

Konstruktion einer Vorrichtung zur Aufnahme unterschiedlicher Drehmomentmessflansche während der Kalibrierung

Dominik Kandlen

Fakultät Mechanical and Medical Engineering, Hochschule Furtwangen University, 2022/23

Abstract— Das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist die Konstruktion einer Vorrichtung zur Aufnahme unterschiedlicher Drehmomentmessflansche. Diese soll es dem Mitarbeiter erleichtern, die Messflansche ohne Behinderung von laufenden Versuchen zu kalibrieren. Somit wird die Verfügbarkeit der Motoren gesteigert. Zur Umsetzung wurden vier Konzepte entwickelt und bewertet. Das Konzept mit der höchsten Punktzahl wurde weiter ausgearbeitet. Das Projekt wurde erfolgreich mit Bauteil- und Baugruppenzeichnungen abgeschlossen.

I. Einleitung und technischer Stand

Im Rahmen von Produktentwicklungen wird ein weiter Bogen um verschiedene Geschäftsbereiche wie Marketing, Konstruktion, Prototypenbau und Versuch gespannt. Im Bereich Versuch werden verschieden seriennahe Muster auf deren Eigenschaften untersucht. Im Zuge der Lebensdauerprüfung erfolgt die Aufnahme und Bewertung von statischen und dynamischen Drehmomenten. Das jeweilige Moment wird dabei mit Messflansche, welche sich auf der Motorachse befinden gemessen. Um zuverlässige Ergebnisse zu garantieren, müssen diese Messflansche regelmäßig kalibriert werden.

Aufgrund des großen Spektrums an Bremssystemen mit unterschiedlichen Drehmomenten und Achsdurchmesser, sind drei unterschiedliche Messflanschgrößen in Verwendung. Die Kalibrierung der Messflansche erfolgt mit drei unterschiedlich großen Wiegebalken, direkt an den Versuchsmotoren. Der größte Wiegebalken ist 1560 mm lang und besitzt ein Bohrungsdurchmesser von 36 mm. Der kleinste Wiegebalken ist 860 mm lang, mit einem Bohrungsdurchmesser von 20 mm. Durch platzieren verschiedener Gewichte in einem bestimmten Abstand zum Drehpunkt des Wiegebalkens, wird ein definiertes Drehmoment erzeugt und auf den Messflansch übertragen. Somit kann dieser kalibriert werden.

Wie in Abbildung 1 skizziert, sind derzeit mehrere Motoren für die Versuchsdurchläufe nebeneinander parallel auf einer Halterung platziert. An den Lagerschilden der Motoren sind die Drehmomentmessflansche montiert. Aufgrund der geringen Motorenabstände, müssen die Versuche, welche neben dem zu kalibrierenden Messflansch stattfinden, pausiert werden. Der Wiegebalken könnte anderweitig durch Versuchsaufbauten, wie beispielsweise einen Ofen behindert werden. Gegebenenfalls müssten größere Aufbauten vor den Kalibrierungen gänzlich entfernt werden. Dies führt des Öfteren zu längeren Stillstandzeiten der Versuchsapparaturen, weshalb eine Lösung geschaffen werden soll.

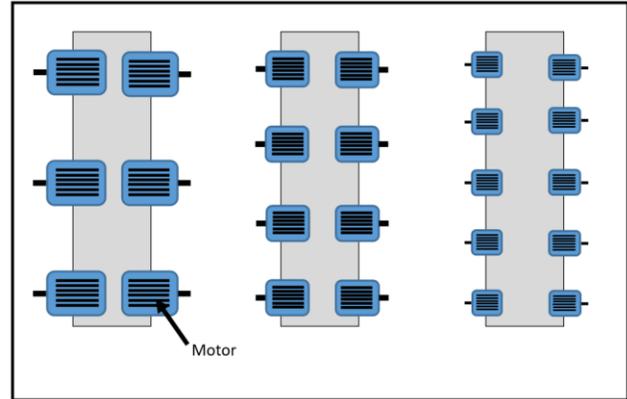


Abbildung 1: Laboraufbau skizziert.
Quelle: eigene Darstellung.

II. Anforderungen

Da die Messflansche durch acht Innensechskantschrauben fixiert und durch Absätze an Motoren und Messflansche zentriert werden, sind schnelle und simple De- und Montagen möglich. Somit ist eine Kalibrierung abseits der Motoren und Messaufbauten anzustreben. Dies verhindert eine Blockierung der Motoren und steigert somit deren Verfügbarkeit. Um dies zu erreichen, soll eine Vorrichtung konstruiert und entwickelt werden. Diese muss alle drei Wiegebalken- und Messflanschgrößen aufnehmen und somit universell einsetzbar sein. Zusätzlich soll sie den Kalibriervorgang so einfach und schnell wie möglich gestalten. Des Weiteren ist eine möglichst einfache und preisgünstige Konstruktion zu bevorzugen. Bei Bauteilen, die für die Herstellung der Vorrichtung spanend bearbeitet werden müssen, ist darauf zu achten, dass diese mit den bei Kendrion (Villingen) GmbH befindlichen Maschinen und Werkzeugen herstellbar sind. Die dafür erforderlichen Bauteilzeichnungen sind anzufertigen. Ebenso eine zur Montage der Vorrichtung notwendige Baugruppenzeichnung mit Stückliste.

III. Lösungskonzepte

A. Erstes Konzept

Das erste Lösungskonzept ist in Abbildung 2 im Schnitt ersichtlich. Es besteht unter Anderem aus einem Item-Aluminiumprofil (rot). In diesem sind zwei Kugellager (dunkelblau) eingepresst, welche eine Welle (grün) aufnehmen. Auf der Welle befindet sich die bereits vorhandene Adapterplatte (violett), auf welche der Wiegebalken (nicht abgebildet) während dem Kalibriervorgang befestigt wird. Über Schrauben, welche nicht dargestellt sind, wird das vom Wiegebalken erzeugte Drehmoment über die Adapterplatte auf den Messflansch (orange) übertragen. Der Messflansch ist verdrehsteif mit der Scheibe (hellblau) über zwei Winkel

Berechnung, Auslegung und Konstruktion einer Welle-Nabe-Verbindung zur Übertragung statischer und dynamischer Drehmomente

(schwarz), welche in Abbildung 3 ersichtlich sind, am Item-Profil befestigt.

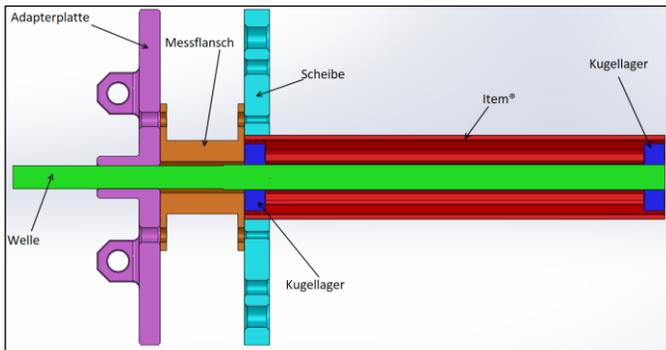


Abbildung 2: Lösungskonzept 1 Schnittansicht.

Quelle: eigene Darstellung.

Positioniert wird die Vorrichtung an einer Tischkante, wobei nur das Item-Profil auf der Tischplatte aufliegt. Mit der Annahme, dass sich der Schwerpunkt der Vorrichtung inklusive der Gewichte, Wiegebalken, Messflansch und Adapterplatte, nicht vertikal über der Tischplatte befindet, würde der gesamte Aufbau vom Tisch kippen. Abhilfe kann beispielsweise mit Schraubzwingen, welche das Item-Profil auf die Tischplatte fixieren, geschaffen werden.

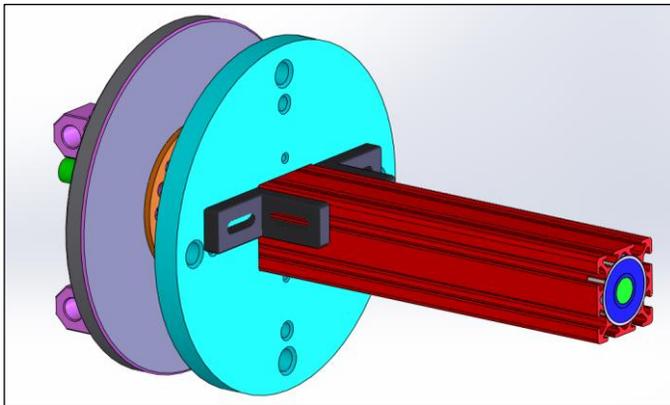


Abbildung 3: Lösungskonzept 1 Vollansicht.

Quelle: eigene Darstellung.

Für die Adaptierung der unterschiedlichen Messflanschgrößen, müssen drei unterschiedliche Wellen sowie Adapterringe angefertigt werden. Eine genauere Betrachtung der einzelnen Bauteildimensionen und Ausführungen wird bei Umsetzung dieses Konzepts durchgeführt. Die geschätzten Kosten für die Standardteile belaufen sich auf 32 € und die der Herstellungskosten der intern gefertigten Bauteile auf 160 €. Somit werden zu diesem Stand der Entwicklung die Gesamtkosten dieses Lösungskonzepts auf 192 € geschätzt

B. Zweites Konzept

Das zweite Konzept, welches in Abbildung 4 im Schnitt dargestellt ist, gleicht dem Ersten in der Hinsicht, dass der Messflansch (orange) ebenfalls nicht zwischen den Lagerpunkten der Welle positioniert ist. Die Wellenlagerung ist mit Stehlagern (dunkelblau) umgesetzt, welche auf einer Grundplatte (hellblau) montiert sind. Die Lager führen eine Welle (grün), auf welcher die Adapterplatte (violett) gesteckt

ist. Der Messflansch ist an einer Aufnahmeplatte (rot) verdrehsteif fixiert. Diese ist rechtwinklig mit der Grundplatte verbunden.

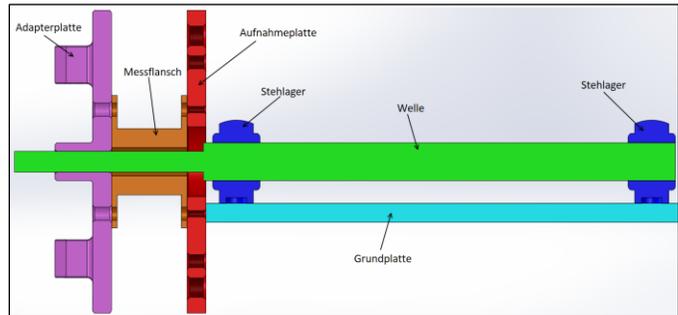


Abbildung 4: Lösungskonzept 2 Schnittansicht.

Quelle: eigene Darstellung.

Positioniert wird dieses Konzept ebenfalls auf einer Tischplatte, wobei nur die Grundplatte auf der Tischplatte liegt. Wie schon bei Konzept 1, kann das Problem des Kippens durch Fixierung mittels Schraubzwingen gelöst werden.

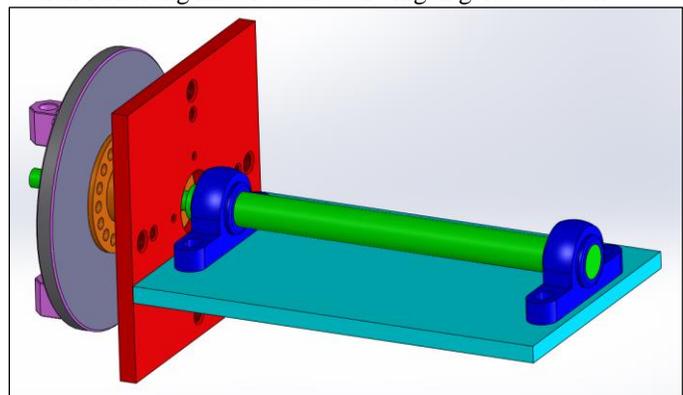


Abbildung 5: Lösungskonzept 2 Vollansicht.

Quelle: eigene Darstellung.

Für die Adaptierung der unterschiedlichen Messflanschgrößen werden ebenfalls Wellen mit unterschiedlichen Durchmessern an der Messflanschseite sowie Adapterringe benötigt. Die vorläufig geschätzten Kosten der Normteile belaufen sich auf 27 € und die der firmenintern herzustellenden Bauteile auf 160 €. Somit entstehen vorläufig geschätzte Gesamtkosten von 187 €.

C. Drittes Konzept

Das dritte Konzept, ist in Abbildung 6 im Schnitt dargestellt. Es unterscheidet sich zu den bereits aufgeführten Konzepten in der Platzierung des Messflansches (orange). Dieser ist zwischen den beiden Lagern (dunkelblau) auf der Welle (grün) positioniert. Die Kugellager sind in der Aufnahmeplatte (grau) und in der Lagerplatte (rot) fixiert. Beide Platten werden senkrecht auf eine Grundplatte (hellblau) geschraubt.

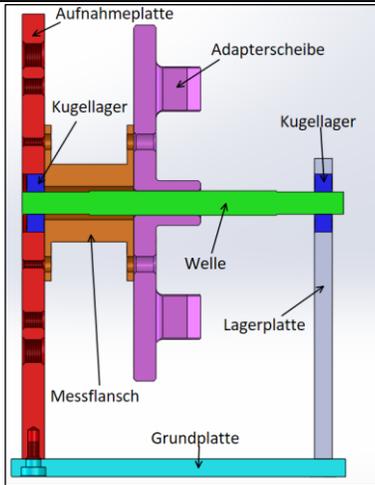


Abbildung 6: Lösungskonzept 3 Schnittdarstellung.
Quelle: eigene Darstellung.

Die Platzierung des Messflansches, der Adapterplatte und des Wiegebalkens zwischen den Lagerpunkten bringt den Vorteil, dass die Durchbiegung der Welle bei gleichem Wellendurchmesser geringer ausfällt und der Schwerpunkt sich vertikal über der Grundplatte befindet. Nachteilig ist ein umständlicher Messflansch-Wechsel, da zuerst die Lagerplatte mit Kugellager demontiert werden muss.

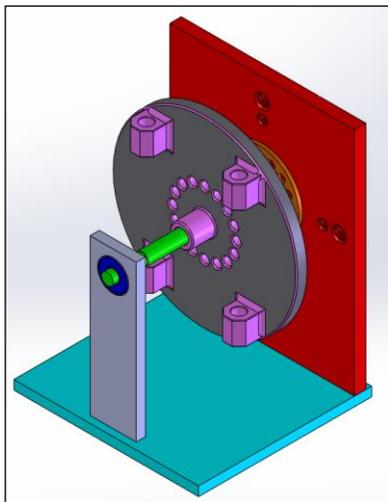


Abbildung 7: Lösungskonzept 3 Vollansicht.
Quelle: eigene Darstellung.

Wie auch in den beiden vorherigen Konzepten, geschieht eine Adaptierung der unterschiedlichen Messflanschgrößen durch Adapterringe bzw. drei unterschiedliche Wellen. Die geschätzten Kosten für die Standardteile belaufen sich auf 8 € und die der firmeninternen herzustellenden Bauteile auf 160 €. Somit betragen die geschätzten Gesamtkosten ca. 168 €.

D. Viertes Konzept

Das letzte Konzept ist in Abbildung 8 im Schnitt dargestellt. Dieses besteht aus einer Aufnahmeplatte (rot) in welche die Welle (grün) eingepresst ist. Zur Kalibrierung müssen die Adapterplatten (violett) rotatorisch frei gelagert sein. Um dies zu gewährleisten, werden Gleitlagern (dunkelblau) eingesetzt. Die unterschiedlichen Messflansche

(orange) werden an die Aufnahmeplatte geschraubt.

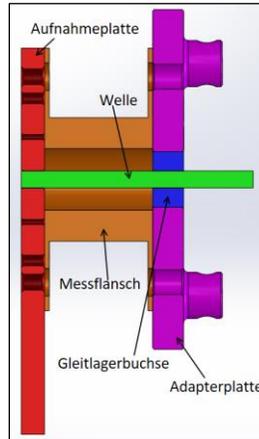


Abbildung 8: Lösungskonzept 4 Schnittdarstellung.
Quelle: eigene Darstellung.

Zur Kalibrierung muss die Aufnahmeplatte in einen Schraubstock oder Ähnliches eingespannt werden. Für die Adaptierung von unterschiedlichen Messflanschgrößen, werden drei Gleitlagerbuchsen benötigt.

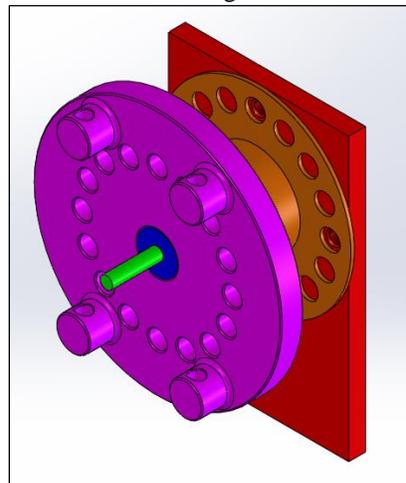


Abbildung 9: Lösungskonzept 4 Vollansicht.
Quelle: eigene Darstellung.

Dieses Konzept besitzt keine auf dem Markt verfügbaren Standardteile. Die Herstellkosten der Bauteile werden auf 160 € geschätzt.

IV. Bewertungsmatrix

Die Bewertung der Konzepte erfolgt mit Punkten von Null bis Zehn, wobei null Punkte sehr schlecht und zehn Punkte sehr gut ist. Zudem werden die einzelnen Kriterien entsprechend ihrer Priorität gewichtet.

Tabelle 1: Bewertungsmatrix Teil 1/2.

Quelle: eigene Darstellung.

Konzept Nr.	Gewichtung	1		2	
		Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet
Kosten	7	7	49	7	49
Anzahl der Bauteile	6	6	36	8	48
Beschaffungsaufwand	7	5	35	6	42
Konstruktiver Aufwand	3	4	12	7	21
Herstellungsaufwand	8	4	32	6	48
Montage/Wechsel	9	8	72	8	72
Summe			236		280

Berechnung, Auslegung und Konstruktion einer Welle-Nabe-Verbindung zur Übertragung statischer und dynamischer Drehmomente

Tabelle 2: Bewertungsmatrix Teil 2/2.

Quelle: eigene Darstellung.

Konzept Nr.	Gewichtung	3		4	
		Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet
Kosten	7	8	56	8	56
Anzahl der Bauteile	6	7	42	10	60
Beschaffungsaufwand	7	6	42	7	49
Konstruktiver Aufwand	3	6	18	8	24
Herstellungsaufwand	8	8	64	9	72
Montage/Wechsel	9	4	36	8	72
Summe			258		333

Das vierte Konzept hat mit 333 die meisten Punkte in der Bewertungsmatrix erhalten. Somit wird dieses Konzept weiterverfolgt und ausgearbeitet.

V. Ausarbeitung Lösungskonzept Vier

Zur Auslegung der Welle wird ein Festigkeitsnachweis auf Durchbiegung durchgeführt. Der Wellendurchmesser ist so bemessen, dass er den kleinsten Messflansch aufnehmen kann. Die Länge der Welle ist so gewählt, dass der größte Messflansch adaptiert werden kann. Das maximal wirkende Gewicht belüft sich auf das höchstmögliche erzeugbare Drehmoment des vorliegenden Wiegebalkens. Eine maximale Durchbiegung von 0,1 mm ist gefordert.

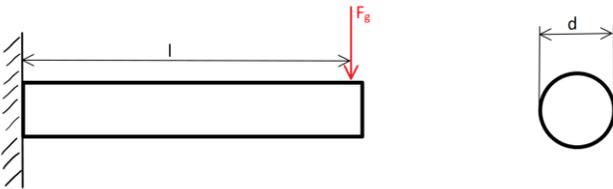


Abbildung 10: Skizze zur Ausarbeitung Konzept 4.

Quelle: eigene Darstellung.

Auf Grundlage von Formel (1), belüft sich die Durchbiegung einer Welle mit durchgehendem Durchmesser von 12,5 mm auf 1,99 mm. Der notwendige Durchmesser für eine maximale Durchbiegung von 0,1 mm beträgt 26 mm. Aufgrund dessen, dass die mittlere Adapterplatte ein Bohrungsdurchmesser von 20 mm besitzt, sind unterschiedliche Wellendurchmesser notwendig.

$$W_{max} = \frac{F_z * l^3}{3 * E * I_y} = \frac{m * g * l^3}{3 * E * \frac{\pi * d^4}{64}} \quad (1)$$

Das auf der Welle befindliche Gleitlager soll ein Normteil sein. Daraus ergibt sich, dass für alle drei Größen unterschiedliche Wellendurchmesser benötigt werden und je nach Größe bis zu 4 Gleitlager notwendig sind. Die vorhandenen Klemmringe zur axialen Sicherung der Adapterplatten, werden jeweils auf ein Gleitlager gepresst. Das resultierende ausgearbeitete Konzept ist in Abbildung 11 dargestellt. Festigkeitsnachweise auf Durchbiegung sind für alle drei Dimensionen durchgeführt.

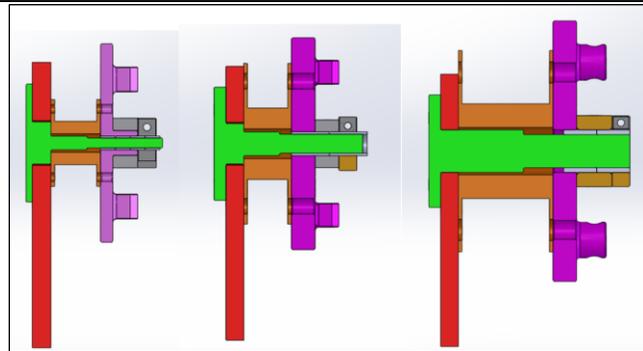


Abbildung 11: Ausarbeitung Konzept 4 Schnittansicht.

Quelle: eigene Darstellung.

VI. Aktualisierte Bewertungsmatrix

Aufgrund der konstruktiv notwendigen Bauteiländerungen in Konzept 4, wird die Bewertungsmatrix mit diesem Wissenstand aktualisiert.

Tabelle 3: aktualisierte Bewertungsmatrix Teil 1/2.

Quelle: eigene Darstellung.

Konzept Nr.	Gewichtung	1		2	
		Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet
Kosten	7	7	49	7	49
Anzahl der Bauteile	6	6	36	8	48
Beschaffungsaufwand	7	5	35	6	42
Konstruktiver Aufwand	3	4	12	7	21
Herstellungsaufwand	8	4	32	6	48
Montage/Wechsel	9	8	72	8	72
Summe			236		280

Tabelle 4: aktualisierte Bewertungsmatrix Teil 2/2.

Quelle: eigene Darstellung.

Konzept Nr.	Gewichtung	3		4	
		Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet
Kosten	7	8	56	7	49
Anzahl der Bauteile	6	7	42	6	36
Beschaffungsaufwand	7	6	42	8	56
Konstruktiver Aufwand	3	6	18	6	18
Herstellungsaufwand	8	8	64	6	48
Montage/Wechsel	9	4	36	6	54
Summe			258		261

Aus der aktualisierten Bewertungsmatrix geht hervor, dass nun das zweite Konzept mit 280 Punkten die höchste Punktzahl erreicht hat. Aus diesem Grund wird folgend das Konzept 2 weiterverfolgt und ausgearbeitet.

VII. Ausarbeitung Lösungskonzept Zwei

Zur Ermittlung der Wellendimensionen, bei einer maximalen Durchbiegung von 0,1 mm, wird ein Festigkeitsnachweis exemplarisch an der größten Messflanschgröße durchgeführt. Abbildung 12 skizziert die Lagerung des zweiten Konzepts.

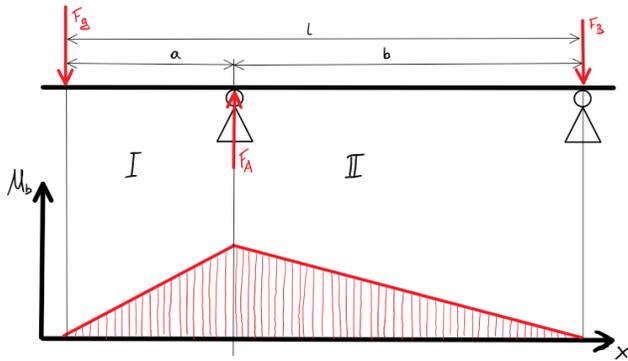


Abbildung 12: Skizze zur Ausarbeitung Konzept 2.
Quelle: eigene Darstellung.

Die Länge a ist durch die Breite des Messflansches und der Adapterplatte vorgegeben. Sie beträgt 160 mm. Die Länge b muss größer sein als die Breite der Stehlager. Sie wird auf 70 mm festgelegt. Auf Grundlage von Stehlager aus einem Standardkatalog, wird der Wellendurchmesser auf der Seite „II“ auf 35 mm festgelegt. Der Wellendurchmesser der Seite „I“ ist durch die Adapterplatte mit 36 mm vorgegeben. Somit beträgt mit Formel (2) die maximale Durchbiegung 0,08 mm auf der Messflanschseite.

$$W_{I,max} = \frac{F_z * (a + b) * a^2}{3 * E * I_y} = \frac{m * g * (a + b) * a^2}{3 * E * \frac{\pi * d_I^4}{64}} \quad (2)$$

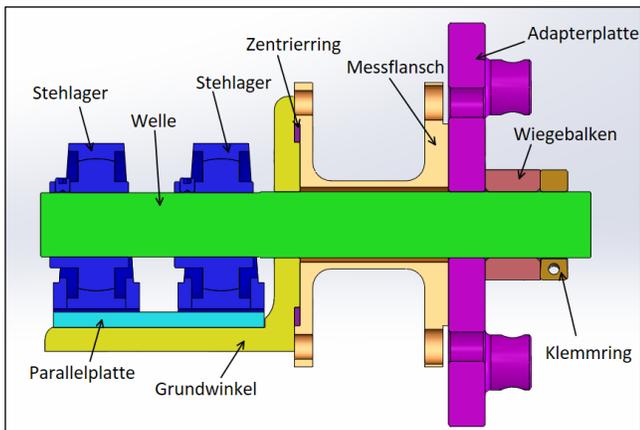


Abbildung 13: Ausarbeitung Konzept 2 Schnitansicht.
Quelle: eigene Darstellung.

Abbildung 13 zeigt den finalen Aufbau. Die Aufnahmeplatte und Grundplatte wurden durch einen Winkelstahl, den Grundwinkel (gelb), substituiert. Darauf befindet sich die Parallelplatte (hellblau), welche die Stehlager (dunkelblau) in der Höhe ausrichtet. Die Zentrierung der Messflansche geschieht bei der größten Größe durch den violetten Zentrierring, der in Abbildung 14 abgebildet ist.

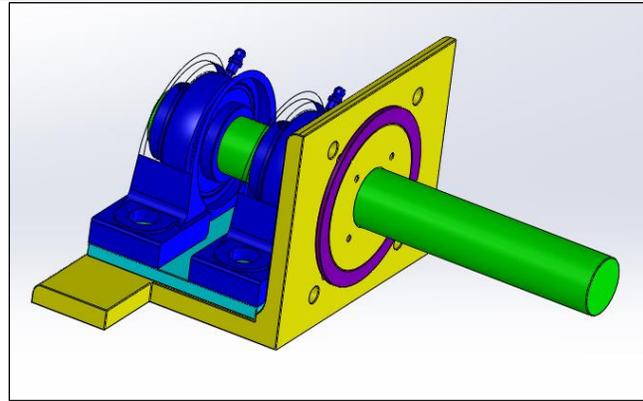


Abbildung 14: Ausarbeitung Konzept 2 Vollansicht 1.
Quelle: eigene Darstellung.

Die Zentrierung der kleinen Messflanschgröße erfolgt durch einen Absatz in der kleinen Welle, welche in den Abbildungen nicht dargestellt ist. Die mittlere Messflanschgröße wird wie die großen Messflansche am Grundwinkel ausgerichtet, allerdings ohne den Zentrierring.

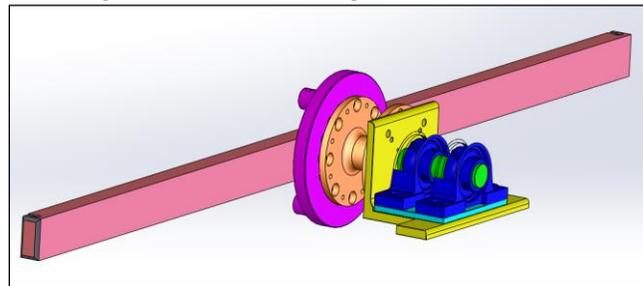


Abbildung 15: Ausarbeitung Konzept 2 Vollansicht 2.
Quelle: eigene Darstellung.

Die Fixierung des gesamten Aufbaus auf einem Tisch geschieht mit Schraubzwingen an den dafür vorgesehenen Laschen am Grundwinkel. Diese sind in Abbildung 14 und Abbildung 15 erkennbar.

VIII. Fazit und Ausblick

Die Entwicklung und Konstruktion einer Vorrichtung zur Messflansch-Kalibrierung ist erfolgreich abgeschlossen. Es wurden mehrere Konzepte entwickelt, wovon zwei final mit Bauteil- und Baugruppenzeichnungen beendet wurden. Derzeit befindet sich die Vorrichtung in der Herstellung, weswegen noch keine Aussage zur Handhabung getroffen werden kann.