; IEC 68-2-27-1987												
Anzahl	n	1000										
Dauer	ms	3										
Beschleunigung (Halbsinus)	m/s ²	650										
Vibrationsbeständigkeit, Prüfschärfegrad nach DIN IEC 68, Teil 2-6; IEC 68-2-6-1982												
Frequenzbereich	Hz	5 ... 65										
Dauer	h	1,5										
Beschleunigung (Amplitude)	m/s ²	50										
Nenn drehzahl	min ⁻¹	10 000										
Belastungsgrenzen ¹⁾												
Grenzdrehmoment, bezogen auf M_{nom}	%	200 ²⁾										
Bruchdrehmoment, bezogen auf M_{nom}	%	> 280										
Grenzlängskraft	kN	0,2	0,2	0,2	0,34	0,5	1,1	1,75	2,75	5,3	7,6	12,5
Grenzquerkraft	N	3,6	3,6	3,6	5,7	8,3	18,2	29	46	88	127	207
Grenzbiegemoment	N·m	0,12	0,12	0,12	0,23	0,4	0,93	1,9	3,7	10	17	36
Schwingbreite nach DIN 50 100 (Spitze/Spitze) ³⁾	%	80										
Mechanische Werte												
Drehsteifigkeit c_T	kN·m/rad	0,03	0,03	0,03	0,05	0,07	0,91	1,9	3,25	14	21,9	32,6
Verdrehwinkel bei M_{nom}	Grad	0,2	0,38	0,96	1,1	1,7	0,32	0,3	0,35	0,2	0,26	0,35
Zul. max. Schwingweg des Rotors (Spitze/Spitze) ⁴⁾	µm	$s_{max} = \frac{4500}{\sqrt{n}}$										
Effekt. Schwinggeschwindigkeit im Bereich des Gehäuses entsprechend VDI 2056	mm/s	$v_{eff} = \frac{\sqrt{n}}{3}$										
Massenträgheitsmoment des Rotors (um Drehachse) mit Drehzahlmesssystem ($\times 10^{-3}$)	gm ²	0,06	0,06	0,06	0,063	0,068	6,1	6,13	6,23	53,7	54,6	57,2
Auswucht-Gütestufe nach DIN ISO 1940	-	G 6,3										

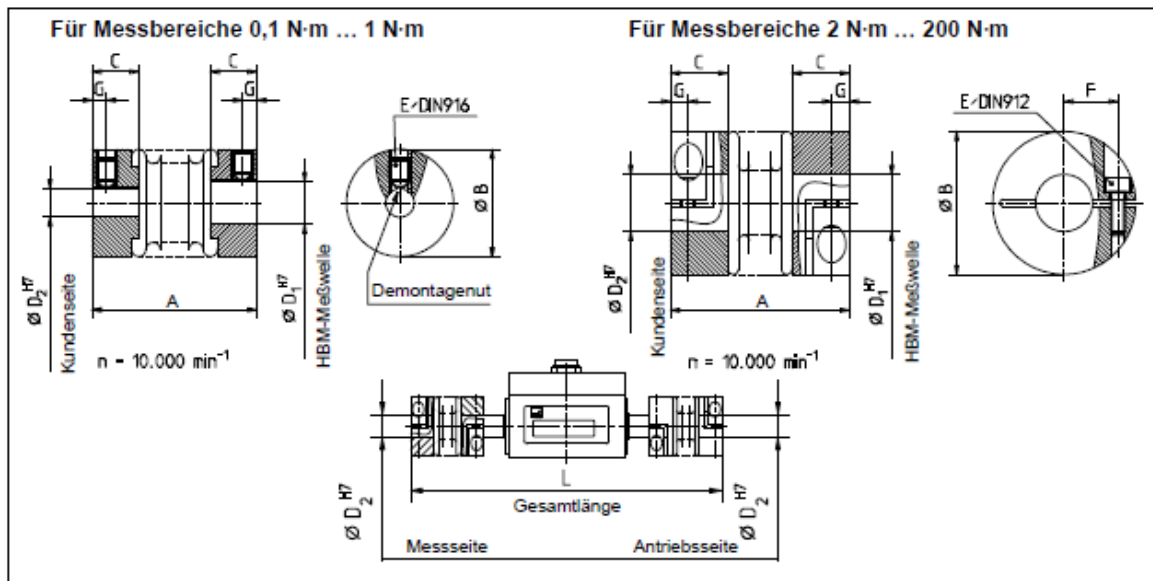
¹⁾ Jede irreguläre Beanspruchung (Biegemoment, Quer- oder Längskraft, Überschreiten des Nenn Drehmomentes) ist bis zu der angegebenen statischen Belastungsgrenze nur dann zulässig, solange keine der jeweils anderen von ihnen auftreten kann. Andernfalls sind die Grenzwerte zu reduzieren. Wenn je 30 % des Grenzbiegemomentes und der Grenzquerkraft vorkommen, sind nur noch 40% der Grenzlängskraft zulässig, wobei das Nenn Drehmoment nicht überschritten werden darf. Im Messergebnis können sich die zul. Biegemomente, Längs- und Querkraft wie ca. 1 % des Nenn Drehmomentes auswirken.

²⁾ Bitte beachten Sie das maximale Moment (T_{Kmax}) der Kupplung.

³⁾ Das Nenn Drehmoment darf nicht überschritten werden.

⁴⁾ Relative Wellenschwingungen in Anlehnung an DIN 45 670/VDI 2059.

Faltenbalg-Kupplungen



Abmessungen

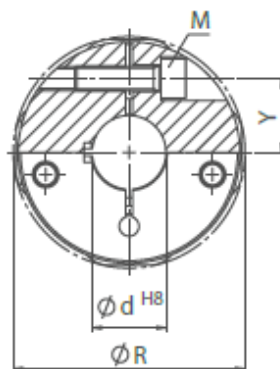
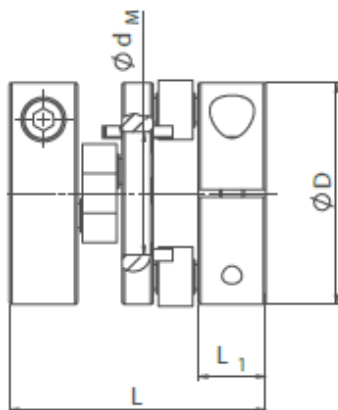
Messbereich (N-m)	Teile-Nr.	Abmessungen in mm									
		A	ØB	C	ØD ₁		ØD ₂	E	F	G	L
					Messseite T20WN	Antriebsseite T20WN	variabel von-bis				
0,1	3-4412.0001	23,1	15	6,5	6	8	3-9	M3	-	2	128
0,2											
0,5											
1	3-4412.0002	25,1	15	6,5	6	8	3-9	M3	-	2	132
2	3-4412.0003	40,1	25	13	6	8	3-12,7	M3	8	4	149
5	3-4412.0004	50,1	40	16	16	16	5-22	M4	15	5	213
10											
20	3-4412.0005	69,2	56	21	16	16	10-32	M6	19	7,5	241
50	3-4412.0006	80,2	66	23,5	26	26	12-32	M8	23	9,5	283
100	3-4412.0007	93,2	82	28	26	26	19-40	M10	27	11	300
200	3-4412.0008	109,2	110	35	26	26	24-56	M12	39	13	318

Bitte bei Bestellung angeben: Anschlussbohrungen D₂ nach Kundenwunsch innerhalb der angegebenen Grenzen; Bohrungstoleranz H7.

Bei Anwendung mit nur einer Faltenbalgkupplung bitte die Montageseite der Kupplung angeben:
 Messseite = 6 mm / Antriebsseite = 8 mm.

Nabenform 1 - Klemmnabe

Standard F



Compact Plus C



Spezifikationen

Modell	D mm	R mm	L mm	L ₁ mm	Y mm	M	d _M mm	Drehmomente		Verlagerungen			m kg	J kg cm ²	n _{max} 1/min	C _T kNm/rad
								T _{kin} Nm	T _{kinmax} Nm	radial* mm	angular °	axial mm				
F 45	50	52	60	16	17,5	M6	22	45	71	2	1	1	0,5	2	2.500	8
F 70	70	72	68	20	24,5	M8	42	70	112	2	1	1	1	8,4	2.100	13
C 70			59										1,1	8,9		
F 230	90	94	104	27,5	30	M10	50	230	460	2	1	1	2,7	34	1.450	53
C 230			88										3	36,8		
F 265	100	104	104	27,5	34	M12	55	265	530	2	1	1	3,2	50,1	1.350	61
C 265			88										3,4	54,2		
F 320	120	124	104	27,5	44	M12	70	320	635	3	1	1	4,1	100,4	1.250	73
C 320			88										4,2	104,8		
F 440	100	100	143	38	32	M12	40	440	920	3	1	1	5	74	1.150	105
F 575	120	120	143	38	40	M12	60	575	1.220	3	1	1	6,5	147	1.050	140
C 575			120,5										6,9	155		

*Richtwert bei mittlerem Drehzahlbereich. Ergänzende Informationen zu möglichen Radialverlagerungswerten finden Sie auf Seite 13.

Gewichtsangabe und Massenträgheitsmoment je Kupplungsgröße gemessen bei max. Bohrung

R= Raumbedarf bei radialer Verlagerung gleich 0, M= Schraubengröße, T_{kin}= Nenndrehmoment, T_{kinmax}= Kupplungsmaximalmoment, C_T= Torsionssteifigkeit, m= Masse, J= Massenträgheitsmoment

Bohrungsdurchmesser

Modell	d mm															
	12	14	16	18	20	22	24	28	30	32	35	40	42	44	48	50
F 45	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
F 70, C 70	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
F 230, C 230	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
F 265, C 265	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
F 320, C 320	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
F 440	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
F 575, C 575	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Die abgebildeten Bohrungsdurchmesser sind je Kupplungsgröße frei kombinierbar. Die Bohrungen sind grundsätzlich mit Nut nach DIN 6885/1 ausgestattet. Weitere Bohrungen als dargestellt sind auf Wunsch lieferbar.

ROTEX® elastische Klauenkupplungen

Technische Daten der Standardzahnkränze

92 Shore-A Zahnkränze aus T-PUR® und PUR															
ROTEX® Größe	max. Drehzahl		Verdrehwinkel ϕ bei		Drehmoment [Nm]				Dämpfungsleistung P_{KV} [W] ¹⁾	verhältnismäßige Dämpfung ψ	Resonanzfaktor V_R	Drehfederselbe C dyn. [Nm/rad]			
	V=30 m/s Guss	V=40 m/s Stahl	T_{KN}	T_{Kmax}	DIN 740 ¹⁾			T_{Kmax} [Nm]				1,0 T_{KN}	0,75 T_{KN}	0,5 T_{KN}	0,25 T_{KN}
					Nenn (T_{KN})	Max. (T_{Kmax})	Wechsel (T_{KW})								
14	22200	25400	8,4°	10°	7,5	15	2,0	32,5	-			0,38x10 ²	0,31x10 ²	0,34x10 ²	0,14x10 ²
19	18700	19000			10	20	2,8	30	4,8			1,28x10 ²	1,08x10 ²	0,8x10 ²	0,47x10 ²
24	12100	13800			35	70	9,1	105	6,8			4,88x10 ²	3,98x10 ²	3,01x10 ²	1,79x10 ²
28	10100	11500			95	190	28	285	8,4			10,8x10 ²	8,9x10 ²	6,78x10 ²	4,01x10 ²
38	8300	9500			190	380	49	570	10,2			21,0x10 ²	17,2x10 ²	13,05x10 ²	7,74x10 ²
42	7000	8000			265	530	89	795	12,0			23,7x10 ²	19,47x10 ²	14,72x10 ²	8,73x10 ²
48	6350	7250			310	620	81	930	13,8			36,7x10 ²	30,08x10 ²	22,75x10 ²	13,48x10 ²
55	5550	6350			410	820	107	1230	15,8			50,7x10 ²	41,58x10 ²	31,45x10 ²	18,84x10 ²
65	4950	5650	3,2°	5°	625	1250	183	1875	18,0	0,80	7,00	97,1x10 ²	79,88x10 ²	60,2x10 ²	35,7x10 ²
75	4150	4750			1280	2560	393	3840	21,8			113,3x10 ²	92,0x10 ²	70,3x10 ²	41,88x10 ²
90	3300	3800			2400	4800	824	7200	30,0			190,1x10 ²	155,8x10 ²	117,0x10 ²	69,8x10 ²
100	2950	3300			3300	6600	858	9900	36,0			253,1x10 ²	207,8x10 ²	156,0x10 ²	98,1x10 ²
110	2600	2950			4500	9000	1248	14400	42,0			415,8x10 ²	336,8x10 ²	257,8x10 ²	177,4x10 ²
125	2300	2600			6650	13300	1729	19950	48,0			647,7x10 ²	537,8x10 ²	412,2x10 ²	277,2x10 ²
140	2050	2350			8550	17100	2223	25650	54,8			813,4x10 ²	670,2x10 ²	519,7x10 ²	351,7x10 ²
160	1800	2050			12800	25600	3328	38400	75,0			1298x10 ²	1104x10 ²	901,9x10 ²	605,7x10 ²
180	1550	1800			18650	37300	4849	55950	78,0			2327x10 ²	1981x10 ²	1618x10 ²	1178x10 ²

98 Shore-A Zahnkränze aus T-PUR® und PUR															
ROTEX® Größe	max. Drehzahl		Verdrehwinkel ϕ bei		Drehmoment [Nm]				Dämpfungsleistung P_{KV} [W] ¹⁾	verhältnismäßige Dämpfung ψ	Resonanzfaktor V_R	Drehfederselbe C dyn. [Nm/rad]			
	V=30 m/s Guss	V=40 m/s Stahl	T_{KN}	T_{Kmax}	DIN 740 ¹⁾			T_{Kmax} [Nm]				1,0 T_{KN}	0,75 T_{KN}	0,5 T_{KN}	0,25 T_{KN}
					Nenn (T_{KN})	Max. (T_{Kmax})	Wechsel (T_{KW})								
14	22200	25400	8,4°	10°	12,5	25	3,3	37,5	-			0,88x10 ²	0,48x10 ²	0,38x10 ²	0,21x10 ²
19	18700	19000			17	34	4,4	51	4,8			2,9x10 ²	2,9x10 ²	1,81x10 ²	1,07x10 ²
24	12100	13800			60	120	16	180	6,8			9,9x10 ²	8,1x10 ²	6,18x10 ²	3,88x10 ²
28	10100	11500			160	320	42	480	8,4			26,7x10 ²	21,9x10 ²	16,8x10 ²	9,84x10 ²
38	8300	9500			325	650	85	975	10,2			48,87x10 ²	39,89x10 ²	30,11x10 ²	17,88x10 ²
42	7000	8000			450	900	117	1350	12,0			54,3x10 ²	44,8x10 ²	33,78x10 ²	20,08x10 ²
48	6350	7250			525	1050	137	1575	13,8			65,2x10 ²	53,5x10 ²	40,48x10 ²	24x10 ²
55	5550	6350			685	1370	178	2055	15,8			95x10 ²	77,8x10 ²	59,88x10 ²	34,8x10 ²
65	4950	5650	3,2°	5°	940	1880	244	2820	18,0	0,80	7,00	129,8x10 ²	106,2x10 ²	80,3x10 ²	47,8x10 ²
75	4150	4750			1920	3840	499	5790	21,8			197,8x10 ²	162x10 ²	122,8x10 ²	72,8x10 ²
90	3300	3800			3600	7200	938	10800	30,0			312,2x10 ²	258x10 ²	193,8x10 ²	114,7x10 ²
100	2950	3350			4950	9900	1287	14850	36,0			393,3x10 ²	314,3x10 ²	237,8x10 ²	140,8x10 ²
110	2600	2950			7200	14400	1872	21600	42,0			605,8x10 ²	493,1x10 ²	373,8x10 ²	228,8x10 ²
125	2300	2600			10000	20000	2600	30000	48,0			1207x10 ²	1003x10 ²	767,8x10 ²	452,8x10 ²
140	2050	2350			12800	25600	3328	38400	54,8			1548x10 ²	1283x10 ²	979,8x10 ²	674,1x10 ²
160	1800	2050			19200	38400	4992	57900	75,0			2481x10 ²	2137x10 ²	1781x10 ²	1278x10 ²
180	1550	1800			28000	56000	7280	84000	78,0			4229x10 ²	3639x10 ²	2831x10 ²	1717x10 ²

64 Shore-D Zahnkränze aus T-PUR® und PUR															
ROTEX® Größe	max. Drehzahl		Verdrehwinkel ϕ bei		Drehmoment [Nm]				Dämpfungsleistung P_{KV} [W] ¹⁾	verhältnismäßige Dämpfung ψ	Resonanzfaktor V_R	Drehfederselbe C dyn. [Nm/rad]			
	V=30 m/s Guss	V=40 m/s Stahl	T_{KN}	T_{Kmax}	DIN 740 ¹⁾			T_{Kmax} [Nm]				1,0 T_{KN}	0,75 T_{KN}	0,5 T_{KN}	0,25 T_{KN}
					Nenn (T_{KN})	Max. (T_{Kmax})	Wechsel (T_{KW})								
14	22200	25400	8,4°	10°	18	32	4,2	48	9,0			0,78x10 ²	0,82x10 ²	0,47x10 ²	0,28x10 ²
19	18700	19000			21	42	5,8	63	7,2			5,38x10 ²	4,38x10 ²	3,32x10 ²	1,97x10 ²
24	12100	13800			75	150	19,5	225	9,9			15,11x10 ²	12,98x10 ²	9,97x10 ²	5,88x10 ²
28	10100	11500			200	400	52	600	12,8			27,32x10 ²	22,87x10 ²	17,08x10 ²	10,12x10 ²
38	8300	9500			408	810	108	1215	15,3			70,18x10 ²	57,82x10 ²	43,48x10 ²	25,78x10 ²
42	7000	8000			560	1120	148	1680	18,0			79,2x10 ²	65,2x10 ²	49,82x10 ²	29,38x10 ²
48	6350	7250			695	1310	170	1985	20,7			95,8x10 ²	78,8x10 ²	59,22x10 ²	35,1x10 ²
55	5550	6350			825	1650	219	2475	23,4			107,8x10 ²	88,8x10 ²	66,8x10 ²	39,88x10 ²
65	4950	5650	2,5°	3,8°	1175	2350	308	3525	27,0	0,75	8,50	131,1x10 ²	123,8x10 ²	93,7x10 ²	55,83x10 ²
75	4150	4750			2400	4800	624	7200	32,4			245,2x10 ²	203,2x10 ²	153,8x10 ²	91,2x10 ²
90	3300	3800			4500	9000	1170	13500	45,0			374,8x10 ²	303,1x10 ²	228,2x10 ²	140,8x10 ²
100	2950	3350			6185	12370	1608	18555	54,0			861,2x10 ²	706,2x10 ²	533,2x10 ²	316,8x10 ²
110	2600	2950			9000	18000	2340	27000	63,0			1239x10 ²	1001x10 ²	773,1x10 ²	451,8x10 ²
125	2300	2600			12800	25600	3280	37500	72,0			1748x10 ²	1438x10 ²	1148x10 ²	632,1x10 ²
140	2050	2350			16000	32000	4160	48000	81,0			2312x10 ²	1929x10 ²	1521x10 ²	908x10 ²
160	1800	2050			24000	48000	6240	72000	112,8			3419x10 ²	2961x10 ²	2471x10 ²	1392x10 ²
180	1550	1800			35000	70000	9100	106000	117,0			5879x10 ²	4917x10 ²	4109x10 ²	2398x10 ²

¹⁾ siehe Katalog Seite 11
²⁾ ≤ 1000 Lastwechsel
³⁾ bei +30°C

Temperaturfaktor S_T											
	-50 °C	-30 °C +30 °C	+40 °C	+50 °C	+60 °C	+70 °C	+80 °C	+90 °C	+100 °C	+110 °C	+120 °C
T-PUR®	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	1,8	2,1	3,0
PUR	-	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,2	-	-	-

Wenn bei Beschriftungen nicht ausdrücklich auf die Zahnkränze Shorehälfte hingewiesen wird, liefern wir Zahnkränze mit 92 Shore-A T-PUR®.
 Für Umfangsgeschwindigkeiten über V=30 m/s dyn. Auswuchten erforderlich. Für Umfangsgeschwindigkeiten über V=30 m/s nur Stahl bzw. Sphäroguss.
¹⁾ bei +30 °C

ROTEX® A-H

elastische Klauenkupplungen

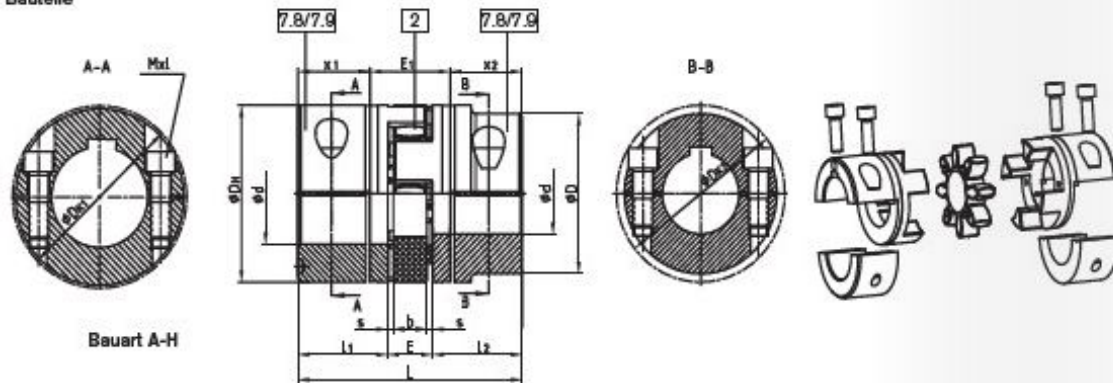
Ausbaukupplung



Piktogrammlegende ist auf dem Klapper am Umschlag zu finden



Bauteile



Bauart A-H

ROTEX® Bauart A-H														
Größe	max. Fertigbohrung Ød [mm]	Abmessungen [mm]										Zyl.-Schrauben DIN EN ISO 4762		
		L	l ₁ /l ₂	E	b	s	D _H	D	D _{K1}	D _{K2}	x ₁ /x ₂	E ₁	Mxl	Anzugsmoment T _A [Nm]
10	20	98	25	18	12	2,0	40	—	46	—	17,5	31	M6x18	14
24	28	78	30	18	14	2,0	65	—	67,5	—	22,5	33	M6x20	14
28	36	90	35	20	15	2,5	65	—	73	—	25,5	39	M8x25	35
38	45	114	45	24	18	3,0	80	—	85,5	—	35,5	43	M8x30	35
42	50	128	50	26	20	3,0	95	88	—	93,5	39	48	M10x30	69
	—							—	97	—				
48	55	140	56	28	21	3,5	105	95	—	100	45	50	M12x35	120
	—							—	108,5	—				
55	65	160	65	30	22	4,0	120	110	—	119,5	50	60	M12x40	120
	—							—	122	—				
60	70	185	75	35	26	4,5	135	115	—	123,5	60	65	M12x40	120
	—							—	132,5	—				
70	80	210	85	40	30	5,0	180	135	—	147,5	67,5	75	M16x50	295
	—							—	158	—				
90	90	245	100	45	34	5,5	200	160	—	178	81,5	82	M20x80	550
	—							—	197	—				
100 ¹⁾	110	270	110	50	38	6,0	225	180	—	185,5	84	102	M16x50	295
110 ⁰⁾	120	295	120	55	42	6,5	255	200	—	208	90	115	M20x80	550
125 ⁰⁾	140	340	140	60	46	7,0	290	230	—	242,5	105	130	M24x70	1000

Achtung:

Bei maximaler Bohrung sind die Passfedern um ca. 5° zueinanderversetzt!
Nabenwerkstoff bis Gr. 90: St50, ab Gr. 100: GJS

7.8= Halbchalenklemmnabe ohne Passfedern max. Umfangsgeschwindigkeit 35 m/sec. ab einer Umfangsgeschwindigkeit von *1
7.9= Halbchalenklemmnabe mit Passfedern max. Umfangsgeschwindigkeit 35 m/sec. ab einer Umfangsgeschwindigkeit von *1

Drehzahl: max. 25 m/sec. Umfangsgeschwindigkeit am Außendurchmesser D_H der Kupplung

¹⁾ ab Größe 100: 4 Klemmschrauben pro Klemmnabe

*1 25 m/sec. ist dynamisches Wachstum erforderlich

nur für 7.8: ab einer Umfangsgeschwindigkeit von 25 m/sec. ist das Reibschlussmoment der Welle/Nabe zu prüfen. Rücksprache mit der KTR Technik erforderlich.

TECHNOLOGY / TYPE	NAME	DYNAMIC RANGE GROUP	MEASUREMENT RANGE [A]	NOMINAL RMS [A]	BANDWIDTH [kHz]	SUPPLY VOLTAGE [V]	SUPPLY OPTION CLAMP DC POWER	SUPPLY OPTION HSI/DAGP-LV-4	READING ERROR % (TYPE)	RANGE ERROR % (TYPE)	OUTPUT SIGNAL	OUTPUT CONNECTOR	PHASE SHIFT CLASSIFICATION	COMPATIBLE WITH SHUNT ADAPT PA-XX-BR1
THROUGH HOLE (AC/DC)	PA-IT-60-S	A	90	60	800	±15	✓		0.002	0.025	Current	D-SUB-9	A	✓
	PA-IT-200-S	A	300	200	500	±15	✓		0.001	0.008	Current	D-SUB-9	A	✓
	PA-IT-400-S	A	600	400	500	±15	✓		0.001	0.004	Current	D-SUB-9	A	✓
	PA-IT-700-S	A	1050	700	100	±15	✓		0.001	0.005	Current	D-SUB-9	A	✓
	PA-IT-700-SB	A	700	495	100	±15	✓		0.008	0.006	Voltage	D-SUB-9	A	
	PA-IT-1000-S	A	1500	1000	500	±15	✓		0.001	0.005	Current	D-SUB-9	A	✓
	PA-CTS-2000I	A	2828	2000	300	100 - 240			0.001	0.005	Current	Proprietary	A	
	PA-CTS-5000I	A	7071	5000	80	100 - 240			0.001	0.005	Current	Proprietary	A	
	PA-CTS-2000U	A	2828	2000	300	100 - 240			0.001	0.005	Voltage	Proprietary	A	
	PA-CTS-5000U	A	7071	5000	80	100 - 240			0.001	0.005	Voltage	Proprietary	A	
	PA-LF-310-S	A	500	300	100	±15	✓		0.15	0.05	Current	Molex 4-pin	B	✓
PA-LF-1010-S	A	1800	1000	200	±15	✓		0.15	0.05	Current	Molex 4-pin	B	✓	
CLAMP (AC/DC)	SE-CUR-CLAMP-150-DC	B	300	150	100	±15	✓		0.25	0.05	Voltage	D-SUB-9	B	
	SE-CUR-CLAMP-200-DC	A	570	200	500	±15	✓		0.3	0.01	Voltage	D-SUB-9	B	
	SE-CUR-CLAMP-500-DC	A	720	500	200	±15	✓		0.3	0.01	Voltage	D-SUB-9	B	
	SE-CUR-CLAMP-1800-DC	B	1800	1000	20	+9		✓	0.8	0.1	Voltage	D-SUB-9	C	
	SE-CUR-CLAMP-1000-DC	C	1400	1000	10	+9		✓	2.5	0.5	Voltage	D-SUB-9	D	
OTHER (AC/DC)	SE-CUR-HALL-06	B	85*	20	300	±9		✓	0.4	0.05	Voltage	D-SUB-9	B	
	SE-CUR-SHUNT-05	A	15**	5	300	-			0.1	-	Voltage	BP	A	
	SE-CUR-SHUNT-06	A	60**	20	300	-			0.1	-	Voltage	BP	A	
	PA-xx-BR1	A	1	1	300	-			0.05	-	Voltage	D-SUB-9	A	
COIL / CLAMP (AC)	PQA-CLAMP-5	B	10	5	10	-			0.4	0.1	Voltage	6+E/D-SUB-9	B	
	PQA-CLAMP-10	C	15	10	10	-			0.9	0.1	Voltage	6+E/D-SUB-9	D	
	PQA-CLAMP-20	C	300	200	10	-			0.9	0.1	Voltage	6+E/D-SUB-9	D	
	PQA-CLAMP-200	C	300	200	10	-			0.9	0.1	Voltage	6+E/D-SUB-9	D	
	PQA-CLAMP-1000	B	1500	1000	5	-			0.3	0.01	Current	6+E	C	
	PQA-FLEX-300	A	15000	10000	300	-			0.2	0.1	Voltage	6+E/D-SUB-9	C	
	SE-CUR-A100-300	A	5000	3000	20	+9	✓		0.9	0.1	Voltage	BP/D-SUB-9	C	
SE-CUR-A100-1000	A	15000	10000	20	+9	✓		0.9	0.1	Voltage	BP/D-SUB-9	C		

*max. 1 s
**max. 100 ms
The use of all current transducers is recommended in at least 1 % of nominal range for dynamic range group A, 5 % for group B and 10 % for group C
Customized connectors available on request
Phase shift classification: A (best accuracy) to D (moderate accuracy)

DAQP-LV

Isolated voltage amplifier

- Filter bandwidth: 300 kHz, 10 selectable lowpass filters
- Input ranges: 12 ranges (10 mV to 50 V)
- Input type: AC and DC coupling software selectable
- Isolation: 1 kV_{RMS} (with banana connector)
- TEDS: Supports electronic data sheet sensors
- Signal connection:
 - DAQP-LV-B: Banana plugs
 - DAQP-LV-BNC: BNC connector
 - DAQP-LV-D: 9-pin SUB-D connector
 - DAQP-LV-LEMO: 7-pin LEMO connector
 - DAQP-LV-SC: Screw terminals



Module specifications

DAQP-LV	
Input ranges unipolar and bipolar	10 mV, 20 mV, 50 mV, 100 mV, 200 mV, 500 mV, 1 V, 2.5 V, 5 V, 10 V, 25 V, 50 V
Push button selectable ranges	10 mV, 50 mV, 200 mV, 1 V, 5 V, 10 V, 50 V
DC accuracy	Range Accuracy
Bipolar	10 mV to 50 mV ±0.02 % of reading ±40 µV 100 mV to 50 V ±0.02 % of reading ±0.05 % of range
Unipolar	10 mV to 50 mV ±0.04 % of reading ±40 µV 100 mV to 50 V ±0.04 % of reading ±0.05 % of range
Input coupling	DC or AC software selectable (1.5 Hz standard, custom on request down to 0.01 Hz)
Gain linearity	0.01 % of full scale
Gain drift range	Typically 10 ppm/°K (max: 20 ppm/°K)
Offset drift	Uni- and bipolar
10 mV to 200 mV	3 µV/°K
500 mV to 50 V	10 ppm of Range/°K
Long term stability	100 ppm/sqrt (1000 hrs)
Input resistance	1 MOhm
Bandwidth (-3 dB)	300 kHz
Filter selection	Push button or software
Filters (low pass)	10 Hz, 30 Hz, 100 Hz, 300 Hz, 1 kHz, 3 kHz, 10 kHz, 30 kHz, 100 kHz
Filter characteristics	10 Hz to 100 kHz: Butterworth or Bessel 40 dB/dec (2nd order; ±1.5 dB @ f0) 300 kHz: Bessel 60 dB/dec (3rd order; 0 to -3 dB @ 300kHz)
Typical SFDR and SNR:	300 kHz bandwidth 100 kHz bandwidth 10 kHz bandwidth
20 mV	SFDR SNR SFDR SNR SFDR SNR
1 V	100 dB 72 dB 98 dB 76 dB 97 dB 84 dB
50 V	102 dB 82 dB 99 dB 93 dB 97 dB 96 dB
Typical CMRR	10 mV to 1 V range: 2.5 V to 50 V range:
>100 dB @ 50 Hz	90 dB @ 50 Hz
>100 dB @ 1 kHz	65 dB @ 1 kHz
83 dB @ 10 kHz	55 dB @ 10 kHz
Input overvoltage protection	350 V _{DC}
Isolation voltage	350 V _{DC} (1 kV _{RMS} with banana connector)
Sensor supply	±9 V (±1 %), 12 V (±5 %), 200 mA resettable fuse protected ⁽¹⁾
Output voltage	±5 V
Output resistance	<10 Ohm
Maximum output current	5 mA
Output protection	Short to ground for 10 sec.
Power On default settings	Software programmable
Power supply	±9 V _{DC} ±1 %
Power consumption	0.8 W without sensor supply
RS-485 interface	Yes
TEDS	Hardware support for TEDS (Transducer Electronic Data Sheet)
Supported TEDS chips	DS2408, DS2430A, DS2432, DS2433, DS2431
Supported MSI	MSI-V-ACC; MSI-V-RTD; MSI-V-CH-50

⁽¹⁾ Overall current should not exceed DEWE-30-ix maximum power.

DAQP-HV (Revision 2)

Isolated voltage amplifier

- Filter bandwidth: 300 kHz, (version DAQP-HV-S3: 700 kHz)
10 selectable lowpass filters
- Input ranges: 7 ranges (± 20 V to ± 1400 V)
- Isolation: 1.8 kV_{RMS} line to line
1.4 kV_{RMS} line to ground
- Protection: ± 4 kV surge / burst
- Signal connection: Banana plugs
Screw terminals



Module specifications

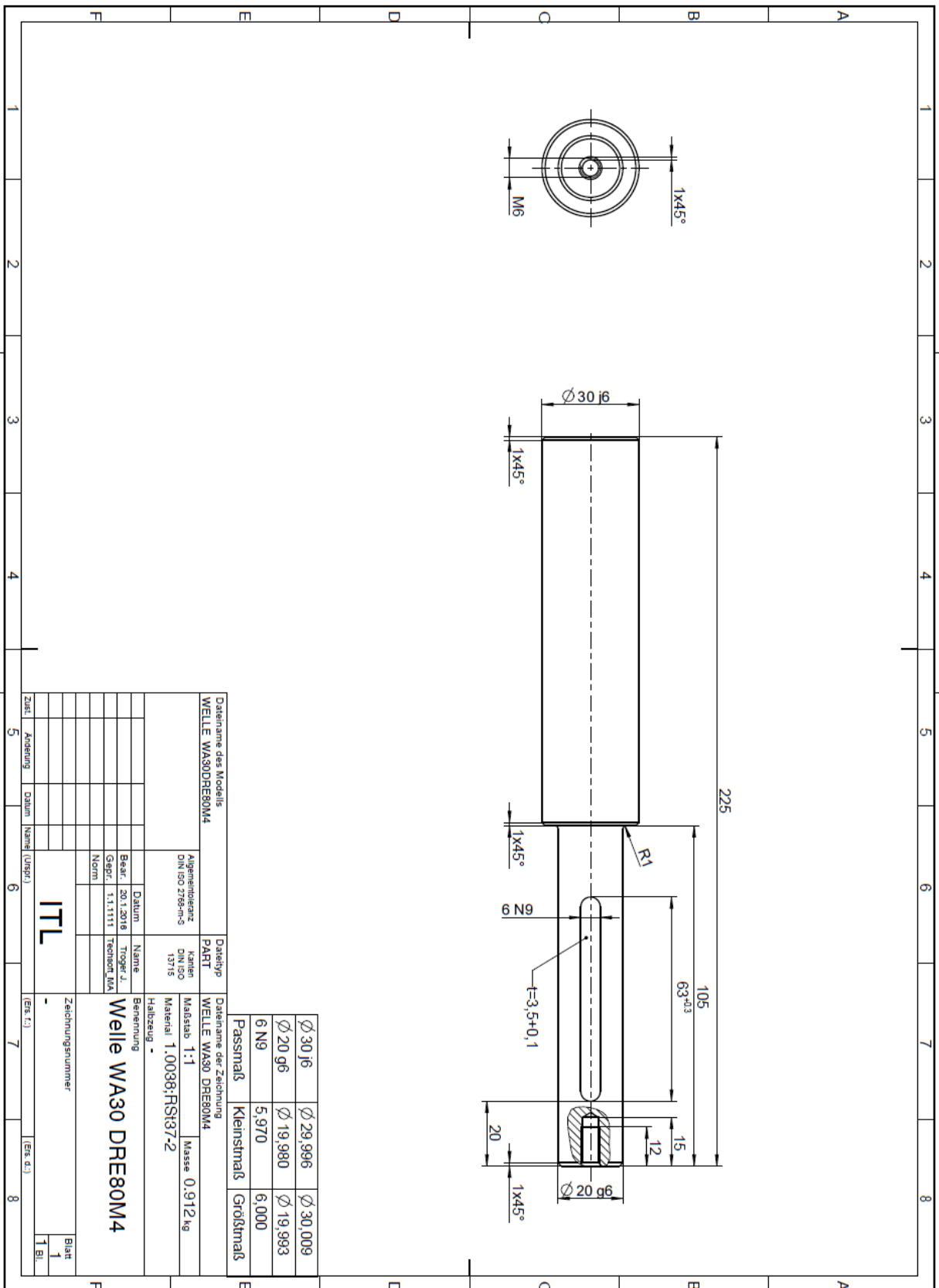
DAQP-HV	
Input ranges unipolar and bipolar	20 V, 50 V, 100 V, 200 V, 400 V, 800 V, 1400 V
DC accuracy	± 0.05 % of reading ± 40 mV
20 V and 50 V	± 0.05 % of reading ± 0.05 % of range
100 V to 1400 V	
Gain linearity	0,03 %
Gain drift range	Typically 20 ppm/ $^{\circ}$ K (max. 50 ppm/ $^{\circ}$ K)
Offset drift	
20 V to 100 V	typical 0.5 mV/ $^{\circ}$ K max. 4 mV/ $^{\circ}$ K
200 V to 1400 V	typical 5 ppm/ $^{\circ}$ K max. 20 ppm of Range/ $^{\circ}$ K
Long term stability	100 ppm/sqrt (1000 hrs)
Input resistance	10 MOhm
-3 dB Bandwidth (DAQP-HV)	300 kHz ⁽¹⁾
-3 dB Bandwidth (DAQP-HV-S3)	700 kHz ⁽²⁾
Filter selection	Push button or software
Filter (lowpass)	10 Hz, 30 Hz, 100 Hz, 300 Hz, 1 kHz, 3 kHz, 10 kHz, 30 kHz, 100 kHz
Filter characteristics	10 Hz to 100 kHz: Butterworth or Bessel 40 dB/dec (2nd order; ± 1.5 dB @ f0) 300 kHz: Bessel 60 dB/dec (3rd order; 0 to -3 dB @ 300kHz)
Typical SFDR and SNR	
	300 kHz 100 kHz 10 kHz
	SFDR SNR SFDR SNR SFDR SNR
50 V	98 76 101 81 dB 108 90 dB
200 V	98 84 101 89 dB 108 91 dB
1400 V	98 86 102 91 dB 107 92 dB
Typical CMRR	>80 dB @ 50 Hz 70 dB @ 400 Hz 60 dB @ 1 kHz 48 dB @ 10 kHz
Isolation voltage	Line to Ground 1.4 kVrms Line to Line 1.8 kVrms
Protection	CAT III 600 CAT IV 300
Surge (1.2/50)	± 4000 V
Burst (5 kHz)	± 4000 V
Output voltage	± 5 V
Output resistance	<10 Ohm
Output current	5 mA
Output protection	Short to ground for 10 sec.
Power supply	± 9 V _{DC} ± 1 %
Power consumption	0.7 W
Power On default settings	Software programmable
Interface	RS-485

⁽¹⁾ 300 kHz exclusively for Bessel filter characteristic

⁽²⁾ 700 kHz exclusively for Bessel filter characteristic

LED state

The DAQP-HV modules have a set of 8 LEDs showing the current input range (constant active) and the filter range (flashing).

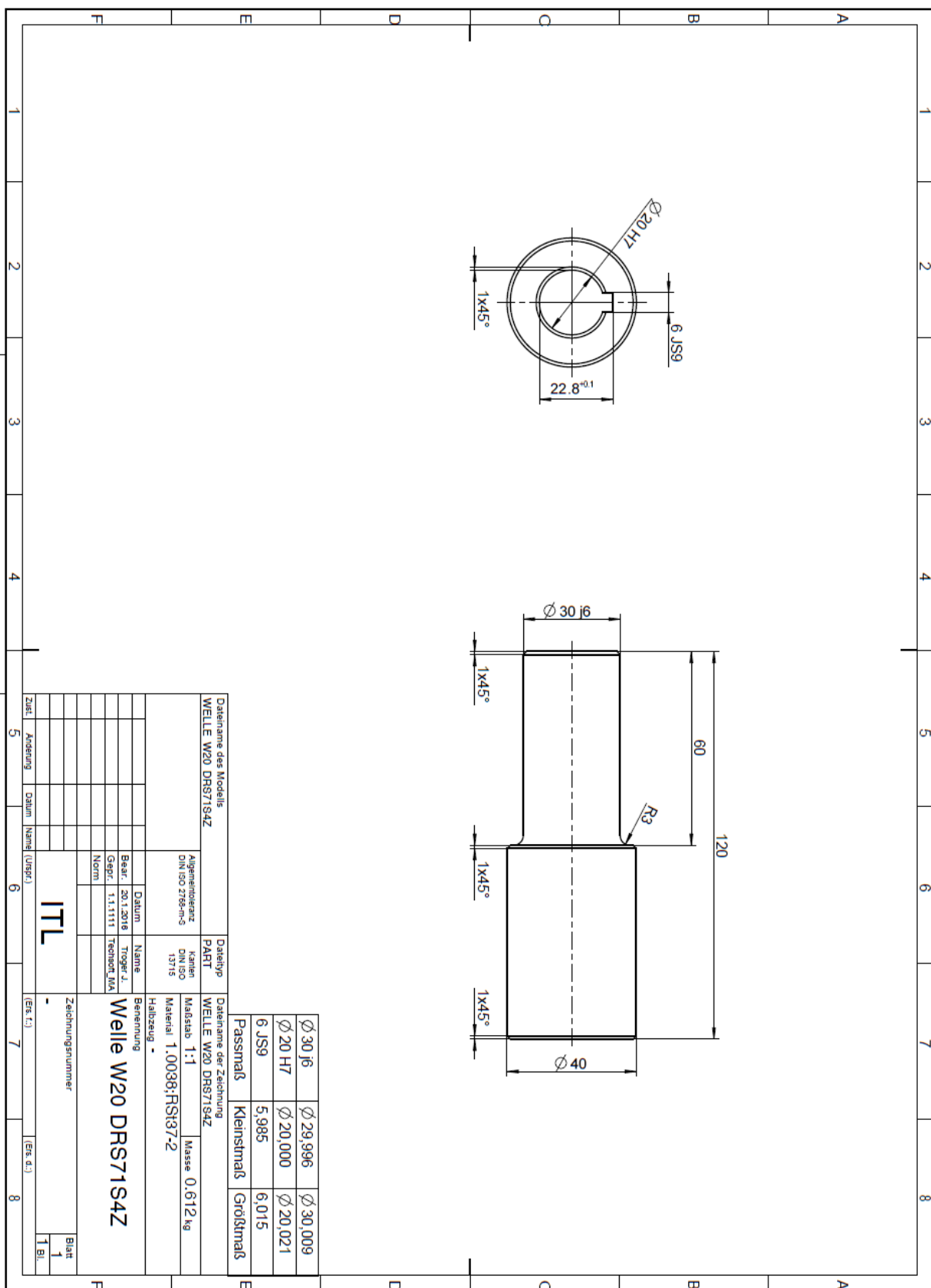


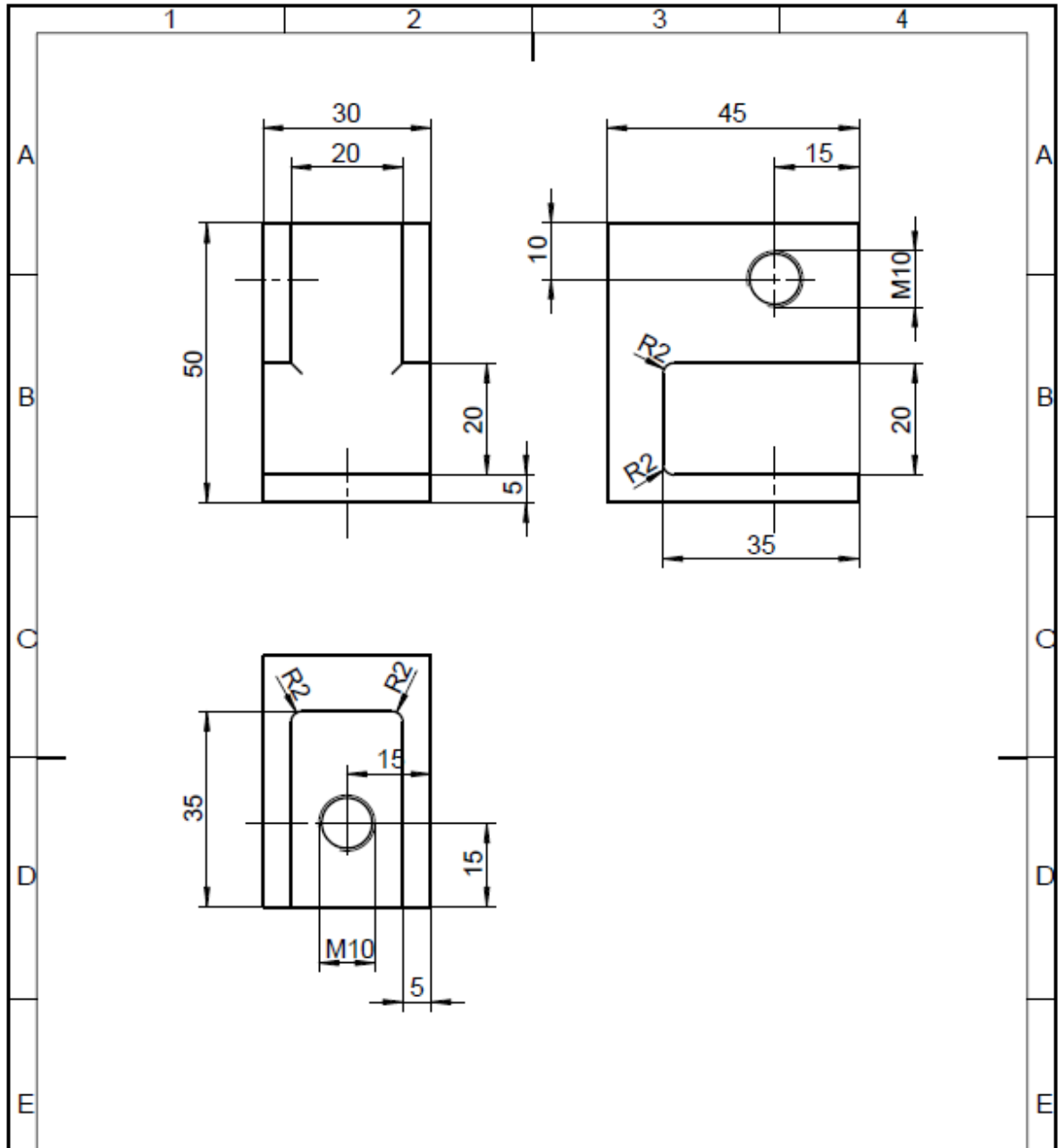
$\varnothing 30\ h6$	$\varnothing 29,996$	$\varnothing 30,009$
$\varnothing 20\ g6$	$\varnothing 19,980$	$\varnothing 19,993$
6 N9	5,970	6,000
Passmaß	Kleinmaß	Größmaß

Dateiname des Modells		Dateiname der Zeichnung	
WELLE WA30DRE80M4		WELLE WA30 DRE80M4	
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-mS		Maßstab 1:1	
DIN ISO 13715		Masse 0,912 kg	
Material 1.0036;RS137-2		Halbzeug -	

Dateiname des Modells		Dateiname der Zeichnung	
WELLE WA30DRE80M4		WELLE WA30 DRE80M4	
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-mS		Maßstab 1:1	
DIN ISO 13715		Masse 0,912 kg	
Material 1.0036;RS137-2		Halbzeug -	
Besr. 20.1.2016		Träger L.	
GSEP. 1.1.1111		Technol. LIA	
Norm		Benennung	
ITL		Welle WA30 DRE80M4	
Zeichnungsnummer		Blatt 1	
1 Bl.		1 Bl.	

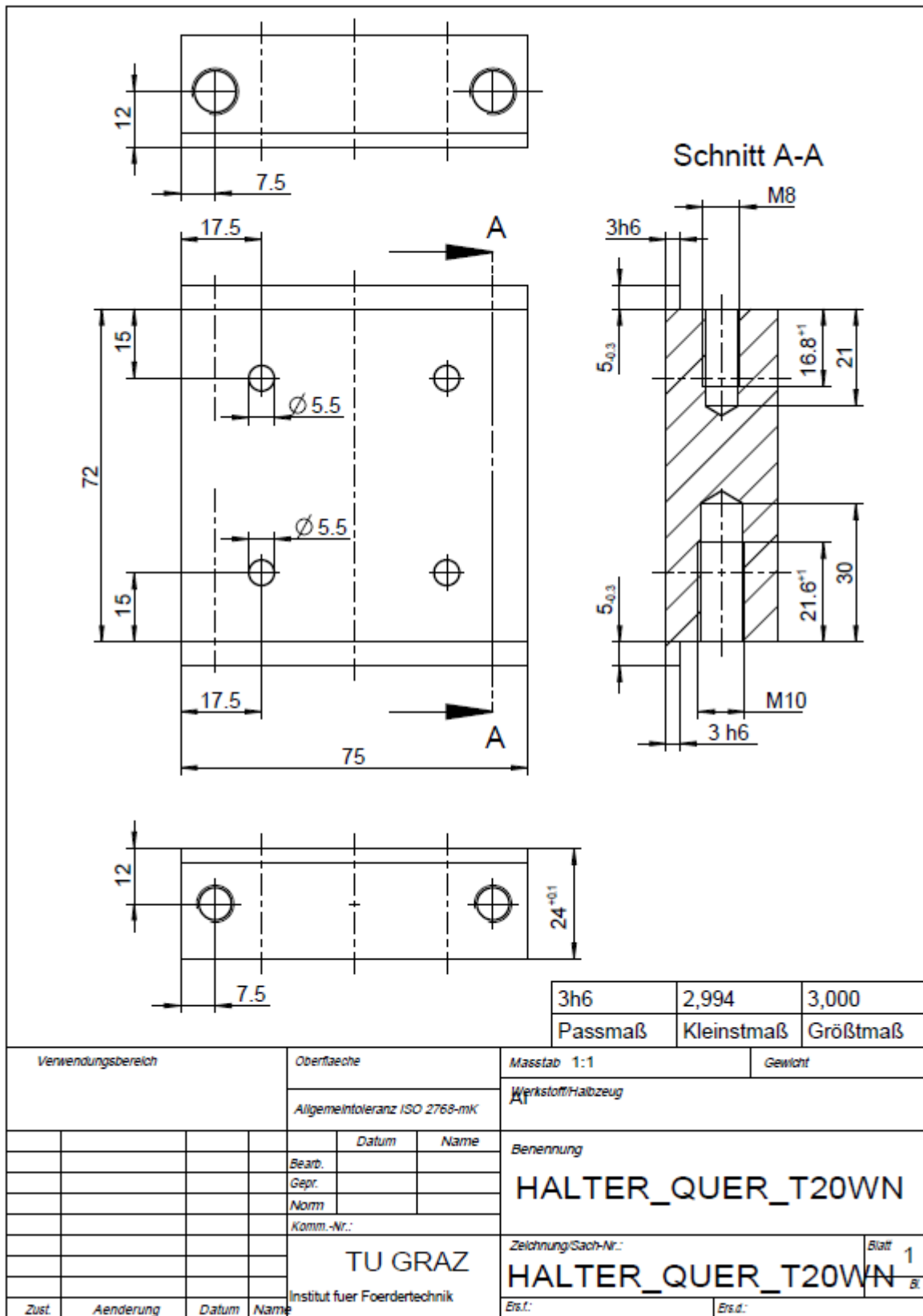
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr.	6	7	8
5							

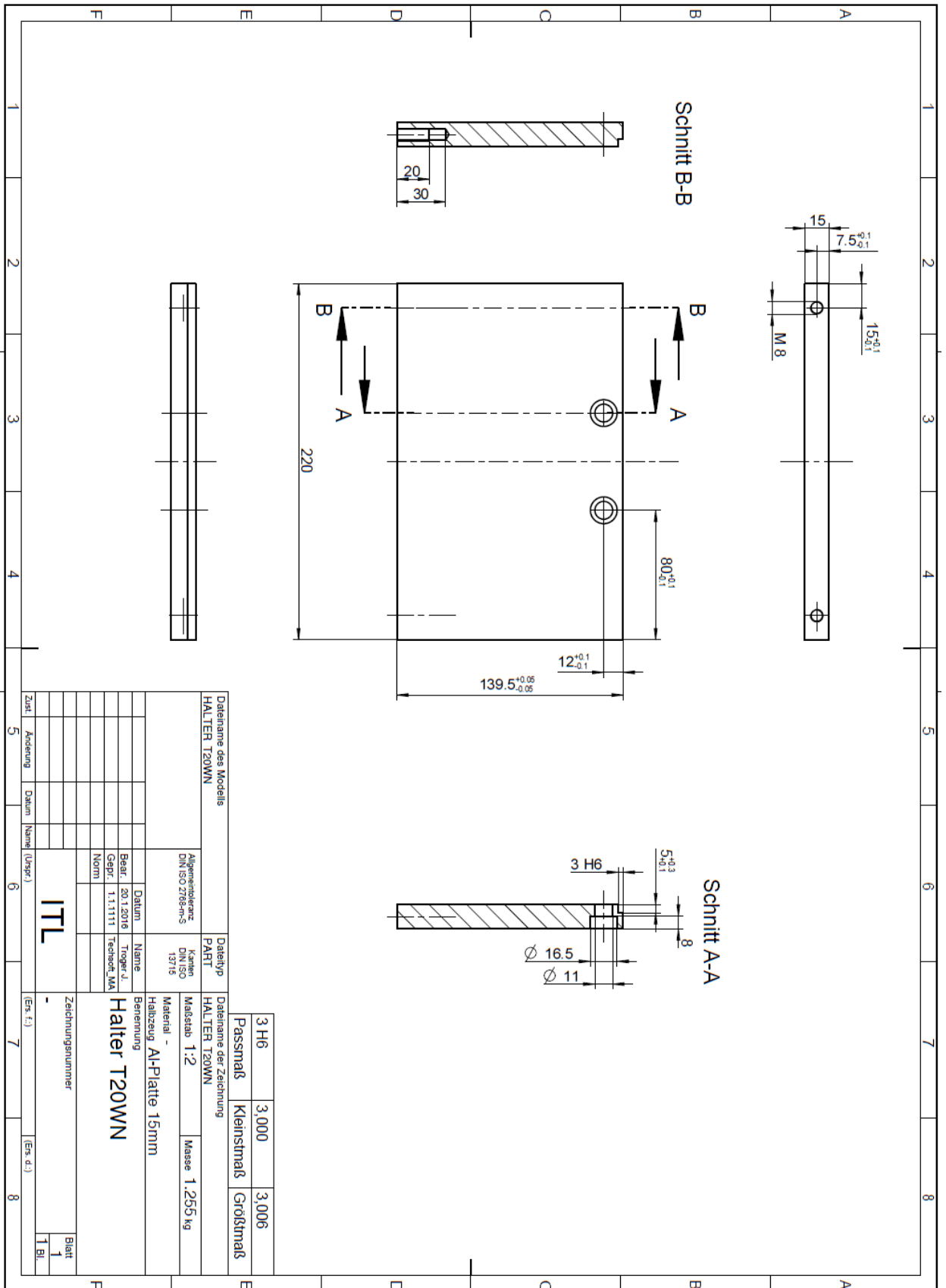




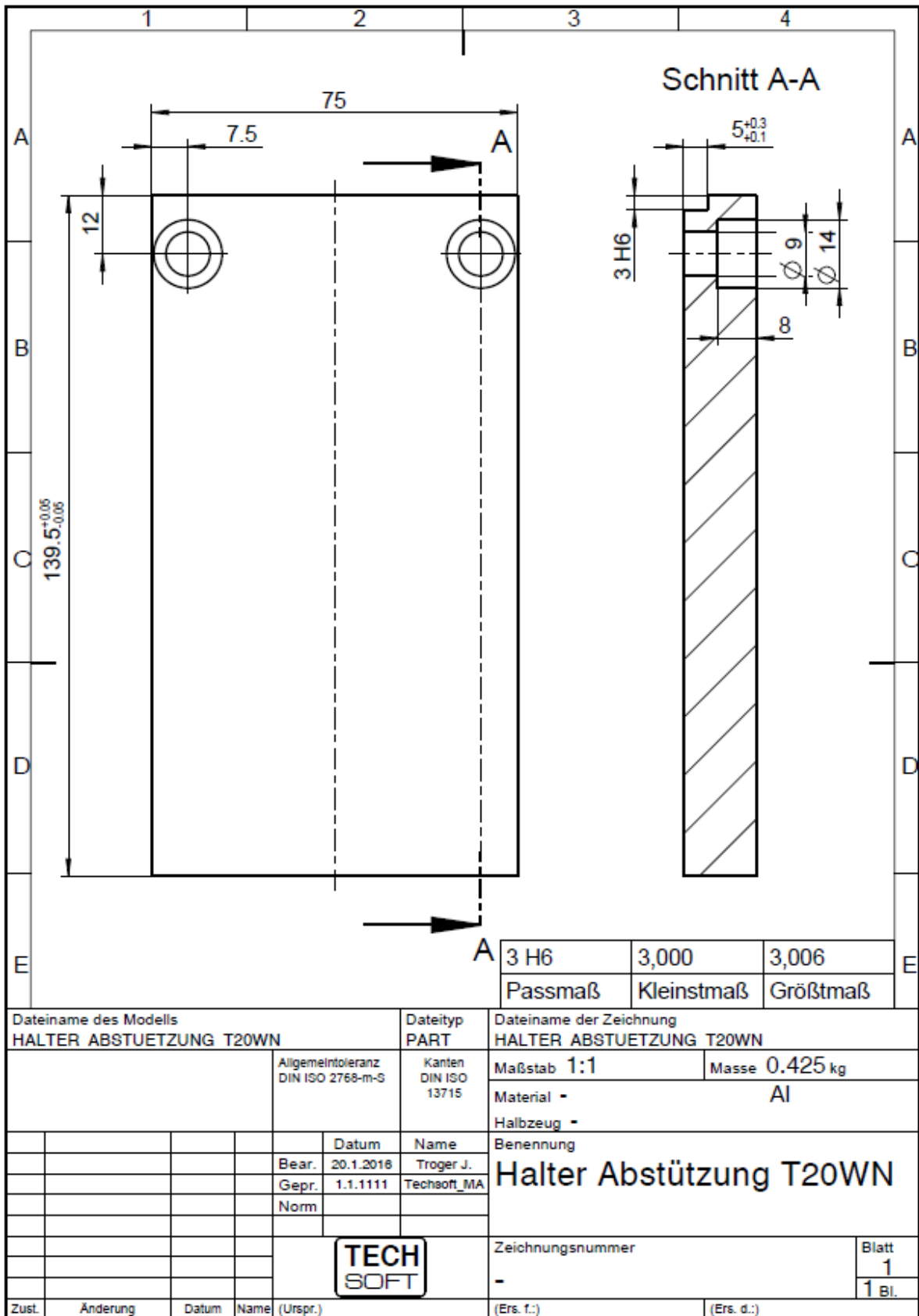
Dateiname des Modells KLEMMVERBINDER			Dateityp PART		Dateiname der Zeichnung KLEMMVERBINDER	
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m-S			Kanten DIN ISO 13715		Maßstab 1:1	Masse 0.000 kg
					Material 1.0038;RSt37-2	
					Halbzeug -	
					Benennung	
					Klemmverbinder	
					-	
					Zeichnungsnummer	
					-	
					Blatt 1	
					1 Bl.	
Zust.	Anderung	Datum	Name	(Urspr.)	(Ers. f.)	(Ers. d.)

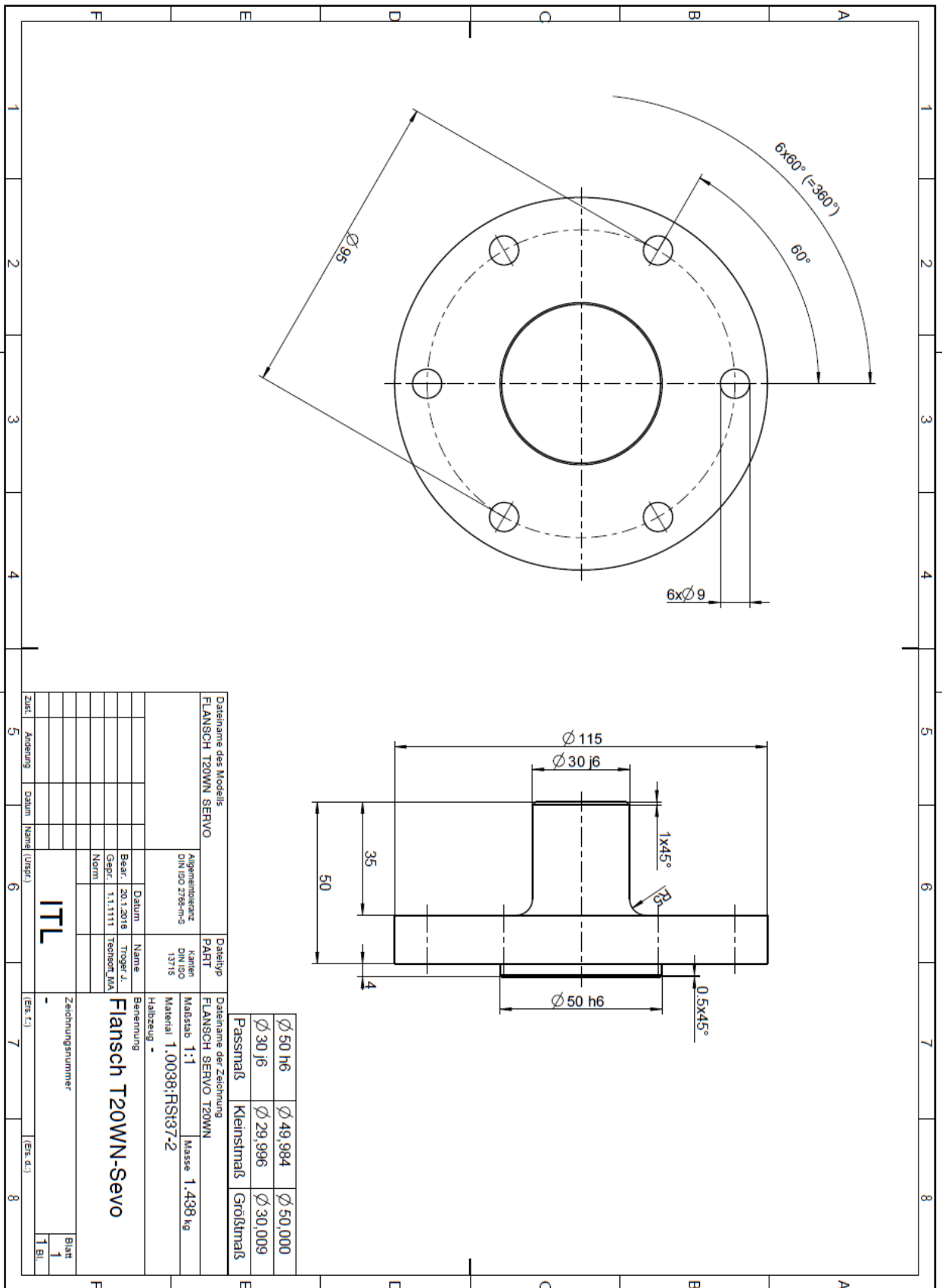






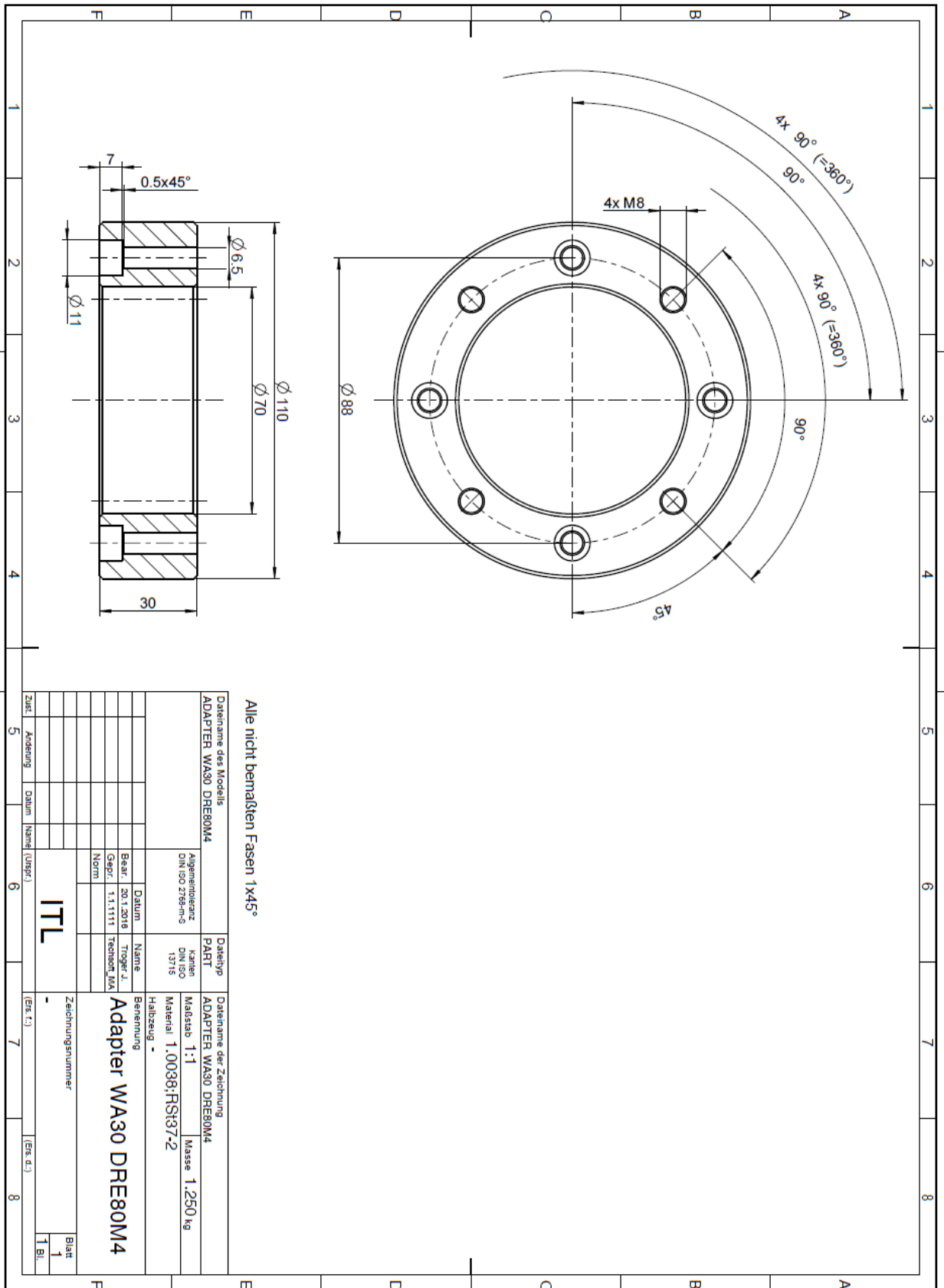
Dateiname des Modells		Dateiname der Zeichnung	
HALTER T20WN		HALTER T20WN	
Algemeinreferenz	DIN ISO 2768-mS	Parttyp	Part
		Karten	DIN ISO 13715
Material		Material	
Al-Platte 15mm		Al-Platte 15mm	
Benennung		Benennung	
Halter T20WN		Halter T20WN	
Masse 1.255 kg		Masse 1.255 kg	
Maßstab 1:2		Maßstab 1:2	
Datum		Datum	
Bezt.	20.1.2019	Troger J.	
Gepf.	1.1.1111	TechnoF. MA	
Nomn			
Zeichnungsnummer		Zeichnungsnummer	
-		-	
Zust.		Zust.	
Änderung	Datum	Name	(Urspr.)
5			
ITL		ITL	
Blatt 1		Blatt 1	
1 Bl.		1 Bl.	





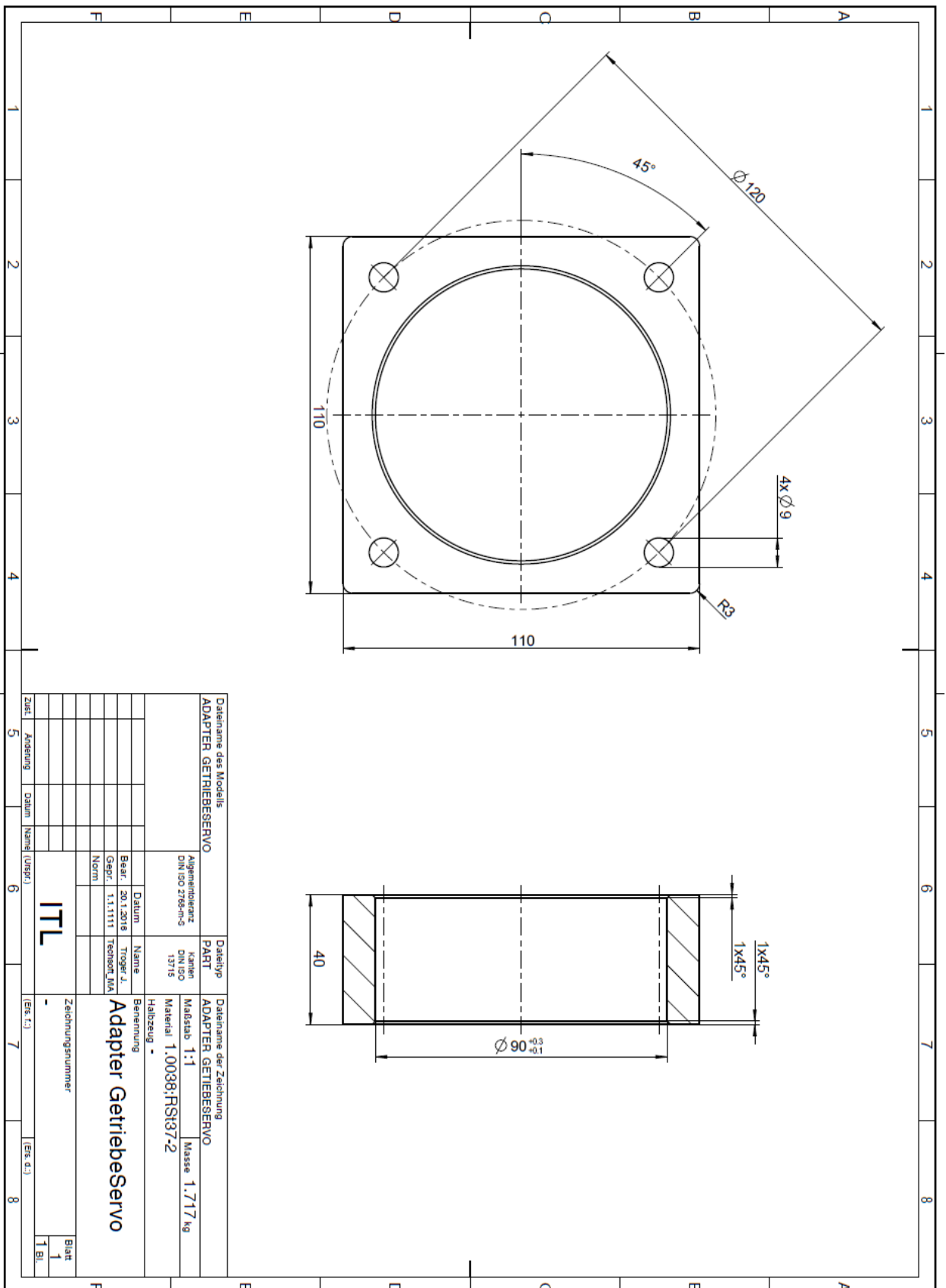
Dateiname des Modells		Dateiname der Zeichnung	
FLANSCH T20WN SERVO		FLANSCH SERVO T20WN	
Allgemeinanzg DIN ISO 2768-mS		Maßstab 1:1	
Kadler DIN ISO 13715		Masse 1,438 kg	
Material 1.0038;FS137-2		Halbzeug -	
Datum		Benennung	
Bearf. 20.1.2018		Flansch T20WN-Sevo	
Gepr. 1.1.1111		Zeichnungsnummer	
Norm		-	
ITL		Blatt 1	
Zust. Änderung		Datum Name (Urspr.)	
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
5		5	
6		6	
7		7	
8		8	

Passmaß	Ø 50 h6	Ø 49,984	Ø 50,000
	Ø 30 j6	Ø 29,996	Ø 30,009
	Ø 95		
	Ø 30 j6		
	Ø 29,996		
	Ø 30,009		

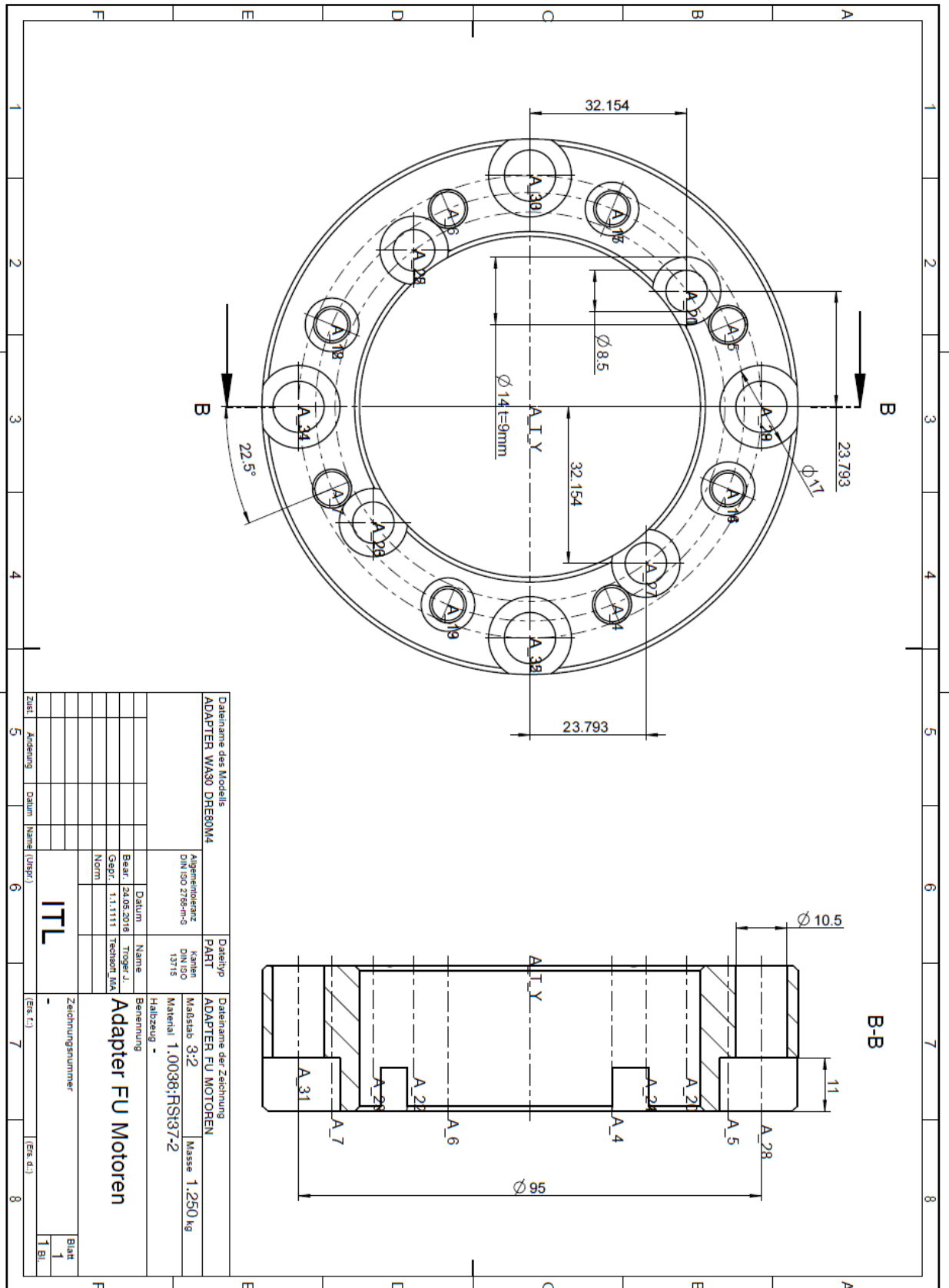


Alle nicht bemalten Fasen 1x45°

Dateiname des Modells		Dateiname der Zeichnung	
ADAPTER WA30 DRE80M4		ADAPTER WA30 DRE80M4	
Allgemeinanz DIN ISO 2768-mS		Kanten DIN ISO 13715	
Material 1.0038;FSK37-2		Masse 1,250 kg	
Datum 20.1.2018		Name Troger, J.	
Gepr. 1.1.1111		Technik_MIA	
Norm		Halbzeug -	
Datum		Benennung	
ITL		Adapter WA30 DRE80M4	
Zust.		Zeichnungsnummer	
Änderung		[Ers. 1.]	
Datum		[Ers. 2.]	
Name (Umspr.)		[Ers. 3.]	
Blatt 1		[Ers. 4.]	
1 Bl.		[Ers. 5.]	



Dateiname des Modells		Dateiname der Zeichnung	
ADAPTER GETRIEBESERVO		ADAPTER GETRIEBESERVO	
Generelle	Angewandte	Material	Masse
ADAPTER GETRIEBESERVO	DIN ISO 2768-mS	1.0038;RS37-2	1,717 kg
Besitz		Halbzug	
20.1.2018		-	
Gepr. 1.1.1111		-	
Norm		-	
ITL		-	
Zeichnungsnummer		-	
Blatt 1		Blatt 1	
1 Bl.		1 Bl.	



Dateiname des Modells		Dateiname der Zeichnung	
ADAPTER WAS30 DRE80M4		ADAPTER FU MOTOREN	
Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-mS		Maßstab 3:2	
Bear. 24.05.2018		Masse 1.250 kg	
Gepr. 11.11.11		Material 1.0038;RS37-2	
Norm		Halbzug	
Datum		Name	
Troger J.		Troger J.	
Technol./JWA		Technol./JWA	
ITL		Benennung	
Zeichnungsnummer		Adapter FU Motoren	
Blatt 1		Blatt 1	
1 Bl.		1 Bl.	

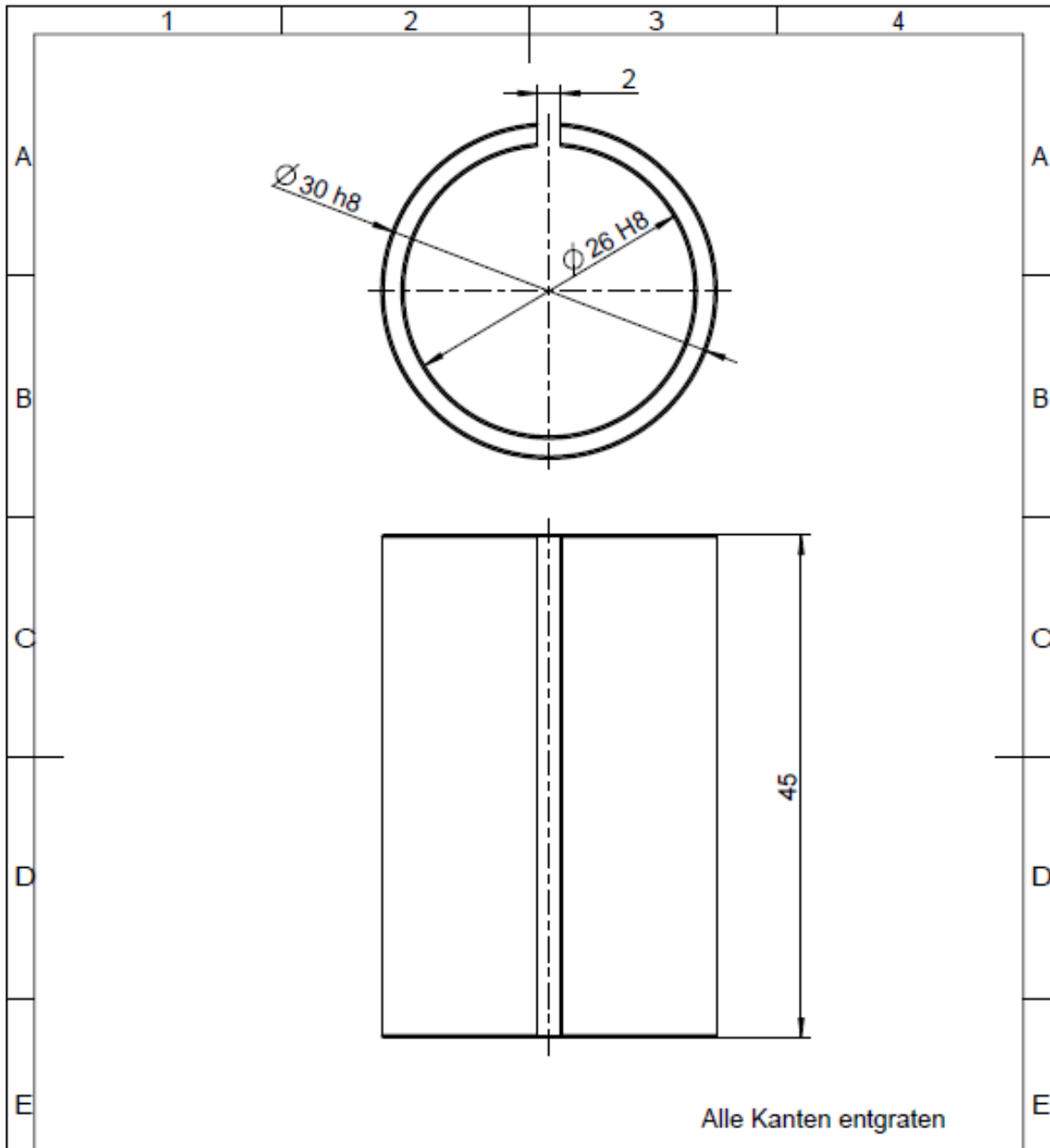
Zust. Änderung Datum Name (usgr.)

5

6

7

8



Alle Kanten entgraten

Dateiname des Modells KLEMMHUELSE				Dateityp PART	Dateiname der Zeichnung KLEMMHUELSE			
				Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-m-S	Kanten DIN ISO 13715	Maßstab 2:1	Masse 0.054 kg	
						Material 1.0038;RSt37-2		
						Halbzeug -		
				Datum	Name	Benennung		
				Bear. 02.05.2018	Troger J.	Klemmhülse		
				Gepr.		-		
				Norm		-		
						Zeichnungsnummer		Blatt
						-		1
Zust.	Änderung	Datum	Name (Urspr.)	(Ers. f.)			(Ers. d.)	
							1 Bl.	

7.4 Inbetriebnahme Anleitung

Die Inbetriebnahme Anleitung enthält wichtige Informationen zu Bedienung und Einstellungen der Komponenten und des gesamten Prüfstands.

7.4.1 Inbetriebnahme Prüfstand

In nachfolgendem Kapitel soll ein genauer Überblick über den derzeitigen Ausbaustand und die verwendeten Komponenten gegeben werden. Es soll eine grobe Anleitung zum Aufbau und Inbetriebnahme der einzelnen Komponenten und des Gesamtsystems gegeben werden.

7.4.1.1 Funktion – prinzipieller Aufbau

Der Prüfstand bietet die Möglichkeit, Motoren bzw. Getriebemotoren hinsichtlich ihres Wirkungsgrades bei verschiedenen Belastungsszenarien zu untersuchen. Als Lasteinrichtung dient ein Frequenzumrichter (FU)-gesteuerter Servomotor. In der Verbindungswelle zwischen Lastmotor und Untersuchungsobjekt (Motor oder Getriebemotor) ist eine Drehmomentmesswelle inkl. Drehzahlmesssystem angeflanscht. Über ein LabView-Programm kann das Bremsmoment, welches der Lastmotor aufbringt geregelt werden. Die Messung wird mittels des Dewetron Leistungsmessgeräts DEWE 800 durchgeführt und mit der integrierten Software DEWESoft 7.0.4 ausgewertet. Am Untersuchungsobjekt wird die Stromaufnahme/Spannung gemessen und so die elektrische Leistung ermittelt. Durch den Vergleich der mechanischen Leistung, aus Messwerten Drehmomentmessflansch und Drehzahlmesssystem und der elektrischen Leistung kann der Wirkungsgrad bestimmt werden.

In Abbildung 7 ist der prinzipielle Messaufbau zur Wirkungsgradbestimmung ersichtlich.

7.4.1.2 Inbetriebnahme – Vorgehensweise

In den folgenden Unterkapiteln wird detailliert auf die notwendigen Schritte zur Inbetriebnahme eingegangen.

Versorgungsseitig ist ein Zugang zum 3-Phasen Netz notwendig sowie eine 24V Gleichstromversorgungsspannung für einige Komponenten des Prüfstandes.

Wichtig: Zuerst den LabView PC hochfahren, bevor der FU Servax M eingeschalten wird. Ansonsten kann durch eine Spannungsspitze beim Einschaltvorgang des LabView PC's ein Fehler im FU produziert werden.

7.4.1.2.1 Lastmotor Hauser HBMR 142 E6-130S

Dieser Motor wird dazu eingesetzt den Prüfling durch ein vorgegebenes Bremsmoment zu belasten.

Nennmoment: 13,5 Nm

Nenn Drehzahl: 2300 U/min

Um höhere Bremsmomente bei niedrigeren Umdrehungen zu realisieren steht ein einstufiges Getriebe zur Verfügung, welches an den Servomotor angeflanscht werden kann. Es besitzt eine Übersetzung von $i=10$ und kann ohne hardwareseitige Veränderungen angeflanscht und verwendet werden.

Die Steuerung des Motors wird durch den Hauser Servax M Regler vorgenommen. Genaueres zu Anschluss und Inbetriebnahme wird im Unterkapitel 7.4.1.2.2 behandelt.

7.4.1.2.2 Drehzahl-/Drehmomentregler Hauser Servax M

Der Drehzahlregler Hauser Servax M wird in Kombination mit dem Netzteil Hauser Power Supply verwendet, welches von dem 3-Phasen Netz und einer 24V Gleichstromspeisespannung versorgt wird. Die Parametereinstellung erfolgt über die RS 232 Schnittstelle mit einem externen PC mit Software von Parker/Hauser. Die Soft-

ware ist im Autostart des PC, alle notwendigen Einstellungen hinsichtlich Schnittstellen sind bereits eingepflegt. Nachfolgend die wichtigsten Parameter.

- **Wichtige Parameter für Drehzahlregler:**
 - P34=1 Passwortsperrung aufheben
 - P33=1/0 Reglerart Drehzahl-/Drehmomentregelung
 - P18=1/0 Haltebremse auf/zu

Der Regler wird durch eine analoge Spannung (+/- 10V) angesteuert. Diese analoge Spannung wird von einem LabView-Programm am Steuer-PC vorgegeben (1=+; 2=GND vgl. Abbildung 25). Näheres dazu im Unterkapitel 7.4.1.2.3.

Nach dem Autostart des Programms muss die COM1-Schnittstelle (Baudrate 9600) initialisiert werden. Am Servax-Display sollte nun „OFF“ angezeigt werden. Nach Veränderung des Parameters P34=1 sollte am Display „run“ angezeigt werden.

Prinzipiell ist der Lastmotor inkl. FU nun betriebsbereit.

Die unten im Bildschirm gezeigten Bedienfelder haben für diese Prüfstandskonfiguration keine Funktion.

Wichtig: Durch manuelle Drehung der Prüfstands-Welle sicherstellen, dass die Haltebremse deaktiviert ist.

Abbildung 25 zeigt schematisch die notwendigen Anschlüsse zum Betrieb des Reglers am Prüfstand.

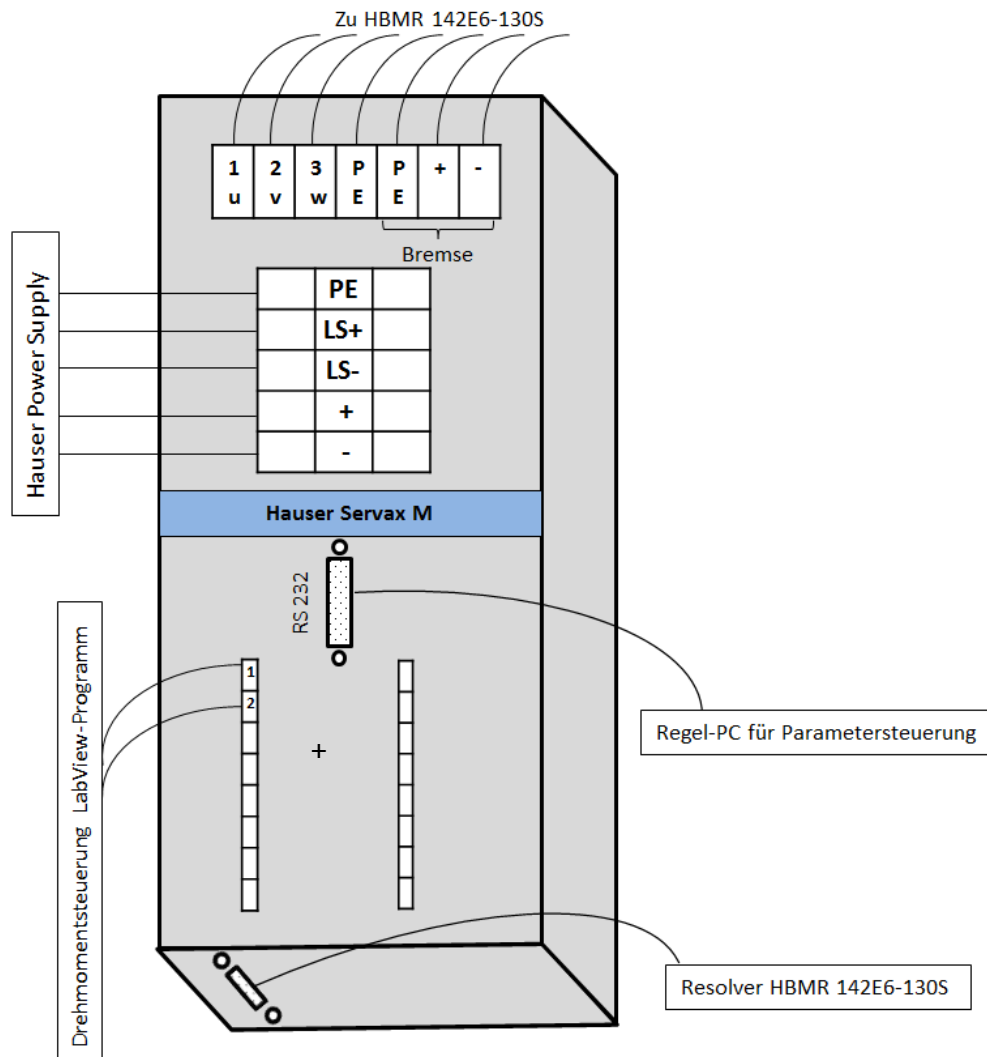


Abbildung 25 Anschlussplan Hauser Servax M

7.4.1.2.3 DAQ-Karte National Instruments CB-68LPR

Die DAQ-Karte ist ein kostengünstiger Anschlussblock mit 68 Steckklemmen und 68-pin Anschluss zur Verwendung mit NI LabView. Über den Anschlussblock wird die variable analoge Spannung, die durch das LabView-Programm „spannungsausgabe_v3.vi“ vorgegeben wird, an den Regler Hauser Servax M übertragen. Die für die

Regelung benötigten Informationen werden einerseits direkt von der Drehmomentmesswelle und andererseits vom induktiven Sensor eingespeist. Abbildung 26 zeigt den genauen Anschlussplan an die Messkarte.

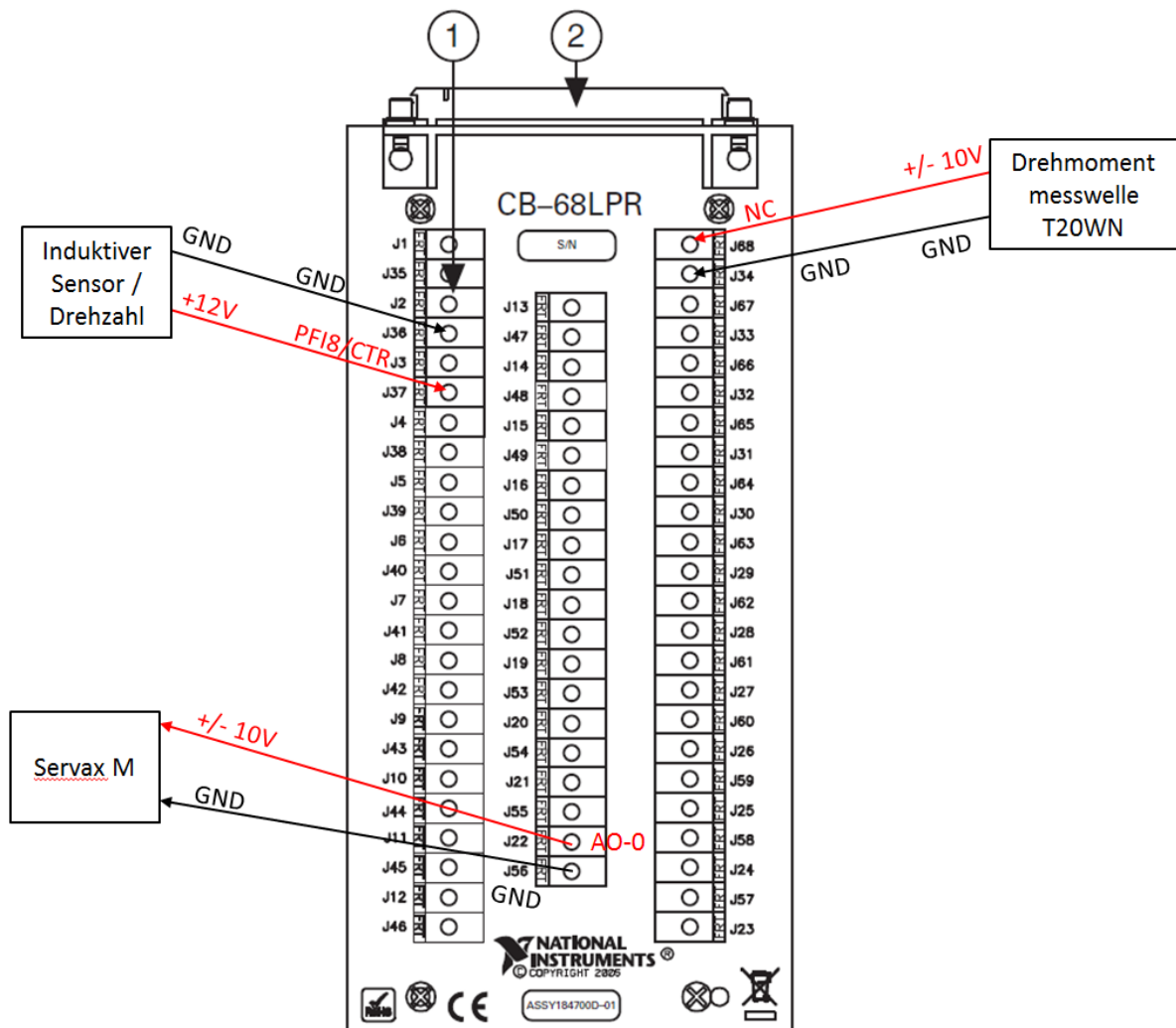


Abbildung 26 Anschlussplan CB-68LPR

7.4.1.2.4 LabView – Steuerung/Regelung

Dieses LabView-Programm ist am LabView-PC sowie im Anhang gespeichert (Spannungsausgabe.vi Abgerufen am 27.5.2016).

Voraussetzung ist ein installiertes LabView 2015 inkl. CB-68LPR Messkarte im Rechner sowie Anschlussblock (vgl. Kapitel 7.4.1.2.3).

Das Drehmoment und Drehzahl signal liegen als Input am Anschlussblock an. Diese Signale werden verwendet um mittels des implementierten PID-Reglers das Dreh-

moment und die Drehzahl in Echtzeit zu regeln. Das Programm liefert an den FU des Bremsmotors eine Spannung, welche im FU verarbeitet wird und somit den Strom des Bremsmotors regelt.

In LabView gibt es zwei Bedienebenen, zum einen das Frontpanel, welches für den Anwender des Programms dient, und zum einen das Blockbild, welches zum Programmieren des Programms verwendet wird. Im Weiteren wird nur auf das Frontpanel zur Bedienung des Prüfstands eingegangen.

Beim Öffnen des VI's Spannungsausgabe erscheint das in Abbildung 27 ersichtliche Frontpanel.

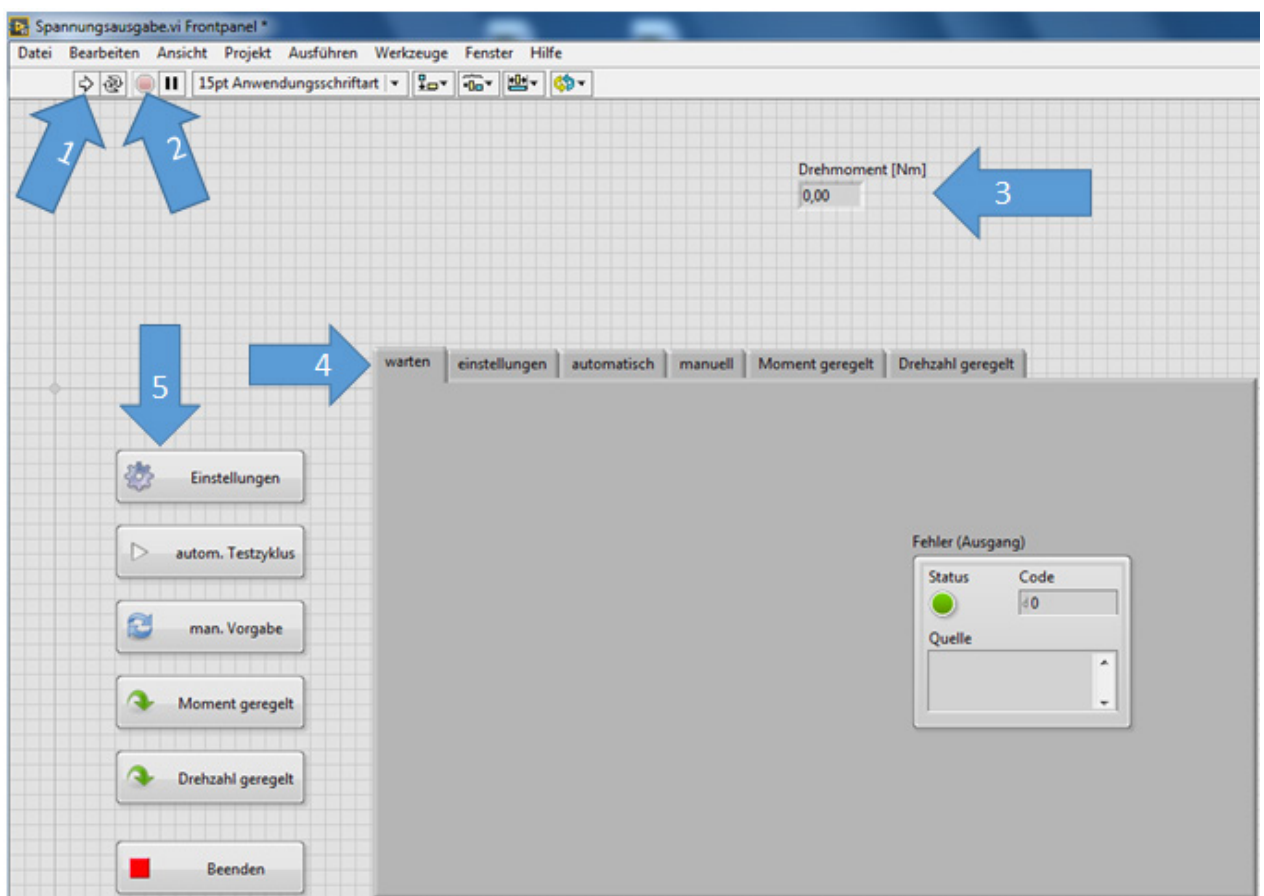


Abbildung 27 Frontpanel LabView Spannungsausgabe

Über den Button von Pfeil 1 wird das Programm gestartet, der Button von Pfeil 2 stoppt die Ausführung des Programms. In dem Anzeigeelement von Pfeil 3 wird das aktuell vorherrschende Drehmoment in Echtzeit angezeigt. Die Registerkarten von

Pfeil 4 zeigen die Funktion des Programms. Die Buttons, die unter Pfeil 5 liegen, starten die jeweiligen Funktionen, bzw. beenden die Ausführung der jeweiligen Funktionen. Beim Start des Programms ist die Registerkarte „warten“ ausgewählt, in welche etwaige Fehler im hellgrau hinterlegten Dialogfenster angezeigt werden.

In der Registerkarte „Einstellungen“ (vgl. Abbildung 28) kann die Spannungsausgabe in einer Stufenfunktion eingestellt werden. Hier können die Spannungsstufen und das Zeitintervall eingestellt werden, welche mit dem Button „autom. Testzyklus“ dann gestartet und abgearbeitet werden können. Die aktuelle Spannungsausgabe kann dann in der Registerkarte „automatisch“ (vgl. Abbildung 29) beobachtet werden. Diese Funktion des Programms ist für die derzeitige Prüfprozedur wenig geeignet, da sich kein diskreter Belastungspunkt (in Hinsicht auf Drehmoment/Drehzahl/Leistung) einstellen lässt. Sie wurde in vorangegangenen Verwendungszwecken am Prüfstand benötigt.

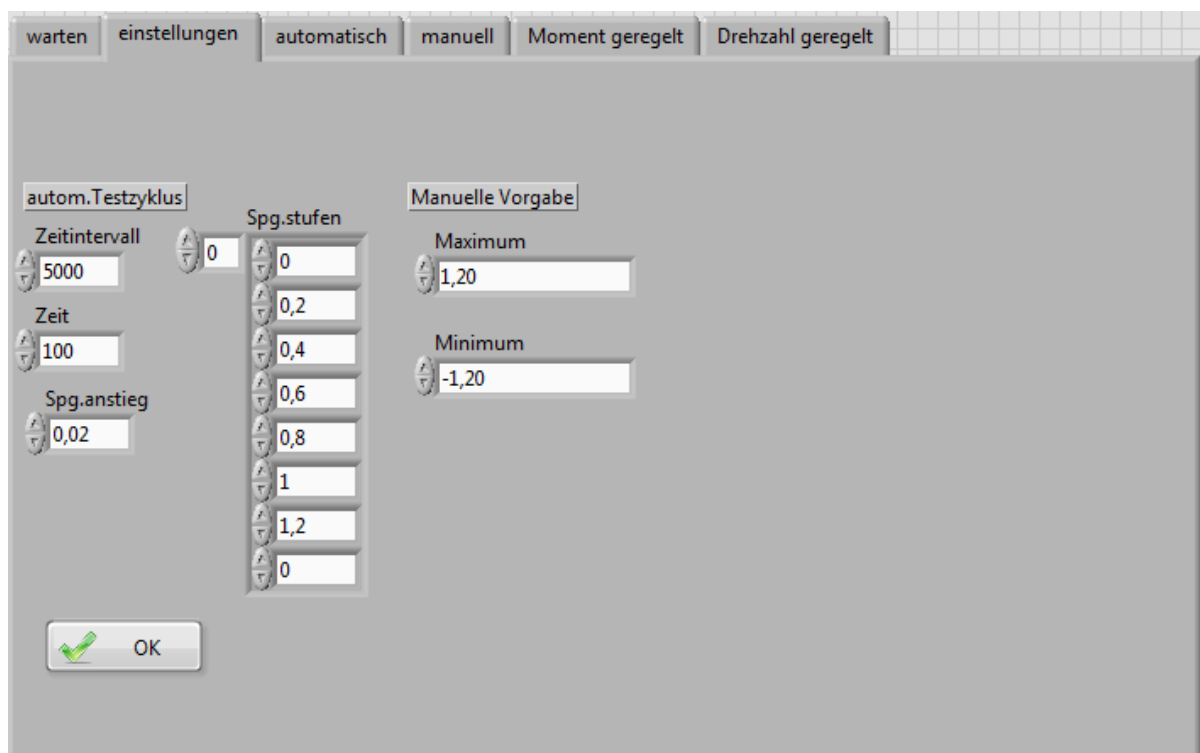


Abbildung 28 Registerkarte "einstellungen"

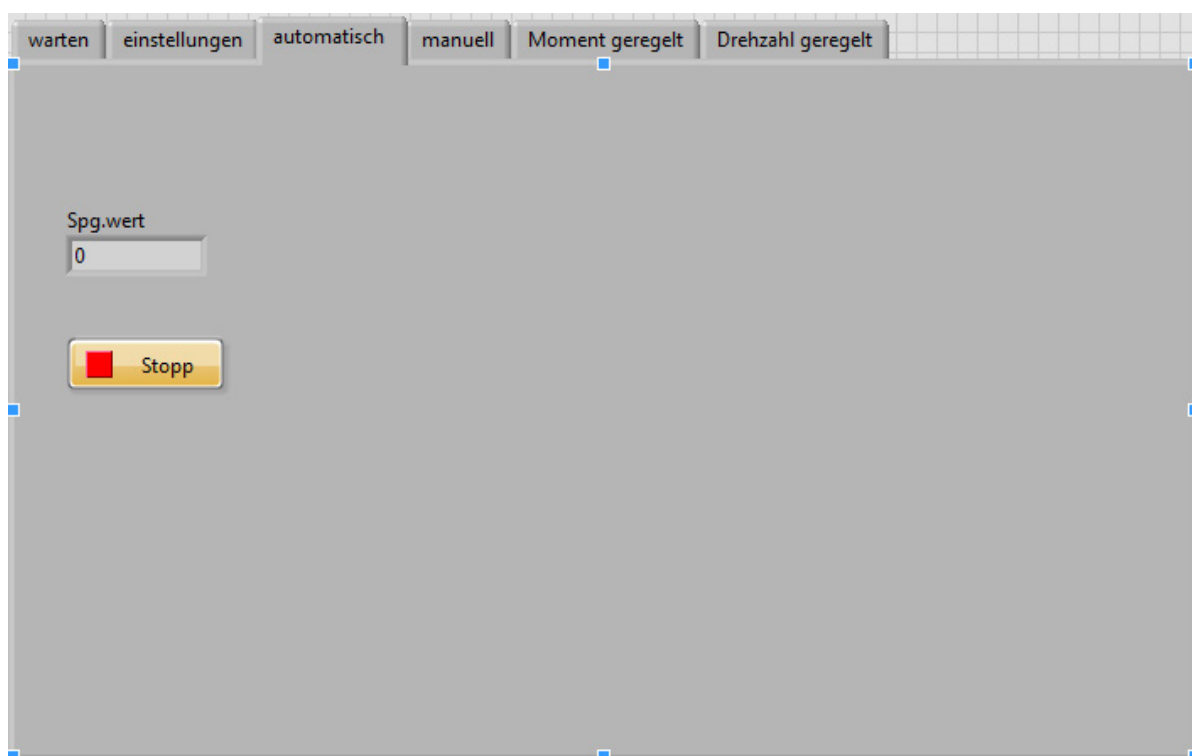


Abbildung 29 Registerkarte "automatisch"

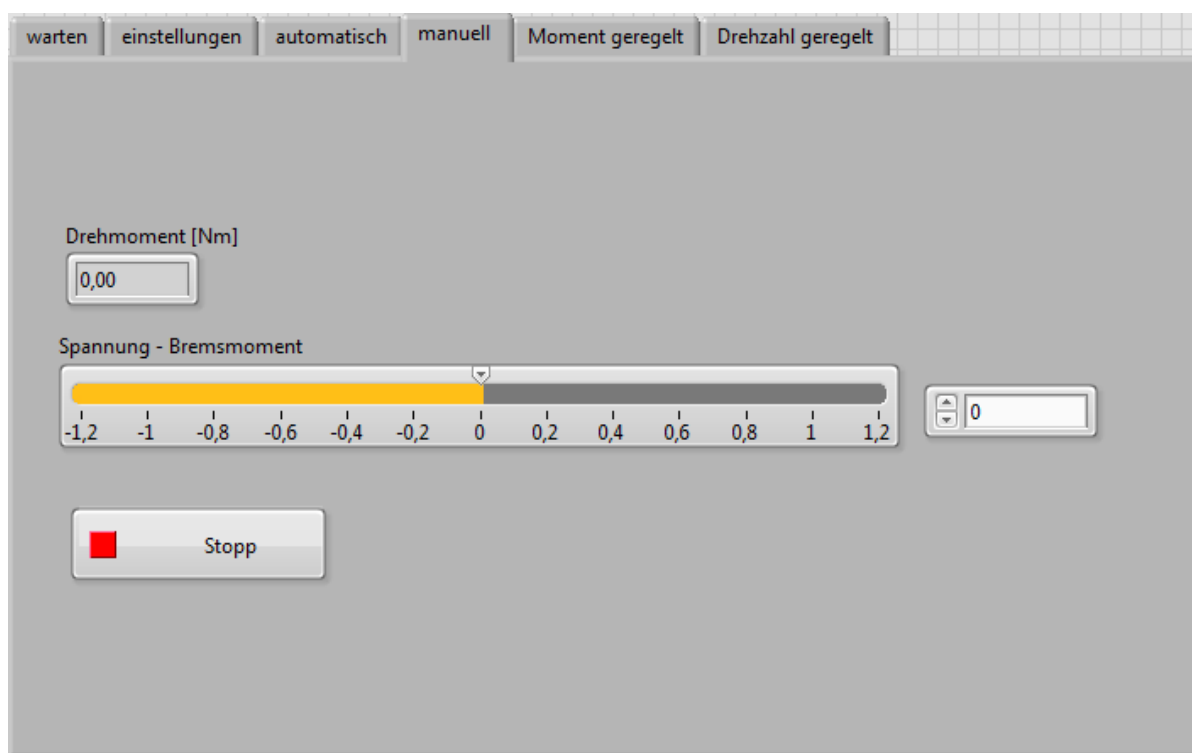


Abbildung 30 Registerkarte "manuell"

Unter der Registerkarte „manuell“ findet sich ein Schieberegler (vgl. Abbildung 30), mit dem die Spannungsausgabe manuell gesteuert werden kann, zwischen den Grenzen von $-1,2\text{V}$ – $1,2\text{V}$. Diese Funktion ist über den Button „man. Vorgabe“ zu starten. Dabei ist darauf zu achten, dass das Nenndrehmoment von 50Nm für die Drehmomentmesswelle nicht überschritten wird.

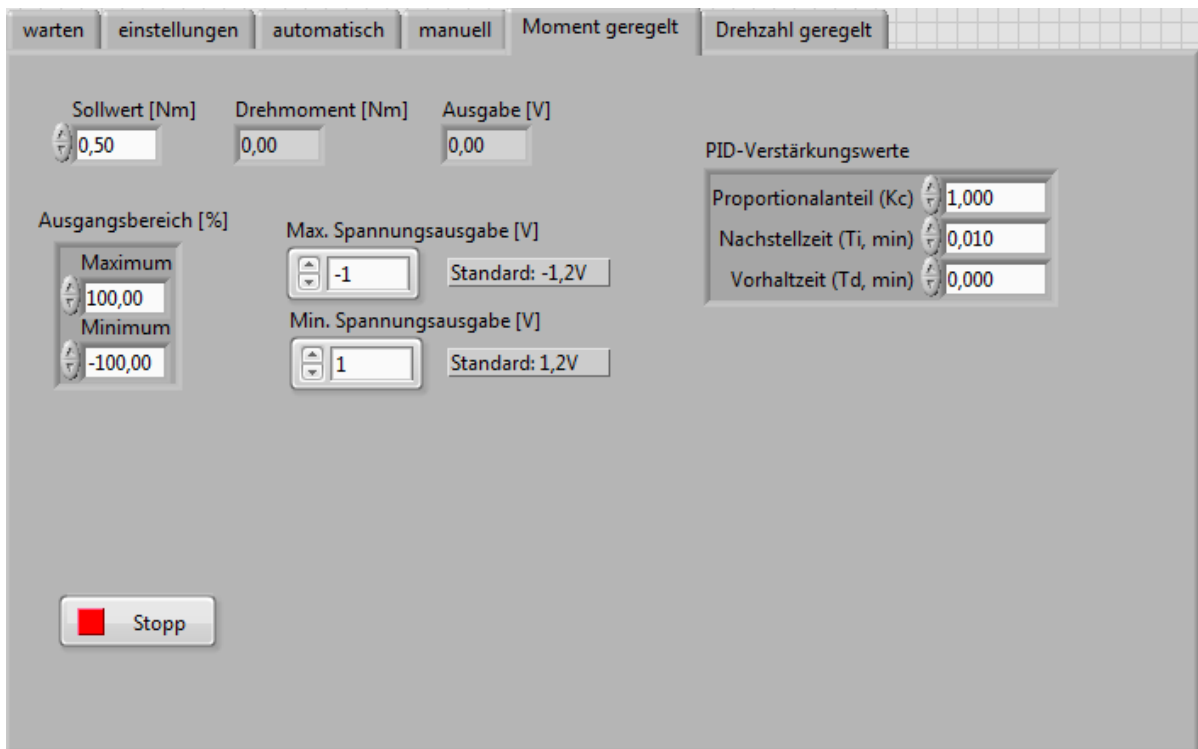


Abbildung 31 Registerkarte "Moment geregelt"

In der fünften Registerkarte „Moment geregelt“ kann das effektiv anliegende mechanische Drehmoment geregelt werden (vgl. Abbildung 31). Über den Button „Moment geregelt“ wird der Programmablauf gestartet. Im Eingabefeld „Sollwert“ wird der gewünschte Sollwert angegeben. Die Anzeigefelder „Drehmoment“ und „Ausgabe“ zeigen den aktuellen mechanischen Drehmomentwert, und die Spannungsausgabe an den Regler Servax M. Die Eingabefelder „Ausgangsbereich“ bestimmen prozentual den Ausgangsbereich der Spannungsausgabe, welche in den zwei Eingabefeldern rechts daneben eingestellt werden kann. Es wird hier festgelegt, wie viel Prozent der max. Spannungsausgabe ausgegeben werden können.

In der abgesetzten Eingabematrix „PID-Verstärkungswerte“ können die Parameter des PID Reglers angepasst werden. Hier ist darauf zu achten, die Parameter nur langsam anzupassen, um ein mögliches Überschwingen über das Nenndrehmoment der Drehmomentmesswelle zu verhindern. Dieses Regelsystem reagiert auf Änderungen der Parameter sehr sensibel, weil das geregelte Ausgangssignal im FU nochmals geregelt wird.

Wenn ein neuer Motor im Prüfstand vermessen wird und diese Funktion benötigt wird, empfiehlt es sich, die max./min. Spannungsausgabe auf geringe Werte zu begrenzen (ca. 30% der max. Ausgabe), um die Charakteristik des Reglers anzupassen.

Wichtig: Drehrichtung, und das Vorzeichen des Moments beim Sollwert beachten!

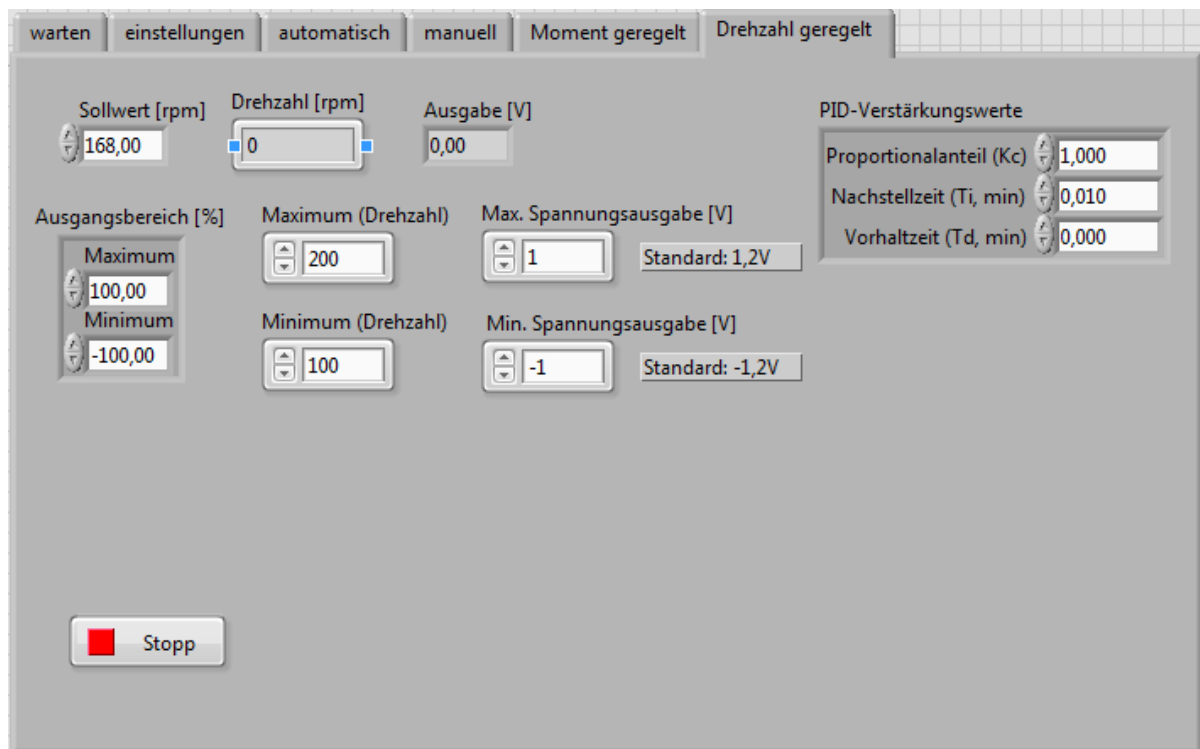


Abbildung 32 Registerkarte "Drehzahl geregelt"

Die Registerkarte „Drehzahl geregelt“ erlaubt die Drehzahl des Prüflings zu regeln (vgl. Abbildung 32). Über den Button „Drehzahl geregelt“ wird die Funktion gestartet. Im Eingabefenster Sollwert wird die gewünschte Drehzahl vorgegeben. **Achtung! Kontrolle der Nenndrehzahl des Prüflings – Plausibilitätskontrolle vor Pro-**

grammstart. Über die Eingabefenster „Maximum (Drehzahl)“ bzw. „Minimum (Drehzahl)“ wird der ungefähre Regelbereich eingestellt. Alle anderen Anzeigeelemente/Eingabeelemente verhalten sich analog zur Programmfunktion „Drehmoment geregelt“. Auch hier gilt die Drehrichtungsabhängigkeit und die Sensibilität gegenüber der Veränderung von Regelparametern.

7.4.1.2.5 Drehmomentmesswelle HBM T20WN inkl. Kupplungen

Die Drehmomentmesswelle T20WN kann statische und dynamische Drehmomente sowie Drehzahlen und Drehwinkel in beliebiger Drehrichtung messen. Die Messsignalübertragung erfolgt dabei berührungslos. Es wird eine 12V DC Speisespannung für den Betrieb benötigt.

Die im Prüfstand verbaute Drehmomentmesswelle hat ein Nenndrehmoment von 50 Nm und eine Nenndrehzahl von 3000 min⁻¹.

Der integrierte Messverstärker liefert ein Ausgangssignal für die Drehmomentmessung von +/-10V. Für die Drehzahl/-winkel Messung werden zwei 90° zueinander phasenverschobene Rechtecksignale mit einer Amplitude von 5V ausgegeben. Das Drehmomentsignal wird dabei im Klemmkasten gesplittet um im Messrechner Dewe 800 und der LabView Steuerung weiterverarbeitet zu werden. Im Anschlussplan finden sich genauere Details zu den elektrischen Anschlüssen der Drehmomentmesswelle.

Nähere Informationen entnehmen Sie dem Datenblatt und der Montageanleitung im Anhang.

Zum Ausgleich der auftretenden Radial-, axial-, und Winkelfehler, und um den Wechsel der Prüflinge ohne spezielle Ausrichtung zu ermöglichen, wurden drei Kupplungen unterschiedlichen Typs verwendet. Eine HBM Faltenbalgkupplung, welche speziell für den Einsatz mit der Drehmomentmesswelle konzipiert ist, eine KTR Elastomere Klauenkupplung und eine Schmidt-Kupplung des Typs Semiflex. Erstere ist besonders für Axial- und Winkelfehler geeignet, die KTR Kupplung hat dank ihres Elastomere-Sterns torsionsschwingungsdämpfende Eigenschaften und die Schmidt-Kupplung besonders für radiale Fehler. So kann der Prüflingswechsel schnell und

ohne weitere Einstellarbeiten erfolgen und es werden keine größeren Zwangskräfte an der Drehmomentmesswelle eingeleitet.

Anzugsmomente der Spannschrauben:

- HBM Faltenbalgkupplung: 35 Nm
- Ruland starre Wellenkupplung: 16 Nm
- KTR Elastomere Klauenkupplung: 35 Nm
- Schmidt-Kupplung: 36 Nm

7.4.1.2.6 Induktiver Sensor Visolux NT10 2084/33KS4

Der induktive Sensor dient zur Ermittlung der Drehzahl für die Weiterverarbeitung in LabView. Als Trigger dient ein fest an dem Flansch befestigtes Winkelblech, welches in geringem Abstand zum Sensor rotiert. Durch diese Messmethode kann nur eine geringe Auflösung der Drehzahl realisiert werden, da nur ein Messwert pro Umdrehung aufgenommen wird. Für die vorangegangenen Anwendungen stellte dies keine große Einschränkung dar, weil meist nur Messwerte bei stationärem Betrieb der Motoren/Getriebemotoren aufgenommen wurden.

Anschluss:

Der induktive Sensor benötigt eine Speisespannung von 24V DC. Die Kabel sind von 1-3 nummeriert und wurden wie folgt angeschlossen:

- 1 ... 24V/12V DC +
- 2 ... 24V/12V DC - u. Anschluss GND – CB-68LPR
- 3 ... Anschluss an PFI8/CTR – CB-68LPR

7.4.1.2.7 Leistungsmessgerät Dewetron DEWE 800

DEWE 800 ist ein Messverstärker/Messgerät mit modularem Aufbau. Die Funktionen der Messsignalverstärkung und A/D-Wandlung sowie die verarbeitende Software sind in dem Messrechner integriert. Abbildung 33 zeigt den Messaufbau und den Anschlussplan am DEWE 800. Genauere Informationen sind im Anhang zu finden.

7.4.1.2.8 Anschlussplan

Abbildung 33 und Abbildung 34 zeigt den genauen Anschlussplan der Messtechnik des Prüfstands.

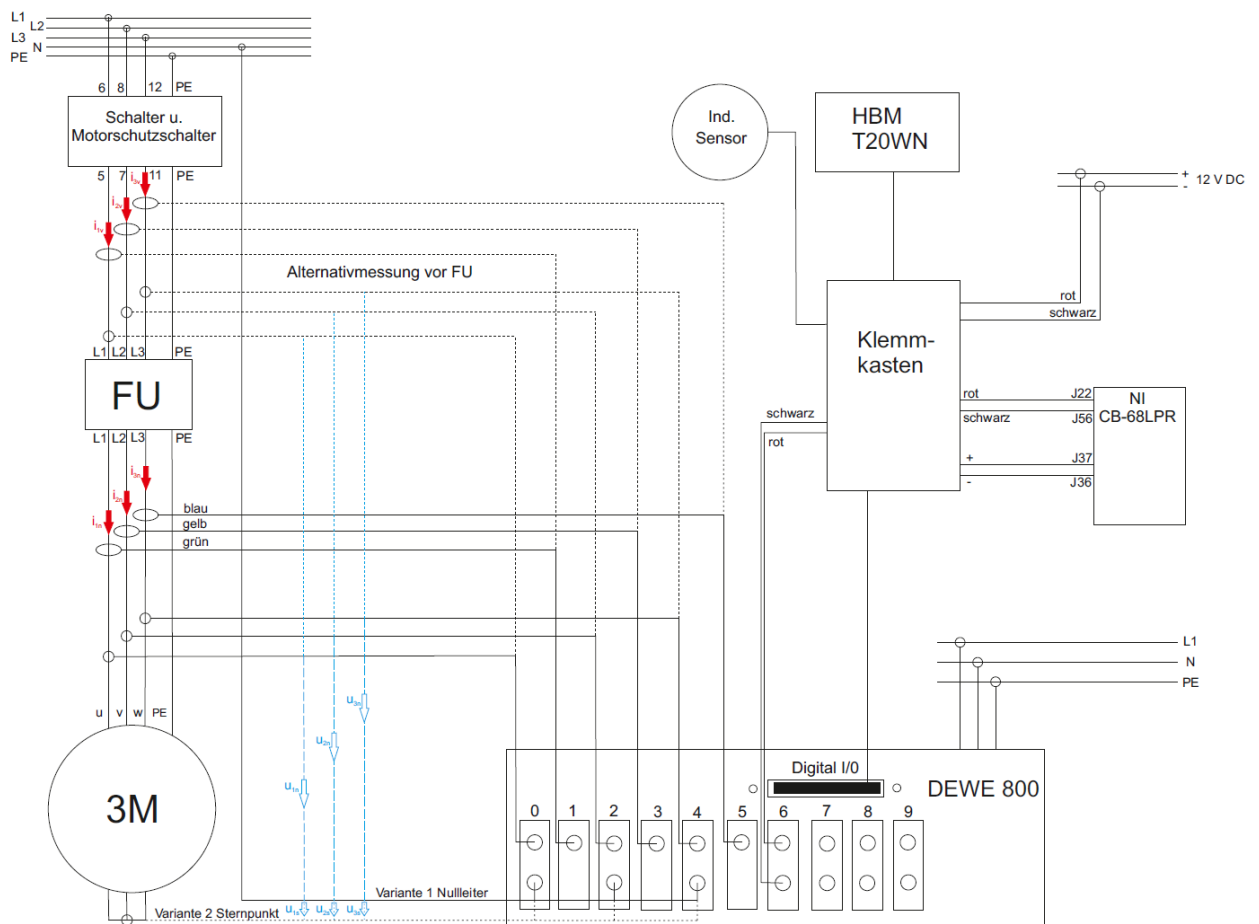


Abbildung 33 Anschlussplan gesamt

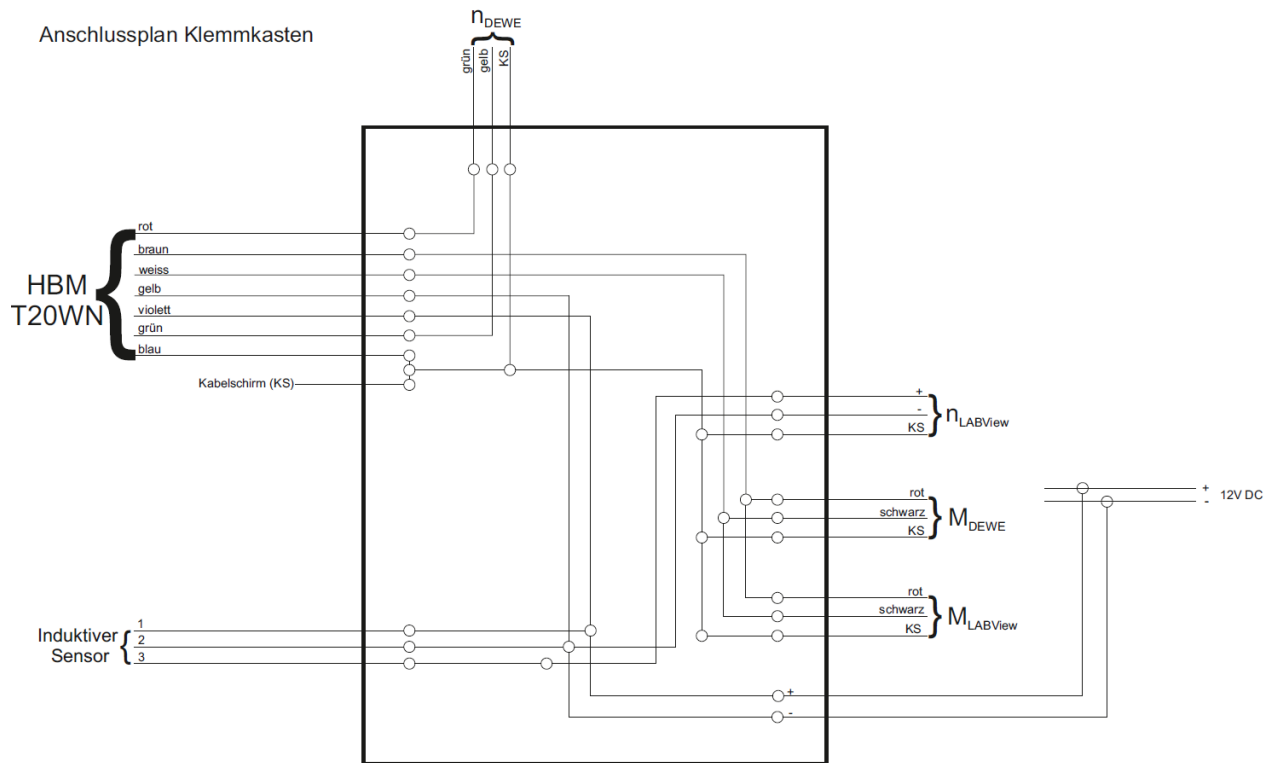


Abbildung 34 Anschlussplan Klemmkasten

7.4.2 Prüflinge

Auf der Alu-Platte auf Prüflingsseite werden mit Hilfe von verschiedenen Adapterflanschen die unterschiedlichen Prüflinge angeflanscht. Alle Prüflinge werden mit dem am Prüfstand verbauten Schalter/Motorschutzschalter angeschlossen. Nur hinsichtlich der Messmethodik unterscheiden sich die unterschiedlichen Typen. Die Steuerung der Prüflinge, welche mit einem Frequenzumrichter (extern oder intern) betrieben werden, erledigt die Software Movitools© Motion Studio.

7.4.2.1 Ohne Frequenzumrichter / Starr am Netz

Bei Prüflingen ohne Frequenzumrichter wird der Vorhande Anschluss nach Schalter/Motorschutzschalter verwendet. Die Spannungen werden direkt am Klemmbrett abgegriffen und die Ströme mithilfe der Strommesszangen an den einzelnen Leitern gemessen.

7.4.2.2 Externer Frequenzumrichterbetrieb (SEW Movimot)

Bei Prüflingen, die mithilfe eines externen Frequenzumrichters betrieben werden, kann eine elektrische Leistungsmessung „vor“- und „nach“ dem Frequenzumrichter stattfinden. Mithilfe dieses Verfahrens können bei gleicher Messmethodik Rückschlüsse auf den Wirkungsgrad des Frequenzumrichters gezogen werden. Die Stromversorgung für den Frequenzumrichter erfolgt in gleicher Weise wie für die Prüflinge. Die Spannungen können motorseitig am Klemmbrett abgenommen werden, die Ströme mithilfe von Strommesszangen oder Mess-Shunt an den einzelnen Leitern. Analog dazu verhält sich die Messung „vor“ dem Frequenzumrichter. Hier ist auf eine ausreichend hohe Abtastrate zu achten, da hochfrequente Oberwellen große Teile zur Leistungsbildung beitragen. Genauere Informationen zur Leistungsmessung von Frequenzumrichter betriebenen Motoren finden sich im Anhang (Leistungsmessmodul DeweSoft).

7.4.2.3 Integrierter Frequenzumrichter

Bei Prüflingen mit integriertem Frequenzumrichter kann die elektrische Leistungsmessung nur an einem Messpunkt durchgeführt werden. Hier wird „vor“ dem Frequenzumrichter gemessen. Die Spannungen und Ströme werden an den Leitern abgenommen (Spannungen mithilfe von Klemmen, Ströme analog Kapitel 7.4.2.2).

7.5 Dateienverzeichnis zum Anhang

Tabelle 17 Dateienverzeichnis zum Anhang

Erklärung	Dateiname
Technische Daten Drehmomentmesswelle T20WN 50Nm	T20WN Datenblatt.pdf
Technische Daten Faltenbalgkupplung 50Nm	T20WN Datenblatt.pdf
Technische Daten Schmidt Semiflex C70	Datenblatt_Semiflex_Klemmnabe.pdf
Technische Daten Elastomere Zahnkranz 92 Shore-A T-PUR	Rotex Stern.jpg
Technische Daten Klauenkupplung Rotex A-H 28	Rotex 28.jpg
Technische Daten Strommesszange CP 300 ; Shunt	Strommesszange CP300.jpg
Technische Daten Niederspannungsmessverstärker DAQP-LV	DAQP-LV.jpg
Technische Daten Hochspannungsmessverstärker DAQP-HV	DAQP-HV.jpg
Fertigungszeichnung Adapter 70mm Lochkreis	Adapter_w20_drs71s4.pdf
Fertigungszeichnung Welle 20 mm Hohlwelle	Welle_WA30_DRE80M4.pdf
Fertigungszeichnung Welle 20mm Wellenstummel	Welle_w20_dr71s4z.pdf
Fertigungszeichnung Flansch Hauser Servo; Stöber Planetengetriebe	Servo-flansch_t20wn.pdf
Fertigungszeichnung Klemmverbinder	Klemmverbinder.pdf
Fertigungszeichnung Halter T20WN_1	Halter_quer_t20wn.pdf
Fertigungszeichnung Halter T20WN_2	Halter_t20wn.pdf

Fertigungszeichnung Halter T20WN_3	Halter_abstuetzung_t20wn.pdf
Fertigungszeichnung Flansch Servo-Kupplung	Flansch_servo_t20wn
Fertigungszeichnung Adapter 88mm Lochkreis	Adapter_w30_dre80m4.pdf
Fertigungszeichnung Distanzring Stöber Planetengetriebe	Adapter-getriebeservo.pdf
Fertigungszeichnung Adapter 95mm Lochkreis	Adapter_fu_motoren.pdf
Fertigungszeichnung Klemmhülse	Klemmhueelse.pdf