



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Moritz Faber

Methodische Entwicklung und Konstruktion eines Getriebeprüfstandes

*Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und Produktion*

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

Moritz Faber

**Methodische Entwicklung und
Konstruktion eines Getriebeprüfstandes**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Maschinenbau Entwicklung und Konstruktion
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

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

Abgabedatum: 24.02.2016

Zusammenfassung

Moritz Faber

Thema der Bachelorthesis

Methodische Entwicklung und Konstruktion eines Getriebeprüfstandes

Stichworte

Getriebe, Prüfstand, Entwicklung, Konstruktion, Wirkungsgrad

Kurzzusammenfassung

Diese Bachelorthesis behandelt die methodische Entwicklung und Konstruktion eines Getriebeprüfstands für das Labor Maschinenelemente und Tribologie. Mit dem Prüfstand soll es möglich sein den Wirkungsgrad von Stirnradgetrieben in Abhängigkeit von der Drehzahl und der Betriebstemperatur zu ermitteln.

Die Schwerpunkte liegen dabei auf folgenden Punkten

- Situationsanalyse
- Herausarbeiten von Anforderungen
- Konzipieren mehrerer Varianten
- Konkretisieren und Auswählen
- Entwerfen und Auslegen der mechanischen Komponenten mit CAD
- Erstellen der technischen Dokumentation

Moritz Faber

Title of the paper

Methodical development and design of a transmission test bench

Keywords

gear, transmission, test bench, development, design, efficiency

Abstract

This bachelor thesis deals with the methodical development and construction of a transmission test bench for the laboratory machine elements and tribology. With the test bench it should be possible to determine the efficiency factor of spur gears dependent on the revolution speed and the working temperature.

The main focus is on the following points:

- Situation Analysis
- Elaborate the requirements
- Generate several concepts
- Concretize and select
- Designing and dimension the mechanical component with CAD
- Create the technical documentation

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Formelzeichen	VI
1 Einleitung	1
Aufgabenstellung	2
Zeitplanung (Gantt-Diagramm)	3
Theorie	4
Getriebe	4
Der Entwicklungs- und Konstruktionsablauf	5
Warum Methodik im Entwicklungs- und Konstruktionsablauf?	6
2 Analysen	7
Der aktuelle Laborversuch M5	7
Versuchsbeschreibung	7
Analyse	7
Markt- und Wettbewerbsanalyse	8
Analyseergebnisse	8
Produktanalyse	9
Getriebeprüfstand der Firma Jetschke	9
Getriebeprüfstand der Firma Klotz	10
Getriebeprüfstände der teamtechnik Maschinen und Anlagen	11
Getriebeprüfstand der Hochschule Ingolstadt	13
Motorenprüfstand Magtrol	14
Zusammenfassung der Analyseergebnisse	15
3 Anforderungen	16
Anforderungsquellen	16
Anforderungen aus der Aufgabenstellung	16
Die Aufgabenstellung	16
Analyse	17
Modellerstellung	18
Szenario Technik	20
Durchführung	20
Anforderungen aus Kundengesprächen	23

Zusammenfassung der Kundengespräche	23
Analyse	23
Anforderungen aus Gesetzen, Normen und Richtlinien	25
Arbeiten nach einer Leitlinie mit einer Hauptmerkmalliste.....	29
Perspektivenbasiertes Lesen	30
Welche Erwartungen hat ein Student an eine Laborveranstaltung?	30
Anforderungsliste	31
Prototypenbesprechung.....	34
Durchführung	34
Ergebnisse der Prototypenbesprechung	34
4 Konzipieren.....	35
Abstrahieren.....	36
Black Box	37
Funktionsstruktur	38
Suche nach Lösungen für die Einzelfunktionen.....	38
Konventionelle Methoden.....	38
Intuitive Methode.....	39
Morphologischer Kasten	40
Produktarchitektur	41
5 Auswählen und Konkretisieren einer Variante	42
Auswahlliste	42
Konkretisieren	46
Variante A.....	46
Variante B.....	46
Variante C.....	47
Variante D.....	47
Variante E	48
Variante F	48
Variante G.....	49
Variante H.....	49
Variante I	50
Variante K.....	50
Urteilsschema für die Bewertung nach VDI 2225	51
Bewertung nach VDI 2225.....	52
Auswahl	55

Prüfen	56
6 Entwerfen und Auslegen der mechanischen Komponenten.....	59
Entwurf	59
Wellenberechnung	63
Ausgangswerte:	63
Stoffwerte E295:.....	63
Berechnung	63
Passfederberechnung.....	66
Ausgangswerte:	66
Berechnung:	66
Berechnung der Gasdruckfedern für die Klappe	67
Berechnung der Ersatzmassen	67
Berechnung des Gesamtschwerpunktes der Klappe.....	68
Berechnung Klappenbewegung.....	69
Kräfte und Momente ohne Gasdruckfeder	69
Auslegung der Gasdruckfedern	70
Berechnung der notwendigen Ausschubkraft.....	71
Überprüfung	71
Überprüfung des Entwurfs	72
Fehlerbaumanalyse	75
7 Technische Dokumentation.....	76
8 Zusammenfassung und Ausblick	77
Zusammenfassung.....	77
Ausblick	78
9 Literaturverzeichnis	79
10 Anhang.....	80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Gantt-Diagramm	3
Abbildung 2 Produktplanung, Entwicklung und Konstruktion in Bezug zum Produktleben	6
Abbildung 3 Getriebeprüfstand der Firma Jetschke (aus [17])	9
Abbildung 4 Getriebeprüfstand der Klotz GmbH (aus [18])	10
Abbildung 5 Getriebeentwicklungsprüfstand ES50 (aus [19])	11
Abbildung 6 Baukasten-Getriebeprüfstand (aus [20])	12
Abbildung 7 Schema des Wirkungsgradprüfstands der HS Ingolstadt (aus [21])	13
Abbildung 8 Messdaten HS Ingolstadt (aus [21])	13
Abbildung 9 Motorenprüfstand der Firma Magtrol (aus [22])	14
Abbildung 10 Skizze des Modells	18
Abbildung 11 CAD und Komponenten des Modells	18
Abbildung 12 Das fertige Modell	19
Abbildung 13 Sicherheitsabstände gegen Hindurchreichen durch regelmäßige Öffnungen (aus [5]) .	25
Abbildung 14 Zumutbare Lasten (Hettinger - Tabelle) (aus [5])	27
Abbildung 15 Schalldruckpegel (aus [5])	27
Abbildung 16 Richtmaße für einen Arbeitsplatz (aus [5])	28
Abbildung 17 Black Box Getriebeprüfstand	37
Abbildung 18 Funktionsstruktur	38
Abbildung 19 Mind-Map	39
Abbildung 20 Produktarchitektur nach Pahl/Beiz	41
Abbildung 21 Basisvariante G	57
Abbildung 22 Erweiterte Variante G	58
Abbildung 23 Getriebebock	59
Abbildung 24 Abwärmestrom	59
Abbildung 25 Antriebsmodul	60
Abbildung 26 Getriebemodul	60
Abbildung 27 Zwischenmesswellenmodul	61
Abbildung 28 Bremsmodul	61
Abbildung 29 Modulzusammenstellung	62
Abbildung 30 Gehäusemodul	62
Abbildung 31 Welle Bremse	63
Abbildung 32 Ersatzmassen der Klappe	67
Abbildung 33 Maße der Klappe	68
Abbildung 34 Positionen der Klappe	69
Abbildung 35 Bahn der Gasdruckfeder	70
Abbildung 36 Änderung des Hebelarms der Gasdruckfeder	70
Abbildung 37 Fehlerbaumanalyse	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Zeitplanung	3
Tabelle 2 Hauptmerkmalliste	29
Tabelle 3 aktuelle Anforderungsliste Seite 1.....	31
Tabelle 4 aktuelle Anforderungsliste Seite 2.....	32
Tabelle 5 aktuelle Anforderungsliste Seite 3.....	33
Tabelle 6 Abstraktion	36
Tabelle 7 Morphologischer Kasten.....	40
Tabelle 8 Zuordnung der Varianten	42
Tabelle 9 Auswahlliste Seite 1	43
Tabelle 10 Auswahlliste Seite 2	44
Tabelle 11 Morphologischer Kasten mit Varianten A-K.....	45
Tabelle 12 Urteilsschema	51
Tabelle 13 Bewertungsliste nach VDI 2225 Seite 1	52
Tabelle 14 Bewertungsliste nach VDI 2225 Seite 2	53
Tabelle 15 Bewertungsliste nach VDI 2225 Seite 3	54
Tabelle 16 Überprüfung anhand der Anforderungsliste S1	72
Tabelle 17 Überprüfung anhand der Anforderungsliste S2	73
Tabelle 18 Überprüfung anhand der Anforderungsliste S3	74

Formelzeichen

η	[-]	Wirkungsgrad
P	[W]	Leistung
n	$\left[\frac{1}{min}\right]$	Drehzahl
z	[-]	Zähnezahl
m	[kg]	Masse
F	[N]	Kraft
g	$\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Erdbeschleunigung
l	[mm]	Länge/Hebelarm
b	[mm]	Breite
t	[mm]	Tiefe
M	[Nm]	Drehmoment
ω	$\left[\frac{1}{min}\right]$	Kreisfrequenz
d	[mm]	Durchmesser
R_z	[μm]	Rauheit
K_A	[-]	Anwendungsfaktor
S_{min}	[-]	Sicherheit
σ	$\left[\frac{N}{mm^2}\right]$	Spannung
τ	$\left[\frac{N}{mm^2}\right]$	Schubspannung
W_t	[mm^3]	Widerstandsmoment
K	[-]	(Größen) Einflussfaktor
β	[-]	Kerbwirkungszahl
φ	[-]	Tragfaktor
p	$\left[\frac{N}{mm^2}\right]$	Flächenpressung

1 Einleitung

Bisher gibt es im Labor für Maschinenelemente und Tribologie der HAW Hamburg einen quasi statischen Versuch zum Ermitteln von Wirkungsgraden von Getrieben. Hierzu wird mit Hilfe eines Hebels und eines Gewichtes ein Drehmoment antriebsseitig erzeugt und mit einem Drehmomentschlüssel abtriebsseitig gemessen. Aus den ermittelten Drehmomenten und dem Übersetzungsverhältnis lässt sich ein Wirkungsgrad berechnen. Diese Art der Messung erfolgt jedoch nicht mit der Nennbelastung des jeweiligen Getriebes.

Da sich der Gesamtverlust des Getriebes aus Einzelverlusten an den Verzahnungen, Dichtungen, Lagern, dem Schmierstoff etc. zusammensetzt und diese temperatur- und drehzahlabhängig sind, ist eine Messung in Betrieb notwendig.

Zukünftig soll es möglich sein, den Getriebewirkungsgrad bei unterschiedlichen Drehzahlen und unterschiedlichen Betriebstemperaturen zu ermitteln. Zu diesem Zweck soll ein Getriebeprüfstand entwickelt und konstruiert werden.

Im Rahmen des Labors sollen, mit Hilfe des Getriebeprüfstands, Erkenntnisse der Getriebetechnik veranschaulicht und vertieft werden. Außerdem sollen Projekte der Getriebetechnik durchgeführt werden.



Aufgabenstellung

für die Bachelorthesis

von Herrn Moritz Faber

Matrikel-Nummer: 2076725

Thema:

„Methodische Entwicklung und Konstruktion eines Getriebeprüfstandes“

Motivation:

Ausgehend vom Schema „Motor-Getriebe-Leistungsbremse“ soll ein Getriebeprüfstand entwickelt und konstruiert werden.

Da sich der Gesamtverlust des Getriebes aus einzelnen Reibungsverlusten an den Verzahnungen, Dichtungen, Lagern etc. zusammensetzt und diese temperatur- und drehzahlabhängig sind, ist eine Messung in Betrieb notwendig.

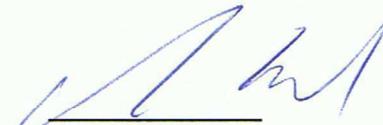
Der bestehende, quasi statische, Versuchsaufbau des Labors Maschinenelemente und Tribologie soll daher durch einen neuen Prüfstand ersetzt werden. Mit diesem sollen der Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Drehzahl und der Betriebstemperatur ermittelt und die Erkenntnisse der Getriebetechnik im Labor veranschaulicht und vertieft werden.

Schwerpunkte:

- Untersuchen des Istzustandes und Analyse von anderen Prüfständen
- Herausarbeiten von Anforderungen Erstellen einer Anforderungsliste
- Methodisches Konzipieren mehrerer Varianten
- Auswählen und Konkretisieren einer Variante und Abschätzen der Kosten
- Entwerfen und Auslegen der mechanischen Komponenten mit CAD
- Erstellen der technischen Dokumentation

17.11.2015

Datum


1. Prüfer/in

Zeitplanung (Gantt-Diagramm)

Arbeitspaket / Aktivität	Beginn	Dauer	Ende
1 Istzustand und Analyse	24.11.15	28	22.12.15
2 Anforderungen und Anforderungsliste	01.12.15	28	29.12.15
3 Prototyp herstellen	01.12.15	21	22.12.15
4 Konzipieren von Varianten	22.12.15	14	05.01.16
5 Auswählen und Konkretisieren	05.01.16	14	19.01.16
6 Entwerfen, Auslegen und CAD	19.01.16	21	09.02.16
7 Technische Dokumentation	12.01.16	28	09.02.16
8 Schriftliche Ausarbeitung	24.11.15	77	09.02.16
9 Druck und Reserve	09.02.16	14	23.02.16

Tabelle 1 Zeitplanung

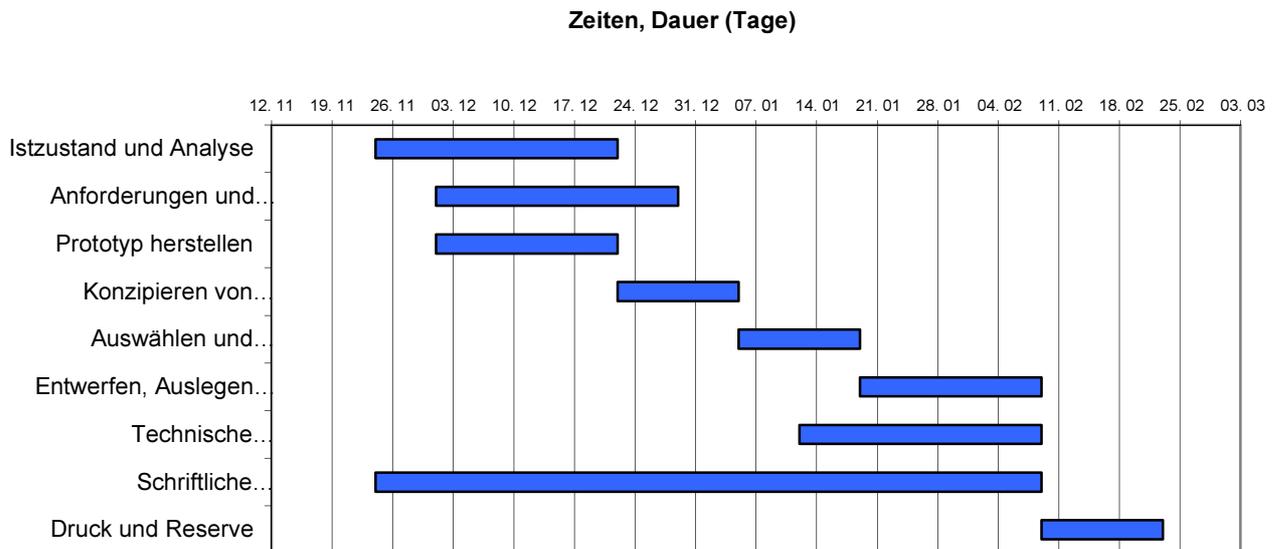


Abbildung 1 Gantt-Diagramm

Theorie

Getriebe

Um Drehzahlen und Drehmomente zu wandeln werden Getriebe eingesetzt. Ein Motordrehmoment wird mit einem Getriebe vergrößert, um z.B. eine Maschine anzutreiben. Eine Drehzahl wird gewandelt, da z.B. Motoren in der Regel nur in einem bestimmten Drehzahlbereich einen hohen Wirkungsgrad aufweisen. Für die unterschiedlichen Anwendungsfälle stehen diverse Getriebetypen zur Auswahl. Für diese Bachelorthesis sind Stirnradgetriebe von besonderer Bedeutung, da für diese Art von Zahnradgetriebe ein Prüfstand entwickelt und konstruiert werden soll.

Das Übersetzungsverhältnis i kann aus den Zähnezahlen z der Zahnradpaarung ermittelt werden. Es gilt:

$$i = \frac{z_1}{z_2}$$

und damit auch:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

Im Idealfall, also unter Vernachlässigung von Reibung, gilt:

$$i = \frac{M_2}{M_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

Reibung lässt sich im Getriebe nicht vermeiden, ist aber von der Verzahnung, dem Werkstoff, dem Schmierstoff etc. abhängig. Wenn die Evolventenverzahnung genau gefertigt ist und eine sehr gute Oberflächengüte hat, ist bei einer Zahnradpaarung ein Wirkungsgrad von bis zu 99% möglich. Dieser sehr gute Wirkungsgrad wird jedoch durch eine Vielzahl von zusätzlichen Verlusten, z.B. in den Lagern und Dichtungen, verschlechtert.

Der Gesamtverlust eines Stirnradgetriebes setzt sich zusammen aus:

- Verzahnungsverlustleistung lastunabhängig
 - Verzahnungsverlustleistung lastabhängig
 - Lagerverlustleistung lastunabhängig
 - Lagerverlustleistung lastabhängig
 - Dichtungsverlustleistung
 - Sonstige Verlustleistung
- $\left\{ \begin{array}{l} \text{Planschverlust} \\ \text{Quetschverlust} \\ \text{Ventilation} \\ \text{Ölbeschleunigung} \end{array} \right.$

Der Entwicklungs- und Konstruktionsablauf

Die VDI 2221 unterteilt den Konstruktionsprozess in vier Phasen:

- Analysieren
- Konzipieren
- Entwerfen
- Ausarbeiten

Diese Phasen werden in dieser Arbeit eingehalten. Zunächst wird die Situation analysiert. Dies umfasst das Untersuchen des Istzustandes sowie die Analyse von weiteren Prüfständen. Anschließend werden Produkthanforderungen anhand der Produktumgebung und der Kundenwünsche herausgearbeitet. Alle Anforderungen werden überarbeitet, präzisiert und in einer Anforderungsliste aufgestellt.

In der Phase des Konzipierens werden die Kernprobleme ermittelt und prinzipielle Lösungen für diese Einzelprobleme erarbeitet. Dies geschieht, indem methodisch nach Wirkprinzipien gesucht wird, diese in unterschiedlichen Variationen zusammengestellt und gegebenenfalls konkretisiert werden. Die entstandenen Konzepte müssen nun bewertet und eine Auswahl getroffen werden. Außerdem sollte eine Absicherung der bisherigen Arbeitsschritte stattfinden.

Mit dem ausgewählten Konzept geht es nun in die Entwurfsphase, in der die Komponenten gestaltet und berechnet werden. Auch während des Gestaltens des endgültigen Entwurfs sollten stetig Prüfungen des Entwurfs stattfinden.

Anschließend beginnt die Ausarbeitung. Dabei werden alle Einzelteile detailliert und festgelegt. Außerdem werden die Dokumentation sowie die technischen Zeichnungen erstellt.

Nach diesen Arbeitsschritten folgen Phasen der Erprobung sowie der Produktion, die in dieser Arbeit nicht betrachtet werden.

Warum Methodik im Entwicklungs- und Konstruktionsablauf?

Planbarkeit

Der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess soll nicht zufällig verlaufen. Unter Anwendung von Methoden soll das Ziel > die beste Lösung < planbar erreicht werden.

Transparenz

Der komplette Prozess soll nachvollziehbar sein. Entscheidungen werden auf Grundlage von Fakten und Ergebnissen der angewendeten Methoden gefällt.

Ganzheitlichkeit

Alle Anforderungen sollen ermittelt, betrachtet und beachtet werden. Es soll ausgeschlossen werden, dass ein wichtiger Aspekt vernachlässigt wird.

Orientierung

Das Produkt muss den Erwartungen des Kunden entsprechen. Die Kundenorientierung kann unter Anwendung von Methoden sichergestellt werden. Außerdem müssen die Erfordernisse vom weiteren Produktumfeld (Markt, Umwelt und der eigenen Stärken bzw. Leistungsfähigkeit) berücksichtigt werden.

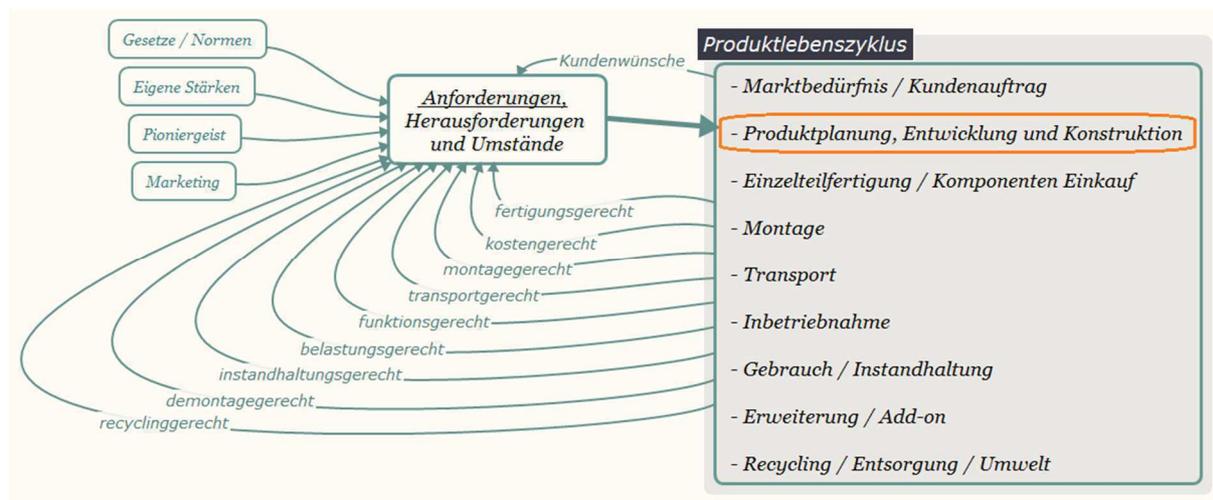


Abbildung 2 Produktplanung, Entwicklung und Konstruktion in Bezug zum Produktleben

Um den Erfolg eines Produktes zu gewährleisten, muss das Produkt allen Phasen im Verlauf des Produktlebens entsprechen und den jeweiligen Herausforderungen gewachsen sein. Aus diesem Grund ist es wichtig, neben der Konstruktion ein weites Feld an angrenzenden Prozessen und Gegebenheiten zu analysieren und zu berücksichtigen.

Der Einsatz von Methoden erleichtert dem Entwickler den Weg zum „richtigen“ Produkt.

2 Analysen

Der aktuelle Laborversuch M5

Versuchsbeschreibung

Im Versuch M5 werden zwei Getriebe analysiert und jeweils der Wirkungsgrad ermittelt. Ein Getriebe mit einer Stirnradstufe und einer Kegelradstufe und ein Getriebe mit zwei Stirnradstufen stehen zur Verfügung. Beide Getriebe sind als Schnittmodell ausgeführt.

Für beide Getriebe sollen die Getriebeart sowie die signifikanten Getriebeparameter wie etwa die Zähnezahlen und das Übersetzungsverhältnis ermittelt werden. Außerdem sollen die Kräfte und die Umfangsgeschwindigkeit im Wälzpunkt ausgerechnet werden, für den Fall, dass es sich im Nennbetrieb befindet. Die Ausführung als Schnittmodell ermöglicht ebenfalls eine Analyse der Fest-Los-Lagerung, der verwendeten Dichtungen sowie der Welle-Nabe-Verbindungen.

Für die Wirkungsgradbestimmung wird mit Hilfe eines Hebels und eines Gewichtes ein Drehmoment antriebsseitig erzeugt und mit einem Drehmomentschlüssel abtriebsseitig gemessen. Aus den ermittelten Drehmomenten und dem Übersetzungsverhältnis lässt sich ein Wirkungsgrad berechnen. Für jedes Getriebe werden jeweils 2 Messreihen mit zwei unterschiedlichen Massen durchgeführt. Abschließend folgt eine Auswertung der Messergebnisse.

Bei dieser quasi statischen Wirkungsgradbestimmung erlangt das zweistufige Stirnradgetriebe einen Wirkungsgrad von etwa 87%. Das Getriebe mit einer Stirnradstufe und einer Kegelradstufe erlangt nur einen Wirkungsgrad von ca. 83%.

Analyse

Die Schnittmodelle geben einen guten Einblick in das Innere der Getriebe und verdeutlichen sehr gut wie Getriebe aufgebaut sein können. Sehr positiv ist auch, dass man per Hand an den Wellenenden drehen und die Drehmoment- und Drehzahlwandlung spüren kann. Ebenfalls ist gut zu spüren, dass das Getriebe eine Drehung am Handrad „bremst“, somit also Verluste im Getriebe auftreten.

Aufgrund der geringen Komplexität des Versuchsaufbaus ist dieser sehr robust und wenig fehleranfällig. Zur Versuchsdurchführung wird nur wenig Einweisung benötigt, außerdem besteht lediglich ein sehr geringes Verletzungsrisiko.

Anschaulich werden die elementaren Effekte wie etwa das Übersetzungsverhältnis verdeutlicht. Leider wirkt der Aufbau etwas behelfsmäßig und hinterlässt zwischen den anderen hochmodernen Prüfständen einen etwas unpassenden Eindruck.

Wichtiger ist jedoch, dass die Ergebnisse der Wirkungsgradmessung fehlerbehaftet sind. Die Messergebnisse stammen nur aus einer quasi statischen Messung. Dadurch werden die drehzahlabhängigen Verluste in den Ergebnissen nicht richtig abgebildet. Des Weiteren ist zu erwarten, dass der Wirkungsgrad temperaturabhängig ist. Speziell die Viskosität vom Getriebeöl ändert sich dadurch. Auf Grund der Ausführung als Schnittmodell ist jedoch kein Öl im Getriebe eingefüllt. Dies dürfte die Reibung z.B. an den Zahnflanken stark beeinflussen.

Markt- und Wettbewerbsanalyse

Zu Beginn der Produktentwicklung stehen eine Analyse des Marktes sowie der Wettbewerber an. Es muss geprüft werden, ob es einen „Platz“ am Markt für die neue Produktidee gibt und ob eine Investition in eine Entwicklung erfolgsversprechend ist.

Analysiert werden muss:

Welche Kunden kommen für das neue Produkt in Frage?

Welche Rahmenbedingungen gibt es? (Zum Beispiel Gesetze, Trends und neue Technologien)

Welche Rohstoffe und Vorerzeugnisse stehen zur Verfügung und wie können sie beschafft werden?

Auf welchem Wege kann ich mein Produkt vertreiben?

Welche Wettbewerber bieten konkurrierende Produkte an?

Des Weiteren muss eine Produktanalyse durchgeführt werden.

Für die Informationsbeschaffung bieten sich Veröffentlichungen der Wettbewerber, Messen, Marktforschungsinstitute, Fachzeitschriften sowie eine gründliche Internetrecherche an.

Analyseergebnisse

Bei dieser Entwicklungsaufgabe handelt es sich um eine kundenspezifische Einzelentwicklung. Der Auftraggeber/Kunde steht somit fest. Geplant ist lediglich ein Aufbau.

Im Bereich der Leistungselektronik, in den auch Frequenzumrichter fallen, gibt es einen starken Preisverfall speziell bei „Einstiegsmodellen“. Dies führt dazu, dass diese Technik inzwischen weit verbreitet ist. Des Weiteren gibt es einen Trend in Richtung Digitalisierung. Zu den Anforderungen aus Normen und Gesetzen wird zu einem späteren Zeitpunkt eine ausführliche Analyse durchgeführt.

Für den Bereich Maschinenbau gibt es einen sehr umfangreichen Markt für Rohstoffe, Halbzeuge und Vorerzeugnisse. Auf Grund der hohen Komplexität und der kleinen Stückzahl bietet sich weitgehend ein Zukauf von Komponenten an.

Am Markt gibt es einige Anbieter für Getriebeprüfstände, jedoch weitgehend für KFZ-Getriebe, die eine deutlich größere und komplexere Bauform haben als einfache Stirnradgetriebe. Auch Motorenprüfstände sollten in Betracht gezogen werden, da diese eine ähnliche Funktion erfüllen.

Produktanalyse

Folgend werden einige bestehende Prüfstände vorgestellt. Diese liefern Lösungsansätze für die Bereiche Antrieb, Abtrieb, Getriebemontage, Steuerung und Messung.

Getriebeprüfstand der Firma Jetschke

Die JETSCHKE Industriefahrzeuge (GmbH & Co.) KG besitzt einen Getriebeprüfstand, bei dem es sich um eine Eigenkonstruktion und Eigenfertigung handelt.



Abbildung 3 Getriebeprüfstand der Firma Jetschke (aus [17])

Verwendung:

Es handelt sich um einen Universalgetriebeprüfstand, der hauptsächlich zum Prüfen und Einstellen von Kompakt-Hydrostaten aus der Landmaschinentechnik verwendet wird.

Antrieb:

Ein Elektromotor (22kW) treibt eine Hydraulikpumpe an. Unterstützt durch hydraulische Energierückgewinnung wird ein Hydraulikmotor betrieben, der Drehzahl und Drehmoment für das Prüfgetriebe bereitstellt.

Abtrieb:

Das Prüfgetriebe wird abtriebsseitig mit einem verstellbaren Bremsmotor belastet. Die anfallende Bremsenergie wird antriebsseitig hydraulisch eingespeist und erhöht die Antriebsleistung.

Steuerung und Messung

Keine Angabe

Mechanischer Aufbau

Das Prüfgetriebe wird an Aggregatträgern befestigt, die wiederum an einer mit T-Nuten versehenen Arbeitsfläche verschraubt werden.

An- und Abtrieb wird jeweils mit Hilfe von Wellen mit Kardangelenken realisiert. Die Verbindung zum Prüfgetriebe stellt jeweils eine Flanschkupplung her.

Eine große vollflächige Klappe aus Kunststoff mit einem Metallrahmen als Verstärkung verschließt die Anlage während des Betriebs und schützt den Bediener.

Getriebeprüfstand der Firma Klotz

Die Klotz GmbH, ein Sondermaschinenbauer und Engineering-Dienstleister, betreibt unter anderem einen Getriebeprüfstand für Automatikgetriebe.



Abbildung 4 Getriebeprüfstand der Klotz GmbH (aus [18])

Verwendung

Mit dem Prüfstand wird in erster Linie die Regelcharakteristik von KFZ-Automatikgetrieben mit hydraulischer und elektronischer Regelung geprüft. Aber auch die Prüfung von Sondergetrieben ist möglich.

Antrieb

Ein sekundär geregelter Hydraulik-Antrieb und ein Kettengetriebe liefern die Antriebsleistung für das Prüfgetriebe. Ein besonderer Vorteil ist die geringe Massenträgheit dieser Konstruktion.

Abtrieb

Auch im Abtrieb sind ein Kettengetriebe und eine Hydraulikkomponente verbaut. Es können bis zu 360Nm Drehmoment gefahren werden.

Steuerung und Messung

Der Prüfstand erlaubt vier verschiedene Betriebsarten:

- Handbetrieb
- Automatikbetrieb statisch
- Automatikbetrieb dynamisch
- Fahrsimulation

In den Betriebsarten können die Drehzahl und das Drehmoment antriebsseitig sowie abtriebsseitig eingestellt bzw. geregelt werden. Außerdem ist es möglich, die Umgebungstemperatur des Getriebes zwischen -40°C und +50°C zu regeln.

Zum Bestimmen des Antriebsmomentes wird eine Drehmoment-Messwelle vom Typ T 32 der Firma HBM eingesetzt.

Mechanischer Aufbau

Eine mit T-Nuten versehene Grundplatte, die auf einen Stahlrohrrahmen montiert ist, bildet die Grundlage der Anlage. Mittig auf der Grundplatte befindet sich eine Klimakammer, in der die Prüfgetriebe eingesetzt werden. Um die Massenträgheit im Antrieb möglichst gering zu halten wird auf eine massive Antriebswelle verzichtet und stattdessen auf ein Rohr aus Kohlefaser verstärktem Kunststoff zurückgegriffen.

Die Antriebs-, Abtriebs- und Messeinheiten befinden sich rechts und links außerhalb der Klimakammer. Außerdem existiert dort eine Not-Stopp-Einrichtung.

Um auch Getriebe mit einem Wellenversatz problemlos prüfen zu können, ist es möglich, die komplette Abtriebseinheit in der Höhe sowie quer zur Achsrichtung zu verstellen. Aus diesem Grund ist die Abtriebseinheit auf einem Hubtisch mit Querschlitzen montiert.

Getriebeprüfstände der teamtechnik Maschinen und Anlagen

teamtechnik Maschinen und Anlagen GmbH ist ein Unternehmen aus den Bereichen Produktionstechnologie, Montage- und Funktionsprüfanlagen. Unter anderem bietet die Produktpalette zwei Getriebeprüfstände. Den Getriebeentwicklungsprüfstand ES50 und einen Baukasten-Getriebeprüfstand auf Basis der COMPACT DRIVE Maschinenplattform.

Getriebeentwicklungsprüfstand ES50

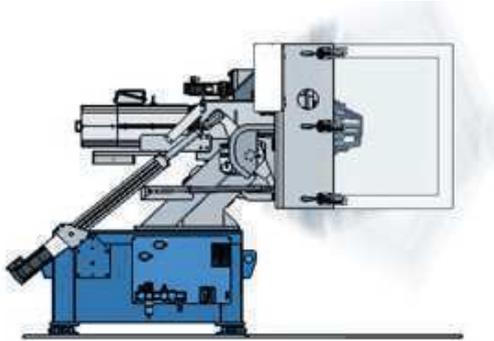


Abbildung 5 Getriebeentwicklungsprüfstand ES50 (aus[19])

Verwendung

Der Getriebeentwicklungsprüfstand ES50 ist auf das Prüfen des Schmierstoffverhaltens im Prüfgetriebe spezialisiert. Dieser Prüfstand verfügt über eine Vielzahl von Sensoren, die unter anderem Drehzahlen, Drehmomente, Temperaturen, Drücke, Kräfte, Wege und die Neigung des Prüfgetriebes aufnehmen können. Neben Getrieben können auch Kupplungen und Getriebeölpumpen geprüft werden.

Antrieb

Der Antrieb erfolgt über einen hochdynamischen Elektromotor mit Drehzahlen bis 10000 1/min (wahlweise 15000 1/min).

Abtrieb

0,01 Nm bis 100 Nm – keine Angabe zur verwendeten Technik

Steuerung und Messung

Die Steuerung des Prüfstandes sowie die Verwaltung der Sensoren sind mit einer SPS realisiert. Die Ausgabe der Werte erfolgt analog oder über Feldbus-Kommunikation (Profi-Bus oder CAN-Bus).

Zur Verfügung stehen neben Drehzahlen und Drehmomenten folgende Sensoren:

- 3 x Temperatur Motorlager
- 2 x Temperatur Spindellager im Antriebsstrang
- 8 x Temperatur; Bereich -50 °C bis +200 °C; analog
- 8 x Druck; Bereich 0 bis 30 bar; analog
- 4 x Kraft; Bereich ± 200 N; analog
- 4 x Weg; Bereich ± 50 mm; analog
- 4 x Spannungsausgang; Bereich -10 V bis +10 V
- 1 x Neigung $\pm 45^\circ$

Mechanischer Aufbau

Oberhalb des Maschinenfußes ist ein Linearantrieb montiert, der den kompletten Prüfstand neigen kann. Eine Klimakammer kann installiert werden. Sie ermöglicht Temperaturen zwischen -40°C und +140°C.

Für jeden zu prüfenden Getriebetyp muss eine spezielle Adapterplatte hergestellt werden, um das Getriebe am Prüfstand zu montieren.

Baukasten-Getriebeprüfstand auf Basis der COMPACT DRIVE Maschinenplattform



Abbildung 6 Baukasten-Getriebeprüfstand (aus [20])

Verwendung

Das Baukastenprinzip ermöglicht unterschiedlichste Getriebetypen und Getriebevarianten in einem System zu prüfen. Darüber hinaus kann die manuelle Bestückung durch eine vollautomatische Highspeed-Serienprüfung ersetzt werden.

Antrieb

Max. 300Nm / max. 7000 1/min / aber maximal 148kW –keine Angabe zur verwendeten Technik

Abtrieb

Max. 1600Nm / max. 2300 1/min / aber maximal 63kW –keine Angabe zur verwendeten Technik

Steuerung und Messung

Die Prüfstandsteuerung basiert auf LabVIEW (eine Entwicklungsumgebung von National Instruments für Computer). Der Getriebeprüfumfang umfasst Funktionsprüfung und Kalibrierung, Geräuschprüfung, Prüfolmanagement sowie für Schaltgetriebe die Überwachung der Steuergerätekommunikation.

Mechanischer Aufbau

Das Baukastenprinzip ermöglicht es, standardisierte Komponenten sehr flexibel und vielseitig einzusetzen. Standardmäßig besteht ein Prüfstand aus einer Antriebseinheit, einer Abtriebseinheit, einem Steuermodul sowie einem auf Kundenwünsche und Prüfgetriebe angepassten Zentralkörper. Die Standardausführung ist 6,5m lang und 1,5m breit. Geworben wird mit einer technischen Verfügbarkeit von 95% und einem Geräuschpegel unter 70dB.

Getriebeprüfstand der Hochschule Ingolstadt

Die Technische Hochschule Ingolstadt betreibt ein Labor für Antriebstechnik und Tribologie. In dem Labor dient ein Prüfstand nach folgendem Schema der Ermittlung von Getriebewirkungsgraden.

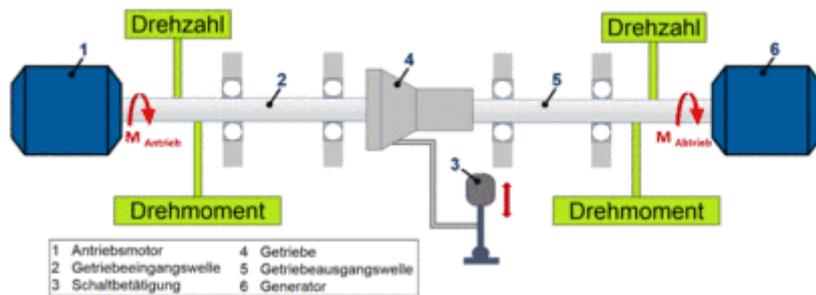


Abbildung 7 Schema des Wirkungsgradprüfstands der HSIngolstadt (aus [21])

Verwendung:

Der Wirkungsgradprüfstand dient dazu neben dem Wirkungsgrad auch den Körperschall und den Luftschall von Getrieben zu ermitteln. Zum Einsatz kommen Industriegetriebe, aber auch KFZ-Getriebe.

Antrieb:

Der Antrieb erfolgt über einen Elektromotor.

Abtrieb:

Ein Generator ist am Abtrieb des Getriebes angeschlossen.

Mechanischer Aufbau

Keine Angaben.

Steuerung und Messung

Im An- und Abtrieb sind Drehmomentsensoren integriert. Der Wirkungsgrad wird über die Leistungsdifferenz berechnet. Folgende Messergebnisse sind auf der Webseite der Hochschule veröffentlicht:

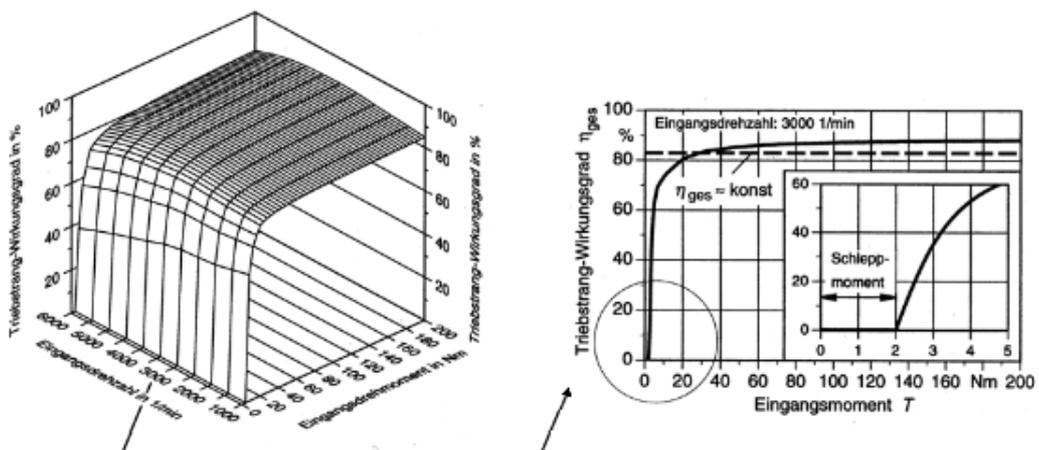


Abbildung 8 Messdaten HS Ingolstadt (aus [21])

Motorenprüfstand Magtrol

Magtrol ist ein Anbieter für Motorprüfstände und Prüfstandzubehör, wie etwa Kraftaufnehmer, Drehmomentaufnehmer, Leistungsbremsen etc.



Abbildung 9 Motorenprüfstand der Firma Magtrol (aus[22])

Verwendung:

Dieser Prüfstand ist spezialisiert auf das Prüfen von Pumpenmotoren.

Abtrieb:

Dieser Prüfstand verfügt über eine Hysteresebremse vom Typ HD 705 mit einer Bremsleistung von 935W und einem maximalen Drehmoment von 3,1Nm.

Steuerung und Messung

In die Hysteresebremse ist ein Drehmomentaufnehmer integriert. Gesteuert wird der Prüfstand über ein Steuergerät.

Mechanischer Aufbau

Eine massive Aluminiumplatte mit Nuten bildet die Basis, auf der ein Bock montiert ist, der die zu prüfenden Motoren aufnimmt. Getragen wird die Aluminiumplatte von einem Prüftisch aus Aluminiumprofilen, in den auch die Steuer- und Messgeräte integriert sind.

Zusammenfassung der Analyseergebnisse

Es zeigt sich, dass auf dem Markt kein Produkt verfügbar ist, welches die geforderten Aufgaben und Funktionen erfüllen kann und in den Rahmen des Labors für Maschinenelemente und Tribologie passt.

Die Analyse der einzelnen Prüfstände ergibt einige Lösungsprinzipien des Antriebs, des Abtriebs sowie des Aufbaus. So gibt es beispielsweise elektrische Antriebe, hydraulische Systeme und Prüfstände mit Energierückgewinnung. Auch weitere Funktionen, wie etwa Temperaturerfassung und Klimatisierung, sind realisiert.

3 Anforderungen

Anforderungsquellen

Um die Anforderungen zu finden, die für den Entwicklungs- und Konstruktionsprozess essenziell sind, werden im Folgenden

- Die Aufgabenstellung
- Modellbeobachtung
- Szenario Technik
- Kundengespräche
- Gesetze, Normen und Richtlinien
- Prototypenbesprechung
- Der bisherige Versuchsaufbau
- ...

analysiert und nach Anforderungen durchleuchtet.

Um Fehler und nachträgliche Änderungen im Entwicklungsprozess zu vermeiden ist es wichtig, sehr sorgfältig die notwendigen Anforderungen herauszuarbeiten. Von besonderer Wichtigkeit sind die gestaltbestimmenden Anforderungen, da diese den größten Einfluss auf das grundlegende Konzept haben.

Anforderungen aus der Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung

Methodische Entwicklung und Konstruktion eines Getriebeprüfstands

Ausgehend vom Schema „Motor-Getriebe-Leistungsbremse“ soll ein Getriebeprüfstand entwickelt und konstruiert werden.

Da sich der Gesamtverlust des Getriebes aus einzelnen Reibungsverlusten an den Verzahnungen, Dichtungen, Lagern etc. zusammensetzt und diese temperatur- und drehzahlabhängig sind, ist eine Messung in Betrieb notwendig.

Der bestehende, quasi statische Versuchsaufbau des Labors Maschinenelemente und Tribologie soll daher durch einen neuen Prüfstand ersetzt werden. Mit diesem neuen Prüfstand sollen der Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Drehzahl und der Betriebstemperatur ermittelt und die Erkenntnisse der Getriebetechnik im Labor veranschaulicht und vertieft werden.

Schwerpunkte:

- Untersuchen des Istzustandes und Analyse von anderen Prüfständen
- Herausarbeiten von Anforderungen und Erstellen einer Anforderungsliste
- Methodisches Konzipieren mehrerer Varianten
- Auswählen und Konkretisieren einer Variante und Abschätzen der Kosten
- Entwerfen und Auslegen der mechanischen Komponenten mit CAD
- Erstellen der technischen Dokumentation

Analyse

Die Aufgabenstellung gibt das Ausgangsschema des Getriebeprüfstands vor.

- „Motor-Getriebe-Leistungsbremse“

Der Getriebewirkungsgrad soll abhängig von der Drehzahl und der Betriebstemperatur ermittelt werden. Die daraus erlangten Erkenntnisse der Getriebetechnik sollen im Labor veranschaulicht und vertieft werden.

- Variable Größen:
 - Drehzahl
 - Temperatur
- Die Anschaulichkeit des Versuches ist sehr wichtig

In der Aufgabenstellung sind einige Rahmenbedingungen gegeben:

- Zu erstellende technische Dokumentation der ausgewählten Variante:
 - Technische Zeichnungen
 - Stückliste
- Abgabetermin:
 - 24.02.2016

Modellerstellung

Ziel ist es, ein Modell eines Getriebepfstands herzustellen, an dem Anforderungen für das spätere Produkt aufgezeigt werden. Außerdem dient das Modell dazu, die Aufgabe zu verdeutlichen.

Nachdem die Anforderungsliste erstellt ist, wird das Modell nochmals verwendet um die gefundenen Anforderungen abzusichern. Dies geschieht mit Hilfe einer Prototypenbesprechung.

Das Modell soll einen modularen Aufbau haben, der in das Schema Motor-Getriebe-Leistungsbremse passt. Um die Anschaulichkeit zu erhöhen ist es wünschenswert, möglichst viele Funktionen des späteren Produktes abzubilden. Aus diesem Grund wird ein Funktionsmodell gewählt. Der minimale Kostenrahmen begrenzt die Möglichkeiten jedoch sehr und es muss auf günstige Komponenten zurückgegriffen werden.

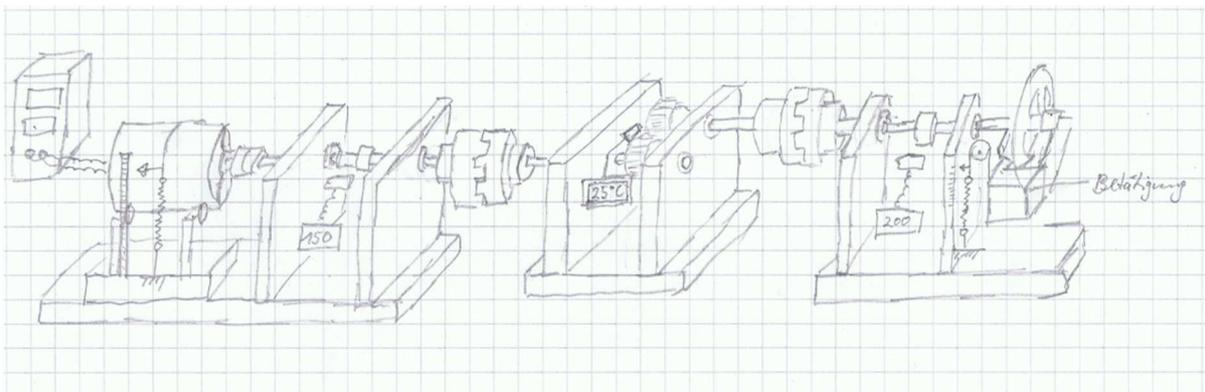


Abbildung 10 Skizze des Modells

Die Skizze zeigt den modularen Aufbau des Modells. Der Antrieb ist mit einem Elektromotor realisiert. Versorgt wird der Motor über ein Labornetzteil mit einer weitgehend ungefährlichen Kleinspannung. Das Antriebsdrehmoment wird über die Lagerreaktionen des Motors ermittelt. Für die Drehzahlmittlung wird ein unprogrammierter Fahrradtacho verwendet.

Um auch im Modell eine Austauschbarkeit des Prüfgetriebes zu gewährleisten, wird die Getriebeeinheit über Klauenkupplungen an die Antriebs- und Abtriebseinheit angeschlossen.

Die Module Antrieb, Getriebe und Abtrieb befinden sich auf einem Trägermodul aus Aluminiumprofilen. Mit Hilfe von Schrauben, die in die Nuten der Aluminiumprofile greifen, sind die Module verbunden.

Das Messen der Getriebetemperatur ist mit einem elektronischen Thermometer angedeutet.

Das Bremsmoment wird mit Hilfe einer Scheibenbremse für Fahrräder generiert, welches über eine Stellschraube verändert werden kann. Auch in der Abtriebseinheit kann



Abbildung 11 CAD und Komponenten des Modells

die Drehzahl mit Hilfe eines Tachos abgelesen und das Drehmoment über die Lagerreaktionen bestimmt werden.

Nach der Erstellung eines CAD-Modells und der Beschaffung der notwendigen Komponenten konnte die Fertigung, Programmierung, Montage und Funktionsprüfung durchgeführt werden.



Abbildung 12 Das fertige Modell

Ein genauer Wirkungsgrad für die Getriebeeinheit kann mit diesem Modell aufgrund der ungenauen Drehmomentmessung zwar nicht ermittelt werden, jedoch zeigt sich an der Bremse annähernd eine Verdopplung des Drehmomentes aufgrund des Getriebes mit $i=2$. Außerdem zeigt dieses Modell mit ca. 50W Antriebsleistung und Drehzahlen bis $1000 \frac{1}{min}$ durchaus typisches Verhalten wie z.B. ein Schleppmoment sowie eine Erwärmung des Getriebes und der Wälzlager.

Szenario Technik

Es wird ein Szenario erstellt, welches alle Bereiche des Produktlebens widerspiegelt. Dies dient dazu, nicht offensichtliche Produkthanforderungen sowie implizite Kundenwünsche zu finden.

Detailliert wird jeder einzelne Abschnitt des Produktlebens beleuchtet und entsprechende Assoziationen hervorgerufen. Ein besonderes Augenmerk liegt auf Fragen wie:

Womit und mit wem kommt das Produkt in Kontakt?

Was wird mit dem Produkt gemacht?

In welchem Zustand kann das Produkt geraten?

Das Szenario sollte neben den positiven Szenarioelementen (gewünschtes Produktleben) auch negative Szenarioelemente beinhalten, da diese Fehlverhalten und Sicherheitsaspekte hervorheben.

Durchführung

Die einzelnen Schritte des Produktlebens sollen nun betrachtet werden. Zum einen bezogen auf gewollte Funktionen zum anderen auf Restriktionen. Ebenso sollen Sicherheitsaspekte beleuchtet werden.

Beschaffung des Prüfstands

Die Materialbeschaffung sollte möglichst einfach, mit möglichst kurzen Lieferzeiten und mit geringen Kosten verbunden sein.

Für die Einzelteilfertigung sind ein geringer Fertigungsaufwand und geringe Fertigungskosten wünschenswert. Einige Fertigungsschritte können in der HAW-eigenen Werkstatt realisiert werden, jedoch nur mit den dort üblichen Fertigungsverfahren.

Die Konstruktion sollte die Montage erleichtern. Die Montagekosten können niedrig gehalten werden, wenn die Montage durch Mitarbeiter oder Studenten der Hochschule erledigt werden kann.

Für den Transport des Prüfstands muss beachtet werden, dass sich das Labor im ersten Stock befindet. Erreichbar ist das Labor über eine Treppe oder über Aufzüge. Die Transportmaße des Prüfstands oder der Komponenten dürfen die Aufzugmaße und die Maße der Türen nicht überschreiten. Die Masse der Anlage oder der Baugruppen sollte noch zu bewältigen sein, gegebenenfalls ist ein Transportgerät (Sackkarre/Wagen/Hubwagen) notwendig.

Die Inbetriebnahme soll schnell und einfach und möglichst unkompliziert sein.

Bedienung

Folgende Funktionen sind für die Bedienung des Prüfstands wichtig und sollten weitgehend selbsterklärend, unkompliziert und zuverlässig sein:

- Eingabe der Parameter
- Starten des Prüfstands
- Aufnehmen der Messwerte
- Ändern der Parameter

Stoppen des Prüfstands
Getriebewechsel
Bedienung und Maschinenverhalten im Notfall

Versuchsdurchführung

Ein Versuchsdurchlauf soll innerhalb von 90 Minuten bearbeitet werden. In dieser Zeit müssen folgende Schritte erledigt werden:

Versuchsvorbereitung

Besprechung des Versuches
Einweisung in den Prüfstand mit Bedienungs- und Sicherheitshinweisen
Einarbeitungsphase in den Prüfstand und die Aufgabe
Aufrüsten des Prüfstands

Versuchsdurchführung

Eingabe / Einstellen der Sollwerte (mehrfach)
Zeiten zum Erreichen des gewünschten Betriebszustands, z.B Heizzeiten (mehrfach)
Ausgabe der Messwerte (mehrfach)
Dokumentation / Mitschrift

Versuchsnachbereitung

Abrüsten des Prüfstands und Herstellen des Ursprungszustands
Besprechung der Versuchsergebnisse

Der Fokus während des Laborversuches liegt auf der Vertiefung und Verdeutlichung. Die Thematik soll greifbar werden!

Sicherheit

Unfälle müssen vermieden werden! Auch bei Bedienungsfehlern darf von dem Prüfstand keine Gefahr ausgehen. Naheliegender Missbrauch muss erheblich erschwert und speziell dem Umgehen von Sicherheitseinrichtungen muss entgegengewirkt werden.

Die Arbeitssicherheit darf nicht durch Emissionen – Schall / Öl / Elektromagnetische Felder etc. – eingeschränkt werden. Auch eine angenehme und ergonomische Arbeitsposition ist wichtig.

Betrieb

Eine hohe Zuverlässigkeit und Robustheit des Prüfstands ist wünschenswert, da ein Ausfall der Anlage Konsequenzen für den planmäßigen Lehrbetrieb hätte. Selbstverständlich wird auch eine hohe Lebensdauer erwartet.

Die Instandhaltung sollte möglichst wenig Arbeitsaufwand erfordern und die Betriebskosten sollten minimal sein. Der Energiebedarf sollte aus Umweltgründen sowie der Energiekosten gering sein.

Erweiterung des Prüfstands

Ein modularer Aufbau erleichtert es, den Prüfstand in der Zukunft erweitern zu können und gegebenenfalls weiter auszubauen.

Entsorgung

Die Konstruktion sollte so ausgeführt sein, dass das Recycling erleichtert wird. Unter Umständen können einzelne Komponenten nach ihrer Nutzung am Getriebeprüfstand auch für andere Versuchsaufbauten verwendet werden.

Es ergeben sich aus dem Szenario folgende Anforderungen:

- Geringe Materialkosten
- Kurze Lieferzeiten
- Geringer Fertigungsaufwand
- Montagegerechte Konstruktion
- Möglichst selbsterklärende Bedienung
- Drehzahl einstellbar
- Drehmoment einstellbar
- Ablesen der Messwerte am Messgerät oder Verarbeitung am PC
- Austauschbarkeit der Prüfgetriebe
- Kurze Rüstzeiten
- Kurze Heizzeiten
- Sehr geringes Verletzungsrisiko
- Naheliegenden Missbrauch verhindern
- Umgehen von Sicherheitseinrichtungen erschweren
- Gute Anschaulichkeit eines Versuches
- Geringer Geräuschpegel
- Gute elektromagnetische Verträglichkeit
- Ergonomische Arbeitsposition
- Hohe Zuverlässigkeit
- Hohe Robustheit
- Hohe Lebensdauer
- Geringer Instandhaltungsaufwand
- Hohe Energieeffizienz
- Modularer Prüfstands Aufbau
- Recyclinggerechte Konstruktion

Anforderungen aus Kundengesprächen

Zusammenfassung der Kundengespräche

Der Getriebeprüfstand soll im Labor Maschinenelemente und Tribologie der HAW Hamburg betrieben werden (F122). Vorläufig wurde ein stationärer Aufbau auf einem Labortisch, alternativ ein stationärer Aufbau ohne Labortisch, oder eine mobile Bauform, z.B. auf Rollen, angestrebt. In einem weiteren Gespräch erfolgte eine Festlegung auf eine stationäre Bauform ohne Labortisch an dem Standort des jetzigen Versuches M5.

Auf dem Prüfstand sollen kleine maschinenbautypische Beispielgetriebe verwendet werden, die jedoch nicht zwangsläufig bis zur Nennleistung belastet werden müssen.

Ein Laborversuch soll in einer Laboreinheit von 90 Minuten von Studenten durchgeführt werden. Dabei ist kein Getriebewechsel notwendig. Der Getriebewechsel soll vom Laborpersonal durchgeführt werden.

Der Wirkungsgrad des Prüfgetriebes (Stirnradgetriebe ohne Wellenversatz) soll in Abhängigkeit der Drehzahl und der Temperatur messbar sein. In erster Linie soll durch die Messungen das charakteristische Verhalten von Getrieben verdeutlicht werden. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Anschaulichkeit des Versuches, die tatsächlichen Messwerte sind von untergeordneter Priorität.

Eine Spannungsversorgung mit 230V oder 400V steht zur Verfügung. Wünschenswert ist der Verzicht auf zusätzliche Versorgung wie etwa Druckluft.

Als Lösungsvorschlag zur Temperierung des Prüfgetriebes wird die Erwärmung des Prüfgetriebes durch Betrieb nahegelegt.

Die entstehenden Kosten müssen verantwortungsvoll im Rahmen gehalten werden.

Analyse

Aus den Kundengesprächen ergeben sich folgende Bedingungen, Anforderungen und Wünsche:

Der Prüfstand steht in einem Labor (trocken, sauber und mit günstigen klimatischen Bedingungen). Der Raum ist recht groß und bietet ausreichend Luftraum für Abwärme.

In dem Labor arbeiten noch weitere Personen und im Raum nebenan befindet sich ein Büro. Geringe Schallemissionen sind somit wünschenswert.

Das Labor befindet sich im ersten Stock, kann aber z.B. für Transportzwecke über Aufzüge erreicht werden.

Die folgenden Maße dürfen nicht überschritten werden:

- Breite < 2500 mm
- Höhe < 2200 mm
- Tiefe < 1000 mm

Gewünscht ist eine geringe Masse des Prüfstands. Ideal wäre eine Gesamtmasse unter 200kg.

Die Auswahl der Prüfgetriebe und die technischen Merkmale des Prüfstands sind sehr stark voneinander abhängig!

- Drehzahlbereiche
 - Antrieb $10 - 1000 \frac{1}{min}$
 - Abtrieb $100 - 500 \frac{1}{min}$
- Drehmomentbereiche
 - Antrieb Wunsch 0 - 100 Nm
 - Abtrieb Wunsch 0 - 100 Nm
- Antriebsleistung Wunsch 0 - 3000 W
- Temperaturbereich des Prüfgetriebes lag erst bei 20 bis 40°C wurde aber bei der Prototypenbesprechung auf 20 bis 80°C erhöht (Wunsch)
- Beschränkung auf Stirnradgetriebe
- Benötigter Bauraum für Prüfgetriebe und Anschlussmaße
 - Bauraumbreite < 350 mm
 - Bauraumhöhe < 250 mm
 - Bauraumtiefe < 200 mm
 - Anschlussmaße Wellen bis 150 mm Höhe

Ein Versuchsdurchlauf soll innerhalb von 90 Minuten bearbeitet werden. Es ergeben sich daraus folgende Anforderungen um den Zeitrahmen einzuhalten:

- Möglichst selbst erklärende Bedienung die wenig Einweisung erforderlich macht
- Kurze Rüstzeiten
- Kurze Heizzeiten

Außerdem werden aufgrund des Lehrbetriebs besondere Ansprüche an die Sicherheit der Anlage gestellt.

- Sehr geringes Verletzungsrisiko

Während des Laborversuches soll die Thematik greifbar und somit vertieft und verdeutlicht werden.

- Die Anschaulichkeit ist sehr wichtig

Anforderungen aus Gesetzen, Normen und Richtlinien

Die BGI 523 der Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften erläutert eine Vielzahl von Arbeitsschutzbestimmungen. Für dieses Projekt erachte ich folgende Aspekte als besonders wichtig:

Gefahrstellen und Gefahrquellen müssen vermieden oder abgesichert werden.

Gefahrstellen sind im Einzelnen:

- Quetschstellen z. B. Spannvorrichtungen
- Scherstellen z. B. Kabelschere
- Schneidstellen z. B. Messer
- Stichstellen z. B. spitze Gegenstände
- Stoßstellen z. B. sich bewegende Lasten
- Fangstellen z. B. umlaufende Wellen mit vorstehenden Teilen
- Einzugsstellen z. B. gegeneinander laufende Zahnräder

Gefahrquellen sind Stellen an denen Werkzeuge, Werkstücke oder Abfälle durch unkontrolliertes Herabfallen, Umherschlagen oder Wegfliegen Verletzungen hervorrufen können.

Schutzeinrichtungen müssen installiert werden, wenn eine Gefährdung durch Begrenzung der Energie oder sicherheitsgerechte Konstruktion nicht ausgeschlossen werden kann.

Befinden sich im Gehäuse Öffnungen muss ein entsprechender Sicherheitsabstand zwischen der Öffnung und einer Gefahrstelle eingehalten werden.

Körperteil	Bild	Öffnung ²⁾	Sicherheitsabstand s_r		
			Schlitz	Quadrat	Kreis
Fingerspitze		$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2
		$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5
Finger bis Fingerwurzel oder Hand		$6 < e \leq 8$	≥ 20	≥ 15	≥ 5
		$8 < e \leq 10$	≥ 80	≥ 25	≥ 20
		$10 < e \leq 12$	≥ 100	≥ 80	≥ 80
		$12 < e \leq 20$	≥ 120	≥ 120	≥ 120
		$20 < e \leq 30$	≥ 850 ¹⁾	≥ 120	≥ 120
Arm bis Schultergelenk		$30 < e \leq 40$	≥ 850	≥ 200	≥ 120
		$40 < e \leq 120$	≥ 850	≥ 850	≥ 850

1) Wenn die Länge einer schlitzförmigen Öffnung ≤ 65 mm ist, wirkt der Daumen als Begrenzung, und der Sicherheitsabstand kann auf 200 mm reduziert werden.
 2) Die Abmessungen der Öffnungen e entsprechen der Seite einer quadratischen, dem Durchmesser einer kreisförmigen und der kleinsten Abmessung einer schlitzförmigen Öffnung.
 Für Öffnungen > 120 mm müssen die Sicherheitsabstände gegen Hinüberreichen über schützende Konstruktionen angewendet werden. (Maße in mm)

Abbildung 13 Sicherheitsabstände gegen Hindurchreichen durch regelmäßige Öffnungen (aus [5])

Die Norm EN 1088/12.95 beschreibt trennende Schutzeinrichtungen, wie etwa Schutzgitter, Schutztüren oder Lichtgitter und die damit verbundenen Anforderungen an Zuhaltungen sowie Anhaltezeiten.

- Eine starre Verdeckung bietet in der Regel den besten Schutz gegen Hereingreifen in eine Maschine, sowie gegen herausfliegende Teile, wie etwa Späne. Häufig ist diese Lösung nicht zweckmäßig, da das Arbeiten mit den Händen, wie etwa das Bestücken der Anlage, nicht mehr möglich ist.
- Eine bewegliche Verdeckung wie etwa eine Schutztür oder Schutzklappe ist häufig eine zweckmäßige Lösung, jedoch muss die Stellung der Verdeckung überwacht werden und die Zugriffszeit in den Gefahrenbereich größer sein als die Anhaltezeit der gefährlichen Bewegung.
- Berührungslose Verdeckungen wie etwa Lichtschranken oder Lichtgitter bieten den Vorteil, dass kein zusätzlicher Arbeitsschritt benötigt wird um eine Abdeckung zu bewegen, jedoch sind die Anforderungen an die Anhaltezeit in der Regel sehr hoch.

Die Maschinensicherheitsnorm EN 60204/11.98 ist eine Grundnorm und gilt für Maschinen und elektrische Ausrüstung bis 1000V AC oder 1500V DC. Die Norm soll zur Verringerung von Risiken, zur Sicherheit von Personen und Sachen, zur Einhaltung der Funktionsfähigkeit und zur Erleichterung der Instandhaltung dienen.

Insbesondere:

- Startfunktion durch Erregung des entsprechenden Stromkreises
- Stillsetzen durch Entregung
- Stillsetzen im Notfall
- Maschinenverhalten nach Rücksetzen des Stop-Signals
- Vorsehen von Redundanz
- Verweise auf weiterführende Normen der Elektrotechnik
- Kabelfarben
- Farben für Drucktaster und Signalleuchten

In der DIN EN 563 mit dem Titel „Sicherheit von Maschinen - Temperaturen berührbarer Oberflächen“ sind Richtwerte für zulässige Oberflächentemperaturen gegeben. Unterhalb von 43°C besteht nicht die Gefahr von Verbrennungen. Für Berührungen, die kürzer als 10 Minuten andauern sind sogar Oberflächentemperaturen bis 48°C zulässig. Zu beachten ist, dass die Schmerzempfindung und Reaktion darauf individuell ist.

Abhängig von Alter, Geschlecht und Häufigkeit der Belastung sind entsprechende Grenzwerte bei Hebetätigkeiten einzuhalten. Da im Getriebeprüfstand das Getriebe gewechselt werden soll, müssen Hebetätigkeiten ausgeführt werden. Die zu wechselnde Komponente sollte somit eine Gesamtmasse von 15 kg nicht überschreiten.

Lebensalter	Zumutbare Last in kg			
	Häufigkeit des Hebens und Tragens gelegentlich		häufiger	
	Frauen	Männer	Frauen	Männer
15 bis 18 Jahre	15	35	10	20
19 bis 45 Jahre	15	55	10	30
älter als 45 Jahre	15	45	10	25

nicht schraffiert = Grenzwerte, die im Normalfall ohne Gesundheitsgefährdung nicht überschritten werden dürfen
 schraffiert = Werte, die aus ergonomischer Sicht empfohlen werden

gelegentlich – höchstens 2mal je Stunde und bis zu 4 Schritten
 häufiger – mehr als 2mal je Stunde oder Transportwege von mehr als 4 Schritten

Abbildung 14 Zumutbare Lasten (Hettinger - Tabelle) (aus [5])

Der zulässige Beurteilungsschallpegel liegt bei 55 dB. Der Beurteilungsschallpegel ist ein Wert, der über einen 8 Stunden Arbeitstag gemittelt ist. Erst ab einem Schallpegel von 85 dB muss ein Gehörschutz bereitgestellt werden.

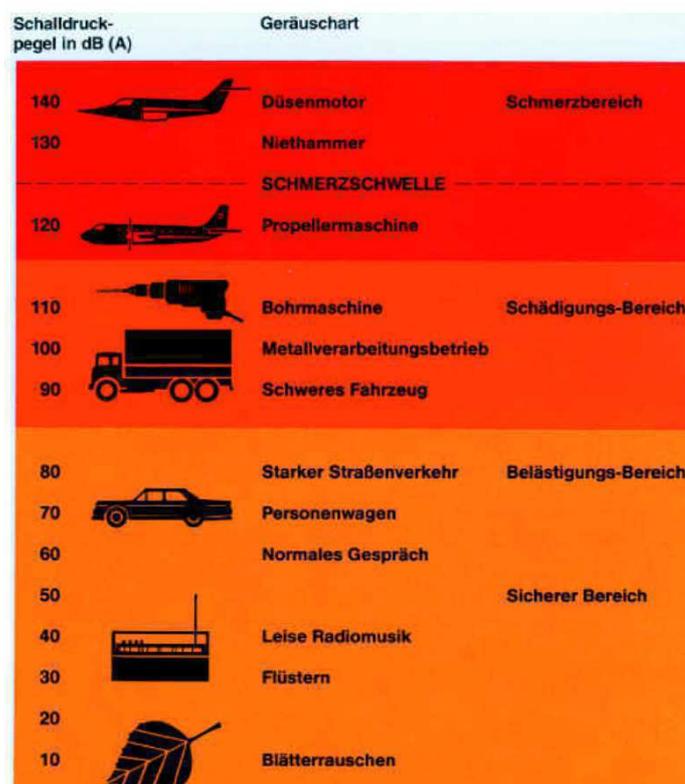


Abbildung 15 Schalldruckpegel (aus [5])

Aus ergonomischen Gründen sollten im Sitzen Arbeitshöhen zwischen 70 und 74 cm eingehalten werden. Für Tätigkeiten im Stehen ist die zu bevorzugende Arbeitshöhe zwischen 91 und 101 cm.

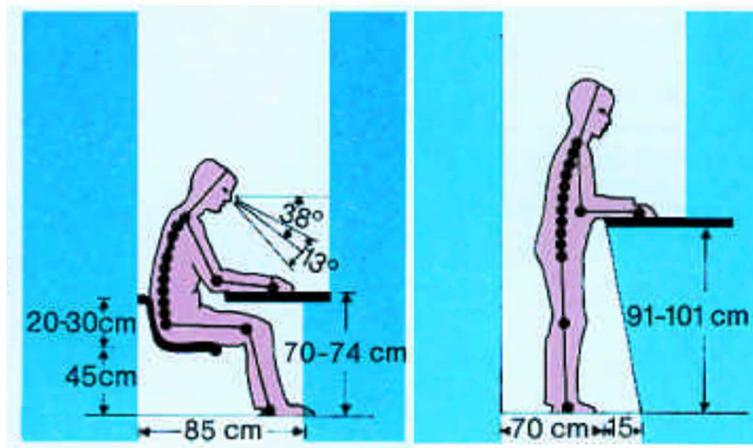


Abbildung 16 Richtmaße für einen Arbeitsplatz (aus [5])

Das Feld der Sicherheit, Unfallverhütung und der Produkthaftung mit den dazugehörigen Normen und Richtlinien ist sehr komplex und weitläufig und kann an dieser Stelle nur angeschnitten werden. Diese Zusammenstellung aus den Bereichen Arbeitssicherheit und Maschinensicherheit zeigt nur einige wenige für den Konstruktionsprozess wichtige Aspekte auf.

- Gefahrenstellen müssen erkannt und abgesichert bzw. verdeckt werden.
- Die elektrische und steuerungstechnische Sicherheit muss gewährleistet sein.
- Die Oberflächentemperatur von Flächen die berührt werden können soll 43°C nicht überschreiten.
- Die Zulässige Masse der Getriebe-Einheit beträgt 15kg.
- Ein geringer Geräuschpegel ist wünschenswert.
- Ergonomische Arbeitshöhen:
 - Sitzend: 70 - 74 cm
 - Stehend: 91 - 101 cm

Arbeiten nach einer Leitlinie mit einer Hauptmerkmalliste

Die Hauptmerkmalliste besteht aus konkreten Stichpunkten, die auf die Aufgabenstellung angewendet werden. Die daraus entstehenden Ergebnisse sowie Assoziationen können zu Anforderungen verarbeitet werden. Die Liste enthält Punkte aus den Bereichen Konzept, Produktleben und Organisation. In diese Kategorien ist die Liste auch gegliedert.

Die Hauptmerkmalliste kann auch als Checkliste verwendet werden.

Hauptmerkmalliste

Konzept		
Stoff		
– Ein- und Ausgangsprodukte:	<input checked="" type="checkbox"/>	
• chemische Eigenschaften	<input checked="" type="checkbox"/>	
• physikalische Eigenschaften	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Hilfsstoffe	<input checked="" type="checkbox"/>	
– vorgeschriebene Werkstoffe (Nahrungsmittelgesetz u.ä.)	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Materialfluss und -transport:	<input checked="" type="checkbox"/>	
Energie		
– Leistung	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Verlust	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Wirkungsgrad	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Zustandsgrößen:	<input checked="" type="checkbox"/>	
• Druck	<input checked="" type="checkbox"/>	
• Temperatur	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Erwärmung:	<input checked="" type="checkbox"/>	Zulässige Erwärmung prüfen
– Kühlung	<input checked="" type="checkbox"/>	Prüfen
– Anschlussenergie	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Speicherung	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Arbeitsaufnahme	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Energieumformung	<input checked="" type="checkbox"/>	
Signal		
– Ein- und Ausgangssignale	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Anzeigeart	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Betriebsgeräte	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Überwachungsgeräte	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Signalform	<input checked="" type="checkbox"/>	
Geometrie		
– Abmaße / Dimensionen	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Durchmesser	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Bauraum	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Anzahl	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Anordnung	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Anschluss	<input checked="" type="checkbox"/>	Anschlussmaße der Prüfgetriebe
– Erweiterung	<input checked="" type="checkbox"/>	Austausch von Baugruppen, daher Modularer Aufbau
Mechanik		
– Gewicht	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Last	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Kräfte:		
• statisch	<input checked="" type="checkbox"/>	
• dynamisch	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Reibung	<input checked="" type="checkbox"/>	
– Wärmespannung	<input checked="" type="checkbox"/>	Konstruktive Lösungen z.B. Kupplung
•		
•		
•		

Tabelle 2 Hauptmerkmalliste

Die komplette, ausgefüllte und bearbeitete Hauptmerkmalliste befindet sich im Anhang.

Perspektivenbasiertes Lesen

Gedanklich versetzt sich der Leser in eine andere Person z.B. den Anwender und analysiert aus der neuen Sicht das Dokument oder die Aufgabe. Einzelne Punkte des gelesenen Textes führen zu Assoziationen, die zu Anforderungen verarbeitet werden können.

Welche Erwartungen hat ein Student an eine Laborveranstaltung?

- Selbstständiges Bedienen erhöht den Spaß- und Erlebnisfaktor.
- Zuvor vermittelte theoretische Kenntnisse anwenden und mit Praxis untermauern – Technik greifen und begreifen.
- Eigenverantwortlich arbeiten.
- Spielerisch lernen und den Forschergeist wecken.
- Plausible Ergebnisse und gute Anschaulichkeit fördern das Verständnis der Zusammenhänge.
- Wenn möglich keine langwierigen Prozesse.
- Begeisterungsfaktor: Moderne und ansprechend designte Technik begeistert.

Implizite Anforderungen an Laborveranstaltungen:

- Ein roter Faden durch die gesamte Laborveranstaltung.
- Zeitlich machbar ohne überziehen der Laborzeit.
- Wenn möglich wenig Vorbereitung und Nachbereitung.
- Labortestat bestehen.
- Ohne Verletzungen durchführen.
- Versuch ohne spezielle Arbeitskleidung möglich.
- Geringe Lautstärke.

Die typischen Fehler sollten möglichst wenige Auswirkungen haben:

- Unterlagen fehlen.
- Keine Formelsammlung oder Tabellenbuch etc. verfügbar.
- PC stürzt ab.
- Missverständnisse im Team.
- Messreihe wird in Folge von Fehlern unbrauchbar.

Anforderungsliste

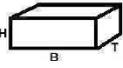
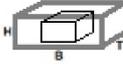
HAW Hamburg Maschinenbau und Produktion		Anforderungsliste für Getriebeprüfstand		Moritz Faber Seite: 1 von 3	
Änderungs- datum	Herkunft der Anfor- derung	Forderung oder Wunsch	Anforderungen Mit fortlaufender Nummer	Wert – Daten	
				Mindest- erfüllung	Ideal- erfüllung
07.01.2015	K K K	F F F	1 Baugröße: Breite Höhe Tiefe (ab dem Fußboden) 	< 2500mm < 2200mm < 1000mm	1500mm 1100mm 600mm
07.01.2015	S/K S/K S/K	F F F	2 Bauraum für das Prüfgetriebe Breite Höhe Tiefe 	> 350mm > 250mm > 200mm	- - -
07.01.2015	S/K	F	3 Anschlussmaße der Getriebewellen	Höhe bis 150mm	-
15.12.2015	K	W	4 Gesamtmasse des Prüfstands	-	< 200 Kg
07.01.2015	A/K	F	5 Wirkungsgrad des Stirnradgetriebes messbar in Abhängigkeit der Drehzahl / Temperatur.	-	-
07.01.2015	K	W	6 Messauflösung kleiner oder gleich:	1%	0,1%
15.12.2015	S/K	F	7 Anzeige der Messwerte / Parameter	Am Messgerät ablesbar	PC/Software gestützt
30.11.2015	A/K	F	8 Drehzahl einstellbar.	In Stufen	Stufenlos
30.11.2015	K	F	9 Drehmoment einstellbar.	In Stufen	Stufenlos
15.12.2015	K	F F	10 Drehzahlbereich Antriebsseitig Abtriebsseitig	10-1000 $\frac{1}{\text{min}}$ 100-500 $\frac{1}{\text{min}}$	0-10000 $\frac{1}{\text{min}}$ 0-10000 $\frac{1}{\text{min}}$
30.11.2015	K	W W	11 Drehmomentbereich Antriebsseitig Abtriebsseitig	- -	0-100Nm 0-100Nm
30.11.2015	K	W	12 Leistung	-	0 – 3000W
Ersetzt Ausgabe vom 29.12.2015		K = Kundengespräch A = Aufgabestellung N = Norm oder Richtlinie S = Szenario / Hauptmerkmaliste / Implizit vom Kunde E = Entwickler / Entwickelndes Unternehmen		Ausgabe: Datum Bearbeiter:	Version: 4 07.01.2016 Moritz Faber

Tabelle 3 aktuelle Anforderungsliste Seite 1

HAW Hamburg Maschinenbau und Produktion			Anforderungsliste für Getriebeprüfstand	Moritz Faber Seite: 2 von 3	
Änderungs- datum	Herkunft der Anfor- derung	Forderung oder Wunsch	Anforderungen Mit fortlaufender Nummer	Wert – Daten	
				Mindest- erfüllung	Ideal- erfüllung
07.01.2015	K	W	13 Getriebeprüftemperaturbereich:	-	20 – 80°C
07.01.2015	K/S/E	W	14 Kurze Aufheizzeit, wenn Temperaturwechsel gewünscht	-	-
29.12.2015	N	F	15 Oberflächentemperatur von Flächen die berührt werden können	< 48°C	< 43°C
07.01.2015	K/S	W	16 Austausch des Prüfgetriebes	-	< 10 min und Werkzeuglos
07.01.2015	N	W	17 Getriebeeinheit-Masse	-	< 15Kg
30.11.2015	S/E/K	W	18 Selbsterklärende Bedienung	-	-
15.12.2015	A/K/S	F	19 Sehr gute Anschaulichkeit	Gut	Sehr gut
07.01.2015	K/N	F	20 Sicherheit der Anlage mit Not-Aus-Einrichtung	Sehr geringes Verletzungsrisiko	-
29.12.2015	E	F	21 Naheliegenden Missbrauch verhindern	-	-
29.12.2015	N	F	22 Umgehen von Sicherheitseinrichtungen erschweren	-	-
29.12.2015	N	W	23 Geräuschemissionen kleiner als:	-	< 55 dB
29.12.2015	N	W	24 Ergonomische Arbeitsposition Sitzend: 70-74 cm , Stehend: 91-101 cm	-	-
30.11.2015	E	W	25 Hohe Energieeffizienz	-	-
15.12.2015	K	W	26 Energieversorgung	-	230V
30.11.2015	E	W	27 Zentraler Ein-Ausschalter	-	-
Ersetzt Ausgabe vom 29.12.2015			K = Kundengespräch A = Aufgabestellung N = Norm oder Richtlinie S = Szenario / Hauptmerkmaliste / Implizit vom Kunde E = Entwickler / Entwickelndes Unternehmen	Ausgabe: Datum Bearbeiter:	Version: 4 07.01.2016 Moritz Faber

Tabelle 4 aktuelle Anforderungsliste Seite 2

HAW Hamburg Maschinenbau und Produktion			Anforderungsliste für Getriebeprüfstand		Moritz Faber Seite: 3 von 3	
Änderungs- datum	Herkunft der Anfor- derung	Forderung oder Wunsch	Anforderungen Mit fortlaufender Nummer		Wert – Daten	
			Mindest- erfüllung	Ideal- erfüllung		
30.11.2015	S	W	28 Ansprechendes Design	-	-	
30.11.2015	S	W	29 Professionelle Laboranmutung	-	-	
30.11.2015	S	W	30 Hohe Zuverlässigkeit / geringe Ausfallzeiten	-	-	
30.11.2015	S	F	31 Dauer der Versuchsdurchführung	<= 90 min	-	
15.12.2015	E	W	32 Hohe Lebensdauer	-	-	
30.11.2015	E/N	F	33 Selbstschutz z.B. bei Überhitzung	-	-	
29.12.2015	N	F	34 Gewährleistung der elektrischen und steuerungstechnischen Sicherheit	-	-	
07.01.2016	A/S	F	35 Modulare Produktarchitektur passend zum Schema Motor-Getriebe-Leistungsbremse	-	-	Gut erweiterbar
15.12.2015	S	W	36 Geringer Fertigungsaufwand	-	-	
15.12.2015	S	W	37 Geringer Montageaufwand	-	-	
15.12.2015	S	W	38 Geringer Instandhaltungsaufwand	-	-	
15.12.2015	N/E	W	39 Recyclinggerechte Konstruktion	-	-	
30.11.2015	K	F	40 Einhaltung des Kostenrahmens von	40 000 €	-	minimal
07.01.2016	K	F	41 Mindestbestellwert bei einem Händler	5000 €	-	
15.12.2015	A	F	42 Dokumentation (Technische Zeichnungen und Stückliste)	-	-	
30.11.2015	A	F	43 Abgabetermin	24.02.2016	-	
Ersetzt Ausgabe vom 29.12.2015			K = Kundengespräch A = Aufgabestellung N = Norm oder Richtlinie S = Szenario / Hauptmerkmaliste / Implizit vom Kunde E = Entwickler / Entwickelndes Unternehmen		Ausgabe: Version: 4 Datum: 07.01.2016 Bearbeiter: Moritz Faber	

Tabelle 5 aktuelle Anforderungsliste Seite 3

Prototypenbesprechung

Für eine Prototypenbesprechung muss erst einmal ein Prototyp erstellt werden. Als Prototypen gelten einerseits physikalische Modelle, aber auch digitale Modelle sowie Zeichnungen.

Physikalische Modelle bieten den Vorteil, dass sie ausprobiert und gegebenenfalls bedient werden können. Nachteilig sind in der Regel der hohe Herstellungsaufwand sowie der Preis. Eine weniger aufwendige Alternative sind Zeichnungen und digitale Modelle.

Anhand des Prototyps können dem Kunden erste Eindrücke des späteren Produktes vermittelt werden. Während der Prototypenbesprechung ist es möglich, aus den Reaktionen des Kunden Anforderungen abzuleiten sowie die aufgestellten Anforderungen mit ihm zu besprechen.

Der Prototyp bietet eine Grundlage und unterstützt die Kommunikation mit dem Kunden. Dies erleichtert die Entwicklung eines Produktes, das den Kundenwünschen entspricht.

Durchführung

Im Folgenden werden die Anforderungen mit dem Kunden abgeglichen. Dies ist notwendig um sicherzustellen, dass die gefundenen Anforderungen die Ansprüche des Kunden an das Produkt widerspiegeln.

In diesem Fall wird das physikalische Modell verwendet, welches den großen Vorteil hat, dass es bedient und ausprobiert werden kann. Zusätzlich bietet es schon einige wichtige Funktionen des späteren Produktes. Zusätzlich werden 3D Zeichnungen von möglichen Aufbauten mit verwendbaren Kaufteilen zur Unterstützung verwendet.

Ergebnisse der Prototypenbesprechung

Die Prototypenbesprechung vom 07.01.2016 ergab, dass ein größerer Temperaturbereich, in dem die Getriebe geprüft werden können, gefordert ist. Im Gegenzug wurden die Anforderungen an die Austauschzeit der Prüfgetriebe sowie der Getriebemasse gelockert und in Wünsche umgewandelt. Entgegen der bisherigen Annahme soll während einer Laborveranstaltung kein Getriebewechsel durchgeführt werden.

Bis zu diesem Zeitpunkt war nicht festgelegt, wie groß die Prüfgetriebe sein können und wieviel Bauraum dafür zur Verfügung stehen muss. Ich habe im Vorwege eine Recherche zu diesem Thema durchgeführt, die Ergebnisse zusammengestellt und einen Bauraumvorschlag erarbeitet. Dieser wurde nach der Besprechung in die Anforderungsliste übernommen.

Aufgrund der hochschulinternen Abrechnung ist eine Mindestbestellsumme bei einem Händler von mindestens 5000 Euro notwendig. Auch dies wurde in die Anforderungsliste aufgenommen.

Des Weiteren wurde festgelegt, dass der Prüfstand eine freistehende Bauform (ohne Labortisch) haben soll.

Allgemein ist zu bemerken, dass nur wenige Änderungen an der Anforderungsliste gemacht werden müssen und es eine gute Übereinstimmung gibt.

4 Konzipieren

Die zentrale Aufgabe des Prüfstands ist die Bestimmung des Wirkungsgrades von Getrieben. Der Wirkungsgrad ist allgemein definiert mit:

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

Zur Bestimmung des Wirkungsgrads müssen also die zugeführte Leistung und die abgegebene Leistung ermittelt werden. Um möglichst genaue Ergebnisse zu erlangen, sollte die Messung direkt „vor“ und „nach“ dem Getriebe stattfinden und nicht etwa die aufgenommene Leistung des Motors ermittelt werden. Dies wäre zwar besonders einfach, jedoch würden dann die Leistungsverluste des Motors und der Lager mit in die Berechnung eingehen.

Die übertragene Leistung an einer Welle kann aus Drehzahl und dem Drehmoment errechnet werden. Es gilt:

$$P = M \cdot \omega$$

Mit

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$$

ergibt sich die Gleichung:

$$P = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$$

Wird das Schema Motor – Getriebe - Leistungsbremse um das Messen erweitert, bekommt es folgende Form:

Motor - Drehzahl- und Drehmomentmessung - Getriebe - Drehzahl- und Drehmomentmessung - Leistungsbremse

Abstrahieren

Durch Abstrahieren ist es möglich, einen übergeordneten Zusammenhang zu finden und das tatsächliche Problem zu definieren. Abstraktion führt in der Regel zur Reduzierung der Komplexität und lässt die wesentlichen Merkmale hervortreten.

Die allgemeinere Formulierung lässt mehr Lösungsvarianten zu und fördert kreative und weitreichendere Lösungen.

In der Aufgabenstellung ist das Schema Motor – Getriebe - Leistungsbremse angegeben. Im Folgenden sollen die Begriffe Motor und Leistungsbremse abstrahiert werden.

	Motor		Leistungsbremse
1.Abstraktionsstufe	Maschine, die unter Aufwendung von Energie Drehmoment und Drehzahl zum Antrieb erzeugt.	1.Abstraktionsstufe	Maschine, die zum Verzögern Energie aus einem System entnimmt
2.Abstraktionsstufe	Energie in kinetische Energie wandeln	2.Abstraktionsstufe	Kinetische Energie wandeln

Tabelle 6 Abstraktion

Die Abstraktion zeigt, dass nicht zwangsläufig eine konventionelle Bremse eingesetzt werden muss, sondern auch andere Möglichkeiten der Energiewandlung möglich sind. Denkbar ist zum Beispiel das Bremsmoment eines Generators zu nutzen, um ein Bremsmoment auf das Getriebe wirken zu lassen. Die so erzeugte elektrische Energie kann nun zurückgewonnen werden.

Black Box

Die Black Box Darstellung dient zum Verdeutlichen des Kernproblems und zur Definition der Ein- und Ausgangsgrößen.

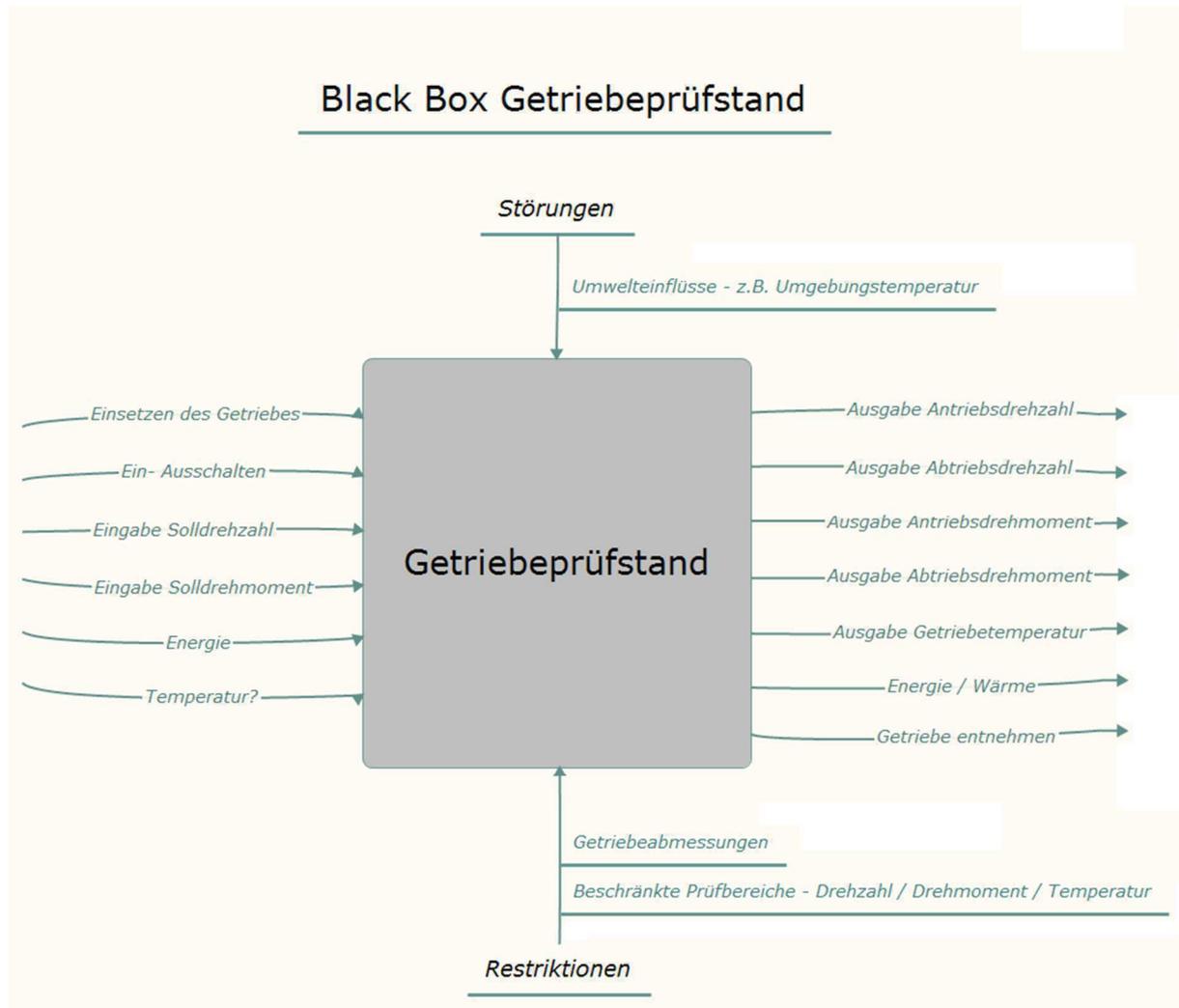


Abbildung 17 Black Box Getriebeprüfstand

Funktionsstruktur

Die Gesamtfunktion wird in Teilfunktionen aufgeteilt und gegliedert. Für diese Teilfunktionen müssen anschließend Teillösungen gefunden werden.

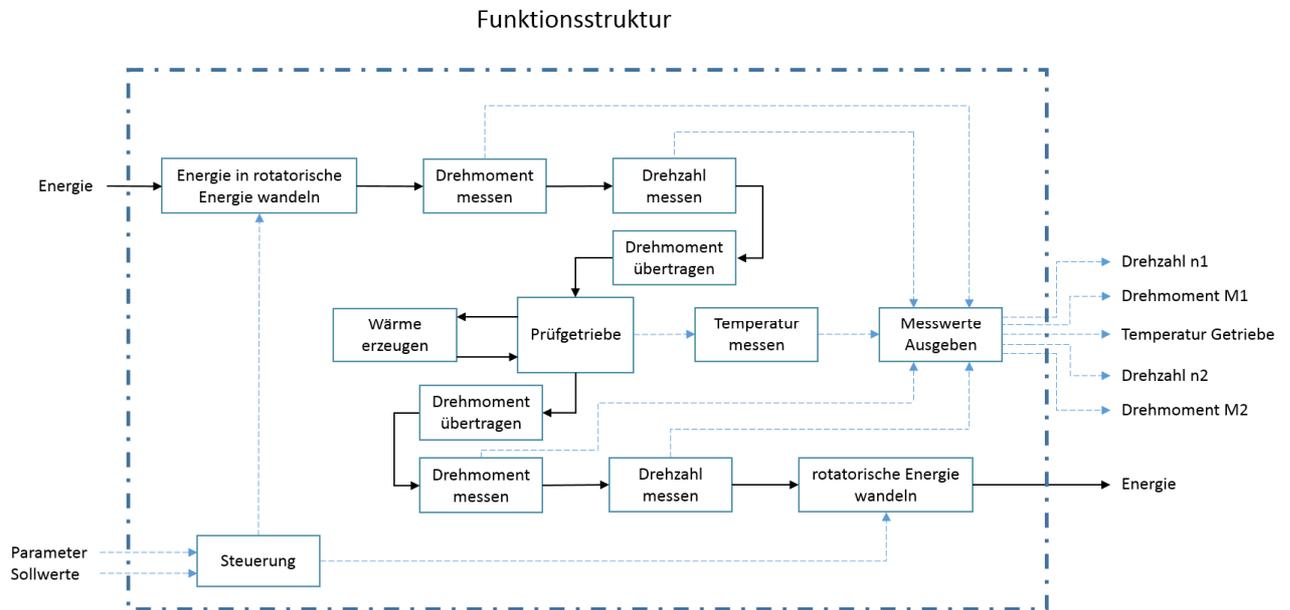


Abbildung 18 Funktionsstruktur

Suche nach Lösungen für die Einzelfunktionen

Konventionelle Methoden

Analyse bekannter technischer Systeme

An dieser Stelle werden nochmals die Analyseergebnisse der bei diversen Firmen bestehenden Prüfstände verwendet, die bereits zu Anfang der Arbeit vorgestellt wurden.

Recherche in Fachbüchern

Mit Hilfe von Konstruktionskatalogen und Fachbüchern zum Thema Prinziplösungen konnten neue Lösungsansätze ausgearbeitet werden.

Internetrecherche

Die Internetrecherche liefert zum Beispiel unter dem Schlagwort Motor unzählige Anbieter von Motoren unterschiedlicher Arten. Da über die Herstellerwebseite in der Regel unkompliziert ein Kontakt aufgebaut und eine Preisanfrage gestellt werden kann, erweist sich die Internetrecherche als sehr effizient.

Messebesuch

Auf der Nortec (Di. 26. – Fr. 29.01.2016 in Hamburg) waren zwar viele Hersteller vertreten, unter anderem auch Ringspann (Welle-Nabe-Verbindungen, Kupplungen und Scheibenbremsen) sowie MiniTec (Aluminiumprofil-Baukastensystem), jedoch blieben signifikante Impulse für den Prüfstand aus.

Prospekt

Prospekte und Flyer stehen in digitaler Form bei vielen Herstellern zum Download bereit. Speziell bei der ersten Sichtung sind diese interessant, da die signifikanten Daten dort zusammengefasst sind und ein Überblick ermöglicht wird.

Intuitive Methode

Brainstorming

Das Brainstorming ist eine intuitive Methode. Als Stärke kann angesehen werden, dass auch unkonventionelle Lösungsansätze gefunden werden können. Nachteilig ist jedoch, dass Einfälle nicht erzwungen werden können.

Die Ergebnisse des Brainstormings wurden geordnet und in einer Mind-Map dargestellt.

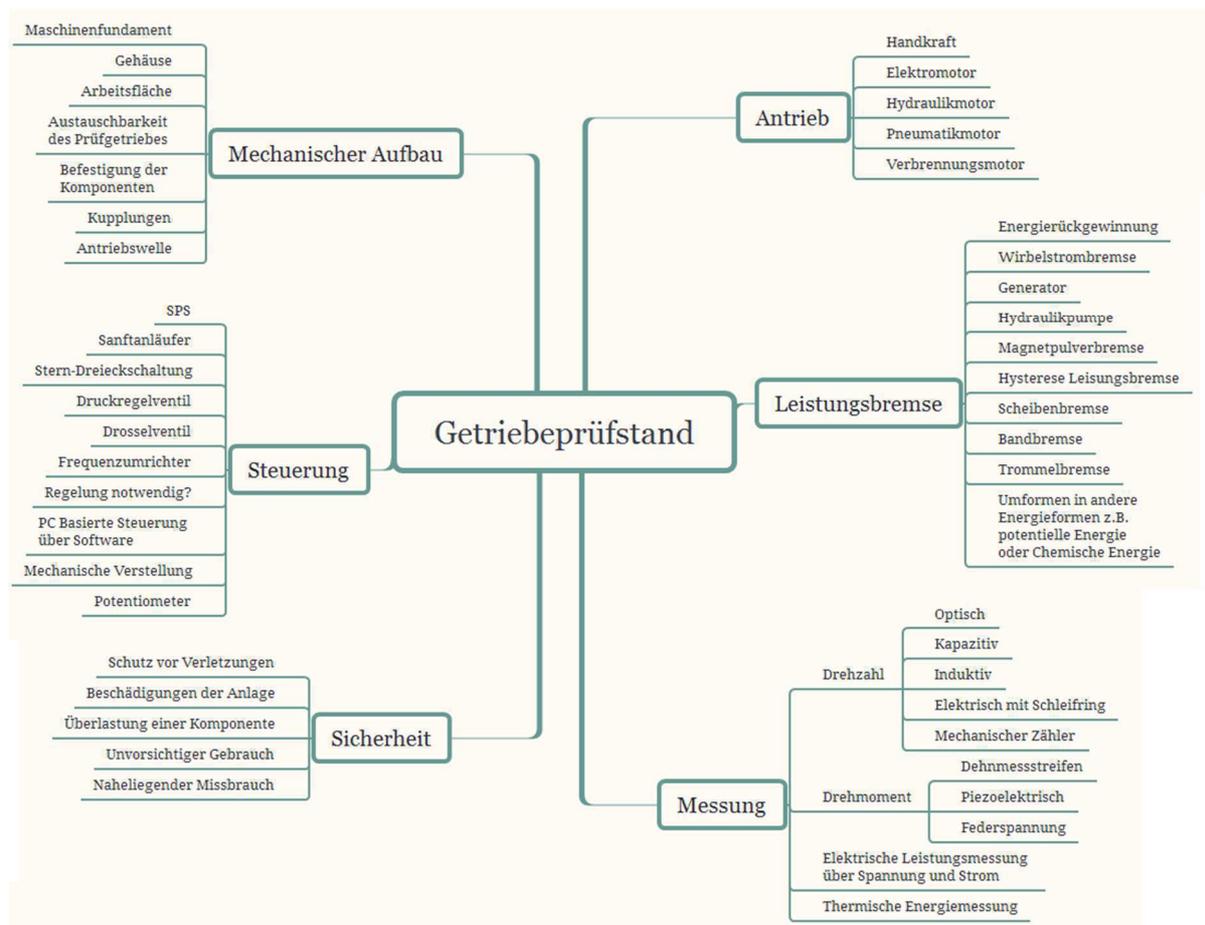


Abbildung 19 Mind-Map

Die durch konventionelle sowie intuitive Methoden gefundenen Lösungen für Einzelfunktionen sind in einem morphologischen Kasten dargestellt.

Produktarchitektur

Für den Getriebeprüfstand bietet sich eine modulare Produktarchitektur an, da besonders die Austauschbarkeit, Kombinierbarkeit, Erweiterbarkeit und der Umbau durch den Anwender von besonderer Wichtigkeit ist.

Speziell bei Verwendung von modularen Produktarchitekturen ist es sehr wichtig, sich frühzeitig über die Schnittstellen Gedanken zu machen um eine gute Produktintegrität zu gewährleisten.

Wird es versäumt die Schnittstellen ausreichend zu planen und festzulegen kann es passieren, dass die Module nicht ausreichend aufeinander abgestimmt sind und es zu Kompatibilitätsproblemen kommt.

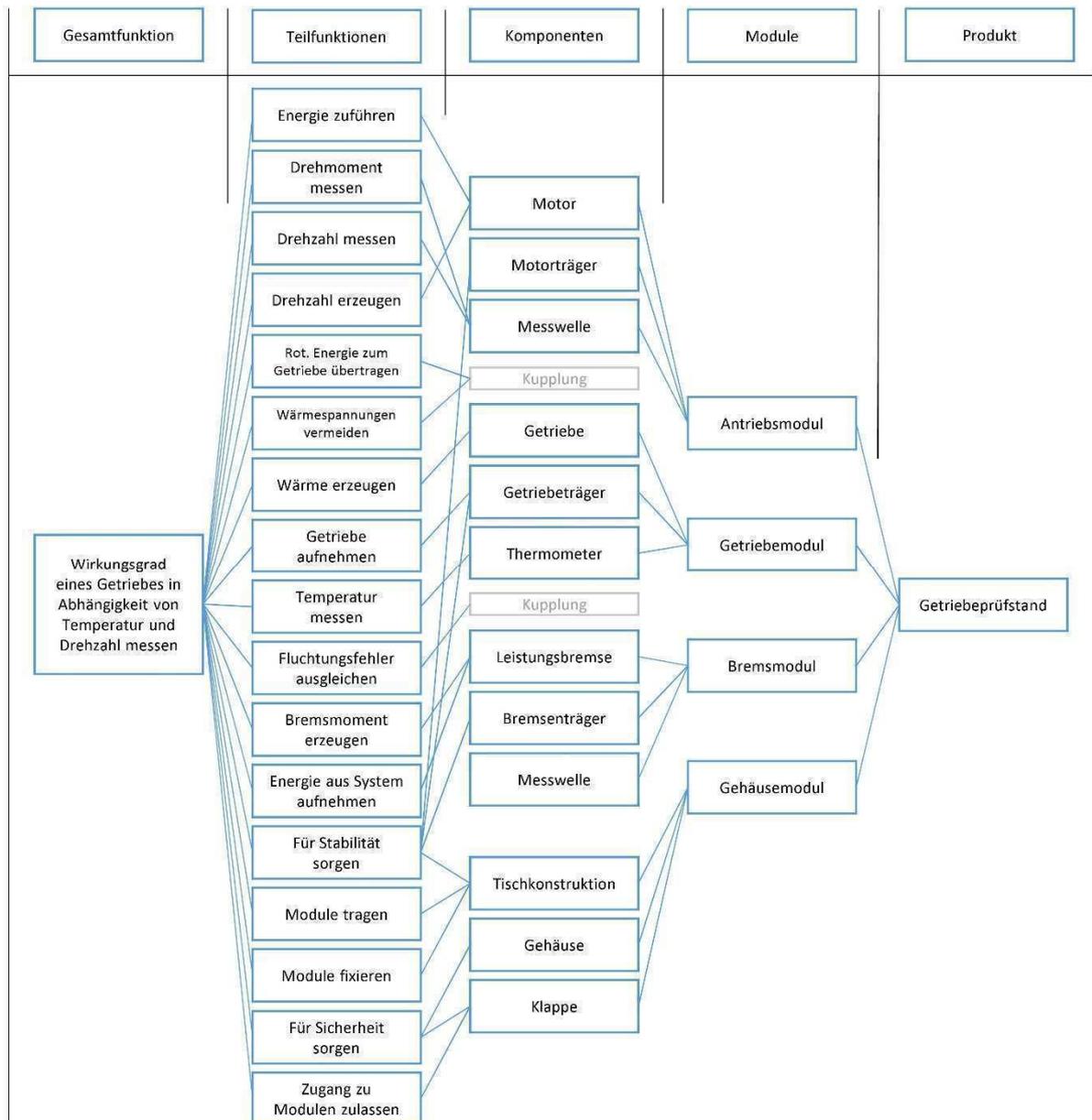


Abbildung 20 Produktarchitektur nach Pahl/Beiz

5 Auswählen und Konkretisieren einer Variante

Auswahlliste

Aufgrund der Unübersichtlichkeit, die das Eintragen aller Lösungsvarianten mit sich bringt, wird im morphologischen Kasten jeder Zeile eine Zahl und jeder Spalte ein Buchstabe zugeordnet. Die Lösungsvarianten werden in einer Tabelle dargestellt.

Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1a	1a	1a	1b	1a	1c	1d	1b	1d	-	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1b	1b	1d	1a						
2a	2a	2a	2b	2a	2c	2d	2c	2f	2e	2a	2a	2a	2a	2a	2a	2c	2c	2d	2a						
3a	3b	3c	3b	3b	3b	3d	3c	3c	3c	3b	3b	3c	3e	3c	3c	3c									
4a	4b	4f	4c	4c	4c	4d	4c	4c	4c	4c	4c	4c	4f	4c	4c	4e	4c								
5a	5b	5b	5a	5a	5b	5a	5d	5a	5c	5a	5a	5b	5a	5a	5a	5e	5f	5a	5c	5d	5a	5a	5d	5a	5a
6a	6d	6c	6b	6c	6b	6b	6b	6f	6c	6e	6e	6g	6c	6c	6c	6b	6b	6c							
7a	7d	7k	7c	7k	7f	7e	7f	7c	7j	7b	7b	7b	7b	7g	7h	7f	7f	7e	7c	7c	7a	7a	7i	7a	7a
8a	8b	8b	8d	8b	8d	8b	8b	8f	8d	8b	8b	8b	8b	8e	8d	8b	8b	8b	8c	8c	8a	8a	8c	8a	8a
9c	9b	9b	9b	9d	9a	9a	9d	9d	9a	9d	9e	9b	9d	9e											
-	-	A	-	B	-	-	C	D	-	E	-	F	G	-	-	-	-	H	-	I	-	K	-	-	-> Auswahl

Tabelle 8 Zuordnung der Varianten

Die letzte Zeile dieser Tabelle greift schon vor und stellt die Ergebnisse der auf der nächsten Seite folgenden Auswahlliste dar.

Um die Anzahl der Lösungsvarianten zu reduzieren, wird eine Auswahlliste angewendet. Dies ist eine unkomplizierte Möglichkeit, die Anzahl an möglichen Varianten zu reduzieren, ohne dabei sinnvolle Ansätze zu unterdrücken.

<p>HAW Hamburg Maschinenbau und Produktion</p>	<p>AUSWAHLLISTE nach Pahl/Beitz für Getriebeprüfstand</p>							<p>Moritz Faber Seite 1 von 2</p>	
<p>Lösungsvarianten nach Auswahlkriterien Beurteilen: + ja - nein ? Informationsmangel ! Widersprüche</p>							<p>Entscheiden: + weiterverfolgen - scheidet aus ? Informationen beschaffen ! Anforderungsliste prüfen</p>		
<p>Lösungsvarianten</p>	<p>Verträglichkeit gegeben Forderungen der Anforderungsliste erfüllt Grundsätzlich realisierbar Aufwand zulässig Unmittelbare Sicherheitstechnik gegeben Im eigenen Bereich bevorzugt</p>							<p>Entscheidung:</p>	
	A	B	C	D	E	F	G		Bemerkungen / Hinweise
1	+	+	+	-					-
2	+	+	+	-					-
3	+	+	+	+	+	+	+	Neue Variante A	+
4	+	+	-						-
5	+	+	+	+	+	+	+	Neue Variante B	+
6	+	+	-						-
7	+	+	+	-					-
8	+	+	+	+	+	+	+	Neue Variante C	+
9	+	+	+	+	+	+	+	Neue Variante D	+
10	+	+	-						-
11	+	+	+	+	+	+	+	Neue Variante E	+
12	+	+	+	+	+	-			-
13	+	+	+	+	+	+	+	Neue Variante F	+
14	+	+	+	+	+	+	+	Neue Variante G	+
15	+	+	+	-					-
16	+	+	+	+	+	-			-
17	+	+	-						-
18	+	+	-						-
19	+	+	+	+	+	+	+	Neue Variante H	+
20	+	+	-						-
21	+	+	+	+	+	+	+	Neue Variante I	+
22	+	-							-
23	+	+	+	+	+	+	+	Neue Variante K	+
24	+	+	+	-					-
25	+	+	+	+	+	-			-
26									
27									
28									
29									
30									
Bemerkung/Begründung									
Siehe Seite 2									
Datum: 12.01.2016	Bearbeitet von: Moritz Faber								

Tabelle 9 Auswahlliste Seite 1

HAW Hamburg Maschinenbau und Produktion	AUSWAHLLISTE nach Pahl/Beitz für Getriebeprüfstand	Moritz Faber Seite 2 von 2
Bemerkung/Begründung		Konsequenz
Das Handrad ist als Antrieb ungeeignet, da die Antriebsleistung zu gering ist, und das Antriebsmoment über eine Umdrehung nicht konstant ist.	Streichen	
Der Pneumatikmotor muss aufgrund des extrem großen Druckluftbedarfs ausgeschlossen werden. (min. 60 l/s bei 6bar)	Streichen	
Steuerung des Antriebs lediglich mit einem Druckregelventil führt ohne Last zur extremen Drehzahlerhöhung.	Streichen	
Kapazitive Drehmomentmessung wird offensichtlich industriell praktisch nicht eingesetzt.	Streichen	
Ein Verdrehwinkel einer Drehfeder (in Folge eines Drehmomentes) kann nur als Reaktionskraft (Lagerreaktion) abgelesen werden. Dies ist für den Aufbau nicht praktikabel.	Streichen	
Piezoelektrische Drehmomentmessung wird offensichtlich industriell praktisch nicht eingesetzt.	Streichen	
Eine Drehzahlmessung über die Zentrifugalkraft bedarf einer Eigenkonstruktion mit zusätzlichem Aufwand und ist höchstwahrscheinlich sehr ungenau.	Streichen	
Die Drehzahlmessung über ein Stroboskop ist für den Aufbau nicht praktikabel.	Streichen	
Eine Temperaturbestimmung durch Dichteänderung (Galileo Prinzip) ist nicht umsetzbar.	Streichen	
Ein konventionelles Stabtermometer kann während eines Versuchs nicht problemlos abgelesen werden.	Streichen	
Die Temperaturmessung über ein Bimetallthermometer ist für den Aufbau nicht praktikabel.	Streichen	
Eine Flanschkupplung ist nicht Biegeelastisch und führt bei nicht exakt fluchtenden Wellen zu erhöhter Belastung.	Streichen	
Starrkupplungen sind nicht biegeelastisch. Dies führt bei nicht exakt fluchtenden Wellen zu erhöhter Belastung.	Streichen	
Wirbelstrombremsen arbeiten in der Regel mit sehr hohen Drehzahlen (z.B. bis 50 000 1/min) jedoch nur mit sehr kleinen Drehmomenten. Dies würde den Einsatz von highspeed Getrieben notwendig machen. Aufgrund des Aufwandes und der hohen Kosten ist dies für den Aufbau nicht praktikabel.	Streichen	
Das hydrodynamische Bremssystem (Retarder) muss leider aufgrund des Mangels an Anbietern für kleine Anwendungen aufgegeben werden.	Streichen	
Trommelbremsen sind in vielerlei Hinsicht Scheibenbremsen sehr ähnlich, aber speziell im Punkt Wärmeabgabe unterlegen.	Streichen	
Wasserwirbelbremsen werden in der Industrie für sehr große Leistungen eingesetzt. Die angebotenen Bremsen haben eine sehr große Masse und benötigen viel Bauraum. Eine Eigenkonstruktion sprengt hier den Rahmen.	Streichen	
Bandbremsen eignen sich nur für kleine Leistungen oder kurze Bremsprozesse.	Streichen	
Auf Steuerung eines Bremshebels wird zugunsten der fein einstellbaren Stellschraube verzichtet.	Streichen	
Die angebotene Messsoftware für PCs ist sehr umfangreich und bietet Digitalwerte ebenso wie das Aufzeichnen von Messkurven. Welche Verfahren genutzt werden sollen liegt beim Anwender.	Vereinigen	
Auf eine weitgehend automatisierte Datenverarbeitung mit kompletter interner ("unsichtbarer") Berechnung sollte der Anschaulichkeit halber verzichtet werden.	Streichen	
Datum: 12.01.2016	Bearbeitet von: Moritz Faber	

Tabelle 10 Auswahlliste Seite 2

Mit Hilfe der Auswahlliste wurde aus den 25 Varianten eine Auswahl getroffen, die weiter betrachtet wird. Die ausgewählten Varianten werden im nächsten Schritt konkretisiert. Die nicht ausgewählten Varianten werden verworfen.

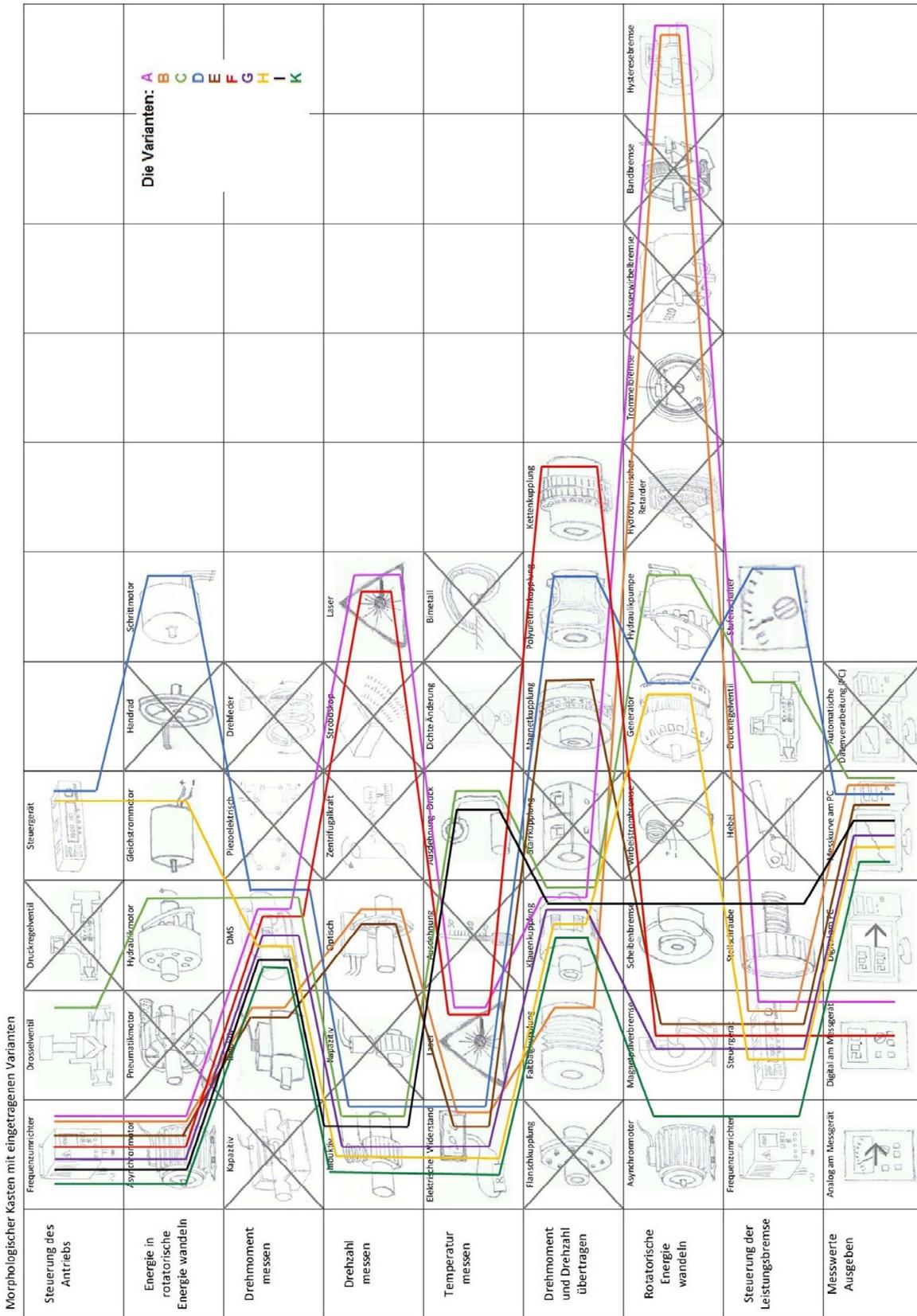


Tabelle 11 Morphologischer Kasten mit Varianten A-K

Konkretisieren

Das Konkretisieren ist notwendig, um eine einheitliche und solide Bewertungsgrundlage zu bilden. Alle Varianten sollten so konkretisiert sein, dass die positiven und negativen Aspekte der Variante eindeutig bestimmt werden können.

Für alle Varianten wird ein Tisch, eine Abdeckung und Sicherheitstechnik benötigt. Die dadurch entstehenden Kosten von ca. 3000 € und die Masse von ca. 110 kg wird jeweils mit einkalkuliert. Die jeweils ermittelten Gesamtkosten enthalten die gesetzliche Mehrwertsteuer.

Variante A

Antrieb über Frequenzumrichter (Siemens) und Asynchronnormmotor (Mädler)

Drehmomentmessung über DMS (Mobac)

Drehzahlmessung mit Laser-Handgerät (Voltcraft)

Temperaturmessung mit Laser-Handgerät (Laserliner)

Drehmomentübertragung mit Klauenkupplung (Mädler)

Leistungsbremse Hysteresebremse (Mobac) mit Steuergerät (Mobac)

Datenausgabe am Messgerät und über einen Datenlogger mit Drucker (Mobac)

Maximales Drehmoment Antrieb/Abtrieb:	28 Nm / 29 Nm
Maximale Drehzahl Antrieb/Abtrieb:	$3000 \frac{1}{min}$ / $6000 \frac{1}{min}$
Dauerleistung:	600 W
Gesamtmasse:	115 kg + (110 kg)
Gesamtkosten:	19.000 €

Besonderheiten:

Keine einheitliche Datenverarbeitung.

Wenig Leistung.

Variante B

Antrieb über Frequenzumrichter (Siemens) und Asynchronnormmotor (Mädler)

Drehmomentmessung induktiv (Magtrol)

Drehzahlmessung optisch (Magtrol)

Temperaturmessung elektrisch PT100 (EMKO)

Drehmomentübertragung mit Faltenbalgkupplung (Magtrol)

Leistungsbremse 2x Hysteresebremse (Magtrol) mit Steuergerät (Magtrol)

Datenausgabe über Kontrolleinheit und PC+Software (Magtrol)

Maximales Drehmoment Antrieb/Abtrieb:	28 Nm / 52 Nm
Maximale Drehzahl Antrieb/Abtrieb:	$3000 \frac{1}{min}$ / $6000 \frac{1}{min}$
Dauerleistung:	1200 W
Gesamtmasse:	145 kg + (110 kg)
Gesamtkosten:	32.100 €

Variante C

Antrieb über einen Hydraulikmotor (Hytech-Hydraulik) und ein Drosselventil (Hytech-Hydraulik)
Drehmomentmessung über DMS (HBM)
Drehzahlmessung induktiv (HBM)
Temperaturmessung mit Kapillarthermometer (IMIT)
Drehmomentübertragung mit Klauenkupplung (Mädler)
Leistungsbremse Axialkolbenpumpe gesteuert über ein Ventil (Bosch-Rexroth)
Datenausgabe am Messgerät und über PC+Software (HBM)

Maximales Drehmoment Antrieb/Abtrieb:	24,5 Nm / 80 Nm
Maximale Drehzahl Antrieb/Abtrieb:	$4000 \frac{1}{min} / 3000 \frac{1}{min}$
Dauerleistung:	> 4000 W
Gesamtmasse:	150 kg + (110 kg)
Gesamtkosten:	26.500 €

Besonderheiten:

Hydraulikaggregat notwendig.

Drehstromanschluss notwendig.

Keine einheitliche Messwertausgabe.

Energierückgewinnung.

Variante D

Antrieb über einen Schrittmotor mit eingebauter Steuerung und PC Schnittstelle (Trinamic)
Drehmomentmessung über DMS (HBM)
Drehzahlmessung induktiv (HBM)
Temperaturmessung elektrisch PT100 (EMKO)
Drehmomentübertragung mit Polyurethankupplung (Mädler)
Leistungsbremse Generator mit Widerstandsschaltung
Datenausgabe über PC+Software (HBM)

Maximales Drehmoment Antrieb/Abtrieb:	6 Nm / 3,2 Nm
Maximale Drehzahl Antrieb/Abtrieb:	$5000 \frac{1}{min} / 3700 \frac{1}{min}$
Dauerleistung:	600 W
Gesamtmasse:	20 kg + (110 kg)
Gesamtkosten:	23.600 €

Besonderheiten:

Keine Drehzahlmessung notwendig, da Motor synchron mit vorgegebener Drehzahl läuft.

Sehr kleiner und leichter Aufbau.

Wenig Leistung.

Kleine Drehmomente.

Variante E

Antrieb über Frequenzumrichter (Siemens) und Asynchronnormmotor (Mädler)
Drehmomentmessung induktiv (Magtrol)
Drehzahlmessung optisch (Magtrol)
Temperaturmessung elektrisch PT100 (EMKO)
Drehmomentübertragung mit Magnetkupplung (Mobac)
Leistungsbremse Magnetpulverbremse (Magtrol) mit Steuergerät (Magtrol)
Datenausgabe über Kontrolleinheit und PC+Software (Magtrol)

Maximales Drehmoment Antrieb/Abtrieb: 28 Nm / 50 Nm
Maximale Drehzahl Antrieb/Abtrieb: $3000 \frac{1}{min}$ / $3000 \frac{1}{min}$
Dauerleistung: 3000 W
Gesamtmasse: ca. 190 kg + (110 kg)
Gesamtkosten: 36.800 €

Besonderheiten:
Kühlwasserkreislauf notwendig.
Sehr große Masse.

Variante F

Antrieb über Frequenzumrichter (Siemens) und Asynchronnormmotor (Mädler)
Drehmomentmessung über DMS (Mobac)
Drehzahlmessung mit Laser-Handgerät (Voltcraft)
Temperaturmessung mit Laser-Handgerät (Laserliner)
Drehmomentübertragung Kettenkupplung (Mädler)
Leistungsbremse Magnetpulverbremse 5001 (Mobac) mit Steuergerät (Mobac)
Datenausgabe am Messgerät und über einen Datenlogger mit Drucken (Mobac)

Maximales Drehmoment Antrieb/Abtrieb: 28 Nm / 500 Nm
Maximale Drehzahl Antrieb/Abtrieb: $3000 \frac{1}{min}$ / $1500 \frac{1}{min}$
Dauerleistung: 1800 W
Gesamtmasse: 160 kg + (110 kg)
Gesamtkosten: 22.200 €

Besonderheiten:
Keine einheitliche Datenverarbeitung.
Sehr schwere Bremse.
Sehr großes Bremsmoment.

Variante G

Antrieb über Frequenzumrichter (Siemens) und Asynchronnormmotor (Mädler)
Drehmomentmessung über DMS (HBM)
Drehzahlmessung induktiv (HBM)
Temperaturmessung elektrisch PT100 (EMKO)
Drehmomentübertragung Klauenkupplung (Mädler)
Leistungsbremse Magnetpulverbremse3500 (Mobac) mit Steuergerät (Mobac)
Datenausgabe über PC+Software (HBM)

Maximales Drehmoment Antrieb/Abtrieb: 28 Nm / 350 Nm
Maximale Drehzahl Antrieb/Abtrieb: $3000 \frac{1}{min}$ / $2000 \frac{1}{min}$
Dauerleistung: 3000 W
Gesamtmasse: 105 kg + (110 kg)
Gesamtkosten: 28.300 €

Besonderheiten:
Aktive Kühlung mit einem Lüfter.
Sehr großes Bremsmoment.

Variante H

Antrieb über Gleichstrommotor (W A Electrical) und Steuergerät (Jinan Keya Electronic)
Drehmomentmessung über DMS (HBM)
Drehzahlmessung induktiv (HBM)
Temperaturmessung elektrisch PT100 (EMKO)
Drehmomentübertragung Klauenkupplung (Mädler)
Leistungsbremse über Gleichstromgenerator (W A Electrical) und Steuergerät (Jinan Keya Electronic)
Datenausgabe über PC+Software (HBM)

Maximales Drehmoment Antrieb/Abtrieb: 27 Nm / 27 Nm
Maximale Drehzahl Antrieb/Abtrieb: $3000 \frac{1}{min}$ / $3000 \frac{1}{min}$
Dauerleistung: 3000 W
Gesamtmasse: 65 kg + (110 kg)
Gesamtkosten: 26.150 €

Besonderheiten:
Energierückgewinnung

Variante I

Antrieb über Frequenzumrichter (Siemens) und Asynchronnormmotor (Mädler)
Drehmomentmessung über DMS (HBM)
Drehzahlmessung induktiv (HBM)
Temperaturmessung mit Kapillarthermometer (IMIT)
Drehmomentübertragung Klauenkupplung (Mädler)
Leistungsbremse Scheibenbremse handbetätigt (Ringspann)
Datenausgabe am Messgerät über PC+Software (HBM)

Maximales Drehmoment Antrieb/Abtrieb:	28 Nm / 520 Nm
Maximale Drehzahl Antrieb/Abtrieb:	$3000 \frac{1}{min}$ / $3500 \frac{1}{min}$
Dauerleistung:	3000 W, bei Drehzahlen unter $250 \frac{1}{min}$ nur 2000 W
Gesamtmasse:	75 kg + (110 kg)
Gesamtkosten:	25.000 €

Besonderheiten:

Verschleiß in Form von Staub wird von der Bremse abgegeben.
Keine einheitliche Messwertausgabe.
Sehr großes Bremsmoment.

Variante K

Antrieb über Frequenzumrichter (Siemens) und Asynchronnormmotor (Mädler)
Drehmomentmessung über DMS (HBM)
Drehzahlmessung induktiv (HBM)
Temperaturmessung elektrisch PT100 (EMKO)
Drehmomentübertragung Klauenkupplung (Mädler)
Leistungsbremse Asynchronnormmotor (Mädler) und Frequenzumrichter (Siemens)
Datenausgabe über PC+Software (HBM)

Maximales Drehmoment Antrieb/Abtrieb:	28 Nm / 28 Nm
Maximale Drehzahl Antrieb/Abtrieb:	$3000 \frac{1}{min}$ / $3000 \frac{1}{min}$
Dauerleistung:	3000 W
Gesamtmasse:	65 kg + (110 kg)
Gesamtkosten:	23.900 €

Besonderheiten:

Bremsmoment kann nicht direkt eingestellt werden, sondern nur abhängig vom Motorschlupf. Dieser ist drehzahlabhängig und ändert sich somit bei Änderung der Antriebsdrehzahl.
Ein weiterer Vorteil ist die Energierückgewinnung.

Diese Varianten (A-K) werden anschließend einer Bewertung nach VDI 2225 unterworfen.

Urteilsschema für die Bewertung nach VDI 2225

Um eine möglichst objektive Bewertung zu gewährleisten wird ein Urteilsschema erstellt. In diesem Urteilsschema sind den Punktezahlen 0 bis 4 Eigenschaften, in Form von Zahlenwerten oder verbalen Beschreibungen, zugeordnet. Dieses Tool vermindert nicht nur Bewertungsfehler, es erhöht auch die Nachvollziehbarkeit.

Nr.	Bewertungskriterium	4 Punkte	3 Punkte	2 Punkte	1 Punkte	0 Punkte
1	Gesamt Baugröße des Prüfstands	Idealmaße laut Anforderungsliste	Zwischenwert	Zwischenwert	Zwischenwert	Mindestanforderungen
2	Gesamtmasse des Prüfstands	0-190Kg	191-220Kg	221-250Kg	251-280Kg	>281Kg
3	Messauflösung	0,10%	Zwischenwert	Zwischenwert	Zwischenwert	1%
4	Anzeige der Messwerte	einheitliche, übersichtliche Anzeige an einem PC	einheitliche, übersichtliche Anzeige	übersichtliche Anzeige	mäßig übersichtliche Anzeige	ausreichende Anzeigeart
5	Drehzahl einstellbar	präzise, Einstellung stufenlos	Einstellung stufenlos	übersichtliche Einstellung in Stufen	Einstellung in Stufen	Einstellung in groben Stufen
6	Drehmoment einstellbar	präzise, stufenlose, von Drehzahl unabhängige Einstellmöglichkeit	stufenlose, von Drehzahl unabhängige Einstellmöglichkeit	stufenlose Einstellmöglichkeit	Einstellung in Stufen	Festdrehmoment
7	Drehzahlbereich Antrieb	0-3000 $\frac{1}{min}$	0-2500 $\frac{1}{min}$	0-2000 $\frac{1}{min}$	10-1500 $\frac{1}{min}$	10-1000 $\frac{1}{min}$
8	Drehzahlbereich Abtrieb	0-3000 $\frac{1}{min}$	0-2500 $\frac{1}{min}$	10-1500 $\frac{1}{min}$	10-1000 $\frac{1}{min}$	100-500 $\frac{1}{min}$
9	Drehmomentbereich Antrieb	0-100Nm	0-50Nm	0-20Nm	0-10Nm	0 bis <10Nm
10	Drehmomentbereich Abtrieb	0-200Nm	0-100Nm	0-50Nm	0-20Nm	0 bis <20Nm
11	Antriebsleistung	3000W	2000W	1000W	500W	100W
12	Getriebeprüf temperaturbereich	20°C-80°C	Zwischenwert	Zwischenwert	Zwischenwert	25°C-35°C
13	Aufheizzeit	hoher Energieeintrag	Zwischenwert	Zwischenwert	Zwischenwert	geringer Energieeintrag
14	Oberflächentemperatur	< 43°C	Zwischenwert	Zwischenwert	Zwischenwert	< 48°C
15	Austausch des Prüfgetriebes	sehr einfach	Zwischenwert	Zwischenwert	Zwischenwert	komplex
16	Getriebeeinheit-Masse	< 15Kg	Zwischenwert	Zwischenwert	Zwischenwert	< 30KG
17	Selbsterklärende Bedienung	kann intuitiv bedient werden	Zwischenwert	Zwischenwert	Zwischenwert	bedarf ausführlicher Einweisung
18	Anschaulichkeit	sehr anschaulich mit Bezug zum industriellen Einsatz	Zwischenwert	Zwischenwert	Zwischenwert	mäßig anschaulich
19	Geräuschemissionen	< 55dB	Zwischenwert	Zwischenwert	Zwischenwert	>85dB
20	Arbeitsposition	ergonomisch	Zwischenwert	Zwischenwert	Zwischenwert	unvorteilhaft
21	Energieeffizienz	sehr energieeffizient	Zwischenwert	Zwischenwert	Zwischenwert	hoher Energieverlust
•						
•						
•						
30	Geringer Montageaufwand	gering	Zwischenwert	mittel	Zwischenwert	hoch
31	Recyclinggerechte Konstruktion	weiterverwendbar	Zwischenwert	Zwischenwert	Zwischenwert	Problemstoff
32	Anschaffungskosten	< 10.000€	10.000€ bis 20.000€	20.001€ bis 30.000€	30.001€ bis 35.000€	> 35.000€
33	Erweiterbarkeit des Prüfstands	sehr gut erweiterbar	gut	mittel	mäßig	Erweiterung problematisch

Tabelle 12 Urteilsschema

Das komplette Urteilsschema befindet sich im Anhang.

Bewertung nach VDI 2225

HAW Hamburg Maschinenbau und Produktion		BEWERTUNGLISTE nach VDI 2225 für Getriebeprüfstand										Moritz Faber Seite 1 von 3	
		P: vorhandene Variante (P): mögl. bei Verbesserung	Gewichtungs- faktor	Variante A		Variante B		Variante C		Variante D			
Merkmal	Nr.	Bewertungskriterium		P	(P)	P	(P)	P	(P)	P	(P)		
Handhabung	1	Gesamt Baugröße des Prüfstands	1	3		3		2		4			
	2	Gesamtmasse des Prüfstands	1	2		1		1		4			
	3	Messauflösung	1	4		4		3	4	4			
	4	Anzeige der Messwerte	1	3		4		4		4			
	5	Drehzahl einstellbar	1	4		4		3		4			
	6	Drehmoment einstellbar	1	4		4		3		1			
	7	Drehzahlbereich Antrieb	2	4		4		4		4			
	8	Drehzahlbereich Abtrieb	2	4		4		4		4			
	9	Drehmomentbereich Antrieb	2	3		3		2		0			
	10	Drehmomentbereich Abtrieb	2	1		2		2		0			
	11	Antriebsleistung	2	4		4		4		1			
	12	Getriebeprüftemperaturbereich	1	3		3		3		2			
	13	Aufheizzeit	1	3		3		3		1			
	14	Oberflächentemperatur	1	3		3		3		4			
	15	Austausch des Prüfgetriebes	1	4		3	4	2		3	4		
	16	Getriebeeinheit-Masse	1	4		4		4		4			
	17	Selbsterklärende Bedienung	1	3		4		2		3			
	18	Anschaulichkeit	5	4		4		2		3			
	19	Geräuschemissionen	1	4		4		2		4			
	20	Arbeitsposition	1	4		4		4		4			
	21	Energieeffizienz	1	2		2		3		3			
	22	Energieversorgung	1	4		4		3		4			
	23	Zentraler Ein-Ausschalter	1	4		4		4		4			
	24	Ansprechendes Design	1	4		4		3		3			
	25	Professionelle Laboranmutung	1	4		4		4		3			
	26	Zuverlässigkeit	1	4		4		4		4			
	27	Lebensdauer	1	4		4		4		4			
	28	Geringer Instandhaltungsaufwand	1	4		4		3		4			
Auf-,Um-,Abbau	29	Geringer Fertigungsaufwand	1	3		3		1		2			
	30	Geringer Montageaufwand	1	3		3		1		2			
	31	Recyclinggerechte Konstruktion	1	4		4		3		4			
	32	Anschaffungskosten	2	3		1		2		2			
	33	Erweiterbarkeit des Prüfstands	2	4		4		2		2			
	34												
? Beurteilung unsicher		Summe		154		152	(153)	122	(123)	124	(125)		
↑ Tendenz: besser		Rangfolge		2		3		10		9			
↓ Tendenz: schlechter													
Bemerkung/Begründung, Schwachstelle, Verbesserung für Variante / Kriterium													
13	Kurze Aufheizzeit, wenn Temperaturwechsel gewünscht												
14	Oberflächentemperatur von Flächen die berührt werden können												
15	Aufwand der nötig ist um das zu prüfende Getriebe zu wechseln												
16	Masse die angehoben werden muss												
3 Variante C	Verbesserung: Ändern der Temperaturmessung auf Messmethode mit elektrischem Widerstand												
15 Variante B	Verbesserung: Ändern auf Klauenkupplung												
15 Variante D	Verbesserung: Ändern auf Klauenkupplung												
Entscheidung	Variante G												
Datum: 12.01.2016		Bearbeitet von: Moritz Faber											

Tabelle 13 Bewertungsliste nach VDI 2225 Seite 1

HAW Hamburg Maschinenbau und Produktion		BEWERTUNGSLISTE nach VDI 2225 für Getriebeprüfstand								Moritz Faber Seite 3 von 3	
		P: vorhandene Variante (P): mögl. bei Verbesserung	Gewichtungs- faktor	Variante I		Variante K					
Merkmal	Nr.	Bewertungskriterium		P	(P)	P	(P)	P	(P)	P	(P)
Handhabung	1	Gesamt Baugröße des Prüfstands	1	3		3					
	2	Gesamtmasse des Prüfstands	1	4		4					
	3	Messauflösung	1	3	4	4					
	4	Anzeige der Messwerte	1	4		4					
	5	Drehzahl einstellbar	1	4		4					
	6	Drehmoment einstellbar	1	3		2					
	7	Drehzahlbereich Antrieb	2	4		4					
	8	Drehzahlbereich Abtrieb	2	4		4					
	9	Drehmomentbereich Antrieb	2	3		3					
	10	Drehmomentbereich Abtrieb	2	4		1					
	11	Antriebsleistung	2	4		4					
	12	Getriebeprüftemperaturbereich	1	3		3					
	13	Aufheizzeit	1	3		3					
	14	Oberflächentemperatur	1	3		3					
	15	Austausch des Prüfgetriebes	1	4		4					
	16	Getriebeeinheit-Masse	1	4		4					
	17	Selbsterklärende Bedienung	1	4		2					
	18	Anschaulichkeit	5	4		3					
	19	Geräuschemissionen	1	3		4					
	20	Arbeitsposition	1	4		4					
	21	Energieeffizienz	1	2		4					
	22	Energieversorgung	1	4		3					
	23	Zentraler Ein-Ausschalter	1	4		4					
	24	Ansprechendes Design	1	3		4					
	25	Professionelle Laboranmutung	1	4		4					
	26	Zuverlässigkeit	1	3		4					
	27	Lebensdauer	1	3		4					
	28	Geringer Instandhaltungsaufwand	1	2		4					
	Auf-,Um-,Abbau	29	Geringer Fertigungsaufwand	1	2		3				
		30	Geringer Montageaufwand	1	1		3				
		31	Recyclinggerechte Konstruktion	1	4		4				
		32	Anschaffungskosten	2	2		2				
		33	Erweiterbarkeit des Prüfstands	2	4		4				
		34									
?	Beurteilung unsicher		Summe	151	(152)	148					
↑	Tendenz: besser		Rangfolge	4		6/7					
↓	Tendenz: schlechter										
Bemerkung/Begründung, Schwachstelle, Verbesserung für Variante / Kriterium											
13	Kurze Aufheizzeit, wenn Temperaturwechsel gewünscht										
14	Oberflächentemperatur von Flächen die berührt werden können										
15	Aufwand der nötig ist um das zu prüfende Getriebe zu wechseln										
16	Masse die angehoben werden muss										
3 Variante I	Verbesserung: Ändern der Temperaturmessung auf Messmethode mit elektrischem Widerstand										
Entscheidung Variante G											
Datum: 12.01.2016		Bearbeitet von: Moritz Faber									

Tabelle 15 Bewertungsliste nach VDI 2225 Seite 3

Auswahl

Die Bewertung mit Hilfe der Bewertungsliste nach VDI 2225 ergibt, dass die Variante G die meisten Punkte erhält. Die Variante G besteht aus einem Frequenzumrichter, einem Asynchronmotor, einer kombinierten Messwelle für Drehmoment und Drehzahl, elektrischer Temperaturmessung, Klauenkupplungen und einer Magnetpulverbremse. Die hohe Punktzahl liegt an den folgenden Vorteilen:

Vorteile Frequenzumrichter und Asynchronmotor

- Diese Kombination ist in der Industrie sehr verbreitet und sehr bedienerfreundlich.
- Sehr hoher Wirkungsgrad (Frequenzumrichter 98%, Asynchronmotor 82%).
- Geringer Montageaufwand.
- Der Frequenzumrichter ist praktisch „out of the box“ betriebsfertig und bedarf nur wenig Parametrisierung.
- Kostengünstig.
- Integrierte Kommunikationsschnittstellen für Erweiterungen.
- Frequenzumrichter und Motor sind praktisch wartungsfrei.
- Robust bei Netzschwankungen und anderen äußeren Einwirkungen.
- Kompakter Aufbau.
- Einfache Bedienung über das eingebaute „Basic Operator Panel“.
- Sanfter Anlauf über Anfahrampen.
- Frequenzumrichter erlauben ein konstant hohes Motordrehmoment bis zur Motornenn Drehzahl.
- Asynchronmotoren sind sehr langlebig.
- Große Drehzahltauglichkeit.

Vorteile Klauenkupplung:

- Gleicht Axialversatz aus.
- Gleicht Fluchtungsfehler aus.
- Dämpft stoßartige Belastungen.
- Lässt sich werkzeuglos trennen (durch Auseinanderziehen).
- Kostengünstig.
- Die gewählte Variante wird mit Taper-Spannbuchsen verwendet, die für Wellen mit Passfeder oder glatten Wellenenden ($d = 18$ bis 42mm) verwendet werden können. Dies erlaubt eine große Flexibilität.

Vorteile HBM Messwelle, Elektrische Temperaturmessung und Messwertverarbeitung am PC

- Sehr genaue Erfassung von Drehzahl, Drehmoment und Temperatur mit einem Messsystem.
- Das Messsystem ist gut erweiterbar.
- Erfahrungen und Know-how mit Messtechnik dieses Herstellers.
- Kompatibilität mit anderen Prüfständen und Messeinrichtungen des Labors.
- Das Messsystem ist zukunftsorientiert.
- Die Messwertausgabe über einen PC ist sehr übersichtlich und erlaubt eine weitere Datenverarbeitung und Auswertung.

Vorteile Magnetpulverbremse:

- Das Bremsmoment ist nur von dem Erregerstrom abhängig. Eine Abhängigkeit zur Drehzahl besteht nicht. Dies erleichtert eine präzise Einstellung und fördert die Reproduzierbarkeit.
- Der Bremsvorgang erfolgt verschleißfrei.
 - Hohe Lebensdauer.
 - Praktisch wartungsfrei.
 - Keine Emission von Stäuben.
- Magnetpulverbremsen arbeiten vibrations- und geräuscharm.
- Die notwendige Leistung für den Erregerstrom ist gering.
- Auf recht wenig Bauraum können Magnetpulverbremsen ein beachtliches Drehmoment erreichen.
- Das Restmoment bei abgeschaltetem Erregerstrom ist gering.
- Das Bremsmoment reagiert schnell auf eine Änderung des Erregerstroms.

Prüfen

An dieser Stelle wird eine Prüfung anhand der Anforderungsliste durchgeführt, um sicherzustellen, dass alle Anforderungen von der ausgewählten Variante erfüllt werden. Es zeigt sich eine gute Erfüllung der Anforderungen. Die exakten Ergebnisse werden an dieser Stelle nicht dargestellt, da eine gleichwertige Prüfung am Ende der Entwurfsphase stattfindet und die Ergebnisse dort aufgelistet sind.

Außerdem wird überprüft, ob technische und technologische Probleme absehbar sind, die die weitere Entwicklung und Fertigung belasten könnten. Zu diesem Zweck wird die gewählte Variante G sowie die Produktarchitektur herangezogen und anhand der Hauptmerkmaliste, die als Checkliste angewendet wird, auf Schwachstellen und Probleme untersucht.

Die Untersuchung ergibt, dass keine schweren Probleme zu erwarten sind.

Variation

Die Variante G basiert auf folgendem Getriebeprüfstandschemata (Basis)

Motor - Drehzahl- und Drehmomentmessung - Getriebe - Drehzahl- und Drehmomentmessung - Leistungsbremse



Abbildung 21 Basisvariante G

Die folgenden Prüfmöglichkeiten bietet der Basisentwurf:

- Wirkungsgrad messbar in Abhängigkeit der Drehzahl
- Wirkungsgrad messbar in Abhängigkeit der Getriebetemperatur.
- Wirkungsgrad messbar in Abhängigkeit des Drehmomentes.
- Getriebeverhalten in Extremsituationen, z.B. durch vorheriges Vereisen des Prüfgetriebes oder durch Verunreinigungen im Schmierstoff.
- Wirkungsgrad messbar mit unterschiedlichen Schmierstoffen / Viskositäten.
- Getriebeverhalten bei Schmierstoffmangel.
- Getriebeverhalten bei Überlastbetrieb.
- Temperaturverteilung am Getriebe mit Thermokamera ermittelbar.
- Temperaturverlauf durch Betrieb ermittelbar. Dies erlaubt Rückschlüsse auf Wärmeabgabe.

Geprüft werden können Getriebe ohne Wellenversatz (in der Regel zweistufige Stirnradgetriebe).

Getriebe bis zu einer Baugröße 350 mm (von Welle zu Welle) x 250 mm Höhe x 200 mm Tiefe und einer maximalen Wellenhöhe von 150 mm können als Prüfgetriebe verwendet werden.

Die maximale Antriebsdrehzahl liegt bei 3000 1/min

Das maximale Antriebsmoment liegt bei 28 Nm

Die Antriebsleistung beträgt 3kW

Das maximale Bremsmoment liegt bei 350 Nm

Bis Bremsdrehzahlen von 2000 1/min

Dauerhafte Bremsleistung beträgt: 3,3 kW

Durch eine Erweiterung und Umstrukturierung ergibt sich eine erweiterte Variante mit folgendem Getriebeprüfstandschemata (Erweitert)

Motor - Drehzahl- und Drehmomentmessung - Getriebe - Zwischenmesswelle - Getriebe - Drehzahl- und Drehmomentmessung - Leistungsbremse

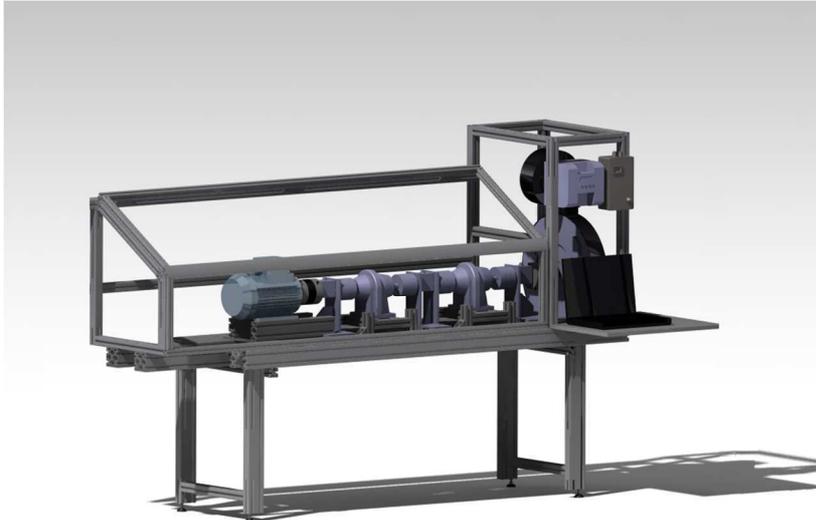


Abbildung 22 Erweiterte Variante G

Durch das Einfügen eines zweiten Prüfgetriebes und einer dritten Messwelle vergrößern sich die Prüfmöglichkeiten folgendermaßen:

- + Direktvergleich zwischen zwei Getrieben sowie mehr Versuche ohne zwischendurch umzubauen
- + Direktvergleich zwischen Untersetzung und Übersetzung
- + Direktvergleich von zwei Übersetzungsverhältnissen
- + Direktvergleich von zwei unterschiedlichen Schmierstoffen
- + Direktvergleich zwischen zwei Getrieben unterschiedlicher Hersteller
- + Direktvergleich von zwei Getrieben mit unterschiedlichen Schmierstofffüllständen
- + Direktvergleich zwischen zwei Getrieben mit und ohne Zusatzkühlung
- + Mit einer „Vorübersetzung“ sind höhere Antriebsmomente möglich
- + Die Verwendung von zwei Getrieben mit dem gleichen Wellenversatz ist möglich (hin und zurück)

Durch die Vergrößerung der Prüffläche und das Einfügen der Messeinheit vergrößern sich die Prüfmöglichkeiten erheblich. Der Prüfstand kann so flexibler eingesetzt werden. Außerdem ermöglicht diese Variante mehr Erweiterungsmöglichkeiten.

Im Wesentlichen ist dafür mehr Bauraum notwendig, der aber noch innerhalb der Höchstmaße der Anforderungsliste liegt (Stellfläche Basisvariante: 2,5 m x 0,6 m / Stellfläche erweiterte Variante 2,3 m x 1,0 m). Außerdem entstehen aufgrund einer zusätzlichen Messwelle und Temperaturfühler (und ein wenig mehr Material für Prüftisch und Abdeckung) zusätzliche Kosten.

Auf Kundenwunsch und auf Grund der vielen Vorteile fällt die Wahl auf den erweiterten Entwurf.

Als weitere Änderung wurde vorgeschlagen, die Messwellen durch Messflansche zu ersetzen, da diese genauer messen können. Dies wurde aus Kostengründen vom Kunden abgelehnt (Preiszusammenstellung siehe Anhang)

6 Entwerfen und Auslegen der mechanischen Komponenten

Entwurf

Für eine angenehme Arbeitsposition ist eine Tischkonstruktion notwendig. Um die Sicherheit zu gewährleisten wurde ein Gehäuse konstruiert, das mit einer Klappe ausgestattet ist, die eine Umrüstung in dem spannungsfreiem Zustand ermöglicht. Die komplette Konstruktion beruht auf einem Baukastensystem (ITEM) mit Aluminiumprofilen, Verbindungselementen und Flächenelementen. Das Baukastensystem ermöglicht einen individuellen Aufbau, der auch zu einem späteren Zeitpunkt für spezielle Prüfaufgaben oder Systemerweiterungen angepasst werden kann.

Die Befestigung der Module erfolgt mit Hilfe von Schraubverbindungen in den Nuten der Aluminiumprofile.

Um die unterschiedlichen Getriebe, die unterschiedliche Anschlussmaße haben, auf dem Prüfstand zu montieren, wurden Getriebeböcke konstruiert. Diese lassen sich individuell in der Höhe verstellen, um die Getriebewelle fluchtend zum Motor und der Bremse auszurichten. Außerdem kann der Abstand der Tragelemente auf das Bohrungsmaß des Getriebegehäuses angepasst werden. Befestigt wird der Getriebebock mittels Automatik-Winkelverbindern. Diese bestehen aus einem Winkelement mit vormontierten Nutensteinen. Für die Befestigung wird der Winkelverbinder auf die Aluminiumprofile gelegt, so dass sich die Nutensteine in den Nuten der Profile befinden. Anschließend muss die Schraube nur etwa 90° gedreht werden. In den ersten 45° verdrehen sich die Nutensteine so, dass sie einen Hinterschnitt in der Nut bilden und nicht mehr herausgezogen werden können. Die weiteren 45° dienen zum Erzeugen der Spannung in der Schraubverbindung.

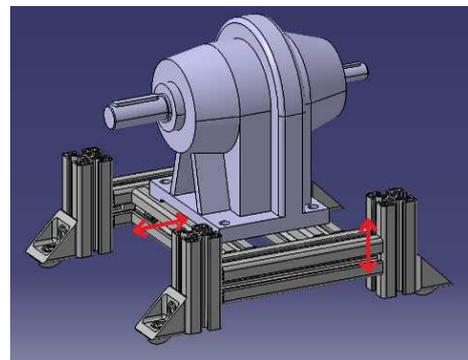


Abbildung 23 Getriebebock

Um eine ausreichende Kühlung für den Motor und die Getriebe zu gewährleisten ist in der Mitte der Tischkonstruktion ein Lochblech vorgesehen. Durch dieses Lochblech kann kühle Luft einströmen, die sich an den Modulen erwärmt und auf der Rückseite des Prüfstands durch ein weiteres Lochblech entweicht. Bei Bedarf können unterhalb des Lochbleches 120mm Lüfter montiert werden um die Wärmeabfuhr zu verbessern.

Die Abwärme der Magnetpulverbremse kann innerhalb des hohen Teils des Prüfstandes frei entweichen.

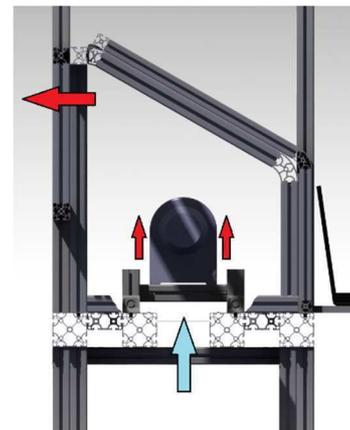


Abbildung 24 Abwärmestrom

Das Motormodul besteht aus dem Asynchronmotor, der über eine Faltenbalgkupplung mit einer Messwelle (50 Nm) verbunden ist. Für Stabilität sorgt ein Gestell das die Montage auf dem Prüftisch ermöglicht. Die Klauenkupplung wird mit einer Spannbuchse an der Messwelle befestigt. Die Kupplung lässt sich leicht trennen und ist die Schnittstelle zum Getriebemodul.

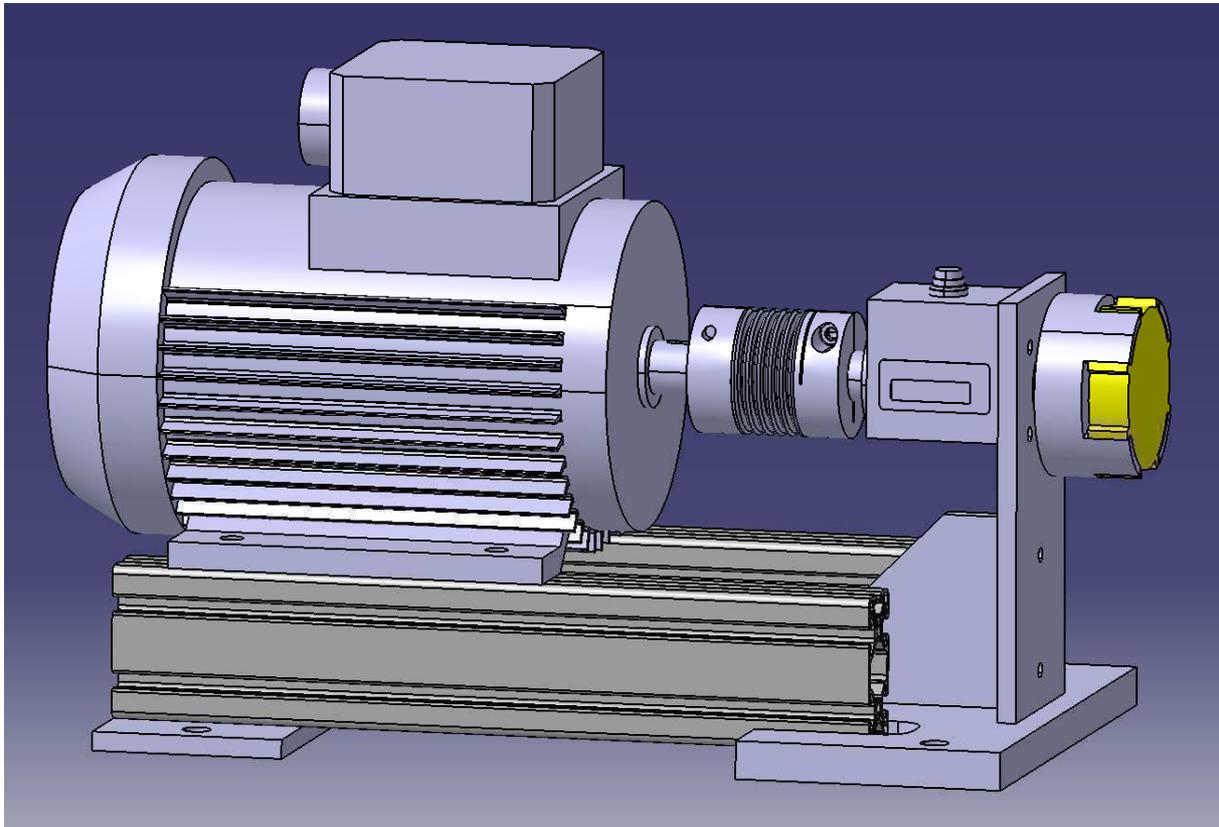


Abbildung 25 Antriebsmodul

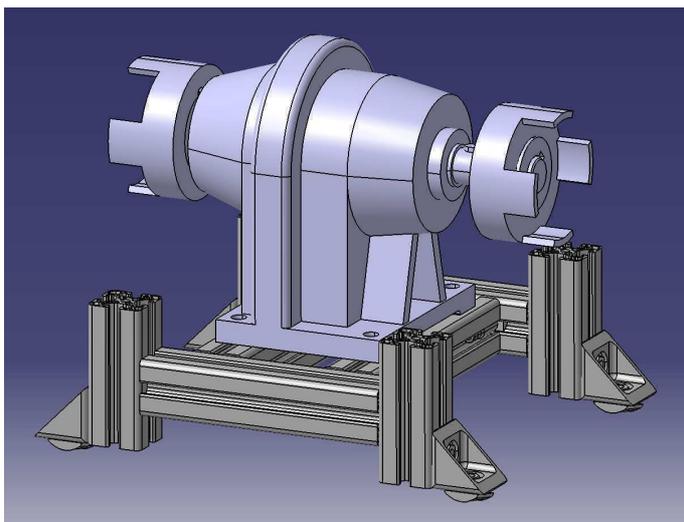


Abbildung 26 Getriebemodul

Passend zu den Klauenkupplungen gibt es Buchsen für eine Vielzahl von unterschiedlichen Wellendurchmessern. Die Buchsen sind passend für glatte Wellenenden, aber auch für Wellen mit Passfedernut. Somit besteht die Möglichkeit, die Kupplung unkompliziert an Getrieben mit unterschiedlichen Wellen zu montieren.

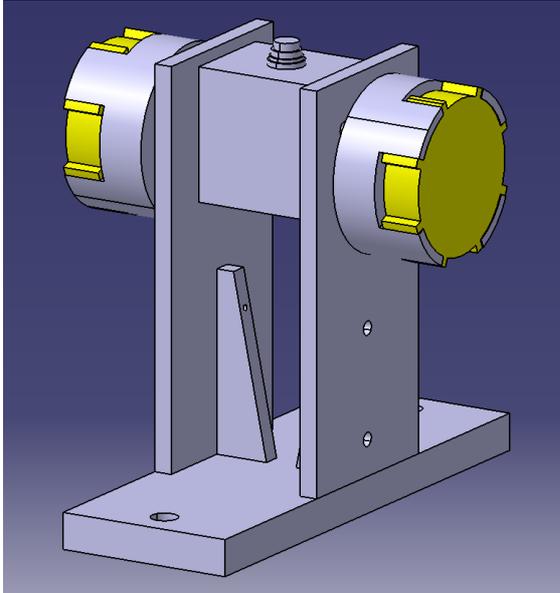


Abbildung 27 Zwischenmesswellenmodul

Die Zwischenmesswelle (200 Nm) ermöglicht es, zwei Getriebe gleichzeitig zu prüfen. Die Daten für das erste Getriebe werden aus den Messdaten der Messwelle im Motormodul und aus den Daten der Zwischenmesswelle ermittelt. Die Daten für das zweite Getriebe können aus den Messdaten der Zwischenmesswelle und der Messwelle der Bremseinheit bestimmt werden.

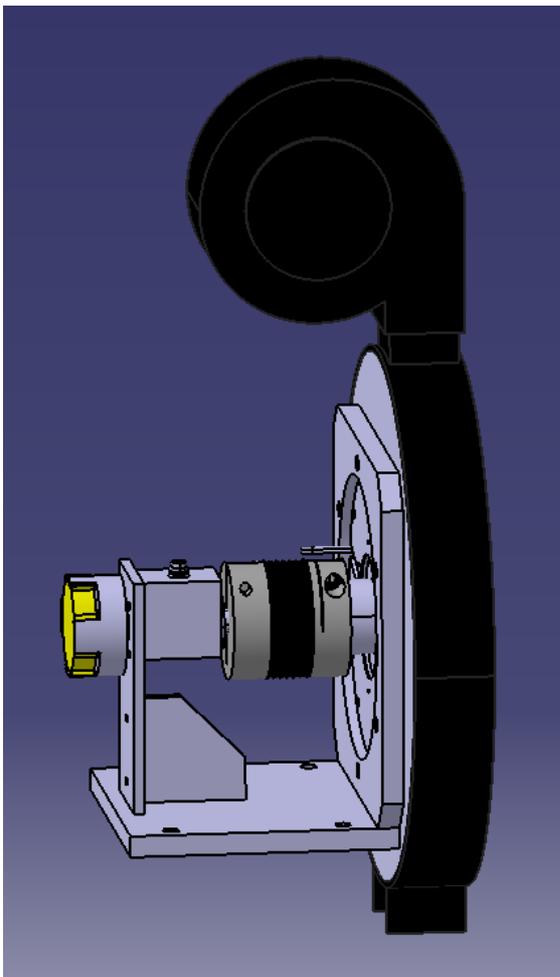


Abbildung 28 Bremsmodul

In der Bremseinheit befindet sich eine weitere Messwelle (200 Nm). Erzeugt wird das Bremsmoment mit Hilfe der aktiv gekühlten Magnetpulverbremse. Nachteilig ist, dass der Lüfter ein Geräuschlevel von 67 dB hat.

Die Module werden in folgender Form zusammengestellt:

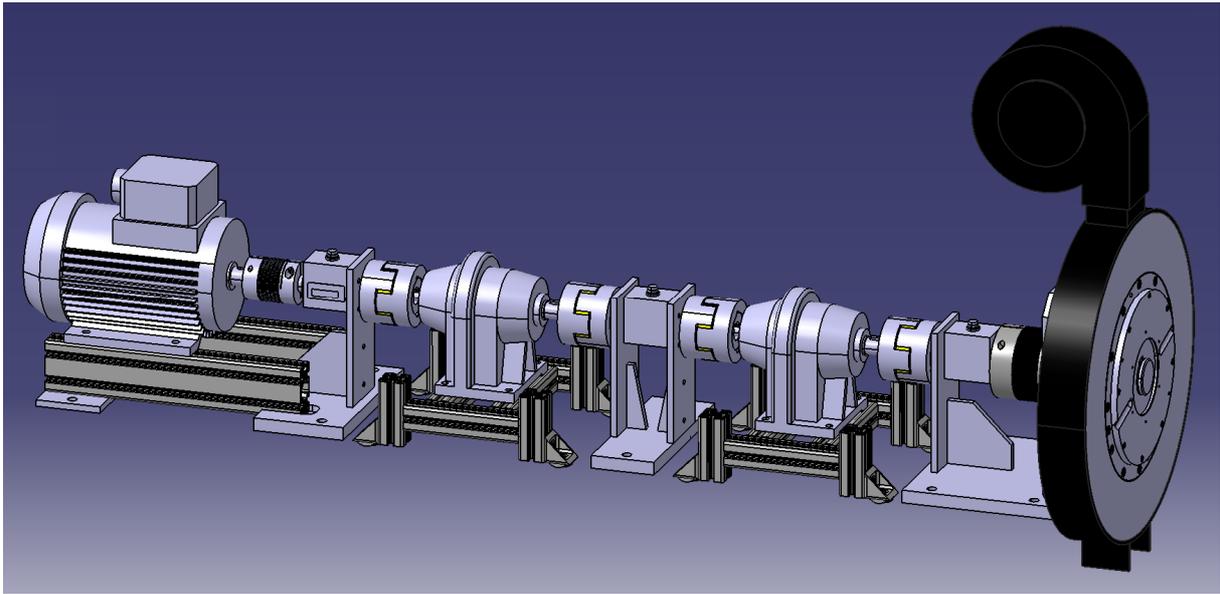


Abbildung 29 Modulzusammenstellung

Befestigt werden die Module im Gehäusemodul, das auch die Steuer und Messtechnik trägt.

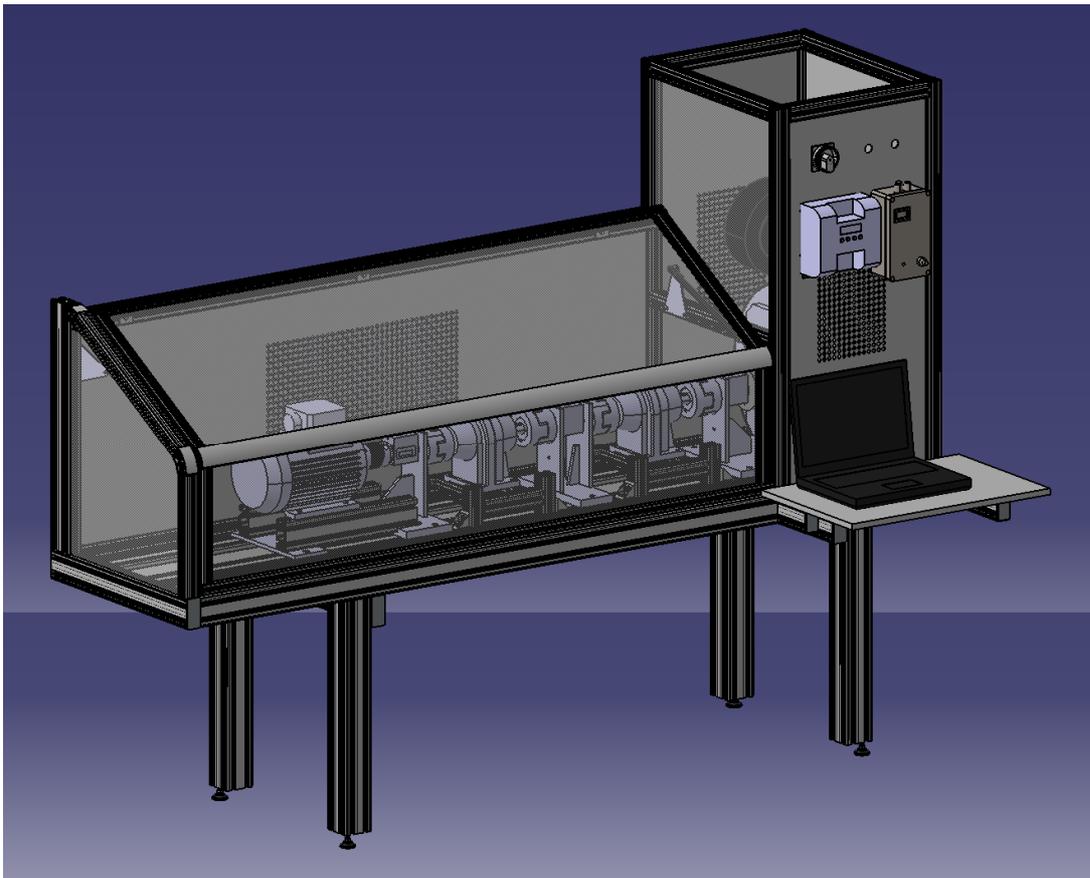


Abbildung 30 Gehäusemodul

Wellenberechnung

Die Tragfähigkeitsberechnung wurde nach DIN 743 durchgeführt.

Ausgangswerte:

$d_{eff} = 70mm$	Größter Durchmesser
$d = 50mm$	Kleinster Durchmesser
$R_z = 63\mu m$	Rauheit
$K_A = 1,2$	Anwendungsfaktor
$d_B = 16mm$	Bezugsdurchmesser
$S_{min} = 1,5mm$	Sicherheit

Stoffwerte E295:

Stoffwerte nach DIN 743-3 (10.2000)Anhang

$$\sigma_B(d_B) = 490 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_S(d_B) = 295 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{zdW}(d_B) = 195 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{bW}(d_B) = 245 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{tW}(d_B) = 145 \frac{N}{mm^2}$$

Berechnung

Torsionsmoment:

$$M_t = M_{tz} \cdot K_A = 350Nm \cdot 1,2 = 420Nm$$

Torsionsspannung:

$$\tau_{tm} = \frac{M_t}{W_t}$$

$$W_t = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot (50mm)^3}{16} = 24544mm^3$$

$$\tau_{tm} = \frac{M_t}{W_t} = \frac{420Nm \cdot 1000mm/m}{24544mm^3} = 17,11 \frac{N}{mm^2}$$

Geometrische Größeneinflussfaktoren:

$$K_1 = 1 - 0,26 \cdot \log\left(\frac{d_{eff}}{2 \cdot d_B}\right) = 1 - 0,26 \cdot \log\left(\frac{70mm}{2 \cdot 16mm}\right) = 0,912$$

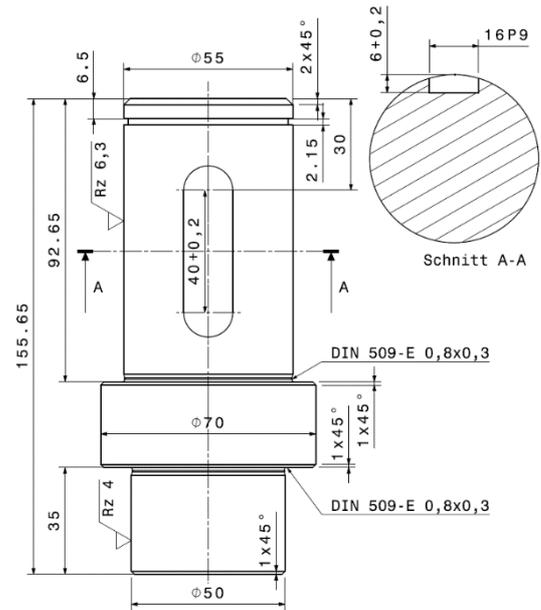


Abbildung 31 Welle Bremse

$$K_2 = 1 - 0,2 \cdot \frac{\log\left(\frac{d}{7,5\text{mm}}\right)}{\log(20)} = 1 - 0,2 \cdot \frac{\log\left(\frac{50}{7,5\text{mm}}\right)}{\log(20)} = 0,873$$

Einflussfaktor der Oberflächenrauheit:

$$K_{f\sigma} = 1$$

Einflussfaktor der Oberfläche für Torsion:

$$K_{f\tau} = 1$$

Kerbwirkungszahl für Torsion:

$$\sigma_B(d) = K_1 \cdot \sigma_B(d_B) = 0,912 \cdot 490 \frac{N}{\text{mm}^2} = 445,9 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\beta_\sigma(d_{Bk}) = 3 \cdot \left(\frac{\sigma_B(d)}{\sigma_B(d_B)}\right)^{0,38} = 3 \cdot \left(\frac{445,9 \frac{N}{\text{mm}^2}}{490 \frac{N}{\text{mm}^2}}\right)^{0,38} = 2,894$$

$$\beta_\tau(d_{Bk}) = 0,56 \cdot \beta_\sigma(d_{Bk}) + 0,1 = 0,56 \cdot 2,894 + 0,1 = 1,72$$

$$K_3(d) = 1 - 0,2 \cdot \log(\beta_\sigma(d_{Bk})) \cdot \left(\frac{\log\left(\frac{d}{7,5\text{mm}}\right)}{\log(20)}\right)$$

$$K_3(d) = 1 - 0,2 \cdot \log(2,894) \cdot \left(\frac{\log\left(\frac{50\text{mm}}{7,5\text{mm}}\right)}{\log(20)}\right) = 0,942$$

$$K_3(d_{Bk}) = 1 - 0,2 \cdot \log(\beta_\sigma(d_{Bk})) \cdot \left(\frac{\log\left(\frac{d_{Bk}}{7,5\text{mm}}\right)}{\log(20)}\right)$$

$$K_3(d_{Bk}) = 1 - 0,2 \cdot \log(2,894) \cdot \left(\frac{\log\left(\frac{40\text{mm}}{7,5\text{mm}}\right)}{\log(20)}\right) = 0,948$$

$$\beta_\sigma = \beta_\sigma(d_{Bk}) \cdot \frac{K_3(d_{Bk})}{K_3(d)} = 2,894 \cdot \frac{0,948}{0,942} = 2,91$$

$$\beta_\tau = \beta_\tau(d_{Bk}) \cdot \frac{K_3(d_{Bk})}{K_3(d)} = 1,72 \cdot \frac{0,948}{0,942} = 1,73$$

Gesamteinflussfaktor:

$$K_t = \left(\frac{1}{K_{ft}} + \frac{\beta_\tau}{K_2}\right) - 1 = \left(\frac{1}{1} + \frac{1,73}{0,873}\right) - 1 = 1,982$$

Bauteilfestigkeit:

$$\tau_{tWk} = \tau_{tw}(d_B) \cdot \frac{K_1}{K_t} = 145 \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{0,912}{1,982} = 66,57 \frac{N}{mm^2}$$

Einflussfaktor der Mittelspannungsempfindlichkeit:

$$\psi_t = \frac{\tau_{tWk}}{2 \cdot K_1 \cdot \sigma_B(d_B) - \tau_{tWk}} = \frac{66,57}{2 \cdot 0,912 \cdot 490 \frac{N}{mm^2} - 66,57} = 0,175$$

Vergleichsmittelspannung:

$$\sigma_{mv} = \sqrt{\sigma_{mv}^2 + 3 \cdot \tau_{tm}^2} = \sqrt{0 + 3 \cdot \left(17,11 \frac{N}{mm^2}\right)^2} = 29,64 \frac{N}{mm^2}$$
$$\tau_{mv} = \frac{\sigma_{mv}}{\sqrt{3}} = \frac{29,64}{\sqrt{3}} = 17,11 \frac{N}{mm^2}$$

Bauteil Gestaltfestigkeit mit Berücksichtigung der Mittelspannung:

$$\tau_{tADk} = \tau_{tWk} - \psi_t \cdot \tau_{mv} = 66,57 \frac{N}{mm^2} - 0,175 \cdot 17,11 \frac{N}{mm^2} = 63,58 \frac{N}{mm^2}$$

Sicherheit (für reine Torsionsbelastung):

$$S = \frac{\tau_{tADk}}{\tau_{tm}} = \frac{63,58 \frac{N}{mm^2}}{17,11 \frac{N}{mm^2}} = 3,7$$

$$S > S_{min}$$

Passfederberechnung

Ausgangswerte:

$$d_{\text{welle}} = 55\text{mm}$$

$$M_t = 350\text{Nm}$$

$$K_A = 1,2$$

$$\varphi = 1$$

$$n = 1$$

$$h = 10\text{mm}$$

$$b = 16\text{mm}$$

Stoffwerte E295:

$$\sigma_B(d_B) = 490 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Berechnung:

$$h' = 0,45 \cdot h = 0,45 \cdot 10 = 4,5\text{mm}$$

$$l' = l - b = 56 - 16 = 40\text{mm}$$

$$T_{\text{Nenn}} = M_t \cdot K_A = 350\text{Nm} \cdot 1,2 = 420\text{Nm}$$

$$p = \frac{2 \cdot T_{\text{Nenn}} \cdot S_F}{d \cdot h' \cdot l' \cdot n \cdot \varphi} = \frac{2 \cdot 420\text{Nm} \cdot 1,5 \cdot 1000 \frac{\text{mm}}{\text{m}}}{55\text{mm} \cdot 4,5\text{mm} \cdot 40\text{mm} \cdot 1 \cdot 1} = 127,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$p < p_{\text{zul}}$$

Berechnung der Gasdruckfedern für die Klappe

Berechnung der Ersatzmassen

Die Ersatzmassen an den Positionen A bis D ergeben sich aus den Aluminiumprofilen und den Plexiglasscheiben:

Pos. A:

- Profil: $1,73m \cdot 0,93 \frac{kg}{m}$

$$m_A = 1,61kg$$

Pos. B:

- Profil: $0,30m \cdot 0,93 \frac{kg}{m}$
- Profil: $0,30m \cdot 0,93 \frac{kg}{m}$
- Plexiglas: $0,32m \cdot 1,73m \cdot 2,3 \frac{kg}{m^2}$

$$m_B = 1,83kg$$

Pos. C:

- Profil: $1,73m \cdot 1,43 \frac{kg}{m}$

$$m_C = 2,47kg$$

Pos. D:

- Profil: $0,50m \cdot 0,93 \frac{kg}{m}$
- Profil: $0,50m \cdot 0,93 \frac{kg}{m}$
- Plexiglas: $0,52m \cdot 1,73m \cdot 2,3 \frac{kg}{m^2}$

$$m_D = 3,00kg$$

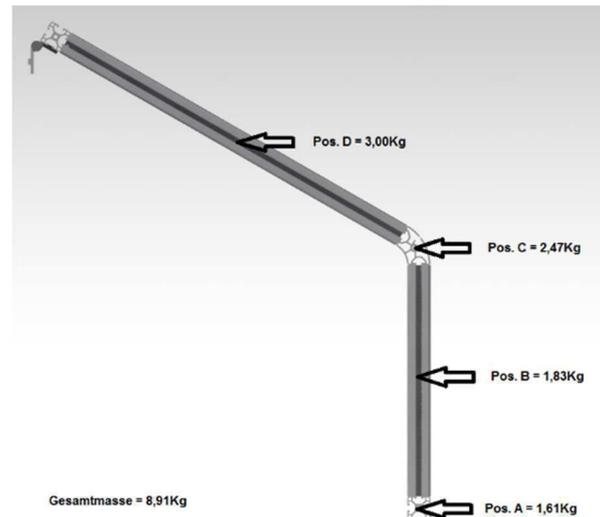


Abbildung 32 Ersatzmassen der Klappe

Berechnung des Gesamtschwerpunktes der Klappe

$$x_s = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_i \cdot x_i}{m_1 + m_2 + m_i} \quad y_s = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + m_i \cdot y_i}{m_1 + m_2 + m_i}$$

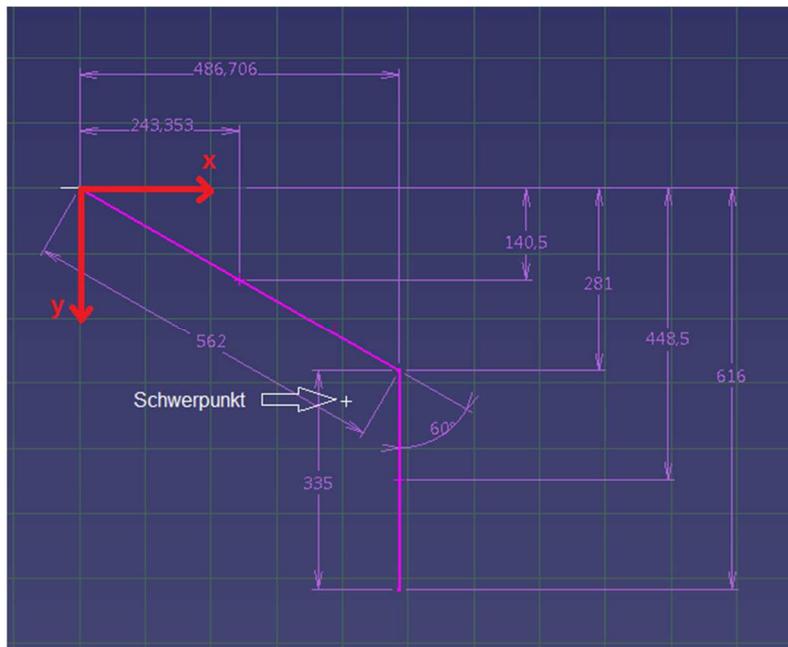


Abbildung 33 Maße der Klappe

$$x_s = \frac{3,00 \cdot \frac{487}{2} + (2,47 + 1,83 + 1,61) \cdot 487}{3,00 + 2,47 + 1,83 + 1,61} = 405 \text{ mm}$$

$$y_s = \frac{3,00 \cdot \frac{281}{2} + 2,47 \cdot 281 + 1,83 \cdot 448,5 + 1,61 \cdot 616}{3,00 + 2,47 + 1,83 + 1,61} = 328 \text{ mm}$$

Berechnung Klappenbewegung

Ziel ist es den Öffnungs- und Schließprozess möglichst komfortabel zu gestalten und einen sicheren Halt im geöffneten Zustand zu erreichen.

Für die Berechnung sind drei signifikante Klappenstellungen gewählt, die beiden Endpositionen (geöffnet und geschlossen) sowie eine waagerechte Stellung, in der das erzeugte Drehmoment auf Grund der Gravitation am größten ist.

Kräfte und Momente ohne Gasdruckfeder

Die Klappe erzeugt in den drei Stellungen (geschlossen, waagerecht, geöffnet) folgende Drehmomente:

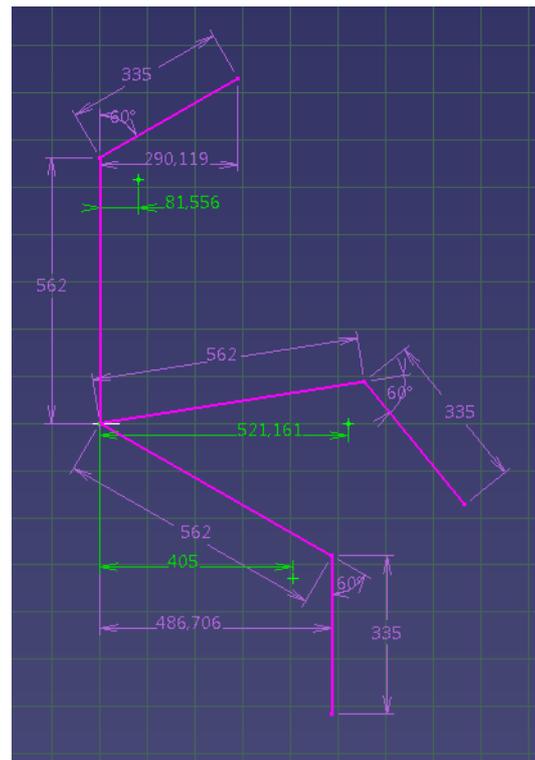


Abbildung 34 Positionen der Klappe

Geöffnet:

$$M_o = m \cdot g \cdot l_o = 8,91 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,082 \text{ m} = 7,2 \text{ Nm}$$

Ohne Unterstützung einer Gasdruckfeder entspricht dies bei einem Hebelarm von $l_H=0,785\text{m}$ einer Haltekraft von 9,1N.

Waagerecht:

$$M_w = m \cdot g \cdot l_w = 8,91 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,521 \text{ m} = 45,5 \text{ Nm}$$

Ohne Unterstützung einer Gasdruckfeder entspricht dies bei einem Hebelarm von $l_H=0,785\text{m}$ einer Haltekraft von 58,0N.

Geschlossen:

$$M_g = m \cdot g \cdot l_g = 8,91 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,405 \text{ m} = 35,4 \text{ Nm}$$

Ohne Unterstützung einer Gasdruckfeder entspricht dies bei einem Hebelarm von $l_H=0,785\text{ m}$ einer Öffnungskraft von 45,1N.

Auslegung der Gasdruckfedern

Geometrisch passt eine Standard Gasdruckfeder

$l_{\text{Ausgefahren}} = 602 \text{ mm}$ mit einem

$\Delta l = 250 \text{ mm}$ gut in den Prüfstand. Diese Standard Federn gibt es mit unterschiedlichen Ausschubkräften. Es sollen zwei Gasdruckfedern verwendet werden, je eine an den Klappenseiten.

Am Rahmen werden Laschen montiert, die die Gasdruckfedern in einem Abstand $x = 82,5 \text{ mm}$ und $y = 116,7 \text{ mm}$ vom Scharnier tragen. An der Klappe werden ebenfalls Laschen montiert. Sie führen die Gasdruckfedern in einem Radius von ca. 485 mm um das Scharnier.

Beim Schließen der Klappe ändert sich die Länge der Gasdruckfeder von 602 mm auf 357 mm .

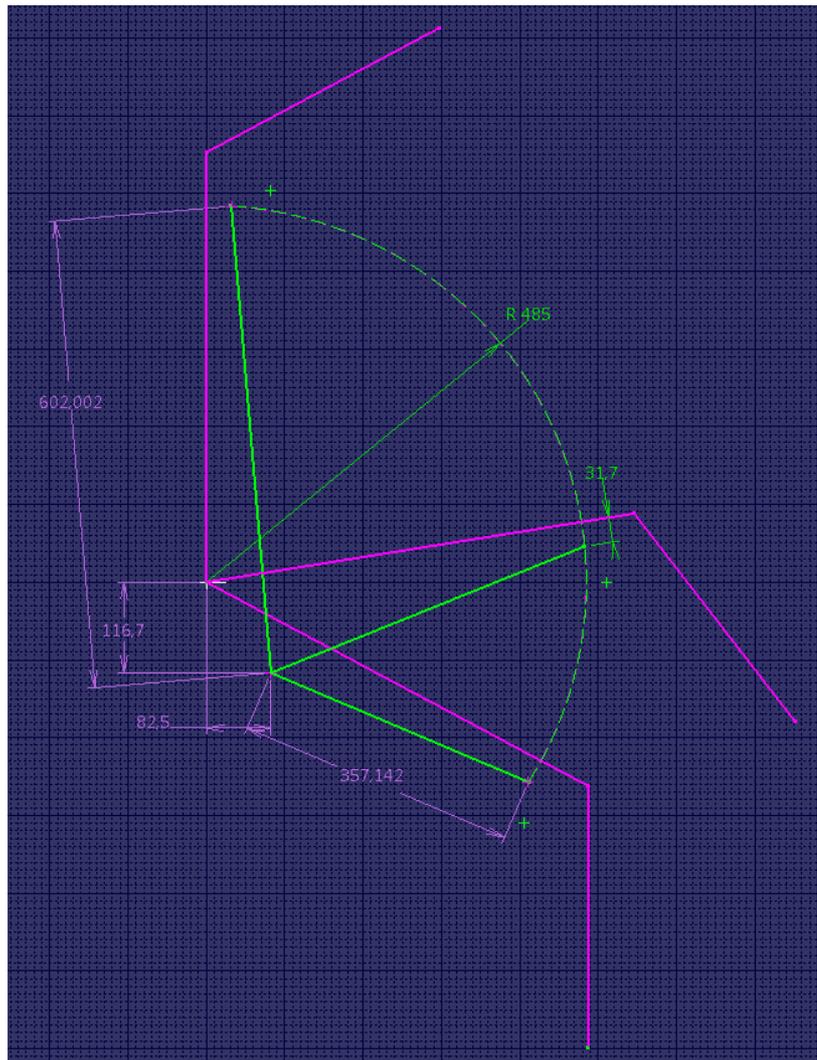


Abbildung 35 Bahn der Gasdruckfeder

Der Hebelarm mit dem die Gasdruckfeder an der Klappe angreift ändert sich beim Bewegen der Klappe.

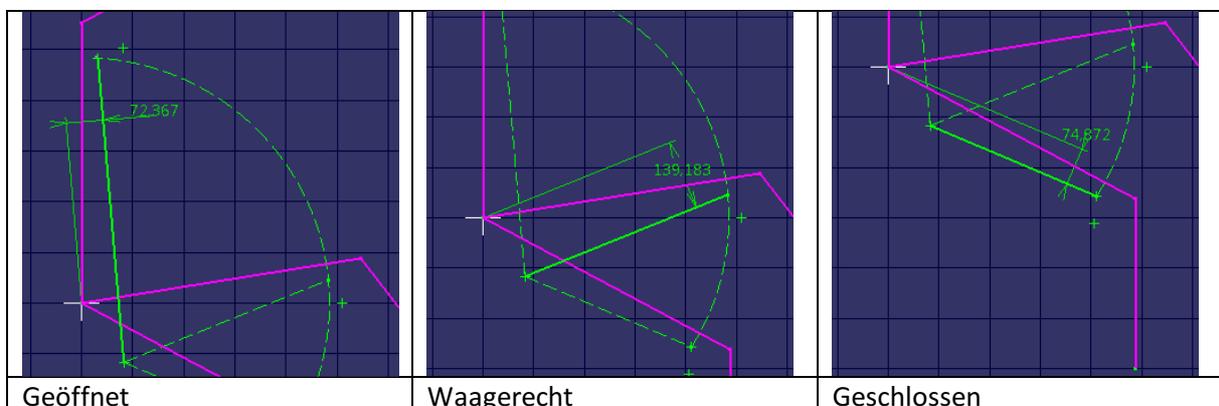


Abbildung 36 Änderung des Hebelarms der Gasdruckfeder

Berechnung der notwendigen Ausschubkraft

Im geöffneten Zustand muss die Klappe sicher oben gehalten werden. Durch unkontrolliertes Schließen könnten Verletzungen hervorgerufen werden. Dies gilt es zu verhindern. Daher lege ich eine Handkraft von 10N als ideale Kraft fest.

$$\begin{aligned}\sum M &= 0 \\ -F_{Feder} \cdot 2 \cdot l_{Fo} + M_o + l_H \cdot F_H &= 0 \\ F_{Feder} &= \frac{M_o + l_H \cdot F_H}{2 \cdot l_{Fo}} \\ F_{Feder} &= \frac{7,2Nm + 0,785m \cdot 10N}{2 \cdot 0,072} = 105N\end{aligned}$$

Die nächste Standardausschubkraft ist 120 N.

Überprüfung

Handkraft mit 2 x 120 N Gasdruckfedern:

Geöffnet:

$$\begin{aligned}F_{Ho} &= \frac{F_{Feder} \cdot 2 \cdot l_{Fo} - M_o}{l_H} \\ F_{Ho} &= \frac{120N \cdot 2 \cdot 0,072m - 7,2Nm}{0,785m} = 12,8N\end{aligned}$$

Waagrecht:

$$\begin{aligned}F_{Hw} &= \frac{F_{Feder} \cdot 2 \cdot l_{Fw} - M_w}{l_H} \\ F_{Hw} &= \frac{120N \cdot 2 \cdot 0,139m - 45,5Nm}{0,785m} = -15,5N\end{aligned}$$

Geschlossen:

$$\begin{aligned}F_{Hg} &= \frac{F_{Feder} \cdot 2 \cdot l_{Fg} - M_g}{l_H} \\ F_{Hg} &= \frac{120N \cdot 2 \cdot 0,075m - 35,4Nm}{0,785m} = -22,2N\end{aligned}$$

Die Berechnung zeigt, dass die gewählten Gasdruckfedern L=602-(8-19-250)-120 N geeignet sind.

Überprüfung des Entwurfs

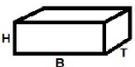
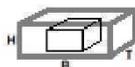
HAW Hamburg Maschinenbau und Produktion		Überprüfung anhand der Anforderungsliste für <i>Getriebeprüfstand</i>		Moritz Faber Seite: 1 von 3	
Anforderungen der Anforderungsliste Mit fortlaufender Nummer		Ist Werte	Wert – Daten		
			Mindest- erfüllung	Ideal- erfüllung	
1 Baugröße: (ab dem Fußboden)	Breite Höhe Tiefe	2340mm 1720mm 998mm	< 2500mm <input checked="" type="checkbox"/> < 2200mm <input checked="" type="checkbox"/> < 1000mm <input checked="" type="checkbox"/>	1500mm <input type="checkbox"/> 1100mm <input type="checkbox"/> 600mm <input type="checkbox"/>	
					
2 Bauraum für das Prüfgetriebe	Breite Höhe Tiefe	2x400mm 350mm 550mm	> 350mm <input checked="" type="checkbox"/> > 250mm <input checked="" type="checkbox"/> > 200mm <input checked="" type="checkbox"/>	- - -	
					
3 Anschlussmaße der Getriebewellen		Höhe bis 150mm	Höhe bis 150mm <input checked="" type="checkbox"/>	-	
4 Gesamtmasse des Prüfstands		215Kg	-	< 200 Kg <input type="checkbox"/>	
5 Wirkungsgrad des Stirnradgetriebes messbar in Abhängigkeit der Drehzahl / Temperatur. Messauflösung kleiner oder gleich:		0,1%	1% <input checked="" type="checkbox"/>	0,1% <input checked="" type="checkbox"/>	
6 Anzeige der Messwerte / Parameter		PC/Software gestützt	Am Messgerät ablesbar <input checked="" type="checkbox"/>	PC/Software gestützt <input checked="" type="checkbox"/>	
7 Drehzahl einstellbar		Stufenlos	In Stufen <input checked="" type="checkbox"/>	Stufenlos <input checked="" type="checkbox"/>	
8 Drehmoment einstellbar		Stufenlos	In Stufen <input checked="" type="checkbox"/>	Stufenlos <input checked="" type="checkbox"/>	
9 Drehzahlbereich	Antriebsseitig Abtriebsseitig	0-3000 $\frac{1}{min}$ 0-2000 $\frac{1}{min}$	10-1000 $\frac{1}{min}$ <input checked="" type="checkbox"/> 100-500 $\frac{1}{min}$ <input checked="" type="checkbox"/>	0-10000 $\frac{1}{min}$ <input type="checkbox"/> 0-10000 $\frac{1}{min}$ <input type="checkbox"/>	
10 Drehmomentbereich	Antriebsseitig Abtriebsseitig	0-28Nm 0-200Nm	- -	0-100Nm <input type="checkbox"/> 0-100Nm <input checked="" type="checkbox"/>	
11 Leistung		0 – 3000W	-	0 – 3000W <input checked="" type="checkbox"/>	
			Datum 07.02.2016 Bearbeiter Moritz Faber		

Tabelle 16 Überprüfung anhand der AnforderungslisteS1

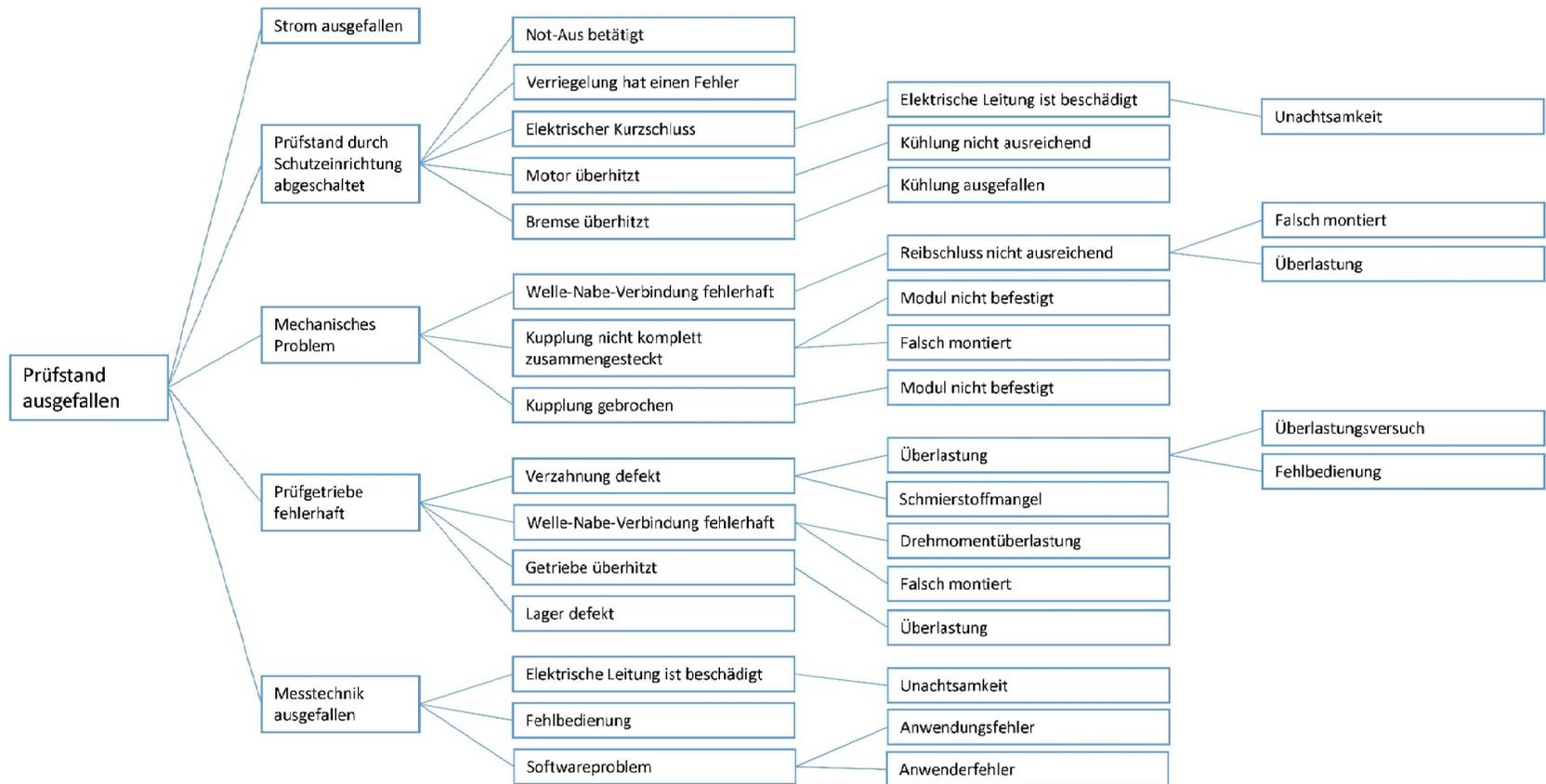
HAW Hamburg Maschinenbau und Produktion	Überprüfung anhand der Anforderungsliste für Getriebeprüfstand	Moritz Faber Seite: 2 von 3	
Anforderungen der Anforderungsliste Mit fortlaufender Nummer	Ist Werte	Wert – Daten	
		Mindest- erfüllung	Ideal- erfüllung
12 Getriebeprüftemperaturbereich:	20 – 80°C	-	20 – 80°C <input checked="" type="checkbox"/>
13 Kurze Aufheizzeit, wenn Temperaturwechsel gewünscht	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-
14 Oberflächentemperatur von Flächen die berührt werden können	< 43°C	< 48°C <input checked="" type="checkbox"/>	< 43°C <input checked="" type="checkbox"/>
15 Austausch des Prüfgetriebes	einfach	-	< 10 min und Werkzeuglos <input checked="" type="checkbox"/>
16 Getriebeeinheit-Masse	Abhängig vom Prüfgetriebe	-	< 15Kg <input checked="" type="checkbox"/>
17 Selbsterklärende Bedienung	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-
18 Sehr gute Anschaulichkeit	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-
19 Sicherheit der Anlage mit Not-Aus-Einrichtung	Sehr geringes Verletzungsrisiko	Sehr geringes Verletzungsrisiko <input checked="" type="checkbox"/>	Kein Verletzungsrisiko <input checked="" type="checkbox"/>
20 Naheliegenden Missbrauch verhindern	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-
21 Umgehen von Sicherheitseinrichtungen erschweren	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-
22 Geräuschemissionen kleiner als:	67 dB	-	< 55 dB <input checked="" type="checkbox"/>
23 Ergonomische Arbeitsposition Sitzend: 70-74 cm , Stehend: 91-101 cm	73cm <input checked="" type="checkbox"/>	-	-
24 Hohe Energieeffizienz	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-
25 Energieversorgung	230V	-	230V <input checked="" type="checkbox"/>
26 Zentraler Ein-Ausschalter	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-
		Datum	07.02.2016
		Bearbeiter	Moritz Faber

Tabelle 17 Überprüfung anhand der AnforderungslisteS2

<p>HAW Hamburg</p> <p>Maschinenbau und Produktion</p>	<p>Überprüfung anhand der Anforderungsliste für <i>Getriebeprüfstand</i></p>	<p>Moritz Faber</p> <p>Seite: 3 von 3</p>	
<p>Anforderungen der Anforderungsliste Mit fortlaufender Nummer</p>	<p>Ist Werte</p>	<p>Wert – Daten</p> <p>Mindest-Erfüllung Ideal-Erfüllung</p>	
<p>27 Ansprechendes Design</p> <p>28 Professionelle Laboranmutung</p> <p>29 Hohe Zuverlässigkeit / geringe Ausfallzeiten</p> <p>30 Dauer der Versuchsdurchführung</p> <p>31 Hohe Lebensdauer</p> <p>32 Selbstschutz z.B. bei Überhitzung</p> <p>33 Gewährleistung der elektrischen und steuerungstechnischen Sicherheit</p> <p>34 Modulare Produktarchitektur passend zum Schema Motor-Getriebe-Leistungsbremse</p> <p>35 Geringer Fertigungsaufwand</p> <p>36 Geringer Montageaufwand</p> <p>37 Geringer Instandhaltungsaufwand</p> <p>38 Recyclinggerechte Konstruktion</p> <p>39 Einhaltung des Kostenrahmens von</p> <p>40 Mindestbestellwert bei einem Händler</p> <p>41 Dokumentation (Technische Zeichnungen und Stückliste)</p> <p>42 Abgabetermin</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/></p> <p><input checked="" type="checkbox"/></p> <p><input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Möglich, vom Versuch Abhängig</p> <p><input checked="" type="checkbox"/></p> <p><input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Muss geprüft werden<input checked="" type="checkbox"/></p> <p><input checked="" type="checkbox"/></p> <p>38.600€</p> <p>HBM 26.463€ Mobac 5.813€</p> <p><input checked="" type="checkbox"/></p>	<p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p><= 90 min<input checked="" type="checkbox"/></p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>40.000 €<input checked="" type="checkbox"/></p> <p>5.000 €<input checked="" type="checkbox"/></p> <p>-</p> <p>-</p> <p>24.02.2016<input checked="" type="checkbox"/></p>	<p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>80 min<input checked="" type="checkbox"/></p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p>
		<p>Datum 07.02.2016 Bearbeiter Moritz Faber</p>	

Tabelle 18 Überprüfung anhand der AnforderungslisteS3

Abbildung 37 Fehlerbaumanalyse



Fehlerbaumanalyse

Zur Überprüfung der Ausfallsicherheit und um Verbesserungspotential aufzudecken, wird an dieser Stelle eine Fehlerbaumanalyse durchgeführt.

Ziel ist es Fehler möglichst früh zu finden, sodass geeignete Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können.

7 Technische Dokumentation

Die Technische Dokumentation befindet sich im Anhang.

Im Einzelnen befinden sich dort:

- Liste mit den Produktmerkmalen des Prüfstands
- Leistungs- und Prüfspektrum des Prüfstands
- Einzelteilzeichnungen
- Zusammenbauzeichnungen
- Stückliste
- Bestellliste
- Montageanleitung

8 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

Untersuchen des Istzustandes und Analyse von anderen Prüfständen

Im Rahmen einer Situationsanalyse wurde der bestehende Versuchsaufbau, der Markt, die Wettbewerber, sowie die am Markt bestehenden Produkte analysiert. Ergebnis dieser Analyse ist, dass auf dem Markt kein Produkt verfügbar ist, welches die geforderten Aufgaben und Funktionen erfüllen kann und in den Rahmen des Labors für Maschinenelemente und Tribologie passt.

Herausarbeiten von Anforderungen und Erstellen einer Anforderungsliste

Mit einer Vielzahl von Methoden, wie etwa der Szenario-Technik und mehreren Analysen wurden die für den Getriebepfstand wichtigen Anforderungen herausgearbeitet und in der Anforderungsliste zusammengetragen. Anschließend wurden diese mit einer Prototypenbesprechung überprüft.

Methodisches Konzipieren mehrerer Varianten

Die wichtigen Funktionen des Prüfstands wurden in einer Funktionsstruktur angeordnet und für jede Einzelfunktion mit Hilfe von intuitiven und konventionellen Methoden Einzellösungen erarbeitet. Die Einzellösungen wurden mit Hilfe eines morphologischen Kastens zu einer Vielzahl von Varianten zusammengefügt.

Auswählen und Konkretisieren einer Variante und Abschätzen der Kosten

Um die Variantenvielfalt zu reduzieren wurde eine Auswahlliste angewendet. Die verbleibenden Varianten wurden weiter konkretisiert, die jeweiligen Kosten abgeschätzt und einer Bewertung nach VDI 2225 unterzogen. Das Konzept wurde um ein zusätzliches Prüfgetriebe erweitert und die Vorteile aufgelistet.

Entwerfen und Auslegen der mechanischen Komponenten mit CAD

Die einzelnen Module Antrieb, Getriebe, Zwischenmesswelle, Leistungsbremse und das Gehäuse wurden Hilfe von CAD in diesem Schritt auskonstruiert. Außerdem wurden Berechnungen im Rahmen der Auslegung der mechanischen Komponenten durchgeführt.

Erstellen der technischen Dokumentation

Die technischen Zeichnungen wurden aus den CAD-Daten erstellt und weitere Dokumente, wie eine Stückliste, eine Bestellliste, eine Kostenzusammenstellung und eine Montageanleitung ausgearbeitet.

Außerdem wurde zu Beginn des Projektes ein Funktionsmodell konstruiert, die Komponenten beschafft, die Einzelteile gefertigt, sowie die Montage durchgeführt. Dieses Modell diente in einigen Phasen des Projektes, z.B. zum verdeutlichen der Aufgabenstellung, bei der Prototypenbetrachtung, sowie bei der Erstellung der Produktarchitektur.

Ausblick

Für den Getriebeprüfstand sind diverse Erweiterungen möglich. Die Produktarchitektur, die Schnittstellen der Steuer- und Messtechnik und auch der flexible Aufbau des Gehäuses ermöglicht es mit wenig Aufwand einzelne Module zu erweitern, für Spezialaufgaben umzurüsten oder zu ersetzen.

Mögliche Ideen wären:

Für den Motor könnte eine Hubeinrichtung konstruiert werden, dann ist es möglich Getriebe mit beliebigen Wellenversatz zu prüfen.

Eine Erweiterung für weitere Getriebearten ist möglich. Wenn ein Modul mit Riemen konstruiert wird, könnte z.B. neben dem Wirkungsgrad der Schlupf ermittelt werden.

Eine Anbindung an einen Netzwerkdrucker wäre vorteilhaft.

Trotz sorgfältiger Prüfung des Entwurfs empfehle ich die Durchführung einer ausführlichen FMEA und ggf. eine FEM-Berechnung des Prüfstandes mit Schwingungsanalyse.

Die elektrische Verschaltung und Sicherheitstechnik sollte auf jeden Fall durch Experten überarbeitet werden. Dabei könnte es sinnvoll sein, den Prüfstand über Drehstrom anzuschließen um eine symmetrische Netzbelastung zu ermöglichen.

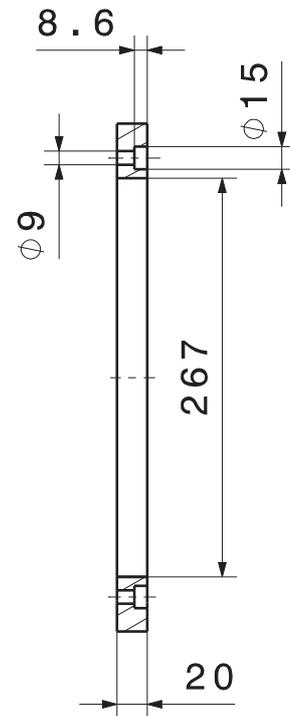
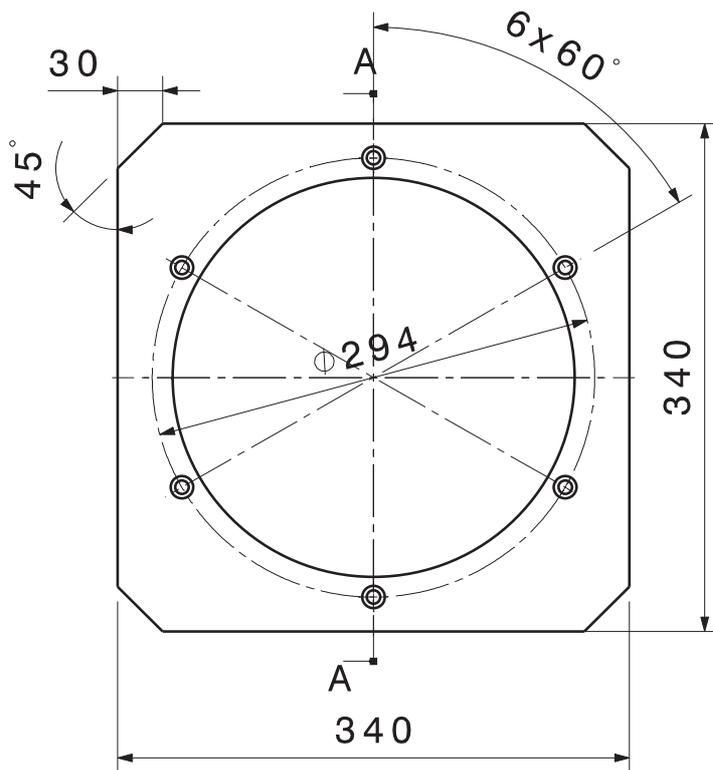
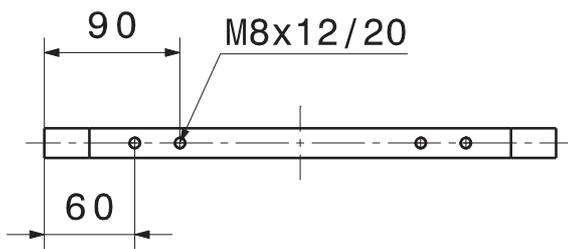
Die zu bearbeitende Plexiglasscheibe sollte durch Makrolon ersetzt werden, da dies bei der Bearbeitung nicht splittert.

9 Literaturverzeichnis

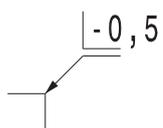
- [1] Jörg Feldhusen und Karl-Heinrich Grote (Hrsg.) Pahl / Beitz Konstruktionslehre, 8. Auflage 2013, Springer Vieweg
- [2] Winfried Gräf, Maschinensicherheit 3.Auflage 2004, Hüthing Verlag Heidelberg
- [3] Bernhard Fleischer und Hans Theumert, Entwickeln Konstruieren Berechnen 3.Auflage 2013, Springer Vieweg
- [4] Paul Naefe, Einführung in das Methodische Konstruieren 2.Auflage 2012, Springer Vieweg
- [5] BGI 523, Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften, Ausgabe 2001
- [6] DIN EN 60204-1:2014-10 Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen
- [7] DIN EN 563:2000-01, Temperatur berührbarer Oberflächen
- [8] DIN EN 1088:2008, Sicherheit von Maschinen - Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen - Leitsätze für Gestaltung und Auswahl
- [9] Walter Wagner, Wärmeübertragung 7. Auflage 2011, Vogel Buchverlag
- [10] Ulrich Fischer, Tabellenbuch Metall 43. Auflage 2005, Verlag Europa Lehrmittel
- [11] Fritz Hoischen, Technisches Zeichnen 34. Auflage 2014, Cornelsen Verlag
- [12] Laborunterlagen zum Versuch M5, HAW-Hamburg Labor für Maschinenelemente und Tribologie
- [13] Klaus Tkotz, Fachkunde Elektrotechnik 24. Auflage 2004, Verlag Europa Lehrmittel
- [14] Karlheinz Roth, Konstruieren mit Konstruktionskatalogen Band1 Konstruktionslehre 3. Auflage 2000, Springer-Verlag
- [15] Rudolf Koller / Norbert Kastrup, Prinziplösungen zur Konstruktion technischer Produkte 1994, Springer-Verlag
- [16] Werner Skolaut, Maschinenbau 2014, Springer-Verlag
- [17] Jetschke GmbH (2014): Unser Getriebeprüfstand URL: <http://jetschke-hydraulik.de/getriebepruefstand/> 02.12.2015
- [18] Klotz GmbH (2015): Getriebeprüfstand URL: <http://www.klotz.de/kompetenz/getriebepruefstand/> 02.12.2015
- [19] teamtechnik GmbH (2013): Entwicklungsprüfstand ES50 URL: http://www.teamtechnik.com/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&g=0&t=1455455191&hash=c19e8523338233616bf8117244ad4d9d352b8497&file=file_admin/download/Automotive/teamtechnik_Automotive_Datenblatt_Entwicklungspruefstand-ES50_DE.pdf 02.12.2015
- [20] teamtechnik GmbH (2013): Modulare Getriebeprüfstände URL: http://www.teamtechnik.com/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&g=0&t=1455455066&hash=c6f5860b38a60d5ba24700a5cf38d7e8f90220ae&file=fileadmin/download/Automotive/teamtechnik_Automotive_Datenblatt_Compact-Drive_Modulare-Getriebepruefstaende_DE.pdf 02.12.2015
- [21] Technische Hochschule Ingolstadt (2015): Labor für Antriebstechnik und Tribologie URL: <http://www.thi.de/hochschule/fakultaet-maschinenbau/labore/labor-fuer-antriebstechnik-und-tribologie.html> 14.12.2015
- [22] Magtrol GmbH: Customized Test System for Electric Pump Motors URL: <http://www.magtrol.com/datasheets/cmts-pumpmotors.pdf> 14.01.2015

10 Anhang

Der komplette Anhang liegt in digitaler Form vor. An dieser Stelle ist lediglich ein Auszug abgedruckt.



Schnitt A-A

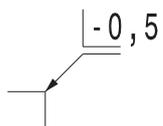
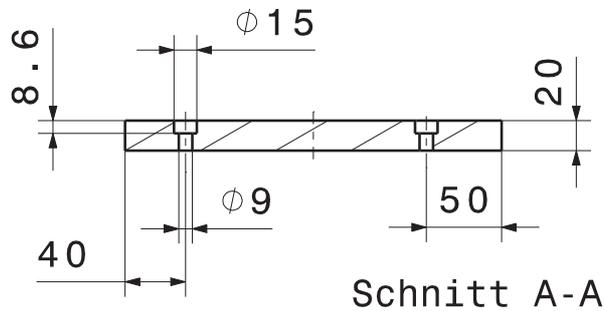
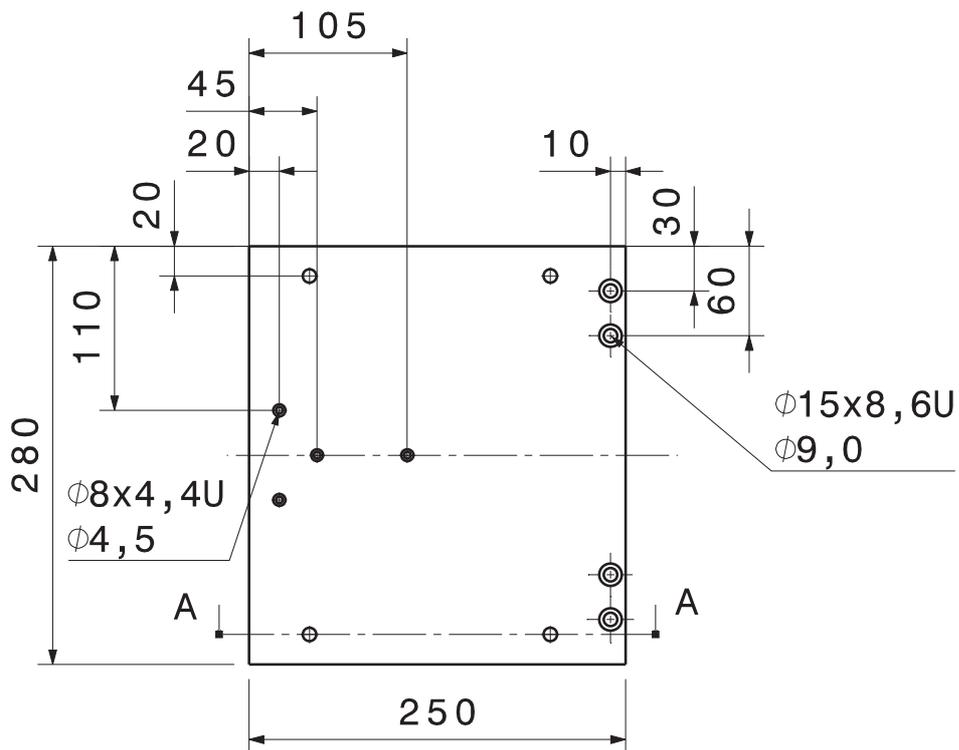


Kanten ISO 13715

Maßstab: 1:5

Allgemeintoleranzen DIN ISO 2768-m

Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer-Eschenbach		
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Werkstoff AlMg3		
		Titel, Zusätzlicher Titel Bremsenbock		Zeichnungsnr. 01	
		Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt
		A	2016-01-29	de	1

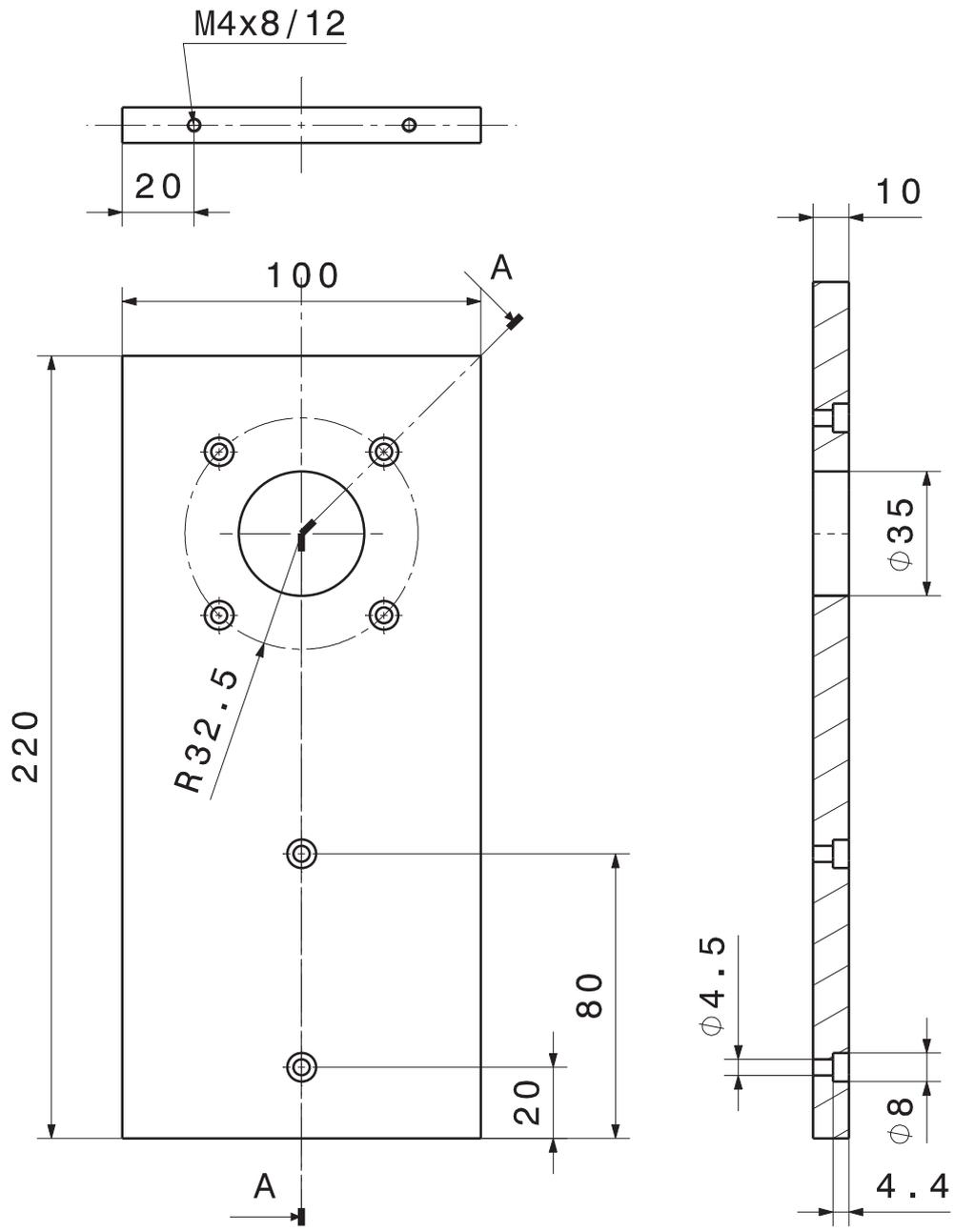


Kanten ISO 13715

Maßstab: 1:5

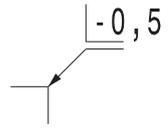
Allgemeintoleranzen DIN ISO 2768-m

Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer-Eschenbach		
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Werkstoff AlMg3		
		Titel, Zusätzlicher Titel Bremsengrundplatte		Zeichnungsnr. 02	
		Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt
		A	2016-01-29	de	2



Schnitt A-A

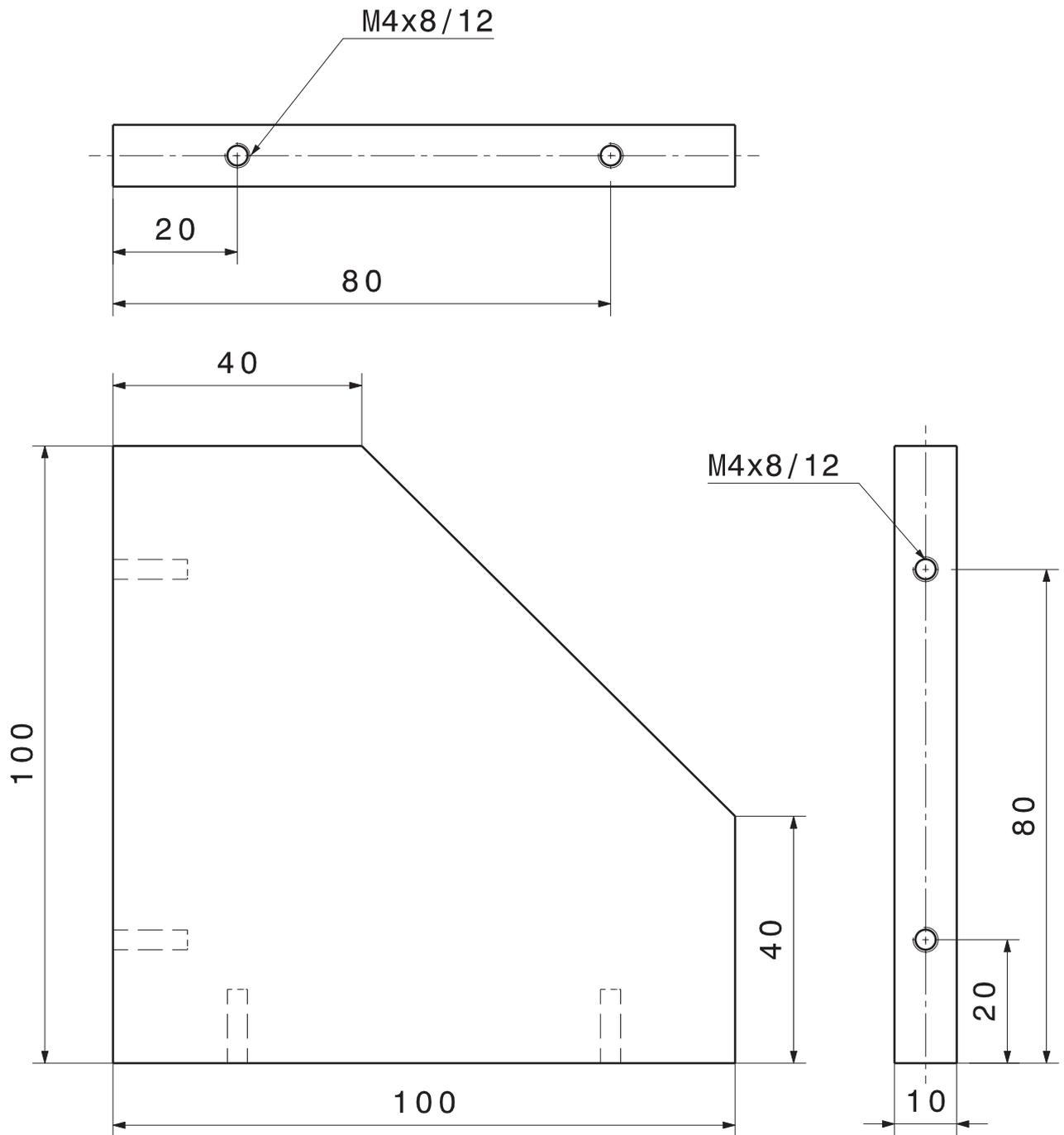
Maßstab: 1:2



Kanten ISO 13715

Allgemeintoleranzen DIN ISO 2768-m

Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer-Eschenbach		
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Werkstoff AlMg3		
		Titel, Zusätzlicher Titel Messwellenbock		Zeichnungsnr. 03	
		Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt
		A	2016-01-29	de	3

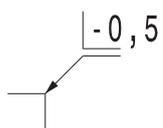
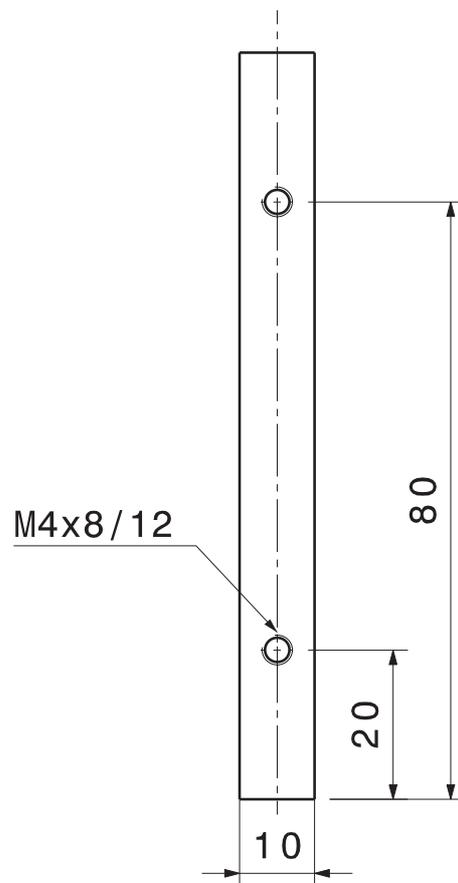
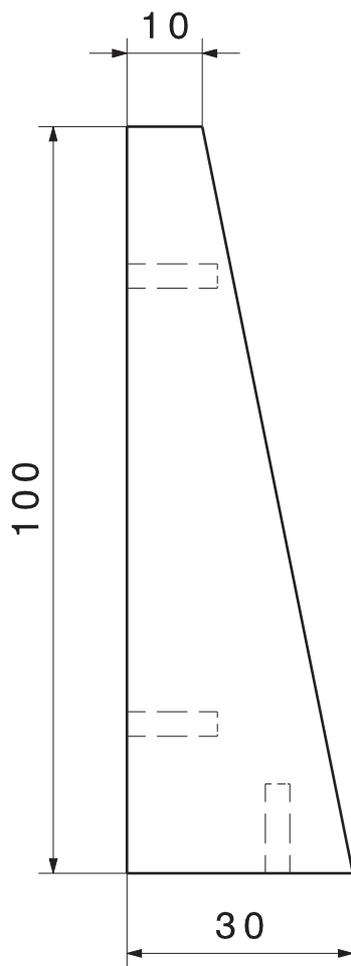
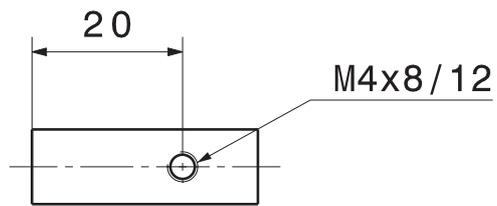


Maßstab: 1:1

Kanten ISO 13715

Allgemeintoleranzen DIN ISO 2768-m

Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer-Eschenbach			
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Werkstoff AlMg3			
		Titel, Zusätzlicher Titel Messwellenstrebe Gr		Zeichnungsnr. 04		
		Änd. A	Ausgabedatum 2016-01-29	Spr. de	Blatt 4	

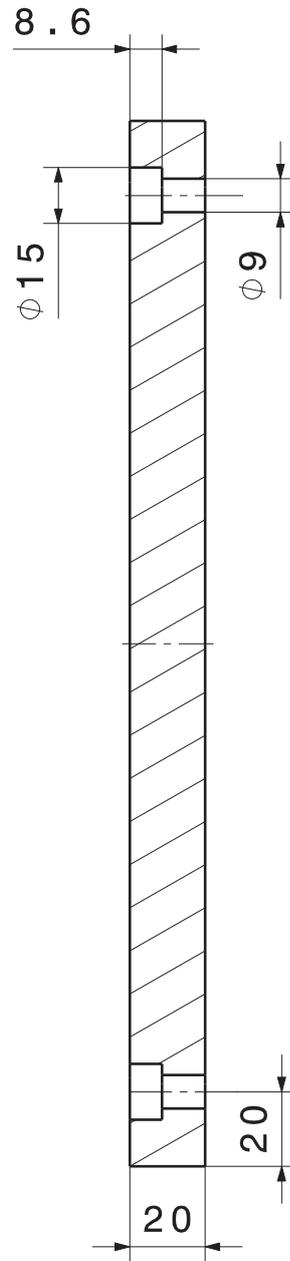
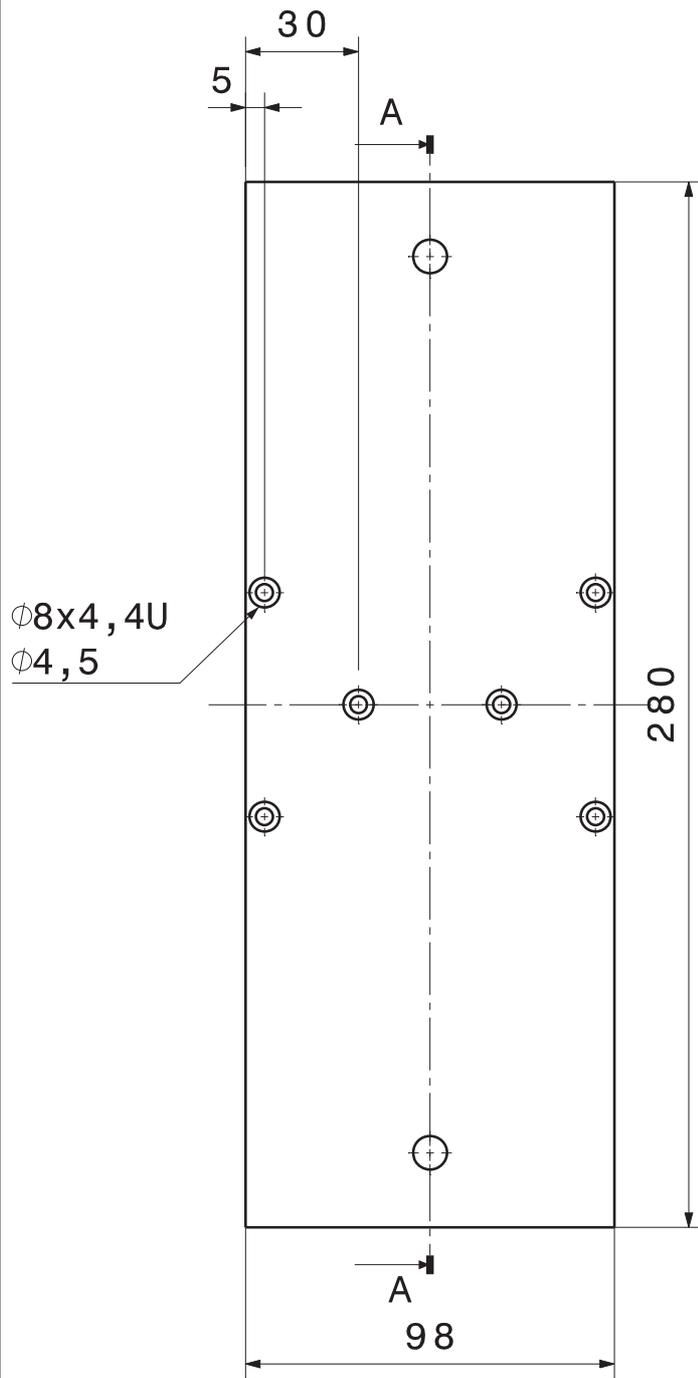


Maßstab: 1:1

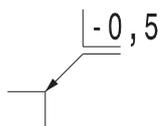
Kanten ISO 13715

Allgemeintoleranzen DIN ISO 2768-m

Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer-Eschenbach		
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Werkstoff AlMg3		
		Titel, Zusätzlicher Titel Messwellenstrebe K1		Zeichnungsnr. 05	
		Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt
		A	2016-01-29	de	5



Schnitt A-A

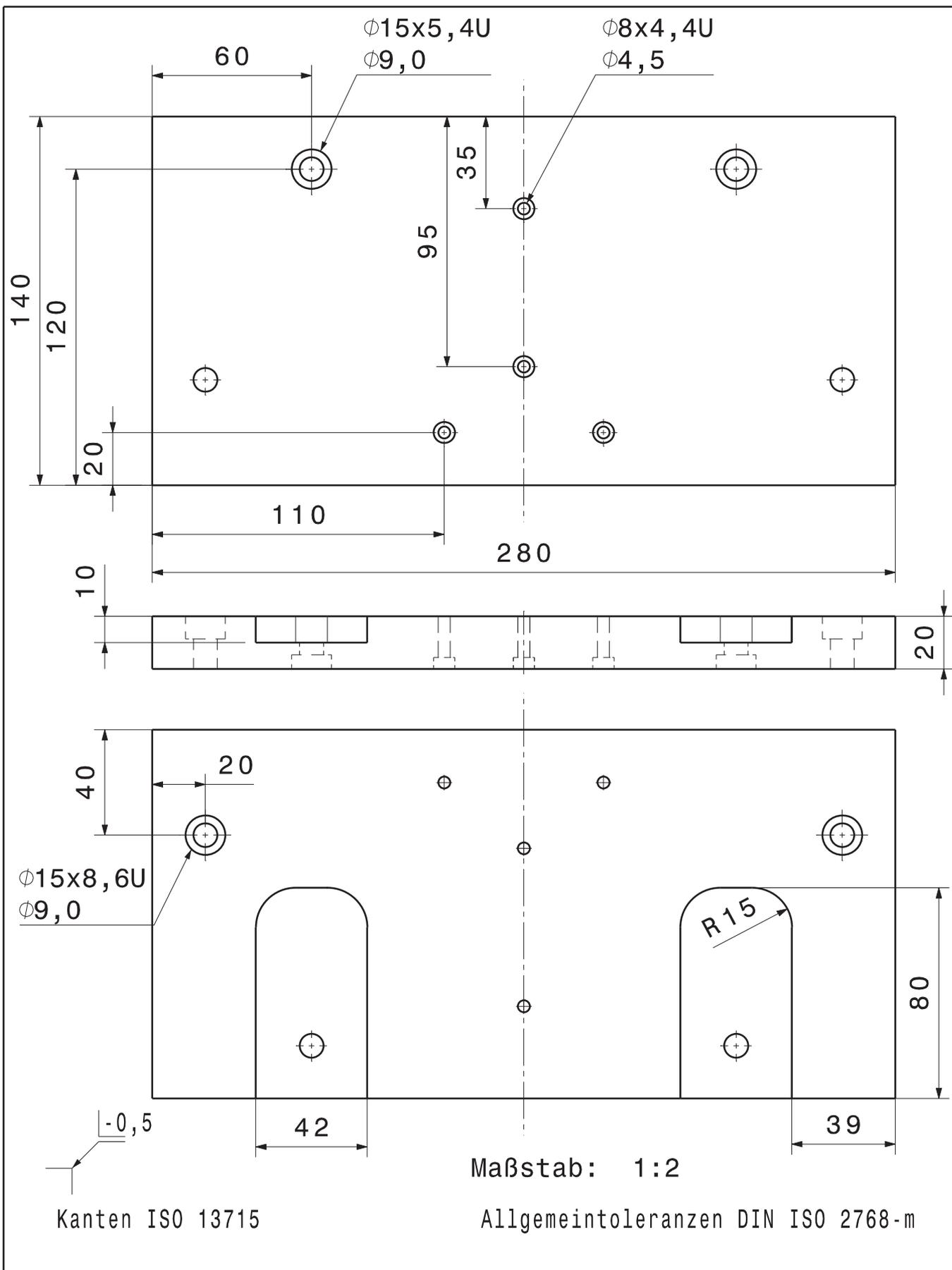


Kanten ISO 13715

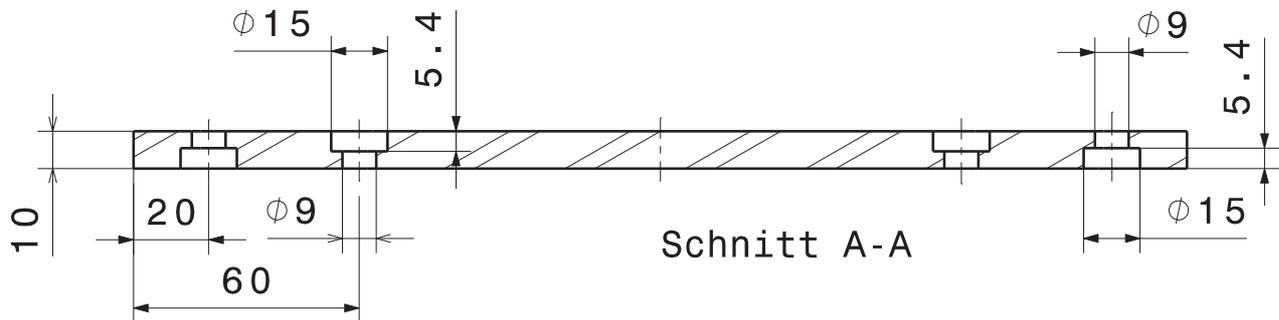
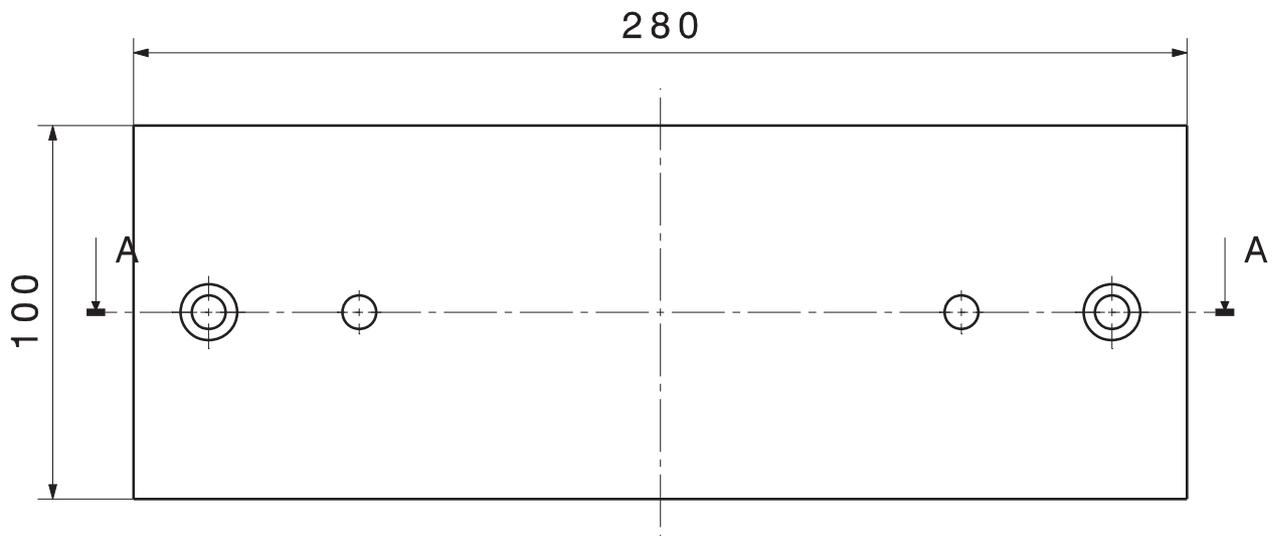
Allgemeintoleranzen DIN ISO 2768-m

Maßstab: 1:2

Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer-Eschenbach	
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences	Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Werkstoff AlMg3		
	Titel, Zusätzlicher Titel Messwellengrundplatte		Zeichnungsnr. 06	
	Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt
A	2016-01-29	de	6	



Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer Eschenbach		
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Werkstoff AlMg3		
		Titel, Zusätzlicher Titel Motorgrundplatte Gr		Zeichnungsnr. 07	
		Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt
		A	2016-01-29	de	7



$-0,5$

Kanten ISO 13715

Maßstab: 1:2

Allgemeintoleranzen DIN ISO 2768-m

Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer-Eschenbach			
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Werkstoff AlMg3			
		Titel, Zusätzlicher Titel Motorgrundplatte K1		Zeichnungsnr. 08		
		Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt	
		A	2016-01-29	de	8	

155.65

92.65

6.5

RZ 6,3

Ø 55 h9

2 x 45°

6+0,2

16 P9

Ø 52

2.15H13

30

40+0,2

Schnitt A-A

A

DIN 509-E 0,8x0,3

Ø 70

1 x 45°

1 x 45°

DIN 509-E 0,8x0,3

35

RZ 4

1 x 45°

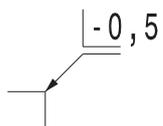
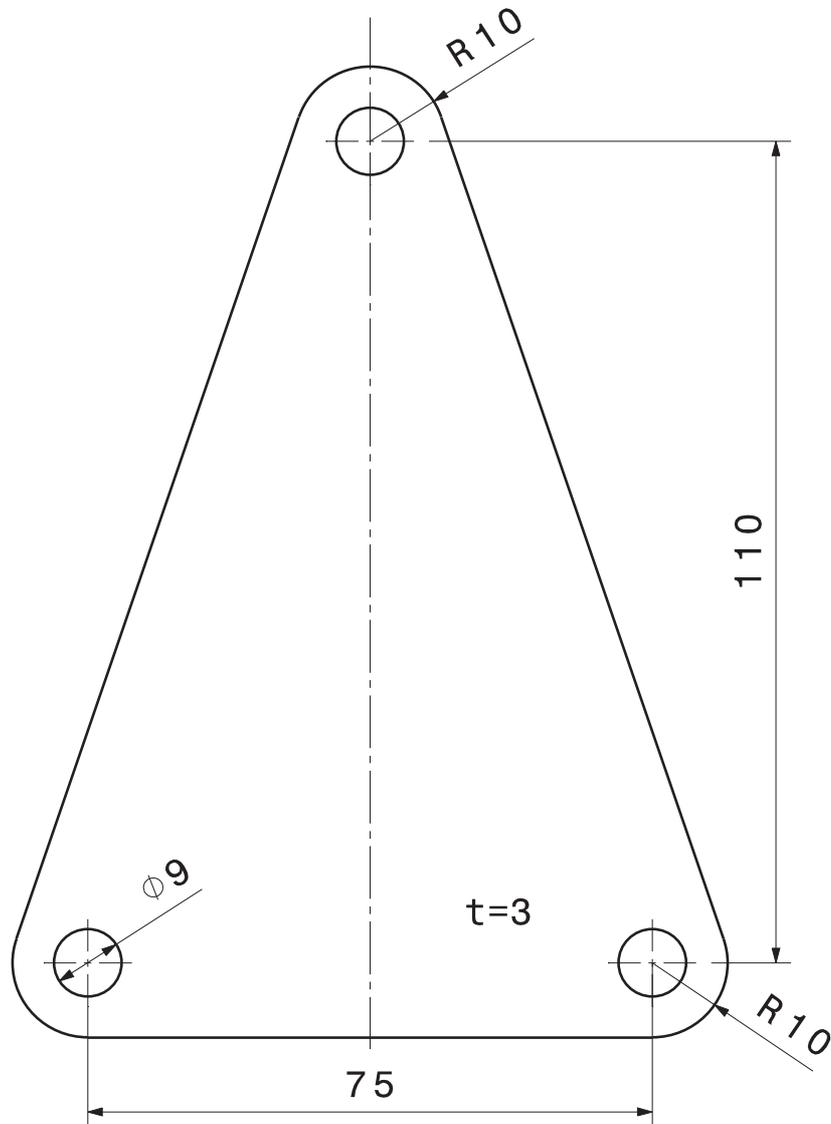
Ø 50 h9

Maßstab: 1:1

Allgemeintoleranzen
DIN ISO 2768-m

Oberfläche EN ISO 1302

Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer-Eschenbach	
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Werkstoff E295	
		Titel, Zusätzlicher Titel Welle Bremse		Zeichnungsnr. 09
	Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt
	A	2016-01-29	de	9

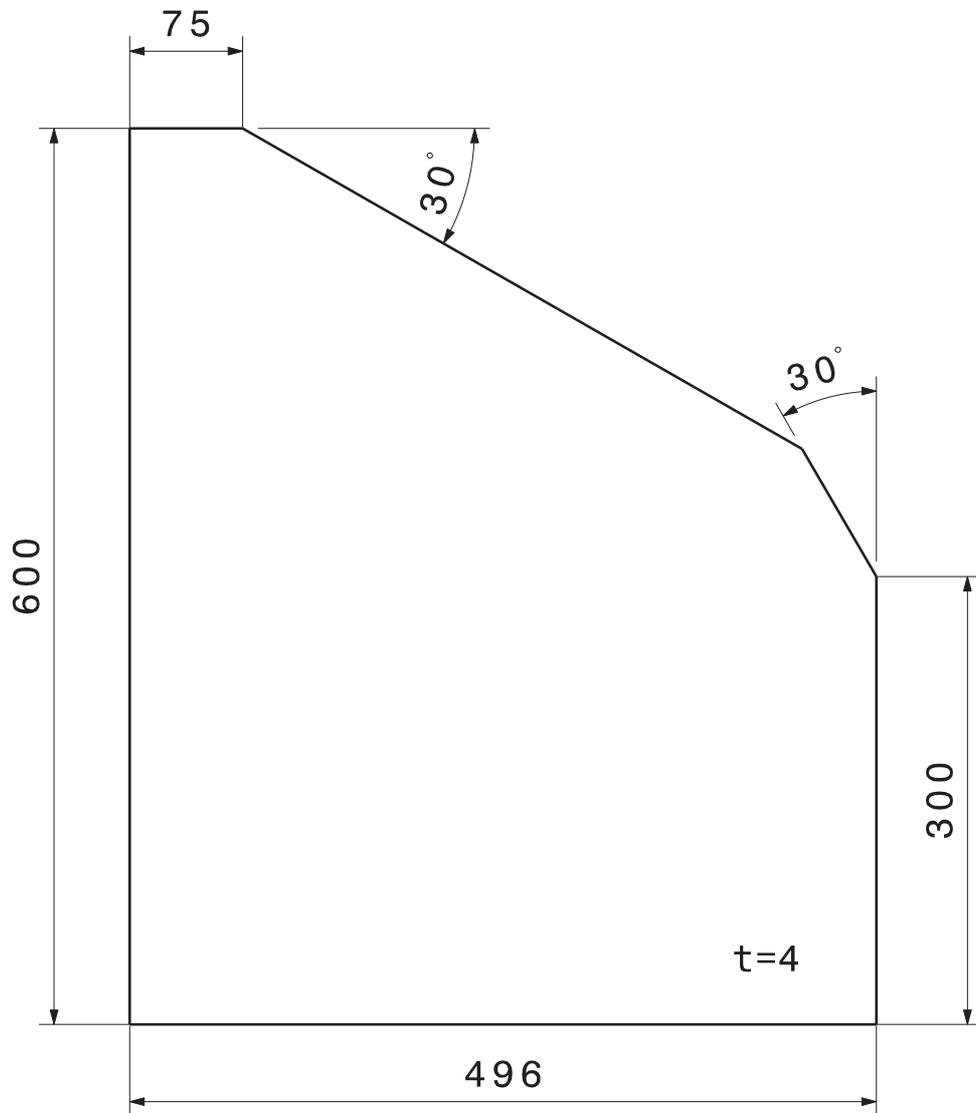


Maßstab: 1:1

Kanten ISO 13715

Allgemeintoleranzen DIN ISO 2768-m

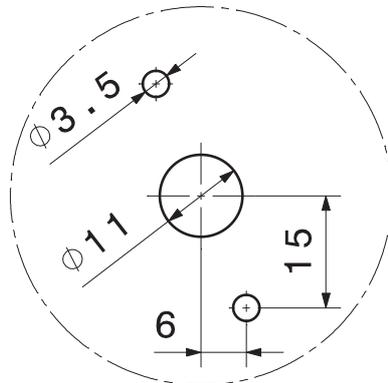
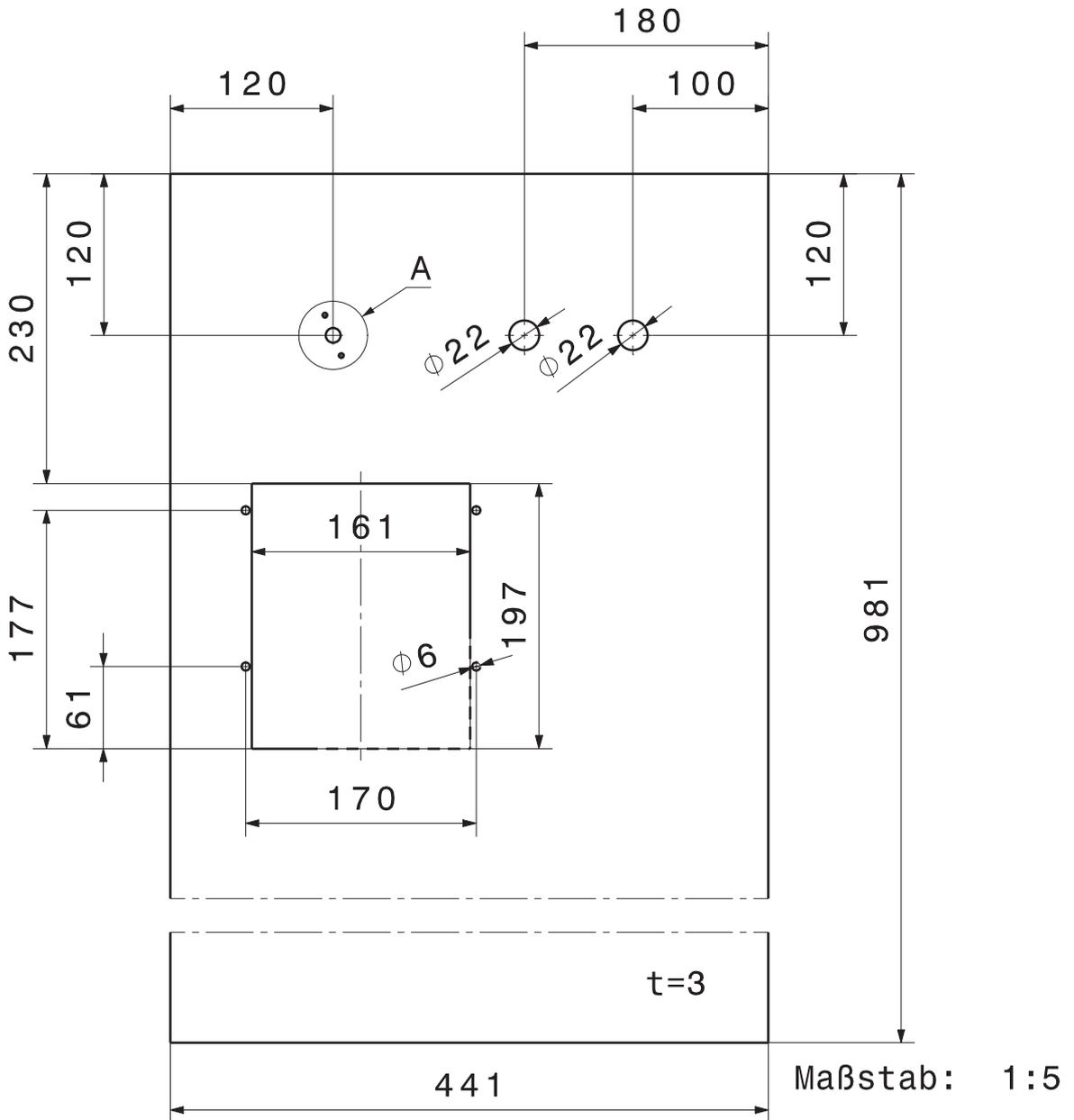
Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer-Eschenbach			
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Werkstoff S235			
		Titel, Zusätzlicher Titel Gasdruckfederlasche Gr		Zeichnungsnr. 10		
		Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt	
		A	2016-02-03	de	10	



Maßstab: 1:5

Allgemeintoleranzen DIN ISO 2768-m

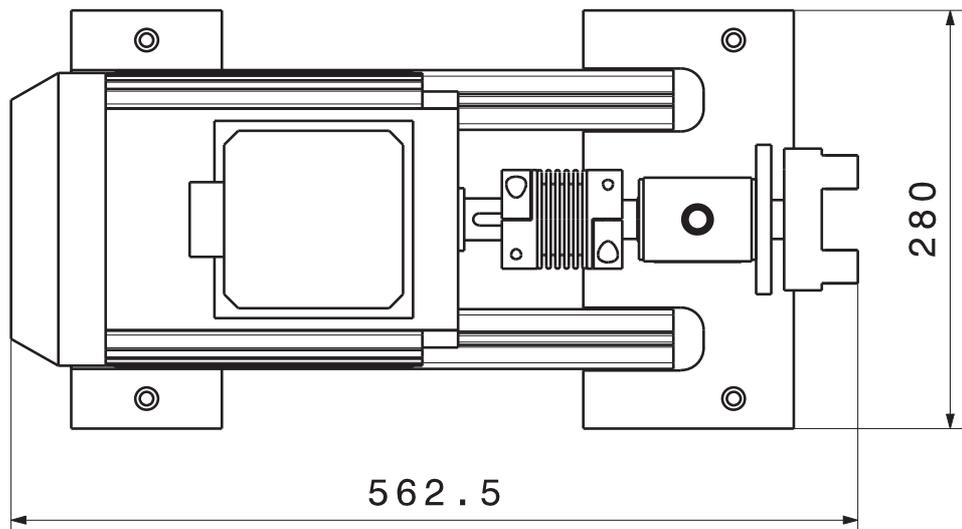
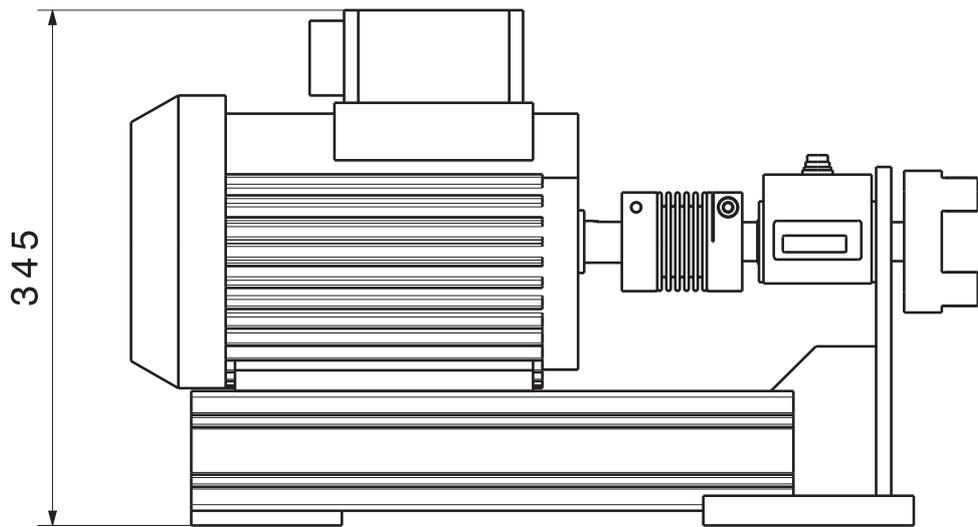
Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer-Eschenbach		
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Werkstoff Plexiglas		
		Titel, Zusätzlicher Titel Plexiglas 600x496 zuschnitt		Zeichnungsnr. 11	
		Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt
		A	2016-02-03	de	11



Detail A
Maßstab: 1:1

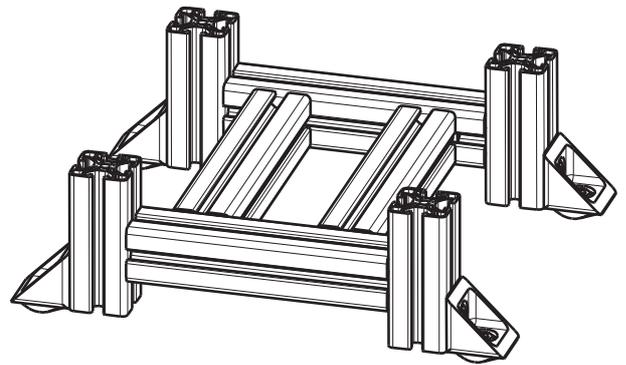
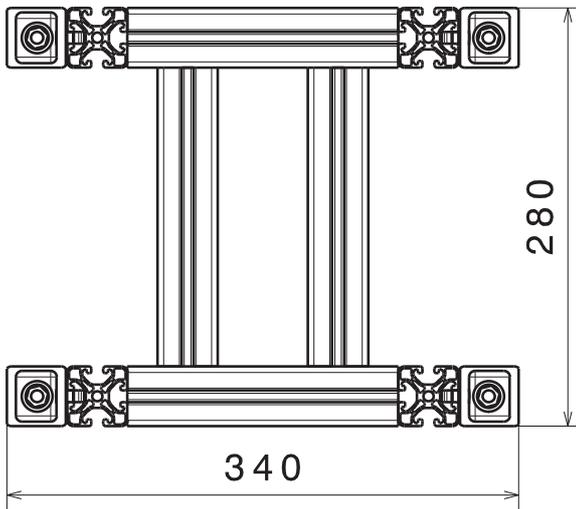
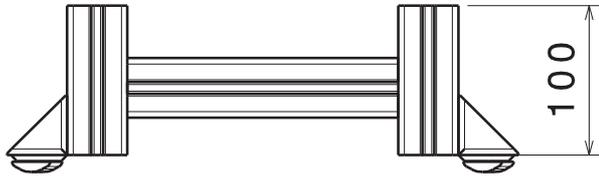
Allgemeintoleranzen DIN ISO 2768-m

Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer-Eschenbach			
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Werkstoff Aluminium Lochblech			
		Titel, Zusätzlicher Titel Lochblech 981x411 Zuschnitt		Zeichnungsnr. 12		
		Änd. A	Ausgabedatum 2016-02-03	Spr. de	Blatt 12	



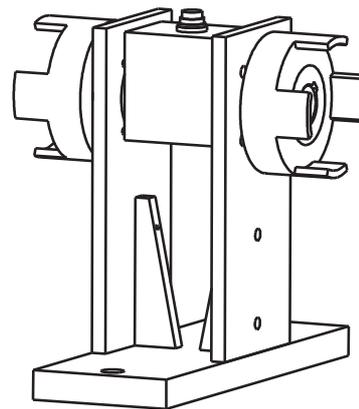
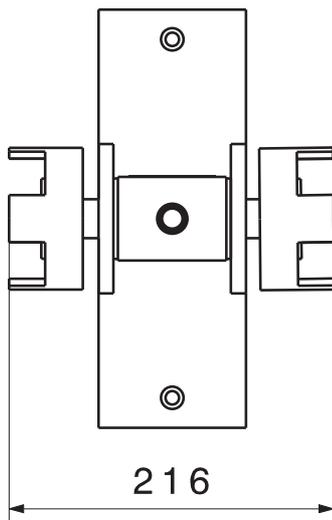
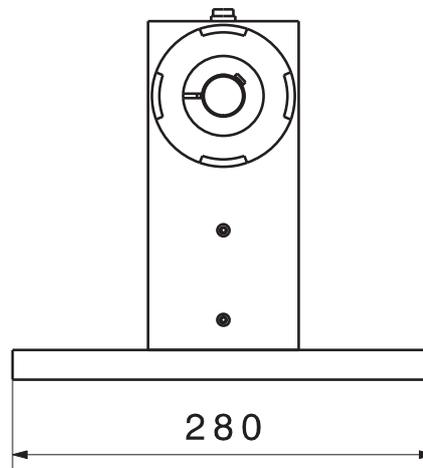
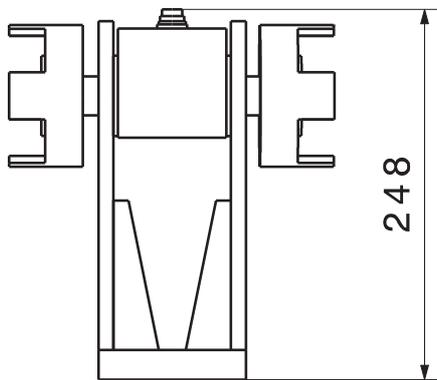
Maßstab: 1:5

Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer-Eschenbach		
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Dokumentenart Zusammenbauzeichnung	Werkstoff .		
		Titel, Zusätzlicher Titel Modul Antrieb	Zeichnungsnr. 13		
		Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt
		A	2016-02-02	de	13



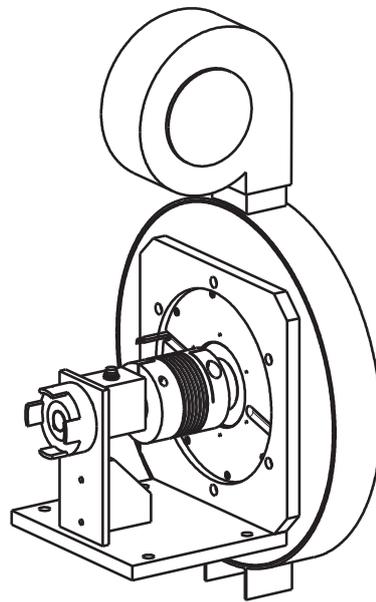
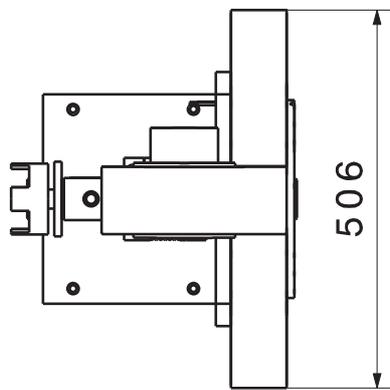
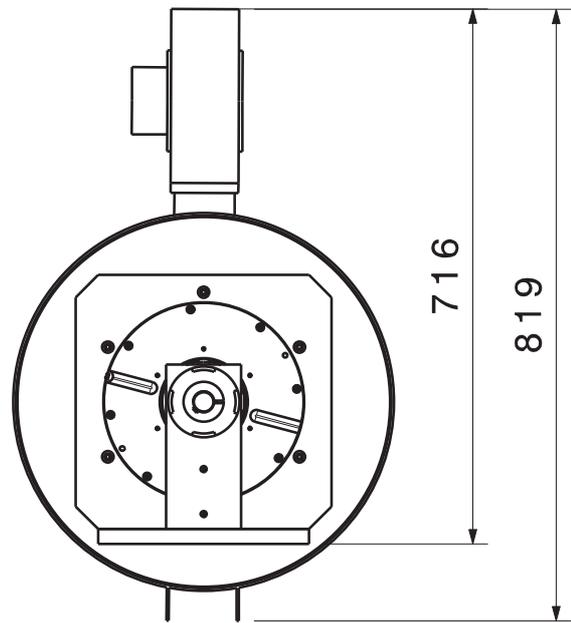
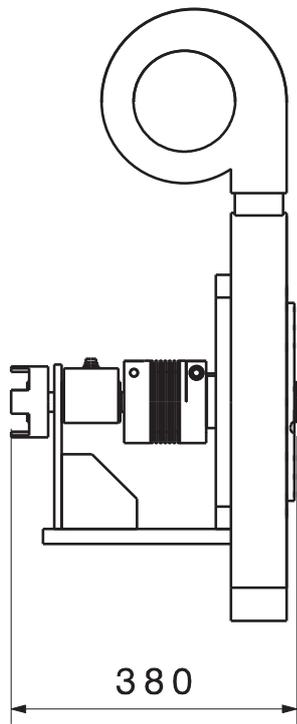
Maßstab: 1:5

Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer-Eschenbach	
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Dokumentenart Zusammenbauzeichnung	Werkstoff .	
		Titel, Zusätzlicher Titel Modul Getriebe		Zeichnungsnr. 14
		Änd.	Ausgabedatum	Spr.
	A	2016-02-02	de	14



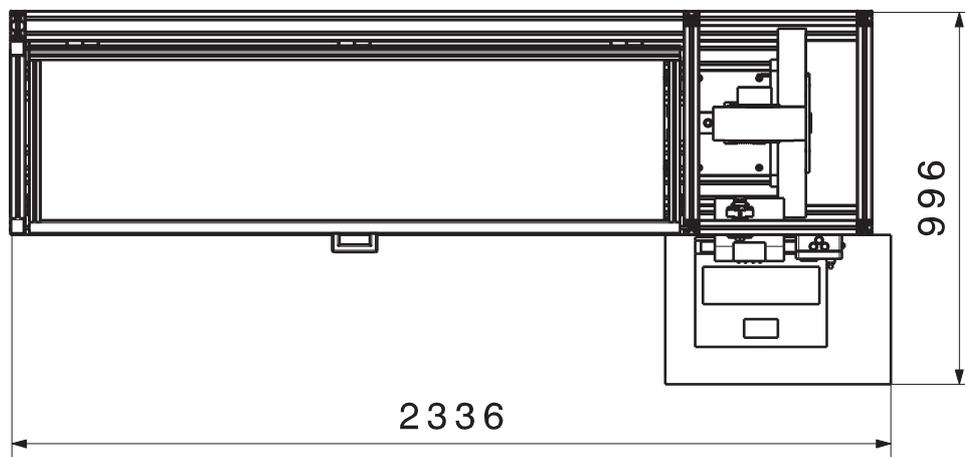
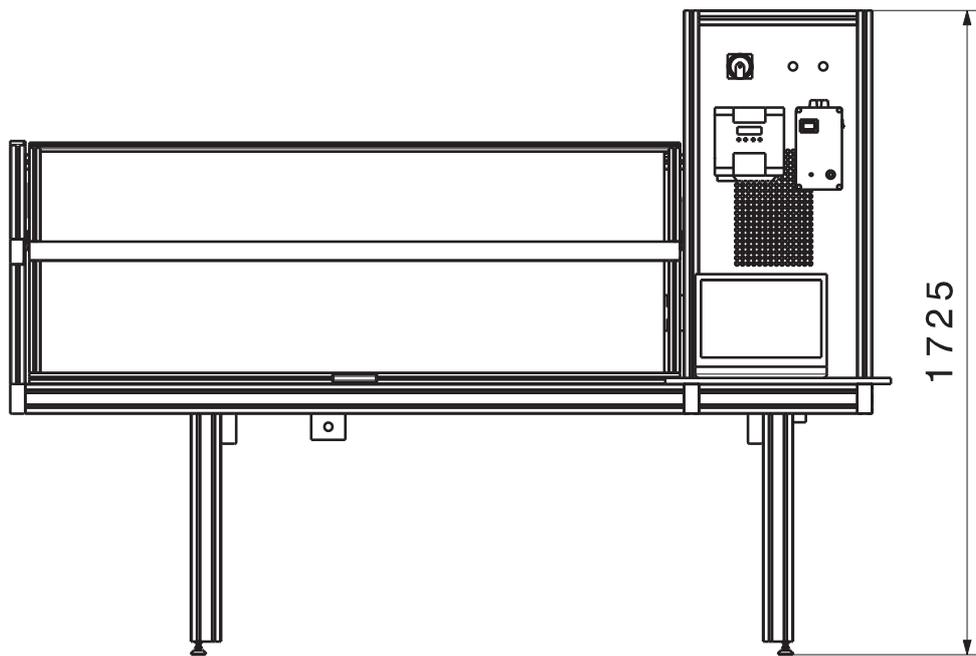
Maßstab: 1:5

Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer-Eschenbach		
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Dokumentenart Zusammenbauzeichnung	Werkstoff .		
		Titel, Zusätzlicher Titel Modul Zwischenmesswelle	Zeichnungsnr. 15		
		Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt
		A	2016-02-02	de	15



Maßstab: 1:10

Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer-Eschenbach		
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Dokumentenart Zusammenbauzeichnung	Werkstoff .		
		Titel, Zusätzlicher Titel Modul Leistungsbremse		Zeichnungsnr. 16	
		Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt
		A	2016-02-02	de	16



Maßstab: 1:20

Verantwortl. Abtlg. M+P	Technische Referenz Getriebeprüfstand	Erstellt durch Moritz Faber	Genehmigt von Meyer-Eschenbach	
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences	Dokumentenart Zusammenbauzeichnung	Werkstoff .		
	Titel, Zusätzlicher Titel Getriebeprüfstand	Zeichnungsnr. 17		
		Änd.	Ausgabedatum	Spr.
	A	2016-02-02	de	17

Produktmerkmale des Prüfstands

Baugröße:

Breite:	2340 mm
Höhe:	1720 mm
Tiefe:	998 mm
Gesamtmasse:	215 kg
Anschlussleistung:	3534 W bei 230V
Drehmomentbereich:	bis zu 200 Nm
Drehmomentmessgenauigkeit:	maximal 0,2 % Abweichung
Drehzahlbereich:	bis zu 3000 $\frac{1}{min}$
Abtastezeit:	360 Impulse pro Umdrehung
Antriebsleistung:	bis zu 3 kW

Antrieb:	Leistungsstarker und Effizienter Asynchronmotor mit Frequenzumrichter
Messung:	Hochpräzise Drehmoment- und Drehzahlmessung mit Messwellen
Temperaturmessung:	Robuste PT1000 Temperaturfühler
Datenverarbeitung:	Topaktuelle, zentrale, digitale Messwertverarbeitung am PC
Abtrieb:	Komfortable und Leistungsstarke Magnetpulverbremse
Gehäuse:	Hochwertiges extrem flexibles Gehäuse aus Aluminium und Plexiglas

Besondere Anschaulichkeit durch in der Industrie verbreitete Antriebstechnik und ein unabhängig einstellbares Bremsmoment. Auch das weitgehend durchsichtig gestaltete hochwertige Gehäuse trägt zur Anschaulichkeit bei. Besonders benutzerfreundlich und fortschrittlich ist die digitale Messdatenverarbeitung am PC.

Der optisch ansprechende modulare Aufbau zeichnet sich durch eine gute Erweiterbarkeit aus. Dies wird auch durch die verfügbaren Schnittstellen der Mess- und Steuerungstechnik unterstützt.

Anschaffungskosten von 38.600 €

Inhalt der CD

Bachelorthesis

Anhang

Einzelteilzeichnungen

Zusammenbauzeichnungen

Stückliste

Bestellliste

Kostenzusammenstellung

Elektrischer Schaltplan

Erwärmung durch Betrieb

Hauptmerkmalliste

Montageanleitung

Leistungsspektrum

Produktmerkmale

CAD-Modell

Einzelteile, Module, Zusammenbau

Komponenten und Preise

Frequenzumrichter, Gehäuse, Getriebe, Kupplung, Magnetpulverbremse,
Messverstärker, Messwelle, Motor, Notebook, Steuergerät(Bremse),
Sicherheitstechnik, Temperaturfühler

Prüfung

Fehlerbaumanalyse, Prüfung anhand der Anforderungsliste

Varianten und Auswahl

HBM-Möglichkeiten, Auswahlliste, VDI 2225 Bewertung, Urteilsschema für VDI 2225,
Zusammenstellung der Varianten A-K

Komponenten der Varianten A-K

